



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R11:1986

Ref. 5

Köldbärare i värmepumps- och värmeåtervinningssystem

**Lars Ljung
Catharina Olin
Johan Tollin**

*R
OK*

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac *ser*

BYGGDOK

Sankt Eriksgatan 46
112 34 Stockholm
tel: 08-617 74 50
fax: 08-617 74 60

Byggeforskningsrådet

R11:1986

KÖLDBÄRARE I VÄRMEPUMPS- OCH
VÄRMEÅTERVINNINGSSYSTEM

Lars Ljung
Catharina Olin
Johan Tollin

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
831057-8 från Statens råd för byggnadsforskning
till Allmänna Ingenjörbyrå AB - AIB -, Energi-
teknik, Solna.

REFERAT

Projektets syfte har varit att sammanställa en handboksliknande rapport om olika köldbärare som används i värmepumps- eller värmeåtervinningssystem.

Information kring de vanligaste köldbärarblandningarna har sammanställts genom litteraturstudier, leverantörskontakter m m. Fysikaliska och termiska data redovisas för följande köldbärarlösningar: etylenglykol, propylenglykol, ~~et~~tanol, natriumklorid, kalciumklorid samt några kommersiella blandningar baserade på dessa substanser.

De fysikaliska och termiska egenskaperna, liksom uppgifter om korrosion och korrosionsskydd, miljöeffekter, brandfarlighet m m, har sammanställts i "handboksform".

I projektet redovisas också algoritmer för korrelation av köldbärarblandningarnas fysikaliska och termiska egenskaper. Dessa algoritmer kan utnyttjas i datorberäkningar för t ex värmepumpsystem där köldbärarnas egenskaper vid olika temperaturer eller koncentration behövs.

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R11:1986

ISBN 91-540-4520-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning

1.	Bakgrund	4
2.	Allmänt om köldbärare och köldbärarsystem	5
2.1	Köldbärare	5
2.2	Köldbärarsystem	5
2.3	Önskemål och krav på köldbärare	5
2.4	Fysikaliska principer för köldbärare	7
3.	Värmeöverföring och tryckfall i köldbärarsystem	12
3.1	Värmeöverföringens betydelse	12
3.2	Turbulent eller laminär strömning	12
3.3	Tryckfallets betydelse	13
3.4	Viskositetens betydelse	14
3.5	Inverkan av olika egenskaper utöver viskositet	15
4.	Fysikaliska data för olika köldbärare	16
4.1	Inledning	16
4.2	Rena ämnen	16
4.2.1	Värmetransportegenskaper	16
4.2.2	Övriga egenskaper	60
4.3	Tekniska köldbärare	70
4.3.1	Använda köldbärare	70
4.3.2	Dokumentation av tekniska köldbärare	71
4.3.3	Jämförelse mellan köldbärare	72
4.4	Brandfarlighet	74
4.4.1	Klassificering av brännbara vätskor	74
4.4.2	Användning av kommersiella, etanolhaltiga köldbärare	78
5.	Korrosion	81
5.1	Allmänt	81
5.2	Olika köldbärarens korrosivitet	81
5.3	Inhibitorer	82
5.4	Inhibitorblandningar för antifrysavätskor	84
5.4.1	Bilkylarglykoler	85
5.4.2	Köldbärare	86
5.5	Kontroll av köldbärare	87
5.6	Materialval vid olika köldbärare	88
6.	Miljöeffekter	90
6.1	Inledning	90
6.2	Toxicitet	91
6.3	Nedbrytbarhet	94
6.4	Rörlighet	101
6.5	Anrikning i organismer	101
6.6	Smaktest	102
6.7	Exempel på effekterna av läckage i en ytjordvärmekollektor	102
6.8	Naturvårdsverkets bedömning	104
6.9	Danska föreskrifter	109

7.	Praktiska erfarenheter	111
7.1	Inledning	111
7.2	Teknisk lämplighet	111
7.3	Hantering, installation	112
7.4	Driftproblem	114
7.5	Byte av köldbärare	115
7.6	Misslyckade köldbärare	115
8.	Korrelation och algoritmer för fysikaliska egenskaper hos köldbärarblandningar	116
8.1	Inledning	116
8.2	Koncentrationsmått	116
8.3	Algoritmer	117
8.3.1	Fryspunkt	117
8.3.2	Viskositet	117
8.3.3	Övriga egenskaper	118
8.4	Användningsområden för algoritmer	119
9.	Okonventionella köldbärare samt okonventionella system för värmetransport från omgivningen	120
9.1	Okonventionella köldbärarsubstanser	120
9.2	Okonventionella system för värmetransport	120
10.	Referenser	

Bilaga A Beräkning av värmeöverföring och tryckfall i en köldbärarkrets

SAMMANFATTNING

Inom värmepumps- och solfångartekniken används ökande mängd frysskyddande lösningar (här benämnda köldbärare) för transport av värme. För närvarande används ett flertal olika tekniska lösningar i samband med dessa system. De olika ämnena har delvis olika egenskaper i detta sammanhang; fryspunktsnedsättning, viskositet, korrosivitet, brandfarlighet, giftighet etc.

I denna rapport sammanställs för ett flertal aktuella ämnen information kring deras egenskaper som är av betydelse vid val av köldbärare samt vid projektering av köldbärarsystem.

I avsnitt 2 och 3 redogörs grundläggande för krav och önskemål på köldbärare, olika ämnens fryspunktsnedsättande egenskaper samt värmeupptagande och värmetransporterande förmåga.

I avsnitt 4 återges olika fysikaliska data, bl a diagram över koncentrations- och temperaturberoendet för etylenglykol, propylenglykol, etanol, kalciumklorid, natriumklorid samt exempel på två kommersiella tekniska korrosionsskyddande köldbärare baserade på etylen- och propylenglykol. De egenskaper som redovisas i diagramform är fryspunktsnedsättning, viskositet, densitet, värmeledningsförmåga, värmekapacitet och Prandtl-talet. Diagrammen är konstruerade med hjälp av de datoralgoritmer som utvecklats inom projektet och som redovisas i avsnitt 8.

Olika köldbärarens korrosivitet och olika korrosionsskyddande tillsatser behandlas i avsnitt 5.

I avsnitt 6 sammanfattas studier över olika köldbärarens miljöeffekter. Vidare redovisas hur svenska och danska myndigheter har behandlat området.

Rapporten riktar sig till alla som arbetar med köldbärare i någon form (installatörer, projektörer, miljö- och hälsoskyddsansvariga etc).

1. BAKGRUND

Köldbärare har fått en mer allmän användning i och med att numera flera tusen värmepumpar med mark, vatten eller luft som värmekälla installeras per år. Tidigare har köldbärare främst använts vid större kylanläggningar.

Den köldbärarmängd, som 1984 tillsattes vid installation av olika system, torde överslagsmässigt vara 500 - 1000 ton fryspunktnedsättande föreningar representerande ett värde av 3 - 7 Mkr/år.

I och med den omfattande och spridda användningen av köldbärare i kollektorsystem, förlagda i eller ovan mark i icke-industriella anläggningar, värderas andra egenskaper än de rent värmetekniska allt högre. Acceptabla miljöeffekter vid eventuella läckage, låg giftighet, krav på ofarliga tillsatser m m, påverkar nu starkt valet av köldbärare. För närvarande sker en allmän kunskapsuppbyggnad inom detta användningsområde med inhämtande av praktiska erfarenheter.

Detta projekt syftar till att ge en bild över kunskapsläget idag. Material har insamlats från den allmänna teknikorienterade litteraturen och genom kontakter med användare, installatörer och tillverkare av värmepumpsystem. Detta har kompletterats med en inventering av idag tillgänglig information på miljösidan.

Det har varit författarnas ambition att ge en bred överblick över området och att resultatet till vissa delar skall kunna användas som en handbok. Därför innehåller rapporten systematiserad information av många slag: rena fysikaliska data, förklaring av de fysikaliska förlopp vid fryspunktnedsättande tillsatser till vatten, korrosionsegenskaper, korrosionsskydd, biologiska effekter, brandfarlighet, praktiska erfarenheter, beräkningsmetodik vid dimensionering, dataalgoritmer för beräkning av fysikaliska data m m.

Detta är ett första försök att sammanställa en komplex informationsmängd inom området och säkerligen finns det brister i såväl presentationsformen som i faktaunderlaget. Inom flera av ovanstående områden sker en kontinuerlig förändring av kunskapsunderlaget som gör att slutsatser och erfarenheter som presenteras i rapporten successivt bör uppdateras.

Det är ändå vår förhoppning att materialet kommer att vara till nytta vid val av köldbärare och kan utgöra underlag för fortsatt forskning kring köldbärare.

Vi har genomgående använt ordet köldbärare i stället för det engelska uttrycket brine (saltlake). Även om uttrycket köldbärare inte är helt ändamålsenligt så är det enligt vår mening både felaktigt och förkastligt att använda uttrycket brine.

2 ALLMÄNT OM KÖLDBÄRARE OCH KÖLDBÄRARSYSTEM

2.1 Köldbärare

Med köldbärare menas normalt det medium som transporterar värme från en värmekälla till en värmepump. Det medium som transporterar värme från värmeavgivaren (värmepumpen) till användningsstället kallas värmebärare.

De köldbärarblandningar som behandlas mer ingående i rapporten är vattenlösningar av etylenglykol, etanol, propylenglykol, etanol+propylenglykol och kalciumklorid. Mera perifert behandlas kalcium-magnesiumkloridlösningar, kaliumkarbonatlösningar och metanol. I vissa avsnitt återges även uppgifter kring mer ovanliga lösningar.

2.2 Köldbärarsystem

De blandningar som beskrivs i rapporten kan utnyttjas i ett flertal system. Företrädesvis behandlas här köldbärare som används vid värmepumpinstallationer för bostadsuppvärmning och som utnyttjar de naturliga värmekällorna. De dominerande värmekällorna, där värmen tillvaratas genom ett slutet köldbärarsystem, är för närvarande uteluft, berg, jord samt sjöar och vattendrag. Dessa köldbärarblandningar kan även utnyttjas i system som huvudsakligen arbetar över 0° men som skall frysskyddas för undvikande av skador vid frysning, t ex solfångare och frånluftvärmepumpar.

Olika system och värmekällor arbetar med olika köldbärartemperaturer. Mark- och sjövärme arbetar med köldbärartemperaturer från som lägsts ca 0° ner till -6°, -8°, beroende på hur anläggningen utformas. Uteluftvärmepumpar med vätskekopplade luftvärmekolektorer drivs med köldbärartemperaturer ända ner till -15°, -20°. De olika driftbetingelserna ställer olika krav på köldbärarblandningen. Val av lämplig köldbärare och rätt koncentration i kombination med vederbörlig hänsyn till natur- och arbetsmiljö är ingen enkel uppgift.

2.3 Önskemål och krav på köldbärare

En köldbärare är ett flytande ämne, oftast vätska, som kan pumpas runt i ett kretslopp för att transportera värme från en värmekälla i omgivningen till förångaren hos en värmepump.

För att på bästa sätt lösa dessa uppgifter skall en köldbärare sammanfattningsvis ha följande egenskaper:

1. Låg fryspunkt
2. Låg viskositet
3. Hög värmeledningsförmåga

4. Hög värmekapacitet
5. Hög ytspänning och låg skumningstendens
6. Låg diffusionsbenägenhet
7. Vara icke korrosivt
8. Liten tendens till separation, exempelvis vid frysning
9. Vara kemiskt stabilt
10. Skall ej brytas ned mikrobiologiskt i systemet
11. Skall ej orsaka eller vara förhindrad att orsaka korrosion
12. Fungera tillsammans med tätningar och lager i en cirkulationspump
13. Ej brandfarligt
14. Låg giftighet
15. Vara biologiskt nedbrytbart eller ofarligt vid läckage
16. Enkelt att destruera
17. Lågt pris.

Några av kraven på egenskaper kan kommenteras:

1. Låg fryspunkt krävs givetvis för att köldbäraren över huvud taget skall kunna pumpas runt. Om köldbäraren är en lösning i vatten av något fryspunktnedsättande ämne krävs en tillräckligt hög koncentration av detta ämne.
2. Låg viskositet behövs av två skäl; dels för att pumpeffekten skall kunna hållas låg och dels för att om möjligt erhålla turbulent strömning vid värmeväxling.
3. Värmeledningsförmågan hos köldbäraren skall vara god för att underlätta värmeöverföringen. Emellertid är värmeledningsförmågan av samma storleksordning för alla vätskor utom flytande metaller (vatten = 0.55, etylenglykol 0.25, etanol 0.17, petroleum 0.16, kvicksilver 10.3 W/mK). Denna egenskap är därför av något mindre betydelse.
4. Värmekapaciteten per volymenhet skall vara stor för att så mycket värme som möjligt skall kunna transporteras med ett visst flöde och temperaturdifferens.

Även värmekapaciteten är av samma storleksordning för alla vätskor. Vatten har dock det högsta värdet (vatten $\rho C_p = 4.2$, etylenglykol 2.6, etanol 1.9, petroleum 1.7, kvicksilver 1.9 MJ/m³K).

Gaser har låg värmekapacitet per volymenhet och är därför mycket svåra att använda som köldbärare. (Vid 1 bar är ρC_p för luft och vätgas 0,0013, för R12 0,0014 samt för helium 0,0009 MJ/m³K).

5. Ytspänningen hos en köldbärare har betydelse för tendensen att tränga ut genom tunna springor vid t ex tätningar och slangkopplingar. Ytspänningen liksom halten av ytaktiva substanser har betydelse för tendensen till skumbildning om exempelvis luft kommer in i köldbärarsystemet.
6. Köldbäraren bör ha liten tendens att läcka ut ur systemet på grund av diffusion genom plastslangar. Vattenbaserade köldbärare har liten diffusionsbenägenhet i vanliga polymermaterial.
7. En köldbärare skall i så liten utsträckning som möjligt orsaka korrosion. Alla vattenlösningar och speciellt saltlösningar är dock mer eller mindre korrosiva på olika metaller. Korrosion på metaller kan kontrolleras genom tillsatser, se avsnitt 5.

(Besläktat med korrosion är också erosion och kavitation, dvs bortfrätning av material på grund av höga strömningshastigheter resp kokning vid t ex pumphjul.)

8. En blandning som används som köldbärare kan under vissa omständigheter separeras i två skilda vätskeformiga faser. Separation kan orsakas antingen av att en komponent anrikas på grund av partiell frysning eller av att blandningen har en s k blandingslucka. Det senare innebär att blandningen sönderfaller i två vätskefaser vid nedkylning under en viss temperatur.

2.4 Fysikaliska principer för köldbärare

Av listan med krav på köldbärare framgår att vatten skulle vara den idealiska substansen om det inte vore för fryspunkten (redan vid 0°C).

Fördelarna med vatten är låg viskositet, hög värmeledningsförmåga och stor värmekapacitet. Det är ogiftigt, obrännbart och har lågt pris.

För köldbärare som skall användas under 0°C är det därför naturligt att utgå från vatten och genom en lämplig tillsats sänka fryspunkten. Alternativt kan man utgå från någon annan substans än vatten med lägre fryspunkt. Några sådana alternativ diskuteras i avsnittet om okonventionella köldbärare.

Det finns två principiellt olika metoder för att förhindra att vatten fryser vid 0°C; underkylning resp fryspunktsnedsättning.

Underkylning

Underkylning av en vätska innebär att ämnet kan existera i vätskeform vid en temperatur under fryspunkten. Detta kan ske genom tillräckligt snabb nedkylning av en tillräckligt ren vätska.

Fenomenet underkylning beror på att det krävs någon form av kristallisationskärna för att iskristaller skall kunna bildas. Sådana kristallisationskärnor kan erhållas från föroreningar, fasta material eller genom en spontan men osannolik ordning av vätskemolekylerna.

Eftersom en underkyld vätska inte är stabil är underkylning som metod att förhindra frysning av vatten sannolikt praktiskt helt oanvändbart.

Fryspunktsnedsättning

Fryspunktsnedsättning innebär att fryspunkten för ett ämne, t ex vatten, sänks genom någon form av påverkan eller tillsats. Vattens fryspunkt kan exempelvis sänkas genom att trycket ökas. Det tryck som krävs är dock så stort att denna metod för fryspunktsnedsättning är praktiskt oanvändbar. (Vid 2000 bar är fryspunkten ca -18°C .)

Den enda praktiska användbara metoden för fryspunktsnedsättning är tillsats av något ämne som är lösligt i vatten. Detta ämne kan vara en vätska, t ex etanol, etylenglykol, propylenglykol, eller ett fast lösligt ämne, t ex salter som kalciumklorid eller kaliumkarbonat.

Fryspunktsnedsättningen orsakas i princip av att det vätskeformiga vattnet späds ut av tillsatsen. En vattenmolekyl får därmed större tendens (affinitet) till att stanna kvar i vätskefasen i stället för att bilda is.

Termodynamiskt kan fryspunktsnedsättningen förklaras genom att den kemiska potentialen för vatten i vätskeform minskar vid tillsats av ett annat lösligt ämne. Den kemiska potentialen för vatten i is påverkas dock mycket litet av tillsatsen på grund av att lösligheten för främmande ämnen i is är låg.

Fryspunkten erhålls som den temperatur där de bägge kemiska potentialerna för vatten är lika hos is och vätska.

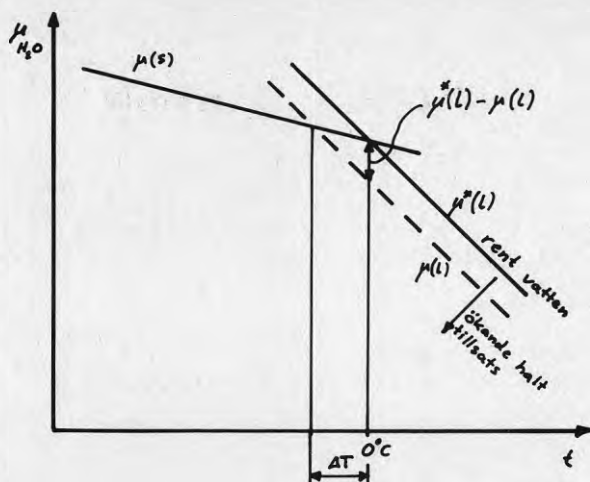


Fig 2-1 Kemisk potential för vatten i is, rent vatten och köldbärande lösning

Frys punktsnedsättningen ΔT kan beräknas om lösningen betraktas som ideal. Från figur 2-1 erhålles

$$\Delta T = \frac{\mu^*(l) - \mu(l)}{\frac{d}{dT} (\mu(s) - \mu^*(l))}$$

Nu är $\frac{d}{dT} (\mu(s) - \mu^*(l)) = \Delta S = \frac{\Delta H}{T}$ smältentropin per mol för vatten.

(T är absoluta temperaturen vid den normala smältpunkten = 273 K)

(ΔH är smältentalpin per mol vatten = 5983 J/mol)

För en ideal lösning är minskningen av den kemiska potentialen beroende av molandelen vatten x_1 :

$$\mu^*(l) - \mu(l) = -RT \ln x_1 \quad (R = \text{allmänna gaskonstanten})$$

Frys punktsnedsättningen blir alltså

$$\Delta T = \frac{-RT^2 \ln x_1}{\Delta H}$$

Låt x vara molandelen frys punktsnedsättande ämnen ($x + x_1 = 1$).

$$\text{Approximera } \ln x_1 = \ln(1-x) = -x - \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3} - \dots$$

För svaga lösningar ($x = 0$) blir fryspunktsnedsättningen

$$\Delta T = \frac{RT^2}{\Delta H} x$$

Koncentrationen av lösningen anges här som molandel x . Andra koncentrationsmått är viktkoncentration c eller molalitet $m = \text{antal mol löst ämne per kg lösningsmedel (vatten)}$.

För vatten med molvikt $M_1 = 18$ är sambandet mellan molandel, molalitet m och viktkoncentration c :

$$x = \frac{m}{m + \frac{1000}{M_1}} = \frac{\frac{c}{M}}{\frac{c}{M} + \frac{1-c}{M_1}} \quad (M = \text{lösta ämnets molvikt})$$

För en utspädd lösning gäller alltså

$$x \approx \frac{M_1}{1000} m = \frac{M_1}{M} c$$

Fryspunktsnedsättningen kan nu skrivas som

$$\Delta T = \underbrace{\frac{RT^2}{\Delta H} \frac{M_1}{1000}}_{K_t} m = \frac{RT^2}{\Delta H M} M_1 c$$

Här är K_t den kryoskopiska konstanten

För vatten är

$$K_t = \frac{8,314 \times 273^2 \times 18}{5983 \times 1000} = 1,864 \text{ K kg mol}^{-1}$$

Av formlerna framgår att fryspunktsnedsättningen vid en viss viktkoncentration c blir större ju mindre molekylvikten M på det tillsatta ämnet är.

Formlerna ovan stämmer inte för saltlösningar. Eftersom salter dissocieras till joner i en vattenlösning blir antalet moljoner större än antalet molekvivalenter salt. Detta tillsammans med att saltlösningar är icke ideala samverkar till att saltlösningar ofta kan ge stor fryspunktsnedsättning vid en given viktkoncentration.

Den teoretiska fryspunktsnedsättningen $\Delta T = K_t * m$ jämförs i tabell 2-1 med litteraturvärden vid viktkoncentrationen $c = 10 \%$.

Ämne	Molvikt M	molalitet m	$\Delta T = K_t * m$	ΔT_{litt}
metanol	32	3,47	6,47	6,60
etanol	46	2,42	4,50	4,47
etylenglykol	62	1,79	3,34	3,37
1,2-propylenglykol	76	1,46	2,73	2,77
glycerol	92	1,21	2,25	2,32
litiumklorid	42,5	2*2,61	9,75	12,61
natriumklorid	58,5	2*1,90	7,08	6,56
kalciumpklorid	111	3*1,00	5,60	5,86
kaliumkarbonat	138	3*0,805	4,50	3,57

Tabell 2-1 Teoretisk och litteraturvärde /CRC 76/ fryspunktsnedsättning för några ämnen vid 10 % viktkoncentration. (Molalitet beräknas som $m = \frac{1-c}{c} * \frac{1000}{M}$)

För salter multipliceras detta med antalet joner per formelenhet.

3. VÄRMEÖVERFÖRING OCH TRYCKFALL I KÖLDBÄRAR-SYSTEM

3.1 Värmeöverföringens betydelse

Köldbärarsystemets uppgift är att transportera värme från en värmekälla i omgivningen (kollektorn) till värmepumpens förångare. Detta skall ske med så litet temperaturfall som möjligt. Dålig värmeöverföring medför annars att temperaturfallet blir stort och förångartemperaturen låg, vilket i sin tur medför låg värmefaktor, liten kapacitet och hög tryckrörs-temperatur hos värmepumpen.

3.2 Turbulent eller laminär strömning

Värmeöverföringen i exempelvis en slang är bland annat beroende av om strömningen är laminär eller turbulent.

Laminär strömning (ordnad virvelfri strömning) erhålls om Reynolds tal* är lågt ($Re < 2300$ ** ger alltid laminär strömning i cirkulära rör). Laminär strömning ger dålig värmeöverföring (figur 3-1).

Reynolds tal är ett dimensionslöst mått på strömningshastigheten jämfört med vätskans viskositet.

Reynolds tal $Re = u \cdot d / \nu$

u = vätskehastighet (m/s)

d = rördiameter (m)

ν = kinematisk viskositet (m^2/s)

* Reynolds tal Re , Nusselts tal Nu samt Prandtls tal Pr är dimensionslösa tal som används vid värmeöverföringsproblem.

Reynolds tal anger vätskehastighet relativt viskositet:

$$Re = \frac{\text{hastighet} \cdot \text{längdkonstant}}{\text{kinematisk viskositet}}$$

Nusselts tal anger värmeöverföring:

$$Nu = \frac{\text{värmeövergångstal} \cdot \text{längdkonstant}}{\text{värmeledningsförmåga}}$$

Prandtls tal anger hur trögflytande en fluid är jämfört med värmediffusiviteten (temperaturledningsförmågan):

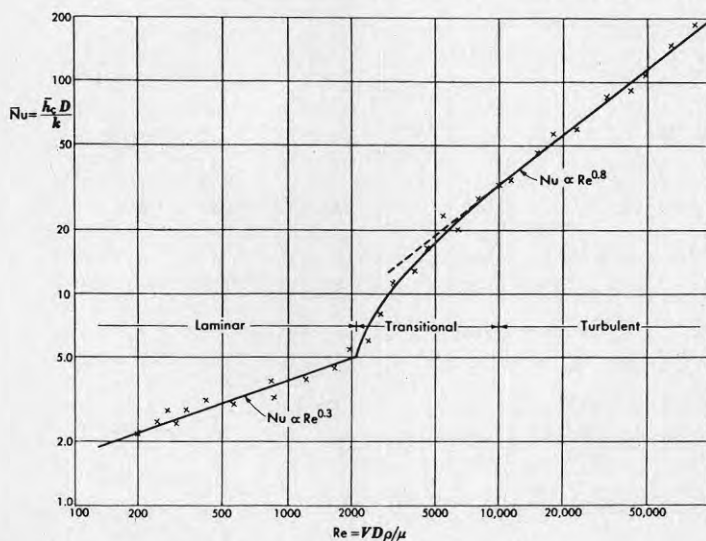
$$Pr = \frac{\text{kinematisk viskositet}}{\text{värmediffusivitet}}$$

** I litteraturen förekommer olika bud på det kritiska Reynoldstalet. De vanligaste angivna värdena är 2100, 2300 och 2320. Vilket värde som används saknar praktisk betydelse.

Om Reynolds tal ökas över det kritiska värdet 2300 kan strömningen ändra karaktär och bli turbulent (oordnad, slumpmässigt varierande och virvlande strömning). Turbulent strömning ger en betydligt bättre värmeöverföring än laminär strömning (figur 3-1).

Omslaget mellan laminär och turbulent strömning kan ske plötsligt eller gradvis beroende på olika faktorer som ytojämnhet, störningar av strömningen vid eller före inloppet till en rörledning.

Figur 3-1 visar hur värmeöverföringen, uttryckt dimensionslöst som Nusseltstalet, varierar med Reynoldstalet för strömning i ett cirkulärt rör. Högt värde på Nusselts tal innebär hög värmeöverföring.



Figur 3-1 Nusselttal som funktion av Reynolds tal vid strömning i cirkulärt rör /Kreith -76/

I bilaga A demonstreras inverkan av strömningshastighet och viskositet på den värmeeffekt som kan överföras i en köldbärarkrets. För det valda exemplet med kylslangbrunn erhålls visserligen en relativt måttlig försämring (15 %) av värmeeffekten när strömningen övergår från turbulent till laminär strömningssregim i plastslangen. Andra faktorer kan dock ha större betydelse för en köldbärarkrets funktion.

3.3 Tryckfallets betydelse

För att värme skall kunna transporteras och också för att tillräcklig värmeöverföring skall erhållas, måste köldbärarfluiden pumpas runt. Detta ger ofrånkomligt upphov till ett tryckfall som måste övervin-

nas med en cirkulationspump. (Ett undantag är om värmepumpens köldmedium används i stället för en köldbärarvätska i ett direktexpansionssystem.)

Tryckfallet och därmed effektbehovet för cirkulationspumpen kan lätt bli oacceptabelt stort om köldbärarfluiden blir alltför viskös, om fluidkanalen är lång eller om vätskehastigheten är hög (se figur A-3).

En stor pumpeffekt medför självfallet nackdelar som låg värmefaktor på grund av driveffekten till pumpen samt onödigt hög kostnad för pumpen.

I bilaga A anges formler och resultat för bl a beräkning av tryckfall och pumparbete.

3.4 Viskositetens betydelse

Viskositeten påverkar köldbärarsystemets funktion på tre sätt:

1. Ökad viskositet ger ökat tryckfall och därmed minskat massflöde och hastighet på köldbärarfluiden. Minskat massflöde leder till lägre effektöverföringskapacitet eller större temperaturdifferens över köldbärarkretsen.
2. Viskositeten påverkar Reynolds tal så att ökad viskositet ger lägre Reynoldstal. Detta medför i sin tur sämre värmeöverföring vid värmeväxlingen i kollektorn och förångaren, förutsatt att strömningen är turbulent. Försämringen blir markant om omslag sker från turbulent till laminär strömning.
3. Viskositeten påverkar värmeöverföringen också genom Prandtltalet. För turbulent strömning innebär detta att en liten motverkan av Reynoldstalets inverkan erhålls.

$$\text{Värmeöverföring} \sim \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,33} \sim \nu^{-0,8} \nu^{0,33} = \nu^{-0,47}$$

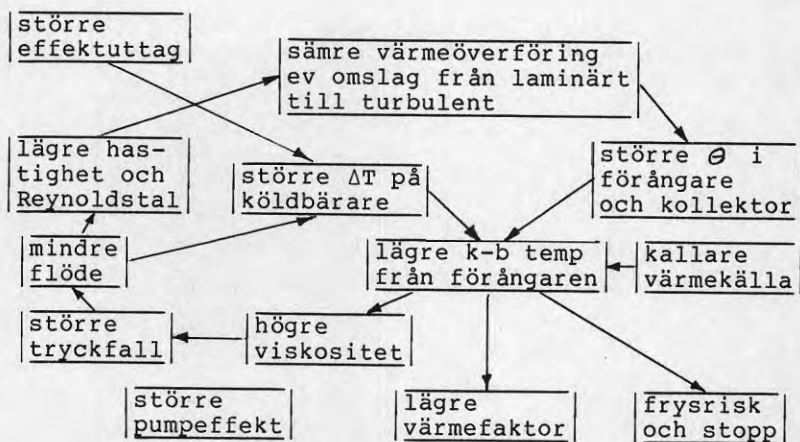
Värmeöverföringen vid laminär strömning är dock praktiskt taget oberoende av viskositeten. Värmeöverföringen bestäms här nämligen till stor del av den termiska strömningslängden, som är oberoende av viskositeten (se bilaga A). En viss påverkan av värmeövergången kan dock erhållas i förångaren på grund av att köldbäraren blir mer trögflytande vid gränsskikten till de kylda ytorna i förångaren.

Viskositeten påverkas i sin tur starkt av temperaturen samt vid val av köldbärare givetvis också av sammansättning och koncentration.

I en köldbärarkrets, som belastas med alltför stor kyleffekt, finns det risk för en självförstärkande kollaps av värmetransporten, se figur 3-1.

Som framgår av figur 3-1 är viskositetens starka temperaturberoende sannolikt en nödvändig delprocess i den självförstärkande kollapsen av värmetransporten. (Ispluggar i förångaren kan eventuellt vara ett alternativ.)

Viskositeten temperaturberoende framgår av diagram i avsnitt 4.



Figur 3-1 Schema över delprocesser som kan försämra värmetransporten

3.5 Inverkan av olika egenskaper utöver viskositet

Som framgår av föregående avsnitt är det viskositeten och dess temperaturberoende som har störst betydelse för ett köldbärarsystems funktion förutsatt att en given köldbärarblandning har valts. Andra fysikaliska egenskaper som fryspunkt, densitet, värmekapacitet, värmeledningsförmåga, har underordnad betydelse eftersom de i stort sett är oberoende av temperatur.

Vid val av köldbärare och dess koncentration är fryspunkten sannolikt den viktigaste fysikaliska egenskapen. Övriga egenskaper har ungefär lika betydelse. Viskositeten har dock återigen stor betydelse eftersom den är den fysikaliska egenskapen som varierar mest mellan olika köldbärarblandningar eller med deras koncentration.

4. FYSIKALISKA DATA FÖR OLIKA KÖLDBÄRARE

4.1 Inledning

I den vetenskapliga och tekniska litteraturen återfinns rikligt med uppgifter om de rena ämnen som utgör huvudkomponenterna i en teknisk köldbärarblandning. Däremot är det av naturliga skäl mycket blygsammare information kring blandningar av föreningar som kan användas som köldbärare.

Det är därför lämpligt att skilja på fysikaliska data för rena ämnen och uppgifter från leverantörer av tekniska köldbärarblandningar. I de flesta fall räcker det med att använda informationen om det rena ämnet för de tekniska beräkningarna under förutsättning att man korrigerar koncentrationen med hänsyn till att den tekniska produkten ofta endast innehåller 90 - 95 % av den fryspunktsnedsättande föreningen. Det förutsätts här att köldbäraren inte består av en blandning av flera olika föreningar.

Sist i kapitlet nämns något om brandfarlighet. Avsnittet är menat att vara applicerbart på såväl rena ämnen som tekniska produkter.

4.2 Rena ämnen

4.2.1 Värmetransportegenskaper

I detta avsnitt återges i diagramform uppgifter om fryspunkt, viskositet, densitet, värmeledningsförmåga, specifik värmekapacitet och Prandtl-tal för etylenglykol, propylenglykol, etanol, kalciumklorid och natriumklorid. Uppgifterna har tagits fram genom anpassning av grunddata till polynomapproximationer enligt avsnitt 8.

Grunddata, som har angivits på diagrammen, är hämtade från referenserna /CRC 76/, /Carrier 65/ och /Hoechst 84/.

För etylenglykol och propylenglykol redovisas data i dubblerad form, dels från Carrier och dels från Hoechst. Anledningen till detta är att grunddata från Hoechst sannolikt är noggrannare än de äldre uppgifterna från Carrier. Data från Hoechst avser dock två kommersiella blandningar (Antifrogen N resp L) med tillsatser av korrosionsinhibitorer, ca 3 - 5 vikts-%.

Parallellt med denna studie har tekniska data för köldbärare också tagits fram vid Institutionen för Kylteknik, KTH. Data från KTHs studie innehåller också uppgifter om kaliumkarbonatlösningar. Dessa resultat redovisas dock inte här.

Diagrammen på följande 42 sidor omfattar följande köldbärandeblandningar och egenskaper:

Köldbärare	Egenskaper
Etylenglykol	Frys punktskurva
Propylenglykol	Viskositet (kinematisk eller
Etanol	dynamisk)
Kalciumklorid	Densitet
Natriumklorid	Värmeledningsförmåga
Antifrogen N (kommer-	Värmekapacitet (Cp)
siell etylenglykol)	Prandtl-tal (Pr)
Antifrogen L (kommer-	
siell propylenglykol)	

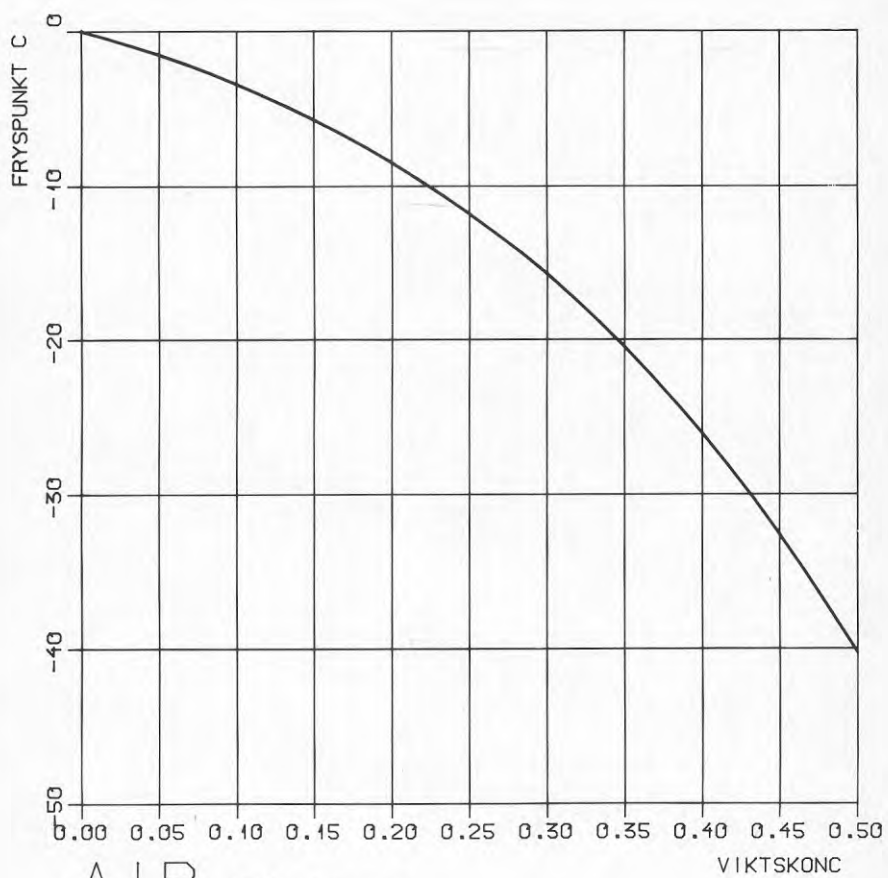
Tillförlitligheten hos diagrammen är troligen högst för Antifrogen N och L, Något noggrannare uppgifter kan troligtvis erhållas från studien vid KTH.

Litteraturuppgifter för viskositet på etanol har dock visat sig osäkra. Enligt KTH-studien kan den verkliga viskositeten för etanol-vattenblandningen i vissa fall vara dubbelt så stor som de data som redovisas från Carrier.

