

# Flygplansavisningens miljöpåverkan vid svenska flygplatser

The environmental Impact of Aircraft De-icing  
at Swedish Airports

---

Lars Marklund

## Referat

### Flygplansavisningens miljöpåverkan vid svenska flygplatser

*Lars Marklund, Institutionen för geovetenskaper, Luft- och vattenlära, Uppsala universitet*

Det primära syftet med examensarbetet har varit att besvara ett antal frågeställningar om flygplansavisningens miljöpåverkan. Frågeställningar som behandlar hur flygplansavisningens miljöpåverkan kan uppskattas/mätas samt reduceras.

Den miljöpåverkan flygplansavisningen ger upphov till består främst av den syreförbrukning som orsakas vid nedbrytningen av den använda, glykolbaserade avisningsvätskan. Hur stor denna miljöbelastning blir beror till stor del av var nedbrytningen äger rum. I känsliga ekosystem ger syreförbrukningen upphov till syrefattiga miljöer vilket många organismer missgynnas av.

För att reducera de negativa effekter som använd avisningsvätska kan ge upphov till sker på alla svenska reguljära flygplatser ett tillvaratagande av den använda avisningsvätskan. Uppsamlingsmetoderna som används kan uppdelas i två huvudprinciper. Den ena är att området där avisning sker begränsas hydrologiskt och den andra metoden är uppsamling med ”vakuumsugbil”. Den hydrologiska avgränsningen kan göras för ett mindre område och benämns då som en stationär avisningsyta. Examensarbetet utreder vilka uppsamlingsmetoder för avisningsvätska som används på 16 av de svenska flygplatserna med mest avisningsaktivitet. Vid de undersökta flygplatserna används ”vakuumsugbil” på alla utom en. På sex av flygplatserna används stationära avisningsplatser och större avgränsade områden för uppsamling finns vid fem flygplatser. Ingen signifikant skillnad i effektivitet (uppsamlingsgrad) kunde påvisas mellan de olika uppsamlingsmetoderna. Anledningen till detta kan ligga i att mätmetoderna skiljer sig mellan de olika flygplatserna och att det är mycket svårt att mäta eller uppskatta effektiviteten.

Examensarbetet utreder även vilka mätmetoder som används, deras svagheter samt alternativ till dessa. Förslag ges även till allmänna åtgärder för att minimera flygplansavisningens miljöpåverkan ur såväl utsläppssynpunkt som för resursåtgång.

En fallstudie av Stockholm-Bromma flygplats ger en betydligt djupare utredning än för övriga flygplatser och en grov massbalans upprättas för den använda glykolen. Massbalansen upprättas för man ska kunna avgöra hur stora mängder av den använda avisningsvätskan som samlas upp, lämnar flygplatsen via dagvattennätet eller når diffusa sänkor. Resultaten visar att även om uppsamlingsgraden är liten är belastningen på dagvattennätet ringa. En stor andel når de s.k. diffusa sänkorna och bryts ner på markytan eller perkolerar ner genom marken.

I fallstudien utreds även den troliga påverkan på vattenrecipienter och omkringliggande närmiljö. Förslag ges även på hur man på bästa sätt skall reducera den miljöpåverkan som den använda avisningsvätskan ger upphov till.

*Nyckelord: flygplansavisning, miljöpåverkan, glykol, uppsamling, BOD, TOC, MPG.*

## **Abstract**

### **The Environmental Impact of Aircraft De-icing at Swedish Airports**

*Lars Marklund, Department of Earth Sciences, Air and Water Science, Uppsala University*

The aim of this thesis was to answer a number of questions about the environmental consequences of aircraft de-icing. A further aim was to suggest how the environmental consequences due to the release of de-icing fluids can be measured and reduced.

The main impact of the aircraft de-icing on the environment is due to the large oxygen demand for the degradation of glycol based de-icing fluids which are released in the environment. The effect of the increase in oxygen demand depends on where the degradation occurs in the ecosystem. In a sensitive ecosystem, the large demand of oxygen could provide an anaerobic environment which would be harmful for many types of organisms.

In order to reduce the negative effects of the applied de-icing fluid, there is some type of collection system at every regular airport in Sweden. The methods of collection can be divided into two general groups, hydrological isolation or vacuum sweeper trucks. When the area used for hydrological isolation is relatively small it is called a central de-icing pad. This thesis investigates which methods are being used at 16 of the Swedish airports with the most intense de-icing activity. Of all of these airports, only one does not use vacuum sweeper trucks. Six of the airports use central de-icing pads and five use hydrological isolation of a larger area. The investigation of the efficiency of each method showed no significant differences. This is due to the lack of accurate measurements and that different measurement methods are employed at different airports.

This thesis also examines which methods for measuring the efficiency are being used, their weaknesses and what alternatives methods are available. Suggestions are also given to minimize the environmental consequences of aircraft de-icing, taken into account both leakage of the de-icing fluid and its judicious use.

The case study of Stockholm-Bromma Airport includes a more detailed investigation of the de-icing activities and a rough mass balance is established. The aim of establishing the mass balance is to determine the extent of collection of the de-icing fluids, their runoff to the storm water system or arrival at a diffuse sink. The results show that even if the collection is low, only a small part of the de-icing fluids reaches the storm water system. A relatively large part goes to the diffuse sinks where the de-icing fluids degrade on the soil surface or percolate into the soil. In the case study there is also an investigation of the probable impacts on the surrounding environment due to aircraft de-icing at Stockholm-Bromma Airport and suggestions are made how to reduce the impact.

*Keywords: Aircraft de-icing, environmental impact, glycol, collection, BOD, TOC, MPG.*

*Department of Earth Sciences  
Air and Water Science  
Villavägen 16  
SE-752 36 UPPSALA*

ISSN 1401-576

## Förord

Examensarbetet som här följer är utfört på uppdrag av Luftfartsverket och behandlar flygplansavisning på svenska allmänna flygplatser och då i synnerhet tillvaratagandet av den använda avisningsvätskan. Examensarbetet är en del av civilingenjörsprogrammet Miljö- och vattenteknik som ges vid Uppsala universitet i samarbete med Sveriges Lantbruksuniversitet.

Jag har under arbetets gång blivit många erfarenheter rikare, inte bara inom avisningsområdet (som i och för sig är ett väldigt intressant ämne) utan jag har även lärt mig mycket om hur man planerar och genomdriver ett projekt. Att jag själv har formulerat de flesta frågeställningarna och bestämt metoder för att besvara dessa har varit mycket mer arbetskrävande än jag kunde ana men fram för allt har det varit otroligt givande.

Ämnesgranskare har Rajinder Saxena varit och examinator var Allan Rodhe, bägge verksamma vid Institutionen för geovetenskaper, Luft- och vattenlära, Uppsala universitet. Ett stort tack till er bägge för er del i arbetet.

Jag skulle även vilja rikta ett stort tack till min handledare Stina Ljung samt till Eva Myrin och Lena Wennberg på Luftfartsverket som drog igång hela arbetet och gav mig chansen att genomföra det. Dessutom skulle jag vilja tacka all övrig personal på Luftfartsverket som på något sätt har hjälpt mig i mitt arbete.

Sist men inte minst skulle jag vilja tacka alla mina nära och kära som har stöttat mig under den här tiden, även om de vid vissa tillfällen säkert har känt sig en aning åsidosatta på grund av mitt rapportskrivande.

## Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	1
2.	Bakgrund .....	4
2.1	Avisningens genomförande.....	4
2.2	Tillvaratagandet av använd avisningsvätska .....	6
2.2.1	Uppsamling .....	6
2.2.2	Förvaring .....	9
2.2.3	Behandling .....	9
2.2.4	Borttransport.....	9
2.3	Mätning av uppsamlingsgrad .....	10
2.3.1	Hur påverkas uppsamlingsgraden av andelen tillgänglig glykol?.....	10
2.3.2	Bryts glykol ned i uppsamlingstanken? .....	11
2.3.3	Hur påverkar mättekniken uppsamlingsgraden? .....	11
2.4	Avisningsvätskan .....	11
2.4.1	Glykoler.....	12
2.4.2	Additiv.....	14
2.4.3	Avisningsvätskans miljöpåverkan.....	14
2.5	Alternativa avisningsmetoder.....	15
2.5.1	Tempererat vatten.....	15
2.5.2	Tryckluft.....	16
2.5.3	Hybridmetoden.....	16
2.5.4	Infravärme .....	16
2.5.5	Elektrisk avisning .....	17
2.5.6	Mekanisk avisning.....	17
2.5.7	Tempererat flygbränsle .....	17
2.5.8	Förvaring .....	17
2.5.9	Avisningsbåge .....	17
3.	Metod .....	18
3.1	Använda uppsamlingsmetoder och mätningar .....	18
3.2	Vad påverkar uppsamlingen.....	18
3.3	Klimatets inverkan .....	19
3.4	Nedbrytningsförsök.....	19
3.4.1	Småskaligt nedbrytningsförsök .....	19
3.4.2	Nedbrytningsförsök genom stickprov .....	22
3.5	Bestämmandet av filmtjocklek.....	22
3.5.1	Genomförande .....	22
3.5.2	Felkällor .....	24
4.	Resultat.....	26
4.1	Förfarande vid tillvaratagande och mätning.....	26
4.2	Parametrar som påverkar uppsamlingsgraden.....	27
4.2.1	Uppsamlingsmetodik.....	27
4.2.2	Klimatets inverkan .....	28
4.2.3	Avisningsmetodik.....	30
4.2.4	Antal avisningar utan uppsamling med sugbil .....	32
4.3	Nedbrytningsförsök.....	33
4.3.1	Småskaligt försök.....	33
4.3.2	Stickprov för nedbrytning .....	36
4.4	Försök för bestämning av filmtjocklek .....	36

5.	Diskussion .....	37
5.1	Omändertagande av använd avisningsvätska .....	37
5.2	Faktorer som påverkar uppsamlingen .....	37
5.2.1	Avisningsmetodik.....	38
5.3	Mätmetoder för uppsamling av använd avisningsvätska .....	38
5.3.1	Nedbrytning i mellanlagringstank.....	39
5.3.2	Andel glykol tillgänglig för uppsamling .....	40
5.4	Glykolens väg från mark till bäck.....	41
5.5	Avisningens miljöpåverkan.....	41
6.	Slutsatser .....	43
6.1	Uppsamling .....	43
6.2	Avisningsmetodik.....	43
6.3	Mätning .....	44
7.	Åtgärder.....	45
8.	Referenser.....	46
	Bilaga A.....	50
	Bilaga B.....	55
	Bilaga C.....	58
	Bilaga D.....	61

## 1. INLEDNING

Den 27 december 1991 drabbades Sverige av en av landets mest omtalade flygplansolyckor, den så kallade Gottröra-olyckan.

Det hela startade med att flygkapten Stefan Rasmussen och hans sex man stora besättning, hälsade de 123 passagerarna välkomna till SAS flight SK751, från Stockholm-Arlanda till Warszawa via Köpenhamn. Flygplanet vid namn Dana Viking var av typen McDonnell Douglas MD-81 och hade levererats till SAS tidigare samma år. Flygplanet var med andra ord nytt och slitaget litet.

Efter bara 40 sekunders flygning började varningslampor i cockpiten lysa och ett tag senare stannade motorerna. Planet förlorade snabbt fart och piloterna beslutade sig för att försöka nödlanda på en åker strax utanför byn Gottröra i Uppland. Vid nödlandningen kolliderade planet under inflygningen med ett stort antal träd, planet kanade ca 1 km över åkern och planet bröts upp i tre bitar. Lyckligtvis omkom ingen och endast 24 personer skadades. Ett faktum som gav upphov till uttrycket ”Miraklet i Gottröra” och besättningen fick mottaga medaljer från ingen mindre än Hans Majestät Konungen.

Orsaken till olyckan var att avisningen av planets vingar var otillräcklig. När planet startade var vingarna till viss del belagda med klaris som ingen uppmärksammade. Isen sögs in i motorerna, där de förstörde fläktstegen vilket föranledde motorpumpningar. Motorpumpningarna förstörde motorerna och fick dem att stanna.

Att is sugts in i och därigenom skadar flygplanens motorer är inte det enda allvarliga problem som snö- och isansamlingar kan ge upphov till för ett flygplan. Flygplan och då framförallt dess vingar och stabilisatorer är noga utformade för att ge flygplanet så fördelaktiga aerodynamiska egenskaper som möjligt. Detta innebär att bland annat flygplanets lyftkraft, bärförmåga och manöveregenskaper drastiskt förändras redan vid mindre isbildning, vilket kan bringa de dugligaste piloter och de säkraste flygplan på fall (Landberg, 2002).

För att förhindra inträffandet av dylika olyckor används, sedan lång tid tillbaka både i Sverige och i många andra länder som bedriver flygtrafik under förhållanden med snö och is, stora mängder glykolhaltiga vätskor, så kallade avisningsvätskor. Anledningen till att glykoler används i avisningsvätskor är främst att vatten som blandas med glykol får en fryspunkt betydligt lägre än rent vatten, vilket gör att isen smälter och rinner av flygplanet även vid temperaturer långt under 0 °C. Avisningsvätskans sammansättning och egenskaper behandlas i kapitel 2.4.

I Sverige som är ett förhållandevis litet land med inte ovanligt mycket flygtrafik, används varje år ca 3000 ton avisningsvätska (Häkkinen, 2004), vilket ungefär motsvarar 2900 m<sup>3</sup> avisningsvätska. Detta kan jämföras med att 42 000 m<sup>3</sup> avisningsvätska användes under avisningssäsongen 1992-1993 på de 20 största flygplatserna i Nordamerika (Switzenbaum m.fl., 1999). Om inte dessa stora kvantiteter avisningsvätska omhändertas, kan en kraftig lokal miljöpåverkan förväntas, runt ett flertal flygplatser som bedriver flygplansavisning.

Den miljöpåverkan som avisningsvätskan främst förorsakar är nedsatta syrehalter i vattenrecipenter. Detta behandlas mer i avsnittet ”Avisningsvätskans Miljöpåverkan” (2.4.3). Miljöpåverkan är inte den enda baksidan av att använda dessa glykolbaserade

avisningsvätskor. Även ekonomin är en viktig aspekt. En liter avisningsvätska kostar mellan 9 och 14 SEK (Gauffin, 2003), vilket innebär att avisningen i Sverige kostar miljontals kronor varje år. Detta har gett upphov till flera alternativa tillvägagångssätt för avisning av flygplan. Några av dessa beskrivs i stycket "Alternativa avisningsmetoder" (2.5).

Första delen av rapporten ger en allmän beskrivning av flygplansavisning och dess miljöpåverkan samt behandlar ett antal svenska allmänna flygplatsers tillvaratagande av använd avisningsvätska. Den senare delen består av en fallstudie som ger en mer specifik redogörelse för Bromma flygplats. Anledningen till att Bromma flygplats särbehandlas är att flygplatsen i dagsläget är föremål för en utredning i miljööverdomstolen, en utredning som bland annat behandlar tillvaratagandet av använd glykolhaltig avisningsvätska och flygplansavisningens inverkan på flygplatsens närmiljö.

Målet med examensarbetet är att besvara ett antal frågeställningar om flygplansavisningens miljöpåverkan. Frågeställningar som behandlar hur flygplansavisningens miljöpåverkan kan uppskattas/mätas samt reduceras. Hypoteserna som prövas i rapporten baseras delvis på förutbestämda frågeställningar från uppdragsgivarens, Luftfartsverkets (LFV) sida, delvis på frågeställningar som vuxit fram under arbetets gång. De huvudsakliga frågeställningarna som rapporten försöker besvara är följande:

- 1) **Vilka uppsamlingsmetoder används och vilka är effektivast?**  
Examensarbetets huvudsakliga mål är att utreda vilka uppsamlingsmetoder för avisningsvätska som används på svenska flygplatser och om det finns några signifikanta skillnader i effektivitet mellan de olika metoderna.
- 2) **Vilka faktorer påverkar uppsamlingsgraden?**  
Uppsamlingsgraden är ett vanligt mått på hur effektiv uppsamlingen av använd avisningsvätska är på en flygplats. Effektiviteten antas enligt ovan bero på valet av uppsamlingsmetod men uppsamlingsgraden (som används som mått för effektiviteten) kan eventuellt även påverkas av andra faktorer, såsom avisningsmetodik (teknik, avisningsvätskor m.m.) och mätmetod (antaganden, teknik m.m.). Hur stor denna påverkan är en annan frågeställning som detta examensarbete tar upp.
- 3) **Var tar använd avisningsvätska vägen?**  
Det är i princip omöjligt att samla upp den totala mängden använd avisningsvätska efter en avisning. Den uppenbara frågan är vart den resterande avisningsvätskan tar vägen. Framförallt är det viktigt att försöka avgöra hur stor andel som omhändertas respektive belastar dagvattennät eller når diffusa sänkor (se 5.4) och därigenom blir svåra att mäta. En frågeställning som är central i detta sammanhang är hur mycket avisningsvätska som kvarstannar på flygplanet fram till planet har lämnat avisningsområdet, eftersom det ofta anses orimligt att försöka uppsamla den avisningsvätska utanför avisningsområdet.
- 4) **Vilken miljöpåverkan ger avisningen?**  
Att använd avisningsvätska kan utgöra en fara för vattenecosystem är allmänt vedertaget. De frågor detta examensarbete skall ta upp rör på vilket sätt avisningsvätskan skadar recipienten och därigenom försöka avgöra hur denna miljöpåverkan ska kunna undvikas.



Fallstudiens utredning är betydligt djupare än för övriga flygplatser och en grov massbalans upprättas för den använda glykolen. Massbalansens uppgift är att avgöra hur stora mängder av den använda glykolen som samlas upp, lämnar flygplatsen via dagvattennätet eller når diffusa sänkor. I fallstudien utreds även den troliga påverkan på vattenrecipienter och omkringliggande närmiljö. Förslag ges även på hur man på bästa sätt skall reducera den miljöpåverkan som den använda avisningsvätskan ger upphov till.

## 2. BAKGRUND

I detta kapitel presenteras; metodiken för traditionell flygplansavisning, omhändertagande av använd avisningsvätska och mätmetoder för uppskattning av uppsamlingens effektivitet. Dessutom behandlas avisningsvätskans innehåll samt dess miljöpåverkan och slutligen beskrivs ett antal alternativa metoder av flygplansavisning.

### 2.1 AVISNINGENS GENOMFÖRANDE

Avisningssäsongen i Sverige sträcker sig normalt mellan oktober och april. Givetvis förekommer variationer i avisningssäsongens längd beroende på flygplatsens geografiska läge samt mellan olika år. Avisningen sker oftast vid nederbörd och en temperatur på mellan 0 och -10 °C. Vid lägre temperatur förekommer eventuell nederbörd vanligtvis i form av lätt snö som ej orsakar problem. Eftersom kaptenen ensam är ansvarig för planets och alla passagerares säkerhet, är det denne som avgör om planet behöver avisas eller ej.

På alla större flygplan i reguljärtrafik utförs avisningen med speciella fordon som bara används i detta syfte. Fordonen finns i flera olika fabrikat och modeller. Utformningen är dock ganska snarlik för alla avisningsfordon (se figur 1).



**Figur 1:** Avisningsfordon med öppen bemannad lyftkorg som genomför en avisning på Bromma flygplats år 2003. (Foto: L. Marklund)

Grunden utgörs av ett lastbilschassi med en stor tank där avisningsvätskan blandad med vatten förvaras. Vanligtvis rymmer en sådan tank ungefär 8 m<sup>3</sup> (Safeaero, 2003). Tanken är alltid uppdelad så att avisningsvätskans olika typer inte blandas. Den kan även vara uppdelad så att vatten och utspädd avisningsvätska förvaras åtskilt och blandas först när själva avisningen sker. Fördelen med en sådan konstruktion är att koncentrationen kan anpassas exakt till vilken temperatur som råder utomhus, en lägre utomhustemperatur kräver en högre glykolkoncentration för att smälta isen. Avisningsvätskan i bilens tank håller en temperatur på 80-90 °C.

Därutöver består avisningsfordonen av en fjärrstyrd, oftast bemannad lyftkorg, öppen eller sluten, från vilken avisningsvätskan sprutas med högt tryck på flygplanen. Det är främst planens vingar och stabilisatorer<sup>1</sup> som avisas men vid kraftig snö eller isbildning avisas hela flygplanskroppen.

Avisningen sker ofta i två steg, där det första steget kallas ”de-icing” och det senare ”anti-icing”. Vid de olika stegen används olika typer av avisningsvätska. Vid de-icingen, som innebär att snö och is avlägsnas från flygplanet används en så kallad typ 1-vätska, vilken har en glykolkhalt runt 80-90 % i outspätt skick men vid användandet en glykolkoncentration på ca 30-50 %<sup>2</sup>. Vid detta steg kan mängden avisningsvätska som behövs för en avisning uppgå till flera hundra liter vid svåra förhållanden och stora flygplan. När de-icingen är slutförd och all snö och is är avlägsnad kan nästa steg påbörjas, anti-icingen som motverkar ny isbildning.

