



**Undersökning av problem vid  
användning av propylenglykol i kyla.**

**PU 37096/01**

**Projektet är finansierat av fem skogsbolag och LRF  
Skogsägarna via den Tekniska Samverkansgruppen på  
Skogforsk i Uppsala.**



**Genomfört av  
Louise Johansson och Mats Linder**

**Umeå februari 2002**



**S M P S V E N S K M A S K I N P R O V N I N G A B**

**SMP Uppsala:** Fyrisborgsgatan 3, 754 50 Uppsala Tel: 018-56 15 00 Fax: 018-12 72 44

**SMP Malmö:** Box 56, 230 53 Alnarp Tel: 040-46 44 20 Fax: 040-46 01 13

**SMP Umeå:** Box 4053, 904 03 Umeå Tel: 090-77 83 65 Fax: 090-13 65 62

E-post: [info@smp.sp.se](mailto:info@smp.sp.se) Internet: [www.sp.se/smp](http://www.sp.se/smp)

## 1. Sammanfattning

Projektet omfattar en studie av skillnader i giftighet och miljöegenskaper hos etylen och propylenglykol. Här kan det nämnas att den största skillnaden mellan glykolerna är skillnaden i giftighet. Båda glykolerna är biologiskt nedbrytbara. Ur LCA-synvinkel är etylenglykolen att föredra.

Skogsbolagen ställer i princip krav på att propylenglykol skall användas. Flera entreprenörer till skogsbolagen anmälde att de hade problem med användning av propylenglykolen under vintern 2000-2001. Därför gjordes en intervjuundersökning med entreprenörer som haft problem med propylenglykolen i syfte att kartlägga problemens art.

Undersökningen avslutades med laboratoriestudier för att undersöka och verifiera de teorier om orsaker som konstaterades.

Det konstaterades att det huvudsakliga problemet med propylenglykolen bestod i att kylsystemet stängde av sig när pumpen inte orkade pumpa den tröga glykolen. Propylenglykol har vid låga temperaturer en betydligt högre viskositet än etylenglykol. På grund av detta orkar inte vattenpumpen leverera tillräckligt flöde för att inte dieselvärmaren skall överhettas och slå av sig.

För att kunna använda propylenglykol utan att riskera problem i kyla krävs en del åtgärder i kylsystemen på skogsmaskinerna. Nedan redovisas ett antal förslag till åtgärder.

- Se till att blandningen aldrig överstiger 48/52. Den skall klara  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . I södra Sverige där temperaturen inte sjunker så lågt bör inblandningen vara 40/60.
- Bygg om eller välj största möjliga pump, helst större än pump 2.
- Montera alternativt två pumpar i serie
- Kräv av tillverkarna att öka inre dimensionerna i kylelementet så att strömningsarean ökar och därmed tryckfallet minskar.
- Eventuellt kan det ordnas så att kylelementet förbikopplas under uppstarten tills att glykolen värmts upp.
- Öka slangdimensionen om det medför extra långa slangar t.ex för pendohytt.

Utöver detta bör arbetet fortsätta med att utveckla tillsatser till propylenglykolen och i samarbete med motortillverkare få fram godkända propylenglykoler för bilmotorer.

## **2. Innehåll**

	sid
<b>1. Sammanfattning</b>	<b>2</b>
<b>2. Innehållsförteckning</b>	<b>3</b>
<b>3. Bakgrund</b>	<b>4</b>
<b>4. Undersökningens syfte</b>	<b>4</b>
<b>5. Genomförande</b>	<b>4</b>
<b>6. Toxikologi</b>	<b>5</b>
<b>7. Hudirritation</b>	<b>5</b>
<b>8. Livscykelanalys</b>	<b>6</b>
<b>9. Resultat av intervjuer – konstaterade problem</b>	<b>7</b>
<b>10. Fysikaliska egenskaper</b>	<b>7</b>
<b>11. Andra tekniska egenskaper</b>	<b>7</b>
<b>12. Uppmätning av blandningsförhållanden</b>	<b>8</b>
<b>13. Teori om orsak till problemen</b>	<b>10</b>
<b>14. Verifiering av teorin</b>	<b>10</b>
<b>14.1 Uppbyggnad av kylslinga</b>	
<b>14.2 Genomförda försök med glykolblandning i verklig kyla</b>	<b>11</b>
<b>14.3 Resultat vid försök enligt kap 13.</b>	<b>11</b>
<b>14.4 Genomförda försök med oljor med olika viskositet som medie.</b>	<b>12</b>
<b>15. Slutsatser och tänkbara åtgärder för att förbättra möjligheterna för att kunna använda propylenglykol i kyla.</b>	<b>15</b>
<b>16. Framtida glykoler</b>	<b>15</b>
<b>17. Referenser</b>	<b>16</b>
<b>18. Diagrambilaga: Diagram 1 till 5</b>	<b>16</b>

### **3. Bakgrund**

Under vintersäsongen 2000-2001 har flera skogsbolag rapporterat att upp till 20 % av deras entreprenörer i norra Sverige har anmält problem med propylenglykolen som frostvätska. Problemet har uppstått i samband med temperaturer kring  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  och lägre, temperaturer som är vanligt förekommande i inre och norra delen av Sverige.

Skogsbolagen kräver av miljöskäl normalt att entreprenörerna använder propylenglykol, men under den gångna säsongen har man tvingats ge dispenser från kravet och tillåta entreprenören att använda toxisk etylenglykol.

Propylenglykolen är 7-8 kronor dyrare per liter och väljs därför inte i första hand.