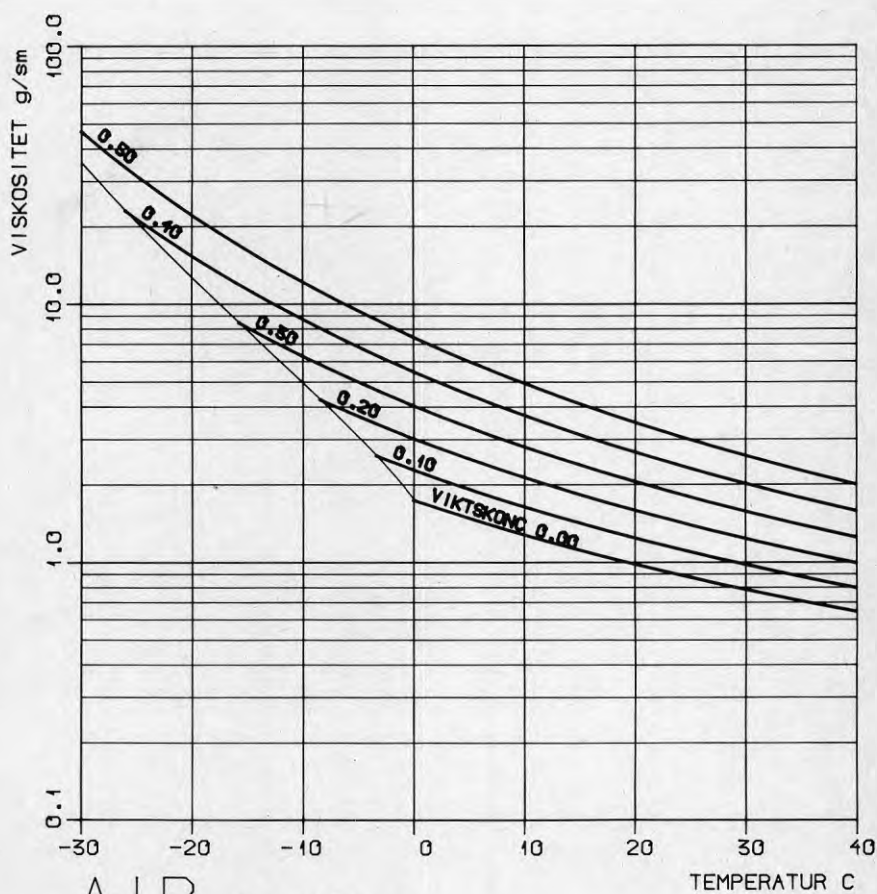
Osäkra grunddata, tillsammans med den använda minsta-kvadratanpassningen, medför också att överensstämmelsen för egenskaperna hos rent vatten inte stämmer exakt om diagram och olika köldbärandeblandningar jämförs. Detta gäller i första hand för värmeledningsförmågan.

För praktiskt bruk och för datorberäkningar är dock noggrannheten tillräcklig.

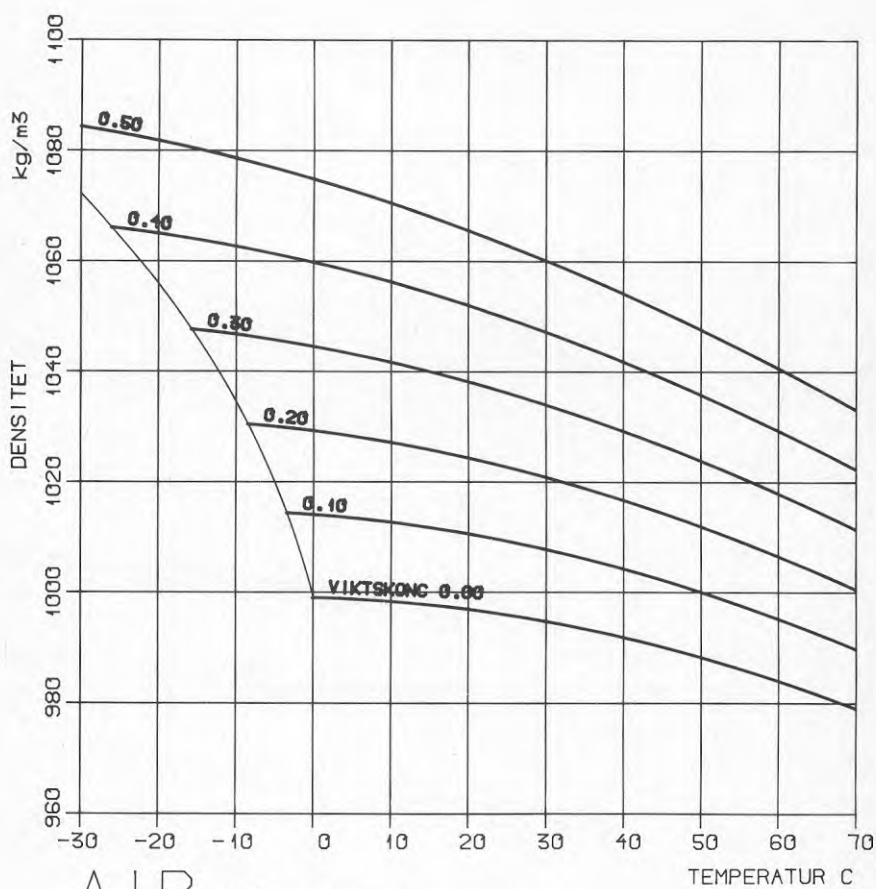
Diagrammen är uppritade med avseende på viktskoncentration. Beräkningsprogrammet kan dock räkna och rita med såväl vikts- som volymkoncentration.