Vid anti-icingen används en annan typ av avisningsvätska, med betydligt högre viskositet och därigenom en större vidhäftningsförmåga än typ 1. Denna typ av avisningsvätska finns i tre olika former; typ 2, typ 2-plus respektive typ 4. I princip skiljer sig inte dessa tre mycket åt sinsemellan. Anledningen till att anti-icingvätskan har en stor vidhäftningsförmåga är att den skall sitta kvar och därigenom skydda vingen från ny isbildning ända tills planet lyfter. Anti-icingvätskan brukar ha en glykolkoncentration runt 50 % och till skillnad från de-icingvätskan späds vanligtvis inte anti-icingvätskan ut ytterligare.

I och med att planet når en viss hastighet är vingarna så byggda att luftströmmen som passerar vingen hindrar nybildning av is på vingen. På grund av detta är anti-icingvätskans uppgift uppfyllt och blir överflödig. Därför är anti-icingvätskan pseudoplastisk<sup>3</sup> så att den vid en viss hastighet, ca 60 knop för typ 2 och ca 100 knop för typ 4, skall ändra viskositet och släppa från vingen (Boeing, 2004). Ett problem i samband med detta är att anti-icingvätskan inte alltid släpper från vingen när den ska och eventuellt stannar kvar på vingen under hela flygningen. Inte bara blir det svårt att få vingen ren igen, man kan även tänka sig att om lagret blir tillräckligt tjock kan det, liksom en isbildning, påverka de aerodynamiska egenskaperna hos planet. Dessutom kan anti-icingvätskan ansamlas i vissa vindskyddade delar på vingar och stabilisatorer. Vid låga temperaturer tillsammans med hög luftfuktighet eller regn kan denna lagrade, uttorkade anti-icingvätska återfuktas och därefter frysa och blockera vissa av flygplanets manöversystem (Bakken, 2000). Det är detta problem som har fått många svenska avisningsaktörer och flygbolagen att helt sluta använda typ 4, den sortens vätska hade en för stor vidhäftningskapacitet.

Eftersom all is oftast redan är avlägsnad när anti-icingen påbörjas och det är tillräckligt att spruta på precis så mycket att hela vingen täcks av ett tunt lager, är åtgången av avisningsvätska betydligt mindre än vid de-icingen.

Det är inte alltid nödvändigt att utföra båda stegen vid avisningen. Vid kortare taxningssträckor och gynnsamt väder är anti-icing ej nödvändig. Då ger skyddet från den kvarvarande typ 1-vätskan tillräckligt skydd för att planet ej skall drabbas av ny isbildning innan planet lyfter.

---

<sup>1</sup> Stabilisatorerna är de mindre vingar som sitter på flygplanets bakre del och vars uppgift är att stabilisera flygplanet.

<sup>2</sup> Koncentrationen anpassas efter utomhustemperaturen. Kravet är att avisningsvätskans smältpunkt skall vara minst 10°C lägre än utomhustemperaturen.

<sup>3</sup> Viskositeten förändras med skjuvkraften från luftmotståndet.

Om flygplanet är snö- och isfritt kan en preventiv avisning utföras för att undvika isbildning under markstopp. Vanligtvis används denna metod vid bra väderlek där en förebyggande avisning sker i samband med att planet landat och angör gaten. Avisning sker då med typ 2, typ 2+ eller typ 4. En mindre mängd glykol sprutas på och skyddar flygplanet från isbildning under markstoppet. En nackdel med detta förfarande är att anti-icingvätskan med sin kraftiga vidhäftningsförmåga riskerar att, om den appliceras direkt på en torr vinge, bli kvar på vingen under hela flygningen. När planet sedan återigen skall avisas ligger den gamla avisningsvätskan kvar och fungerar som ett klister vilket får till följd att den nya avisningsvätskan inte heller avlägsnas. Om detta fortgår så uppstår problem enligt ovan.

## **2.2 TILLVARATAGANDET AV ANVÄND AVISNINGSVÄTSKA**

För att undvika de negativa effekter som använd avisningsvätska kan ge upphov till, sker på alla svenska reguljära flygplatser, ett tillvaratagande i någon form av den använda avisningsvätskan. Problem med använd avisningsvätska är främst relaterade till tre områden; miljö, arbetsmiljö samt passagerarnas trivsel.

Tillvaratagandet kan uppdelas i fyra huvuddelar; uppsamling, förvaring, behandling och borttransport.

### **2.2.1 Uppsamling**

Uppsamlingsmetoderna som används kan uppdelas i två huvudprinciper. Den ena är att området där avisning sker, begränsas hydrologiskt. Detta innebär att ytliga ledningar hindrar spridning av använd avisningsvätska (se figur 2) och den uppsamlade vätskan leds vidare till förvaringen.

Fördelen med att hydrologiskt avgränsa de områden där avisning sker, är att risken att använd avisningsvätska når dagvattennätet eller områden där avisningsvätskan kan infiltrera ner till grundvattnet kraftigt minskas utan att löpande, aktiva åtgärder måste vidtagas. Området som avgränsas kan vara ett mindre område, vilket brukar kallas för en stationär avisningsplats. Alternativet är att de delar av rampområdet där avisning sker, avskiljs. En nackdel som gäller för bägge dessa är givetvis anläggningskostnaderna, vilka är direkt kopplade till storleken av området.

Av arbetsmiljöskäl används i princip alltid även sugbil (se nedan) för att snabbt avlägsna avisningsvätskan från de markytor där avisningen har ägt rum.



**Figur 2:** Ytliga ledningar för uppsamling av använd avisningsvätska. Fotot är tagen på Sundsvall-Härnösands flygplats stationära avisningsplats år 2003. (Foto: L.Marklund)

Det finns även nackdelar med respektive begränsningssätt. Med den stationära avisningsplatsen blir det praktiska genomförandet mer komplicerat framförallt logistiskt sett. Vid detta förfarande kan endast ett flygplan i taget avisas (förutsatt att den stationära avisningsplatsen inte är stor nog för att klara av flera avisningar samtidigt). Dessutom måste flygplanet transporteras till avisningsplatsen, detta kan antingen göras genom att flygplanet rullar dit för egen maskin eller att bogseras dit. I bägge fallen kan praktiska problem uppstå. Då flygplanet bogseras till avisningsplattan krävs personal och fordon som utför detta. Om flygplanet inte bogseras måste planets motorer antingen vara igång under avisningen alternativt stängas av och omstartas. Detta är en mycket tidskrävande procedur, till följd av de obligatoriska kontrollscheman som piloterna måste genomgå vid varje start. Att motorerna går under avisningen ger upphov till dels arbetsmiljömässiga problem för avisningspersonalen, dels kan motorerna ta skada då glykolen sugas i dem (Ljung, 2003). En fördel med stationära avisningsplatser är att avisningen sker i direkt anknytning till starten. Därigenom reduceras behovet av anti-icing och åtgången av avisningsvätska kan minska. Om den stationära avisningsplatsen inte är tillräckligt stor är risken överhängande att en betydande del av den spillda glykolen blåser utanför det avgränsade området. Enligt en amerikansk rapport sprids uppskattningsvis ca 15 % av den använda glykolen utanför det direkta avisningsområdet med vinden (EPA, 2000).

Om ett större område avgränsas kan flygplanen avisas på sin uppställningsplats och problemen vid själva avisningen uteblir. Dock finns ett problem med detta förfarande, eftersom uppsamlingsområdet är så omfattande blir även mängderna uppsamlad vätska stor bl.a. på grund av mer nederbörd. Detta ger upphov till problem i nästa steg, förvaringen.

Dessutom ger stor uppsamlingsyta även en låg koncentration, vilket senare gör att ytterligare ett steg kan försvåras; behandlingen. Detta kommer att förklaras mer ingående i beskrivningen för respektive steg (se 2.2.2 och 2.2.3).

Den andra metoden som används innebär att uppsamlingen sker med hjälp av ett fordon vilket innefattar en vakuumsuganordning. Fordonet som går under benämningen sugbil (se figur 3) anländer till platsen där avisningen har ägt rum efter att flygplanet har lämnat platsen. Sugbilen cirkulerar sedan på platsen och suger upp så mycket som möjligt av den använda avisningsvätskan. När sugbilen är full eller när tillfälle ges, tömmer chauffören sugbilen på en speciellt avsedd plats i direkt anknypning till förvaringssystemet.



**Figur 3:** Sugbil. Fotot taget på Bromma flygplats år 2003. (Foto: L.Marklund)

Fördelen med detta förfarande är att det är ett mycket mer dynamiskt samt att investeringskostnaderna är betydligt mindre än vid hydrologisk avgränsning. Dessutom blir glykolkoncentrationerna oftast relativt höga i den uppsamlade vätskan. Nackdelen är att uppsamlingsgraden, rent teoretiskt sett, är lägre vid detta förfarande. Detta är relativt lätt att förstå med tanke på att det borde vara i princip omöjligt att lyckas samla upp all avisningsvätska med sugbil. Däremot med hydrologisk avgränsning borde en fullständig uppsamling, av all vätska som inte blåser bortom ytans begränsning, vara mer en regel än ett undantag. Driftkostnaderna för sugbilen är även den tillsammans med personalkostnader en nackdel som ej kan försummas. Därtill kommer problem med säkerheten för flygplatspersonalen med ytterligare trafik på en yta med redan ett stort antal fordon i rörelse.

Att använda sig av en kombination av såväl sugbil som hydrologiskt avgränsade områden är ett alternativ som används på flera flygplatser och hur dessa kombinationer kan se ut diskuteras mer i bilaga 1.

### **2.2.2 Förvaring**

Förvaringen av avisningsvätska är i de flesta fall ett nödvändigt ont. Anledningarna till att man överhuvudtaget förvarar den uppsamlade avisningsvätskan på flygplatserna är att det antingen är opraktiskt eller ekonomiskt krävande att direkt transportera bort eller behandla vätskan. Man behöver oftast komma upp till en viss volym. Det tydligaste exemplet är på de flygplatser där den uppsamlade avisningsvätskan borttransporteras med tankbil.

Hur lång tid uppsamlad avisningsvätska förvaras beror på två faktorer; storleken på förvaringssystemet samt hur stora mängder som uppsamlas. Hur den uppsamlade avisningsvätskan förvaras beror till största del på hur uppsamlingen gick till, vad som skall hända med glykolen i nästa steg, behandlingen eller borttransporten, samt vilket utrymme som finns att tillgå på flygplatsen. Stora mängder uppsamlad vätska, som kan uppkomma t.ex. vid hydrologisk begränsning av stora ytor, kräver att förvaringssystemet klarar stora volymer. Lämpligt förvaringssystem kan då vara stora uppsamlingsbassänger. Vill man i nästa steg istället att avisningsvätskan skall hålla en så hög glykolkoncentration som möjligt bör förvaringssystemet vara slutet (cistern eller dylikt) så att nederbörd ej späder ut vätskan.

### **2.2.3 Behandling**

I de fall behandling förekommer har man två mål; återvinning/återanvändning eller degradering. Dessa två kan ses som varandras motpoler där man i slutändan vid återvinning/återanvändning strävar efter så högsta möjliga koncentration och vid degradering så låg koncentration som möjligt.

Vid återvinningen använder man sig av filtrering och destillering etc., för att rena och höja glykolkoncentrationen på den uppsamlade avisningsvätskan, för att sedan med denna vätska som bas framställa ny avisningsvätska. För att detta förfarande skall vara praktiskt och ekonomiskt genomförbart krävs en relativt hög glykolkoncentration redan i och med uppsamlingsfasen. Detta kan uppnås med en uppsamlingsmetod som består av en kombination av stationär avisningsplats och sugbil.

Vid degraderingen är målet att nå en så låg glykolkoncentration att den behandlade avisningsvätskan kan släppas ut i dagvattnet utan risk för någon miljöpåverkan. Detta åstadkoms genom mikrobiologisk nedbrytning av glykolen där slutprodukten är koldioxid och vatten. I detta förfarande krävs givetvis ingen hög glykolkoncentration utan det är snarare motsatsen som är gynnsam i detta fall. Det som dock behövs för en effektiv degradering, är ett gynnsamt klimat för mikroorganismerna. Om klimatet är gynnsamt beror främst på tre faktorer; temperatur, syretillgång samt åtkomlighet av näringsämnen, främst fosfor och kväve.

### **2.2.4 Borttransport**

Hur den uppsamlade avisningsvätskan transporteras bort från flygplatsen är direkt beroende på tidigare steg men kanske framförallt beror det på var den skall transporteras. Dock finns egentligen bara tre transportvägar att välja på; via spillvattennätet till ett reningsverk, via dagvattennätet/vattendrag till vattenrecipient eller med fordon (tankbil) till ett reningsverk, återvinningsanläggning, rötgaskammare etc.

## 2.3 MÄTNING AV UPPSAMLINGSGRAD

För att uppskatta hur effektiv uppsamlingen är mäts på många svenska flygplatser den uppsamlade mängden och utifrån den beräknas uppsamlingsgraden. Med uppsamlingsgraden menas hur stor andel av den glykol som används vid en avisning som på något sätt samlas upp. Målet för uppsamlingen är att få en tillräckligt hög uppsamlingsgrad.

På de flesta svenska flygplatser anses det orimligt att försöka samla upp den glykol som lämnar flygplanet vid start samt vid taxning, av den enkla anledningen att området blir så stort samt att glykolkoncentrationerna blir mycket små. Därigenom uppstår en svårighet när uppsamlingsgraden skall bestämmas, eftersom det är svårt att uppskatta hur mycket av glykolen som lämnar avisningsområdet och därför inte bör ingå i beräkningen. Det vanligaste antagandet är att en specifik andel av den använda glykolen kvarstannar på flygplanet tills dess flygplanet har lämnat avisningsområdet och att resterande mängd glykol antas bli tillgänglig för uppsamling.

Ovissheten om hur stor andel av den använda glykolen som når marken vid avisningsområdet och därigenom blir tillgänglig för uppsamling är inte den enda svårigheten vid mätning av uppsamlingsgraden. Frågor har förekommit gällande att uppsamlingsgraden kan påverkas av eventuell nedbrytning av glykol under förvaring i mellanlagringstankar. Även inverkan av olika mätinstrument har diskuterats. För att rätta ut dessa frågetecken har dessa tre parametrars inverkan på uppsamlingsgraden undersökts i detta examensarbete. Teorin bakom respektive parameter finns i följande tre delkapitel.

### 2.3.1 Hur påverkas uppsamlingsgraden av andelen tillgänglig glykol?

Det är uppenbart att flygplanskroppen ej kan ta upp hur mycket avisningsvätska som helst och att all avisningsvätska som sprutas på efter att flygplanets ytors mättnadsgrad har uppnåtts, rinner ner på marken. Av detta följer hypotesen att en högre uppsamlingsgrad kan uppnås utan att ändra uppsamlingsmetoden, utan enbart genom att ändra avisningsmetodiken så att en större andel av avisningsvätskan blir tillgänglig för uppsamling. Detta kan göras genom att en större mängd avisningsvätska appliceras på flygplanet eller genom att ändra fördelningen mellan anti-icingvätskan och de-icingvätskan.

Hypotesen att uppsamlingsgraden skulle påverkas av mängden använd avisningsvätska per avisning bygger på en ytas kapacitet att lagra vätska. All vätska som appliceras efter mättnadsgraden har uppnåtts, och som inte blåser utanför uppsamlingsområdet, blir tillgänglig för uppsamling. Därför kommer en större andel av den använda avisningsvätskan bli tillgänglig för uppsamling, då mer avisningsvätska appliceras. En större andel tillgänglig avisningsvätska ger en högre uppsamlingsgrad.

Hypotesen om hur typen av avisningsvätska påverkar uppsamlingsgraden består i att typ 2, typ 2+ och typ 4 har högre viskositet än typ 1 och därigenom kvarstannar en större del av den applicerade glykolen på flygplanet och blir ej tillgänglig för uppsamling. Dessutom bidrar den högre viskositeten till att typ 2/2+ och 4 blir svårare att samla upp än typ 1. Av detta följer att uppsamlingsgraden skulle minska om andelen av typ 2/2+ och typ 4 skulle öka i relation till typ 1.

Dessutom kan eventuellt även appliceringen av avisningsvätskan på flygplanet och vätskans koncentration inverka på uppsamlingsresultatet.



### 2.3.2 Bryts glykol ned i uppsamlingstanken?

Vid de flesta av flygplatserna som studeras förvaras den uppsamlade glykolen i något slags förvaringskärl, ofta nedsänkt under jord. Tiden som glykolen förvaras på detta sätt skiljer sig mycket åt från plats till plats. Vid de flygplatser som förvarar den uppsamlade avisningsvätskan i slutna mellanlagringstankar och mäter mängd uppsamlad glykol, sker mätningarna undantagslöst i anknötning till borttransporten. Om nedbrytning av glykolen sker innan mätning, kan ingen korrekt uppskattning av den egentliga uppsamlingsgraden göras, utan värdet kommer underskattas. Därför är det viktigt att utreda huruvida det egentligen är den uppsamlade glykolvätskan som mäts eller om det, på grund av nedbrytning, är en mindre mängd glykol som uppmäts.

### 2.3.3 Hur påverkar mättekniken uppsamlingsgraden?

Den mätmetod som är dominerande på de svenska flygplatser där den uppsamlade glykolvätskan mäts, är att mäta glykolhalten vid borttransport, med en refraktometer. Refraktometern är ett mobilt, optiskt mätinstrument som mäter en vätskas brytningsindex. Genom att utnyttja vetenskapen om skillnaden i brytningsindex mellan vatten och monopropylenglykol (MPG) kan koncentrationen bestämmas. MPG-koncentrationen avläses visuellt på en skala genom att se genom refraktometern mot en ljuskälla.

Det finns ett antal svagheter vid mätning med refraktometer på uppsamlad avisningsvätska, vid såväl provtagning som vid mätning. Eftersom en refraktometermätning bygger på en tvåkomponentsmetod där förhållandet mellan vatten och MPG jämförs, kan mätfel uppstå om provet innehåller andra ämnen eller föroreningar. Proven som tas består av vätska som har samlats upp från marken och risker för föroreningar av såväl lösta som partikulära ämnen föreligger. Instrumentets noggrannhet är enligt tillverkaren  $\pm 1.5$  procentenheter (se 3.4.2). Instrumentets skala som läses av visuellt, har endast markeringar vid var 9:e % (i början av skalan) vilket gör det svårt att i realiteten uppnå den angivna noggrannheten (KG Knutsson AB, 1997). Skalan är dessutom inte linjär vilket ytterligare försvårar avläsningen. Provolymen vid mätning är i storleksordningen någon milliliter, vilket gör att risken är överhängande att provet ej blir representativt för hela den bortfraktade volymen, som brukar vara ca  $10 \text{ m}^3$ .

Ett bättre tillvägagångssätt hade varit att analysera proverna på laboratorium, dock är det endast ett fåtal analysföretag som tillhandahåller MPG-analyser och metoden är ej ackrediterad.

## 2.4 AVISNINGSVÄTSKAN

För att få en förståelse för hur avisningsvätska kan påverka miljön är det viktigt att vara medveten om avisningsvätskans olika beståndsdelar. Avisningsvätska består till största delen av någon slags glykol (diol). Därutöver består avisningsvätska av vatten, samt olika additiv<sup>4</sup>. Här nedan följer en beskrivning av de olika beståndsdelarna i avisningsvätska. Givetvis skiljer sig innehållet både beroende på tillverkare och typ av vätska men i stora drag kan man säga att de är uppbyggda på samma sätt. Dessutom är de exakta recepten och additiven hemliga. Additivens mängd brukar sällan överstiga två procent av den totala blandningen och vid varje upphandling genomgår det exakta innehållet med någon eller några experter från uppköparnas sida, för att försäkra organisationen som skall använda produkten att inga ämnen förekommer som enligt aktuell kunskap skulle kunna vara skadliga ur såväl arbetsmiljöaspekt som

---

<sup>4</sup> Tillsats, oftast i mycket liten mängd

ekologisk aspekt, dock är experterna ej tillåtna att föra vetenskapen om det exakta innehållet i avsningsvätskan vidare (Nilsson, 2004).

### 2.4.1 Glykoler

Glykoler är organiska kolväten och tillhör alkoholerna. Alkoholerna (som i regel) är polära molekyler och fungerar utmärkt som fryspunktneröjare. Den egenskap som särskiljer glykolerna från övriga alkoholer är att de är tvåvärda, det vill säga att två kolatomer har varsin OH-grupp bunden till sig. Att de är tvåvärda alkoholer medför att de ofta går under namnet dioler. Namnet glykol kommer av att flera glykoler smakar sött och därför har glukos, druvsocker, fått ge namn åt gruppen. För allmänheten är antagligen glykolernas användningsområde som antifrysmedel i bilarnas kylarsystem det mest välkända. Enkla alkoholer, som metanol och etanol, sänker också fryspunkten i vattenlösningar, men de höjer inte kokpunkten. Den höga kokpunkten utnyttjas i förbränningsmotorernas kylarsystem. Kylarvattnet kan ta upp värme från motorn utan att börja koka vid temperaturer över 100°C. Som avsningsmedel är det en fördel att glykolerna är mer trögflytande och mindre flyktiga vilket medför att uppehållstiden blir längre på de behandlade ytorna.