Tekniska samverkansgruppen (TSG) vid Skogforsk uttryckte en önskan att kartlägga och finna praktiska åtgärder mot problemen med propylenglykolen.

### **4. Undersökningens syfte**

Denna undersökningens syfte var att under vintersäsongen 2001-2002 kartlägga problemens art och omfattning och rekommendera åtgärder och eventuella krav på ytterligare forskningsinsatser.

### **5. Genomförande**

Projektet inleddes med en kortare teoretisk studie för att kartlägga skillnaden i giftighet mellan glykolerna samt risker för användare och för miljön. Vidare gjordes en sammanställning över de vanligast förekommande glykolerna och de skillnader som i övrigt är av intresse.

Därefter gjordes en intervjuundersökning med entreprenörer som haft problem med propylenglykolen i syfte att kartlägga problemens art.

Undersökningen avslutades med laboratoriestudier för att undersöka och verifiera de teorier om orsaker som konstaterades.

## 6. Toxikologi

MEG (MonoEtylenGlykol) är en giftig kemikalie. Särskilt för människan som saknar enzymer för att bryta ned den oxalsyra som bildas vid intag av MEG. Dödlig dos av MEG beräknas till ca 1 dl för en vuxen människa (70 kg). För barn blir den då betydligt lägre. Kroppen försuras av oxalysran, vilket leder till skador på lever, njurar, lungor och hjärta.

Vissa djur har enzymer som klarar att bryta ned oxalsyra till koldioxid och vatten. Det finns flera rapporter som beskriver hur hundar förgiftats av MEG, vilket tyder på att hundar, katter och råvar reagerar på samma sätt som människan. Däremot kan man tänka sig att växtätande djur har mindre benägenhet att förgiftas av MEG.

Råttor tål mer än människor/per kroppsvikt. Värdet brukar anges i akut toxicitet vid oralt intag (förtäring), LD<sub>50</sub> i gram / kg . Några värden hämtade ur varuinformationsblad och rapport från UAS av Gunnar Johansson framgår av tabell 1.

Tabell 1.

Art	Intag LD <sub>50</sub>	MEG	MPG
Råtta	gram/kg	6 – 13	20-34
Fisk	gram//liter	3	55
Människa	gram/kg	1,4	Ej registrerat

Redan 20-30 ml etylenglykol kan innebära risk för allvarlig förgiftning.

Etylenglykol har även satta gränsvärden för inandning AFS 2000:3, om man t.ex reparerar utrustning och utsätter sig för ångor.  
(Nivågränsvärdet är 25 mg/m<sup>3</sup> och korttidsgränsvärdet är 50 mg/m<sup>3</sup>)

Propylenglykol används i hund- och hönsfoder.

Etylenglykol står för 50% av rapporterade förgiftningsfall för hundar och katter, och är också vanlig förgiftningsorsak för fåglar. (Referens SIERRA)

MPG (MonoPropylenGlykol) klassas som icke giftig. Vid oxidation ger den mjölksyra och pyrodruvsyra. Dessa bryts ned av människokroppen till koldioxid och vatten. Dödlig dos för en människa är 1,5-2,0 liter.

## 7. Hudirritation

Ingen av glykolerna orsakar uttalad irritation av hud. Kraftig exponering kan ge snabbt övergående effekter av rodnad och sveda (referens Gunnar Johansson UAS). Propylenglykol används för övrigt i kosmetiska preparat och vid livsmedelsproduktion.

## 8. Livscykelanalys

Två olika livscykelanalyser har studerats. Den ena baseras på en studie gjord av Franklin Associates Ltd (FAL) i USA, den andra är ett examensarbete gjord av Sophie Grahn (SOG) vid Kemisk Miljövetenskap vid Chalmers Tekniska Högskola 1996.

FAL kommer fram till att propylenglykol (MPG) kräver 40 % mer energi under livscykeln än vad etylenglykolen (MEG) gör.

I första hand är det tillverkningen som är mer energikrävande, men även transporter o d eftersom det krävs en något större andel MPG för att nå samma köldskydd. Man räknar med att en 50/50 blandning av MPG ger samma köldskydd som 45/55 MEG.

Miljöbelastningen vad gäller utsläpp i luften får då också motsvarande relation.

SOG beskriver olika metoder att framställa MPG. Medan det används endast en process för framställning av MEG finns det 4-5 olika processer för framställning av MPG.

FAL använder sig i sin beräkning av produktionskapaciteten i USA för olika processer och viktat utifrån denna produktionskapacitet energibehovet – och därmed miljöbelastningen. Produktionskapaciteten var 40, 1 % för klorhydrinprocess, 31,4 % för isobutan hydroperoxidation (av SOG betecknad som TBA-processen) och 28,5 % med en process med etylbensenväteperoxid.

SOG gör en LCA-analys process för process. Hennes slutsats är att tillverkning av MPG med TBA-processen ger likvärdig miljöbelastning som tillverkning av MEG, medan de andra metoderna är betydligt mer miljöbelastande än tillverkning av MEG. Störst miljöbelastning ger tillverkning av MPG med klorhydrinprocess. Eftersom denna process står för den största produktionskapaciteten i USA förklarar det att FAL kommer fram till att framställningen av MPG är betydligt mer miljöbelastande än framställning av MEG.

Det är svårt eller omöjligt att veta vilka MPG på svenska marknaden som framställs med TBA-processen. Leverantörerna ansåg sig inte ha möjlighet att ta reda på eller kunna styra detta. Propylenglykolen tas från olika leverantörer, som även byts då och då. Råvaran levereras sannolikt från båda typerna av processerna till kemikalieföretagen

SOG konstaterar att det inte sker någon återvinning av kylarvätska i Sverige. FAL beskriver däremot metoder för återvinning och konstaterar att såväl MPG som MEG kan återvinnas och att miljöbelastningen vid återvinningen är likvärdig mellan glykolerna.