ETYLENGLYKOL
FRYSPUNKTSKURVA

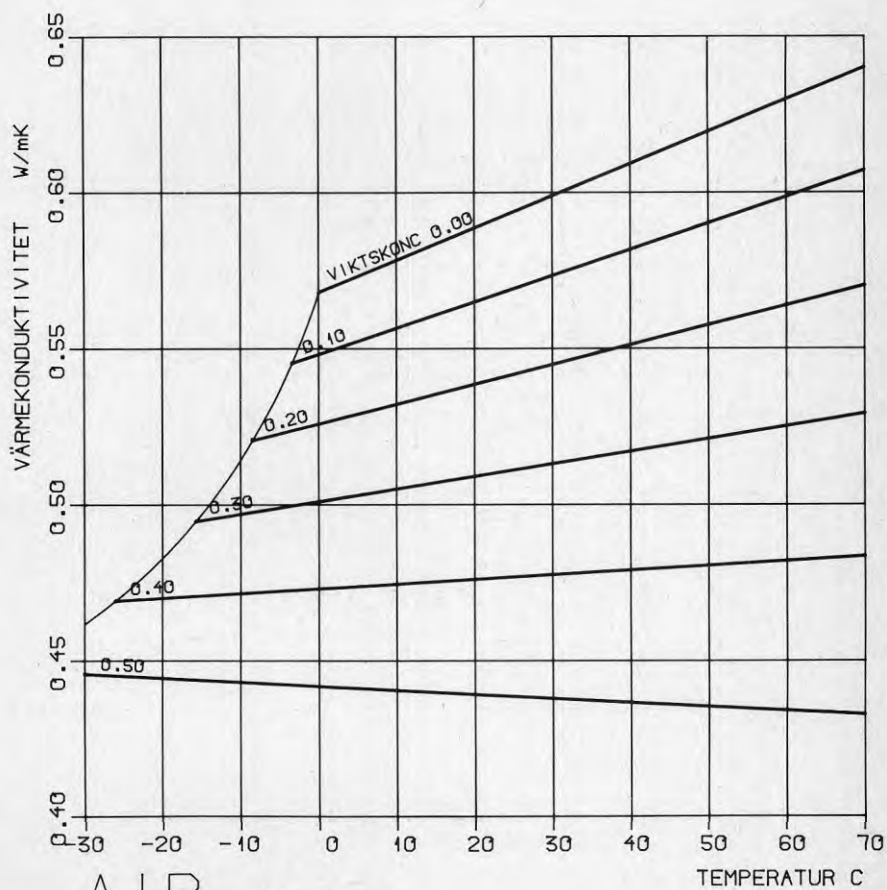
AIB källa Carrier

ETYLENGLYKOL
DYNAMISK VISKOSITET

AIB källa Carrier

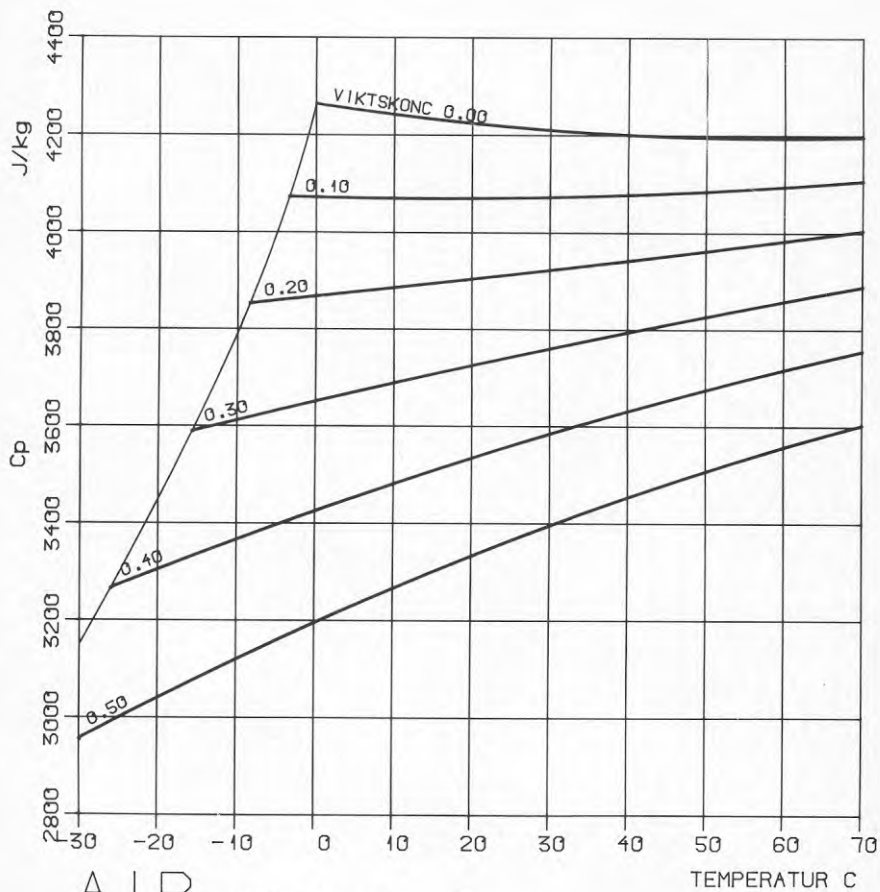
ETYLENGLYKOL
DENSITET

AIB källa Carrier

ETYLENGLYKOL
VÄRMEKONDUKTIVITET

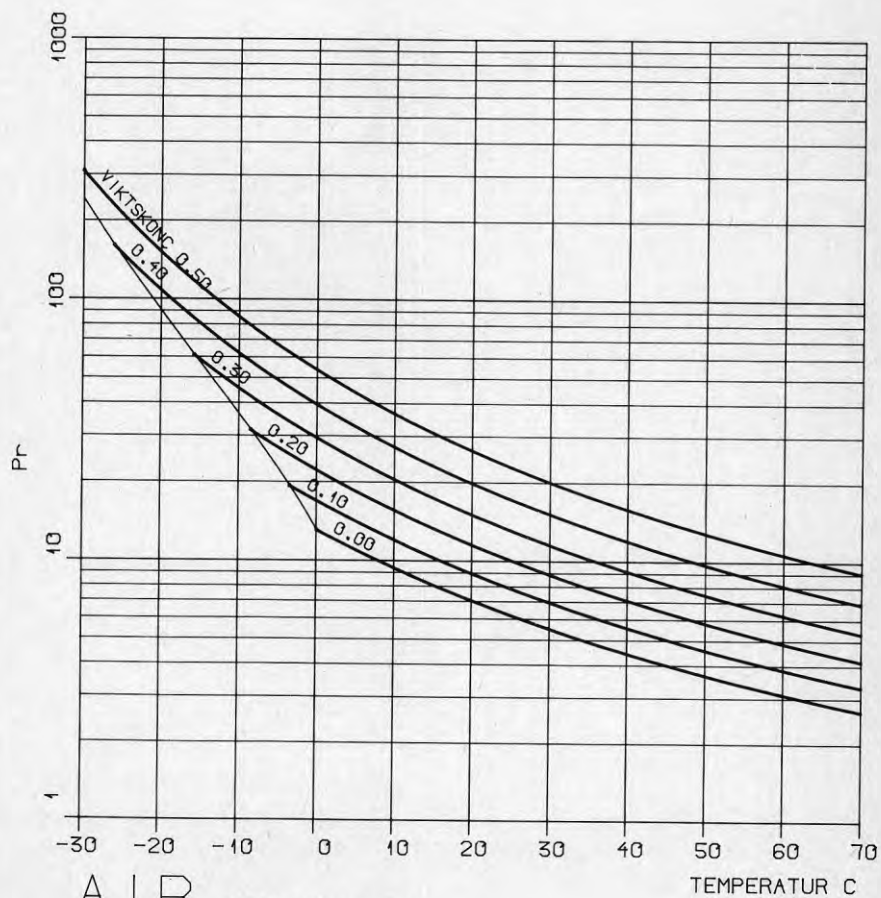
AIB kölla Carrier

ETYLENGLYKOL
Cp

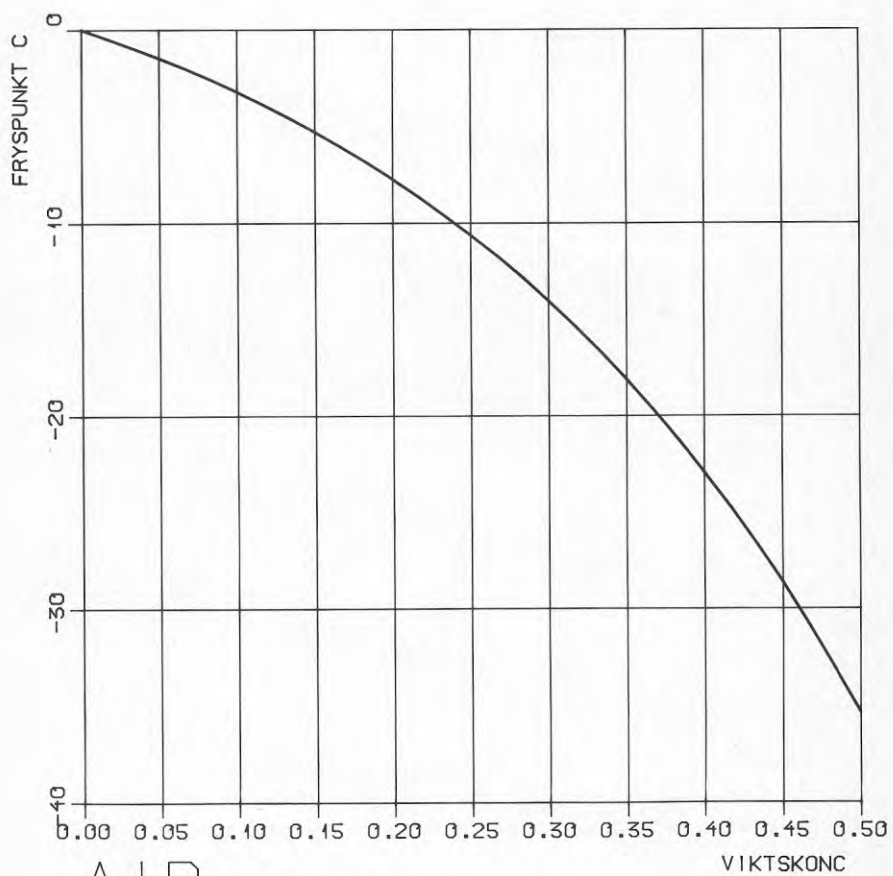


AIB källa Carrier

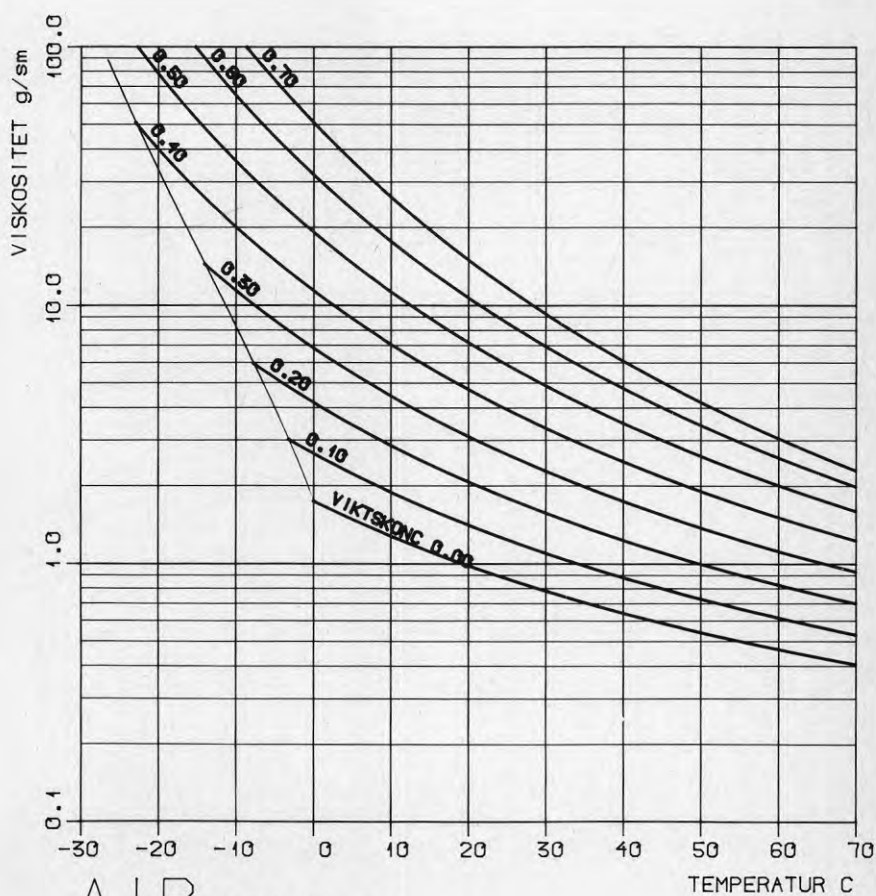
ETYLENGLYKOL
Pr



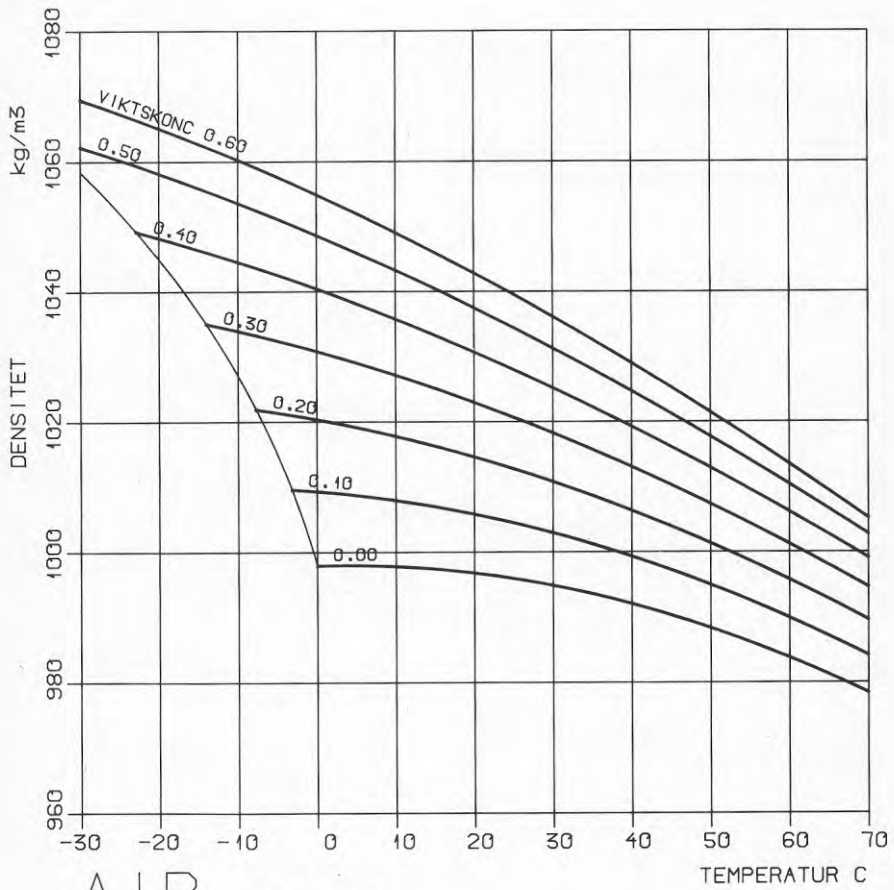
AIB kölla Carrier

PROPYLENGLYKOL
FRYSPUNKTSKURVA

AIB källa Carrier

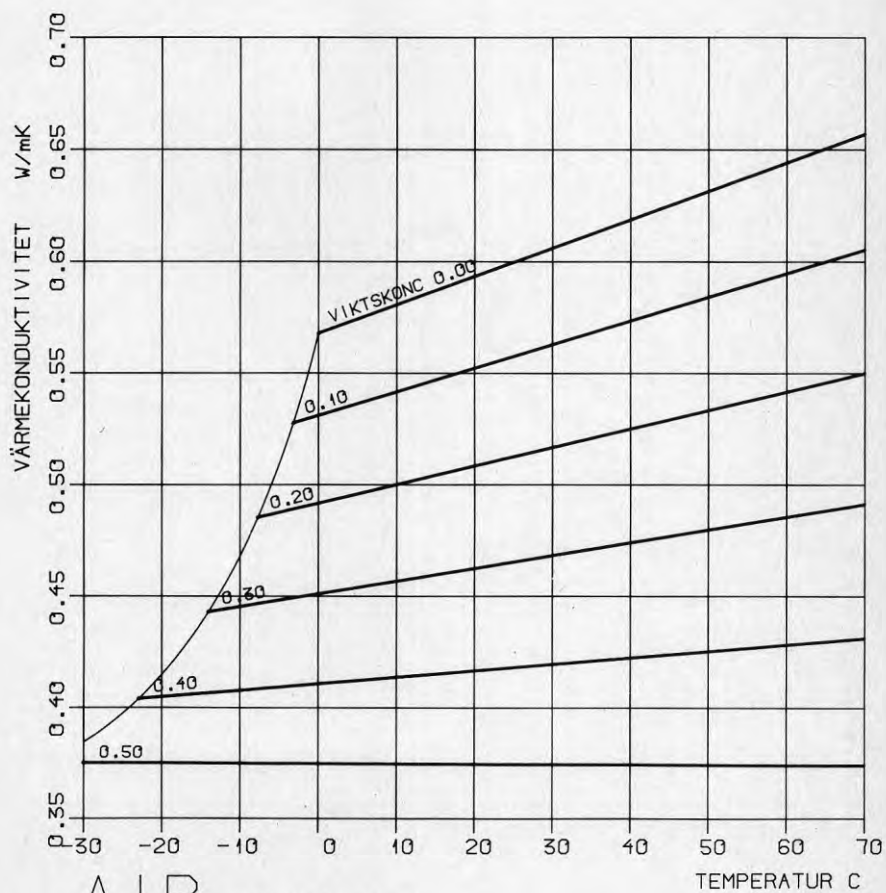
PROPYLENGLYKOL
DYNAMISK VISKOSITET

AIB källa Carrier

PROPYLENGLYKOL
DENSITET

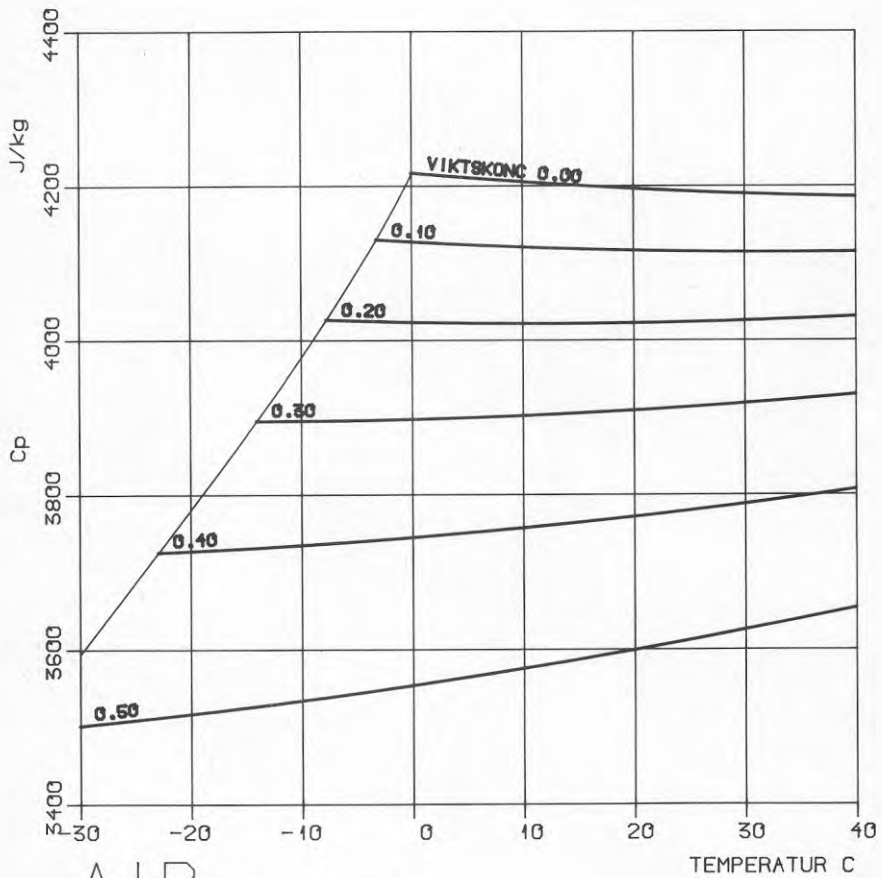
AIB KÄLLA Carrier

PROPYLENGLYKOL
VÄRMEKONDUKTIVITET



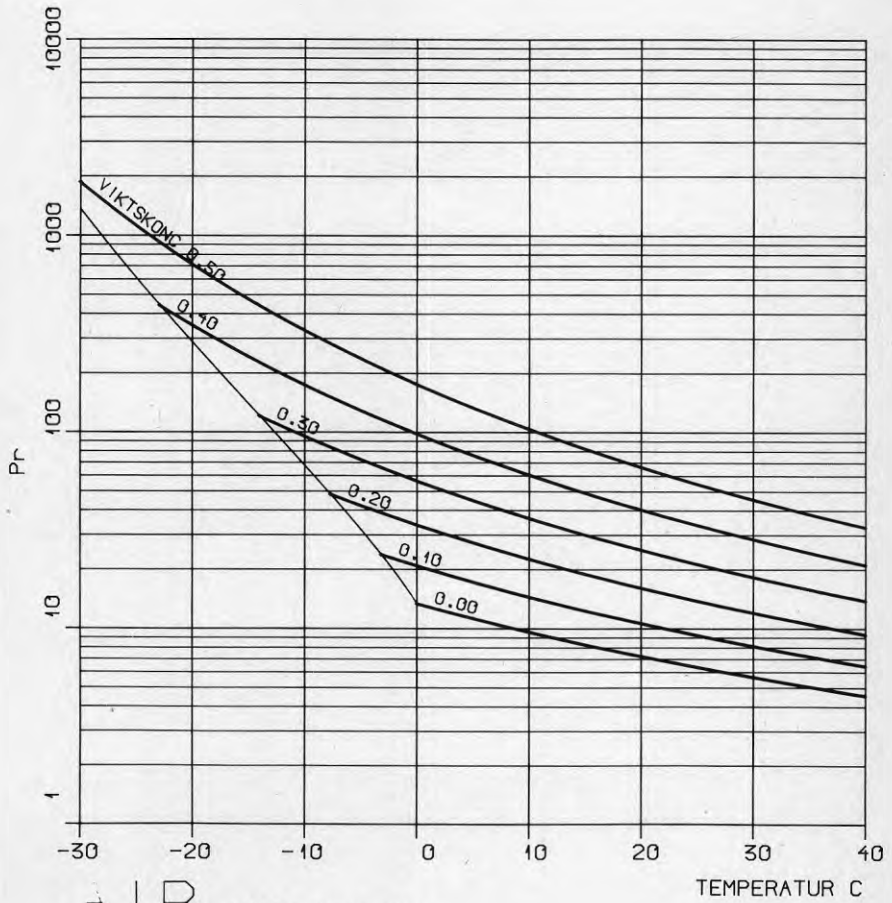
AIB

källa Carrier

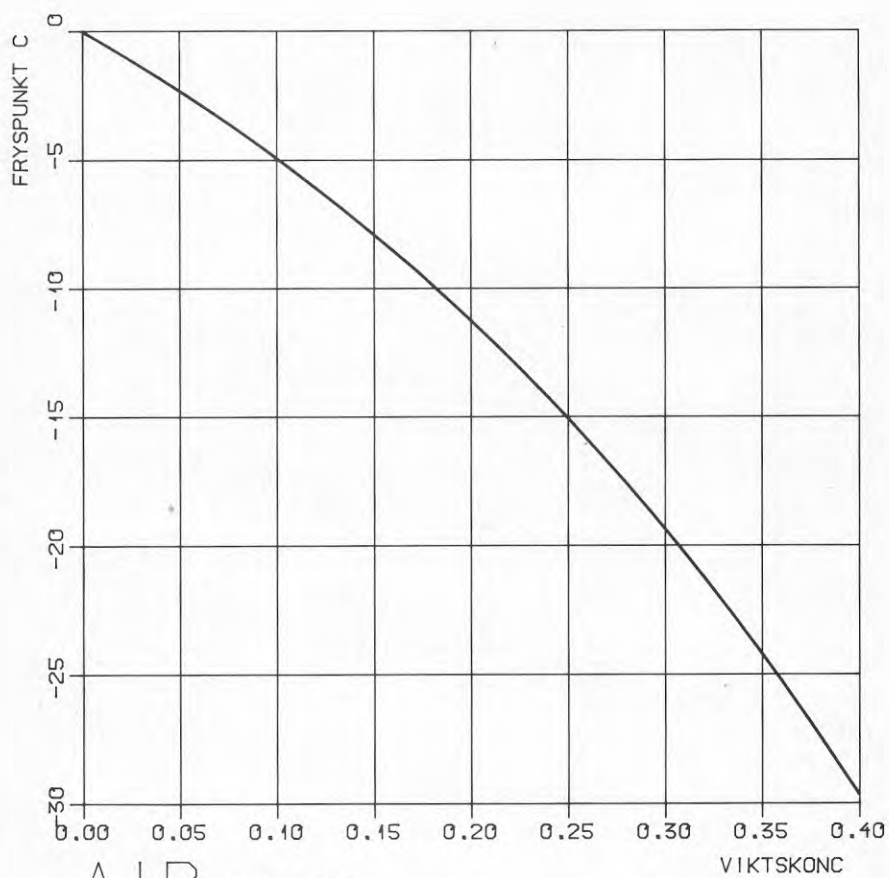
PROPYLENGLYKOL
Cp

AIB källa Carrier

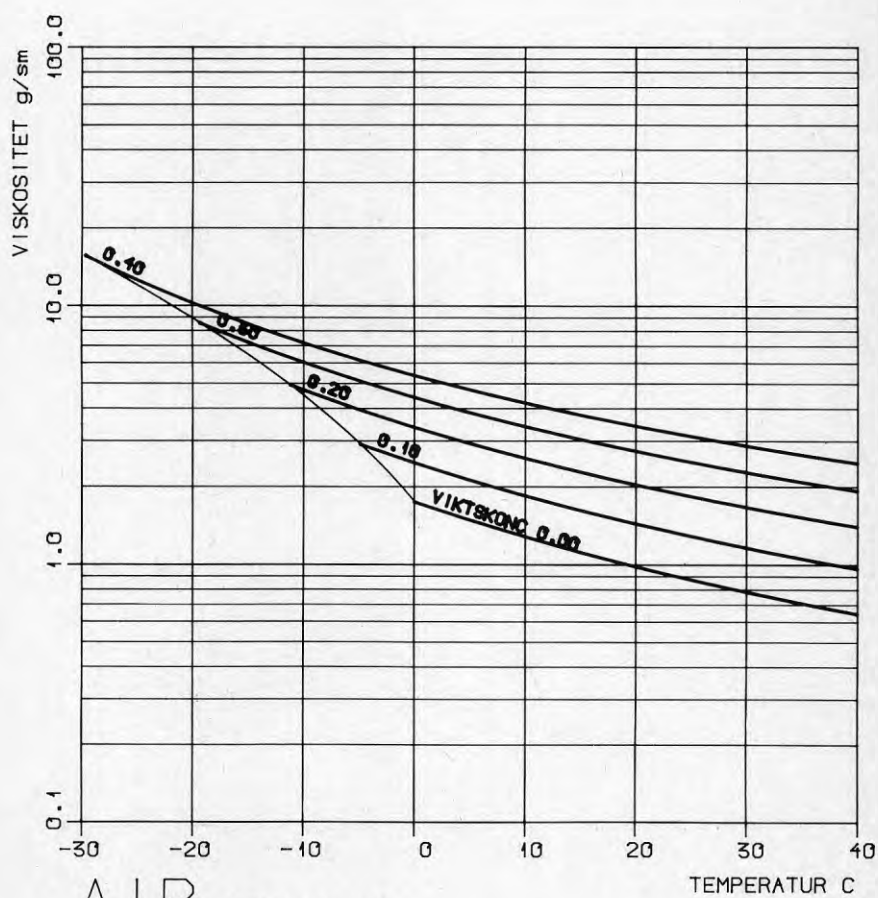
PROPYLENGLYKOL
Pr



AIB källa Carrier

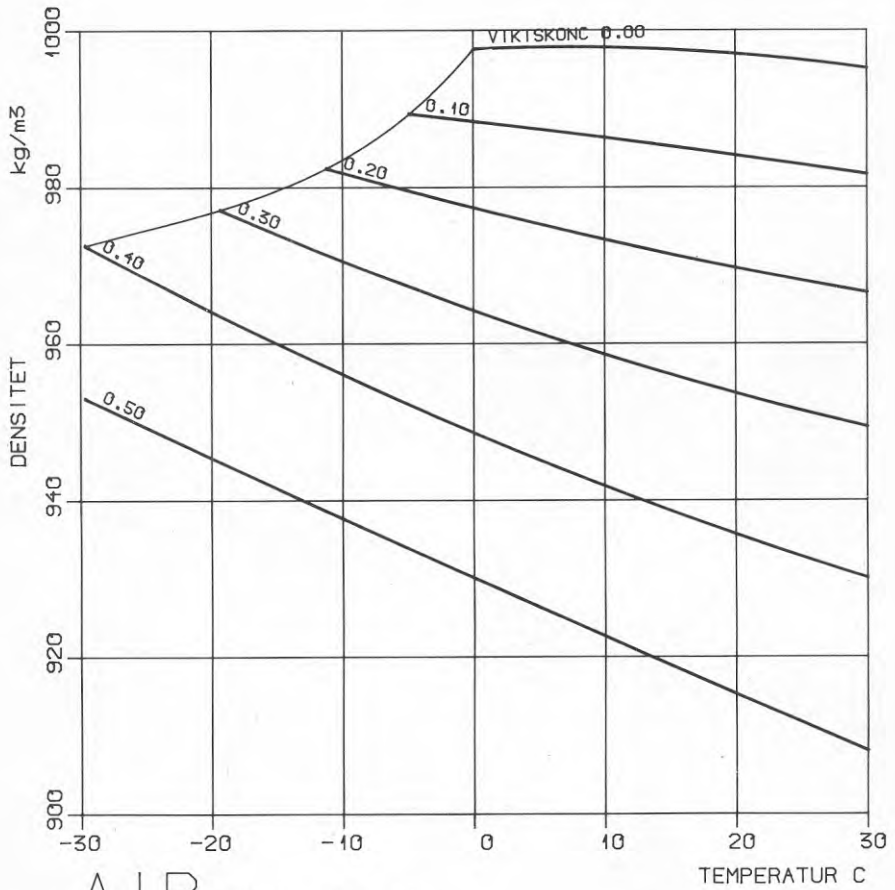
ETANOL
FRYSPUNKTSKURVA

AIB källa CRC

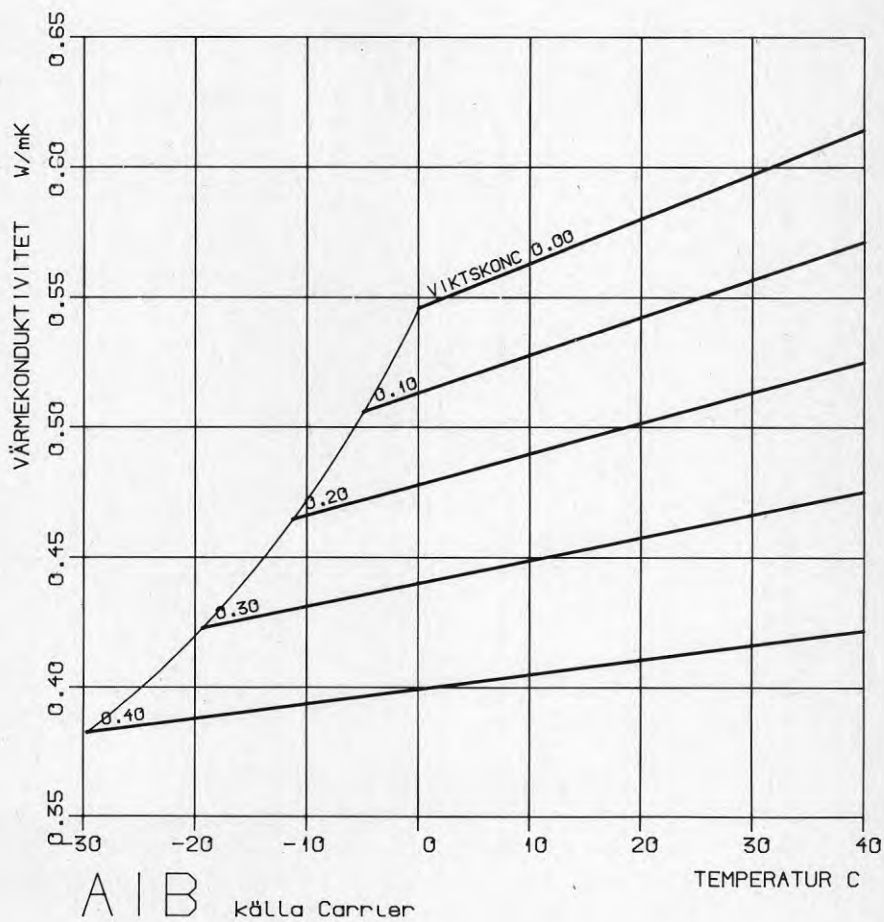
ETANOL
DYNAMISK VISKOSITET

AIB källa Carrier

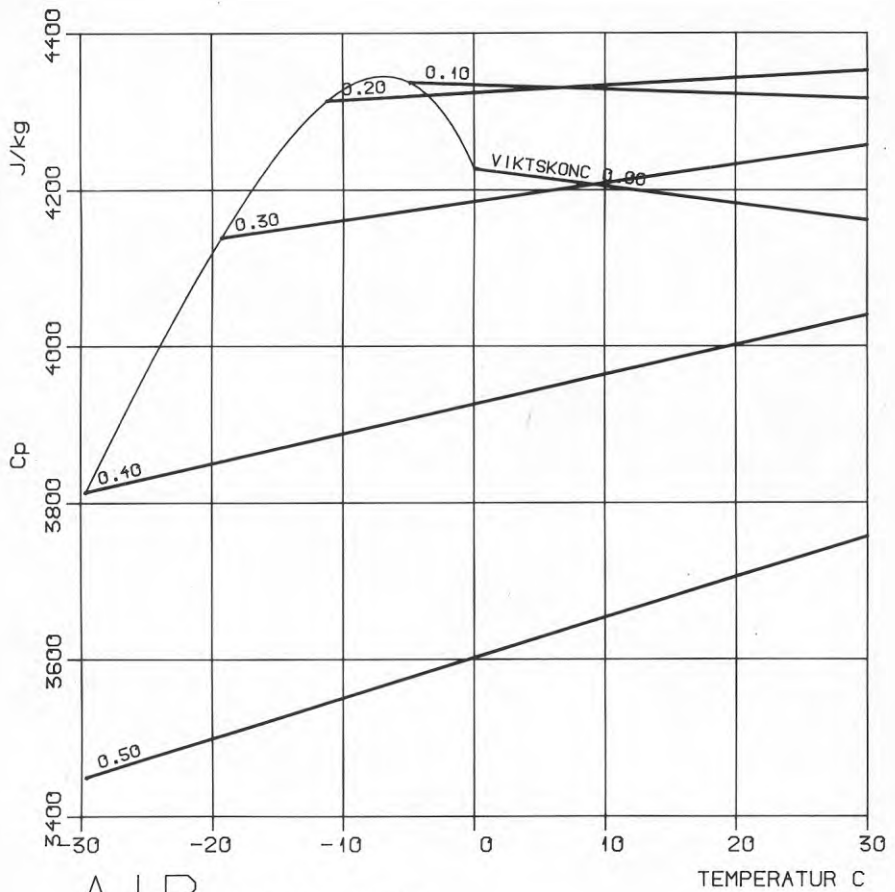
ETANOL
DENSITET



AIB källa Carrier

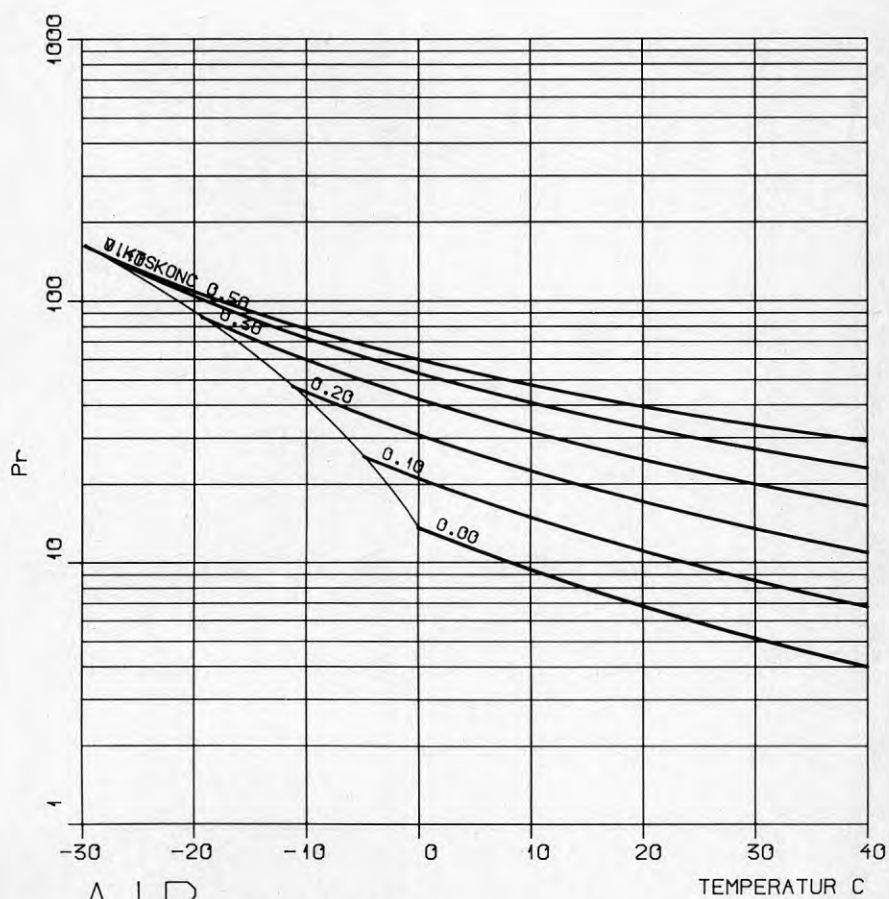
ETANOL
VÄRMEKONDUKTIVITET

ETANOL
Cp

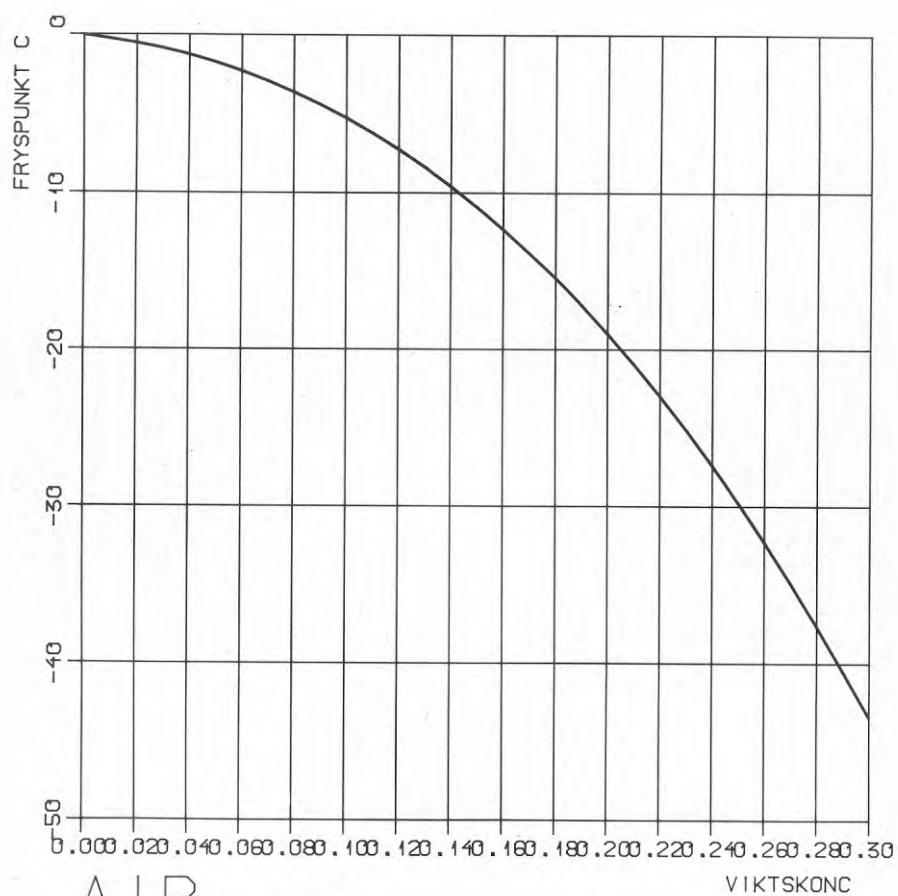


AIB källa Carrier

ETANOL
Pr

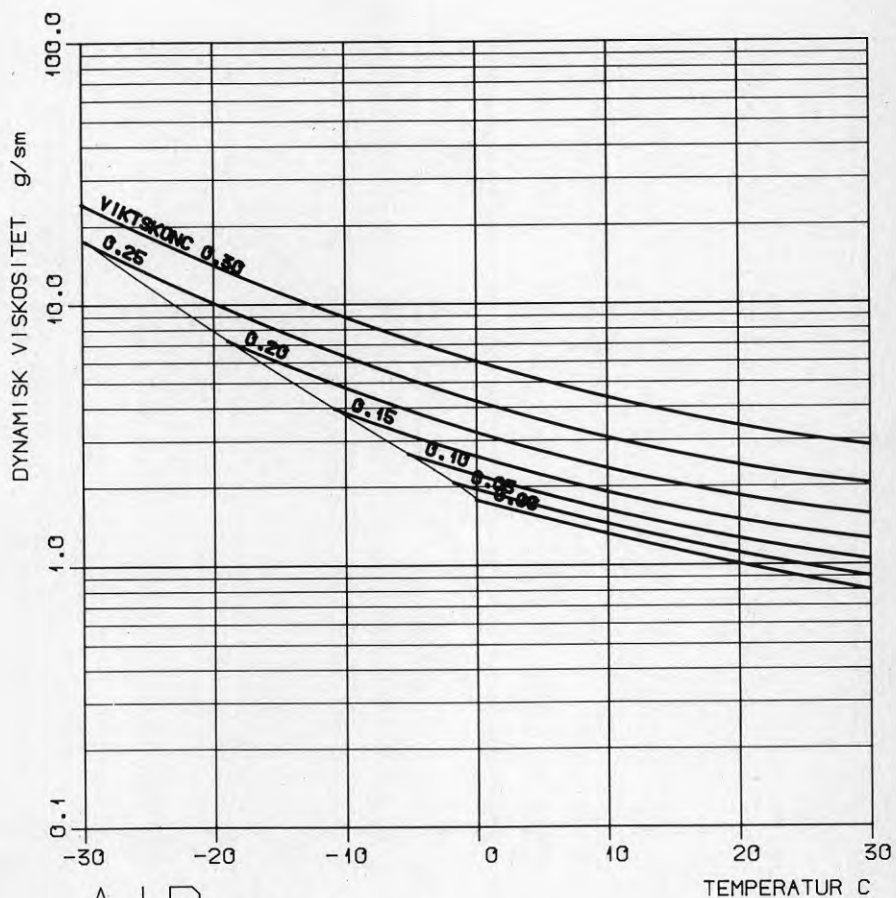


AIB källa Carrier

KALCIUMKLORID
FRYSPUNKTSKURVA

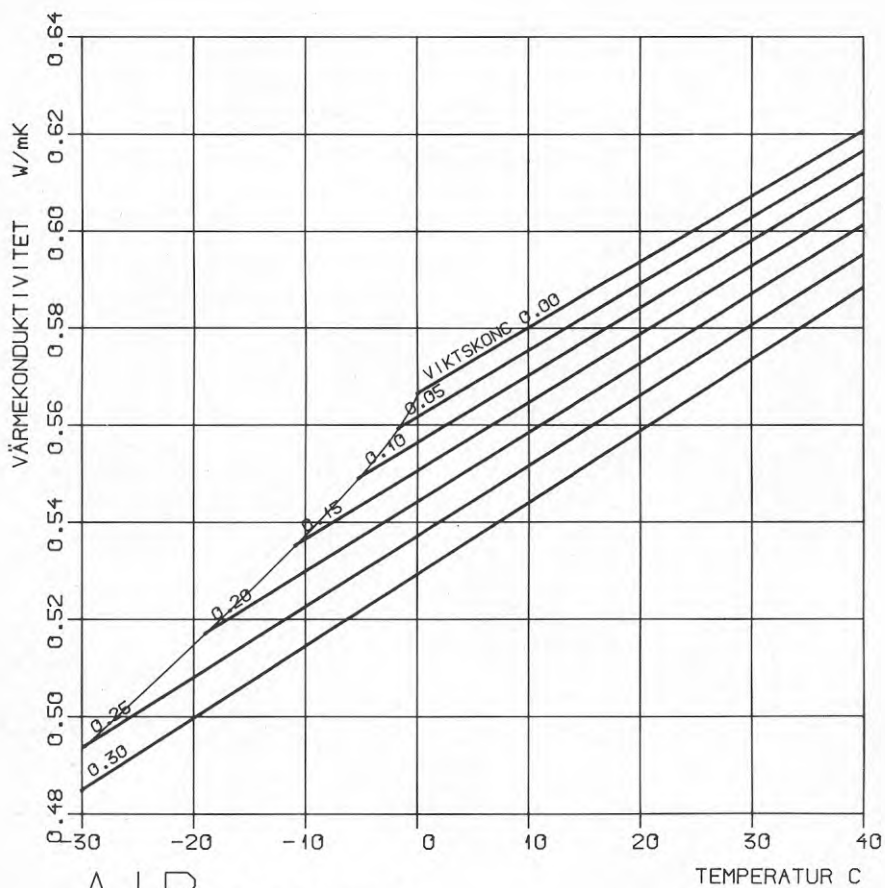
A I B källa CRC

KALCIUMKLORID
DYNAMISK VISKOSITET

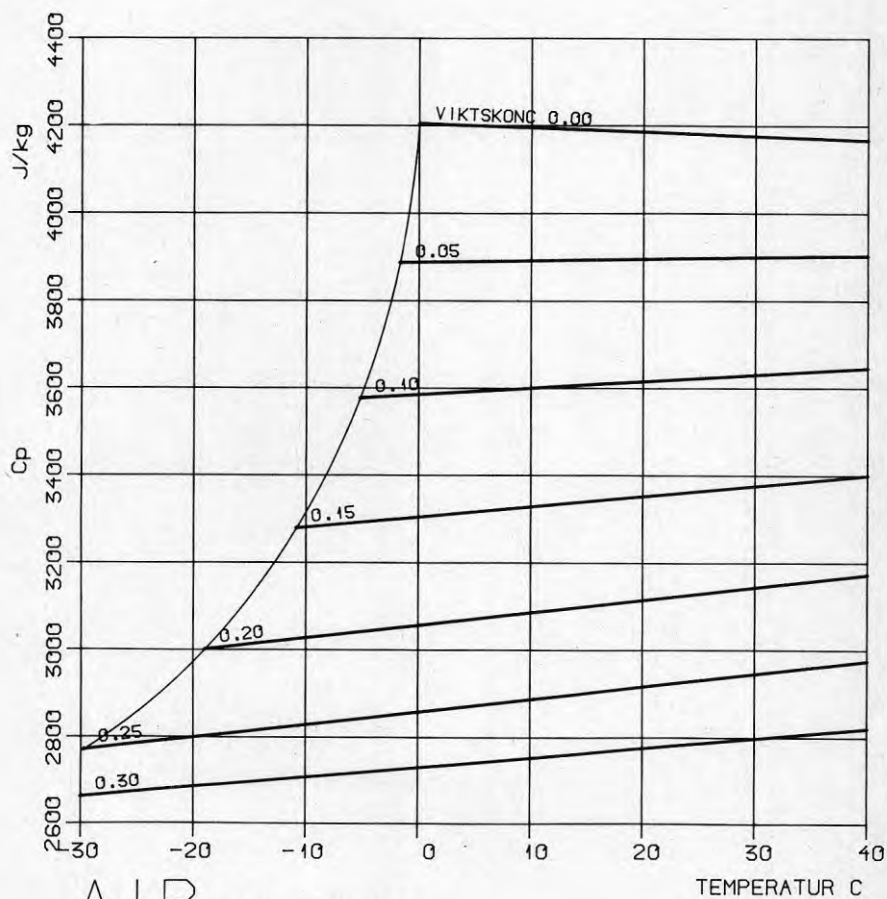


AIB källa Carr-Ler

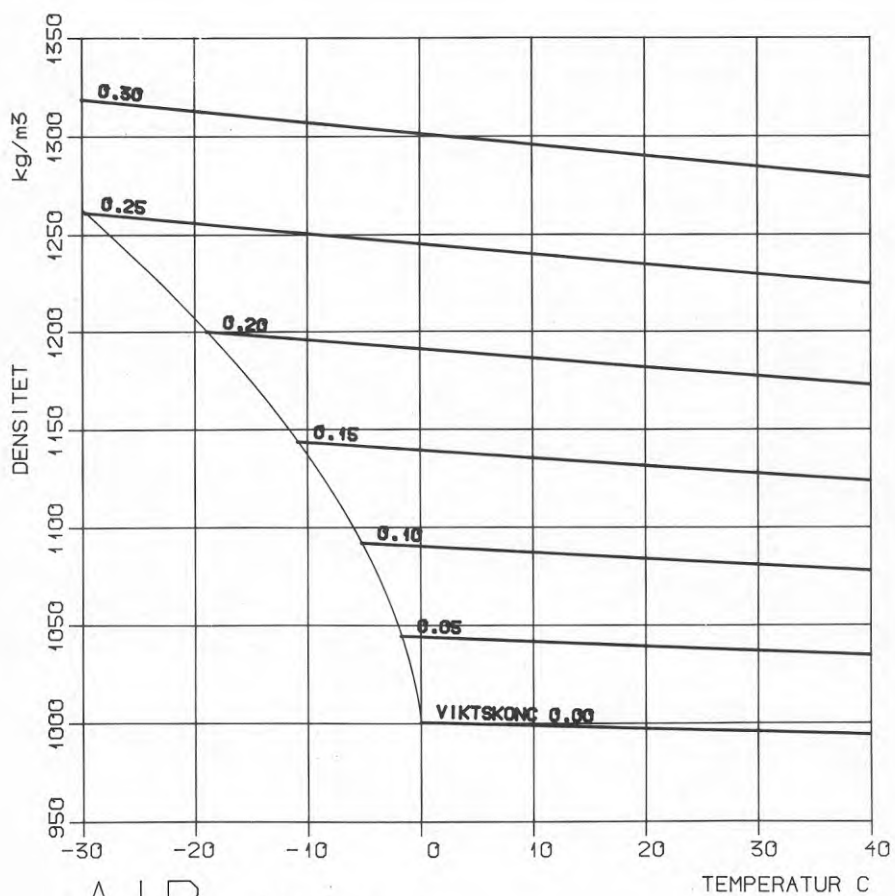
KALCIUMKLORID
VÄRMEKONDUKTIVITET



AIB källa Carrier

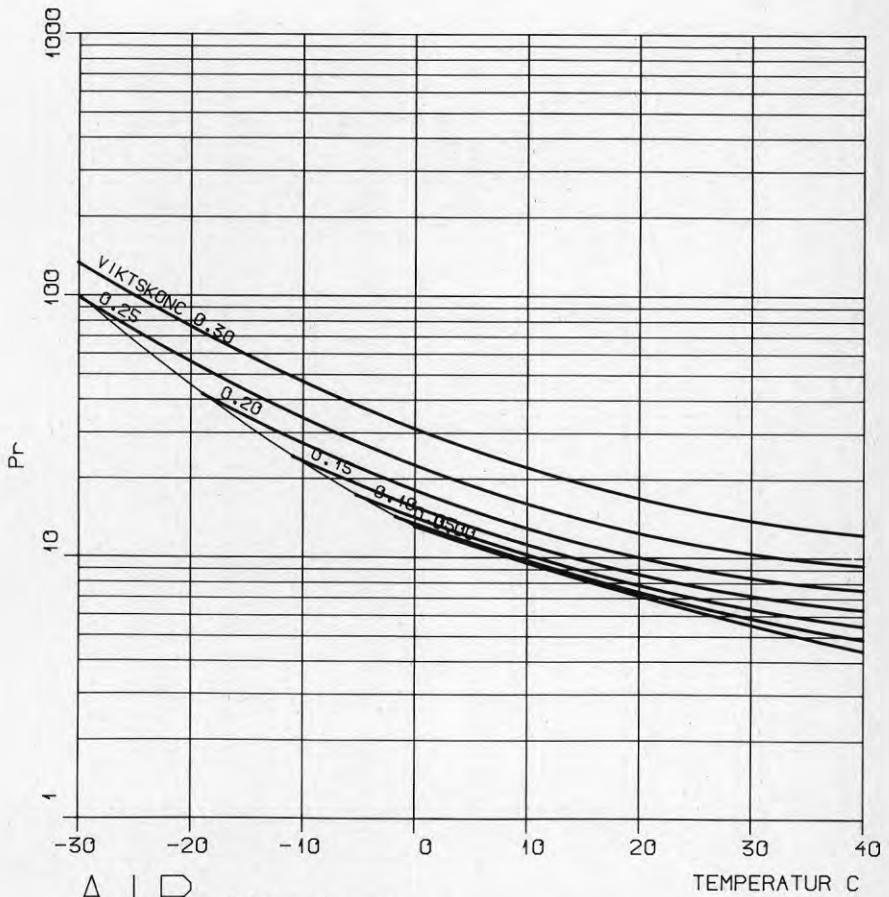
KALCIUMKLORID
Cp

AIB källa Carrier

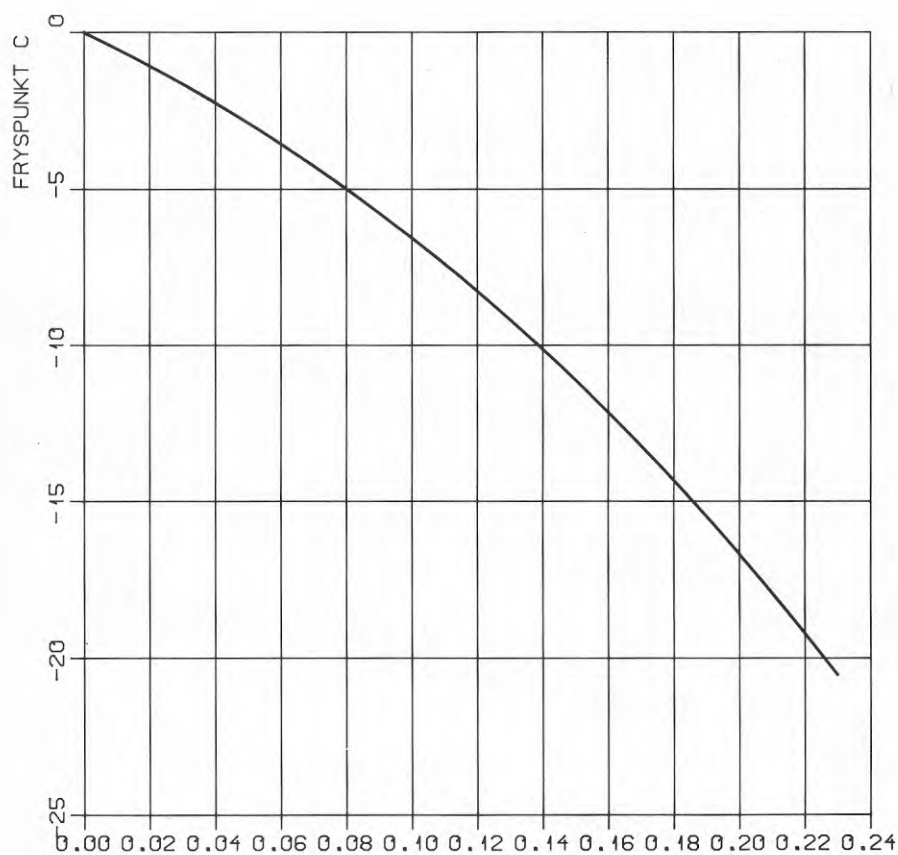
KALCIUMKLORID
DENSITET

AIB källa Carrier

KALCIUMKLORID
Pr



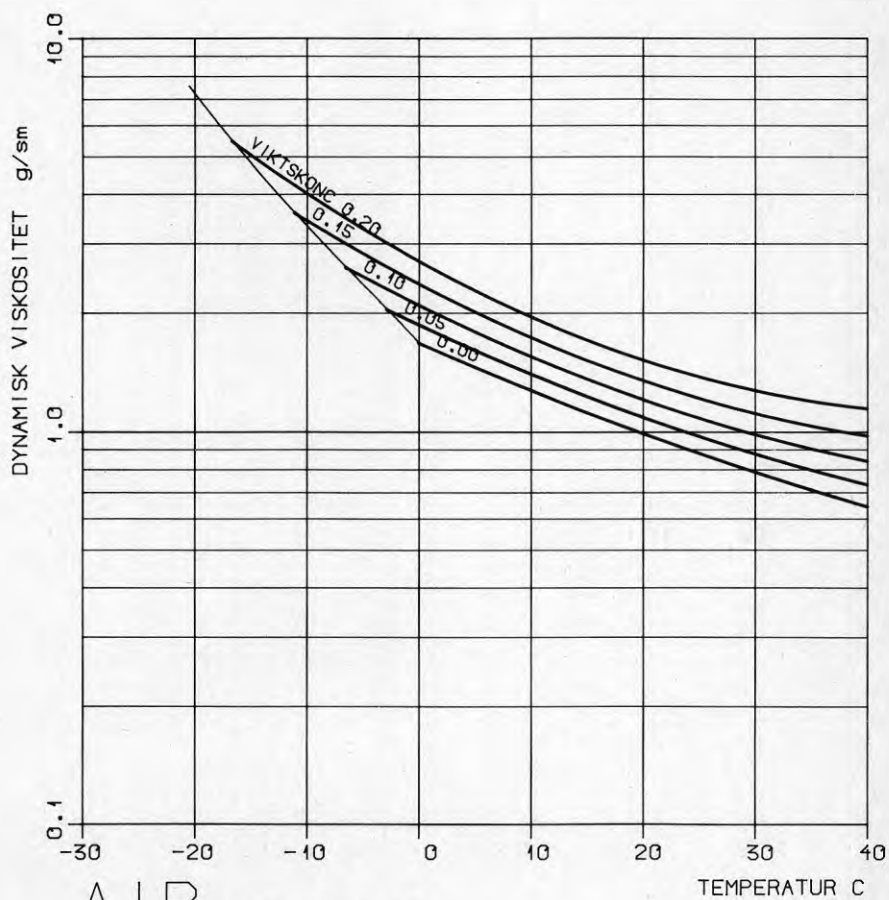
AIB källa Carrier

NATRIUMKLORID
FRYSPUNKTSKURVA

A I B källa CRC

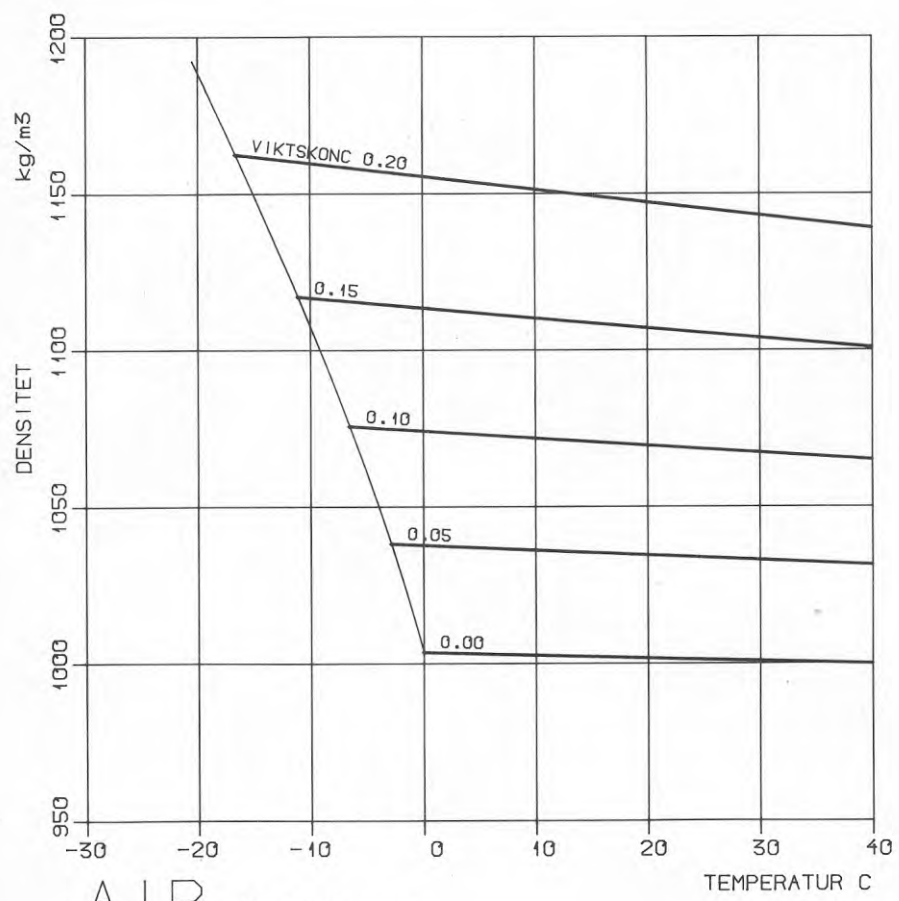
VIKTSKONC

NATRIUMKLORID
DYNAMISK VISKOSITET

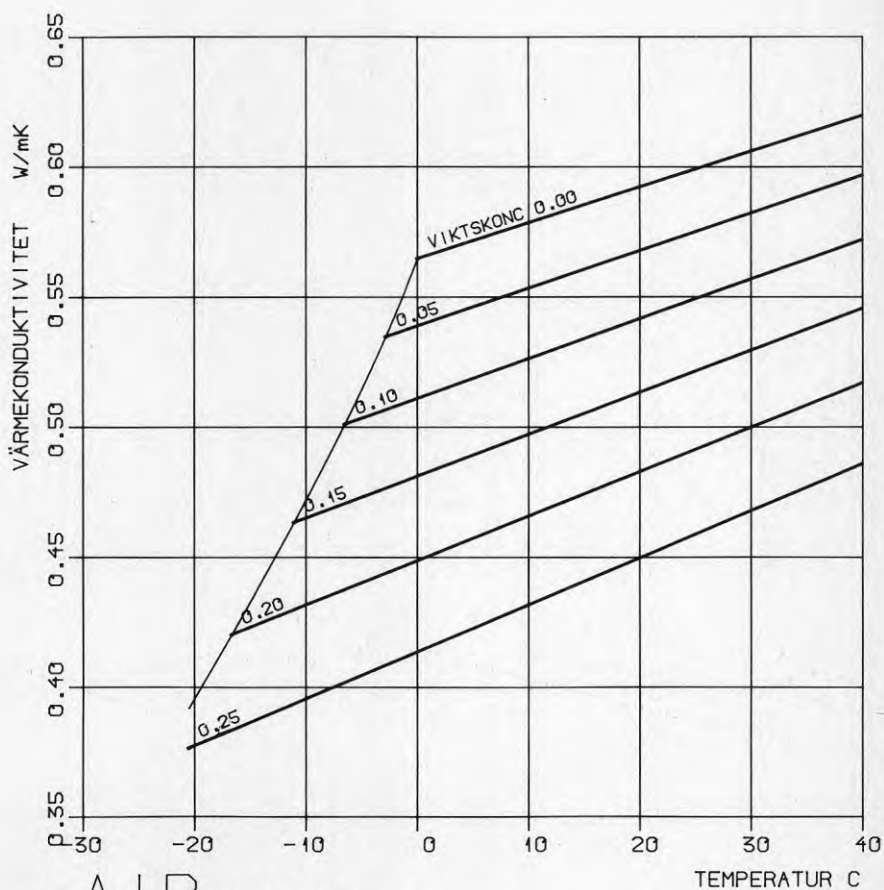


AIB källa Carr-Ler

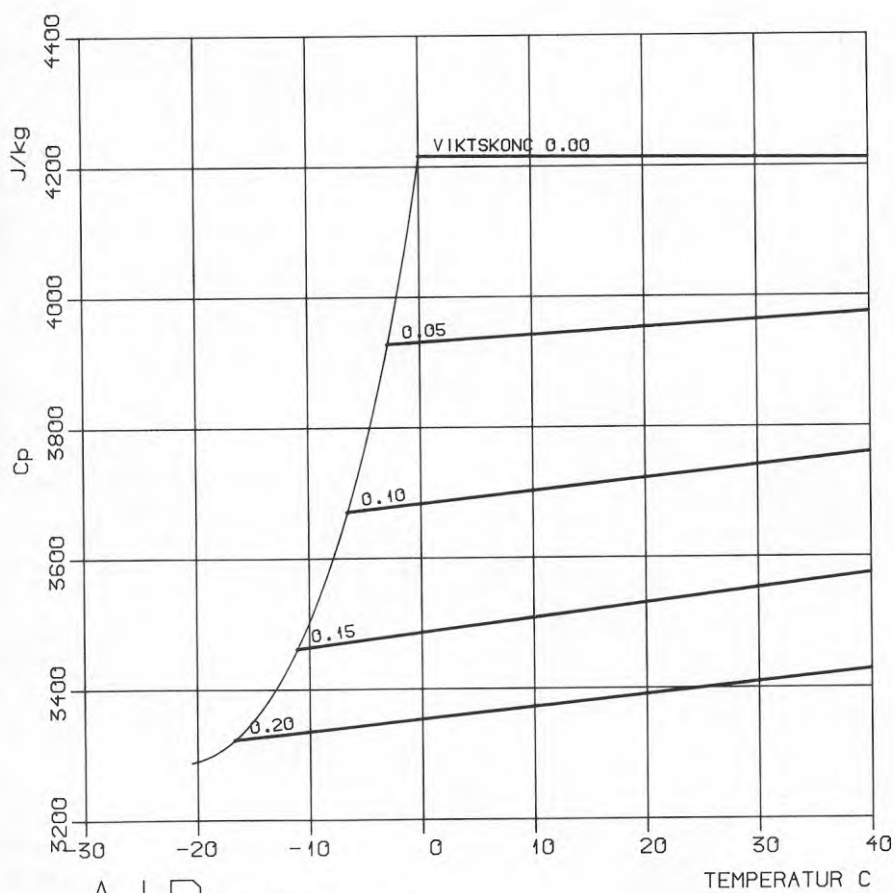
NATRIUMKLORID
DENSITET



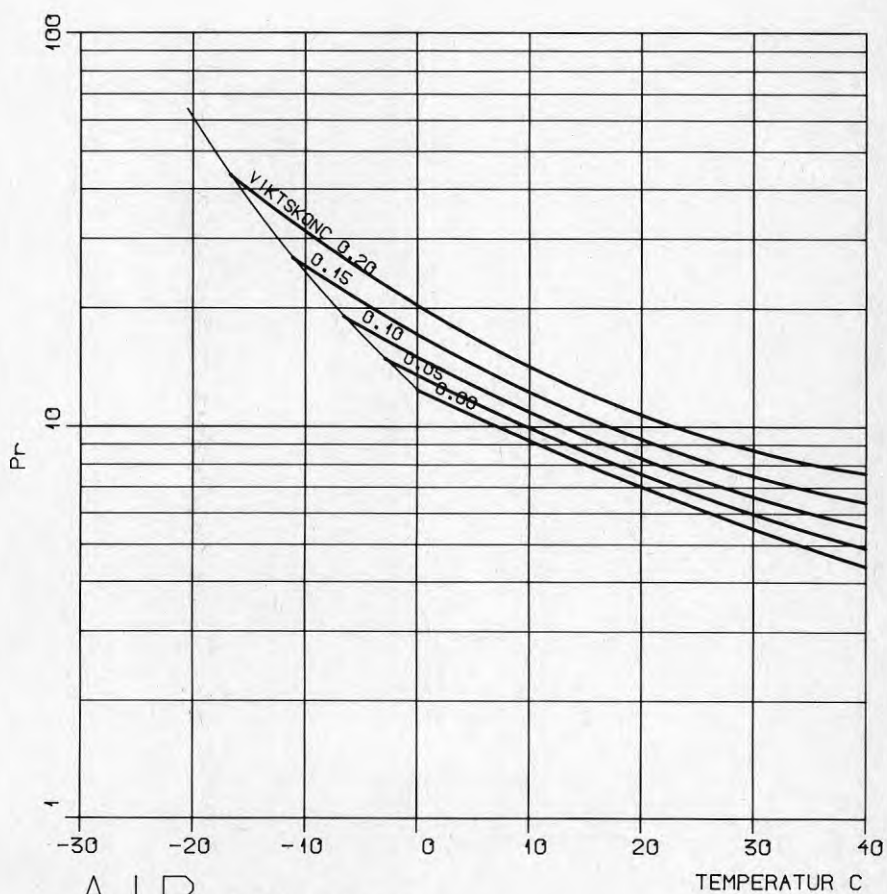
A I B källa Carrier

NATRIUMKLORID
VÄRMEKONDUKTIVITET

AIB källa Carrier

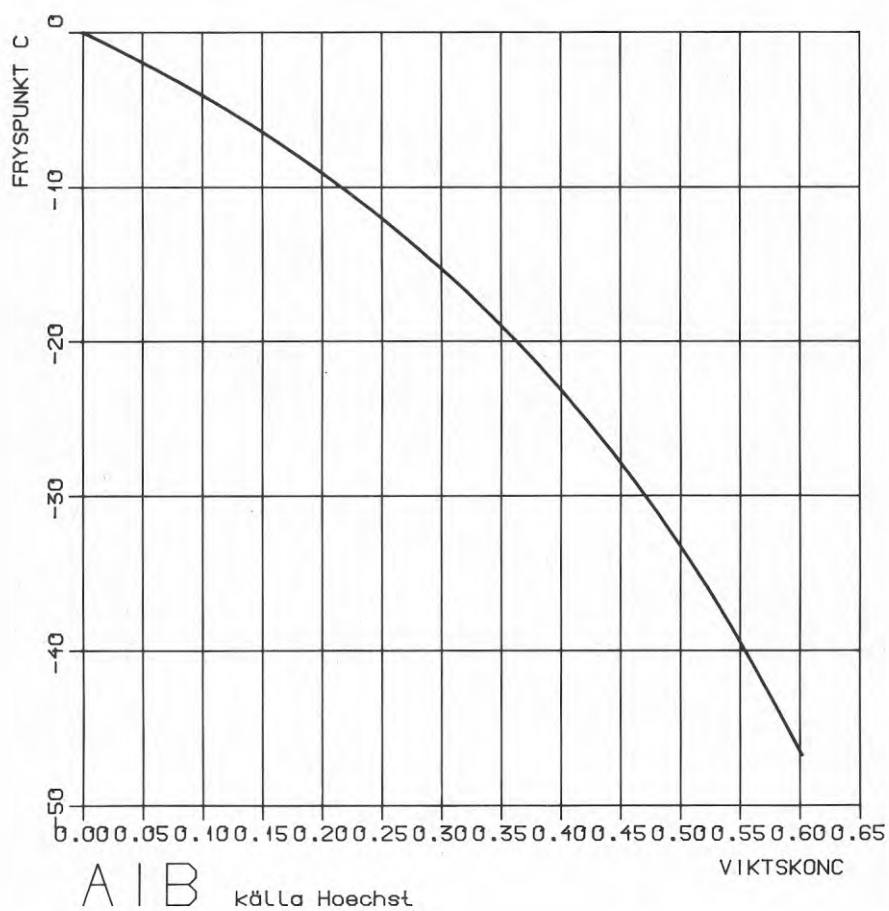
NATRIUMKLORID
Cp