Det finns ett antal olika sorters glykoler, men som avsningsvätskor på flygplan har under årens lopp främst monopropylenglykol (MPG), etylenglykol (EG) och dietylenglykol (DEG) brukats. I Sverige används numera främst MPG. Anledning till det är främst toxikologiskt betingad. MPG är helt enkelt den glykol som har uppvisat minst signifikanta toxiska effekter av de tre. Kemiska och fysikaliska egenskaper för MPG, EG och DEG finns att avläsas i tabell 1.

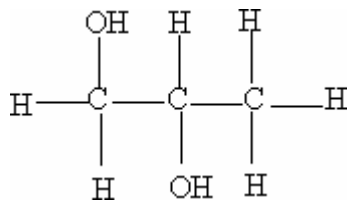
**Tabell 1:** Fysikaliska data för de tre glykoler som används vid avsnings av flygplan. (Knovel, 2004)

Ämne	MPG	EG	DEG
Kemisk formel	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>
Molekylvikt [g/mol]	76,11	62,08	106,14
Kokpunkt [°C]	188	197	245
Smältpunkt [°C]	-11	-13	-10
Brytningsindex	1,43	1,43	1,44
Densitet (vid 25°C) [kg/l]	1,04	1,11	1,12
Ångtryck (vid 25°C) [kPa]	0,017	0,010	0,001
Viskositet [cPo]	54,7	21	38,5
BOD <sub>5</sub> <sup>5</sup> [g/g]	1,08	0,47	0,3
COD [g/g]	1,63	1,29	1,51

#### Monopropylenglykol (MPG)

MPG (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>) är en klar, färglös vätska. Den är trögflytande, har låg flyktighet och hög kokpunkt. I ren form är den hygroskopisk, vilket innebär att den har förmåga att uppta och avge vattenånga. MPG består av tre kolatomer varav två har en hydroxylgrupp bunden till sig (se figur 4).

<sup>5</sup> *Biological Oxygen Demand*, Biologisk syreförbrukning. Siffran 5 står för antalet dygn nedrytningen som ger upp

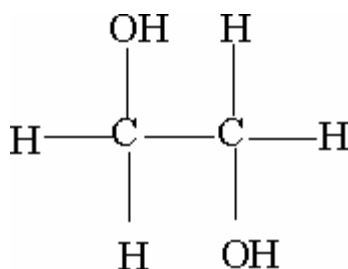


**Figur 4:** Kemisk struktur för MPG.

MPG kan även gå under namnen metyletylenglykol, 1,2-propandiol, 1,2-dihydroxypropan, 2-hydroxypropanal, propan-1,2-diol, 1,2-propylenglykol, trimetylglykol och i livsmedel kort och gott E 1520. MPG är faktiskt en tillåten tillsats i livsmedel. Det är de hygroskopiska egenskaperna som gör MPG lämplig både som konserveringsmedel och fuktbevarare. (Kemikalieinspektionen, 2003)

### **Etylenglykol (EG)**

EG ( $C_2H_6O_2$ ) påminner i mångt och mycket om MPG. Detta ter sig rimligt med tanke på att de är så pass närbesläktade. Skillnaden är endast att EG saknar en metylgrupp vilket medför att bägge kolatomerna binder varsin hydroxylgrupp som kan ses i figur 5.



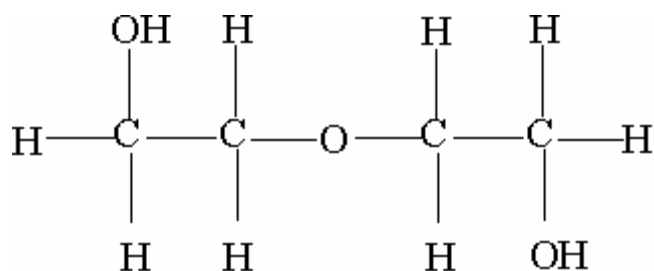
**Figur 5:** Kemisk struktur för EG.

De punkter som rent fysikaliskt skiljer EG och MPG åt är dels att EG har en bittersöt smak och kanske intressantaste, att när EG oxideras i levande organismer bildas bl.a. oxalsyra, som är giftig. (Kemikalieinspektionen, 2003).

### **Dietylenglykol (DEG)**

DEG ( $C_4H_{10}O_3$ ) påminner om EG i många aspekter t.ex. har den söt smak, är helt lös i vatten, saknar färg och lukt, har samma toxiska effekter samt har hygroskopiska egenskaper. Det som främst skiljer dem åt är att DEG har såväl högre kokpunkt som densitet och viskositet, vilka är alla egenskaper som gör DEG än mer lämpad till många av EG's funktioner, exempelvis som avsningsvätska.

Anledningen till skillnaderna kommer av att DEG är en större molekyl. DEG är inte bara alkohol utan även en eter, dvs. den har en så kallad syrebrygga (Hart m.fl., 1999), se figur 6. Ett mer vetenskapligt namn på DEG är 2,2-dihydroxydietyleter. Kemisk struktur för DEG ges i figur 6.



**Figur 6:** Kemisk struktur för EG.

DEG's största användningsområde är som antifryslösning inte bara på flygplan utan även exempelvis i sprinklersystem. Ända fram på 90-talet användes DEG som avisningsmedel på svenska flygplatser. (Kemikalieinspektionen, 2003).

### 2.4.2 Additiv

Additiv är ämnen som tillförs avisningsvätskan i liten skala, mindre än en procent av typ 1 och mindre än två procent av typ 2 består av additiv (EPA, 2000). Additivens uppgifter är att optimera avisningsvätskans funktion samt att minska de skadeverkningar glykolen kan ge upphov till. Den skadeverkning som främst har försökts reduceras är korrosionsskador på flygplan och markfordon. På flygplan är denna effekt särskild intressant eftersom vissa delar av planet är belagda med kadmium (Ljung, 2003) och därför kan korrosionsskador ge upphov till att kadmium, som är en skadlig tungmetall, kan komma att spridas till närmiljön. En grupp ämnen som brukar användas för att motverka korrosion och andra elektriskt relaterade problem är triazoler (exempelvis gnistbildning). Tidigare har främst två typer av triazoler använts i avisningsvätska, benzotriazol och tolytriazol. Triazoler används dock ej längre på svenska flygplatser då de dels var svårnedbrytbara och dels toxiska (Cryotech, 2004, Clariant GmbH, 2004). Dessutom kan dessa ämnen hämma nedbrytningen av glykolen (Svensson, 2003)

För att optimera användningen av avisningsvätskan har bl.a. färgämnen tillsatts, dels för att man lättare kan se om avisningsvätskan verkligen täcker de avsedda delarna av planet dels för att man skall kunna se skillnad på typ 1 och typ 2 eftersom dessa färgas olika. Till typ 2 tillsätts även förtjockningsmedel i form av komplexa polymerer, detta för att öka vätskans viskositet och därigenom dess vidhäftningsförmåga. Därtill kan även andra ämnen tillsättas för vissa speciella funktioner som exempelvis tensider<sup>6</sup>, flamdämpande medel och pH-buffer (Luftfartsverket, 2003).

### 2.4.3 Avisningsvätskans miljöpåverkan

Den beståndsdel i avisningsvätskan som medför störst miljöpåverkan är glykolen. Den främsta anledningen till det är att glykolen är den kvantitativt största beståndsdel. Hur stor denna miljöpåverkan är beror på vilken glykol som används. Som nämndes i 2.3.1 används i Sverige numera endast avisningsvätskor baserade på MPG, av den enkla anledningen att den uppvisar minst toxicitet. Den enda betydande miljöpåverkan MPG ger upphov till är dess stora syreförbrukning vid den mikrobiologiska degraderingen av MPG:n (se tabell 1). Ur denna aspekt är MPG den mest skadliga glykolen av de tre som används med en BOD-halt på 1,08 g per gram MPG. Degradering av MPG kan ske i såväl akvatiska ekosystem som i

<sup>6</sup> Ämnen som minskar vätskans ytspänning och gör att den lättare sprids över en större yta och dessutom får svårare att bilda bubblor och skum.

markens omättade och mättade zon samt på dess yta (Switzenbaum m.fl., 1999). Vid degraderingen är syrgas ( $O_2$ ) den effektivaste elektronacceptorn och slutprodukterna som bildas vid nedbrytningen är koldioxid och vatten. I syrefattiga förhållanden förekommer mikroorganismer som använder sig av nitrat ( $NO_3$ ), sulfat ( $SO_4$ ) och trevärt järn ( $Fe^{3+}$ ) som elektronacceptor. Nedbrytningen kan även ske utan någon yttre elektronacceptor, där mikroorganismerna istället utnyttjar glykolens eget syre för sin respiration (fermentation) (Dott, 2001). Halveringstiden för MPG i vattenkosystem är 1-4 dagar i aeroba miljöer (beroende på temperatur, näringstillgång mm), samt 3-5 dagar i anaeroba miljöer. I mark är halveringstiderna något kortare (EPA, 2000) och på markytan där syretillgången i princip är obegränsad är halveringstiden endast ett antal timmar. Syreförbrukningen ger upphov till syrefattiga miljöer vilket många organismer missgynnas av. I de syrefattiga miljöer sker degradering av glykol med de mindre effektiva elektronacceptorerna, vilket kan ge upphov till att toxiska och illaluktande nedbrytningsprodukter bildas. Exempel på sådana är aldehyder, karboxylsyror, etanol och metan. (EPA, 2000)

Efter att triasolfria avisningsvätskor infördes antas additivens miljöpåverkan vara liten men eftersom det exakta innehållet är sekretessbelagt är det svårt att exakt avgöra additivens exakta miljöpåverkan. Tensider anses överlag vara toxiska för vattenlevande organismer. I avisningsvätskan brukar tensidernas koncentration sällan överstiga 0,5 %. Dessutom brukar korrisionsdämpande medel innehålla såväl kväve i form av natriumnitrit ( $NaNO_2$ ) och fosfor i form av fosfatestrar ( $(RO)_3PO$ ), bägge dessa näringsämnen bidrar till övergödning av akvatiska ekosystem, fosfor i sjöar och vattendrag, kväve i havet. Störst skaderisk ligger därför på fosfor eftersom flygplansavisningens påverkan på havet antas därför vara av försumbar storlek. Hur stor skada fosfor ger upphov till i ett sötvattenkosystem beror på hur känslig recipienten är för fosforbelastning samt hur stor belastningen är. Fosforinnehållet i avisningsvätskan är ca 0,2 % (Luftfartsverket, 2003), vilket innebär att en negativ respons av fosforbelastningen endast uppstår i extrema fall. Extrema fall, i mening av en recipient känslig för fosforbelastning samt att mängden avisningsvätska som lämnar flygplatsen och når recipienten är ansenlig.

## **2.5 ALTERNATIVA AVISNINGSMETODER**

Eftersom glykolanvändningen medför ett antal negativa påföljder, främst ekologiska och ekonomiska, har många försök gjorts för att ersätta glykolen. Det har dock visat sig svårt att genomföra avisningar i total frånvaro från glykol. Särskilt svårt är det att ersätta anti-icingvätskorna. Däremot har ett antal metoder utvecklats som kan minska åtgången av glykol.

### **2.5.1 Tempererat vatten**

Att använda sig av endast uppvärmt vatten för att utföra de-icing har förekommit på flera flygplatser i många år. Nu för tiden används metoden dock mer sällan, främst på grund av dess begränsade verkningsgrad vid temperaturer under  $-3^\circ C$  samt att tiden för återfrysning är kortare än för typ 1-vätska. (Dawson & Hanna, 1999b) Därutöver kan vatten tränga in i sprickor, skarvar och dylikt. Där kan det vid ett senare tillfälle frysa till is och därmed utgöra en säkerhetsrisk, därmed kan vatten utgöra ett problem även vid gynnsam marktemperatur (Ljung, 2003). Fördelarna som uppnås då de-icing endast utförs med vatten är givetvis en mindre miljöpåverkan och en lägre kostnad för avisningsförfarandet.

### 2.5.2 Tryckluft

En metod för att minska glykolanvändningen är att använda sig av tryckluft med hög temperatur vid de-icing (i stället för typ 1-vätska). Huvuduppgiften för luften är till skillnad från glykolen inte att smälta is och snö utan att snarare genom utnyttjande av sin rörelseenergi avlägsna is- och snöbildningar. Detta är en relativt gammal metod som har använts i Ryssland och Japan i över tjugo år (Larsen, 2000). Denna metod har visat sig vara någorlunda effektiv mot snö men däremot i princip helt verkningslös mot is. Dessutom finns en rad frågetecken vid användning av tryckluft vid avisning. Ett exempel är risken för bildandet av projektiler då snö och is avlägsnas med hjälp av tryckluft. (Dawson, 2000)

### 2.5.3 Hybridmetoden

En metod som dock vid försök har visat sig tillräcklig är den så kallade hybridmetoden. Anledningen till att den har fått det namnet är att det är en hybrid mellan en ”vanlig” avisning och en med tryckluft. Vid en hybridavisning avisas planet med ett modifierat avisningsfordon. Skillnaden är att tempererad tryckluftsström alstras ur en kompressor som fordonet har utrustats med. För att effektivisera luftströmmens verkan sker en inblandning av typ 1-vätska. Att detta förfarande blir effektivare än med endast tryckluft beror dels på glykolens smälteffekt men dessutom på att luftströmmens rörelsemängd drastiskt ökar vid addition av avisningsvätskans massa. Vid de-icingen är tryckluften överflödigt och utförs därför på traditionellt sätt. Vid hybridavisningar kan man minska åtgången av glykol med ca 75 % för snö och ca 30 % för is, samtidigt som effektiviteten, som mäts i hur lång tid en avisning kräver, är kortare för snö och längre vid is relaterat till en traditionell de-icing (Larsen, 2000).

### 2.5.4 Infravärme

Infravärme är en metod att genomföra en de-icing helt utan avisningsvätskor. Det vanligaste förfarandet vid genomförandet av denna metod är att låta flygplanet rulla in i en hangar med ställningar med infravärmeaggregat men även mobila infra-värmare förekommer. Dessa har däremot inte visat sig vara lika effektiva som de stationära och används ej i större skala. Nackdelen med denna metod är att aggregaten som kan drivas av till exempel naturgas, propan eller elström, kräver stora mängder energi. Dock skall man även ha i åtanke att avisningsvätskan vid en traditionell avisning har en temperatur kring 90 grader Celsius. Vid upphettningen av denna åtgår också energi.

En annan nackdel är att man även måste ha en tillräckligt stor hangar för att ett plan skall få plats samt att då krävs det att flygplansflottan har någorlunda lika stora flygplan. Använder man stationär utrustning så är det svårt att få bra funktion om det är kraftiga variationer i storlek mellan flygplanen. Det kan även vara svårt att komma åt överallt med infravärme. Även tidsåtgången kan bli betydligt längre vid avisning med infravärme speciellt om bara ett plan åtgången kan avisas. Dock har vissa försök visat att de-icing med infravärme visat sig mer effektiva i fråga om tidsåtgång, framförallt vid klarisbildning (Oakmoo Enterprises Inc. m.fl., 2000). När planet är fritt från snö och is rullar det ut och i normala fall utförs en traditionell anti-icing med typ 2, typ 2+ eller typ 4.

Denna metod används till exempel på mindre flygplan vid flygplatsen FAA i Buffalo, USA. Där har man förutom de uppenbara fördelarna med lägre glykolutsläpp även sett tydliga ekonomiska resultat. En avisning där med infravärme kostar bara ca en tiondel av en traditionell avisning (Switzenbaum m.fl., 1999). I Norden utprövas metoden fram till denna

stund på Oslos flygplats, Gardemoen. Inget beslut är i dagsläget taget om metoden kommer att användas på reguljär basis.

### **2.5.5 Elektrisk avisning**

Ett annat sätt att använda ren värmeenergi för de-icing är resistivitetsuppvärmning. Vissa vitala delar av planet, så som vingar propellrar och luftinsug, har ett lager strax under ytan som uppvärms genom att en spänning läggs över det. Värmen leds till ytan vilket leder till att snön och isen släpper sitt grepp och enkelt kan avlägsnas. (EPA, 2000)

### **2.5.6 Mekanisk avisning**

Den äldsta och enklaste avisningsmetoden är mekanisk avisning som helt enkelt innebär att snö och is nöts bort med borstar eller dylika verktyg. Detta är den äldsta avisningsmetoden och historiskt sett användes den i stor utsträckning. När metoden används i dagsläget, används denna metod oftast i kombination med en traditionell avisning vid kraftiga snöansamlingar för att minska glykolförbrukningen. (Switzenbaum m.fl., 1999)

### **2.5.7 Tempererat flygbränsle**

Vingarna på ett flygplan används ofta som bränsletankar. En metod som därför har utretts för att minska glykolanvändningen är möjligheten att vid tankningen av flygplanen använda sig av tempererat bränsle för att därigenom reducera snö- och isbildning på vingarna. Denna metod visade sig dock vara relativt opraktisk redan på försöksstadiet då bränslets temperatur var svår att bibehålla vid tankningen. Dessutom så minskas glykolanvändningen endast för vingarna men inte för övriga delar av planet som avisas. Försök utfördes bland annat i Kanada. (Dawson & Hanna, 1999a)

### **2.5.8 Förvaring**

En annan mekanisk och enkel lösning är att undvika snö och is genom att övertäcka vingar och stabilisatorer. För mindre flygplan kan förvaring i hangarer vara ett möjligt alternativ. Den sistnämnda metoden används i princip enbart vid militär verksamhet p.g.a. det uppenbara problemet med förvaringsutrymme. Denna metod blir mycket är opraktisk vid de kortare markstopp, som ofta råder inom reguljärtrafiken. (EPA, 2000)

### **2.5.9 Avisningsbåge**

Till sist kan nämnas en avisningsmetod som använder sig av normala avisningsvätskor men som ändå kan benämnas som en alternativ avisningsmetod med tanke på tillvägagångssättet. Denna metod brukar benämnas flygplansavisning med avisningsbåge. Metoden kan liknas vid en automatisk biltvätt, när flygplanet ska avisas rullar det sakta under en stor bågformad ställning. På ställningen finns ett antal munstycken utplacerade. Munstyckena sprutar ut avisningsvätska enligt ett program som är speciellt programmerat för respektive flygplanstyp. Denna metod ger en snabbare avisning och kan även reducera mängden avisningsvätska. Däremot har metoden visat sig vara både komplicerad och odynamisk. Metoden har använts vid bland annat Kallax flygplats i Luleå samt Munich Airport i München. Båda dessa har dock avvecklats på grund av de ovannämnda svagheterna i metoden. I Luleås fall kan anledningen delvis bero på att avisningsbågen brann upp. Den stora svagheten är att metoden är statisk och ej kan anpassas till alla flygplanstyper. (Wikström, 2003)

### 3. METOD

Många av frågeställningarnas svar söktes i litteratur eller besvarades genom egna antaganden. Vissa av frågeställningarna var däremot omöjliga att finna svar på genom ett sådant förfarande. Hur svaren till dessa frågeställningar bemöttes framgår i detta kapitel.

#### 3.1 ANVÄNDA UPPSAMLINGSMETODER OCH MÄTNINGAR

Genom telefonintervjuer med personal på respektive flygplats insamlades data över tillvägagångssätt vid glykolomhändertagandet samt vilka mätmetoder som användes för uppskattning av tillvaratagandets aktivitet. Personalen som tillfrågades var alla väl insatta i ämnet och bestod av tekniskt ansvariga för tillvaratagandet eller miljöansvariga på respektive flygplats. Intervjuerna genomfördes under hösten 2003 och frågorna som ställdes var följande:

- Hur utförs tillvaratagandet av använd avisningsvätska på flygplatsen?
- Vad händer med den omhändertagna avisningsvätskan?
- Vilka mätningar görs för att värdera uppsamlingsgraden och hur genomförs dessa?
- Hur går tillvaratagandet av glykolhaltig snö till och hur lagras den?

De 16 flygplatser som ingick i undersökningen var: Arlanda (Stockholm), Bromma (Stockholm), Jönköping, Kalmar, Kallax (Luleå), Karlstad, Kiruna, Landvetter (Göteborg), Norrköping, Skellefteå, Sturup (Malmö), Sundsvall-Härnösand, Umeå, Visby, Örnsköldsvik, Östersund.

#### 3.2 VAD PÅVERKAR UPPSAMLINGEN

Varje allmän svensk flygplats med reguljärtrafik samlar löpande in data om hur mycket glykol som används samt omhändertas. Dessa data rapporteras årligen in till respektive divisionsledning där all data sammanställs varefter resultaten från samtliga divisioner sammanställs centralt. De data som redovisas är:

- Använd mängd typ 1 (Omräknat till 100%-ig glykol)
- Använd mängd typ 2 (Omräknat till 100%-ig glykol)
- Använd mängd typ 4 (Omräknat till 100%-ig glykol)
- Total mängd använd glykol
- Total mängd uppsamlad glykol
- Antal avisningar
- Antal avisningar utan uppsamling med sugbil

Data fanns tillgängligt från 1995-2003 och var redovisade per tertiär<sup>7</sup>.