## 9. Resultat av intervjuer – konstaterade problem

Det problem som rapporterats från flera håll är att dieselvärmaren slår av vid användning av MPG vid låga temperaturer, från –20 grader och kallare. Problemen ökar med ökad inblandningsprocent av propylenglykol. Viskositeten blir vid –25 grader 60 % högre om blandningsförhållandet ökar från 45 till 50% (se diagram 1). Teoretiskt ökar därmed tryckfallet i ledningarna i motsvarande grad.

Någon har också rapporterat att man hade problem med cirkulationen även efter det att motorn startats (man fick inte värme i hytten). Om motståndet i kretsen blir för högt sjunker strömmen och därmed varvtalet hos vattenpumpen, vilket gör att det cirkulerade flödet blir lågt. Brytaren för hyttcirkulationen slår till först när temperaturen i kylkretsen överstiger 45 grader. Problemen anses vara större för maskiner med Pendohytt) och i övrigt hängande hytt där ledningen blir minst 3 meter längre på grund av att den måste dras upp över och in i takhöjd.

## 10. Fysikaliska egenskaper

MEG ger en något lägre fryspunkt än MPG vid lika inblandningsprocent. Vid 50/50-blandning ger MPG ett frysskydd ner till – 35 grader medan MEG ger några grader lägre frysskydd. Skillnaden kan dock anses vara marginell.

Viskositeten skiljer sig kraftigt mellan MPG och MEG vid låga temperaturer. Vid rumstemperatur är viskositeten likvärdig, men redan vid – 20 grader har 50/50 blandning av MPG en viskositet av 80-90 cSt att jämföra med ca 20 cSt för MEG. Vid – 30 grader är motsvarande siffror 220 cSt jämfört med 37 cSt – se diagram 1. Mätvärden är hämtade ur Svenska kyltekniska föreningens handbok nr.12.

## 11. Andra tekniska egenskaper

### 11.1 Korrosionsskydd och antikavitationskydd

Etylenglykol och propylenglykol har ej samma tillsatser för att förhindra korrosion och kavitation (referens tekniska data, varuinformationsblad och leverantörer). Det skiljer också mellan olika produkter av samma typ.

Producenter och leverantörer av glykolerna (referens BASF, MS Sveda och Sierra) hävdar att propylenglykolen är svårare att additivera och stabilisera. Det är detta som gör att propylenglykolerna inte har generella bilgodkännanden. Scania har t.ex. krävt tillsats av natriumnitrit för att klara korrosionsskydd och den kavitering som annars sägs kunna slå igenom på cylinderfoder. När de vibrerar, bildas små luftbubblor som kaviterar på ytan.

Eftersom detta är ett giftigt additiv tillsätts detta ej i propylenglykolen. Additivet finns inte heller i många etylenglykoler, utan tillsatsen i dessa är ofta en silikat som går att stabilisera i etylenglykol men ej i propylenglykol. Silicater tillsätts för att minska korrosion av aluminium.

John Deer lämnar inte garantier för fabriksfyllning av propylenglykol i motorerna. Man kan dock konstatera att propylenglykol finns på mackar, säljs och används frekvent till både bilar och bussar även i Tyskland, USA och Canada utan att problem rapporterats. I General Motors tekniska bulletiner kan man läsa att propyleneglykolbaserade köldmedier klarar de flesta fall av kylsystem och påverkar inte garantierna. Det finns en hel rad av Amerikanska standarder för korrosionstester (ASTM) och Ford har en egen test BL2-2 Dynamometer test. Av tekniska databladerna framgår att propylenglykoler klarar dessa tester (refrens, SIERRA).

## 11.2 Blandning --- Genomfrysning --- Upptining

Några intervjuade entreprenörer har angivit att man har svårt att få till stånd en homogen blandning av ett visst fabrikat av MPG. Genom att glykolen har helt olika viskositet och densitet än vatten krävs god omrörning för att glykolen skall blanda sig. Annars sjunker denna till botten.

I litteratur som studerats (Ref. Åke Bresle KTH 1982 Solfångarsystem) beskrivs ett problem som kan uppstå om glykolen får frysa så att isbildning sker. Partiell frysning sker och det som är lättare flyter upp (vatten lättare). Vätskan homogeniserar och återgår först när temperaturen är över noll och blandas om igen. Propylenglykolen som är mer trögflytande bör vara svårare att blanda in igen, lösligheten är även sämre i kyla. Och risken att man får partiell frysning blir större om man blandat så att man ligger nära gränsen för den köldtemperatur blandningsförhållandet skall tåla. Detta innebär att man bör ha en viss marginal till lägsta temperaturen. Impellerpumpen som används i systemen har öppet inlopp och vispar bara runt om det inte självvrinner in i den.

SMP har fryst ner några prover av propylenglykoler, OK/Q8, Agrol MPG, MBS Antifrost och Statoil propylenglykol. Blandningen var 47% för samtliga prover, uppmätta och kontrollerade med refraktometer att klara 27 °C. Även ett prov med Agrol MPG med 44% glykol sattes in i frysexen. Temperaturen i glykolen mättes till -27,4 °C. Efter 1 dygn konstaterades att glykolerna börjat frysa och i övre tredjedelen av bägaren fanns stora isbildningar. Försöket upprepades tre gånger och samtliga glykoler betedde sig lika. Provet med Agrol MPG som blandats till 44% var helt genomfruset efter 1 dygn. Isbildningen tinade ej upp när temperaturen sedan sänktes till -23 °C. Efter tre dygn i -21 °C var det fortfarande isbildning kvar.