AIB källa Carrier

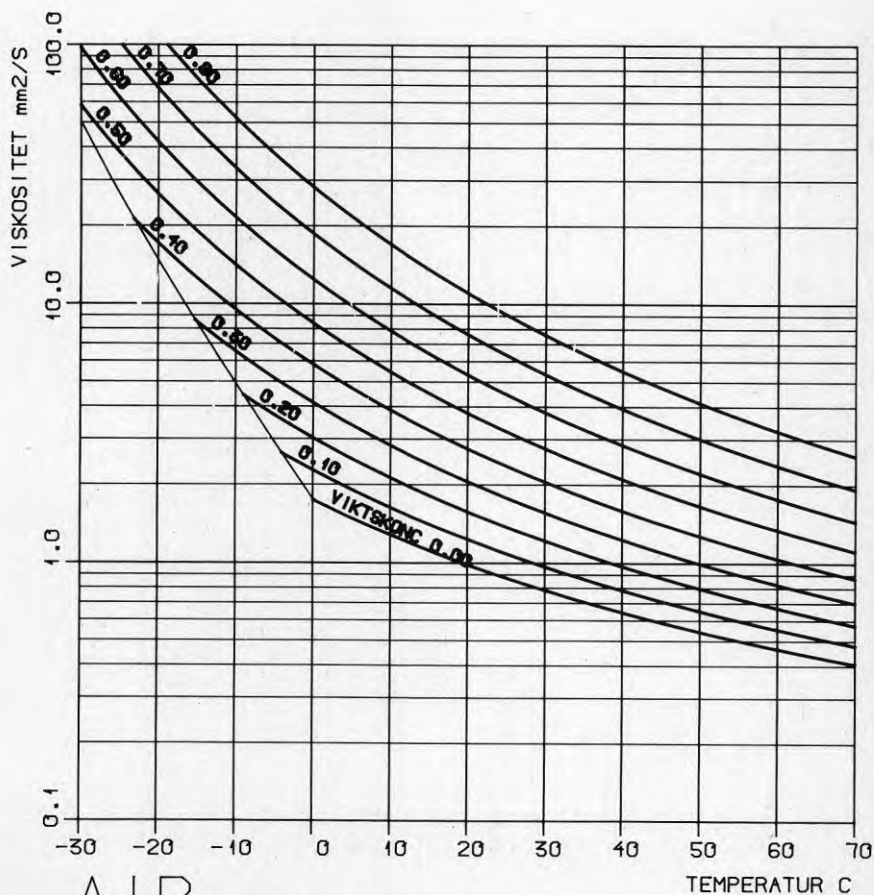
NATRIUMKLORID
Pr

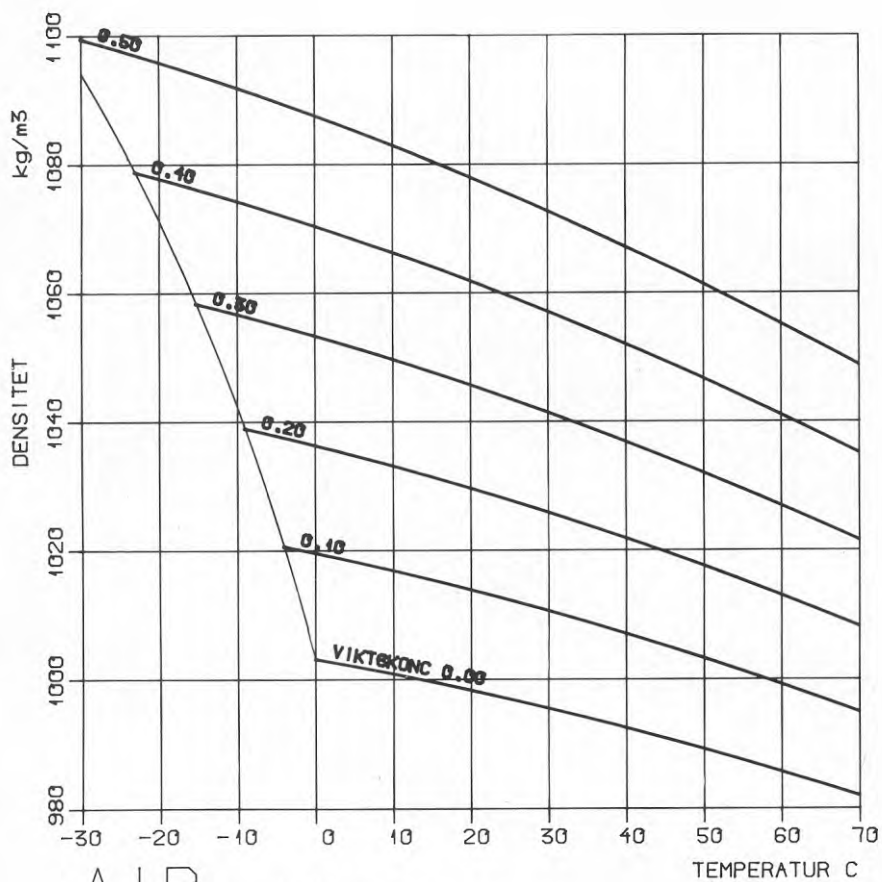
AIB källa Carrier

ANTIFROGEN N (ETYLENGLYKOL)
FRYSPUNKTSKURVA



ANTIFROGEN N (ETYLENGLYKOL)
KINEMATISK VISKOSITET

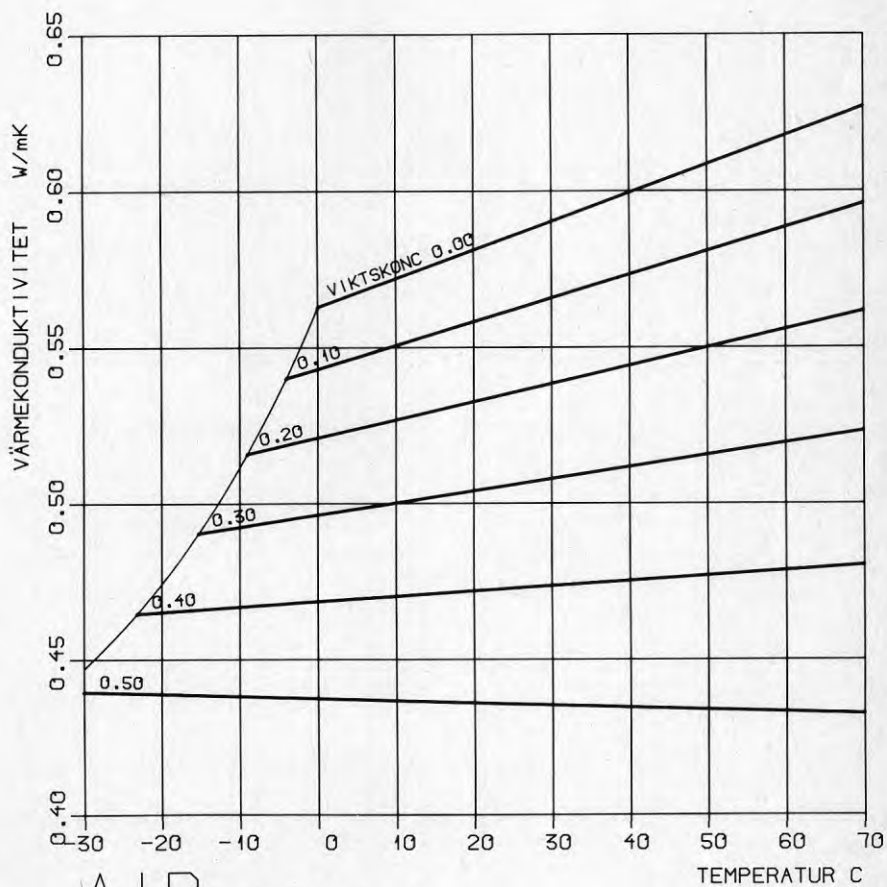


ANTIFROGEN N (ETYLENGLYKOL)
DENSITET

AIB

källa Hoechst

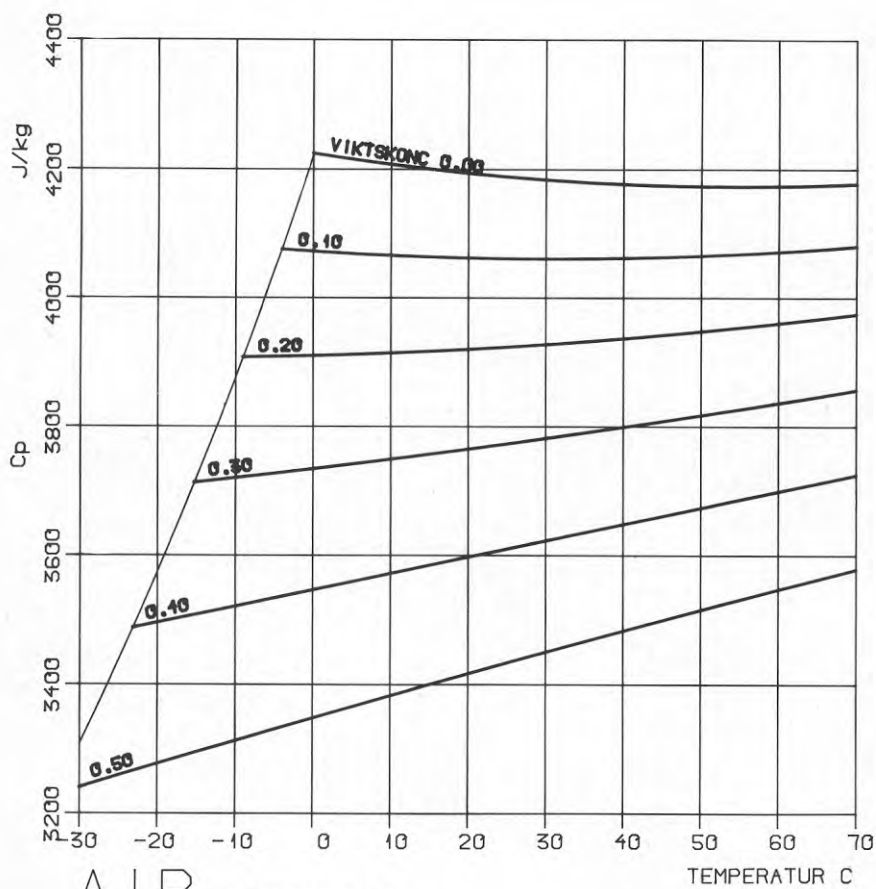
ANTIFROGEN N (ETYLENGLYKOL)
VÄRMEKONDUKTIVITET



AIB

källa Hoechst

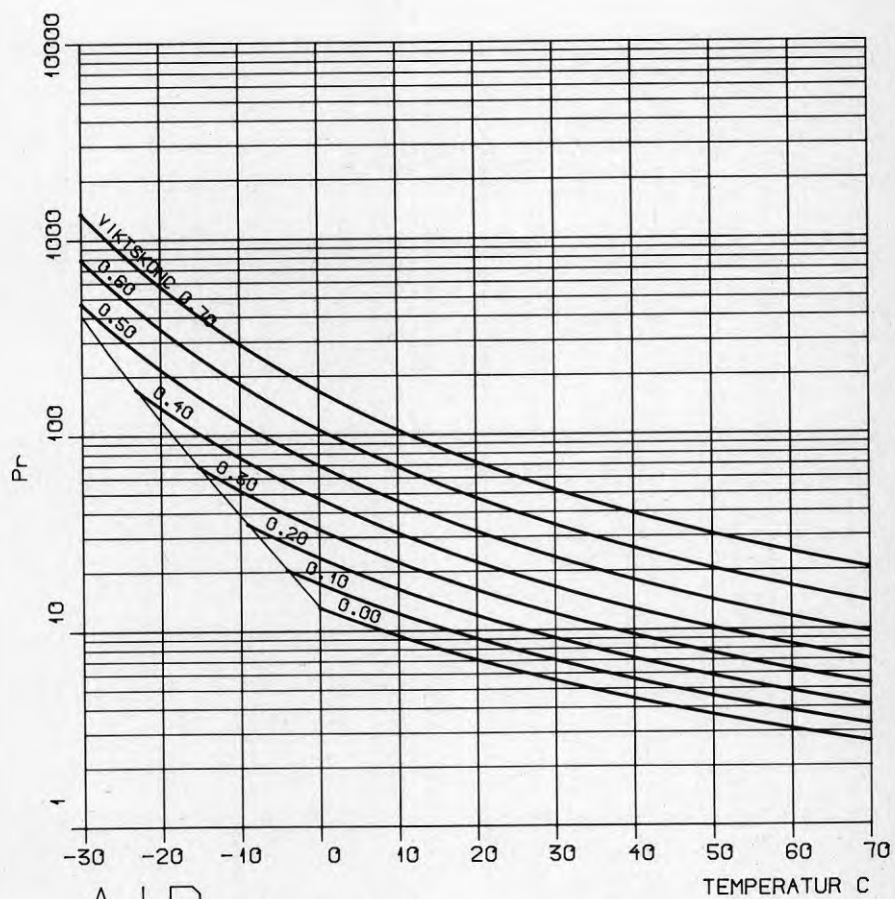
ANTIFROGEN N (ETYLENGLYKOL)
Cp



AIB källa Hoechst

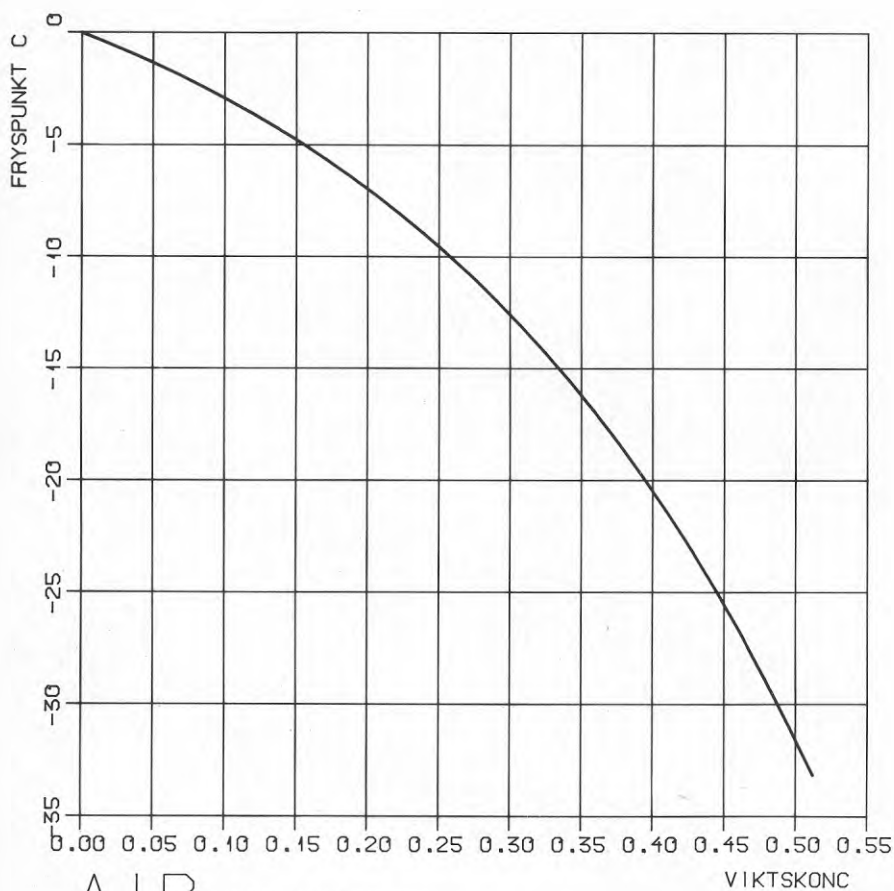
ANTIFROGEN N (ETYLENGLYKOL)

Pr



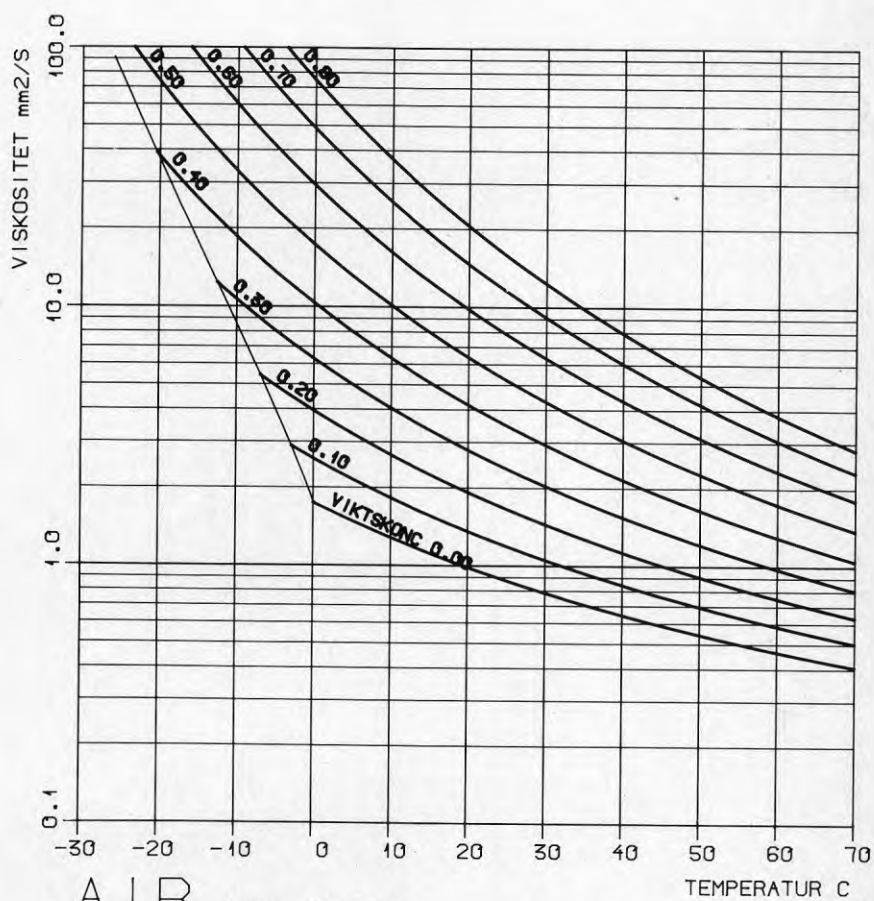
AIB källa Hoechst

ANTIFROGEN L (PROPYLENGLYKOL)
FRYSPUNKTSKURVA



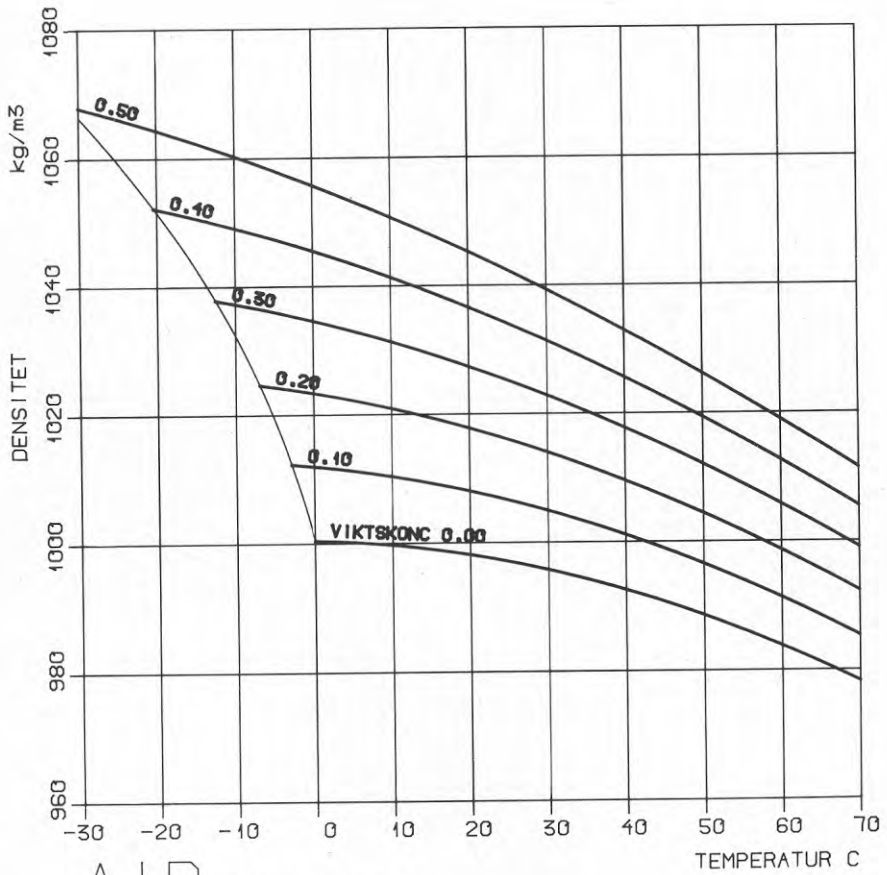
AIB källa Hoechst

ANTIFROGEN L (PROPYLENGLYKOL)
KINEMATISK VISKOSITET



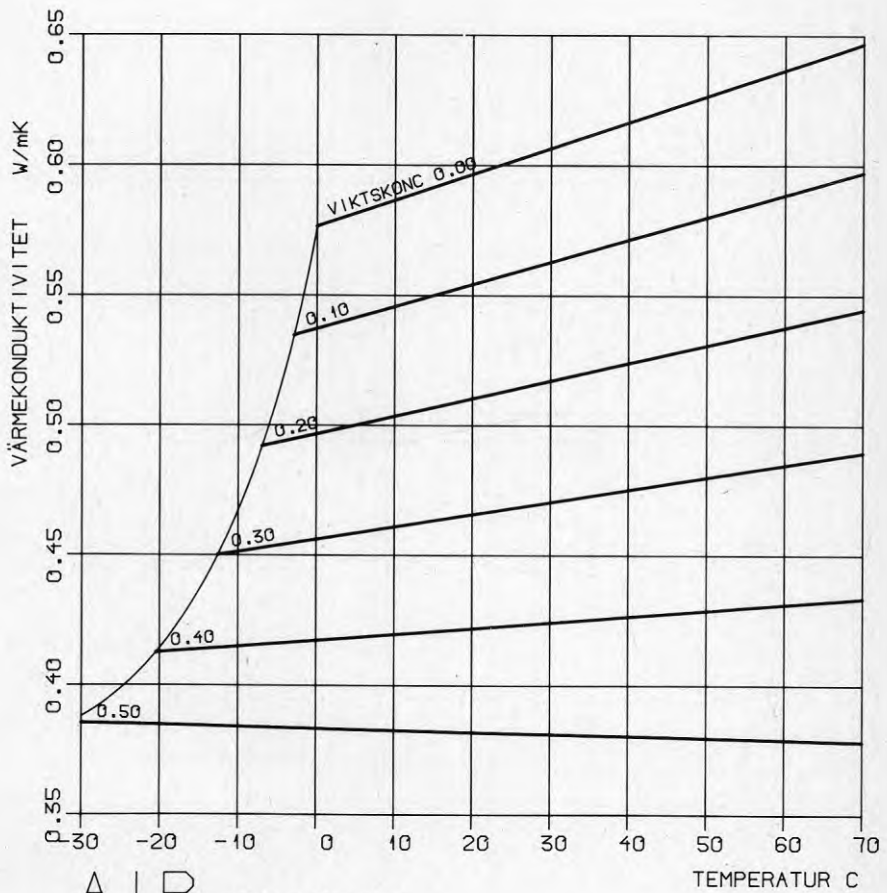
AIB källa Hoechst

ANTIFROGEN L (PROPYLENGLYKOL)
DENSITET



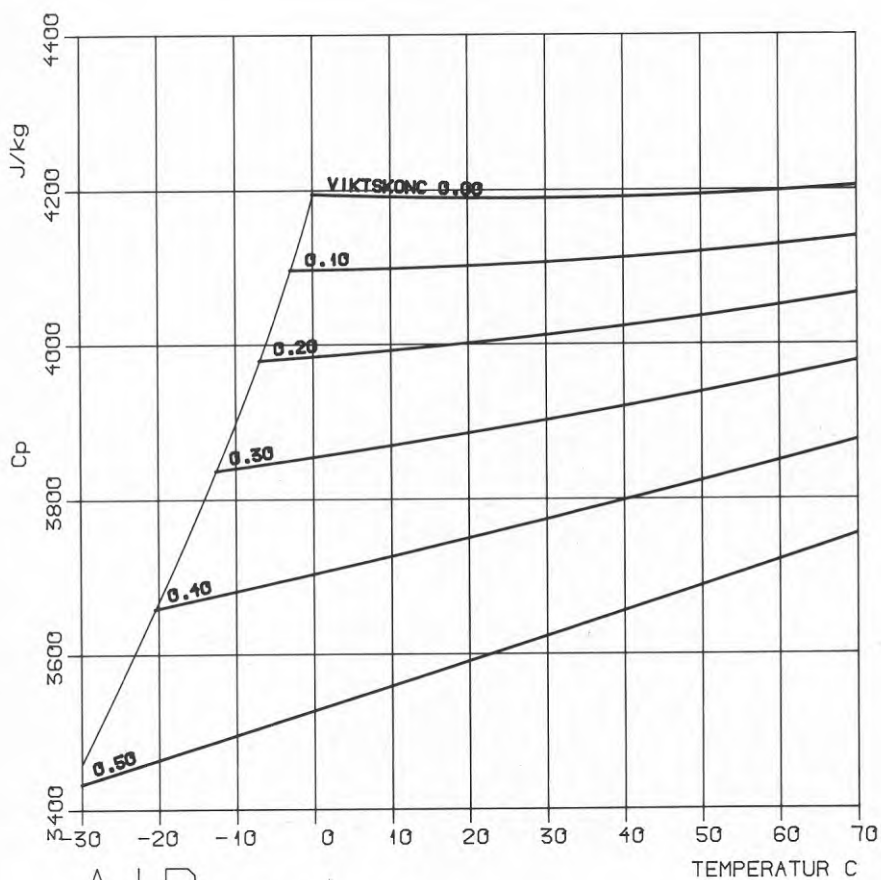
AIB källa Hoechst

ANTIFROGEN L (PROPYLENGLYKOL)
VÄRMEKONDUKTIVITET



ANTI FROGEN L (PROPYLENGLYKOL)

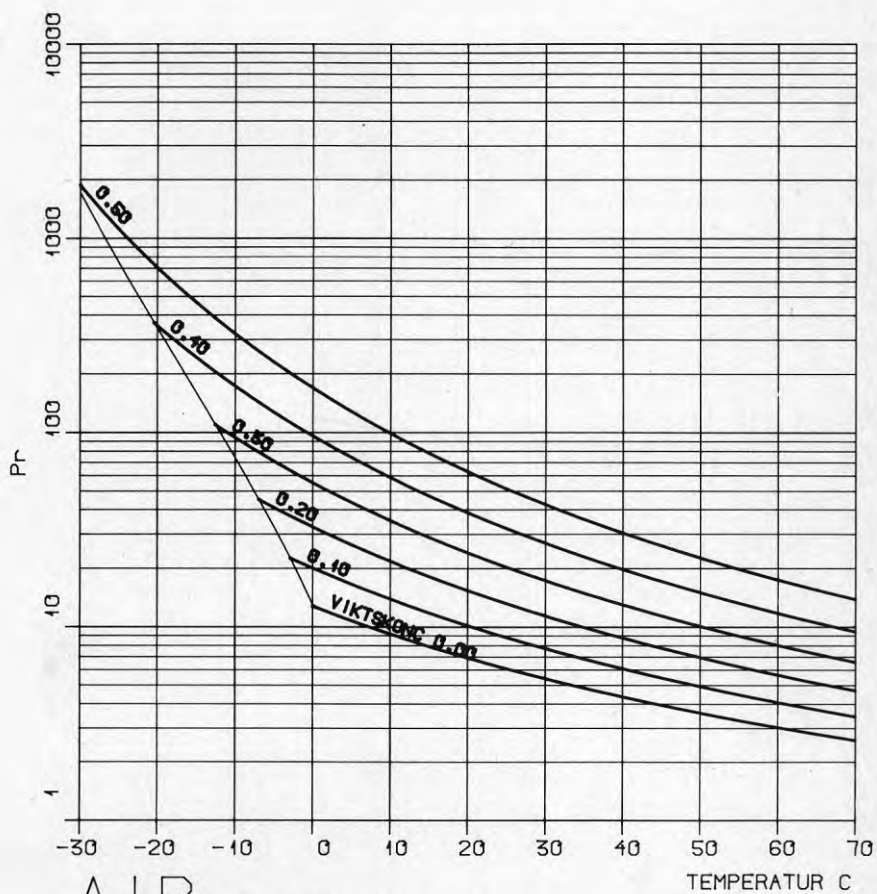
Cp



AIB

källa Hoechst

ANTIFROGEN L (PROPYLENGLYKOL)
Pr



AIB

källa Hoechst

4.2.2 Övriga egenskaper

Ytspänning

Ytspänningen ger bl a en uppfattning om tendenserna att läcka ut genom t ex smala spalter, sprickor m m. Ju högre ytspänning desto mindre benägenhet att "krypa" ut.

För rena ämnen gäller följande:

Förening	Ytspänning (20°C) (mN/m)
Etylenglykol	48
Propylenglykol	36
Etanol	22
Vatten	73
Kloridsaltlösningar	något högre än för rent vatten, mer ju högre salthalt

Ytspänningen ökar med sjunkande temperatur. För etanol är ytspänningen ungefär enligt nedan.

	Ytspänning (mN/m)
Etanol -10°C	24,5
0°	24,0
20°	22,0
40°	20,5
60°	19,0

Vid utspädning med vatten ökar lösningens ytspänning. För de vanliga organiska föreningarna är koncentrationsberoendet enligt figur 4-1.

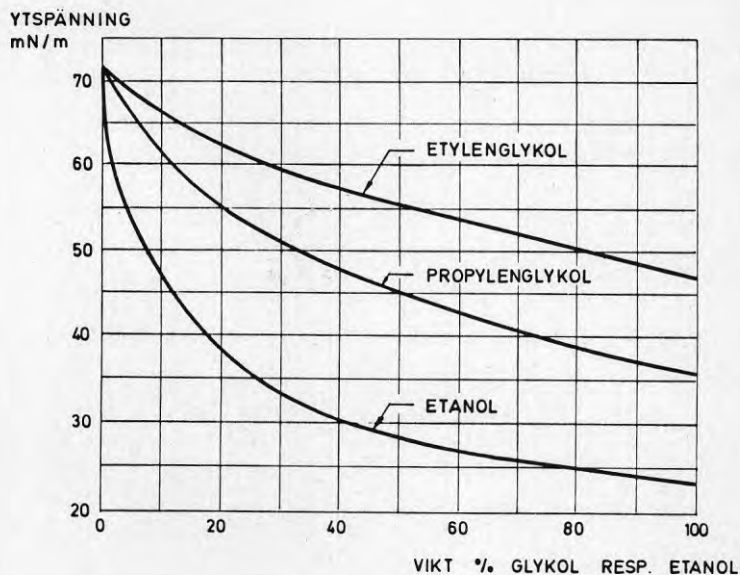


Fig 4.1 Ytspänning för etylenglykol-, propylenglykol- och etanol-vattenblandningar vid 25°C

Övrigt

I detta avsnitt återges i tabellform data om bl a densitet, brytningsindex, kinematisk viskositet, fryspunkt och elektrisk ledningsförmåga för flera vanliga föreningar som kan användas som köldbärare. De olika föreningarna är etylenglykol, propylenglykol, etanol, metanol, kalciumklorid, natriumklorid (koksalt), magnesiumklorid och kaliumkarbonat. Uppgifterna är hämtade från /CRC-76/.