Genom att relatera dessa data till den metod flygplatserna använder, söktes samband mellan uppsamlingsresultat och tillvägagångssätt. Med detta förfarande försökte arbetets första frågeställning besvaras; Vilka uppsamlingsmetoder används och vilka är effektivast?

Svagheter i detta tillvägagångssätt låg främst i att vissa data visade sig otillräckliga när uppsamlingsgraderna skulle relateras mellan olika flygplatser, dels skilde sig mätmetoderna väsentligen åt, dels utfördes inte mätningar på alla flygplatser. I Sverige finns det inte heller

---

<sup>7</sup> Tremånadersperiod.



allt för många flygplatser som bedriver reguljärtrafik vilket skulle krävas för att få statistiskt tillförlitliga värden. Det är även viktigt att komma ihåg att även om det fanns oändlig mängd data kan man inte förneka faktumet att uppsamlingsförfarandet är komplext och hur stor uppsamlingsgraden blir beror antagligen på ett stort antal parametrar.

### **3.3 KLIMATETS INVERKAN**

Frågeställningen om klimatets inverkan på flygplansavisningen och uppsamlingen undersöktes genom jämförelser mellan data för uppsamlingsgrad respektive åtgång av avisningsvätska och data för några klimatrelaterade parametrar (medeltemperatur, nederbörds mängd mm). Klimatdata togs från SMHI:s mätstation i Stockholm (SMHI, 2003, SMHI, 2004). Data för avisning och uppsamling togs från Bromma flygplats glykolrapport (Marklund, 2004).

### **3.4 NEDBRYTNINGSFÖRSÖK**

För att återspegla olika långa uppehållstider utfördes undersökningar vid två olika flygplatser, Umeå flygplats med lång uppehållstid och Bromma flygplats med betydligt kortare uppehållstid.

Ingen av dessa undersökningar skall dock tolkas som ett absolut svar på frågan om nedbrytning av glykol sker i mellanlagringstankarna. Däremot kan de fungera som en initial fingervisning på om nedbrytning sker i någon betydande skala. Skulle det visa sig att så är fallet och en önskan finns att bestämma i vilken utsträckning nedbrytningen sker skulle bägge dessa undersökningar kunna förfinas, vilket beskrivs i respektive försöks avsnitt.

I praktiken har nedbrytning i mellanlagringstanken en ringa betydelse, så till vida ingen vinstgivande återvinning eller återanvändning är planerad. Det enda syftet till dessa undersökningar är en önskan att veta om rätt uppsamlingsgrad redovisas.

#### **3.4.1 Småskaligt nedbrytningsförsök**

För att avgöra om någon ansevärd mängd glykol bryts ner under uppehållstiden i mellanlagringstank utfördes två småskaliga försök på Bromma flygplats. Försöken utfördes på uppsamlad avisningsvätska och den enda egentliga skillnaden mellan försöken var provtagningen. I det första försöket togs provet (ca 15 liter) från tippfickan<sup>8</sup>, i det senare försöket togs provet direkt från sugbilen. Anledningen till att försöken utformades olika var att se om skillnader fanns i det juvenila stadiet av lagringen. Försöket där provet togs direkt från sugbilen har fördelen att ingen nedbrytning kan ha skett innan provet togs. Nackdelen med denna metod är att mängden mikrobiologiska organismer i provet blir mindre och därigenom blir även den potentiella nedbrytningen lägre där än i provet som är taget i mellanlagringstanken. Den mikrobiologiska aktiviteten rimligtvis är störst där temperaturen och syrehalten är som högst. Den del av mellanlagringssystemet där dessa två parametrar når sina högsta värden är i tippfickan. Tippfickan var något varmare än tankarna (se tabell 2) på grund av uppvärmning genom ett elektriskt värmeaggregat. Dessutom är tippfickan mer syresatt genom sitt större utbyte med luftens syre. Av dessa två anledningar togs det första provet just från denna del av mellanlagringssystemet.

---

<sup>8</sup> Den del av mellanlagringssystemet där sugbilen tömmer den uppsamlade avisningsvätskan.

**Tabell 2:** Temperaturer i tippficka, mellanlagringstankar och luft.

Datum	Tippficka [°C]	Tank 1 [°C]	Tank 2 [°C]	Luft [°C]
031208	8	6	6	3
031209	7	6	7	2
031210	9	7	7	4
031211	8	7	6	1
031212	8	6	6	-2
040115	6	3	4	1
040117	7	4	4	-3
040121	6	5	5	-8

Försöket utfördes genom att provet lagrades i en sluten polyetenbehållare (25 liters dunk) ur vilken mindre provvolym (300 ml) togs vid vissa valda tidpunkter och analyserades på både koncentration MPG och TOC. I den första analysserien som sträckte sig från 2003-12-17 till 2004-01-07, togs den första mindre provvolymen ut direkt efter det stora provet hade tagits. Sedan uttogs ytterligare tre mindre prov för analys efter 51, 123 respektive 503 timmar. Den sista provvolymen som uttogs låg egentligen långt utanför den uppehållstid som gällde i tanken vid den tidpunkten, men togs för att se om någon nedbrytning kunde observeras efter en längre tid. Proven som togs vid den andra analysserien togs mellan 2004-01-07 och 2004-01-15. Fyra prov togs; 0, 46, 121 respektive 192 timmar efter huvudprovet togs.

TOC-analysen utfördes enligt SS-EN 1484 och har mätosäkerhet på  $\pm 15\%$ . Analysen för MPG är ej standardiserad och gjordes med GC/FID, dvs. gaskromatograf med "Flame Ion Detector". Den har en uppskattad mätosäkerhet på  $\pm 10\%$  (Tollin, 2003). Analysen anses vara den lämpligaste metoden att använda för en sådan analys. (Pettersson, 2003)

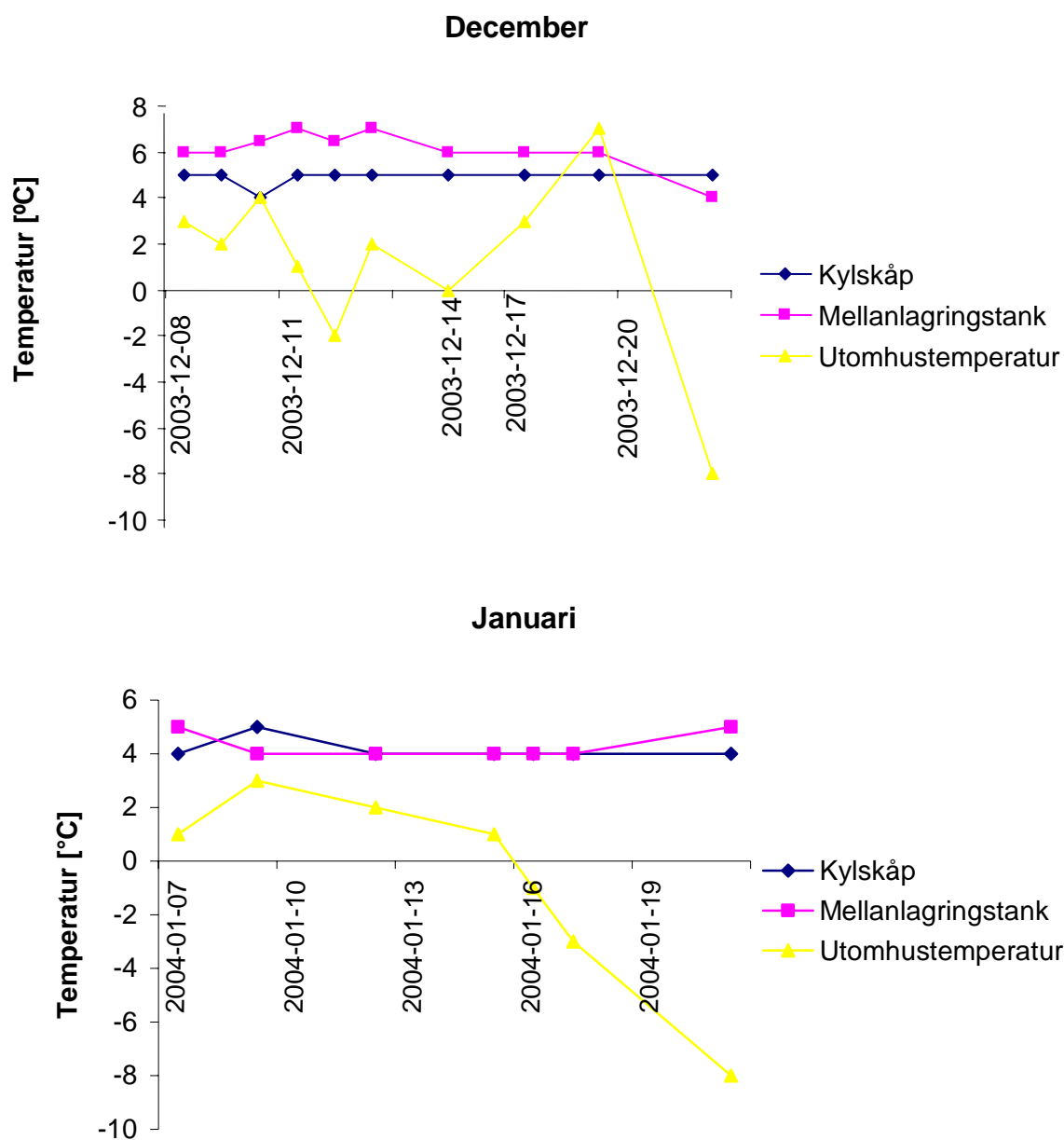
Genom att studera halterna av MPG kan en eventuel degradering observeras, vilket i det fallet framgår genom en successiv minskning i koncentration MPG. Anledningen att även TOC-koncentrationen analyserades var att se om glykolen snabbt bryts ner fullständigt eller om någon av nedbrytningsprodukterna är någorlunda beständig. Om så vore skulle MPG-halterna minska medan TOC-koncentrationen initialt inte skulle minska i samma utsträckning. Dessutom kan det vara av intresse att se om det finns någon annan kolkälla representerad i proven.

För att efterlikna mellanlagringstankarnas förhållanden förvarades proven i kylskåp som höll i princip samma temperatur som mellanlagringstankarna. Avisningsvätskan, som befinner sig i mellanlagringstankarna, som är nedgrävda i marken, håller en jämn temperatur som endast obetydligt påverkas av utomhustemperaturen vilket visas av figur 7. Skillnaderna i temperatur mellan de två mellanlagringstankarnas olika delar är även de små (se tabell 3).

Mellanlagringstankarna som saknar större utbyte med luften ovan jord bör således ha en relativt låg syrehalt. För att även provets syrekoncentration skulle hållas på en liknande nivå var förvaringskärlet tillslutet och med endast ett mindre lufthål. I mellanlagringstanken sker stötvis omblandning till följd av tömningen av sugbilen. Till följd av detta antas syrehalten i avisningsvätskan stiga. För att detsamma skulle gälla för provet skakades provbehållaren med jämna mellanrum.

**Tabell 3:** Temperatur utomhus och i mellanlagringstankens olika delar.

Datum	2004-01-15	2004-01-17	2004-01-21
Tid	15:00	12:00	14:00
Tippficka	5°C	6°C	6°C
Brunn 1	3°C	5°C	6°C
Brunn 2	3°C	4°C	5°C
Brunn 3	4°C	4°C	5°C
Brunn 4	4°C	4°C	5°C
Pumphus	4°C	5°C	6°C
Utomhustemperatur	1°C	-3°C	-8°C



**Figur 7:** Jämförelse i temperatur mellan kylskåpet där provet förvaras, Avisningsvätskan i mellanlagringstanken och luften utomhus. I det övre diagrammet redovisas värden för december 2003 och i det undre för januari 2004.

I ett så pass enkelt och småskaligt försök finns givetvis vissa felkällor. Provens näringsinnehåll och syrgashalt har bara antagits vara liknande de i mellanlagringstanken. Dessutom har försöket ingen större statistisk säkerhet pga. att såväl antalet prov som provserier var litet.

### **3.4.2 Nedbrytningsförsök genom stickprov**

Försöket som utfördes av Luftfartsverkets personal på Umeå flygplats, genomfördes genom att stickprov togs i tippfickan två gånger per månad under hela avisningssäsongen. Provens glykolkoncentration representerar den uppsamlade mängdens glykolkoncentration före eventuell nedbrytning. Dessa prov analyserades med refraktometer<sup>9</sup> av typen "Leica Duo-check 60" som har en angiven mätosäkerhet på  $\pm 0,55$  °C, vilket motsvarar ca 1,5 % glykolkoncentration (KG Knutsson AB, 1997). När avisningsvätskan borttransporterades mättes glykolkoncentrationen på den totala mängden uppsamlad avisningsvätska. Även vid detta tillfälle skedde mätningen av glykolkoncentrationen med refraktometer.

Skulle någon betydande degradering av glykol förekomma skulle det visa sig genom att glykolkoncentrationerna i stickproven skulle vara signifikant högre än de uppmätta koncentrationerna vid borttransporten.

Svagheten i detta förfarande ligger till största del i att de kvantiteter som stickproven representerar samt koncentrationer och kvantiteter under de perioder då inget stickprov togs är okända. Att genomföra en heltäckande provtagning skulle kräva att kvantitet och koncentration vid varje tillfälle sugbilen avlämnar en mängd uppsamlad avisningsvätska i tippfickan uppmäts. Ett sådant förfarande skulle dock inte vara praktiskt genomförbart med tanke på tidsåtgången som skulle krävas.

Ytterligare en brist i denna undersökning är att mätningarna utförs med refraktometer. Detta fel är dock antagligen inte så pass stort att det påverkar undersökningen i stort om man relaterar till tidigare nämnda felkällor. Dessutom görs alla mätningar med samma instrument varpå värdena relateras till varandra.

## **3.5 BESTÄMMANDET AV FILMTJOCKLEK**

För att avgöra hur mycket avisningsvätska som rinner av respektive stannar på flygplanet fram till taxning<sup>10</sup> måste man bestämma ytornas mätnadsgrad, dvs. avisningsvätskans maximala filmtjocklek. Denna undersökning utfördes på Bromma flygplats den 15 april 2004 av mig med assistans av avisnings- och fältpersonal från flygplatsen.

### **3.5.1 Genomförande**

Väderleken var solig, blåsig och temperaturen var ca 10°C. Flygplanet som användes vid undersökningen var en Convair, som har stått avställd en längre tid. Flygplanet har, efter att det tagits ur bruk, bland annat använts som övningsobjekt för avisning.

Första steget i försöket var att märka ut de aktuella provytorna, 2 identiska provytor á 2,10 m<sup>2</sup> på vardera vingen (se figur 8). Provytorna rengjordes så inga föroreningar skulle påverka försöket. För att få med hela vingens rundning anlades provytorna som en remsa (1 m bredd) från vingens framkant till bakkant.

---

<sup>9</sup> Optiskt instrument som genom att jämföra brytningsindex mellan ren glykol och rent vatten kan mäta glykolkoncentrationen.

<sup>10</sup> Taxning innebär att flygplanet rullar från rampen fram till start- och landningsbanan.



**Figur 8:** Provyta på vinge för bestämmandet av avisningsvätskans filmtjocklek, på Bromma flygplats år 2004. Flygplanet till vilket vingen tillhör är ett Convair. (Foto: L.Marklund)

Därefter utfördes en simulerad avisning med avisningsfordon. Den enda egentliga skillnaden från en vanlig avisning var avsaknaden av snö- eller isbildning på flygplanet (se figur 9).



**Figur 9:** Simulerad avisning för bestämmandet av avisningsvätskans filmtjocklek, på Bromma flygplats år 2004. Flygplanet är ett Convair. (Foto: S.Ljung)

På den ena vingen applicerades Typ 1-vätska och på den andra Typ 1-vätska följt av typ 2-vätska. Detta innebär att på den första vingen simulerades en de-icing och på den senare en anti-icing. Anledningen till detta tillvägagångssätt var att både Typ 1- och typ 2-vätskans filmtjocklek undersöktes. Innan typ 2-vätskan applicerades gjordes först en ”de-icing” med Typ 1. Typ 2-vätskans vidhäftningsförmåga är större på en torr vinge än på en vinge med ett lager av Typ 1. Vanligaste tillvägagångssättet vid en anti-icingen är att den föregås av en de-icing och därför utfördes även försöket på ett sådant sätt.

Efter en bestämd tid, som skulle efterlikna en normal väntetid (ca 5 minuter för Typ 1 och ca 15 minuter för typ 2), uppsamlades all kvarvarande vätska inom provytorna. Denna vätska skulle då motsvara den normala filmtjockleken för ett flygplan som påbörjar sin taxning.

Uppsamlingen genomfördes genom att dukar av märket Superduk<sup>11</sup> utplacerades på provytorna så dessa täcktes helt (se figur 8). Efter dukarna avlägsnades samlades återstående avisningsvätska upp med wetex-trasor. Använda dukar och trasor placerades därefter i ett vattentätt förvaringskärl (plasthink, 10 l). Allt uppsamlingsmaterial vägdes såväl före som efter uppsamlingen. Skillnaden i massa mellan de båda invägningarna antogs utgöras av den uppsamlade vätskans massa. Genom att bestämma vätskornas respektive densitet kunde den uppsamlade volymen bestämmas. Filmtjockleken för respektive vätska kunde sedan beräknas genom att dividera den uppsamlade volymen med provytans area.

### 3.5.2 Felkällor

Detta försök är, mig veterligen, det första i sitt slag och kan därför förbättras på flera olika sätt. Inga tidigare försök har gjorts på ett riktigt flygplan, tidigare försök för att uppskatta filmtjocklek har genomförts inomhus på plana aluminiumskivor (Bergström, 2003). Dessutom har inga tidigare försök utförts genom att samla upp den kvarvarande glykolen på vingen genom textilens kapillära sugkraft. Därför var detta försök i det närmaste ett pilotförsök. Dock visade sig resultaten mycket rimliga i jämförelse på försök på plan aluminiumskiva (se 5.3.2).

För att kunna använda resultaten från denna undersökning är det viktigt att beakta ett antal fysiska parametrar som påverkar filmtjockleken och är omöjliga att gardera sig emot. Till att börja med kan vinden nämnas. Om vinden är kraftig blir mängden glykol som stannar kvar på vingen mindre än om det blåser mindre. Vid försökens genomförande var vinden kraftig, speciellt under det andra försöket, och en underskattning av filmtjockleken är därför rimlig att anta. Även viskositeten påverkar filmtjockleken genom att en högre viskositet hindrar avisningsvätskan från att rinna av vingen i samma utsträckning. Två faktorer som påverkar avisningsvätskans viskositet är temperatur och glykolkoncentration, hög temperatur ger låg viskositet och hög koncentration ger hög viskositet. Vid försöket låg temperaturen på 10°C vilket är onaturligt högt med tanke på att de flesta avisningar sker vid temperaturer mellan 0°C och -10°C. Koncentrationen för typ 1-vätskan låg på ett ovanligt högt värde, 50 % vilket kan relateras till att koncentrationen oftast varierar mellan 25 och 40 %. Typ 2-vätskan har alltid en koncentration på ca 50 % och så även i detta fall. Av detta följer att viskositeten minskar av den ovanligt höga temperaturen men åtminstone för typ 1 ökas genom en hög koncentration. Den sista parametern som påverkar filmtjockleken är vingens utseende. Att göra en undersökning som skulle fungera för att bestämma en universell filmtjocklek för alla flygplanstyper är en orimlig tanke, alla flygplan har olika lutning och rundning på vingarna

---

<sup>11</sup> Duk tillverkad av 85 % viscose och 15 % polyamid. Storlek: 50x70 cm. Svensk distributör: De Mast Skandinavia AB.

vilka bägge är parametrar som påverkar hur mycket glykol som kvarstannar på vingen.  
Dessutom finns springor och nersänkningar som ökar den totala mängden som kvarstannar på vingen.

## 4. RESULTAT

Resultaten som presenteras innehåller en sammanställning av enkäten och analyser av de olika parametrar vilka, i någon mening, kan tänkas påverka uppsamlingsgraden. Kapitlet avslutas med resultaten från de två praktiska försök som har genomförts, det för bestämmande av nedbrytning i mellanlagringstank och det för bestämmande om avisningsvätskornas filmtjocklek.

### 4.1 FÖRFARANDE VID TILLVARATAGANDE OCH MÄTNING

Här följer en sammanställning av den besvarade enkäten från de 16 undersökta flygplatserna. Utförlig beskrivning för respektive flygplats finns i bilaga 1.

Av de sexton undersökta flygplatserna använder alla förutom en (Kalmar) sugbil, i någon utsträckning, för uppsamlingen. Sex av flygplatserna har en stationär plats för avisningen, där åtminstone en del av avisningarna sker. På fem av de undersökta flygplatserna sker uppsamling genom att ett större område isoleras hydrologiskt. I den summeringen är dock Visby ej medräknad trots att de samlar upp allt dagvatten under avisningssäsongen. Antalet flygplatser som enbart använder sugbil vid uppsamlingen uppgår till sex stycken.