## 12. Uppmätning av blandningsförhållanden

Det är inte helt okomplicerat att fastställa frysskyddet. Hydrometer (flytande kolv/kulor) bör inte användas för MPG eftersom det inte finns något linjärt



samband mellan densitet och inblandningsprocent. Existerande hydrometrar är oftast endast graderade efter MEG vilket kan ge helt felaktiga värden för MPG. På marknaden (OK/Q8) har vi dock hittat en hydrometer som är graderad för MPG. Noggrannheten på denna skala är dock endast 5 °C. Den metod man föredrar är refraktometer som indikerar ljusbrytning relativt luft. Refraktometer måste dock användas vid rumstemperatur, resultatet är beroende av temperaturen hos instrumentet/vätskedroppen. Refraktometern är i övrigt enkel att använda.

Man droppar en droppe på en liten glasyta, och tittar sedan genom ett kikarsikte mot ljuset. Man ser då en avgränsad linje mot en skala. Bild 1 visar de olika mätinstrumenten.

Med refraktometern kan man mäta med en noggrannhet på ca  $\pm 1$  °C.



*Bild 2.*

I bild	Instrument	Pris	Inköpsställe
Till vänster	Refraktometer Leica DC60 (för både etylen och propylenglykol)	1850,-	MERK Eurolab
Mitten	Glykolprovare EIE (skilda instrument för etylen och propylenglykol)	39,-	OK/Q8
Till höger	Frostvätskemätare 8018 (endast för etylenglykol)	29,-	Statoilmack

Uppmätningar med refraktometer jämfördes med uppgifterna i handboken. Mätvärdena stämde relativt väl i det intressanta området för mätning, ner till -30 °C. Se diagram 5.

## 13. Teori om orsak till problemen

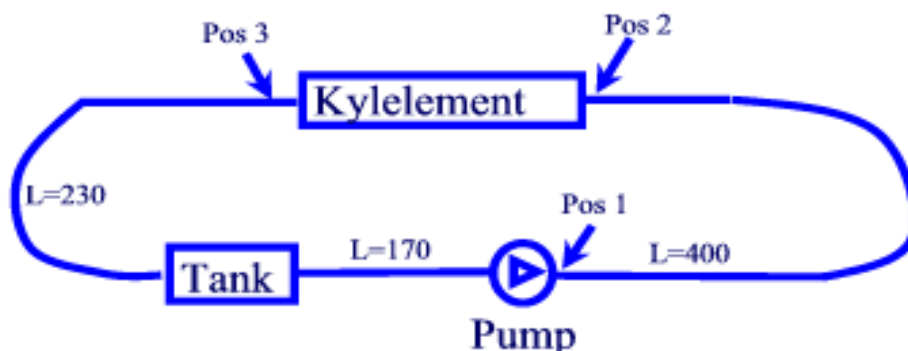
- MPG blir mer trögflytande än MEG vid låga temperaturer. Detta framgår av bifogade diagram över de viskositeter glykolen får i kyla med olika blandningsförhållanden. Exempelvis blir MPG 150 centistoke vid  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  med blandningsförhållande 50/50 (glykol/vatten) och ca 100 cSt vid  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  med blandningsförhållande 45/55 (se diagram 2). För att inte glykolen skall sörja vid  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  behövs minst 44% inblandning. 40 % inblandning klarar ca  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . För etylenglykol blir motsvarande viskositeter 35 cSt och 15 cSt (se diagram 3)
- Tryckfallet i kretsen är direkt beroende av viskositeten.
- Vattenpumpen fungerar så att när trycket stiger sjunker det flöde pumpen ger. Till slut närmar sig flödet noll.
- Blir flödet tillräckligt lågt orkar inte cirkulationen kyla dieselvärmaren och den överhettas och slår av (vanligen vid 80 till 85 grader). Den kan vara gjord så att den gör flera startförsök, men om flödet aldrig kommer igång så att det överstiger t.ex. 2 lit / min fortsätter den inte. Antalet startförsök är begränsade för att inte köra slut på batteriet.
- Hyttvärmen slår på först när vattentemperaturen överstiger  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , vilket förutsätter att cirkulationen i kretsen kommit igång.
- Vår teori var alltså att vattenpumpen vid höga viskositeter inte orkar ge det flöde som är tillräckligt för att inte dieselvärmaren skall slå av.

## 14. Verifiering av teorin.

### 14.1 Uppbyggnad av kylslinga.

- En kylslinga har byggts upp med komponenter från en verklig skogsmaskin. Timberjack har tillhandahållit oss komponenterna. Fyra olika pumpar, varav den ena bortmonterats från en maskin med problem vid  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  har testats i kylkretsen.

Bild 3. Schematisk skiss över kylslinga i lab.



- Kylkretsen består av pump, 8m  $\frac{3}{4}$ " slang (ca 19mm ) och element för hyttvärme. Systemet visas schematiskt i bild 3. Notera att vissa skogsmaskiner har  $\frac{5}{8}$ " slang vilket medför större tryckfall och därmed högre tryck för pumpen.
- Systemet är monterat i ett plan för att inte ge felaktiga tillskott till trycket på grund av höjdskillnader. Systemet på skogsmaskinen är ett slutet system med expansionskärl.