I tabellerna ingår följande uppgifter:

I tabellhuvud

A, vikt-%

Betydelse

Viktprocent av tillsatt ämne, räknat som anhydrat (dvs utan kristallvatten som är bundet till vissa salter i fast tillstånd) g ämne/100 g färdig lösning

H, vikt-%	Viktprocent av tillsatt ämne, medräknat vikten av eventuellt kristallvatten, g ämne/100 g färdig lösning
Densitet, kg/l	Densitet vid 20°C, kg/l
K, g/l	Tillsatt gram ämne (som anhydrat) per liter lösning
Brytningsindex, n	
Frys punkt, °C	Frys punkt för lösningen, °C
Viskositet, m ² /s	Kinematisk viskositet vid 20°C, m ² /s
Konduktivitet, ohm ⁻¹ *m ⁻¹	elektrisk ledningsförmåga, 1/(ohm * m)

A vikt-%	Densitet kg/l	K g/l	Brytnings- index n	Frys punkt °C	Viskositet 10 ⁶ m ² /s (20°C)
2,00	1,0007	20,0	1,3348	-0,61	1,047
3,00	1,0019	30,1	1,3358	-0,92	1,072
4,00	1,0032	40,1	1,3367	-1,24	1,096
5,00	1,0044	50,2	1,3377	-1,58	1,120
6,00	1,0057	60,3	1,3386	-1,91	1,147
7,00	1,0070	70,5	1,3396	-2,26	1,174
8,00	1,0082	80,7	1,3405	-2,62	1,202
9,00	1,0095	90,9	1,3415	-2,99	1,232
10,00	1,0108	101,1	1,3425	-3,37	1,263
12,00	1,0134	121,6	1,3444	-4,16	1,330
14,00	1,0161	142,3	1,3464	-5,01	1,401
16,00	1,0188	163,0	1,3484	-5,91	1,473
18,00	1,0214	183,9	1,3503	-6,89	1,545
20,00	1,0241	204,8	1,3523	-7,93	1,622
24,00	1,0296	247,1	1,3564	-10,28	1,790
28,00	1,0350	289,8	1,3605	-13,03	1,978
32,00	1,0405	333,0	1,3646	-16,23	2,191
36,00	1,0460	376,6	1,3687	-19,82	2,425
40,00	1,0514	420,6	1,3728	-23,84	2,693
44,00	1,0567	465,0	1,3769	-28,32	2,996
48,00	1,0619	509,7	1,3811	-33,30	3,337
52,00	1,0670	554,8	1,3851	-38,81	3,731
56,00	1,0719	600,3	1,3892	-44,83	4,175
60,00	1,0765	645,9	1,3931	-51,23	4,669

Etylenglykol, CH₂OHCH₂OH, molekylvikt 62,07

A	Densitet	K	Brytnings- index	Fryspunkt	Viskositet
vikt-%	kg/l	g/l	n	°C	$10^6 \text{ m}^2/\text{s}$ (20°C)
2,00	0,9994	20,0	1,3350	-0,501	1,067
3,00	1,0001	30,0	1,3361	-0,758	1,104
4,00	1,0008	40,0	1,3371	-1,027	1,142
5,00	1,0015	50,1	1,3382	-1,303	1,182
6,00	1,0022	60,1	1,3393	-1,583	1,223
7,00	1,0030	70,2	1,3403	-1,870	1,266
8,00	1,0037	80,3	1,3414	-2,164	1,310
9,00	1,0045	90,4	1,3425	-2,465	1,357
10,00	1,0054	100,5	1,3436	-2,773	1,407
12,00	1,0070	120,8	1,3459	-3,534	1,516
14,00	1,0088	141,2	1,3482	-4,393	1,635
16,00	1,0106	161,7	1,3504	-5,44	1,761
18,00	1,0124	182,2	1,3528		1,895
20,00	1,0142	202,8	1,3551		2,041
24,00	1,0178	244,3	1,3597		2,372
28,00	1,0214	286,0	1,3644		2,758
32,00	1,0248	327,9	1,3690		3,207
36,00	1,0279	370,1	1,3736		3,715
40,00	1,0308	412,3	1,3780		4,308
44,00	1,0333	454,7	1,3824		4,988
48,00	1,0356	497,1	1,3867		5,769
52,00	1,0377	539,6	1,3910		6,700
56,00	1,0396	582,2	1,3952		7,775
60,00	1,0418	625,1	1,3995		8,991

Propylenglykol, $\text{CH}_3\text{OHCHOHCH}_3$, molekylvikt 76,09

A	Densitet	K	Brytnings- index	Frys punkt	Viskositet
vikt-%	kg/l	g/l	n	°C	$10^6 \text{ m}^2/\text{s}$ (20°C)
1,00	0,9963	10,0	1,3336	-0,40	1,050
2,00	0,9945	19,9	1,3342	-0,81	1,101
3,00	0,9927	29,8	1,3348	-1,23	1,149
4,00	0,9910	39,6	1,3354	-1,65	1,194
5,00	0,9893	49,5	1,3360	-2,09	1,242
6,00	0,9878	59,3	1,3367	-2,54	1,294
7,00	0,9862	69,0	1,3374	-2,99	1,349
8,00	0,9847	78,8	1,3381	-3,47	1,407
9,00	0,9833	88,5	1,3388	-3,96	1,467
10,00	0,9819	98,2	1,3395	-4,47	1,529
12,00	0,9792	117,5	1,3410	-5,56	1,662
14,00	0,9765	136,7	1,3425	-6,73	1,803
16,00	0,9739	155,8	1,3440	-8,01	1,941
18,00	0,9713	174,8	1,3455	-9,40	2,078
20,00	0,9687	193,7	1,3469	-10,92	2,212
22,00	0,9660	212,5	1,3484	-12,60	2,338
24,00	0,9632	231,2	1,3498	-14,47	2,460
26,00	0,9602	249,7	1,3511	-16,41	2,579
28,00	0,9571	268,0	1,3524	-18,43	2,696
30,00	0,9539	286,2	1,3535	-20,47	2,796
32,00	0,9504	304,1	1,3546	-22,44	2,869
34,00	0,9468	321,9	1,3557	-24,27	2,923
36,00	0,9431	339,5	1,3566	-25,98	2,971
38,00	0,9392	356,9	1,3575	-27,62	3,012
40,00	0,9352	374,1	1,3583	-29,26	3,043

Etanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, molekylvikt 46,07

57,2 g/l
286,2 g/l
610,5 g/l

A	Densitet	K	Brytnings- index	Frys punkt	Viskositet
vikt-%	kg/l	g/l	n	°C	$10^6 \text{ m}^2/\text{s}$ (20°C)
1,00	0,9964	10,0	1,3332	-0,560	1,044
2,00	0,9947	19,9	1,3334	-1,140	1,076
3,00	0,9930	29,8	1,3336	-1,750	1,108
4,00	0,9913	39,7	1,3339	-2,370	1,142
5,00	0,9896	49,5	1,3341	-3,020	1,176
6,00	0,9880	59,3	1,3343	-3,710	1,210
7,00	0,9864	69,0	1,3346	-4,410	1,247
8,00	0,9848	78,8	1,3348	-5,13	1,283
9,00	0,9832	88,5	1,3351	-5,85	1,319
10,00	0,9816	98,2	1,3354	-6,60	1,354
12,00	0,9785	117,4	1,3359	-8,14	1,419
14,00	0,9755	136,6	1,3365	-9,72	1,482
16,00	0,9725	155,6	1,3370	-11,36	1,544
18,00	0,9695	174,5	1,3376	-13,13	1,603
20,00	0,9666	193,3	1,3381	-15,02	1,660
24,00	0,9606	230,5	1,3392	-19,04	1,767
28,00	0,9545	267,3	1,3402	-23,59	1,853
32,00	0,9482	303,4	1,3411	-28,15	1,913
36,00	0,9416	339,0	1,3419	-32,97	1,949
40,00	0,9347	373,9	1,3425	-38,6	1,965

Metanol, CH_3OH , molekylvikt 32,03

A	H	Densitet	K	Brytnings- index	Fryspunkt	Viskositet	Konduktivitet
vikt-%	vikt-%	kg/l	g/l	n	°C	$10^6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ (20°C)	$\text{ohm}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$
1,00	1,32	1,0065	10,1	1,3354	-0,440	1,021	1,57
2,00	2,65	1,0148	20,3	1,3378	-0,880	1,035	2,94
3,00	3,97	1,0232	30,7	1,3402	-1,330	1,053	4,26
4,00	5,30	1,0316	41,3	1,3426	-1,815	1,076	5,51
5,00	6,62	1,0401	52,0	1,3451	-2,345	1,099	6,70
6,00	7,95	1,0486	62,9	1,3475	-2,930	1,121	7,83
7,00	9,27	1,0572	74,0	1,3500	-3,573	1,143	8,87
8,00	10,60	1,0659	85,3	1,3525	-4,275	1,165	9,84
9,00	11,92	1,0747	96,7	1,3549	-5,04	1,190	10,8
10,00	13,25	1,0835	108,3	1,3575	-5,86	1,217	11,7
12,00	15,90	1,1014	132,2	1,3625	-7,70	1,278	13,3
14,00	18,55	1,1198	156,8	1,3677	-9,83	1,347	14,8
16,00	21,20	1,1386	182,2	1,3730	-12,28	1,427	16,0
18,00	23,84	1,1579	208,4	1,3784	-15,11	1,523	16,9
20,00	26,49	1,1775	235,5	1,3839	-18,3	1,639	17,7
22,00	29,14	1,1976	263,5	1,3895	-21,7	1,777	18,2
24,00	31,79	1,2180	292,3	1,3951	-25,3	1,934	18,3
26,00	34,44	1,2388	322,1	1,4008	-29,7	2,135	18,2
28,00	37,09	1,2600	352,8	1,4066	-34,7	2,381	17,9
30,00	39,74	1,2816	384,5	1,4124	-41,0	2,705	17,2
32,00	42,39	1,3036	417,1	1,4183	-49,7	3,095	16,2
34,00	45,09	1,3260	450,8	1,4242		3,635	15,0
36,00	47,69	1,3488	485,6	1,4301		4,305	13,7
38,00	50,34	1,3720	521,4	1,4361		5,336	12,3
40,00	52,99	1,3957	558,3	1,4420		6,446	10,6

Kalciumklorid, $\text{CaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, molekylvikt 110,99, hydrat 147,03

A	Densitet	K	Brytnings- index	Frys punkt	Viskositet	Konduktivitet
vikt-%	kg/l	g/l	n	OC	$10^6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ (20°C)	$\text{ohm}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$
1,00	1,0053	10,1	1,3347	-0,593	1,015	1,60
2,00	1,0125	20,2	1,3365	-1,186	1,023	3,02
3,00	1,0196	30,6	1,3383	-1,790	1,032	4,40
4,00	1,0268	41,1	1,3400	-2,409	1,040	5,73
5,00	1,0340	51,7	1,3418	-3,046	1,049	7,01
6,00	1,0413	62,5	1,3435	-3,703	1,060	8,24
7,00	1,0486	73,4	1,3453	-4,378	1,072	9,41
8,00	1,0559	84,5	1,3470	-5,079	1,084	10,5
9,00	1,0633	95,7	1,3488	-5,807	1,099	11,6
10,00	1,0707	107,1	1,3505	-6,564	1,115	12,6
12,00	1,0857	130,3	1,3541	-8,176	1,152	14,5
14,00	1,1008	154,1	1,3576	-9,940	1,196	16,3
16,00	1,1162	178,6	1,3612	-11,885	1,243	17,9
18,00	1,1319	203,7	1,3648	-14,044	1,293	19,3
20,00	1,1478	229,6	1,3684	-16,458	1,357	20,4
21,00	1,1558	242,7	1,3702	-17,776	1,396	20,9
22,00	1,1640	256,1	1,3721	-19,176	1,441	21,3
23,00	1,1721	269,6	1,3739	-20,667	1,489	21,7
24,00	1,1804	283,3	1,3757		1,542	22,0
25,00	1,1887	297,2	1,3776		1,600	22,2
26,00	1,1972	311,3	1,3795		1,662	22,5

Natriumklorid (koksalt), NaCl, molekylvikt 58,44

A	H	Densitet	K	Brytnings- index	Fryspunkt	Viskositet	Konduktivitet
vikt-%	vikt-%	kg/l	g/l	n	oC	$10^6 \text{ m}^2/\text{s}$ (20°C)	$\text{ohm}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$
1,00	2,14	1,0062	10,1	1,3356	-0,517	1,040	1,66
2,00	4,27	1,0144	20,3	1,3381	-1,063	1,076	3,12
3,00	6,41	1,0226	30,7	1,3406	-1,653	1,114	4,45
4,00	8,54	1,0309	41,2	1,3432	-2,297	1,153	5,64
5,00	10,68	1,0394	52,0	1,3457	-3,012	1,194	6,69
6,00	12,81	1,0479	62,9	1,3483		1,238	7,72
7,00	14,95	1,0564	74,0	1,3508		1,285	8,64
8,00	17,08	1,0651	85,2	1,3534		1,336	9,45
9,00	19,22	1,0738	96,6	1,3560		1,390	10,20
10,00	21,35	1,0826	108,3	1,3587		1,450	10,80
12,00	25,62	1,1005	132,1	1,3641		1,586	11,90
14,00	29,89	1,1189	156,6	1,3695		1,748	12,70
16,00	34,16	1,1372	181,9	1,3749		1,941	13,20
18,00	38,43	1,1553	208,0	1,3804		2,170	13,40
20,00	42,70	1,1742	234,8	1,3859		2,441	13,40
22,00	46,97	1,1938	262,6	1,3915		2,783	13,10
24,00	51,24	1,2140	291,4	1,3972		3,226	12,60
26,00	55,51	1,2346	321,0	1,4030		3,802	11,80
28,00	59,78	1,2255	351,5	1,4089		4,547	10,90
30,00	64,05	1,2763	382,9	1,4148		5,498	9,79

Magnesiumklorid, MgCl_2 , molekylvikt 95,23, hydrat 203,33

A	H	Densitet	K	Brytnings- index	Frys punkt	Viskositet $10^6 \text{ m}^2/\text{s}$ (20°C)	Konduktivitet $\text{ohm}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$
vikt-%	vikt-%	kg/l	g/l	n	°C		
2,00	2,39	1,0163	20,3	1,3365	-0,661	1,031	2,54
3,00	3,59	1,0254	30,8	1,3382	-0,986	1,045	3,67
4,00	4,78	1,0345	41,4	1,3399	-1,322	1,058	4,74
5,00	5,98	1,0437	52,2	1,3416	-1,668	1,072	5,80
6,00	7,17	1,0529	63,2	1,3433	-2,025	1,088	6,85
7,00	8,37	1,0622	74,4	1,3450	-2,395	1,105	7,88
8,00	9,56	1,0715	85,7	1,3467	-2,774	1,124	8,89
9,00	10,76	1,0809	97,3	1,3484	-3,167	1,143	9,88
10,00	11,96	1,0904	109,0	1,3501	-3,574	1,163	10,9
12,00	14,35	1,1095	133,1	1,3535	-4,445	1,206	12,7
14,00	16,74	1,1291	158,1	1,3569	-5,39	1,252	14,4
16,00	19,13	1,1490	183,8	1,3603	-6,42	1,303	16,0
18,00	21,52	1,1692	210,5	1,3637	-7,55	1,363	17,5
20,00	23,91	1,1898	238,0	1,3671	-8,82	1,435	18,8
24,00	28,69	1,2320	295,7	1,3739	-11,96	1,605	21,1
28,00	33,48	1,2755	357,1	1,3807	-16,01	1,828	
32,00	38,26	1,3204	422,5	1,3874	-21,46	2,146	
36,00	43,04	1,3665	492,0	1,3940	-28,58	2,563	
40,00	47,82	1,4142	565,7	1,4006	-37,55	3,083	
44,00	52,61	1,4633	643,9	1,4071		3,909	
48,00	57,39	1,5142	726,8	1,4136		5,128	
50,00	59,78	1,5404	770,2	1,4168		6,082	

Kaliumkarbonat, $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$, molekylvikt 138,20, hydrat 165,23

4.3 Tekniska köldbärare

4.3.1 Använda köldbärare

Ett flertal av de tänkbara ämnena, men långt ifrån alla, används för närvarande som köldbärare. Utan att här rangordna dem i lämplighet eller använda kvantiteter ges nedan en uppräknig av de köldbärare som återfinns i marknaden.

Etylenglykol

Etylenglykol säljs av ett stort antal bolag. Övervägande delen glykol säljs med inhibitor tillsatser. De inhibitorpaket som hittills dominerat är sådana som utvecklats för annat ändamål, främst bilkylarglykol. Trenden är emellerid att man strävar efter att utesluta nitrit ur inhibitorblandningen. Hur långt man kommit just nu och hur utprovade de nya inhibitorkombinationerna är har inte kunnat fastläggas.

Den normala inhibitor tillsatsen är 5-8 vikt-% och glykolhalten är då oftast strax över 90 % i den tekniska produkten. Tillsatskemikalierna är i sig frys-punktsnedsättande, men inte lika effektivt som etylenglykol, varför den tekniska produkten får något "sämre" egenskaper än den rena etylenglykolen.

Propylenglykol

Propylenglykol säljs både ren och korrosionsinhiberad. I princip används samma inhibitorer som för etylenglykol. Inhiberad propylenglykol innehåller 90-95 vikt-% glykol och 5-10 % vatten och inhibitor tillsatser. Inhiberad propylenglykol säljs ofta under ett produktvarunamn.

Etanol

Etanol (vardagligt kallad sprit) i teknisk kvalitet för detta ändamål innehåller ca 95 % etanol och 5 % vatten. Eftersom etanol inte får användas utan denatureringsämnen, innehåller lösningen 4-5 % denatureringsmedel, 5 % vatten och 90-91 % etanol.

Etanolen kan, beroende på hur den framställts, vara mer eller mindre ren. Metanolhaltig etanol (ofta kallad industrisprit) erhålls i Sverige som biprodukt vid sulfittmassaframställningen.

Genom att tillsätta en mindre mängd propylenglykol erhålls en smörjande effekt vilket gör att material- och kvalitetskraven på bl a reglerdon och pumpar kan sänkas. Blandningar av denaturerad etanol innehållande 6 % propylenglykol är för närvarande avsevärt mer använda än "rena" etanol-vattenblandningar. Om just 6 % propylenglykol är lämpligast har inte närmare studerats av någon än. Dessa blandningar med propylenglykol säljs under särskilda produktnamn, som hittills alla fått ändelsen -ol (jämför etanol och metanol).

För närvarande säljs de etanolhaltiga köldbärarna utan korrosionsinhibitorer.

Etanolbaserade köldbärare är mindre lämpliga vid användning i solkollektorer och dylikt utan särskilda säkerhetsarrangemang och undviks därför generellt vid sådana tillämpningar.

Kalciumklorid

Köldbärarblandningar som baseras på kalciumklorid kan variera en hel del. Det beror på att upplösningen av saltet i vatten är en mycket enkel process. Den förutsätter egentligen bara tillgång på blandningskärl. Det har visat sig att saltlösningen "tillverkas" hos den som kan blanda köldbäraren till lägsta pris. I praktiken innebär detta att det är i det närmaste ogörligt att försöka ge några närmare data. Produkten blir beroende av flera faktorer; kvaliteten på saltet (renhet), hur väl olösliga partiklar frångiljs, om inhibitor tillsätts etc.

Transportkostnaderna för färdig lösning är idag så höga att den "lokala" blandningen troligtvis kommer att finnas till dess att eventuella krav på dokumentation eller annat blir så pass kostsamma att ett antal tillverkningsplatser försvinner.

Blandsalter

Saltlösningar med både kalcium- och magnesiumklorid kan framställas på samma sätt som beskrivits under rubriken kalciumklorid. Det är inte känt om så görs i Sverige.

4.3.2 Dokumentation av tekniska köldbärare

Den dokumentation som kan erhållas från de olika leverantörerna kring de köldbärarblandningar som säljs är av mycket skiftande kvalitet. Det är endast från ett fåtal leverantörer det finns fysikaliska data angående den specifika produkten som säljs. Mycket ofta utgör dokumentationen kopior direkt från allmänna handböcker, dvs ej omräknade med hänsyn till produktens koncentration, renhet och ev korrosionsinhibitor tillsatser.

Av denna anledning avstår vi från att närmare presentera någon jämförelse eller sammanställning över de tekniska produkterna, utan rekommenderar att man i varje enskilt fall i görligaste mån korrigerar för koncentration etc och därefter utnyttjar uppgifter om ämnens generella egenskaper, i de fall där specifik information saknas.

4.3.3 Jämförelse mellan köldbärare

I detta avsnitt görs en jämförelse av viskositeten mellan olika köldbärarblandningar. Viskositeten är den fysikaliska parameter som är av störst betydelse för funktionen av en värmekollektor vid låga temperaturer (under 0°C).

Det sätt på vilket vi har valt att presentera viskositeten medger en direkt jämförelse mellan köldbärarblandningarna vid temperaturer och driftsituationer som är relevanta i detta sammanhang.

En teknisk köldbärarblandning frysskyddas normalt till en temperatur som är ca 10° lägre än lägsta önskad drifttemperatur. I figur 4-2 har viskositeten för 8 olika köldbärare redovisats vid olika drifttemperaturer (+5 till -20°) på köldbäraren, där marginalen till fryspunkten för blandningarna är 10°, dvs fryspunkten på blandningen är alltid 10° under den angivna drifttemperaturen.

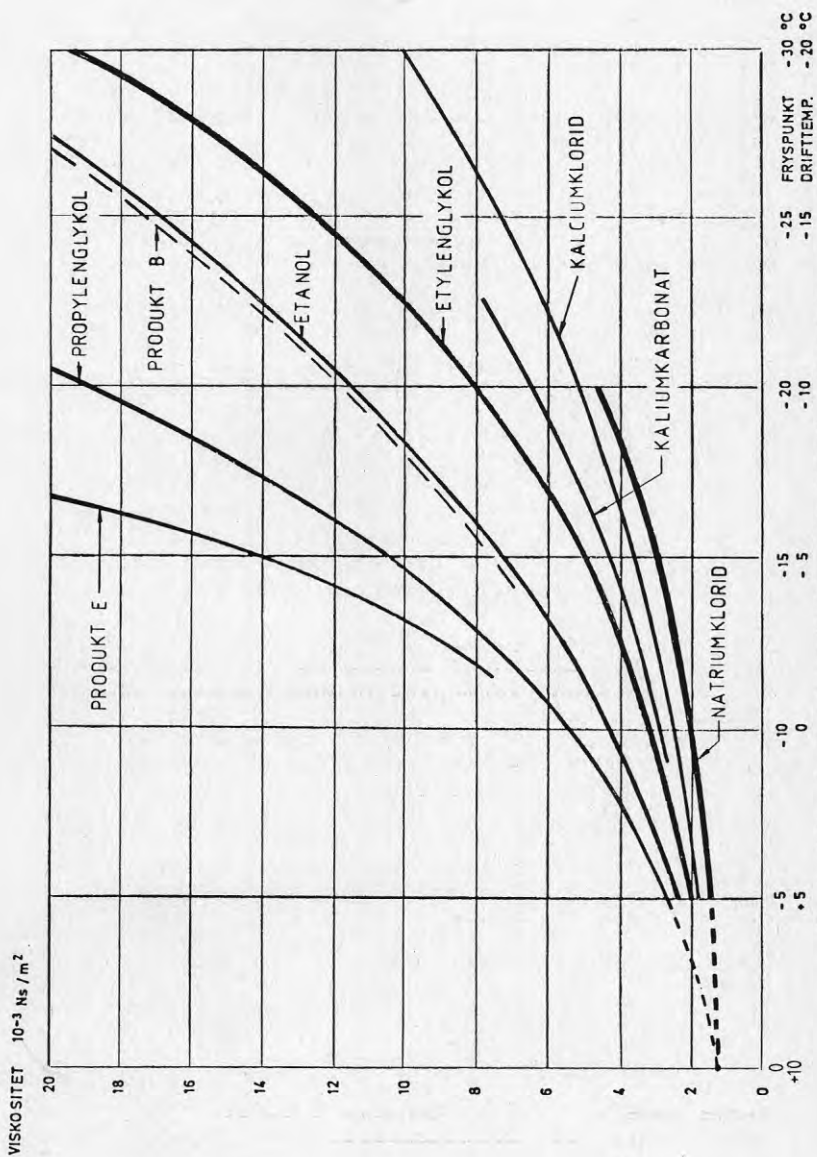
Av figuren framgår med tydlighet bl a följande:

- * runt 0° drifttemperatur är viskositetsskillnaden mellan olika köldbärare liten (i absoluta mått)
- * vid låga temperaturer är de oorganiska köldbärarna bäst. Etylenglykol är endast aningen sämre än de vanliga saltlösningarna.
- * övriga köldbärare kan rangordnas (efter avtagande lämplighet, dvs efter ökande viskositet): etanol, etanol + propylenglykol, propylenglykol.

När temperaturen på en kölbärarblandning sjunker under en viss temperatur uppnås en viskositet som är så hög att vätskans värmeöverförande förmåga momentant försämras kraftigt. Detta har observerats vid praktiska tillämpningar av propylenglykolbaserade köldbärare. För blandningar baserade på ren propylenglykol synes den kritiska temperaturen uppnås strax under -5°. Några närmare studier av betingelserna (av särskilt intresse är koncentrationen) i dessa fall är inte kända. Det förefaller emellertid som om den största försämringen av värmeöverföringen inträffar i värmepumpens förångare.

Om man förutsätter att den kritiska viskositeten för en specifik installation är $14 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$, vilket överensstämmer med en trolig temperatur och koncentration på propylenglykolen, -7,5° drifttemperatur och -17,5° fryspunkt på köldbäraren, se figur 4-2.

Samma höga viskositet erhålls t ex för etylenglykol först under -17° drifttemperatur med en blandning som är frysskyddad till lägre temperaturer än -27°. För etanol + 6 % propylenglykol, produkt B, skulle omslagspunkten vara vid ca -12°, dvs med marginal till de praktiska tillämpningarna.



En produkt som marknadsfördes tidigare och som troligtvis bestod av propylenglykol med tillsatser som skulle "förbättra" viskositeten, produkt E, visade sig i praktiken oanvändbar i dessa låga temperaturer. Av figur 4-2 framgår att produktens kritiska temperatur skulle erhållas redan vid ca -5° (med frysskydd ner till -15°).

Ju mer koncentrerad köldbärarblandningen är desto viskösare blir den. Det innebär endast nackdelar att frysskydda köldbäraren till en lägre temperatur än nödvändigt. I figur 4-3 framgår effekterna av att ha en marginal mellan drifttemperatur och fryspunkt på 15° i stället för 10° . Med samma förutsättningar som ovan, dvs omslagspunkt vid en viskositet av 14×10^{-3} Ns/m, blir den kritiska temperaturen ca -15° för etylenglykol (frysskyddad till -30°), ca -12° för etanol, och -5° för propylenglykol.

I själva verket är beskrivningen ovan av förloppet en kraftig förenkling av de fysikaliska förlopp som i verkligheten styr den kritiska viskositeten. Faktorer såsom yttemperatur i förångaren, flödes hastighet, flödesfördelning etc är styrande för förloppet.

Vidare inses att den "kritiska" temperaturen är beroende av hur den aktuella anläggningen är utformad. För en jämförelse mellan olika köldbärare på en specifik anläggning är den "förenklade" beskrivningen säkerligen användbar. Uppgifterna som redovisas i figurerna i detta är en bearbetning av material från bl a /Melinder 85/.

4.4 Brandfarlighet

Glykolbaserade köldbärare är inte brandfarliga, vilket däremot etanol och metanolbaserade köldbärare kan vara. I detta avsnitt diskuteras endast etanolhaltiga köldbärarens egenskaper och de konsekvenser detta har för etanolblandningars användning som köldbärare.

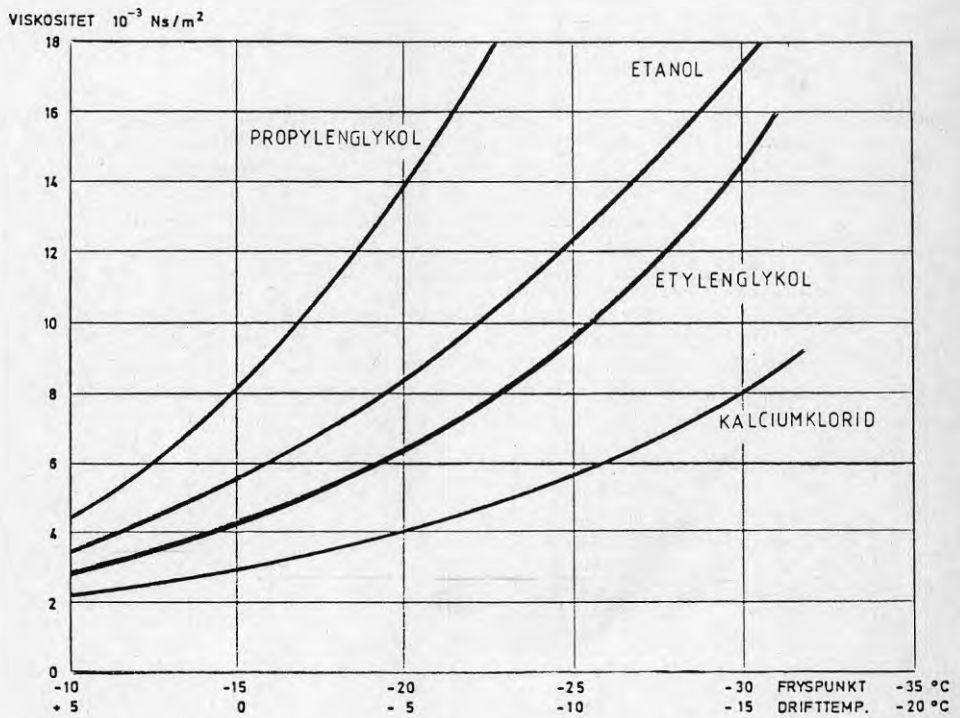
4.4.1 Klassificering av brännbara vätskor

Allmänt

Vissa vätskor klassificeras som brandfarliga vätskor, enligt förordning (1961:568) om brandfarliga varor.

De brandfarliga varorna indelas i olika brandfarlighetsgrupper och har följande antändbarhet:

- Brandfarliga gaser samt klass 1-vätskor och klass 2a-vätskor medför stor primär brandrisk, dvs förorsakar lätt brand eller explosion.



Figur 4-3 Dynamisk viskositet för köldbärarblandningar vid en drifttemperatur 150 över fryspunkten för motsvarande koncentration.

- Klass 2b-vätskor och klass 3-vätskor medför främst sekunda brandrisk, dvs förorsakar sällan brand eller explosion men ger kraftiga bränder om de antänds.

Uppvärms klass 2b-vätskor, klass 3-vätskor eller andra vätskor till en temperatur över sin flampunkt avger de ångor i antändbar koncentration och medför därvid liknande risker som klass 1-vätskor och klass 2a-vätskor. Sänks därefter temperaturen, t ex på grund av att de uppvärmda ångorna släpps ut i luft med normal temperatur kondenserar överskottsången relativt snabbt och fälls ut, eventuellt som dimma.

Flampunkten ligger till grund för indelningen av brandfarliga varor. Flampunkten är den lägsta temperatur då vätskan avger ångor i sådan mängd att en antändbar blandning med luft bildas.

En vätska, som är lättflyktig, har ofta låg flampunkt. Flyktighet och flampunkt följs ofta åt men inte alltid.

Om en icke brandfarlig men brännbar vätska förorenas av eller blandas med en brandfarlig vätska, kan blandningens flampunkt bli avsevärt lägre än den rena vätskans. I vissa fall kan blandningens flampunkt bli så låg att den mättade ånga-luftblandningen är explosiv redan i rumstemperatur. Detta gäller även icke tekniskt rena vätskor, förorenade med en lågkokande förening och är i hög grad oberoende av dess koncentration.

Etanol (ren)

Förordningen om brandvarliga varor är tillämplig på etanol i en köldbärandeblandning. Vid inblandning av minst 30 % vatten faller produkten utanför förordningen vad gäller förvaring, transport och försäljning. De allmänna reglerna för hantering gäller emellertid.

För ren etanol i normal rumstemperatur är följande klasser tillämpliga:

Etanolhalt volym-%	Klass	Flampunkt °C
>70%	1	< 21
≤70% ≥ 30 %	2a	21-30
< 30 %	2b	> 30

Vid koncentrationer under 30 volym-% är flampunkten över 30°, varvid produkten faller i klass 2b, vilket innebär att icke-explosionssäker elutrustning kan användas överallt vid installationerna.

I lokaler, som har högre temperatur än normal rumstemperatur och för blandningar tillhörande klass 1 och 2a, gäller särskilda krav på elutrustning i nära anslutning till punkter där det finns risk för att köldbärläckage kan uppstå, t ex vid pumpar och rörkopplingar.

Om produktblandningen arbetar med en temperatur som är högre än 5° under vätskans flampunkt eller om den omedelbara omgivningen (rummet, kärlet) når denna gräns, skall en klassificering av riskområden göras, där speciella krav ställs på den elektriska utrustningen. Detta skall tillämpas då förhållandena är sådana att beaktansvärd risk för brand eller explosion kan antas föreligga.

Explosionsgränserna för etanol i luft ligger mellan 3,5 och 15 volym-%. Det kan exemplifieras med ett oventilerat källarutrymme med ytan 2 * 3 m och 2,5 m takhöjd. Hela utrymmet är fyllt med en explosiv gasblandning när 1 kg etanol har förångats och blandats med luften.

För att erhålla en explosiv blandning krävs för en vätska med 30 volym-% etanol en rumstemperatur på minst 30°C. För 20 volym-% är motsvarande temperatur 40°C. Enligt vad som tidigare sagts bör man ha en säkerhetsmarginal av minst 5°.

Även vid koncentrationer under den undre explosionsgränsen kan inom ett snävt område blandningen antändas, varvid en långsam förbränning uppstår. Brännbarhetsområdet är något större än explosionsområdet men kan i praktiken sägas sammanfalla med explosionsområdet.

Följande skrifter är tillämpliga på detta område:

- Förordning om brandfarliga varor (1961:568), omtryckt i SFS 1984:196
- Tillämpningsföreskrifter till förordningen i SIND-FS 1981:2
- Klassning av explosionsfarliga områden SS 421 08 20 (Standardiseringskommissionen i Sverige)
- Starkströmsföreskrifternas bestämmelser för explosionsfarliga områden, SIND-FS 1983:3

Denaturerade spritblandningar

I Sverige är det inte tillåtet att sälja etanol utan denatureringsmedel. Ett "bra" denatureringsmedel skall ge produkten en oacceptabel smak, vara ogiftigt och vara svårt att ta bort ur blandningen. Detta begränsar antalet lämpliga tillsatser till ett fåtal.

Denatureringstillsatser och föroreningar i de tekniska produkterna kan sänka flampunkten under den för en ren etanol-vattenblandning. Det är därför nödvändigt att det framtages uppgifter om flampunkt för denaturerade, tekniska, etanolbaserade produkter, som används för dessa ändamål.

4.4.2 Användning av kommersiella, etanolhaltiga köldbärare

Generella rekommendationer

Rent generellt rekommenderas att ej utnyttja en högre etanolhalt i köldbärare än vad anläggningen kräver. Om blandningen har en flampunkt under 30°C krävs i regel, som tidigare nämnts, att installationen utförs enligt de krav som gäller för brandklass 1 och 2a.

Utspädning

Vid hantering av koncentrerad produkt (ca 5 % vatten), som har brandklass 1, rekommenderas följande:

- Ingen öppen eld får förekomma (dvs rökning är förbjuden), värmepannor och elmotorer skall vara avslagna.
- Sörj för god ventilation. Arbeta helst utomhus.
- Vid utspädning tillsätts vattnet först i blandningskärlet och därefter koncentratet.
- Vid tillsats av koncentratet i blandningskärlet får detta ej hållas med fritt fall. Tillsätt t ex koncentratet via slang under ytan eller låt koncentratet rinna utmed blandningskärlets väggar för att undvika statisk elektricitet.

Värmepumpsinstallationer

Generellt

Vid användning av etanolhaltiga köldbärare i lokaler med högst 25°C temperatur rekommenderas generellt följande (rekommendationerna är inte några krav vid blandningar med flampunkt över 30°C):

1. avledningen från säkerhetsventilen på köldbärarkretsen skall mynna utomhus
2. utrymmet bör vara ventilerat via självdrag eller helst via frånluftfläkt
3. utrymmet bör om möjligt vara försett med golvbrunn.

Klass 2a-blandningar

Användning och hantering av rena etanol-vattenblandningar med mer än ca 30 volym-% etanol eller t ex brineol-vattenblandning med mer än ca 23 volym-% brineol (dvs flampunkt under 30°C) har diskuterats med representanter från Sprängämnesinspektionen, vilket resulterade i följande rekommendationer:

Små anläggningar:

Förutsättningar: Värmeeffekt maximalt 25 kW, maximalt tänkbart läckage av köldbärarvätska till ett slutet utrymme begränsat till ca 10 l.

Rekommendationer: 33,3 volym-% eller lägre brineol-blandning kan användas om punkterna 1, 2 och 3 ovan är uppfyllda. Denna blandning har en flampunkt på ca 26°C. Explosionssäker elutrustning fordras ej.

Större anläggningar:

Förutsättningar: Värmeeffekt större än 25 kW.

Rekommendationer: Installationen skall uppfylla de krav som gäller för brandfarliga vätskor klass 1 och 2a. Här rekommenderas att installationslösningen diskuteras med Sprängämnesinspektionen om man är osäker på vad lämplig utformning innebär.

Några enkla riktlinjer är t ex att om möjligt placera anläggningen i en separat byggnad, att avledningen från säkerhetsventilen i köldbäraren mynnar utomhus och att utföra elutrustning i riskzonen enligt SIND-FS 1983:3. Som riskzon 2 bedöms bl a området inom 1,5 m från köldbärarpumparna.

Inom riskzon 2 gäller, som ett alternativ enligt SIND-FS 1983:3, § 58.lc, att den elektriska installationen utförs enligt utföringsform Exe, vilket benämns "Utförande med höjd säkerhet, Svensk Standard SS EN 50 019". För etanol, som har en tändtemperatur på 425°C, gäller att yttemperaturen på elektriskt materiel får vara högst 300°C, dvs temperaturklass T2. Temperaturklasserna T3 till T6 innebär strängare krav och går naturligtvis också att tillämpa.