Tio stycken av de sexton undersökta flygplatserna har en speciell plats för uppläggning av glykolhaltig snö. Det är dock osäkert i vilken utsträckning dessa används.

Mätningarna som görs på de undersökta flygplatserna kan kategoriseras i tre olika huvudtyper med avseende på tillvägagångssätt:

- 1) Mätningar på glykolkoncentrationen görs vid borttransporten från mellanlagringstanken av den uppsamlade vätskan för att avgöra hur stora mängder som har samlats upp. Mätningarna görs antingen direkt på plats med refraktometer eller analyseras på laboratorium med GC/FID.
- 2) Mätningar görs på vattnet som lämnar flygplatsen antingen via dagvattenssystemet eller något mindre vattendrag. Ingen av dessa flygplatser mäter den direkta glykolhalten. De analyser som görs istället är för att bestämma halten BOD, COD eller DOC.
- 3) Inga mätningar görs. Anledningarna kan vara att man anser att man i princip uppsamlar allt, man antar att sugbilens kapacitet motsvarar en viss uppsamlingsgrad eller att det handlar om så små mängder och låga koncentrationer att det är ointressant ur såväl ekologisk som ekonomisk synpunkt att genomföra några mätningar.

Antalet flygplatser som går in under den första kategorin är sju stycken. Därigenom är det bara dessa sju som kommer att användas för att göra jämförelser i olika tillvägagångssätt i 4.2. Till andra och tredje kategorin tillhör fyra respektive fem flygplatser.

En sammanställning på tabellform över tillvaratagandet av glykol samt mätmetoder för uppsamlingsgrad visas i tabell 4.



**Tabell 4:** Sammanställning av uppsamlings- och mätmetoder för glykol vid de 16 undersökta flygplatserna.

Flygplats	Uppsamling				Mätmetoder		
	<u>Sugbil</u>	<u>Stationär avisningsplats</u>	<u>Uppsamlingsledningar</u>	<u>Snö tipp</u>	<u>Laboratorie analys av uppsamlad glykol</u>	<u>Refraktometer mätning av uppsamlad glykol</u>	<u>Annan mätning</u>
Arlanda	X	X	X	X			X
Bromma	X			X	X		
Jönköping	X						
Kalmar			X				
Karlstad	X	X	X	X			X
Kiruna	X	X		X		X	
Landvetter	X		X	X			X
Luleå	X	X		X			X
Norrköping	X						
Skellefteå	X						
Sturup	X		X	X			X
Sundsvall-Härnösand	X	X		X		X	
Umeå	X					X	
Visby	X		X				
Örnsköldsvik	X	X				X	
Östersund	X			X		X	
<b>Summa</b>	<b>15</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

## 4.2 PARAMETRAR SOM PÅVERKAR UPPSAMLINGSGRADEN

Eftersom endast sju av flygplatserna genomför mätningar på hur stora mängder som uppsamlas har endast jämförelser mellan dessa kunnat genomföras. Dessa flygplatser är; Bromma, Kiruna, Luleå, Sundsvall-Härnösand, Umeå, Örnsköldsvik och Östersund.

Vid samtliga resultat i denna studie har uppsamlingsgraden beräknats med avseende på den totala mängden använd glykol, utan modifiering. Trots att det är helt orimligt att all använd glykol skulle nå marken på avisningsområdet. Därför är resultaten för uppsamlingsgraden en underskattning och lägre än de resultat som eventuellt redovisas i respektive flygplats miljörapport.

### 4.2.1 Uppsamlingsmetodik

Den parameter som egentligen borde påverka uppsamlingsgraden mest är på det sätt glykolen samlas upp. På de undersökta flygplatserna finns fyra huvudtyper av uppsamlingsmetod:

- Enbart sugbil
- Stationär avisningsplats och sugbil
- Större avgränsat avisningsområde och sugbil
- Större avgränsat avisningsområde utan uppsamling med sugbil

På de sju flygplatserna som jämförs här används dock bara de två förstnämnda metoderna. I tabell 5 redovisas årsmedelvärden för uppsamlingsgraden. Uppsamlingsgraden för dessa resultat är baserade på den totala mängden använd glykol, vilket innebär att inga avdrag har gjorts för den glykol som kvarstannar på flygplanet.

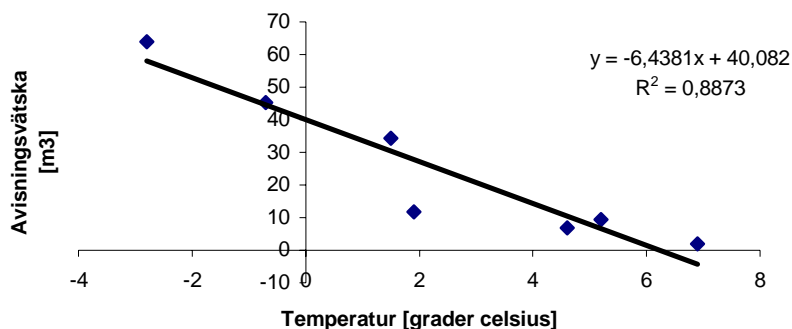
**Tabell 5:** Medeluppsamlingsgrad [%] för de undersökta flygplatserna under tidsperioden 1995-2003.

Flygplats	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Medel
<i>Stationära avisningsplatser</i>										
Luleå	75,3	51,2	69,4	70,3	80,5	82,4	76,9	69,3		<b>72,0</b>
Sundsvall	72,5	73,5	87,5	75,0	65,1	24,0	24,5	67,1		<b>61,2</b>
Ö-vik			74,9	69,5	53,2	79,6	81,0	79,0		<b>72,9</b>
<b>Medel</b>	<b>73,9</b>	<b>62,4</b>	<b>77,3</b>	<b>71,6</b>	<b>66,3</b>	<b>62,0</b>	<b>60,8</b>	<b>71,8</b>		<b>68,3</b>
<i>Endast sugbil</i>										
Bromma				28,9	27,5	33,3	31,8	52,1	54,9	<b>38,1</b>
Kiruna*	63,2	61,4	73,7	72,5	35,4	58,9	59,6	64,9		<b>61,2</b>
Umeå	68,5	64,6	82,8	82,5	49,6	67,3	45,1	37,5		<b>62,2</b>
Östersund	51,0	72,0	75,1	75,0	74,5	76,0	82,5	78,9		<b>73,1</b>
<b>Medel</b>	<b>60,9</b>	<b>66,0</b>	<b>77,2</b>	<b>64,7</b>	<b>46,7</b>	<b>58,9</b>	<b>54,7</b>	<b>58,4</b>	<b>54,9</b>	<b>60,3</b>

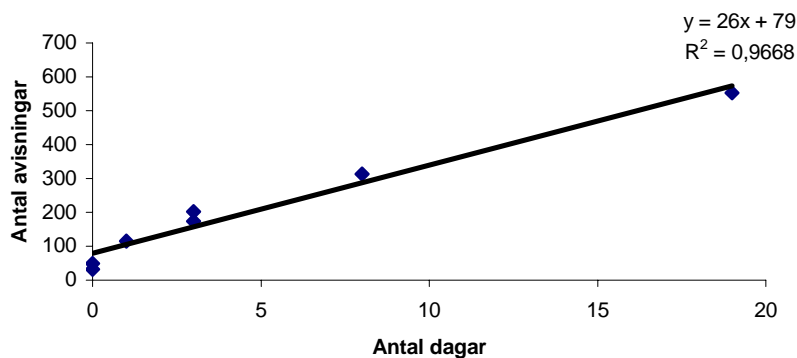
\* Stationär avisningsplats sedan 2001.

#### 4.2.2 Klimatets inverkan

I figur 10-12 visas vilka klimatfaktorer som har störst inverkan på åtgången av MPG samt antalet avisningar. Resultaten baseras på månadsmedelvärden eller månadssummeringar från avisningssäsongen 2003-2004.

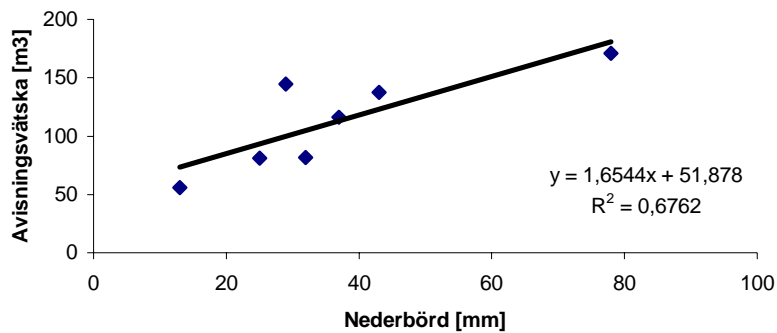


**Figur 10:** Månadsmedeltemperaturens inverkan på åtgången av avisningsvätska.



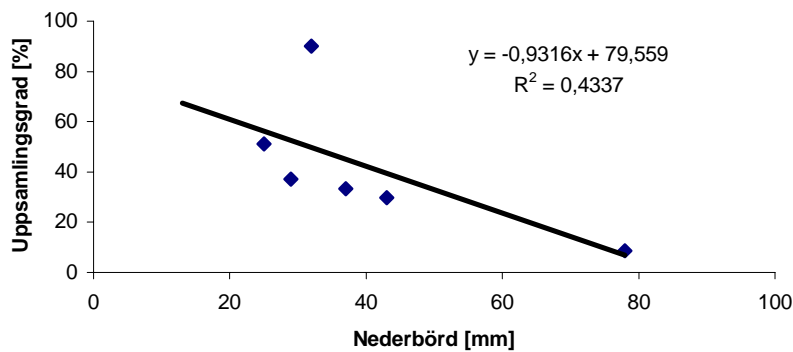
**Figur 11:** Antalet isdagar<sup>12</sup> inverkan på antalet avisningar.

<sup>12</sup> Antalet dagar med maxtemperatur under 0 °C.

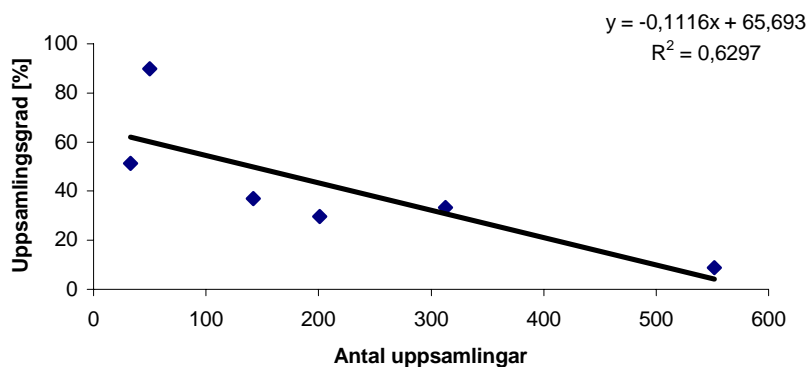


**Figur 12:** Månadsmedelnederbördens inverkan på åtgången av avisningsvätska per avisning.

Figur 13-14 redovisar vilka faktorer som hade störst inverkan på uppsamlingsgraden under avisningssäsongen. Resultaten baseras på månadsmedelvärden eller månadssummeringar från avisningssäsongen 2003-2004. Uppsamlingsgraden beräknades enligt rapportens huvuddel, kapitel 4.4.



**Figur 13:** Månadsmedelnederbördens inverkan på uppsamlingsgraden.

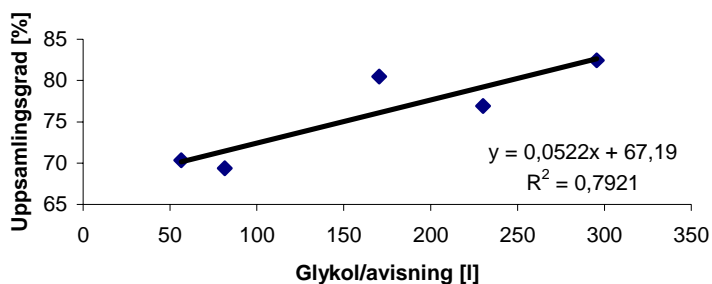


**Figur 14:** Antalet avisningars inverkan på uppsamlingsgraden.

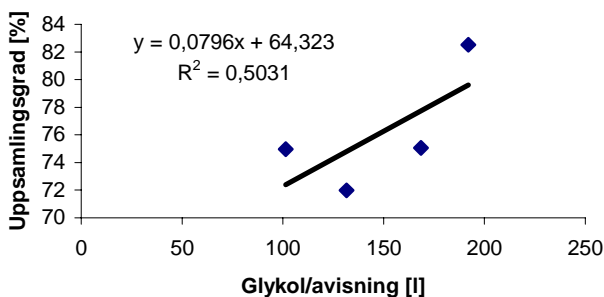
### 4.2.3 Avisningsmetodik

De två frågeställningar som har undersökts angående hur avisningens genomförande kan påverka uppsamlingsgraden är 1) använd mängd glykol per avisning och 2) fördelning mellan de olika typerna av avisningsvätska.

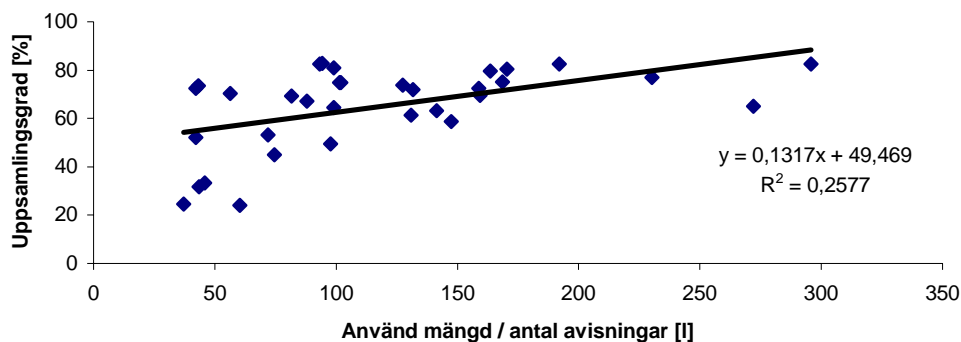
Relationen mellan använd mängd glykol per avisning och uppsamlingsgraden redovisas för de undersökta flygplatserna med tydligast samband i figur 10-11. Samtliga undersökta flygplatsers resultat kan studeras var för sig i bilaga 2 och sammanslaget i figur 12. Alla värden, utom Brommas, som används är årsmedelvärden från år i tidsintervallet 1995-2001. Brommas värden baseras på tertiärmedelvärden från 2000-2002.



**Figur 15:** Uppsamlingsgradens beroende av mängd glykol per avisning på Kallax flygplats (Luleå) under år 1997-2001.

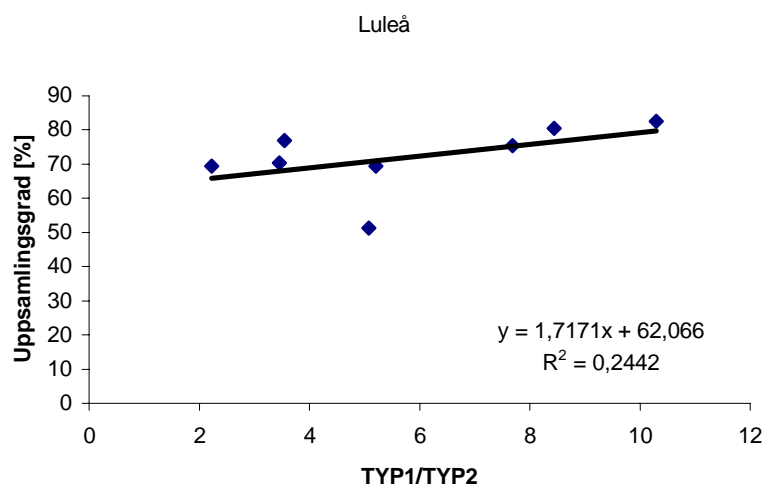


**Figur 16:** Uppsamlingsgradens beroende av mängd glykol per avisning på Östersunds flygplats under år 1996-2001. (Data för 1999 och 2000 saknas.)

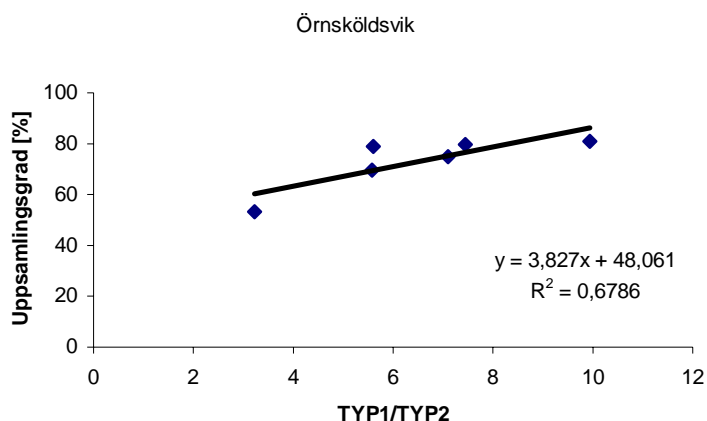


**Figur 17:** Uppsamlingsgradens beroende av mängd glykol per avisning på de sju undersökta flygplatserna, under år 1995-2002.

Relationen mellan fördelningen mellan avisningsvätskans typer och uppsamlingsgraden redovisas för de undersökta flygplatserna med tydligaste samband i figur 13-14. Samtliga undersökta flygplatsers resultat kan studeras i bilaga 3. Alla värden, utom Brommas, som används är årsmedelvärden från år i tidsintervallet 1995-2001. Brommas värden baseras på tertiärmedelvärden från 2000-2002.



**Figur 18:** Uppsamlingsgradens beroende av fördelningen mellan typ 1 och typ 2 på Kallax flygplats (Luleå) under år 1995-2002.

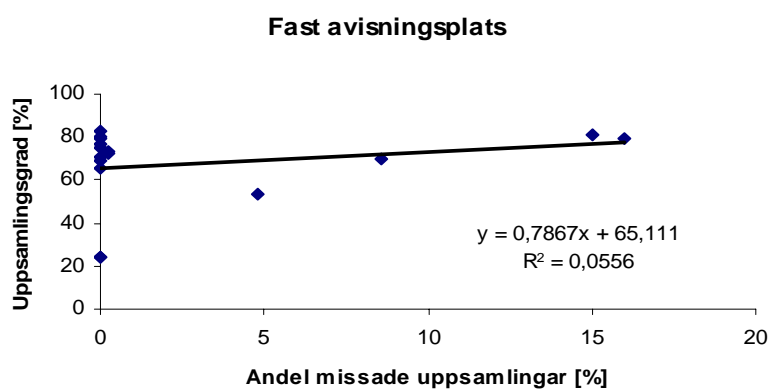


**Figur 19:** Uppsamlingsgradens beroende av fördelningen mellan typ 1 och typ 2 på Örnsköldsviks flygplats under år 1997-2002.

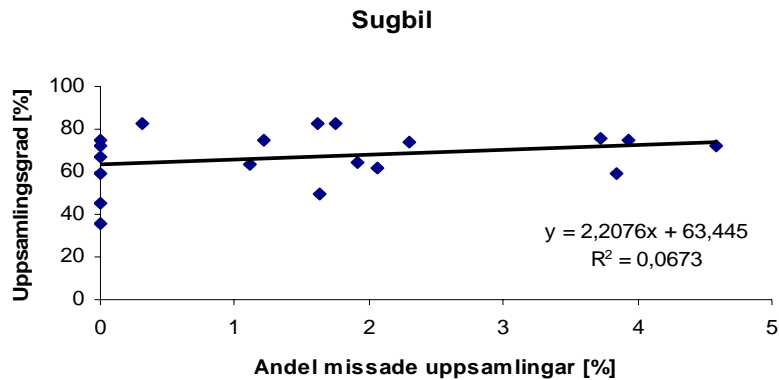
#### 4.2.4 Antal avisningar utan uppsamling med sugbil

Det är logiskt att tro att om ett antal avisningar genomförs utan att någon efterföljande uppsamling med sugbil, borde det påverka uppsamlingsgraden negativt. Det är också rimligt att anta att uppsamlingsgraden borde påverkas mer på de flygplatser där man ej har någon alternativ uppsamlingsmetod förutom sugbil.

Relationen mellan andelen missade uppsamlingar och uppsamlingsgrad kan studeras i figur 15 för de flygplatser med stationära uppsamlingsytor (Luleå, Sundsvall-Härnösand och Örnsköldsvik) respektive figur 16 för flygplatser med enbart sugbil (Kiruna, Umeå och Östersund). Data gällande missade uppsamlingar saknades på Bromma flygplats och ingick ej i undersökningen. Resultaten grundar sig på data från 1995-2001.



**Figur 20:** Relationen mellan andelen avisningar som ej samlades upp med sugbil och uppsamlingsgrad, på de flygplatser där avisningen sker på stationär avisningsplats.