#### 14.2 Genomförda försök med glykolblandning i verklig kyla (nedfruset).

Följande försök har genomförts i verklig kyla för att undersöka vår teori: Försöken har körts med det pumpexemplar (pump 4, likadan som pump 3) där faktiska problem konstaterats på skogsmaskin (Timberjack 1070). Den uppmätta blandningen från problemmaskinen var 43,5 % (skall klara  $-24^{\circ}\text{C}$ ). Denna blandning har en viskositet på 80-90 cSt vid  $-22$  till  $-24^{\circ}\text{C}$ . Detta blandningsförhållande ger issörja vid försök vid  $-25$  --  $-26^{\circ}\text{C}$ . För att undvika att köldmediet "sörjar" någonstans i kretsen och därmed ger ej kontrollerbara resultat körs köldtestet med större andel propylenglykol. Ett blandningsförhållande 50/50 ger vid  $-21^{\circ}\text{C}$  motsvarande viskositet, 90 cSt.

- A. Köldslingan med polypropylynglykolblandning 50/50 har kylts ner till  $-20^{\circ}\text{C}$  och systemet har körts igång efter 3 dygns inflykning. *Not motsvarar en viskositet på 80 cSt.***

Följande parametrar har mätts upp:

- Temperatur på köldmediet vid start
  - Temperatur på köldmediet vid avslutat försök
  - Tryck efter pump (P1)
  - Tryck före kylare (P2)
  - Tryck efter kylare (P3)
  - Flöde (ml/min)
  - Batterispänning
- B. Upprepning av försök som 3.1 men vid  $-22^{\circ}\text{C}$ . *Not motsvarar en viskositet på 105 cSt.***
- C. Upprepning av försök som 3.1 men med polypropylenglykolblandning 60/40 vid  $22^{\circ}\text{C}$ . *Not motsvarar en viskositet på ca 170 cSt.***
- D. Upprepning av försök 3.3 men vid  $-27^{\circ}\text{C}$ . *Not motsvarar en viskositet på 280 cSt.***

#### 14.3 Resultat vid köldprov enligt 14.2 A till D.

I diagram 4 redovisas det flöde som erhålles vid tester 14.2 A till D. Resultaten visar att pumpen ger ett flöde på 1,3 liter/min när problem konstaterades i fält.

## 14.4 Genomförda försök ned oljor med olika viskositet som medie.

För att sedan under strikt repeterbara förhållanden kunna köra och jämföra det erhållna flödet med olika pumpar, viskositeter och delar av kylslingan valde vi att byta ut glykolen mot olika oljor och köra vid rumstemperatur. Syftet med detta var att dels förenkla provet så att flera dygns nedfrysning före varje ny start kunde undvikas, dels för att låsa viskositetsparametern till kända värden.

Olja 1 har viskositet 95 cSt vid 20 °C och olja 2 har viskositet 218 cSt vid 20 °C.

Följande försök har genomförts:

### 14.4.1 Uppmätning av flöde och tryckfall med fyra olika pumpar.

Tabell 2

Pump 1	Ser ut stor som nr 2	Temic GP 53 a30
Pump 2	Större än nr 3	Helle PA66-GF25, Eber 8TW 007 121-03 (GF40-MF25)
Pump 3		Helle PA66-GF25, Eber 8TW 007 755-15
Pump 4	"fältpump"	Helle PA66-GF25, Eber 8TW 007 755-15



Bild 4. Impellerpumpar

Resultat från provkörning av alla pumpar med olja 1 vid ca 20 °C framgår av tabell 3.

Tabell 3.

<b>Pump</b>	<b>Erhållet flöde (ml/min)</b>	<b>Oljetemperatur</b>	<b>Spänning (Volt)</b>
Pump 1	2330	21,5	27,5
Pump 2	2770	23,0	27,5
Pump 3	1430	20,0	28,1
Pump 4 "fältpump"	1380	20,3	28,1

Det erhållna flödet med pump 4 (1380 ml/min) stämmer väl överens med det flöde som erhöles med samma pump i köldprovet (ca 1200 ml/min vid motsvarande 95 cSt, se diagram 4). Det erhållna flödet är således helt viskositetsberoende oberoende av att mediet skiljer vid testerna.

Pump 1 och 2 ger högre flöde och har alltså större förutsättningar för att inte dieselmotorn skall slå ifrån.

Resultat från provkörningar med olja 2 vid 22 °C framgår av tabell 4.

Tabell 4.

<b>Pump</b>	<b>Erhållet flöde (ml/min)</b>	<b>Oljetemp</b>	<b>Spänning (Volt)</b>
Pump 1	1210	22,3	27,6
Pump 2	970	23,0	27,3
Pump 3	620	22,0	27,9
Pump 4 "fältpump"	600	22,0	27,9

Med motsvarande resonemang så skulle också pump 1 och 2 ge problem vid 200 cSt, eftersom flödet inte blir mer än 1210 ml/min. Detta motsvarar en blandning 50/50 vid -28 °C.

#### 14.4.2 Upprepat test med seriekopplade pumpar.

Pump 3 och 4 monterades i serie och flödet mättes upp till 1220 ml/min se tabell 5. Med seriekopplade pumpar erhålles alltså summan av flödet för pumparna.

Tabell 5.

<b>Pump</b>	<b>Erhållet flöde (ml/min)</b>	<b>Oljetemperatur</b>	<b>Spänning (Volt)</b>
Pump 3 och 4 i serie	1220	23,3	27,6

### 14.4.3 Ytterligare undersökningar för att reda ut vad som är största orsaken till tryckfallet i kylslangan.

I nedanstående tabell 6 redovisas de tryckfall och flöden som erhöles när olika delar av kretsen monterades bort. Testerna utfördes med pump 4 och olja 2.