Solkollektorer

Etanolblandningarna kan användas i solkollektorer. Vätskan i solkollektorer kan bli relativt het, särskilt om cirkulationen upphör. Ev utläckande vätska antänds dock inte av att droppa på heta, solvärmda ytor. Det krävs över 400°C på ytor för att tända etanol. Däremot skall systemet utformas så att inte het vätska kan läcka ut eller rinna ned i slutna utrymmen eller dylikt där en explosiv gasblandning kan bildas.

Den varma vätskan från solkollectorerna bör först avge huvuddelen av sin värme till markkollectorn innan den leds in till ett slutet utrymme, t ex det utrymme värmepumpen placerats i.

Vid utarbetande av typlösningar för solkollectorer med etanol i köldbärarvätskan rekommenderas kontakt med Sprängämnesinspektionen.

5. KORROSION

5.1 Allmänt

En vattenlösning i kontakt med vanliga metaller; stål, koppar, kopparlegeringar, aluminium m m ger upphov till korrosion. Korrosionshastigheten är beroende på bl a syretillgång, temperatur, pH, materialval, salthalt, partikelförekomst, strömningshastighet m m. Olämpliga metallkombinationer ger upphov till galvanisk korrosion. Nedan ges en kort redogörelse för de olika faktorernas betydelse.

Syretillgång:

Generellt gäller att korrosionshastigheten ökar med ökande syrehalt. Ett slutet system är således gynnsammare än ett öppet. Om systemet innehåller t ex plastslangar kan syre diffundera genom plastmaterialet och ge upphov till korrosion. Hastigheten på syretransporten är sannolikt till stor del beroende av syrehalten i slangarnas omgivning och förmodligen relativt låg.

Temperatur:

Hög temperatur ger högre korrosionshastighet. Köldbärarsystem gynnas av den låga temperaturen. Samtidigt ökar emellertid syrets löslighet vid sjunkande temperatur vilket har betydelse i system med syretillträde. Solfångare i systemet medför dock tidvis högre temperaturer.

pH:

pH-värdet, lösningens surhetsgrad, har betydelse. Under pH 7, vilket motsvarar en neutral lösning, ökar korrosionen som regel med sjunkande pH (ökande surhetsgrad).

Salthalt:

Hög salthalt ger högre korrosionshastighet. Av särskild betydelse är kloridjonkoncentrationen.

Partiklar:

Partiklar ger upphov till erosion och beläggningar och ökar korrosionsproblemen.

5.2 Olika köldbärarens korrosivitet

Ur korrosionssynpunkt är det stor skillnad mellan kloridsaltlösningar och de organiska köldbärarna.

I glykolbaserade köldbärare är korrosionsförhållandena i stort sett desamma som för det vatten som glykolen späts med. Det innebär att i stort sett samma konstruktionsmaterial kan användas som för

bruksvattensystem. Efter en längre tids bruk kan glykolerna bli svagt sura på grund av oxidation eller nedbrytning av glykolen vilket ökar korrosiviteten. Normalt tillsätts pH-stabiliserande och korrosionsinhiberande ämnen. Normalt pH på en glykolblandning skall vara runt 8.

Kloridbaserade saltlösningar, såsom kalciumkloridlösningar, är starkt korrosiva och fordrar buffring (till pH ca 7,5 - 8,5) samt tillsats av kraftfulla inhibitorer.

Det finns flera sätt att minska korrosionen. Ett sätt är att eliminera syre ur systemet, eftersom syretillgång normalt är en förutsättning för korrosion. Det är emellertid inte möjligt att helt undvika att syre diffunderar in genom de plastslangar som ingår i de flesta köldbärarsystem för markvärmeändamål.

5.3 Inhibitorer

Ett annat angreppssätt är att tillsätta inhibitorer i köldbäraren som hindrar en eller flera av de mekanismer som styr korrosionen.

I detta avsnitt redogörs kortfattat för ett antal inhibitorer och inhibitorblandningar som kan vara relevanta för köldbärare i markvärmesystem. Avsnittet bygger främst på referenserna /Rosenfeld -82/ och /Bresle -82/.

Det finns två viktiga egenskaper att ha i åtanke vid utnyttjande av inhibitorblandningar. Det ena är hälso- och miljöaspekter som kan läggas på främst två inhibitorer samt en grupp av inhibitorer (tillhörande de s k anodiska inhibitorerna) som ger en accelererad korrosion om de tillsätts i för låg halt eller förbrukas utan att ersättas.

Nitrit- och kromathaltiga inhibitorer bör ur miljösynpunkt undvikas.

Några av de anodiska inhibitorerna som måste hållas i en tillräckligt hög halt är nitriter, silikater och ortofosfater. I de fall man späder en koncentrerad köldbärare som är inhiberad i förväg är det viktigt att iaktta de föreskrifter som kan finnas om rekommenderade koncentrationer just på grund av detta minimikrav.

Det finns ett flertal inhibitorer som används i s k neutrala lösningar, dvs lösningar med ett pH kring ca 7 - 9. Detta pH-område är relevant för de köldbärare som normalt används.

Exempel på sådana inhibitorer är nitriter, bensoater, borater, fosfater, silikater, kromater, bensotriazol, bensothiazol, aminer, aldehyder m m.

Nedan redogörs kortfattat för ett antal olika inhibitorers funktion och sammansättning och avslutningsvis ges även exempel på inhibitorblandningar som redovisas i litteraturen.

Borater

Salter av bor utnyttjas främst i pH-reglerande syfte. De har en hög buffringsförmåga, dvs de kan neutralisera stora mängder sura eller basiska tillsatser utan att vattnets pH ändras kraftigt. Det salt som används är främst natriumtetraborat, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, och kallas borax. Andra salter är natriumperborat, Na_3BO_3 . Med borax som bas kan ett flertal effektiva inhibitorblandningar framställas som är effektiva för ett flertal kombinationer av olika metaller.

Nitrit

Natriumnitrit är ensamt mycket effektivt på stål och järn men angriper tennhaltiga lödningar. Tillsammans med natriumbenzoat erhålls emellertid ett skydd för ett flertal metallkombinationer inklusive tenn.

Benzoat

Natriumbenzoat, $\text{NaOCOC}_6\text{H}_5$, har länge utnyttjats som inhibitor för stål och även för ett antal icke järnbaserade metaller. Benzoat har den fördelen att det inte bildar olösliga föreningar, vilket t ex silikater, fosfater och karbonater kan göra. Detta minskar risken för lokal korrosion på grund av beläggningar.

Piperidinbenzoat och några andra benzoat med organiska motjoner är goda kopparinhibitorer.

För att natriumbenzoat skall ha god korrosionsskyddande effekt på stål krävs en viss syrehalt i lösningen, ökande halt vid sjunkande pH.

Fosfater

Fosfater (såsom Na_3PO_4 och Na_2HPO_4) används företrädesvis som inhibitorer i pannor, vattenledningar m m. Det är främst på grund av den pH-stabiliserande effekten som fosfaterna ger skydd mot korrosion på stål.

Polyfosfater, som bildas genom uppvärmning av NaH_2PO_4 , har visat sig skydda mot korrosion och mot utfällning av kalciumsalter. Tillsammans med kalciumjoner, som oftast finns i naturliga vatten, ger polyfosfater ett gott skydd av stål i t ex vatten med höga kloridhalter. Genom polyfosfatets (hexametafosfat, HMP (NaPO_3)₆) effekt att hindra utfällning av salter, främst kalciumkarbonat och kalciumsulfat, skyddas även mot lokal korrosion på grund av beläggningar. För att inhibera korrosion på stål krävs i regel mindre tillsatser av polyfosfat än vid inhibering med nitrit eller kromater.

Silikater

De vattenlösliga silikater som används är föreningar av varierande sammansättningar av typen $n\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ (vattenglas) och som i vattenlösningar bildar mycket speciella komplexa kolloidala system. För att framgångsrikt kunna använda silikater som inhibitorer till metaller krävs en god kunskap om dessa kolloidala komplex. Inhibitoreffekten är starkt beroende av pH, temperatur och saltkoncentration i lösningen. Vid vissa pH på lösningen kan silikaterna lätt bilda större flockar som ger en gelatinaktig fällning i systemet. De pH-intervall som kan tillåtas måste därför noggrant bestämmas. Salter i lösningen ger upphov till att silikaterna koagulerar och därmed tappar sin effekt. Högsta salthalt i ett system får vara ca 0,1 till 0,5 g/l för att silikater skall kunna användas.

Silikater uppges kunna skydda stål, bly, tenn och aluminium mot korrosion.

Kromater

Kromater skyddar praktiskt taget alla viktiga metaller mot korrosion. Innan nitrobensoaternas goda förmåga att skydda olika metaller blev känd var kromater de enda inhibitorer som skyddade ett stort antal metaller (bl a järn, stål och koppar).

I vatten med låg salthalt krävs ca 0,2 till 0,3 vikt-% natriumkromat, Na_2CrO_4 , för att erhålla korrosionsskydd. I en saltlösning av t ex 20 - 30 % kalciumklorid, CaCl_2 , dvs i de koncentrationer som är relevanta som köldbärare, är lösningarna mycket aggressiva och kräver ca 2 g/l kromat. Om aluminium ingår i systemet krävs det upp till 10 g/l kromat.

Bensothiazol

Bensothiazol, $\text{C}_6\text{H}_4\text{SNN}$, är en kopparinhibitor som tillsätts i 0,1 - 0,2 vikt-% i vissa inhibitorblandningar.

Bensotriazol

Bensotriazol, $\text{C}_6\text{H}_4\text{NHNN}$, kan ersätta bensothiazol som kopparinhibitor i inhibitorblandningar. En kopparinhibitor är ofta nödvändig om koppar och aluminium ingår i systemet. Om små mängder koppar löses upp finns det risk för att kopparjonerna återutfälls på aluminiumytor och startar snabba korrosionsangrepp på aluminiumet.

5.4 Inhibitorblandningar för antifrysvätskor

En mångfald inhibitorblandningar är framtagna för olika ändamål. Det som ligger nära tillhands att jämföra med här aktuella köldbärarapplikationer är

inhibitorblandningar för fordons kylsystem samt olika tillämpningar i kylindustrin.

I ett fordons kylsystem ingår ofta ett flertal metaller och legeringar och dessutom arbetar systemet med temperaturvariationer från ca -20 till en bit över 100°C. Det är med andra ord en mycket besvärlig miljö ur korrosionssynpunkt.

5.4.1 Bilkylarglykoler

Under 1950-talet publicerades resultat från ett flertal studier på olika inhibitorblandningar för kylarglykol. Nedan beskrivs tre olika standarder från 1959 för bilkylarglykol. Dessa 25 år gamla blandningar utgör fortfarande grunden för vad som idag (med ett mindre antal nyutvecklingar) används.

Generella metallsystem

En allmänt inriktad inhibitorblandning är den brittiska standarden BS 3151:1959. Standarden är baserad på följande föreningar, räknat i procent på ingående glykol:

Natriumbenzoat $\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}$	5	vikt-%
Natriumnitrit NaNO_2	0,5	"
Bensotriazol $\text{C}_6\text{H}_5\text{N}_3$	0,1 - 0,2	"

Denna blandning skyddar de flesta metallkombinationer såsom stål, tenn, koppar, mässing och aluminium.

Stålsystem

Enligt brittisk standard BS 3152:1959 är en lämplig sammansättning följande (i procent på ingående glykol):

Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$)	3	vikt-%
Benzotriazol $\text{C}_6\text{H}_5\text{N}_3$	0,1	"

Motivet att även ta med en kopparinhibitor är att många stålsystem innehåller koppar och kopparlegeringar, t ex reglerdon, samt ibland även aluminium. Som nämnts tidigare är det nödvändigt med en kopparinhibitor om både koppar och aluminium ingår i systemet.

En variant med ett förbättrat allmänt korrosionsskydd innehåller dessutom 0,1 % natriumsilikat och små mängder kalciumhydroxid för pH-reglering.

Lättmetallssystem

Standarden har använts i kylsystem för flygmotorer och bilmotorer uppbyggda med olika lättmetall-legeringar och har följande sammansättning (i procent på ingående glykol):

Fosforsyra	1	vikt-%
Trietanolamin	till pH 6,9 - 7,3	
Bensotriazol	0,1 - 0,2	vikt-%

Blandningar analoga med den ovanstående anges av /Rozenfeld/ kunna skydda stål, mässing, koppar, lödningar och aluminium. Närmare uppgifter om lämpliga koncentrationer framgår ej.

5.4.2 Köldbärare

Glykoler

I Danmark föreskriver miljöministeriet följande till satsar som generellt godkända som köldbärare baserade på etylen- eller propylenglykol:

Borax	4	vikt-% (i ingående glykol)
Natriumbensoat	4	- " -
Natriumnitrit	0,4	- " -
Bensotriazol	0,2	- " -

Korrosionsskyddet torde vara effektivt för de flesta metallkombinationer med denna inhibitorsammansättning. Flera källor anger emellertid att förzinkade ytor skall undvikas vid användning av etylen och propylenglykol.

Saltlösningar

Kalciumklorid och särskilt natriumklorid är mycket korrosiva i vattenlösningar. Den helt dominerande inhibitorn i dessa system är kromat. Till en kalciumkloridlösning rekommenderas 1,5 till 2 g/l kalciumbikromat per liter färdig lösning, med en tillsats av alkali för att omvandla bikromaten till kromat. Natriumklorid och blandningar av kalcium- och magnesiumklorid kräver två till tre gånger kraftigare bikromattillsats. Om aluminiumdetaljer förekommer krävs en bikromattillsats på 10 g/l.

Ovanstående inhibitormängder torde gälla för stål, men även icke järnhaltiga konstruktionsmaterial skyddas av kromat, såsom t ex mässing. Även polyfosfat $(\text{NaPO}_3)_6$, natriumvätefosfat Na_2HPO_3 , liksom natrium- och litiummolybdat tillsätts ofta som inhibitorer till saltlösningar.

Karbonatbaserade köldbärare får ett högt pH på lösningen och det är viktigt att den är fri från klorid som annars ger korrosion vid dessa pH. Det höga pH-värdet ger i sig ett gott korrosionsskydd för många metaller genom en skyddsfilm som byggs upp på metallytorna /Pohlmann/.

Inhibitorutarmning

För att uppehålla ett korrosionsskydd krävs en minimivå på inhibitor-koncentrationen. Med tiden sjunker koncentrationen och därmed även korrosionsskyddet. Vissa inhibitorer, t ex nitriter, erhåller vid för låga koncentrationer en motsatt verkan, dvs ökar korrosionen. I system med mycket svåra förhållanden, såsom bilkylarsystem, krävs regelbunden kontroll eller t ex byte av hela kylarvätskan vartannat år. För glykolbaserade system för markvärmeändamål är arbetstemperaturen avsevärt lägre, samtidigt som systemet oftast innehåller ett fåtal metaller. Detta sammantaget gör att såväl korrosionshastigheter som inhibitorutarmning sker mycket långsammare. För närvarande finns det inget som pekar på att inhibitoraktiviteten behöver kontrolleras i dessa system. För säkerhets skull kan det ändå vara lämpligt att på något sätt kontrollera statusen på köldbäraren, t ex vart 5:e år.

Om däremot t ex en solfångare ingår i systemet, som emellanåt värmer köldbäraren upp mot 50 - 60 °C, ökar rimligtvis korrosionshastigheten avsevärt, vilket man i sådana fall bör beakta.

5.5 Kontroll av köldbärare

De krav som kan ställas på kontroll av köldbärarens korrosionsskydd blir naturligtvis annorlunda vid små villaanläggningar än vid stora anläggningar. Vid nyttjande av en utprovad inhiberad glykolbaserad köldbärare bör korrosionsskyddet räcka i många år. Åtminstone en tillverkare garanterar minst 2 års hållbarhet och refererar till 10 år gamla anläggningar som fortfarande har fullgott skydd. Detta borde vara representativt för etylenglykol- och propylenglykolköldbärare i allmänhet. Detta pekar emellertid på att en viss kontroll är nödvändig.

Informationen kring etanolbaserade köldbärare är mindre utförlig. Det är oklart om det för närvarande finns någon lämplig nitritfri inhibitorblandning som utprovats för markvärmeändamål, vilket gör det svårt att säga något om och hur en kontroll bör ske.

Kloridsaltlösningar i icke helt syretäta system kräver (om sådana system överhuvudtaget är lämpliga) rimligtvis relativt täta kontroller av rostskyddet.

Det som enkelt kan kontrolleras i rustning är koncentrationen av servalkanitet (förmåga att neutralisera), konduktivitet (lösningens elektriska ledningsförmåga) - ett indirekt mått på salthalt och ett antal vanliga inhibitorer.

En kontroll bör göras vid start och därefter med vissa intervall. Här ges bestämda råd för hur och hur ofta en kontrollens status skall undersökas är klart bristfälligt. Trots detta kan det ändå vara angeläget att efter bästa förmåga ge några riktlinjer än att inte ge några alls. För små och medelstora anläggningar kan en rekommendation sammanfattas enligt nedanstående tabell.

Köldbärare	Kontrollåtgärd	Intervall
Etylenglykol, propylenglykol	koncentration	2 år
	pH	2 "
	alkalinitet	5 "
	inhibitorkonc	5 "
Etanol	koncentration	1 år
	pH	1 "
	alkalinitet	?
	inhibitorkonc	?
Kalciumklorid	koncentration	1 år
	pH	1 "
	alkalinitet*	1 "
	inhibitorkonc*	1 "

* bör särskilt iakttagas om plast ingår i systemet

Tabell 5-1 Kontrollåtgärder och -intervall för små anläggningar

5.6 Materialval vid olika köldbärare

En kortfattad redogörelse för lämpliga konstruktionsmaterial vid användning av olika köldbärare återges av /Rislund/. Nedanstående avsnitt bygger på denna referens.

Organiska köldbärare

Lämpliga material för glykolbaserade köldbärare är i stort sett samma som används till bruksvatten. Används inhiberad glykol kan varmförzinkat stål vara nödvändigt att undvika, men i övrigt bör de flesta material kunna användas. Beroende på inhibitorsammansättning kan det vara angeläget att undvika enklare material, t ex aluminium.

Oorganiska köldbärare

Salter med klorid som negativ jon, t ex CaCl_2 , kräver alltid tillsats av en eller flera kraftfulla inhibitorer. Vidare är syretillgången mycket betydelsefull. Om systemet har tillräckligt låg syrehalt kan stål och gjutjärn användas. Dessa material kan dock ge upphov till driftproblem på grund av de korrosionsprodukter som bildas, även om livslängden hos materialen i sig inte är något problem. Används syrafast stål typ SS 2343 bör problem helt kunna undvikas.

I övrigt bör material som är lämpliga för havsvatten i de flesta fall vara användbara. Om några vanliga material kan följande sägas:

Koppar: Användbart material. Syreinnehållet påverkar korrosionshastigheten. Turbulenskorrosion kan förekomma i syrehaltig lösning. Korrosionshastighet ca 0,1 mm/år vid rumstemperatur.

Koppar-nickel: Bättre än koppar.

Bronser: Som koppar under förutsättning att de är zinkfria.

Aluminiumbrons: Riktigt värmebehandlat bättre än rödgods, lämpligt för pumphjul.

6. MILJÖEFFEKTER

6.1 Inledning

För att utvärdera de biologiska effekterna av köldbärarvätskor har i första hand följande egenskaper hos köldbärarvätskan studerats:

- toxicitet
- nedbrytbarhet
- rörlighet
- anrikning i organismer
- produkter vid nedbrytning
- effekter vid nedbrytning.

Även andra egenskaper, som t ex lukt och smak, kan vara av betydelse vid bedömningen av de biologiska effekterna.

Med biologiska effekter menas här de miljö-, hälso- och ekologiska effekter som kan uppstå vid hantering och läckage av köldbärarvätska. De effekter som enbart uppstår på grund av temperatursänkningen i marken eller vattnet vid värmeuttag kommer här ej att diskuteras.

Till köldbärarvätskorna görs i allmänhet tillsatser för att underlätta hanteringen samt undvika korrosion, nedbrytning och bakterietillväxt. Vilka ämnen som tillsätts och i vilken koncentration beror på valet av fryspunktsnedsättande ämne. Kommersiellt tillgängliga fryspunktsnedsättande ämnen som säljs för att användas i värmeutvinningssystem innehåller vanligtvis en rad tillsatskemikalier. Dessa är tillsatta i sådan mängd att vid spädning med vatten till lämplig koncentration av det fryspunktsnedsättande ämnet fås även en lämplig koncentration av tillsatskemikalierna.

De fryspunktsnedsättande ämnen som är använda idag och som här kommer att behandlas är:

- etylenglykol
- propylenglykol
- etanol
- saltlösningar (t ex NaCl, CaCl₂ och MgCl₂).

Även blandningar av dessa salter förekommer liksom blandningar av etanol och propylenglykol.

Vilka tillsatskemikalier som ingår i den fryspunktsnedsättande vätskan är ofta en tillverkarhemlighet. Det är dock troligt att något eller några av nedanstående ämnen ingår:

- bensotriazol
- fosforsyra eller fosfonater
- etanolamin
- natriumbensoat

- borax
- natriumnitrit
- tolyltriazol
- trietanolamin.

Det är viktigt att de data för toxicitet, nedbrytbarhet osv som används i diskussionen om köldbärares biologiska effekter gäller för de förhållanden som är aktuella vid värmeutvinning. I den mån data för toxicitet, nedbrytbarhet, rörlighet osv, finns tillgängliga är dessa inte nödvändigtvis tillämpliga för de temperaturer, koncentrationer och miljöer som är aktuella vid värmeutvinning. Dessutom gäller angivna toxicitetsdata ofta för rena ämnen utan inblandning av tillsatskemikalier.

Det kan vara svårt att skilja de olika egenskaperna hos köldbärarvätskan och behandla dessa separat, eftersom de ofta är mycket starkt beroende av varandra.

6.2 Toxicitet

Det är två aspekter på köldbärarvätskors toxiska egenskaper som man främst är intresserad av. Dessa är dels den direkta risk för förgiftning som kan uppstå vid förorening av grundvattnet vid ett läckage, dels är det den toxiska effekt som köldbärarvätskan kan ha på de mikroorganismer som finns i marken.

De ämnen som bildas vid nedbrytningen kan ha toxiska egenskaper som skiljer sig från ursprungsåmnet. En heltäckande utvärdering av köldbärarnas toxiska effekter är därför svår att göra, eftersom nedbrytningskedjorna och nedbrytningsprodukterna endast i begränsad omfattning är kända.

Något som ytterligare försvårar bedömningen av de toxiska effekterna är att köldbärarna innehåller tillsatsämnen, vars toxiska effekter inte alltid är kända. Det faktum att det finns leverantörer av köldbärare, som inte lämnar ut uppgifter om vilka tillsatsämnen som ingår, gör det omöjligt att göra en bedömning utan praktiska försök.

De toxicitetsdata som är tillgängliga är i allmänhet lämpligast för en bedömning av toxiciteten för människor och djur vid förtäring av det rena ämnet.

Ett mått, som används för bedömningen av ett ämnes toxicitet, är det s k LD_{50} -värdet. Med LD_{50} -värde menas den mängd av kemikalien som måste tillföras per kilo kroppsvikt till försöksdjur för att 50 % av dessa skall dö av kemikalien ifråga. I tabell 6-1 återfinns LD_{50} -värden för ett antal köldbärare. I tabell 6-2 återfinns LD_{50} -värden och vanliga koncentrationer för några av de vanligaste tillsatsämnena.

Ämne	LD ₅₀	Ref	Dödlig dos för vuxen	Ref
Propylen- glykol	30-33 g/kg	/Bresle 82/ /SAX 75/ /Liljelund 82:1/		
Dowcal 20*	23 g/kg	/Dow 83/		
Etylen- glykol	V 5,5-8,5 g/kg	/Sveda 84/ /Liljelund 82:1/	100 ml (1,4 ml/kg)	/Hoechst 84/ /SAX 75/
Etanol	13,7 g/kg	/SAX 75/ /Liljelund 82:1/	300-400 ml inom 1 h 250-500 g	/Sveda 84/ /Kirk- Othmer 63/
NaCl	3 g/kg	/Bresle 80/		

V= ämnet klassat som vådligt enligt SNFS 1978:5 PK:6

* (Propylenglykolbaserad köldbärare, tillverkare Dow Chemical. Dowcal 20 är enligt uppgift baserad på propylenglykol med LD₅₀-värde på 33 g/kg)

Tabell 6-1 LD₅₀-värden för köldbärare (Kemikalien tillförd oralt till rått)

Ämne	Koncentration vikt-%	LD ₅₀ -värde	Ref
Bensotiazol*	0,1		
Fosforsyra (Fosfonater)	V 1		
Etanolamin			
Natriumbensoat	5	4,1 g/kg (oralt rått)	
Borax	2		
Natriumnitrit*	G 0,5	0,33 g/kg (oralt hund)	/SAX 75/
Tolyltriazol*	0,1		
Trietanolamin*	2,9	9,11 g/kg (oralt rått) (max konc dricksv 1,4 mg/l)	/Liljelund 82:1/

V= ämnet klassat som vådligt enligt SNFS 1978:5 PK:6
G= ämnet klassat som gift enligt SNFS 1978:5 PK:6

* De tillsatsämnen som Naturvårdsverket bedömer som mest skadliga vid läckage /Dietrichson 83/

Tabell 6-2 LD₅₀-värden och vanliga koncentrationer för några vanliga tillsatsämnen

Det är svårt att dra några enkla slutsatser från LD₅₀-värden, eftersom den avgörande bedömningen helt är avhängig av processerna i marken i form av mikrobiologisk nedbrytning och kemiska reaktioner.

Det är av intresse att notera att de tillsatser av inhibitorer som Dow gör till propylenglykol, för att uppnå de önskade egenskaperna för en köldbärarvätska baserad på propylenglykol, märkbart ökar toxiciteten mätt med LD₅₀-värdet. Det bör dock påpekas att toxiciteten fortfarande är låg jämfört med andra använda köldbärare, t ex etylenglykol och etanol.

Toxiciteten hos tre kommersiellt tillgängliga köldbärare har undersökts vid förhållanden och koncentrationer som liknar de som är aktuella vid värmeutvinning /Liljelund 82:2/. De tre undersökta köldbärarna var baserade på propylenglykol, etylenglykol resp cellulosasprit (92 % etanol). Toxiciteten testades under 7 dygn vid +6°C för olika koncentrationer av frostskyddsmedel. Samtliga undersökta köldbärare innehöll tillsatskemikalier.

Toxiciteten studerades genom att jämföra den biologiska aktiviteten i prov med köldbärarvätska med ett kontrollprov genom mätningar av den biokemiska syreförbrukningen (BOD). En sammanställning av resultaten finns redovisad i tabell 6-3.

Ämne	Koncentration vikt-%	Resultat
Propylenglykolbaserad köldbärarvätska	5	--
	2	--
	1	++ (hämning under 5 dygn därefter klart stimulerande)
Etylenglykolbaserad köldbärarvätska	10	-
	5	-
	1	o
Cellulosaspritsbaserad köldbärarvätska	10	-
	5	-
	1	++

- kraftigt toxiskt
- toxiskt
- ++ klart stimulerande
- o obetydligt ändrad aktivitet

Tabell 6-3 Biokemisk syreförbrukning under 7 dygn vid + 6°C enligt /Liljelund 82:2/

Slutsatsen som författaren drar av försöksresultaten är att tillsatskemikalierna är av stor betydelse för toxiciteten. Eftersom toxiciteten mäts med den biologiska aktiviteten, som kraftigt sänks vid sänkt temperatur (i det här fallet ner till +6°C), kan detta vara en något förhastad slutsats. För att på ett entydigt sätt utvärdera tillsatskemikaliernas betydelse för toxiciteten bör parallella försök med kommersiella resp rena köldbärarvätskor genomföras under förhållanden som kan tänkas råda vid värmekollektorn. Sådana parallella försök torde visa att tillsatskemikalierna ökar toxiciteten. Hur mycket, finns det idag inte underlag att uttala sig om.

Om man tänker sig att all köldbärarvätska i ett slangsystem (ca 400 l) läcker ut i en brunn (djup ca 200 m) som fungerar både som värmekälla och dricksvattenkälla förorenas dricksvattnet. Om köldbärarvätskan utgörs av 25 vikt-% etanol erhåller man ett dricksvatten som innehåller ca 5 volym-% etanol. För en vuxen anges dödlig dos till 300 ml inom en timme /Sveda 84/. Det innebär att en vuxen person måste konsumera 6 l av det förorenade dricksvattnet inom loppet av en timme, vilket är stor volym för den korta tiden. Dessutom bör smaken av denatureringsämnen innebära att man avstår. Risken för förgiftning med dödlig utgång då etanolbaserad köldbärare används bedöms som försumbar.

Om köldbärarvätskan i stället innehåller 30 vikt-% etylenglykol ökar riskerna något för förgiftning. Läckaget resulterar i en koncentration av etylenglykol på ca 6 volym-%. Dödlig dos uppges vara 1,4 ml/kg /SAX 75/, vilket innebär att ett barn som väger 20 kg får i sig en dödlig dos etylenglykol genom att dricka 0,5 l av det förorenade vattnet. Koncentrationen är så hög att smaken av etylenglykol är klart märkbar /Dietrichson 83/, men eftersom etylenglykol smakar sött och volymen är ganska liten kan risk för förgiftning finnas. Denna situation måste betecknas som det värsta som kan inträffa ur förgiftningssynpunkt.

Systemet bör vara så konstruerat att hela volymen köldbärarvätska inte kan läcka ut på en gång. Dessutom är det ganska ovanligt med dricksvattenuttag ur en bergvärmebrunn. Det är t o m att rekommendera att detta inte sker med tanke på förgiftningsrisken. För att ytterligare minska risken för förgiftning, kan tillsatser av illasmakande ämnen, som är dokumenterat ofarliga, till etylenglykol göras om brunnen även utgör dricksvattentäkt.

6.3 Nedbrytbarhet

Hastigheten på nedbrytningen av köldbärarvätskor bestäms av en mängd faktorer så som temperatur, jordens pH, jordtyp (mullhalt, lerhalt), vattenhalt och syretillgång. Även koncentrationen på köldbärarvätskan

inverkar på nedbrytningshastigheten, eftersom höga koncentrationer kan "slå ut" mikroorganismerna som verkar vid nedbrytningen. Kunskapen om hur och i vilken omfattning köldbärare bryts ner i jord är begränsad. Normalt brukar nedbrytbarhetstester utföras vid +20°C och med god syretillgång, vilket inte motsvarar de förhållanden som råder vid markvärmeuttag.

Temperaturen runt värmekollektorn (dvs där risk för läckage av köldbärare finns) kommer att ligga runt +6°C, t o m ännu lägre om värmeuttaget är stort. Den mikrobiologiska aktiviteten sjunker med temperaturen och är vid +6°C låg och nedbrytningshastigheten sjunker därmed kraftigt.

Den mikrobiologiska aktiviteten är störst strax under markytan ner till djup på ca 1 m. För bergvärme- och djupjordvärmeanläggningar där ett läckage kan komma att uppstå djupare än 1 m, är det troligt med en ytterligare sänkt nedbrytningshastighet.

Mikroorganism sammansättningen, temperatur, pH, vattenhalt osv, varierar för olika platser och jordarter och därmed också nedbrytningshastigheten.

För de aktuella köldbärarna, etylenglykol, propylenglykol och etanol, förekommer både anaeroba och aeroba nedbrytningsvägar. Det är normalt så att den aeroba processen är snabbast och förekommer vid tillgång på syre. Ju djupare ner i marken desto sämre är tillgången på syre, vilket gör att om köldbärare läcker ut relativt långt under markytan, vilket är tänkbart i samband med djupjordvärme och bergvärme, så sker nedbrytningen långsammare. När marktemperaturen sjunker minskar också antalet dagmaskar i jorden och därmed försämras genomluftningen, vilket inverkar menligt på nedbrytningen /Troedsson 82/.

Syrebristen i samband med nedbrytningen kan även tänkas leda till andra icke önskade effekter. Svavelvätebildning har nämnts som en tänkbar konsekvens av syrebrist /BFR G2:1982, Lundin 84/. Svavelväte har en mycket oangenäm lukt även i små koncentrationer och om det kommer ut i grundvattnet kan vattnet i omgivande brunnar smaka och lukta mycket illa.

Torstensson /Torstensson 83:1/ har genomfört en genomgång av tillgänglig litteratur som behandlar nedbrytningen av etanol, metanol, etylenglykol och propylenglykol. Av rapporten framgår att kunskapen vad gäller nedbrytningen av dessa köldbärare är bristfällig.

Inga studier av nedbrytningen av etylenglykol i jord eller där syre har varit den begränsande faktorn har påträffats i denna genomgång. För etylenglykol finns nedbrytningsvägar föreslagna i litteraturen.

Studien har visat att nedbrytningen av propylenglykol ej har studerats i samma omfattning som nedbrytningen

av etylenglykol. Inte någon rapport där nedbrytningsprodukter och nedbrytningsvägar studerats har påträffats. Litteraturgenomgången har inte heller resulterat i att någon rapport där nedbrytningen av propylenglykol påträffats. Man har dock visat att nedbrytningen kan ske både under aeroba och anaeroba förhållanden.

Nedbrytningsvägarna för etanol är åtminstone till en del kända. Även etanol bryts ned under både aeroba och anaeroba förhållanden. Etanol i hög koncentration är toxiskt för mikroorganismerna. Fondelius har visat /Fondelius 82/ att även för etanol gäller att nedbrytningen spelar en mindre roll vid substansens försvinnande från yttjord.

Som ett mått på ett ämnes lätthet att brytas ned används ofta kvoten mellan den biologiska syreförbrukningen (BOD) och den teoretiska syreförbrukningen (TOD). Vanligtvis anges nedbrytningen efter 20 dygn (BOD₂₀) vid +20°C under aeroba förhållanden. Detta är tyvärr inte de förhållanden som kommer att råda vid ett köldbärarläckage, varför det med utgångspunkt från BOD₂₀-värden inte går att förutse i vilken omfattning köldbärarvätskan kommer att brytas ned.

BOD-data för de aktuella frysskyddsvätskorna (etylenglykol, propylenglykol och etanol) /Liljelund 82:1/ tyder på att det finns vissa skillnader i den initiala nedbrytningshastigheten men att efter 20 dygn är skillnaderna i det närmaste utjämnade. Efter 20 dygn är för samtliga köldbärarvätskor ca 75-85 % av tillsatt köldbärare nedbruten.

I Danmark har en undersökning genomförts av köldbäres nedbrytning i olika jordtyper vid olika temperatur och syretillgång /ref av Torstensson 82:1/. Man har studerat etanol, metanol och etylenglykol samt hur tillsatser av bensoat och nitrat till dessa ämnen inverkar på nedbrytningen. De doser av köldbärare som studerats var 1 mg/kg jord och 1 000 mg/kg jord.

I undersökningen har bl a visats att olika ämnen bryts ned med olika hastighet i olika jordtyper. I mulljord vid +25°C under aeroba förhållanden var samtliga ämnen nedbrutna inom ett par dagar. I sandjord med en lägre halt av organiskt material gick nedbrytningen långsammare. Vid +25°C och under aeroba förhållanden kunde man efter 28 dygn återfinna 60 % av tillsatt etylenglykol och mindre än 5 % av tillsatt etanol. Man fann dessutom att nedbrytningshastigheten halverades när temperaturen sänktes från +25° till +10°C under aeroba förhållanden.

När syretillgången begränsades och temperaturen hölls vid +10°C, för att efterlikna de förhållanden som råder i jord, fann man att nedbrytningen gick mycket långsamt. Man bedömer att halveringstiden för de undersökta substanserna under dessa förhållanden blir 3-4 månader. Man drar därför slutsatsen att syretill-

gången är den mest begränsande faktorn vid nedbrytningen av köldbärare.

Försöken visade att nedbrytningen av etylenglykol, etanol och metanol gick snabbare när substanserna tillsattes i koncentrationen 1 mg/kg jord än i koncentrationen 1 000 mg/kg jord. Detta trots att man bedömer att koncentrationen 1 000 mg/kg jord inte borde vara toxisk för mikroorganismerna i jorden och därmed inte påverka nedbrytningshastigheten.

Vid tillsats av 100 mg/kg nitrat till jorden ökade nedbrytningshastigheten för etanol i koncentrationen 1 000 mg/kg jord vid 10° och anaeroba förhållanden.

Glykoler innehåller normalt 4 % natriumbensoat för att förhindra bakterie- och svamptillväxt i systemet. Försöksresultaten visar att en 4 %-ig tillsats av natriumbensoat inte påverkar nedbrytningshastigheten av etylenglykol i koncentrationen 1 000 mg/kg jord.

Fondelius /Fondelius 82/ har studerat nedbrytning och totalavgång av bensin och alkoholbränslen, däribland metanol och etanol, i jord.