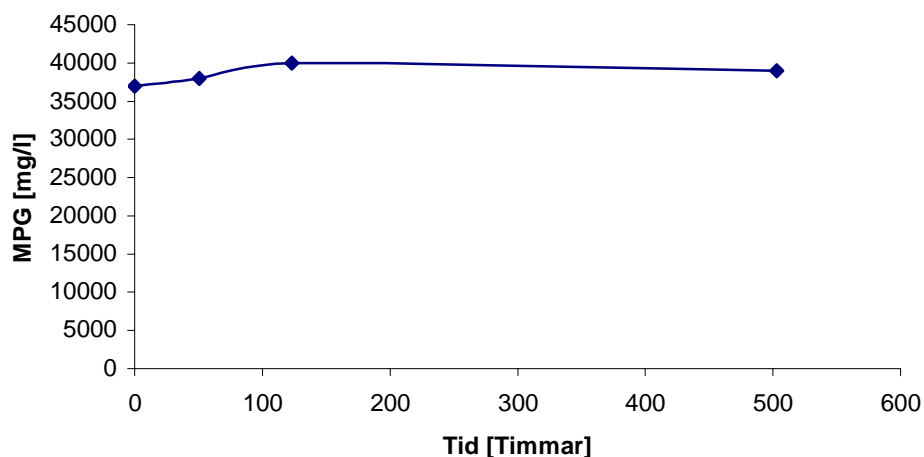
**Figur 21:** Relationen mellan andelen avisningar som ej samlades upp med sugbil och uppsamlingsgrad, på de flygplatser där uppsamlingen endast görs med sugbil.

### 4.3 NEDBRYTNINGSFÖRSÖK

#### 4.3.1 Småskaligt försök

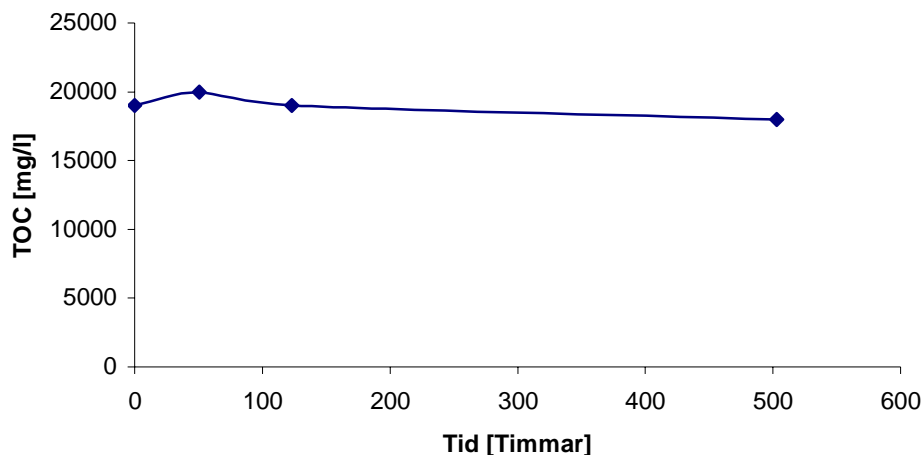
Resultaten från det småskaliga försök vars uppgift var att avgöra om någon betydande nedbrytning av MPG sker i mellanlagringstank visar att det ej är rimligt att anta att MPG:n bryts ner i någon större utsträckning, under de förhållanden som rådde. Skillnader i mätvärden finns men inget som ligger utom de 10% felmarginal som analysredskapets mätosäkerhet ger upphov till.

I den första serien som sträcker sig från 2003-12-17 till 2004-01-07 togs fyra prover och tidsskillnaden mellan första och sista provet var 503 timmar. Analysresultaten av MPG-koncentrationerna kan utläsas i figur 22.



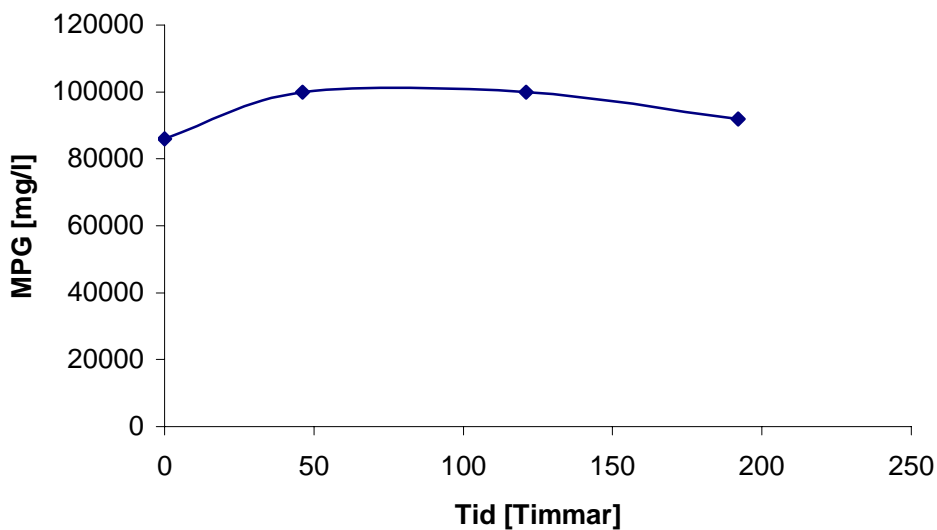
**Figur 22:** MPG-koncentration i provet efter olika långa lagringstider. Proven togs mellan 17/12 2003 och 7/12 2004.

För denna serie utfördes även analys på TOC-halten i provet dessa värden kan utläsas i figur 23. Inte heller mätresultaten för TOC-halten visar på några skillnader mellan tidpunkterna utanför felmarginalen.



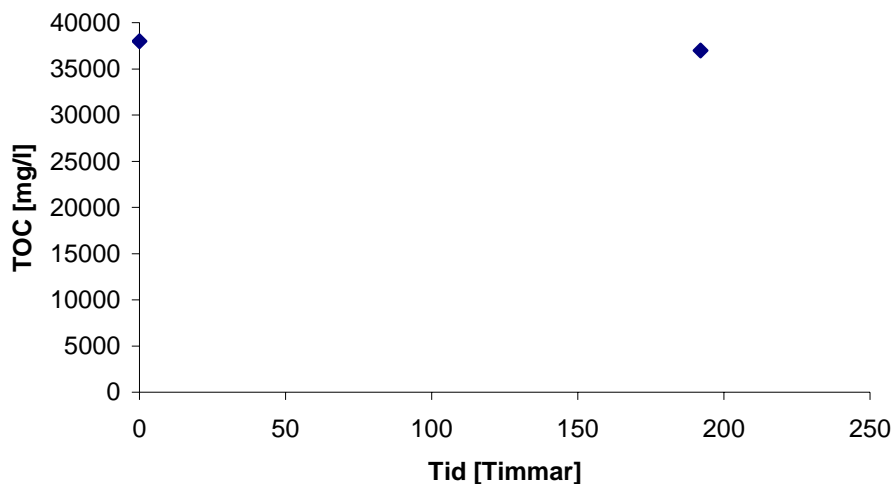
**Figur 23:** TOC-halter för provet efter olika långa lagringstider. Proven togs mellan 17/12 2003 och 7/12 2004.

Det andra försöket genomfördes mellan 2004-01-07 och 2004-01-15. Denna provserie sträckte sig över 192 timmar. De analyserade MPG-koncentrationerna redovisas i figur 24 och TOC-halterna i figur 25. I denna provserie analyserades dessutom acetatkoncentrationen vid två tillfällen, dock visade ingen av analyserna på något acetat innehåll i proven.



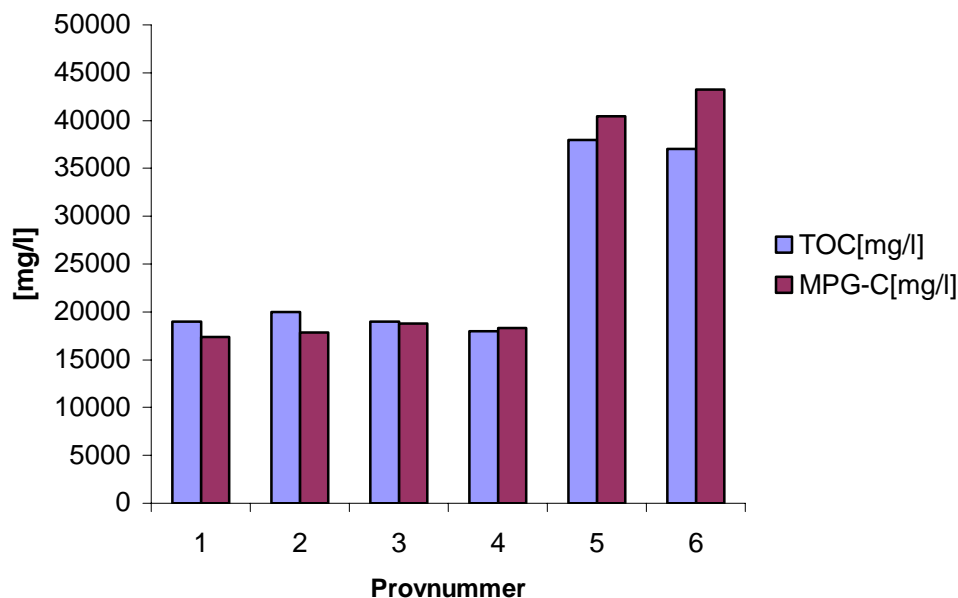
**Figur 24:** MPG-koncentration i provet efter olika långa lagringstider. Proven togs mellan 7/1 och 15/1 2004.





**Figur 25:** TOC-halter för provet efter olika långa lagringstider. Proven togs mellan 7/1 och 15/1 2004.

Om man gör en jämförelse mellan TOC-halterna med MPG-koncentrationerna kan man se att i princip allt organiskt kol i proven består av MPG. Detta verkar rimligt eftersom den andra mest troliga kolkällan skulle vara acetat, vilken i varje fall vid de två tillfällena då acetat analyserades, lyste med sin frånvaro. Kolet i MPG står för ca 47 % av massan, i figur 26 har glykokoncentrationerna räknats om till MPG-C<sup>13</sup> koncentrationer och jämförts med TOC-halterna för varje analystillfälle.



**Figur 26:** Jämförelse mellan mängd kol i MPG:n, MPG-C och totala mängden organiskt kol, TOC.

<sup>13</sup> Mängden kol, bunden i MPG.

### 4.3.2 Stickprov för nedbrytning

Resultaten från Umeå visar på en jämn glykolkoncentration över hela avisningssäsongen. Stickproven som togs låg alla mellan 11 och 16 %, vilket även de uttransporterade mängderna gjorde (se tabell 6).

**Tabell 6:** Glykoltransporter från Umeå flygplats vintersäsongen 2003-2004.

Datum	Glykolkoncentration [%]	Volym [m <sup>3</sup> ]
031015	15	12
031023	15	12
031127	15	12
031218	15	14
040114	15	14
040116	15	14
040129	12	60
040130	12	29
040216	12	45
040308	12	14
040318	12	15
040419	12	38

### 4.4 FÖRSÖK FÖR BESTÄMNING AV FILMTJOCKLEK

Resultaten som presenteras i detta avsnitt skall ge en uppfattning om hur mycket avisningsvätska som kvarstannar på flygplanet fram till taxning. Beräkningar för filmtjockleken har utförts enligt 3.4.1. Resultaten för typ 1 finns i tabell 7 och för typ 2 i tabell 8.

**Tabell 7:** Beräkning av uppsamlad mängd typ 1 från provyta på vinge.

Försök	Total massa [g]	Uppsamlings material [g]	Typ 1 [g]	Densitet [g/l]	Typ 1 [l]	Provyta [m <sup>2</sup> ]	Filmtjocklek [mm]
1	1022	884	138	1030	0,134	2,1	0,064
2	758	659	99	1030	0,0961	2,1	0,046

**Tabell 8:** Beräkning av uppsamlad mängd typ 2 från provyta på vinge.

Försök	Total massa [g]	Uppsamlings material [g]	Typ 2 [g]	Densitet [g/l]	Typ 2 [l]	Provyta [m <sup>2</sup> ]	Filmtjocklek [mm]
1	1460	871	589	1024	0,575	2,1	0,27
2	915	656	259	1024	0,253	2,1	0,12

Sammanfattningsvis ser man att den genomsnittliga filmtjockleken ligger mellan 0,046 och 0,064 mm för typ 1, vilket skulle motsvara en volym mellan ca 4 och 5,5 l på ett flygplan som avisats på en yta á 85 m<sup>2</sup>. Volymen typ 2 på ett flygplan i samma storleksordning skulle vara mellan ca 10 och 23 l och den genomsnittliga filmtjockleken ligger mellan 0,12 och 0,27 mm.

## 5. DISKUSSION

### 5.1 OMHÄNDERTAGANDE AV ANVÄND AVISNINGSVÄTSKA

Val av lämpligt omhändertagande av den använda avisningsvätskan är en komplex uppgift att lösa. Det är många faktorer som vägs in i valet; miljö, ekonomi, logistik, klimat, arbetsmiljö, avisningsbolag, flygtrafik etc. Alla dessa faktorer väger mer eller mindre tungt i respektive flygplats beslut.

En viktig aspekt när det gäller val av såväl avisningsmetod som uppsamlingsmetod är naturligtvis den miljörättsliga. Det som miljöbalken reglerar inom dessa val kan bland annat utläsas i dess andra kapitel, som behandlar allmänna hänsynsregler.

Enligt miljöbalkens (1998:808) andra kapitel, §3 föreligger skyldighet att använda sig av bästa möjliga teknik. Bästa möjliga teknik är ett dynamiskt begrepp som innebär att kraven på skyddsåtgärder anpassas till den tekniska utvecklingen. Utgångspunkten för bedömningen av vad som är bästa möjliga teknik är den som typiskt sett är ekonomiskt och tekniskt möjlig. Dock kan inte en verksamhetsutövare tvingas att använda en teknik som bara finns på experimentstadiet även om den är den miljömässigt bästa (Ebbesson, 2003). Tolkningen som kan göras i detta fall angående avisningsmetodik skulle vara att skyldighet föreligger att använda sig av den miljömässigt bästa avisningsmetodiken, av den traditionella eller de alternativa som beskrivs i 1.5. Det visar sig dock att alla de alternativa är på försöksstadiet eller är praktiskt genomförbara endast i vissa undantagsfall. Om man ser till uppsamlingsmetodiken skulle rimligaste tolkningen vara att bästa möjliga teknik skulle innebära uppsamling med såväl sugbil som hydrologiskt avgränsade avisningsområden.

I miljöbalken 2:3 står följande:

*”Alla som bedriver en verksamhet eller vidtar en åtgärd skall hushålla med råvaror och energi samt utnyttja möjligheterna till återvändning och återvinning.”*

Denna paragraf förespråkar att använda uppsamlingsmetodiken med stationära avisningsplatser eftersom den främjar såväl återvinning som återanvändning eller åtminstone minskar resursanvändningen vid sådana åtgärder.

Paragraf 7 är något av andra kapitlets brasklapp. Denna paragraf säger att 2-6 §§ endast gäller i den utsträckning det inte kan anses orimligt att uppfylla dem dvs. att en avvägning mellan kostnaden och miljönyttan måste göras. Därmed behöver flygplatserna ej göra investeringar för att förbättra glykoluppsamlingen eller återvinna/återanvända glykol, om kostnaden för investeringen inte står i proportion till miljönyttan.

### 5.2 FAKTORER SOM PÅVERKAR UPPSAMLINGEN

Vid en jämförelse i uppsamlingsgrad mellan de två huvudtyperna av uppsamlingsmetoder ses en tydlig skillnad i årsmedelvärden. Metoden med en stationär avisningsplats visar sig vara den med högst uppsamlingsgrad. Detta är dock en allt för rigid tolkning av resultaten. Vid en närmare granskning ser man att det är Bromma flygplats som i princip står för hela skillnaden.

Vilka faktorer som kan leda till denna skillnad utreds närmare i fallstudien av Bromma flygplats.

Instinktivt skulle det rimligaste antagandet vara att uppsamlingsmetoden har störst betydelse för uppsamlingsgraden. Vid de sju undersökta flygplatserna visar sig dock tydligare samband mellan uppsamlingsgraden och andra faktorer såsom avisningsmetodik, klimat etc., (se bilaga 2). Däremot är det inte orimligt att en tydligare skillnad skulle kunna uppkomma i en studie av fler flygplatser. Dessvärre mäts inte den uppsamlade mängden glykol på övriga svenska flygplatser. Andra problem som kan störa jämförelsen mellan de olika uppsamlingsmetoderna är att flygplatserna med stationär avisningsyta inte leder all uppsamlad glykol till mellanlagringstanken. Endast vatten med en glykolkoncentration över 3 % tas av praktiska skäl till vara (se bilaga 1). Därutöver tillkommer mätosäkerheter vid borttransporten som även skulle kunna tänkas dölja en signifikant skillnad mellan metoderna (se 2.3.3).

### 5.2.1 Avisningsmetodik

De två hypoteser som prövades angående avisningsmetodikens inverkan på uppsamlingsgraden var 1) uppsamlingsgraden skulle minska med ökad andel typ 2/ typ 4 i relation till typ 1 och 2) uppsamlingsgraden ökar med mängden glykol per avisning.

Den första hypotesen visade sig stämma på väl på fem flygplatser och främst då på Örnsköldsvik och Luleå flygplats. Bromma och Östersund inte visade på något samband. Mest anmärkningsvärt var Sundsvall-Härnösands resultat som visade ett omvänt samband mot det antagna, dvs. att en större andel typ 2 bidrog till en högre uppsamlingsgrad. Trots det verkar onekligen en stor andel typ 2 oftast bidra till en minskad uppsamlingsgrad.

Den andra hypotesen visade sig även den att vara rimlig, med reservation för det ringa antalet undersökta flygplatser. Tydligaste sambandet visade sig på Luleås flygplats, men även på Bromma, Umeå, Örnsköldsvik och Östersund kunde sambandet anas. Övriga flygplatser visade inte på något samband alls. En intressant iakttagelse kan även göras genom att jämföra de olika flygplatserna. Det visar sig att Bromma flygplats som har den lägsta uppsamlingsgraden av alla flygplatser även är den flygplats som använder minst glykol per avisning. Detta samband kan även ses vid en jämförelse mellan uppsamlingsgrad och mängd glykol per avisning, baserad på årsmedelvärden från all de sju undersökta flygplatserna (se figur 12).

## 5.3 MÄTMETODER FÖR UPPSAMLING AV ANVÄND AVISNINGSVÄTSKA

I princip alla svenska reguljära flygplatser har i tillstånd uppgett att 80 % av totalt använd mängd eller av mängd spilld glykol uppsamlas. Grunden till detta ligger med största sannolikhet i de försök som Luftfartsverket har utfört för att uppskatta sugbilarnas effektivitet i form av uppsugningsförmåga. År 1990 genomfördes tre försök, ett på Visby flygplats och två på Sundsvall-Härnösand flygplats. Nio år senare genomfördes ett liknande försök på Arlanda. Samtliga resultat visar på att sugbilarna samlar upp 75-90 % av vätskan som ligger på ytan där uppsamlingen sker (Svensson, 1990a; Svensson, 1990b; Ljung, 1999). Svagheter i dessa försök är att förhållandena som rådde inte är realistiska att jämföra med de som råder vid en verklig avisning. I samtliga försök gjordes uppsamlingen på en bar markyta, medan ett stort antal avisningar görs vid nederbörd i form av såväl snö som regn. I de tre försöken under 1990 hälldes avisningsvätskan ut på markytan vilket medför att området för uppsamlingen blir betydligt tydligare avgränsat i relation till en riktig avisning då vinden

sprider avisningsvätskan över ett större och mer svårdefinierbart område. Avisningsvätskan som användes i försöken var typ 1 vilket antas vara lättare suga upp än typ 2 p.g.a. skillnad i viskositet. Dessutom påverkas uppsamlingsgraden av sugbilens inställningar och hastighet. Det verkar rimligt att anta att sugbilarna inte alltid fungerar optimalt samt att stress hos förarna kan leda till sämre uppsamlingsresultat än de i försöken. På grund av dessa svagheter i försöken, är antagligen uppsamlingsgraden vid riktiga uppsamlingar är betydligt lägre än de 80 % som anges i flygplatsernas olika villkor.

För att bestämma uppsamlingsgraden används en indirekt och två direkta mätmetoder. Den indirekta metoden används i Luleå, där den uppsamlade mängden glykol bestäms utifrån hur mycket glykol som återvunnits vid flygplatsen återvinningsanläggning. Den enda nackdelen med metoden är att en liten underskattning av uppsamlingsgraden kan uppstå eftersom återvinningsprocessen inte ger ett fullständigt utbyte. Detta fel bör dock inte vara av någon betydande storlek eftersom processen har en hög effektivitet. Bägge de direkta mätningarna görs vid borttransporten från flygplatsen.