Tabell 6.

Test nr	Längd före pump cm	Längd efter pump cm	Längd efter kylelement cm	Tryck efter pump Pos 1 (bar)	Tryck före kylelement Pos 2 (bar)	Tryck efter kylelement Pos 3 (bar)	Erhållet flöde (ml/min)
1	170	400	230	0,123	0,106	0,020	600
2	170	630	Anm 1				1500
3	170	400	Anm 1				1600
4	3	400	Anm 1				2520
5	3	30 Anm2	Anm 1				11000

Anm 1. Här har kylelementet kopplats bort

Anm 2. Här har pumpen körts ensam utan kylslanga (kylelement och slang bortkopplat).



Bild 5. Kylelement

Test 1 visar att det huvudsakliga tryckfallet ligger över kylaren. Flödet ökar 2,5 gånger om kylelementet kopplas bort. Kylelementet står för mer än halva tryckfallet i slingan. Det har alltså stor betydelse vilken inre strömningsdimension kylelementet har. Kylelementet i testen är fyrslingad med inre diameter ca 8 mm och 3,8 m lång.

Test 2 , 3 och 4 visar att om slanglängden minskas ökar det erhållna flödet motsvarande.

Test 5 visar att pumpen ger 11 liter/min om ingen krets kopplas på vid ovanstående drifffall som motsvarar blandning 50/50 vid  $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## **15. Slutsatser och tänkbara åtgärder för att förbättra möjligheterna för att kunna använda propylenglykol i kyla.**

- Se till att blandningen aldrig överstiger 48/52. Den skall klara  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . I södra Sverige där temperaturen inte sjunker så lågt bör inblandningen vara 40/60.
- Bygg om eller välj största möjliga pump, helst större än pump 2.
- Montera alternativt två pumpar i serie
- Kräv av tillverkarna att öka inre dimensionerna i kylelementet så att strömningsarean ökar och därmed tryckfallet minskar.
- Eventuellt kan det ordnas så att kylelementet förbikopplas under uppstarten tills att glykolen värmts upp.
- Öka slangdimensionen om det medför extra långa slangar t.ex för pendohytt.

## **16. Framtida propylenglykoler.**

Enligt uppgift från tillverkarna beror viskositeten på en grundläggande egenskap hos glykolerna som inte går att åtgärda.

Däremot är det fullt möjligt att med åtgärder ändra i systemen så att propylenglykolen går att använda.

Vad som däremot inte ser ut att vara tillräckligt produktutvecklat och accepterat hos motortillverkare, är tillsatserna i propylenglykolen. Här behövs sannolikt en fortsatt utveckling och samarbete med motortillverkarna för att dessa skall ge fulla garantier för användning av propylenglykolen.

## 17. Referenser

1. Gunnar Johansson, Toxikologisk översikt av dietylenglykol 11/90, UAS, akademiska sjukhuset Uppsala
2. Arbetarskyddsverkets föreskrifter, AFS 2000:3
3. Åke Svensson, Nordiska expertgruppen för gränsvärde nr 44, propylenglykol, Arbeta och hälsa 1983:27
4. Chemicals vol 2, 1993, sid 185-208
5. SIERRA, Old World Industries, INC, Illinois
6. Life cykle assessment of Ethylene glycol and propylene glycol based antifreeze, Franklin Associated Ltd (FAL) i USA, 1994
7. Sofie Gran, Livscykelanalys av två kylarglykoler, Kemisk miljövetenskap, Chalmers Tekniska Högskola, 1996
8. Svenska kyltekniska föreningens handbok nr.12
9. BASF Svenska AB (producent), kemikalieföretag
10. Per Ljung, MS Sveda, glykolleverantör
11. Åke Bresle, vatten-glykolblandningar för Solfångarsystem, KTH, 1982
12. Varuinformationsblad, tekniska datablad, Statoil, Agrol, OK/Q8, Shell, MS Sveda, Preem och DOW Chemical.
13. Timberjack (systemuppbyggnad)
14. Eberspracher (pumpar)

## 18. Bilagor

Diagrambilaga:

Diagram 1. Viskositeter för olika blandningsförhållanden för propylen respektive etylenglykol

Diagram 2. Viskositet i cSt som funktion av % inblandning av propylenglykol

Diagram 3. Viskositet i cSt som funktion av % inblandning av etylenglykol

Diagram 4. Flöde i ml som funktion av viskositeten, pump nr 4 vid Köldtest.