Av resultaten framgår att nedbrytningen spelar en mindre roll för totalavgången från ytjord av metanol och etanol. Vid ett eventuellt läckage i ett bergvärmesystem måste däremot substansens försvinnande i det närmaste helt ske via nedbrytning eller via bortpumpning o dyl.

Resultaten visar att efter två veckor är totalavgången av metanol och etanol ungefär lika stor, detta trots att totalavgången efter en vecka är högre för metanol än för etanol.

Från resultaten ser man också att nedbrytningen minskar med temperaturen men ökar med ökat vatteninnehåll i jorden. Vidare framgår att jordtypen inverkar på totalavgången och andelen nedbruten substans.

Liljelund /Liljelund 82:2/ har studerat nedbrytningen av tre kommersiella köldbärare vid +6°C. Resultaten från undersökningen finns redovisade i tabell 6-2. De visar att nedbrytningen är låg vid +6°C jämfört med nedbrytningen av respektive köldbärare vid +20°C.

Nedbrytningen har mätts med hjälp av den biokemiska syreförbrukningen (BOD) under 34 dygn vid +6°C. I dessa nedbrytningsförsök har syretillgången ej varit en begränsande faktor. Försöken visade att toxiciteten från 7-dygnsproven (som finns redovisade i samma rapport) i de flesta fall inte var bestående, utan efter en tillvänjningsperiod (varierande lång beroende på koncentration och frysskyddsmedel) satte nedbrytningen igång. De koncentrationer av frysskyddsmedel som undersökts är lägre än de som vanligtvis förekommer i värmeutvinningskretsar. Man bör dock

kunna räkna med en viss utspädning vid läckage, varför de koncentrationer som använts i testen kan anses lämpliga.

Ämne	Koncentration vikt-%	Andel nedbruten produkt % efter 34 dygn
Propylenglykolbaserad köldbärarvätska	5	7 ej tox, hämning under 11 dygn
	2	7 ej tox, hämning under 4 dygn
Etylenglykolbaserad köldbärarvätska	10	0 ej tox
	5	4 ej tox, hämning under 20 dygn
Cellulosaspritbaserad köldbärarvätska	10	0 toxiskt
	5	4 ej tox, hämning under 0 dygn

Tabell 6-4 Resultat av nedbrytningsförsök av kommersiella köldbärare redovisat som % nedbruten produkt efter 34 dygn vid +6°C och syretillgång /Liljelund 82:2/

Jord		Temp °C	WHC ¹⁾	Metanol			Etanol		
				1v	2v	3v	1v	2v	3v
Gräsö - näringsfattig, sandig mull- haltig (ängs- mark, riklig bevätning)	obe- hand- lad	+20	60 %	53	78 (11)	90	47	73 (4)	80
		+10	60 %	39	59 (12)	74	31	49 (2)	67
		+ 5	60 %	39	58 (7)	73	30	47 (0)	59
	be- hand- lad ²⁾	+20	100 %	38	54 (16)	60	36	51 (9)	60
		+20	5 %	93	>96 (2)	>96	94	>98 (0)	>98
Unsta - mull/brunjord (barrskog)		+20	60 %	73	93 (19)	>98	69	91 (20)	>96
Funbo-Lövsta - måttligt mull- haltig styvare mellanlera (åkermark)		+20	60 %	63	86 (14)	93	58	84 (17)	>90
Gälbosand - måttligt mull- haltig lerig mojord (ängs- mark)		+20	60 %	69	90 (12)	>95	63	89 (16)	>94

- 1) WHC = Water Holding Capacity
100 % WHC betyder att jorden är vattenmättad
60 % WHC antas vara optimum för den mikrobiella
aktiviteten
- 2) Jord som 45 dagar tidigare givits en dos på 2,7 l
alkohol/m²
- 3) motsvarar ung 10 000 mg alkohol/kg jord, där
alkohol = 0,8 kg/l och jord = 1,5 kg/l använts.
20°C (packad, fuktig)

Tabell 6-5 Totalavgång av metanol och etanol i % av tillsatt mängd under aeroba förhållanden. Inom parentes anges nedbrytningens andel i % av total avgången efter 12 dygn /Fondelius 82/ (Dos: 1 ml/50 ml jord, vilket svarar mot 1,0 l/m²)

I försöken har den största nedbrytningen efter 34 dygn uppmätts till 7 %. Liljelund /Liljelund 82:2/ uppger att nedbrytningen av de undersökta köldbärarna, efter 20 dygn vid +20°C (mätt som BOD₂₀/TOD), är ca 70 %, 75 % och 80 % för propylenglykol-, etylenglykol- resp cellulosa-baserad köldbärarvätska.

I Vallentuna kommun uppstod våren 1983 ett läckage av 20 %-ig propylenglykolbaserad köldbärarvätska från en ytjordvärmeanläggning. I de prover som togs för analys från dricksvattenbrunnar i närheten (ca 50 m från platsen för läckaget) återfanns inga rester av propylenglykol. Någon närmare analys av eventuella nedbrytningsprodukters struktur genomfördes ej. Tiden som förflöt mellan läckaget och första provtagnings-tillfället var ca 14 dagar. (Se särskilt avsnitt i slutet av kapitlet.)

Efter att ha studerat resultaten från ett antal undersökningar av köldbärarens nedbrytbarhet framgår det att det ej går att jämföra resultaten från olika undersökningar eftersom försöksbetingelserna har varierat, vilket starkt påverkar resultatet. Det är dessutom svårt att utifrån gjorda undersökningar entydigt kunna förutsäga vad som kommer att hända vid ett läckage. Genomförda undersökningar har dock visat att nedbrytningshastigheten sjunker när temperaturen sänks och syretillgången begränsas. Det är därför att förvänta sig relativt långa halveringstider (månader) för utläckt köldbärare. Man har också visat att dosen av köldbärare påverkar nedbrytningshastigheten varför den mängd köldbärare som har läckt ut kan påverka nedbrytningen.

Det är inte klarlagt vilken roll tillsatskemikalierna spelar för nedbrytningen. För att kunna göra en sådan utvärdering bör parallella försök genomföras med rena frysskyddsämnen respektive kommersiella köldbärare med tillsatskemikalier under förhållanden som kan tänkas likna dem som råder vid ett läckage från en markvärmeanläggning. Det är troligt att tillsatskemikalierna påverkar den initiala nedbrytningshastigheten men att det efter en tid endast spelar en mindre roll för den totala mängd som bryts ned. Den låga nedbrytningen som registrerades i /Liljelund 82:2/ kan förmodligen till stor del tillskrivas den låga temperaturen och till mindre del en förlängd tillväxningsperiod.

Samtliga försöksresultat tyder på att nedbrytningshastigheten borde bli låg vid de förhållanden som vanligtvis råder vid markvärmeutvinning. Det är därför något förvånande att finna att man efter ett läckage i Vallentuna ej kan detektera några rester av utläckt propylenglykol i närbelägna brunnar två veckor efter läckage /Bergknut 83/. Proverna har visat en onormalt hög permanganatförbrukning /Bergknut 83/, vilket tyder på ett onormalt högt innehåll av organiskt material. Detta höga innehåll av organiskt material utgörs förmodligen av mikroorganismer (ana-

lyser visar en kraftigt förhöjd bakteriehalt i vatt-
net /Bergknut 83/), rester av den utläckta köldbärar-
vätskan samt dess nedbrytningsprodukter.

Dessa analysresultat tyder på att nedbrytningen av
den utläckta köldbäraren har gått snabbare än förvän-
tat. En förklaring till detta kan vara att nedbryt-
ningen går mycket långsamt när koncentrationen av
köldbärare är relativt hög, vilket har varit fallet i
samtliga undersökningar som har studerat köldbärarens
nedbrytning. Om koncentrationen däremot är mycket låg
kan nedbrytningshastigheten bli mycket hög även under
förhållanden som låg temperatur och liten syretill-
gång. Om de lokala grundvattenförhållandena är sådana
att köldbäraren snabbt efter läckaget späds till re-
lativt låga koncentrationer kan nedbrytningen gå be-
tydligt snabbare än vad utförda undersökningar indi-
kerar. Denna förklaring stöds av resultaten i den
danska undersökningen /ref av Torstensson 82:1/ där
man fann att nedbrytningen gick snabbare när substan-
sen tillsattes i koncentrationen 1 mg/kg jord än i
koncentrationen 1000 mg/kg jord.

En mindre uppmuntrande förklaring till att man inte
funnit rester av köldbärarvätskan i de vattenprover
som tagits efter läckaget i Vallentuna kan vara att
analysen avseende propylenglykol inte har fungerat på
avsett vis. En tredje förklaring kan vara att de höga
halterna av organiskt material helt hänför sig till
den ökade mängden mikroorganismer i vattnet som följ-
de efter läckaget.

6.4 Rörlighet

Det är av intresse att veta om och hur köldbärarväts-
skan rör sig i marken efter ett läckage. Samtliga
aktuella frysskyddsmedel är blandbara med vatten och
visar en låg benägenhet att adsorberas till jord
/Torstensson 83:1/. Detta tyder på att köldbärarväts-
skorna är lättrörliga i jord och berg och följer
vattnets rörelse i marken. Det innebär sannolikt att
utläckt köldbärarvätska snabbt späds ut och därmed
snabbare bryts ned. Det innebär också att risken för
att grundvattnet och närbelägna brunnar blir för-
orenade ökar, vilket kan leda till problem vid stora
läckage.

Sker läckaget ovanför grundvattennivån, vilket är
fallet vid ett ytjordvärmsystem, bör effekterna på
grundvattnet bli mindre eftersom köldbärarvätskan
måste passera de ovanliggande marklagren där en ned-
brytning äger rum.

6.5 Anrikning i organismer

Att få en anrikning av ämnen i organismer med kända
och eller okända konsekvenser är inte önskvärt. Huru-
vida de ämnen som är aktuella att ingå i köldbärar-

vätskor har denna egenskap är ej känt. Inga rapporter som redovisar resultat från undersökningar avseende denna egenskap har påträffats. En anrikning av frys-punktsnedsättande ämnen och deras nedbrytningsprodukter är inte trolig. Motsvarande risk beträffande vissa av tillsatskemikalierna är svårare att uttala sig om.

6.6 Smaktest

Propylenglykol är en klar, luktlös vätska med en svagt sötaktig smak. Etylenglykol är en klar, färglös vätska som är nästan luktlös och med sötaktig smak. Etanol är en klar, färglös vätska med typisk lukt och smak. De frysskyddsmedel som används i värmekollektorsystem brukar normalt färgas för att lättare kunna särskiljas. Etanol denatureras vanligtvis, vilket bl a ger en mycket otrevlig smak även i mycket små koncentrationer.

En smaktest genomförd på SNV /Dietrichson 83/ visade att propylenglykol och etylenglykol klart slog igenom i koncentrationen 1 % men var svårare att urskilja vid 0,1 %. Närvaron av kalciumklorid och cellulosa-sprit var klart märkbar vid halten 0,1 %, däremot var koncentrationen 0,01 % svårare att upptäcka. Det är rimligt att anta att smaken av metanol åtminstone slår igenom vid samma koncentration som etanol. De testade ämnena innehöll inga tillsatser av inhibitorer och denatureringsämnen.

Om all köldbärarvätska (ca 400 l) som finns i ett system läcker ut och hamnar i en brunn (djup ca 200 m) kommer den resulterande koncentrationen av frysskyddsmedel i vattnet att vara så hög (ca 5 volym-%) att man utan problem märker att vattnet är förorenat och därmed undviker att dricka några större mängder av det förorenade vattnet.

6.7 Ett exempel på effekterna av läckage i en ytjordvärmekollektor

I Vallentuna skedde våren 1983 ett läckage av propylenglykol i samband med installation av en ytjordvärmeanläggning.

Den totala mängd utspädd propylenglykol som läckt ut bedömdes av installatören uppgå till 40-50 l. Ca 4 dagar efter läckaget uppstod problem med vattnet i den bergborrade brunn som låg närmast, ca 5 m från platsen för läckaget. Vattnet luktade då illa och skummade rikligt.

Ytterligare 2 veckor senare hade 2 andra borrade brunnar i området fått problem med dålig lukt. Dessa brunnar var ungefär lika djupa (30-40 m) som den första och belägna ca 100 m från platsen för läckaget.

Ytterligare en brunn i området fick problem med vattenkvaliteten. Detta skedde ca 1,5 månad efter det att de första problemen rapporterades. Denna brunn var 70 m djup och belägen ca 100 m från läckageplatsen.

När problemen rapporterades till miljö- och hälsoskyddskontoret i Vallentuna togs prov på vattnet. Dessa skickades för analys till Statens Lantbrukskemiska Laboratorium, Uppsala. Vattenprover togs sedan regelbundet för att kunna följa förändringarna i vattnet.

Analyserna visade att man fått förhöjda bakteriehalter i samtliga de brunnar som hade problem. De högsta bakteriehalterna konstaterades i de brunnar som först fick problem. Det var dock endast 2 av proverna som gav bakteriehalter över vad som anses som tjänligt vatten. De var båda tagna inom en månad efter läckaget.

Vattenproverna analyserades även med avseende på propylenglykol. Man kunde ej detektera propylenglykol i något av proverna. Den gaskromatografiska metod som använts för analysen uppgavs ha en känslighet på 50 mg glykol/l vatten (vilket motsvarar en utspädning av utläckt propylenglykol (50 l) med 1 milj l vatten). I den närmast belägna brunnen gjordes den första analysen med avseende på propylenglykol på vattenprov taget ca 14 dagar efter läckaget.

Vattenproverna visade också en förhöjd permanganatförbrukning, vilket tyder på att proverna innehöll en större mängd organiskt material än normalt.

Vattnet i samtliga brunnar med problem luktade svavelväte, som liknar lukten från ruttna ägg. Även små mängder svavelväte ger en mycket obehaglig lukt och smak, som gör vattnet otjänligt som dricksvatten och ger en besvärande lukt inomhus. Det var detta problem som uppfattades som störst och var det som kvarstod längst.

Problemet med svavelvätelukt var helt borta efter 5 månader i samtliga fastigheter i området. Svavelvätebildningen tyder på att nedbrytning av organiskt material med begränsad syretillgång har ägt rum.

Den syrebrist som uppstod i marken till följd av nedbrytningen av organiskt material kan också förklara de förhöjda halterna av järn och mangan i vattenproverna. Syrefattigt vatten kan lösa ut järn och mangan från jord och berg, som sedan transporteras med grundvattnet. När vattnet sedan kommer i kontakt med syre, t ex i en brunn, faller järn och mangan åter ut. Detta har skett i Vallentuna, vilket har gett problem med brunfärgning av vattnet samt igensättning av ledningar och pumpar.

Om man sammanfattar erfarenheterna från läckaget av propylenglykol i Vallentuna kan man konstatera att de problem som uppstod inte var bestående utan övergående. Erfarenheterna tyder på att det inte var köldbärrarvätskan i sig som förorsakade problemen utan dess sekundära effekter som syreförbrukande nedbrytning i form av svavelvätebilning samt järn- och manganutfällningar.

6.8 Naturvårdsverkets bedömning

Naturvårdsverket har sammanställt en rapport som behandlar värmeutvinning ur mark, vatten och luft. I detta avsnitt ges ett referat av rapporten "Värmeutvinning ur mark, vatten och luft - miljövänlig om den görs rätt, SNV 1984.

Allmänt

SNV bedömer miljökonsekvenserna i samband med värmeutvinning ur mark, vatten och luft som begränsade och att de ur miljöhänseende utgör ett bra alternativ till värmeförsörjning.

Följande kortfattade bedömning av de olika systemen för värmeutvinning ur mark, vatten och luft görs:

<u>Ytjordvärme</u> , <u>Bergvärme</u>	Risk finns för läckage av köldbärare med påföljande negativa effekter.
<u>Grundvattenvärme</u>	Eftersom vattenuttaget är stort kan grundvattenkvaliteten försämrast.
<u>Ytvattenvärme</u>	Miljöpåverkan bedöms som liten.
<u>Spillvatten</u>	Bör normalt kunna tillämpas utan negativa miljökonsekvenser.
<u>Luftvärme</u>	Kan innebära problem med buller från värmepumpen.

Köldbärrarvätskor

Etylenglykol (metanol nämns ej) bedöms vara det ur miljösynpunkt minst lämpliga valet av frostskyddsmedel. Propylenglykol anses ur toxikologiskt hänseende vara det minst riskabla av de organiska frostskyddsmedlen. De oorganiska salterna, som är aktuella som köldbärare, bedöms samtliga innebära låga risker.

Av de tillsatser av kemikalier för korrosionsskydd, skumdämpning m m, som görs till köldbärrarvätskorna bedöms tillsatserna av natriumnitrit, trietanolamin, bensotriazol och tolyltriazol kunna ge de största

problemen vid läckage. Naturvårdsverket säger också att kromater inte under några omständigheter bör ingå som korrosionsinhibitor.

Gällande lagstiftning

För anläggningar mindre än 1 MW kan tillstånd eller anmälan krävas om lokala föreskrifter för värmeutvinning finns i kommunen.

För anläggningar i storleken 1-10 MW krävs anmälan och för anläggningar i storleken 10-50 MW krävs tillstånd hos länsstyrelsens naturvårdsenhet enligt miljöskyddslagen.

Tillstånd hos koncessionsnämnden för miljöskydd krävs enligt miljöskyddslagen då uttagen effekt överstiger 50 MW.

Vid grundvattenvärme skall eventuellt en prövning enligt vattenlagen göras.

Byggnadslov krävs vid nybyggnad av hus för värmepump.

Vid bedömning av bullerstörningar till omgivningen från värmepumpar bör de riktvärden som gäller för externt industribuller tillämpas.

Etylenglykol och andra kemikalier som är att betrakta som miljöfarligt avfall, enligt SNV PM 690, skall tas om hand när de inte längre används som köldbärare enligt gällande bestämmelser (SNV PM 690). Icke miljöfarligt avfall, som t ex rena saltlösningar, bör spädas så att de inte medför negativa effekter vid kvittblivning.

Naturvårdsverket har i denna rapport i övrigt endast lämnat rekommendationer för vad som bör gälla för system för utvinning av värme ur mark, vatten och luft. Dessa kan sedan ligga till grund för lokal lagstiftning inom kommunerna.

För samtliga typer av värmeutvinningssystem gäller att värmeutvinning ej bör ske inom område som omfattas av förordnande enligt naturvårdslagen om det inte är helt klarlagt att värmeutvinning ej kommer i konflikt med syftet med förordnandet.

Markvärme

Lokalisering

Anläggningar för värmeutvinning med sluten köldbärarkrets bör ej förläggas inom inre och yttre skyddsområde för vattentäkt eller annat område där det är önskvärt att skydda grundvattnet mot förorening. En lokalisering inom det yttre skyddsområdet kan i vissa fall accepteras men bör först godkännas av miljö- och hälsoskyddsnämnd.

Lokaliseringen bör anpassas till de geologiska, hydrauliska och tekniska förutsättningarna på platsen. En anläggning bör t ex ej placeras uppströms en vattentäkt.

Erforderligt skyddsavstånd för vattentäkt i finkorniga homogena jordarter kan överslagsmässigt anges till 30 m till brunn för enstaka hushåll och 60 m till brunn för fem hushåll.* (Vattenuttag ur en brunn för ett hushåll har satts till $1 \text{ m}^3/\text{dygn}$ och grundvattenbildningen $150 \text{ mm}/\text{år}$.)

För anläggningar i morän kan ej generella skyddsavstånd anges utan bör bestämmas i varje enskilt fall.

För små vattentäkter i sand och grus är det svårt att ange heltäckande schablonavstånd utan en bedömning baserad på grundvattnets rörelse måste göras. För större vattentäkter finns i regel skyddsområden upprättade.

För anläggning i sprickig berggrund bör särskild hänsyn tas till att grundvatten strömmar i enskilda sprickor, vilket gör det svårt att fastställa meningsfulla skyddsområden.

Utformning av anläggningen

Slangar eller rör i köldbärarkretsen bör vara tillverkade av polyetylen eller annat minst likvärdigt, icke korrosivt material som klarar infrysning utan att spricka.

Köldbärarkretsen bör vara dimensionerad för ett tryck av minst 600 kPa i bergvärmeanläggningar och minst 400 kPa i ytjordvärmeanläggningar.

Innan anläggningen tas i bruk bör slangar inklusive kopplingar täthetsprovats med gas vid ett tryck av 20 kPa under 2 timmar. För att upptäcka eventuella otätheter i systemet bör kopplingar och andra delar där läckage kan förväntas uppstå inspektas med såpvatten.

Täthetsprovning kan alternativt ske med rent vatten vid ett tryck av 1,5 gånger drifttrycket, dock minst 400 kPa. Slangarna pumpas därvid upp till aktuellt provtryck. Efter 15 min kontrolleras om trycket har fallit. Om så är fallet pumpas trycket åter upp till aktuellt provtryck. Detta förfarande återupprepas tills trycket inte sjunker på 15 min. Provtrycket skall då kunna hållas i 1 timme utan att trycket faller.

I stora anläggningar bör täthetsprovning göras delfält för delfält. Täthetsprovning bör också göras när en reparation genomförs.

* ej direkt tillämbart på bergvärme

Värmepumpens lågtryckspressostat bör vara kopplad till köldbärarpumpen så att den senare stannar vid läckage. Anläggning med mer än 1 000 l köldbärarvattenska bör vara försedd med tryckvakt och nivåkontroll med alarm för tryck- eller nivåfall i köldbärarkretsen. Vid alarm skall anläggningen omedelbart stoppas.

Större slangsystem bör uppdelas i parallella slangkretsar. Kopplingar bör förläggas i särskilda brunnar.

Vid anläggandet av ytjordvärmeanläggning bör en slangkarta upprättas, som visar slangarnas (rörens) verkliga läge och djup. Fördelnings- och kopplingspunkter markeras på kartan.

Ytvattenvärme

Lokalisering

Vid lokalisering bör konkurrens med andra resursutnyttjare beaktas. Exempelvis kan en temperatursänkning vara negativ för en fiskodling. Om sjön används som vattentäkt kan såväl en temperatursänkning som en ändrad vattenkvalitet på intagsnivån vara negativ.

Kräfter (flodkräfta och signalkräfta), ål och karpar är särskilt känsliga för temperatursänkning, varför värmeutvinning ej kan ske utan inverkan på dessa arter. Planering bör i sådana fall ske med fiskeexperter.

Större värmeuttag ur sjöar måste bedömas individuellt med hänsyn till risk för förändrad näringsstatus i sjön (eutrofiering - oligotrofiering) och temperatur-effekter på växter och djur.

Vid en bedömning av påverkan i kustvatten måste hänsyn tas till recipientens vattenomsättning. Avsnörda vikar kan i ett första skede betraktas som sjöar (enligt ovan). Är det fråga om öppen kust torde ingen temperatur- eller näringspåverkan av betydelse uppkomma.

Vid utläggning av slangar, nedgrävning av intagsrör eller annan verksamhet, som medför uppgrumling av sediment, skall SNV's riktlinjer för muddring och muddertippning tillämpas (under utarbetande).

Slangsystem för värmeutvinning bör ej förläggas inom områden där värdefulla fiskarters vandringsmönster kan störas eller där reproduktion av värdefulla fiskarter förekommer.

Värmeutvinning ur ytvatten med slutet system bör ej ske inom skyddsområde för vattentäkt. Undantag kan göras i stora sjöar i de fall avståndet mellan vattenintaget och anläggning är sådant att det är uppenbart att en tillfredsställande utspädning kan ske.

OBS

Utformning av anläggningen

Slangar eller rör i köldbärarkretsen bör vara tillverkade av polyetylen eller annat minst likvärdigt, icke korrosivt material som klarar infrysning utan att spricka.

Köldbärarkretsen bör vara dimensionerad för ett tryck av minst 600 kPa.

Innan anläggningen tas i bruk bör slangar inklusive kopplingar täthetsprovras med gas vid ett tryck av 20 kPa under 2 timmar. För att upptäcka eventuella otätheter i systemet bör kopplingar och andra delar där läckage kan förväntas uppstå inspulas med såpvatten.

Täthetsprovning kan alternativt ske med rent vatten vid ett tryck av 1,5 gånger drifttrycket, dock minst 400 kPa. Slangarna pumpas därvid upp till aktuellt provtryck. Efter 15 min kontrolleras om trycket har fallit. Om så är fallet pumpas trycket åter upp till aktuellt provtryck. Detta förfarande återupprepas tills trycket inte sjunker på 15 min. Provtrycket skall då kunna hållas i 1 timme utan att trycket faller.

I stora anläggningar bör täthetsprovning göras delfält för delfält. Täthetsprovning bör också göras efter att reparation genomförts.

Värmepumpens lågtryckspressostat bör vara kopplad till köldbärarpumpen så att den senare stannar vid läckage. Anläggning med mer än 1 000 l köldbärarvatten ska bör vara försedd med tryckvakt och nivåkontroll med alarm för tryck- eller nivåfall i köldbärarkretsen. Vid alarm skall anläggningen omedelbart stoppas.

Större slangsystem bör uppdelas i parallella slangkretsar. Kopplingar bör förläggas i särskilda inspektionsbrunnar på land.

Slangarna bör förläggas så att mekanisk överkan försvåras och alltid under lägsta isnivå. Anslutningsdelen vid stranden bör grävas ner. Hänsyn bör också tas till ström- och vågpåverkan. Slangarna förankras så att de ej riskerar att flyta upp.

Vid utläggning av slangar bör dessas läge dokumenteras på en slangkarta.

Slangsystem, som förläggs i t ex trafikerade vatten, kan behöva utmärkas med bojor. Tillstånd för bojutläggning lämnas av Sjöfartsverket.

Inom utmarkerat område för slangsystem kan ankringsförbud behöva föreskrivas. Ankringsförbud utfärdas efter ansökan hos länsstyrelsen. I de fall då slangens förlagts i sedimentytan eller fritt hängande i vatt-net kan också fiskeförbud behöva utfärdas.

6.9 Danska föreskrifter

I Danmark finns föreskrifter för ytjordvärmeanläggningar, " Miljöministeriets bekendtgørelse nr 522 af 2 december 1980". Här ges ett kortfattat referat av föreskrifterna.

Sammanfattning

I Danmark krävs idag tillstånd för att installera ytjordvärmeanläggning. För att tillstånd skall beviljas skall följande vara uppfyllt:

- Rören skall vara av polyetylen (PEL) eller dimensioneras för ett tryck på 600 kPa (PN 6)
- Rören skall läggas i öppen grav omgivna av stenfritt material
- Radien på böjningar skall vara i överensstämmelse med fabrikantens föreskrift, dock minst 15 ggr rörens ytterdiameter
- Rörsystemet skall vara slutet med ett vilotryck på minst 150 kPa (absolut tryck)
- Anläggningen skall vara försedd med en plomberad lågtrycksvakt som alarmerar vid fallande tryck i jordförlagda plaströren. Vid alarm skall anläggningen stoppas och ej automatiskt kunna starta igen
- Som värmeöverföringsmedium skall vatten användas KCB
- Som frostskyddsmedel kan etylenglykol, propylenglykol, natriumklorid eller blandningar av kalcium- och magnesiumklorid användas
- För att motverka korrosion kan till etylen- och propylenglykol tillsatser göras av upp till 0,4 % natriumnitrit, 4 % natriumbensoat, 4 % borax och 0,2 % bensotriazol. Till natriumkloridlösningar kan tillsatser av natriumkarbonat göras för att motverka korrosion. På motsvarande sätt kan natriumhydroxid tillsättas kalcium- och magnesiumkloridlösningar.
- Andra frostskyddsmedel och korrosionstillsatser kan användas efter miljöstyrelsens godkännande
- Avståndet till egen dricksvattentäkt skall vara minst 1,0 m/l glykol eller 1,0 m/kg salt i systemet
- Avståndet till annans dricksvattentäkt skall vara minst 2,0 m/l glykol eller 2,0 m/kg salt i systemet
- Avståndet till allmän dricksvattentäkt skall vara minst 4,0 m/l glykol eller 2,0 m/kg salt i systemet, dock minst 300 m

*Skylde-
Avstånd*

- Om etylen- eller propylenglykol används som frostskyddsmedel får på ett område av 10 000 m² runt anläggningen ej installeras anläggningar med ett totalt innehåll på mer än 300 l glykol
- Efter installation skall slangarna och kopplingarna täthetsprovas.*
- En slangkarta skall upprättas
- Anläggningen skall kontrolleras av användaren minst en gång om året, speciellt då med hänsyn till tryckvaktens funktion och systemets täthet.

* Tryckprovningsen skall ske med vatten. Provtryckning skall ske vid 1,5 ggr drifttrycket, dock minst 400 kPa efter 15 min. Slangarna pumpas därvid upp till aktuellt provtryck. Efter 15 min kontrolleras om trycket har fallit. Om så är fallet pumpas trycket åter upp till aktuellt provtryck. Detta förfarande återupprepas tills trycket inte sjunker på 15 min. Provtrycket skall då kunna hållas i 1 timme.

7. PRAKTISKA ERFARENHETER

7.1 Inledning

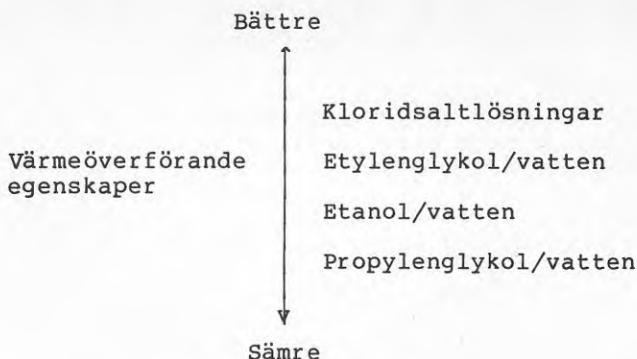
En angelägen del av detta projekt har varit att samla in erfarenheter och åsikter bland de personer och företag som arbetar med köldbärare. Många har med engagemang delat med sig av sina ibland rätt dyrköpta erfarenheter. I det här avsnittet vill vi försöka ge en presentation av alla dessa spridda guldkorn i någon sorts logisk följd. Man måste ha i åtanke att i de allra flesta fall där det är några praktiska problem med en anläggning är det primära målet för en installatör att få igång värmeproduktionen fortast möjligt. Det innebär att det ofta inte finns tid att närmare analysera felorsaker utan istället angriper man problemet med en blandning av sunt förnuft och "trial and error", dvs man prövar med att t ex byta ut köldbärarblandningen mot en annan och se om det blir bra. Med denna metodik löses ofta problemen, men kvar står frågan vad som egentligen orsakade det hela och hur liknande problem skall förhindras i nästa anläggning.

Det som i ena anläggningen fungerar utmärkt har ibland inte alls fungerat som tänkt i en annan. Att med säkerhet analysera orsakerna via intervjuer av installatörer, användare etc går naturligtvis inte, men ofta är det möjligt att påpeka några tänkbara orsaker som man i den vidare verksamheten kan vara särskilt uppmärksam på. I de följande avsnitten görs därför ett försök att sprida den blandning av erfarenheter, åsikter och övriga tips som vi före och under projekttiden har tagit del av, inklusive råd som återges i handböcker och material från tillverkare.

7.2 Teknisk lämplighet

De olika köldbärarnas tekniska lämplighet för olika ändamål och arbetsområden skiljer sig märkbart för de vanliga köldbärarblandningarna. De fysikaliska skillnaderna framgår till stor del av tidigare avsnitt i rapporten.

Vid önskemål att arbeta med låga arbetstemperaturer på köldbärarblandningen (här menas då storleksordningen -5 till -10°C) går det att rangordna de värmeöverförande egenskaperna enligt nedanstående.



Rent praktiskt yttrar det sig bl a i följande begränsningar av tillämpbarhet, uppdelat på några värmekällor.

Ytjordvärme

Flera anläggningar med propylenglykol har givit problem, troligtvis p g a låga drifttemperaturer, dvs när dimensioneringen av anläggningens markkollector medfört en drifttemperatur lägre än ca -4 till -7°C . Propylenglykol undviks generellt av flera värmepumpinstallatörer.

Bergvärme

Vid kollectorer med hög belastning är propylenglykol olämpligt av samma orsak som för ytjordvärme.

Uteluft

I uteluftkollectorer krävs som regel att de skall fungera vid utetemperaturer ner till ca -15°C . I sådana fall är inte propylenglykol lämpligt, ej heller etanolbaserade lösningar med etanolhalter upp till ca 30 % (dvs med flampunkt över 30°C , se avsnitt om brandfarlighet). Koncentrerade etanolblandningar är annars utmärkta köldbärare även vid mycket låga temperaturer.

7.3 Hantering, installation

Brandfara

Etanol är en brandfarlig vätska. Vid utspädning av etanol med hög koncentration (vanligtvis 88 - 95 % etanol) måste man iaktta följande:

- Ingen öppen eld får förekomma (rökning förbjuden!), värmepannor och elmotorer skall vara avslagna.
- Sörj för god ventilation. Arbeta helst utomhus.

- Vid utspädning tillsätts vattnet först i blandningskärlet och därefter koncentratet.
- Koncentratet får ej hållas med fritt fall. Tillsett koncentratet via slang under vätskeytan eller låt koncentratet rinna utmed blandningskärlets väggar.

Etylenglykol, propylenglykol och saltlösningar är inte brandfarliga.

Spill och läckage

Vid användning av kloridsaltlösningar är det viktigt att inte spilla något av lösningen utvändigt på värmepump och ledningar. Detta ger omedelbart ett kraftigt korrosionsangrepp som dessutom ser mycket fullt ut.

Saltlösningarna är hygroskopiska och drar därför alltid till sig fukt från luften, vilket dels gör att korrosion går fort, dels att spillen inte torkar utan upplevs som kladdiga.

Det har visat sig mycket svårt att skölja bort saltlösning som kommit ut, t ex inuti värmepumpens plåthölje. Det rekommenderas därför att man är noggrann med att systemet är helt tätt innan lösningen fylls på och att platsen för påfyllning av lösningen förläggs till ett ställe där ett eventuellt spill går att skölja bort med rikliga mängder vatten.

Lyftkraft

Blandningar av etanol/vatten erhåller en lägre densitet än rent vatten. Det innebär att den del av slangarna som är nedsänkt i vatten utverkar en lyftkraft. Detta har en viss betydelse för bergvärmetillämpningar. Normalt hänger man på en tyngd längst ner på värmekollektorn för att slangarna skall glida ned lätt. Det är i djupa hål som regel omöjligt att trycka ned slangpaketet. Skillnaden mellan t ex etylenglykol och etanol kan exemplifieras med följande:

Vi antar en kollektor med 100 m längd, bestående av två slangar av PEM med yttre diameter 4 cm och inre diameter 3,6 cm. Densiteten är för vattnet i brunnen 1000 kg/m³, för en 30 %-ig etanolblandning 956 kg/m³, för 30 %-ig etylenglykol 1040 kg/m³ och för PEM-plasten 930 kg/m³.

Slangens lyftkraft blir då 3,3 kg totalt (räknat på 200 m slang). Etanolblandningen ger en lyftkraft på 9 kg, dvs en total lyftkraft på ungefär 12 kg. Etylenglykolen ger istället en sänkkraft på 8,1 kg, dvs totalt (med slangen) en sänkkraft på ca 5 kg. Skillnaden mellan etylenglykol och etanolen blir följaktligen 17 kg för ett brunnsdjup på 100 m och sänket i slangpaketet måste anpassas till detta.

Vid ispåfrysning på en slang ger isen upphov till en lyftkraft eftersom isen har nästan 10 % lägre densitet än vatten. Det är viktigt att förankra slangarna vid sjövärme- och bergvärmetillämpningar med ispåfrysning. Även här kan samma bergvärmeexempel vara illustrativt. Antag att borrhålets diameter är 11 cm och med 100 m vattenpelare. Vattenvolymen som maximalt kan frysas är borrhålets volym minskat med slangarnas volym, dvs

$$100 \cdot \left(\pi \cdot \frac{0,11^2}{4} \right) - 200 \cdot \left(\pi \cdot \frac{0,04^2}{4} \right) = \\ = 0,950 - 0,250 = 0,700 \text{ m}^3$$

Den totala lyftkraften blir då $0,7(1000 \cdot 917) = 58 \text{ kg}$.

Med en diameter på hålet av 16 cm erhålls på samma sätt en maximal lyftkraft på 146 kg. I praktiken blir ispelaren troligtvis fastfrusen innan hela volymen frusit, varför den verkliga lyftkraften blir mindre. Den har i alla fall visat sig vara tillräckligt stor för att ge problem i de fall man låtit slangarna hänga i en brunnsadapter utan att förhindra möjligheten att slangarna ofrivilligt kan "lyftas" loss.

Av samma skäl måste slingor för sjövärme förankras väl för att inte flyta iväg vid påfrysning.