1. Metoden som används i Kiruna, Sundsvall-Härnösand, Umeå, Örnsköldsvik och Östersund är mätning med refraktometer. Fördelen med denna metod är att den är enkel, snabb och ekonomiskt fördelaktig (en refraktometer kostar ca 2000 SEK och inga driftkostnader tillkommer). Den största svagheten med metoden är mätosäkerheten (se 2.3.3)
2. Den metod som används på Bromma flygplats, där proven tas flödesproportionellt av en automatisk provtagare då den uppsamlade avisningsvätskan pumpas från mellanlagringstanken till spillvattennätet. Proven analyseras med GC/MD<sup>14</sup>, vilken har en ungefärlig noggrannhet på  $\pm 15\%$  (Christensen, 2003). Fördelen med denna metod är att såväl provtagning som analys blir säkrare. Nackdelen är den, i relation till refraktometern, höga kostnaden. Detta gäller främst för de löpande utgifterna för analyserna. En svaghet som ligger i förfarandet i Brommas provtagning diskuteras i fallstudien om Bromma flygplats.

En fråga som väcks när de olika mätmetoderna jämförs, är om det finns ett samband mellan mätmetoden och respektive flygplats uppsamlingsresultat. Det är möjligt att Brommas uppsamlingsgrad som är låg, i relation till de andra, till viss del har att göra med att mätmetoden som används där är den mest noggranna.

### **5.3.1 Nedbrytning i mellanlagringstank**

Resultaten från försöket från det småskaliga nedbrytningsförsöket visar inte på någon nedbrytning i betydande omfattning. Alla resultaten ligger inom analysmetodens felmarginal. Detta betyder dock inte att ingen som helst degradering av glykol kan äga rum i mellanlagringstankar på svenska flygplatser. Tvärtom är det enligt min mening, mycket troligt att nedbrytning förekommer i någon utsträckning, men då främst i början eller i slutet av avisningssäsongen då temperaturen i mellanlagringstanken är som högst samt att omloppstiden för den uppsamlade avisningsvätskan är som längst. Risken att denna nedbrytning skulle ha någon betydande inverkan på uppsamlingsgraden är dock liten, dels för att nedbrytningen i sig är liten dels för att när nedbrytningen är som störst är mängden glykol

---

<sup>14</sup> Gaskromatograf med massdetektor.

som transporteras bort som lägst. Förhållandena som försökte efterliknas i försöket är istället för de månader då avisningen är som intensivast och därigenom har störst inverkan på årets totala uppsamlingsgrad. Detta sammantaget kan tolkas som att detta försök är ett ”worst case scenario” och att nedbrytning under mer gynnsamma förhållanden kan förekomma även om det inte skulle göra det vid dessa förhållanden.

Inte heller vid det översiktliga försöket i Umeå fanns något som indikerade på nedbrytning av större kvantiteter glykol förekommer.

Anledningen till att glykolen ej bryts ner i större omfattning, trots att den i sig är lätt nedbrytbar, är antagligen en samverkan av tre faktorer som alla hämmar degraderingen. Eftersom nedbrytningen utförs av mikroorganismer styrs nedbrytningshastigheten av hur gynnsam mikroorganismernas miljö är. De faktorer i miljön som påverkar mikroorganismernas tillväxt och därigenom nedbrytningshastigheten är; temperatur, syretillgång och mängden tillgängliga näringsämnen. Miljön i mellanlagringstanken har förhållandevis låg temperatur och syretillgång men framför allt är tillgången på näringsämnen, som kväve och fosfor låg.

### **5.3.2 Andel glykol tillgänglig för uppsamling**

Uppsamlingsgraden är ett av de två olika sätt på hur flygplatserna redovisar hur effektiv deras glykoluppsamling är. Det andra är att mäta halten organiska ämnen i det dagvatten som lämnar flygplatsområdet och utifrån det skapa sig en uppfattning om glykoluppsamlingens verkningsgrad.

När uppsamlingen beräknas görs i de flesta fall två antaganden. 1) Att en specifik andel av den använda glykolen kvarstannar på flygplanet tills dess flygplanet har lämnat avisningsområdet. 2) Att all glykol som inte följer med flygplanet blir tillgänglig för uppsamling.

Enligt resonemanget angående hur mycket glykol som kvarstannar på flygplanet (2.5), stämmer ej antagandet att en viss andel av den utsprutade mängden glykol stannar kvar på flygplanet. Om man använder det antagandet blir uppsamlingsgraden beroende av avisningsmetodiken enligt 5.2. Ett lämpligare sätt att beräkna hur stor mängd avisningsvätska som följer med flygplanet från avisningsytan är att bestämma den genom att multiplicera flygplanets ungefärliga avisningsyta med filmtjockleken som redovisas i 4.4. Resultaten i 4.4 bör dock inte tolkas som absoluta värden eftersom försöket är det första i sitt slag och det finns många variabler som inverkar på filmtjockleken. Resultaten verkar emellertid rimliga vid en jämförelse med tidigare mätningar gjorda inomhus på en plan aluminiumskiva. Vid en sådan undersökning uppmättes filmtjockleken till 0,03-0,04 mm för Typ 1 och 0,6-0,8 mm för typ 2 (Myers, 1996). Som man kan se är filmtjockleken vid dessa försök aningen större än vid försöket i detta arbete. Det verkar rimligt eftersom aluminiumplattan var plan (en flygplansvinge är rundad) och ej utsattes för vind.

En svårighet som medföljer metoden att beräkna andelen tillgänglig glykol utifrån filmtjockleken, är att avgöra avisningsytan vid varje avisning. Antingen kan det göras väldigt enkelt och ett medelvärde för varje flygplanstyp kan användas. Större precision kan dock uppnås om skillnader redovisas mellan avisningar då hela flygplanet avisas och då bara vingar och stabilisatorer avisas. Oavsett vilket av tillvägagångssätten som används är med stor sannolikhet, denna metod mer sanningsenlig än antagandet som nu används.

Antagandet att andelen otillgänglig glykol som inte bortförs med det avisade flygplanet skulle vara försumbar visar sig inte vara rimligt (se fallstudien för Bromma flygplats), utan mycket tyder på att en del av avisningsvätskan bildar aerosoler och transporteras utanför avisningsområdet antingen direkt med vinden eller via ett närstående fordon eller dylikt. Det är dock i princip omöjligt att mäta hur stor denna del av den använda avisningsvätskan är och det är även mycket svårt att uppskatta ett värde. Det som är lätt att förstå är vilka parametrar som påverkar mängden avisningsvätska som försvinner från avisningsytorna på detta sätt. Den mest uppenbara är vindstyrkan men även avisningsmetodiken bör inverka.

#### **5.4 GLYKOLENS VÄG FRÅN MARK TILL BÄCK**

Det som bestämmer den använda avisningsvätskans öde, är vilken markyta den når. Största andelen antas nå marken på platsen för avisningen. Väl där kan avisningsvätskan gå tre öden till mötes. Den kan uppsamlas (med sugbil eller uppsamlingsledningar), nå dagvattensystemet eller försvinna i en så kallad diffus sänka. Den glykol som inte når marken vid avisningsplatsen omhändertas i normala fall inte utan når antingen flygplatsens dagvattensystem eller en diffus sänka.

Diffusa sänkor är de sänkor där glykolen blir mycket svår att följa och framför allt mäta dvs. all glykol som inte uppsamlas eller når flygplatsens dagvattensystem. Exempel på diffusa sänkor är; glykolhaltig snö som inte omhändertas, glykol som via vind eller markavrinning når markområden som ej avvattnas av flygplatsens dagvattenområden, glykol som fastnar på olika fordon. Efter det att glykolen har nått en diffus sänka kan den antingen degraderas av mikroorganismer eller nå grundvattnet. Vilket av dessa två alternativ glykolen möter är en komplicerad fråga där en rad parametrar samverkar. Den kanske viktigaste av dessa parametrar är mängden glykol per ytenhet. Nedbrytningen av glykol är en syrekrävande process som därför är intensivast på små djup i marken där syrehalten är som högst. Ligger stora mängder glykol på samma plats kommer syret där ta slut och därmed kommer även nedbrytningen avta. En annan viktig faktor är markens jordart, som både påverkar syretillgången och geohydrologin som bestämmer infiltrationshastigheten. Dessutom inverkar temperatur och grundvattendjup, vegetationstyp, markens pH och näringstillgång, grundvattensomloppstid samt dess innehåll av elektron acceptorer ( $O_2$ ,  $NO_3$ ,  $SO_4$ ,  $Fe^{3+}$ ) etc.

Nedbrytning av glykol i mark har på prov använts som behandling av uppsamlad avisningsvätska, resultaten påvisade en god nedbrytning redan vid relativt låga temperaturer (Switzenbaum m.fl., 1999).

#### **5.5 AVISNINGENS MILJÖPÅVERKAN**

Avisningsvätskornas största miljöpåverkan uppkommer när de anländer till vattenrecipienter såsom sjöar och vattendrag. Problemet med glykolen är att stora mängder syre åtgår vid dess nedbrytning,  $BOD_5$  för MPG är cirka 1000 g/l. Detta värde kan jämföras med den andra stora källan till organiska ämnen från flygplatser, banavisningsmedlen. De banavisningsmedel som används på svenska flygplatser är kaliumacetat ( $CH_3COOK$ ), kaliumformiat ( $CHKO_2$ ) och urea ( $H_2NCONH_2$ ), vilka har  $BOD_5$  på 180 g/l, 40 g/l respektive 2100 g/kg (Switzenbaum, 1999). Denna syreförbrukning leder till försänkta syrehalter i vattnet om ingen tillförsel av syre sker. Lågre syrehalter i vattnet innebär försämrade levnadsvillkor för många vattenlevande organismer.

Hur stor miljöpåverkan en flygplats avisning ger upphov beror dels på hur mycket glykol som når recipienten, dels på hur känslig recipienten är för den typen av miljöpåverkan. Recipientens känslighet beror i sin tur på en rad faktorer som exempelvis; övrig belastning av

syreförbrukande ämnen, storlek, vattenomsättning, syretillgång i tillrinnande vattnen, närvaro av känsliga eller skyddsvärda arter/biotoper. En viktig aspekt att ha i åtanke är att en recipients känslighet inte är rigid utan kan förändras med tiden. Som exempel på detta kan nämnas att vintertid då belastningen från flygplansavisning är stor är den mikrobiella aktiviteten låg och vattenrecipientens känslighet därmed mindre.

Även när glykolen når grundvattnet kan den bidra till en miljöpåverkan genom att orsaka låga syrehalter i grundvattnet. Dessutom kan den åstadkomma försämrad dricksvattenkvalitet om någon dricksvattentäckt finns i närheten.

En miljöaspekt vid glykolanvändningen som ej bör negligeras är den totala miljöbelastningen ur livscykel synpunkt. Ur en sådan synvinkel är det viktigt att optimera resursanvändningen så att minsta möjliga mängd används utan att säkerheten påverkas negativt. Dessutom bör glykolen återvinnas eller återanvändas. Ett exempel på användningsområden för återanvänd glykol är biogasframställning som till exempel används på Umeå flygplats.



## 6. SLUTSATSER

### 6.1 UPPSAMLING

Redan i dagsläget ställer sig ett flertal reningsverk tveksamma till att behandla använd avisningsvätska från flygplatser av två anledningar. Det första är avisningsvätskans nitrifikationshämmande<sup>15</sup> effekt på reningsverkets aktiva slam, vilket medför en mindre effektiv kvävereduktion (Rudqvist, 2001). Den andra anledningen är att den uppsamlade avisningsvätskan har ett relativt hög kadmiumhalt. Kadmiumet tillsammans med andra tungmetaller anlagras i slammet som bildas i reningsverket, vilket gör att slammet måste deponeras istället för att exempelvis användas som gödsel. Problemet med kadmium är svårt att motverka eftersom kadmiumet inte har sin källa i avisningsvätskan utan hos vissa delar på flygplanet som av säkerhetsskäl är belagda med metallen. Vid avisningen tar avisningsvätskan upp små mängder av metallen och den förs vidare till reningsverket via flygplatsens uppsamlingsystem. Att reningsverken blir mer ovilliga att mottaga använd avisningsvätska motiverar ytterligare till återvinning och återanvändning av avisningsvätska.

För att återvinning skall vara praktiskt genomförbar måste den uppsamlade avisningsvätskans glykolkoncentration uppnå en relativt hög halt, minst 5 %. Givetvis stiger effektiviteten för såväl återvinning som återanvändning med stigande glykolkoncentration. Den uppsamlingsmetod som ger de högsta glykolkoncentrationerna är stationära avisningsplatser, eftersom uppsamlingsytan är mindre och därigenom blir även utspädningen från nederbörderna mindre.

### 6.2 AVISNINGSMETODIK

Det som bör beaktas vid avisningen, inte bara ur miljösynpunkt utan även ur en ekonomisk aspekt, är att använda minsta möjliga mängd glykol utan att säkerheten försämras. Detta kan åstadkommas genom att minimera spill samt använda den lägsta glykolkoncentration som väderleken tillåter. Ett sätt att minska spillet är att minimera avståndet avisningsvätskan färdas i luften från avisningsfordonets munstycke till flygplanets yta. Detta avstånd varierar mycket från olika typer av avisningsfordon vilket gör det möjligt att minska spillet genom att vid inköp av avisningsfordon välja de som kan uppnå kortaste utsprutningsavståndet. Valet vid inköp av avisningsfordon ger också god möjlighet att minska åtgången av glykol genom att välja en typ där avisningsvätskan och vattnet förvaras åtskiljt. I dessa fordon kan glykolkoncentrationen i princip ändras från varje enskild avisning för att alltid använda den lägsta möjliga koncentration utomhustemperaturen kräver.

Ur miljösynpunkt är även preventiv avisning en fördelaktig metodik. På Arlanda har glykolåtgången minskat med 4 % sedan preventiv avisning började användas regelbundet (Luftfartsverket, 2004a). Dock finns en del invändningar mot denna metodik (se 2.1)

---

<sup>15</sup> Nitrifikationen är en delprocess i reningsverkets kväverening där ammonium oxideras till nitrat.

### **6.3 MÄTNING**

Det finns många svårigheter vid mätning av uppsamlingsgraden och det verkar troligt att uppsamlingsgraden kan påverkas av andra faktorer än uppsamlingens egentliga effektivitet (se 2.3). Frågan man bör ställa sig är varför uppsamlingsgraden skall mätas. Ur miljösynpunkt är uppsamlingsgraden i sig helt ointressant, det viktiga är hur stor miljöpåverkan den glykol som inte samlas upp ger upphov till. Ett viktigare mått än uppsamlingsgraden borde istället vara den totala mängden glykol som lämnar flygplatsområdet och kan tänkas påverka miljön i någon mening.

## 7. ÅTGÄRDER

För att minimera flygplansavisningens miljöpåverkan bör åtgärder vidtagas, för att förutom minimera belastningen på vattenrecipenter, även reducera resursåtgången, enligt kapitel 5.5. Ett sätt att göra detta är genom återvinning av använd avisningsvätska. Till följd av resonemanget i kapitel 6.1 är mitt förslag att så många flygplatser som möjligt börjar använda sig av stationära avisningsplatser, vilket, även om ingen större skillnad i uppsamlingsgrad kunde påvisas, ger en högre glykolkoncentration i den uppsamlade vätskan och därför är det mest miljöriktiga alternativet ur kretsloppsypunkt. Eftersom såväl ekonomiska som logistiska faktorer kan tala emot stationära avisningsplatser, skulle en jämförande livscykelanalys mellan avisning med återvinning/återanvändning och utan, vara av största intresse. Detta skulle kunna ge ett bra underlag för att väga den eventuella miljönyttan med stationära avisningsplatser mot de ovan nämnda negativa faktorerna. En annan metod att minska resursåtgången vid flygplansavisningen är att reducera mängden glykol vid avisningen. Förfaringssätt för detta beskrivs i kapitel 6.2.

Angående mätningar är mitt förslag att p.g.a. de orsaker som tas upp i kapitel 6.3, genomföra kontinuerliga mätningar för masstransporter i dagvattnet som lämnar flygplatsen samt stickprov på grundvattnet för att säkerställa att inga högre halter förekommer. Därför bör även kraven i flygplatsens tillstånd övergå från en viss uppsamlingsgrad, till gränsvärden för utsläpp av glykol alternativt total mängd syreförbrukande ämnen (BOD).

Även om uppsamlingsgraden ur miljösynpunkt inte är det viktigaste mätningen är den ett bra mått på uppsamlingens effektivitet och kan fungera som ett bra komplement samt förklaringsunderlag till mätningar av dag- och grundvatten. För att undvika problemen enligt 2.3 och ge ett rättvisare värde på uppsamlingens effektivitet bör lämpligen metoden enligt 5.3.2 användas vid beräkning av hur stor andel av glykolen som blir tillgänglig för uppsamling.

## 8. REFERENSER

### SKRIFTLIGA KÄLLOR

- Bakken, R., (2000). *Påverkan på roder, typII/typIV*. Luftfartsverket, Avisningssemenarie 2000.
- Dawson, P., Hanna, M., (1999a). *Evaluation of warm fuel as an alternative approach to de-icing*. APS aviation incorporation.
- Dawson, P., Hanna, M., (1999b). *Hot water deicing of aircraft*. APS aviation incorporation.
- Dawson, P., (2000). *Safety Issues and Concerns of Forced Air Deicing Systems*. APS aviation incorporation.
- Dott, W., (2001). *Calculations of microbial degradation of saturated zone using respiration pathways*. Technical university of Aachen (RWTH), Oslo Workshop.
- Ebbesson, J., (2003). *Miljörätt*. Iustus förlag, Uppsala.
- EPA, (2000). *Preliminary Data Summary, Airport Deicing Operations (Revised)*. United States Environmental Protection Agency (EPA), Office of Water, EPA-821-R-00-016.
- Hart, H., Craine, L.E., Hart, D.J., (1999). *Organic Chemistry, A Short Course*. 10<sup>th</sup> ed., Houghton Mifflin Company, Boston.
- Häkkinen, S., (2004). *Redovisning av miljödata inom LFV produktion 2003*. Luftfartsverket, Diarienummer: Luftfartsverket 2004-1192-03.
- KG Knutsson AB, (1997). *Leica Duo-Chek Batteri- och Glykolprovare*. Produktblad, 97.07-050.
- Landberg, B., (2002). *Aircraft Icing*. AOPA Air Safety Foundation, Safety advisor: Weather No.1.
- Larsen, A., (2000). *Forced Air Snow Removal*. Luftfartsverket, Avisningssemenarie 2000.
- Ljung, S., (1999). *Avisning och uppsugningsförsök vid Stockholm-Arlanda flygplats 1999*. Luftfartsverket, SA-stab/miljö, Dokumentbeteckning:SA-stab/miljö/SL 99:31.
- Luftfartsverket, (1994). *Stockholm-Bromma flygplats, kompletteringar till teknisk beskrivning*. Bilaga till ansökan om villkorsändring för Stockholm-Bromma flygplats enligt miljöskyddslagen 1993.
- Luftfartsverket, (1993). *Stockholm-Bromma flygplats, teknisk beskrivning*. Bilaga till ansökan om villkorsändring för Stockholm-Bromma flygplats enligt miljöskyddslagen 1993.
- Luftfartsverket, (2003). *Luftfartens utsläpp till luft, mark och vatten*. Luftfartsverket, Luftfart och Samhälle, Rapport 2003:07.

- Luftfartsverket, (2004a). *Miljörapport 2003 Stockholm-Arlanda flygplats*. Luftfartsverket, Diarienummer: SA 2004-0660-03.
- Luftfartsverket, (2004b). *Miljörapport 2003 Stockholm-Bromma flygplats*. Luftfartsverket, Diarienummer: SB 2004-0051-01.
- Marklund, L., (2004). *Rapport gällande glykolanvändningen vid Bromma flygplats vintersäsongen 2003/2004*. Luftfartsverket, Division Stockholm.
- Myers, B.B., (1996). *Evaluation of fluid thickness to locate representative surfaces*. APS Aviation Inc., TP 12900E.
- Oakmoo Enterprises Inc., Deutsche Lufthansa, Radiant Energy Inc., (2000). *The successful integration of infratek into commercial de-icing operation*. Luftfartsverket, Avisningssemenarie 2000.
- Rudqvist, D., (2001). *Undersökning av nitrifikationshämmande egenskaper hos flygplansavisningsprodukter*. J & W Energi och Miljö, Mark och Vatten, Uppdrags nr:1000 3148.
- Safeaero, (2003). *One-person operation, the future of de-icing*. Safeaero i Trelleborg AB, SDI 218.
- Sanz, M., (1996). *Bromma flygplats: Flyg, folk och händelser 1936-1996*. Allt om hobby AB, Falköping.
- SMHI, (2003). *Väder och Vatten*. Nummer: 10-12.
- SMHI, (2004). *Väder och Vatten*. Nummer: 1-5.
- Svensson, A., (1990a). *Glykolsugtest Sundsvall 26-27 sept. 1990*. LFV Teknik, Mobil utrustning.
- Svensson, A., (1990b). *Glykoltest Visby flygplats 1990-05-03*. Luftfartsverket tekniska avdelningen, Usm.
- Svensson, D., (2003). *Potentiella föroreningar i mark, en fallstudie av Luftfartsverkets flygplatser*. Linköpings universitet, Campus Norrköping, ITUF.
- Switzenbaum, M., Veltman, S., Schoenberg, T., Durand, M.D., Mericas, D., Wagoner, B., (1999). *Workshop: Best Management Practices for Airport Deicing Stormwater*. University of Massachusetts/Amherst Water Resources Research Center, Publication No. 173.
- VBB Viak, (1995). *Stockholm-Bromma flygplats, kompletteringar till teknisk beskrivning*. Bilaga till ansökan om villkorsändring för Stockholm-Bromma flygplats enligt miljöskyddslagen 1993.