Diagram 5. Frystemperatur för olika % blandning





Diagram 2. Viskositet i cSt som funktion av % inblandning av propylenglykol

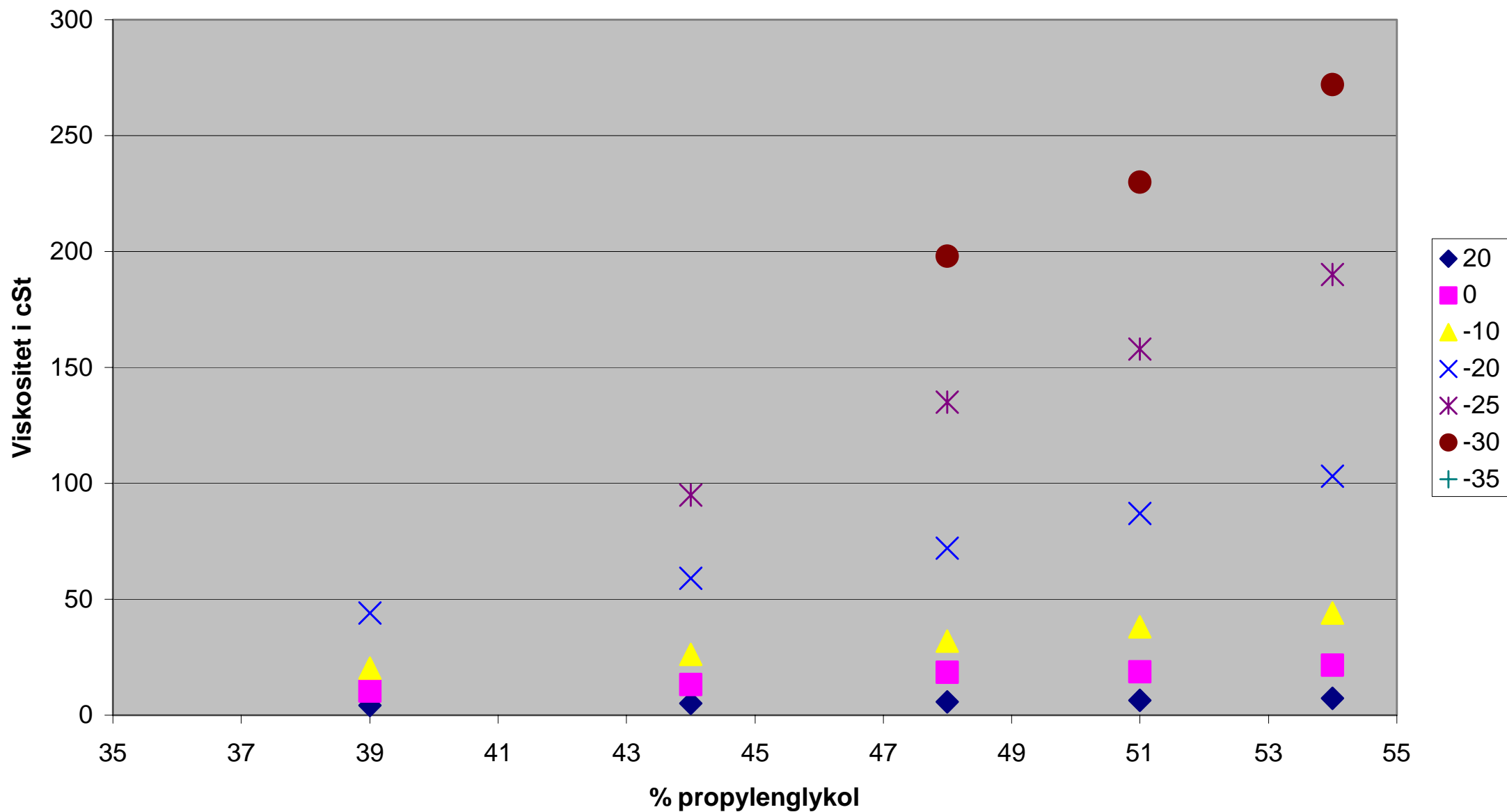
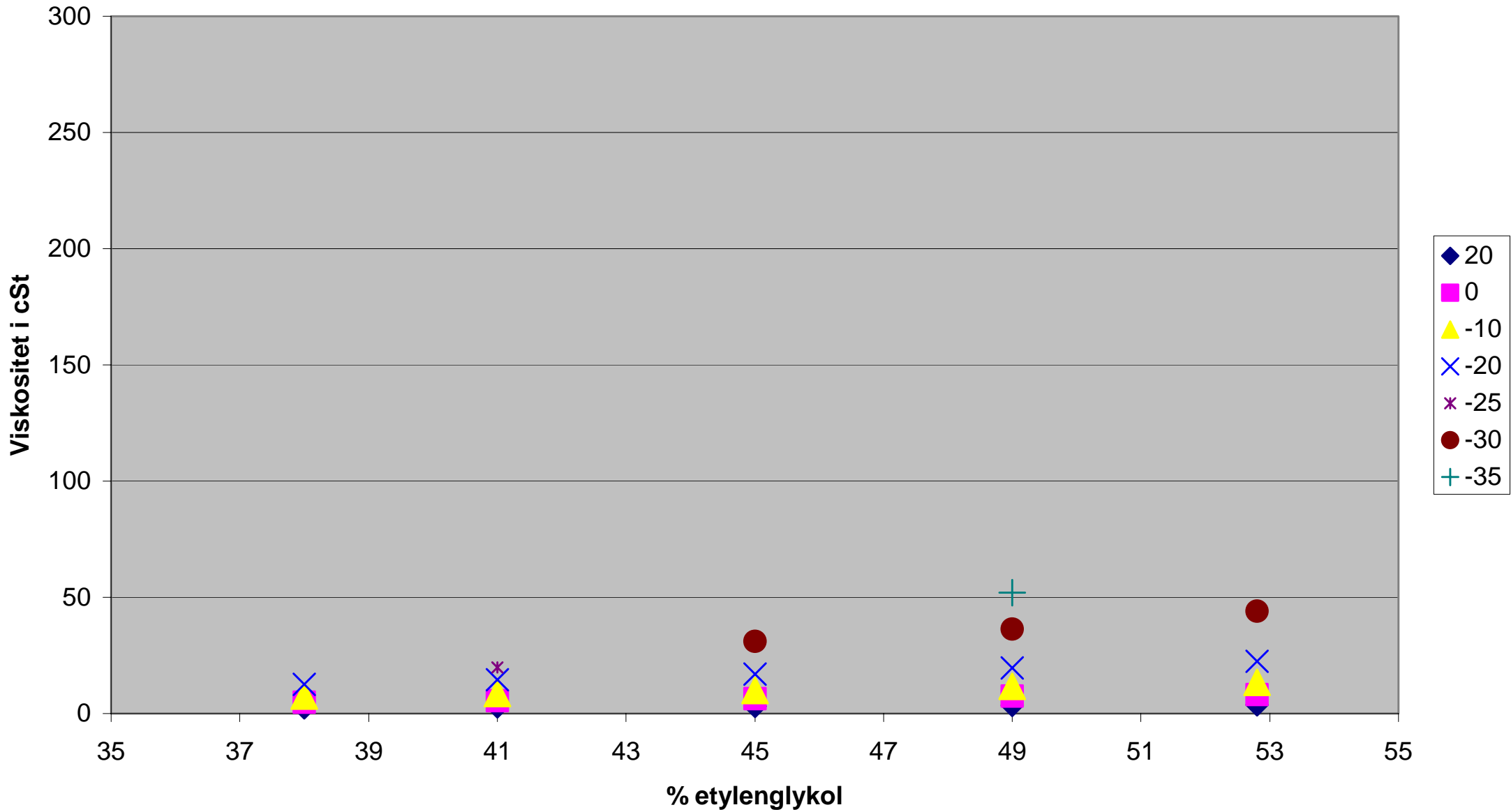