7.4 Driftproblem

Utän att göra anspråk på någon generaliserbarhet ges här i kort form exempel på några driftproblem:

- Användning av inhibitorblandning med skumbildande egenskaper har i ett flertal fall givit dålig värmeöverföring vid användning av etanolbaserad köldbärare.
- Ren etanol/vattenblandning har givit problem med skvåta pumpar. Med inblandning av några procent propylenglykol försvinner problemet.
- Såväl etylenglykol som propylenglykol har i något fall givit problem p g a gelaktiga klumpar och fällningar av okänd orsak. Bakterieangrepp och fällningar av inhibitorer med ämnen i utspädningsvattnet är tänkbara orsaker.
- Läckage i klämkopplingar sker lättare med glykol- och etanolhaltiga vattenblandningar p g a den sänkta ytspänningen än vid användning av rent vatten eller saltblandningar. Helst skall skarvar i plaströr svetsas och om klämkopplingar används skall de kontrolleras noga och helst efterdras efter någon tids användning.

7.5 Byte av köldbärare

Om en köldbärare av någon anledning skall bytas ut kan följande uppgifter vara till hjälp.

Vatten, etanol, etylenglykol och propylenglykol är fullt blandbara med varandra. Det innebär att byte mellan dessa organiska köldbärare i princip borde gå utmärkt, även om det blir kvar något i ledningarna av den köldbärare som skall bytas ut.

OBS -
Byter man från kloridsaltlösning till någon organisk köldbärare är det utomordentligt viktigt att allt salt sköljs bort. Gränsen för t ex en beprövad inhiberad etylenglykolbaserad köldbärare (Hoechst Antifrogen N) är 100 mg/l Cl⁻. Det innebär att det får kvarstå mindre än en tusendel av kloridjonerna i ledningarna, under förutsättning att spädvattnet är kloridfritt, för att denna gräns skall innehållas. Om kloridhalten blir högre än vad som rekommenderas måste korrosionsskyddet förstärkas.

Ett byte från organisk till kloridsaltköldbärare borde vara mindre känsligt. Om saltköldbäraren inhiberas med kromat, förbrukas kromaten genom att oxidera rester av de organiska köldbärarna. Resultatet blir att de organiska ämnena omvandlas till syror samt att korrosionsskyddet minskar eller försvinner helt, beroende på förhållandet mellan tillsatt kromat och kvarvarande organisk köldbärare.

7.6 Misslyckade köldbärare

Här vill vi påpeka att det är viktigt att vara kritisk inför "nya" köldbärarvätskor som skall ha "fantastiska" egenskaper. Hittills har sådana visat sig ha samma eller sämre egenskaper än de äldre, vanliga föreningarna, som redovisas i handböcker och andra källor.

8. KORRELATION OCH ALGORITMER FÖR FYSIKALISKA EGENSKAPER HOS KÖLDBÄRARBLANDNINGAR

8.1 Inledning

En relativt omfattande utveckling av ett datorprogram för att bearbeta data på köldbärares fysikaliska egenskaper har genomförts.

Syftet med programmet är att få fram enhetliga diagram och algoritmer (formler) för köldbärandningarnas egenskaper.

De egenskaper som har korrelerats på detta sätt är:

fryspunkt
kinematisk viskositet
densitet
värmeledningsförmåga
värmekapacitet

Korrelationen har (utom för fryspunkt) gjorts både med avseende på varierande temperatur och koncentration.

8.2 Koncentrationsmått

I alla formler ingår koncentrationen av köldbärandare (eller vatten) som molbråk (molandel). Data för köldbärandare är dock angivna, och används också, med vikt- eller volymprocent som koncentrationsmått.

Låt index A och B beteckna vatten respektive den utspädda tekniska köldbärandaren.

Inför följande beteckningar:

x_A, x_B	molbråk vatten resp K-B	$x_A + x_B = 1$
c_A, c_B	viktkoncentrationer	$c_A + c_B = 1$
y_A, y_B	volymkoncentrationer	$y_A + y_B = 1$
ρ_A, ρ_B	densitet för rent vatten respektive utspädd K-B	
M_A, M_B	molvikter	$M_A = 18$

Mellan vikt- och volymkoncentration råder sambandet

$$c_A = \frac{y_A \rho_A}{y_A \rho_A + y_B \rho_B} \quad \text{eller} \quad y_A = \frac{c_A \rho_B}{c_A \rho_B + c_B \rho_A}$$

Molbråk beräknas enligt

$$x_A = \frac{c_A / M_A}{(c_A / M_A) + (c_B / M_B)} = \frac{y_A \rho_A / M_A}{(y_A \rho_A / M_A) + (y_B \rho_B / M_B)}$$

8.3 Algoritmer

8.3.1 Fryspunkt

Teoretiskt (se avsnitt 2.4) erhålls fryspunkten för en köldbärandeblandning som

$$T_f = \frac{T_A}{1 - \frac{RT_A}{\Delta H_A} \ln x_A}$$

där T_f fryspunkt (K), T_A rent vattens fryspunkt = 273.15 K, R allmänna gaskonstanten = 8314 J/kmol K, ΔH_A smältvärme för vatten = $5994 \cdot 10^3$ J/kmol.

Praktiskt korreleras data för fryspunkten vid olika koncentrationer med minsta kvadratmetoden till en formel med två konstanter a och b:

$$T_f = \frac{T_A}{1 - a \ln x_A - b x_B^2}$$

(Formeln baseras på en korrelation för löslighet från /Reid -77/)

8.3.2 Viskositet

Med viskositet underförstås oftast dynamisk viskositet μ (kg/ms). Vid beräkningar är dock kinematisk viskositet ν (m²/s) mer användbart och används därför här.

Viskositeten är starkt beroende av både temperatur och blandningskoncentration, vilket gör det svårt att finna en lämplig korrelation. Korrelationer och teori redovisas i /Reid -77/ samt mer utförligt i /McAllister -60/. Dessa avser dock endast korrelation med avseende antingen på enbart temperatur eller koncentration.

Logaritmen av den kinematiska viskositeten kan anpassas till följande formler om enbart koncentration respektive enbart temperatur varierar.

Med avseende på koncentration:

$$\ln \nu = x_A^3 \ln \nu_A + 3x_A^2 x_B \ln \nu_{AB} + 3x_A x_B^2 \ln \nu_{BA} + x_B^3 \ln \nu_B$$

Med avseende på temperatur:

$$\ln \nu = C + \frac{D}{T - T_0}$$

Om konstanten T_0 fixeras, kan formlerna kombineras till en korrelation med avseende på både koncentration och temperatur. Detta sker genom att konstanterna C och D ersätts med polynom av koncentrationen. Resultatet blir en korrelation med nio parametrar.

$$\ln v = C(x_A) + \frac{D(x_A)}{T - T_0}$$

$$C(x_A) = x_A^3 C_A + 3 x_A^2 x_B C_{AB} + 3 x_A x_B^2 C_{BA} + x_B^3 C_B$$

$$D(x_A) = x_A^3 D_A + 3 x_A^2 x_B D_{AB} + 3 x_A x_B^2 D_{BA} + x_B^3 D_B$$

Konstanterna C_A , D_A respektive C_B , D_B bestäms med minsta kvadratmetoden för vatten respektive utspädd köldbärare.

Konstanterna C_{AB} , C_{BA} , D_{AB} , D_{BA} erhålls på motsvarande sätt från data för blandningar.

8.3.3 Övriga egenskaper

Med undantag för viskositet varierar de olika fysikaliska egenskaperna på ett "snällt" sätt med både koncentration och temperatur. Det är då lämpligt att korrelera en egenskap med hjälp av ett polynom med avseende på både koncentration och temperatur.

Låt V vara en egenskap som skall korreleras (exempelvis molvolym, värmeledningsförmåga eller värmekapacitet).

Exempel på polynom med avseende på koncentrationen är

$$V = V_A x_A^2 + V_{AB} x_A x_B + V_B x_B^2$$

Exempel på polynom med avseende på temperatur (i °C eller K, vilket är godtyckligt) är

$$V = V_0 + V_1 t + V_2 t^2$$

Allmänt kan en korrelation av denna typ skrivas

$$V = \sum_{i_x=0}^{m_x} \sum_{i_t=0}^{m_t} V_{i_x i_t} t^{i_t} x_A^{m_x - i_x} x_B^{i_x}$$

m_x = gradtal med avseende på koncentration

m_t = gradtal med avseende på temperatur

Denna korrelation har utnyttjats för olika fysikaliska egenskaper med följande innebörd av variabeln V :

viskositet (alternativ metod) $V = \ln v$

densitet $V = \frac{M}{\rho} = \frac{M_A X_A + M_B X_B}{\rho}$

värmeledning $V = \lambda$

värmekapacitet $V = c_p$

8.4 Användningsområden för algoritmer

Korrelationerna ovan har använts för att med programmet rita diagram för de olika egenskaperna, se avsnitt 4.2.1.

Vi har dock valt att inte redovisa de numeriska värden som diagrammen baseras på. Skälet till detta är främst risken för felaktig användning.

Värden på konstanter och hjälp med beräkningar kan dock erhållas från Lars Ljung.

Algoritmer för beräkning av köldbärarens egenskaper kan användas i beräkningsprogram för värmepumpar där tryckfall och värmeöverföring behöver beräknas, se bilaga A.

9. OKONVENTIONELLA KÖLDBÄRARE SAMT OKONVENTIONELLA SYSTEM FÖR VÄRMETRANSPORT FRÅN OMGIVNINGEN

9.1 Okonventionella köldbärarsubstanser

Många olika vattenlösliga substanser har tillräcklig fryspunktnedsättning för att användas i köldbärarblandningar. Kanske kan förslag till miljömässigt och tekniskt fungerande substanser hämtas från naturen. Exempel på vanliga substanser med biologiskt ursprung som bland annat har fryspunktnedsättande funktion är glykos och glycerol.

Hos organismer som lever i saltvatten finns speciella substanser, bl a salter av guanidin, för att balansera det osmotiska trycket. Fryspunktnedsättning och osmotiskt tryck är två egenskaper som i stort sett endast beror på substansens molekylvikt. Man kan därför spekulera i att en vattenlösning av någon av dessa organiska föreningar skulle vara intressant som köldbärare.

I stället för att söka efter nya köldbärarsubstanser kan det dock ur tekniskt synpunkt vara mer givande att studera alternativa system för transport av värme från omgivningen till värmepumpen.

9.2 Okonventionella system för värmetransport

I stället för att transportera värme med en cirkulerande köldbärarkrets kan något av följande alternativ användas:

1. Direktförångning
2. Värmerör eller termosifonsystem
3. Köldbärare med fasomvandling

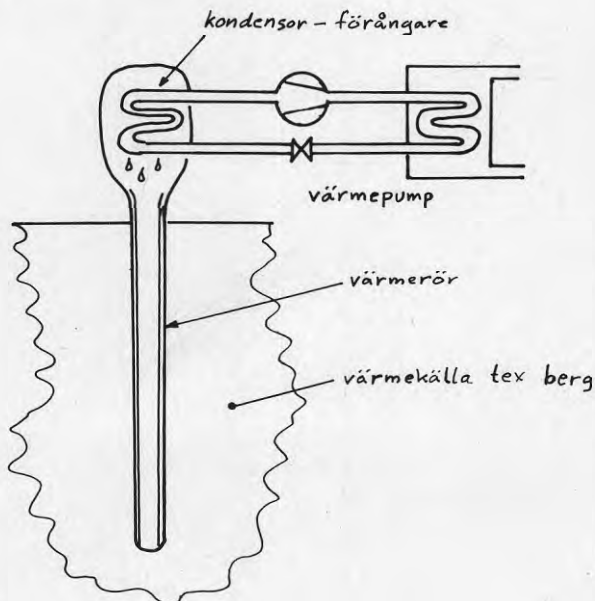
Direktförångning innebär att kollektorn för omgivningens värme, t ex en markslinga, också fungerar som värmepumpens förångare.

Jämfört med ett köldbärarsystem kan direktförångning medföra följande fördelar och nackdelar:

- + Mindre differens mellan omgivningstemperatur och förångningstemperatur. Medför högre värmefaktor
- + Enkelt system
- + Cirkulationspump behövs ej.
- Risk för driftproblem på grund av otillräcklig vätskeavskiljning före kompressorn eller på grund av att olja ansamlas i förångaren.
- Höga krav på täthet. Svårt att åtgärda läckage

- Tryckfall, bl a på grund av tvåfasströmning, kan bli avsevärt i ett direktförångningssystem
- En markslinga för direktförångning i ett metallrör blir mekaniskt känsligt t ex för tjälskjutning
- Användning av smala metallrör medför att värmemotståndet till t ex omgivande mark kan bli stort
- Direktförångning kräver en större freonmängd och ger ökad risk för utsläpp av freon. Detta kan var diskutabelt ur miljösynpunkt.

Värmerör eller termosifonsystem innebär att värmetransporten från värmekällan sker genom förångning av en vätska. Ångan kondenseras i en värmeväxlare som samtidigt är förångare för värmepumpens arbetsmedium (figur 9-1). Värmeväxlaren möjliggör att olika eller skilda fluider används i värmeröret respektive värmepumpen. Därmed undviks problemen med oljeåterföring och vätskeavskiljning, som kan erhållas i direktförångningssystem.



Figur 9-1 Värmerör eller termosifon för transport av omgivningsvärmets till värmepumpen.
(Skillnaden mellan värmerör och termosifon är att vätsketransporten sker genom kapillärkraft i en veke respektive med tyngdkraften)

Fasomvandling mellan vätska och fast fas kan användas för värmetransport. Om exempelvis vatten finns tillgängligt som värmekälla är det möjligt att utnyttja isbildningsvärmets som värmekälla till en värmepump. Hanteringen och transporten av den bildade isen kan dock vara besvärlig. Så kallade ismaskiner har hittills fått mycket liten användning i värmepumpsystem.

Fasomvandling kan tänkas utnyttjas i köldbärarkretsar om den bildade fasta fasen (is) erhålls som en pumpningsbar suspension.

Kanske kan gashydrater användas som köldbärare. I referens /Tomlinson 82/ beskrivs användning gashydrater av freoner, s k klatrater, för lagring av kyla.

Vissa freoner, t ex R-12 (CCl_2F_2), bildar med vatten fasta isliknande hydrater. I princip skulle en suspension av fast hydrat kunna bildas genom blandning av vatten och flytande R-12 vid värmepumpen. Suspensionen skulle sedan kunna pumpas till värmekällan där hydratet sönderdelas (smälter) till flytande vatten och R-12. Vid värmepumpen förångas R-12 samtidigt som nytt hydrat bildas.

10. REFERENSER

- Bergknut 83 Bergknut K, 1983, Analys av dricksvatten från enskilda, borrhåda brunnen på fastigheterna Berga, Vallentuna, SLL
- BFR G2:1983 Miljökonsekvenser av värmeutvinning och värmelagring i mark och vatten. Förslag till forskningsprogram, Byggeforskningsrådet
- Bresle 80 Bresle Å, 1980, Risker för frysskador vid glykol - vattenblandningar, VVS 7-8, 1980
- Bresle 82 Bresle Å, 1982, Vatten - glykolblandningar för solfångarsystem, Tekniska Högskolornas Energiarbetsgrupp, rapport nr 11, 1982
- Carrier 65 Handbook of Air Conditioning System Design, Carrier Air Conditioning Company, McGraw-Hill 1965
- CRC 76 Handbook of Chemistry and Physics, Chemical Rubber Publishing Company, 56th edition, 1976
- Dietrichson 83 Dietrichson W & Nilsson J, 1983, Värmeutvinning ur mark, vatten och luft. Miljövänlig om den görs rätt. SNV-stencil 1983-07-15
- Dow 83 Muntliga uppgifter samt produktfakta från Dow Chemical
- Fondelius 82 Fondelius M, 1982, Mikrobiologisk undersökning av bensin och alkoholbränslen. Rapport till Svensk Drivmedelsteknik AB
- Hoechst 84 Muntliga uppgifter samt produktfakta från Hoechst
- Kirk-Othmer 63 Kirk, Othmer, 1963, Encyclopedia of Chemical Technology, Second Edition
- Kreith 76 Kreith F, 1976, Principles of Heat Transfer Intext Education Publishers 1973
- Liljelund 82:1 Liljelund K, 1982, Översikt av olika köldbärarvätskor för ytjordvärmesystem - sammansättning, egenskaper och användning, SNV-stencil
- Liljelund 82:2 Liljelund K, 1982, Undersökning av toxicitet och nedbrytbarhet vid +60C i vatten för tre olika köldbärarvätskor, SNV-stencil

- Lundin 84 Kontakt med hälsovårdsinspektör L
Lundin i Vallentuna kommun, 1984
- McAllister 60 McAllister R.A.
The Viscosity of Liquid Mixtures
A.I.Ch.E. Journal Vol. 6. No.3,
pp 427-431, 1960
- Melinder 85 Melinder Åke, Inst för kylteknik,
KTH, kommande BFR-rapport
- Pohlmann Pohlmann, Taschenbuch für
Kältetechniker, Müller Verlag,
Karlsruhe, 1961
- Reid 77 Reid R.C., Pravsnitz J.M.,
Sherwood T.K.
The Properties of Gases and Liquids
McGraw-Hill Book Company 1977
- Rislund Rislund E, Korrosion i kölebriner,
Korrosionscentralen, Köpenhamn
- Rosenfeld Rosenfeld L L, Corrosion Inhibi-
tors, McGraw-Hill, 1981
- SAX 75 SAX I, 1975, Dangerous Properties
of Industrial Materials
- Shah & London 78 Shah R.K, London A.L, 1978, Laminar
Flow Forced Convection in Ducts.
Advances in Heat Transfer, Supple-
ment 1, Academic Press, 1978.
- Sveda 84 Kontakter och information från
Sveda Kemi AB, Spånga, 1984
- Tomlinson 82 Tomlinson J
Heat pump cool storage in a
clathrate of freon
17th Intersociety Energy Conversion
Engineering Conference 1982,
829341, p. 2060
- Torstensson 83:1 Torstensson L, 1983, Rörlighet och
nedbrytning i djupare jordlager av
kemikalier i ytjordvärmsystem
- Troedsson 82 Troedsson T m fl, 1982, Ekologiska
effekter av ytjordvärmeuttag, BFR
nr R51:1982

BERÄKNING AV VÄRMEÖVERFÖRING OCH TRYCKFALL I EN KÖLDBÄRARKRETS

Värmeöverföringen och tryckfallet i en köldbärarkrets skall studeras med ett numeriskt exempel.

Syftet med analysen är att belysa viskositetens och flödesregimens betydelse (laminär eller turbulent strömning).

Det kan vara av värde att beskriva beräkningen av en köldbärarkrets detaljerat. Emellertid blir denna beskrivning relativt omfattande. För den som endast är intresserad av resultaten kan därför följande avsnitt med antaganden och beräkningar hoppas över (se sid A:7).

Antaganden och beräkningar

Ett antal förenklade antaganden görs. Strömningen i köldbärarkretsen antages således ske i cirkulära rör i både förångare och värmekollektor. Problemet med övergångsområdet mellan laminär och turbulent strömning löses genom att beräkningarna utförs för bägge typerna av strömning.

Köldbärarkretsen antages transportera värme från en konstant temperatur på värmekällan till en konstant förångartemperatur. Figur A-1 definierar olika temperaturdifferenser i kretsen.

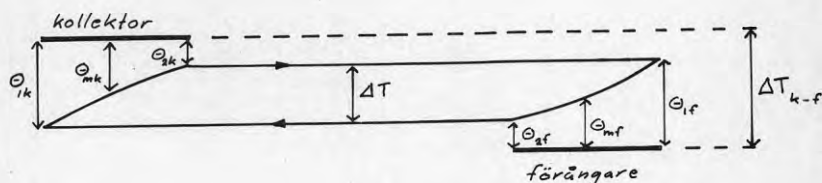


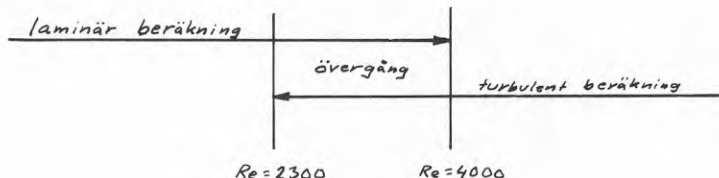
Fig A-1 Temperaturdifferenser i köldbärarkrets

Det är önskvärt att den överförda värmeeffekten Q skall vara stor i jämförelse med pumpeffekten W_{pump} .

Definiera kvoten $\varepsilon = W_{\text{pump}} / Q$

Det är också önskvärt att värmeeffekten Q inte minskar alltför snabbt med exempelvis sänkt kollektor-temperatur eller med ökad viskositet på köldbäraren.

Övergångsområdet mellan laminär och turbulent strömning är problematiskt att beräkna eftersom de tillgängliga formlerna är osäkra och starkt beroende på de faktiska förhållandena. Ett sätt att kringgå problemet är att utföra beräkningarna med formler både för laminära och fullt utbildad turbulent strömning i detta område.



För tryckfallsberäkningen betraktas hela köldbärarkretsen som ett cirkulärt rör med längden L och inerdiametern D .

Tryckfallet beräknas enligt formeln

$$\Delta p = f * L/D * \rho * U^2/2$$

Friktionsfaktorn f är beroende på Reynolds tal $Re = \frac{UD}{\nu}$

För laminär strömning ($Re < 4000$) är

$$f = 64 / Re$$

För turbulent strömning används Colebrooks & Whites formel

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.74 - 2 * \log \left(2 \frac{k_s}{D} + \frac{18.7}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (Re > 2300)$$

(Enklare explicita formler finns också. Vid handräkning används lämpligen diagram. k_s / D är relativ ytråhet.)

Pumpeffekten beräknas som

$$W_{pump} = \frac{m \Delta p}{\rho \eta_{pump}} = \frac{m f L U^2}{2 \eta_{pump} D}$$

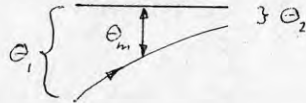
där m = massflöde
 η_{pump} = pumpverkningsgrad

Värmeeffekten som överförs med köldbärarsystemet är
 $Q = m c_p \Delta T$

Temperaturdifferensen ΔT upptar en viss andel av den totala temperaturskillnaden ΔT_{k-f} mellan värmekällan och förångaren (figur A-1). Resten av temperaturdifferensen skall driva värmeöverföringen i värmeväxlarna.

Den totala temperaturdifferensen ΔT_{k-f} antages given. För att beräkna temperaturdifferensen ΔT hos köldbäraren, och därmed värmeeffekten Q , så måste värmeväxlarna beräknas.

För både kollektor och förångare antages likformiga temperaturförlopp:



Den logaritmiska medeltemperaturdifferensen är

$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}} = \frac{Q}{kA} = \frac{m c_p}{kA} (\theta_1 - \theta_2)$$

Sätt $\beta = \frac{kA}{m c_p}$

β är ett dimensionslöst mått på värmeväxlarytan.

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = e^\beta$$

För bägge värmeväxlarna är $\Delta T = \theta_1 - \theta_2$
 θ_2 kan relatera till ΔT :

$$\theta_2 = \frac{\Delta T}{e^\beta - 1}$$

Den totala temperaturdifferensen kan nu också relateras till ΔT för köldbäraren:

$$\Delta T_{k-f} = \theta_{2k} + \Delta T + \theta_{2f} = \left(\frac{1}{e^{\beta_k - 1}} + 1 + \frac{1}{e^{\beta_f - 1}} \right) \Delta T$$

För att en tillräckligt stor temperaturdifferens ΔT för värmetransport skall återstå av det totalt tillgängliga ΔT_{k-f} , så får inte faktorn inom () vara alltför stor.

Sätt exempelvis

$$\gamma = \frac{\Delta T}{\Delta T_{k-f}} = \frac{1}{\frac{1}{e^{\beta_k - 1}} + 1 + \frac{1}{e^{\beta_f - 1}}}$$

Tillsviðare kan inget preciserat minimivärde för γ anges. Antag därför $\gamma = 1/2$ samt lika stora dimensionslösa värmeväxlareytor $\beta = \beta_k = \beta_f$. I så fall blir

$$\frac{1}{e^\beta - 1} = \frac{1}{2} \quad \text{eller} \quad \beta = \ln 3 \approx 1.1$$

Antag att en kylslangbrunn används som värmekollektor. I stället för produkten k_A används L/R , där L är slanglängden (brunnsdjupet) samt R värmemotståndet mellan fluiden och det omgivande berget.

Värmemotståndet kan delas upp i flera delar:

$$R = \underbrace{R_{\text{berg}} + R_{\text{hål}} + R_{\text{slang}}}_{R_0} + R_{\text{fluid}}$$

I verkligheten kompliceras problemet av att det finns åtminstone två slangar i varje hål samt av att värmeledningen i berget ej är stationär. Här bortses helt enkelt från detta. I stället uppskattas R_0 och R_{fluid} för ett tänkt hål med endast en slang och slanglängd L lika med håldjupet.

Värmemotståndet R_{berg} är något komplicerat att beräkna, bl a eftersom värmepumpen normalt inte används kontinuerligt.

Ett rimligt erfarenhetsvärde på värmemotståndet i berg, hål och slang är $R_0 = 0,2 \text{ W/mK}$.

Beräkning av värmemotståndet R_{fluid} i köldbäraren i slangen kompliceras av att det finns många olika formler att välja på vid laminär strömning.

En av de mest gedigna genomgångarna av värmeöverföring vid laminär strömning finns tillgänglig i /Shah & London 78/. Där anges för laminär strömning för medelvärdet av Nusselttalet vid konstant värmeeffekt längs röret ($Nu_{m,H}$)

$$Nu = \left(\frac{\eta_b}{\eta_v}\right)^{0,15} \begin{cases} 1,953 (L^*)^{-\frac{1}{4}} & \text{för } L^* < 0,03 \\ 4,364 + \frac{0,0722}{L^*} & \text{för } L^* > 0,03 \end{cases}$$

där $L^* = L / (D Re Pr)$ är den termiska strömningslängden

η_b / η_v = viskositetkvot blandning / vägg.

För turbulent strömning används Colburns ekvation $Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{1/3}$ (som stämmer bra vid höga Prandtl-tal).

Ett beräkningsprogram har utvecklats för köldbärarkretsen. Beräkningsgången framgår av flödesschemat i figur A-2. Programmet innehåller förutom ovanstående ekvationer också en korrelation för värmeövergången i förångaren samt en korrelation av köldbärarens viskositet.

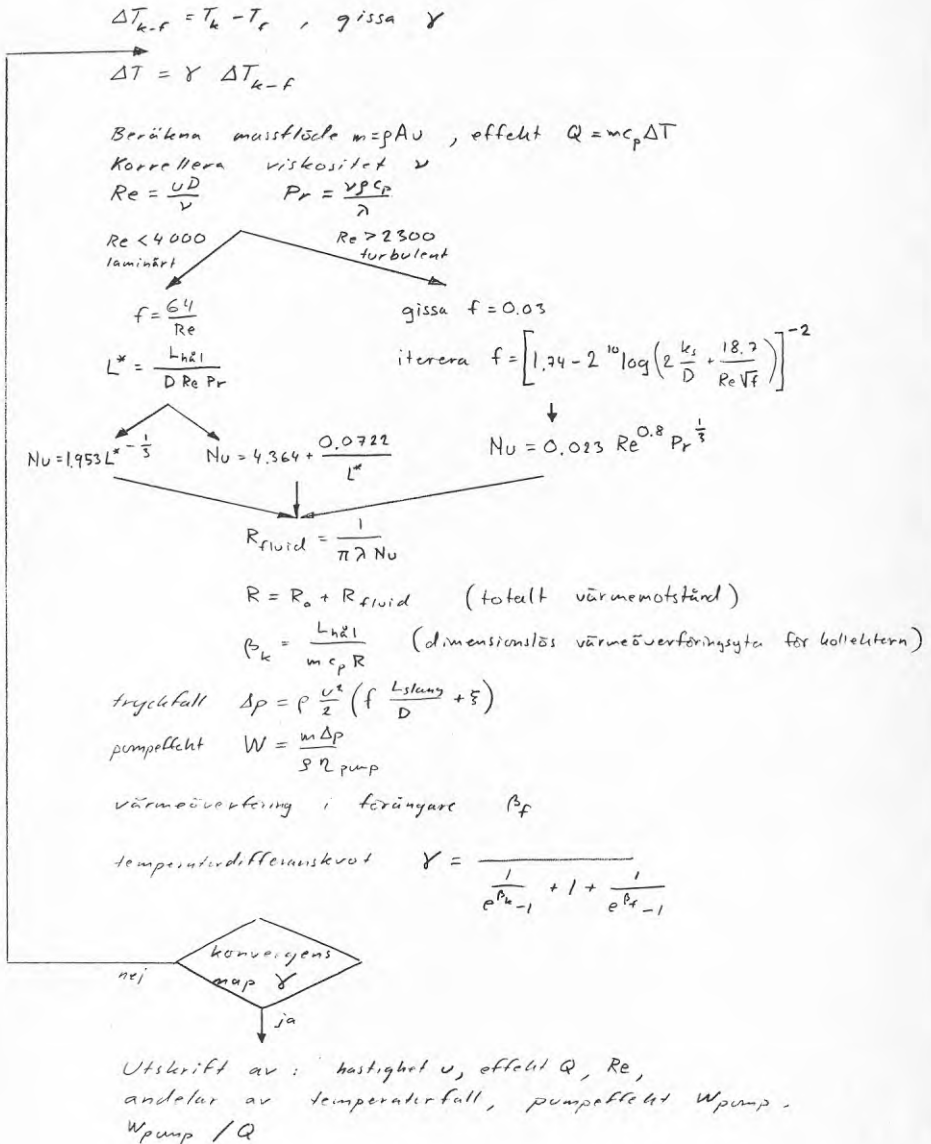
Viskositeten är den enda egenskap hos köldbäraren som varierar kraftigt med temperaturen. I programmet

har viskositetens temperaturberoende beskrivits med formeln

$$\ln \nu = A + B / (T - T_0)$$

Konstanterna A, B och T_0 kan beräknas enkelt genom att ange kända viskositeter vid t ex tre olika temperaturer.

Indata: rörlängd, diameter, data för förångare, data för köldbärare, bl a viskositet vid tre temperaturer, temperatur T_k , T_f , vätskehastighet U eller effekt Q



Figur A-2 Flödesschema till beräkningsprogram för köldbärarkrets

Beräkningar utfördes med förutsättningar enligt tabell A-1.

Data för beräkningar:

Total slanglängd	$L_s = 250 \text{ m}$
Håldjup	$L_h = 100 \text{ m}$
Innerdiameter på slang	$D = 0,035 \text{ m}$
Ytråhet	$k_s = 0,01 \text{ mm}$
Motståndsfaktor	$\xi = 4$
Värmemotstånd källa/ inre slangvägg	$R_0 = 0,2 \text{ Km/W}$
Förångaryta	$A_f = 1 \text{ m}^2$
Värmeövergångstal för- ångare freonsida	$\alpha_{\text{freon}} = 2000 \text{ W/m}^2\text{K}$
Dito köldbärarsida	$\alpha_{\text{kb}} = 1000 \text{ U}^{0,6}$
Pumpverkningsgrad	$\eta_{\text{pump}} = 0,6$
Köldbärare:	
etylenglykol	34 %
propylenglykol	38 %
	(frys punkt i bägge fallen -20°C)
Förångartemperatur	$t_f = -12^\circ\text{C}$
Källtemperatur (berg)	$t_k = 8^\circ\text{C}$

Tabell A-1 Data för beräkning av köldbärarkrets

Resultat

Numeriska beräkningar av en kylslangbrunn har utförts med etylenglykol/vatten och propylenglykol/vatten. Koncentrationerna valdes så att fryspunkten i bägge fallen blev -20°C .

Av figur A-3 och tabell A-2 framgår att pumparbetet snabbt blir oacceptabelt stort vid ökande vätskehastighet, speciellt för propylenglykol. Om pumpeffekten begränsas till 10 % av den överförda effekten kan propylenglykolkretsen endast användas inom laminärströmningsområdet.

Av beräkningarna framgår att omslag från turbulent strömning till laminär strömning orsakar ca 15 % minskning av den överförda värmeeffekten.

BERÄKNING AV ÖVERFÖRD VÄRMEEFFEKT OCH PUMPEFFEKT FÖR KÖLDBÄRARKRETS

Tkälla= 8.0
Tförångare= -12.0

Etylenglykol

u m/s	Q W	Re	andelar av temperaturfall			Wpump W	Wpump/Q	
			källa-in	in-ut	ut-förångare			
.100E+00	2457.	587.7	.264	.337	.399	.669	.272E-03	laminär
.200	3134.	1070.	.395	.215	.390	2.95	.942E-03	laminär
.300	3545.	1556.	.461	.162	.378	6.88	.194E-02	laminär
.500	4022.	2514.	.537	.110	.353	19.9	.495E-02	laminär
.500	4780.	2676.	.450	.131	.419	35.1	.735E-02	turbulent
.700	4356.	3519.	.577	.853E-01	.338	39.3	.903E-02	laminär
.700	5174.	3631.	.497	.101	.401	88.1	.170E-01	turbulent
1.00	5571.	5027.	.543	.763E-01	.381	234.	.420E-01	turbulent
1.50	5975.	7541.	.589	.546E-01	.357	709.	.119	turbulent
2.00	6232.	9445.	.617	.427E-01	.340	.159E+04	.254	turbulent
3.00	6552.	.1417E+05	.652	.299E-01	.318	.485E+04	.740	turbulent

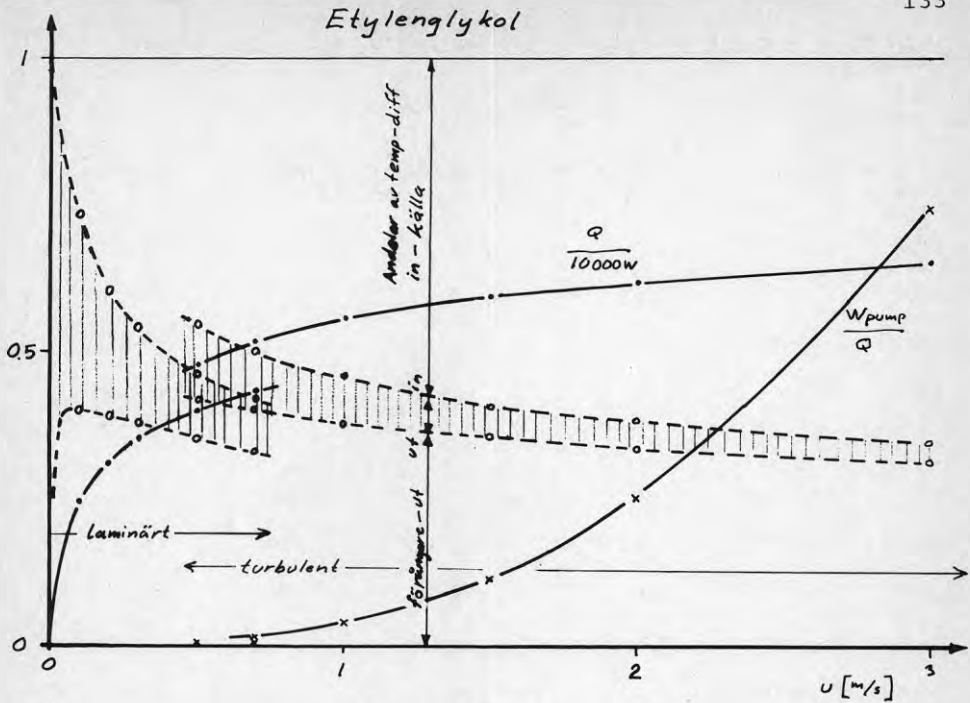
BERÄKNING AV ÖVERFÖRD VÄRMEEFFEKT OCH PUMPEFFEKT FÖR KÖLDBÄRARKRETS

Tkälla= 8.0
Tförångare= -12.0

Propylenglykol

u m/s	Q W	Re	andelar av temperaturfall			Wpump W	Wpump/Q	
			källa-in	in-ut	ut-förångare			
.100E+00	2444.	287.0	.272	.328	.400	1.34	.548E-03	laminär
.200	3113.	524.1	.402	.209	.390	5.88	.189E-02	laminär
.300	3528.	752.3	.465	.158	.377	13.9	.393E-02	laminär
.500	4000.	1186.	.541	.107	.352	40.8	.102E-01	laminär
.700	4335.	1614.	.580	.831E-01	.337	82.6	.191E-01	laminär
1.00	4679.	2243.	.617	.628E-01	.320	174.	.372E-01	laminär
1.50	5051.	3272.	.653	.452E-01	.302	407.	.805E-01	laminär
1.50	5914.	3464.	.593	.530E-01	.354	861.	.146	turbulent
2.00	6190.	4519.	.620	.415E-01	.338	.189E+04	.305	turbulent
3.00	6519.	6590.	.654	.291E-01	.317	.575E+04	.883	turbulent

Tabell A-2 Beräkningsresultat för etylen- resp propylenglykol



Figur A-3 Överförd värmeeffekt Q , andel pumpeffekt W_{pump}/Q samt andelar av temperaturdifferens mellan värmekälla och förångare för en köldbärarkrets som funktion av vätskehastighet.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831057-8
från Statens råd för byggnadsforskning till Allmänna
Ingenjörbyrån AB — AIB —, Energiteknik, Solna.**

R11: 1986

ISBN 91-540-4520-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6706011

Ingår ej i abonnemang

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 45 kr exkl moms