Diagram 3. Viskositet i cSt som funktion av % inblandning av etylenglykol



**Diagram 4. Flöde i ml som funktion av viskositeten, pump nr 4 vid köldtest.**

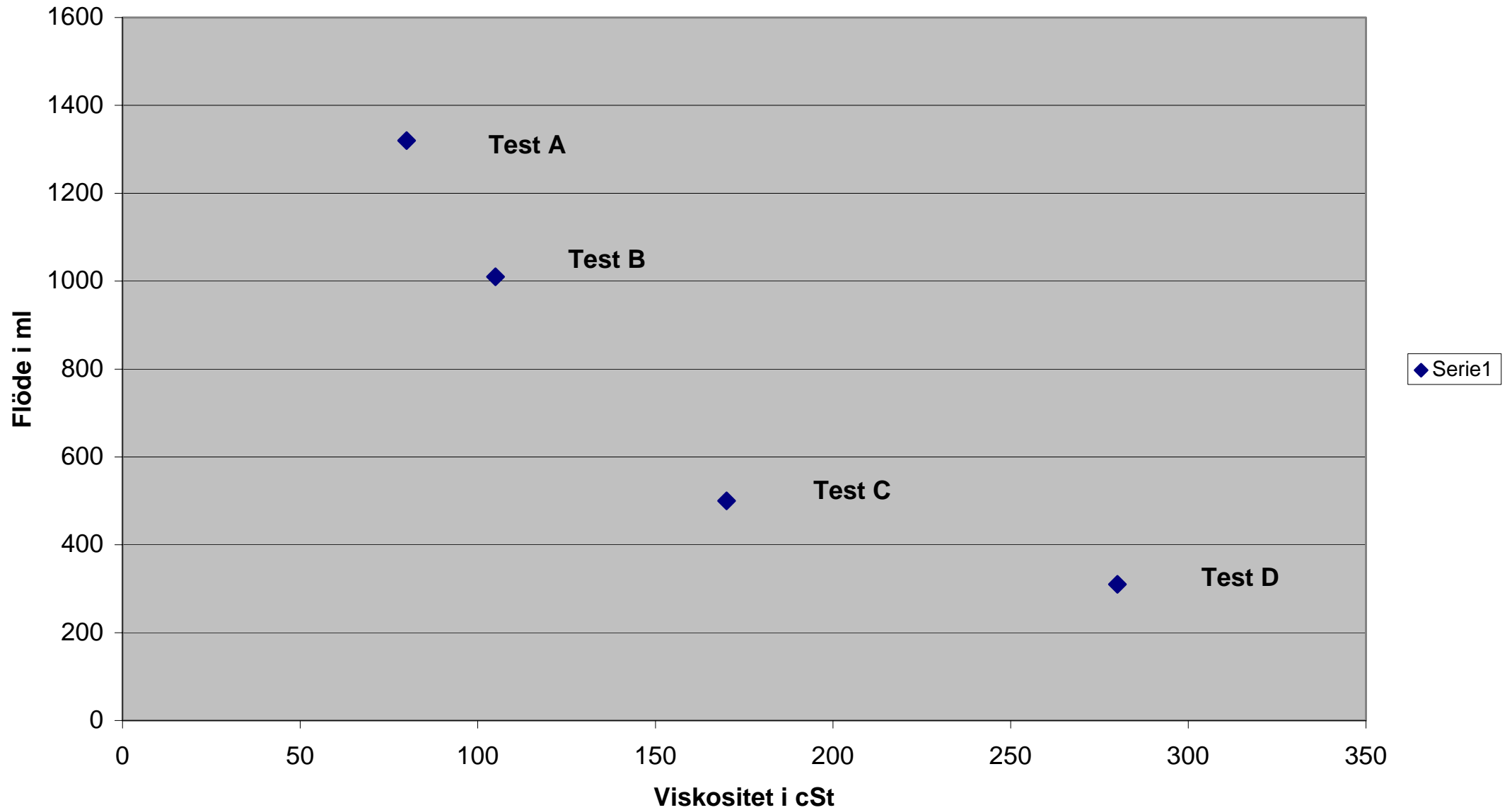


Diagram 5. Frystemperatur för olika blandning