## **MUNTLIGA KÄLLOR**

Aldengård, Vanja, (2003). Luftfartsverket, Sundsvall-Härnösands flygplats.

Bergström, Thomas, (2003). Aircraft De-icing Engineering.

Christensen, Morten, (2003). Analytica AB.

Ekström, Velia, (2003). Luftfartsverket, Sturup.

Fransson, Lars, (2003). Luftfartsverket, Umeå flygplats.

Gauffin, Tommy, (2004). Luftfartsverket Bromma flygplats.

Helin, Thomas, (2003). Luftfartsverket, Landvetter.

Johansson, Anders, (2003a). Luftfartsverket, Jönköpings flygplats.

Johansson, Christina (2003b). Luftfartsverket, Örensköldsviks flygplats.

Kungberg, Claes-Göran, (2003). Luftfartsverket, Kalmar flygplats.

Ljung, Sina, (2003). Luftfartsverket, Division Stockholm.

Mukka, Ulf, (2003). Luftfartsverket, Kiruna flygplats.

Nilsson, Fredrik, (2004). LFV Teknik.

Nilsson, Roland, (2003). Luftfartsverket, Skellefteå flygplats.

Näslund, Ulf, (2003). Luftfartsverket, Östersunds flygplats.

Persson, Katrin, (2003). Luftfartsverket, Karlstad flygplats.

Peterson, Conny, (2003). Luftfartsverket, Norrköpings flygplats.

Pettersson, Roland, (2003). Uppsala universitet, Kemiska institutionen.

Sandell, Erik, (2003). Luftfartsverket, Visby flygplats.

Tollin, Agneta, (2003). ALcontrol AB.

Wikström, Mats, (2003). Luftfartsverket, Luleå flygplats.

## **INTERNETREFERENSER**

Boeing, (2004). *Deicing/Anti-icing*.

[www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero\\_08/deice\\_textonly.html](http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_08/deice_textonly.html) (2004-11-14).

Clariant GmhB, (2004). *Functional de-icing and anti-icing chemicals*. [www.airport-technology.com/contractors/deicing/clariant/](http://www.airport-technology.com/contractors/deicing/clariant/) (2004-11-15).

Cryotech, (2004). *Kilfrost DF Plus (88)*. [www.cryotech.com/dfplus88.htm](http://www.cryotech.com/dfplus88.htm) (2004-11-15).

Kemikalieinspektionen, (2003). *Ämnesbeskrivning*. [www.kemi.se](http://www.kemi.se) (2003-11-12).

Knovel, (2004). *Physical Properties*. [www.knovel.com/knovel2/](http://www.knovel.com/knovel2/) (2004-11-14).

Luftfartsverket, (2004c). *Traffikstatestik från svenska flygplatser år 2003*.

[www.lfv.se/templates/LFV\\_InfoSida\\_70\\_30\\_4820.aspx](http://www.lfv.se/templates/LFV_InfoSida_70_30_4820.aspx) (2004-11-17).

# Bilaga A

## – Uppsamling av avisningsvätska

### **Arlanda**

Eftersom Arlanda flygplats är landets i särklass största flygplats och ensam står för ca 60 % av den svenska förbrukningen av avisningsvätska så är systemet för tillvaratagande av glykol där väl utvecklat. En stationär avisningsplatta, finns vid den nybyggda bana 3 och därutöver finns sugbilar samt uppsamlingsrännor som innesluter alla områden där avisning sker. Glykolen som suggs upp med bil benämns A-glykol och glykolen som samlas upp via glykolrännor benämns B-glykol. A-glykolen transporteras med bil till Västerås- och Eskilstuna reningsverk, där det används som extra kolkälla i deras processer. Tidigare år har B-glykolen brutits ned med ca 50 % i Luftfartsverkets egna glykolbehandlingsanläggning innan den pumpats vidare till Käppala reningsverk, via det kommunala spillvattennätet. På senare tid har dock B-glykolen på försök pumpats vidare till Käppala reningsverk efter samråd med Länsstyrelsen i Stockholms län, Sigtuna kommun och Käppala reningsverk. Glykolen fungerar där som en extra kolkälla till Käppalas kväveringsprocess, vid denitrifikationssteget<sup>16</sup>. Speciella platser finns för uppläggning av glykolkontaminerad snö och en stor del av dagvattnet från banor och rampområden renas vid den s.k. APA-anläggningen. APA står för Avisning På Arlanda och anläggningen består av utjämningsdammar och sandfilter.

Inga mätningar görs på hur stora mängder glykol som samlas upp. Däremot beräknas de utsläppta glykolmängderna utifrån laboratorieanalyser av dagvattenprover och flödesbestämningar vid tio utsläppspunkter för dagvattnet. Analyserna omfattar halten löst organiskt kol, DOC vilka omräknas till glykolhalter. (Ljung, 2003)

### **Bromma**

Uppsamlingen på Bromma flygplats görs med två stycken sugbilar. Den uppsamlade glykolen lagras i en mellanlagringstank tills den pumpas via spillvattennätet till ett kommunalt reningsverk där glykolen används som extern kolkälla vid denitrifikationssteget. En speciell snötipp finns men används dock för tippning av glykolbilen i första hand. Detta på grund av ett otillräckligt värmesystem i tippfickan som ej förmår hålla den uppsamlade avisningsvätskan isfri, vilket är ett måste för att mellanlagringssystemet skall fungera. Problemen uteblir dock om sugbilen tömmer sin last på snötippen som är förbunden med tippfickan via två underjordiska ledningar.

För att minska utsläpp till dagvattensystemet är i princip alla dagvattenbrunnar i anknytning till de platser på rampområdet där avisning sker avstängda hela avisningssäsongen.

Mätningar görs dels med avseende på MPG-koncentration, dels på TOC-halt. Proverna tas flödesproportionellt när pumpning till spillvattensystemet från mellanlagringstanken sker.

(För utförligare beskrivning se fallstudien av Bromma flygplats.)

---

<sup>16</sup> Det slutliga steget i reningsverkets kvävering där nitrat omvandlas till kvävgas och avgår till luften.



## **Jönköping**

Uppsamlingen av avsningsvätskan sker med sugbil och all avsnings sker på rampen vars totala yta är täckt av betong. Den uppsamlade avsningsvätskan transporteras med sugbil till en mellanlagringstank. Borttransporten från flygplatsen sker med tankbil och slutstationen är ett kommunalt reningsverk. För att reningsverket skall vara villiga att mottaga avsningsvätskan måste Luftfartsverket betala en avgift. Glykolhaltig snö som omhändertas läggs upp på en särskild plats.

Inga mätningar utförs för att bestämma uppsamlingsgraden med hänvisning till Luftfartsverkets undersökningar om sugbilarnas kapacitet (se 5.3), på en 80%-ig uppsamlingsgrad. (Johansson, 2003a)

## **Kalmar**

Uppsamlingen sker genom dräneringsrör som ligger runt hela rampen. Under hela avsnings säsongen pumpas allt vatten från dessa rör till spillvattennätet och vidare till kommunalt reningsverk. Under den del av året då ingen avsnings sker leds istället all avrinning från rampen till dagvattennätet. Dagvattnet från rampen, tillsammans med dagvattnet från start- och landningsbanan leds till en våtmark som finns i anknäring till flygplatsen. Våtmarkens huvuduppgift är att främst reducera mängden kväve i dagvattnet som på grund av att urea används som banavsningsmedel på flygplatsen. Ingen speciellt system finns för tillvaratagande av glykolhaltig snö.

Inga mätningar görs för att uppskatta uppsamlingsgraden. Orsaken till detta är dels flygplatsens relativt låga glykolanvändning, dels att de samlar upp allt dagvatten från en så pass stor yta att de antar att i princip allt avsningsvätska som ej kvarstannar på flygplanet vid avsnings tillvaratas. (Kungberg, 2003)

## **Karlstad**

Karlstad flygplats är lokaliserad på en reservgrundvattentäckt och har därigenom höga miljökrav. Detta medför att flygplatsens system för tillvaratagande av avsningsmedel från såväl flygplans- som banavsnings är omfattande. I princip allt dagvatten från flygplatsområdet leds till speciella uppsamlingsdammar. Även den glykolhaltiga snö som uppsamlas läggs upp på en speciell plats som står i förbindelse med dessa dammar. Förutom detta system så använder flygplatsen sig av en stationär avsningsplats samt sugbil. Från uppsamlingsdammarna leds det glykolhaltiga dagvattnet vidare till en egenhändig reningsanläggning där glykol som såväl andra organiska ämnen degraderas. När BOD-halten i vattnet understiger ett visst önskvärt värde släpps vattnet ut i en närliggande bäck.

Inga speciella mätningar görs för att avgöra hur stora kvantiteter glykol som uppsamlas. Man gör antagandet att i princip allt omhändertas i och med att en så stor yta är hydrologiskt avgränsad. Däremot sker mätningar i reningsanläggningen på BOD (se ovan). (Persson, 2003)

## **Kiruna**

På Kiruna flygplats används, sedan två år tillbaka, en stationär avsningsplats. Sugbilen som brukades tidigare, när avsningsarna gjordes på uppställningsplatserna, används numera sällan. Den uppsamlade avsningsvätskan leds till en uppsamlingstank om glykolkoncentrationen i lösningen överstiger 3 %, men om koncentrationen är lägre leds den till dagvattennätet. Den uppsamlade avsningsvätskan fraktas från flygplatsen med tankbil. Tidigare har slutstationen varit den kommunala soptippen i Kiruna men under denna säsong har istället den tillvaratagna avsningsvätskan transporteras till Kallax flygplats där den har återvunnits.

För att beräkna uppsamlingsgraden sker mätningar i och med borttransporten då såväl kvantitet samt glykolkoncentration uppmäts, mätningen av koncentrationen verkställs med refraktometer. (Mukka, 2003)

### **Landvetter**

Efter avisning omhändertas huvuddelen av den använda glykolen. Det sker med hjälp av sugbilar och via uppsamlingsrännor, som finns på alla platser där avisning är tillåten. Den uppsamlade avisningsvätskan pumpas via spillvattennätet till Ryaverket. Även den snö som glykolhaltiga snön läggs på en speciell ”snötipp”.

Inga direkta mätningar görs för att kunna uppskatta hur stor del av glykolen som omhändertas. Mätningar görs på dagvattnet, där mäts DOC-halt och kontroll görs för att försäkra sig om att denna inte överstiger ett visst värde. (Helin, 2003)

### **Luleå**

Uppsamlingen sker med stationär avisningsplatta samt sugbil. Avisningsvätskan som suggs upp fraktas till den lokala återvinningsanläggningen. Den avisningsvätska som uppsamlas i dräneringsrör leds vidare till en brunn utrustad med cirkulationspump i kombination med en densitetsmätare. I den mäts kontinuerligt vätskans densitet. Eftersom glykolen och vattnets densiteter skiljer sig åt kan den uppsamlade vätskans densitet användas för att uppskatta vätskans glykolkoncentration. Om vätskans glykolhalt överstiger 3 % leds den vidare till en lokal återvinningsanläggningen. Om glykolkoncentrationen ej överstiger 3 % leds vätskan istället till dagvattennätet. Den kontaminerade snön som samlas upp uppläggs på speciell plats med ledningar knutna till brunnen med cirkulationspump.

Vätskan som samlas upp i dräneringsrören runt avisningsplattan leds till återvinningsanläggningen om glykolkoncentrationen överskrider 3 % annars leds det till dagvattennätet. Denna mätning sker med en densitetsmätare och cirkulationspump.

Glykolen återvinns vid den lokala återvinningsanläggningen vilken är den enda återvinningsanläggning som finns i Sverige. Vid återvinningen framställs direkt ny typ 1-vätska vilken har en glykolkoncentration på ca 80 %. Detta görs genom att först rena vätskan genom ultrafiltrering. Därefter destilleras vätskan för att uppnå önskvärd glykolkoncentration. Slutligen tillsätts de additiv som behövs varpå vätskan kan kontrolleras och sedan användas. På Kallax svarar den återvunna glykolen för ungefär halva åtgången av typ 1.

Mätningarna som görs vid återvinningen används för att avgöra hur mycket glykol som har omhändertagits. (Wikström, 2003)

### **Norrköping**

Uppsamlingen av avisningsvätskan sker med sugbil och all avisning sker på rampen. Den uppsamlade avisningsvätskan transporteras med sugbilen till en mellanlagringstank. Borttransporten från flygplatsen sker med tankbil och slutstationen är ett kommunalt reningsverk. Reningsverket har dock visat en viss tveksamhet att även i fortsättningen mottaga den tillvaratagna glykolvätskan pga. att den har visat sig innehålla höga halter av tungmetaller framförallt kadmium och koppar. Inget speciellt system finns för tillvaratagande av glykolhaltig snö.

Inga mätningar utförs för att bestämma uppsamlingsgraden med hänvisning till Luftfartverkets undersökningar om sugbilarnas kapacitet, med en 80%-ig uppsamlingsgrad (se 5.3). (Peterson, 2003)

### **Skellefteå**

Uppsamlingen av avsningsvätskan sker med sugbil och all avisning sker på rampen. Den uppsamlade avsningsvätskan transporteras med sugbilen till en mellanlagringstank. Borttransporten från flygplatsen sker med tankbil och slutsationen är ett kommunalt reningsverk. Reningsverket har dock visat en viss tveksamhet att även i fortsättningen mottaga den tillvaratagna glykolvätskan pga. att den har visat sig innehålla höga halter av tungmetaller framförallt kadmium och koppar. Inget speciellt system finns för tillvaratagande av glykolhaltig snö.

Inga mätningar utförs för att bestämma uppsamlingsgraden med hänvisning till Luftfartverkets undersökningar om sugbilarnas kapacitet, med en 80%-ig uppsamlingsgrad (se 5.3). (Nilsson, 2003)

### **Sturup**

Efter avisning omhändertas huvuddelen av den använda glykolen. Det sker med hjälp av sugbilar och via uppsamlingsrännor, som finns på alla platser där avisning är tillåten. Den uppsamlade avsningsvätskan lagras i en uppsamlingsdamm med luftningsutrustning. Från uppsamlingsdammen pumpas det glykolhaltiga vattnet vidare till Svedala reningsverk. Ett krav finns på hur stor mängd syreförbrukande ämnen flygplatsen får pumpa ut till reningsverket. Luftningsutrustningen i uppsamlingsdammen används för att reducera vattnets innehåll av syreförbrukande ämnen. Även den glykolhaltiga snön läggs på en speciell ”snötipp”.

Inga direkta mätningar görs för att kunna uppskatta hur stor del av glykolen som omhändertas. Mätningar görs på dagvattnet, där mäts BOD- och COD-halt vilka följs upp för att försäkra sig om att de ej överstiger vissa förutbestämda värden. (Ekström, 2003)

### **Sundsvall-Härnösand**

På flygplatsen bedrivs merparten av all avsningsaktivitet på en stationär avsningsplats där den använda avsningsvätskan som rinner ner på marken uppsamlas dels med sugbil, dels av de dräneringsrör som omgärdar avsningsplatsen. Den avsningsvätska som uppsamlas i dräneringsrör leds vidare till en brunn utrustad med cirkulationspump i kombination med en densitetsmätare. I den mäts kontinuerligt vätskans densitet. Eftersom glykolen och vattnets densiteter skiljer sig åt kan vätskans densitet användas för att uppskatta vätskans glykolkoncentration. Om vätskans glykolhalt överstiger 3 % leds den vidare till en mellanlagringstank dit även den avsningsvätska som sugbilen har uppsamlat hamnar. Om glykolkoncentrationen ej överstiger 3 % leds vätskan istället till dagvattennätet. Det bedrivs även viss preventiv avisning i anknötning till avgångshallen. Vid denna avisning sker uppsamling, av eventuell spilld glykol, med sugbil. Den kontaminerade snön som samlas upp uppläggs på speciell plats med ledningar knutna till mellanlagringstanken.

För att beräkna uppsamlingsgraden sker mätningar i och med borttransporten då såväl kvantitet samt glykolkoncentration uppmäts, mätningen av koncentrationen verkställs med refraktometer. (Aldebäck, 2003)

## **Umeå**

Tillvaratagandet sker med sugbil som suger upp vätskan i direkt anslutning efter att planet lämnat sin parkeringsplats. Därefter tippas vätskan, oftast när bilen är full, i en tippficka där det sedan pumpas in i en mellanlagrings tank. Vid jämna mellanrum transporteras det bort till Umeås rötkammaranläggningen 2 km bort från flygplatsen.

I samband med borttransporten mäts glykolhalten med refraktometer, då mäts mängden borttransporterad avisningsvätska och därigenom kan totala mängden uppsamlad glykol mätas. (Fransson, 2003)

## **Visby**

Uppsamling med sugbil som tippas i en tank. Glykolen pumpas till reningsverk. Allt dagvatten och därigenom det mesta av glykolen som ej samlas upp leds till en uppsamlingsbassäng. Vattnet från denna bassäng används under sommaren för att bevattna en närliggande golfbana. På grund av detta får de använda urea som banavisningsmedel. Vattnet från bassängen fungerar därför även som gödselmedel som både innehåller kväve från urean samt energi (kolkälla) i form av glykol.

Mätning av uppsamlingsgraden sker ej på grund av att man anser att man ändå tar hand om allt dagvatten under hela avisningssäsongen. (Sandell, 2003)

## **Örnsköldsvik**

Alla avisningar sker på en stationär avisningsplats, bestående av en tät betongplatta. Den använda avisningsvätskan samlas upp i ledningar, brunnar samt med sugbil och lagras i en mellanlagringstank. Borttransporten sker med tankbil till Bodums reningsverk i Örnsköldsviks kommun och används i deras denitrifikationsprocess som extern kolkälla.

LFV mäter mängd och koncentration på borttransporterat glykol och mäter även halten av glykol i brunnarna på olika nivåer, varefter beräkning görs på mängden uppsamlad glykol. Mätningarna görs med refraktometer. (Johansson, 2003b)

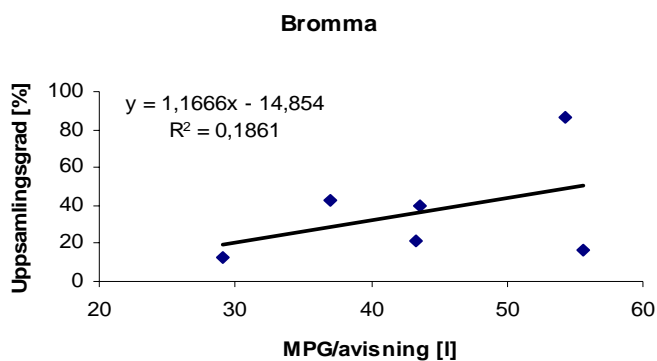
## **Östersund**

Tillvaratagandet sker med sugbil som suger upp vätskan i direkt anslutning efter planet lämnat sin parkeringsplats. En stationär avisningsplats finns anlagd fast brukas ej av praktiska skäl. Efter uppsamlingen tippas vätskan, oftast när bilen är full, i en tippficka där det sedan pumpas in i en mellanlagrings tank. Vid jämna mellanrum transporteras det bort till transporteras till en rötkammaranläggning. En speciell plats finns anlagd för uppläggning av glykolhaltig snö, denna är förbunden med mellanlagringstanken.

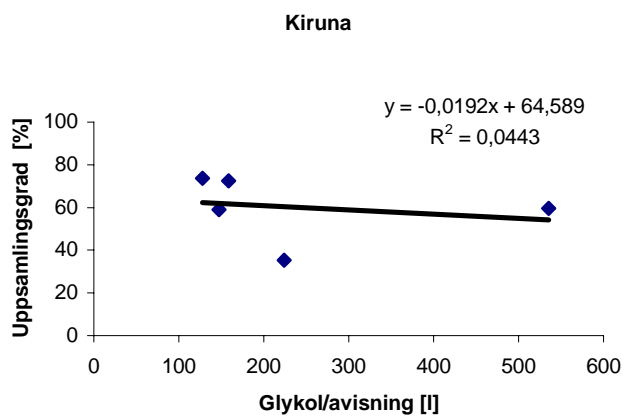
I samband med borttransporten mäts glykolhalten med refraktometer, då mäts mängden borttransporterad avisningsvätska och därigenom kan totala mängden uppsamlad glykol mätas. (Näslund, 2003)

# Bilaga B

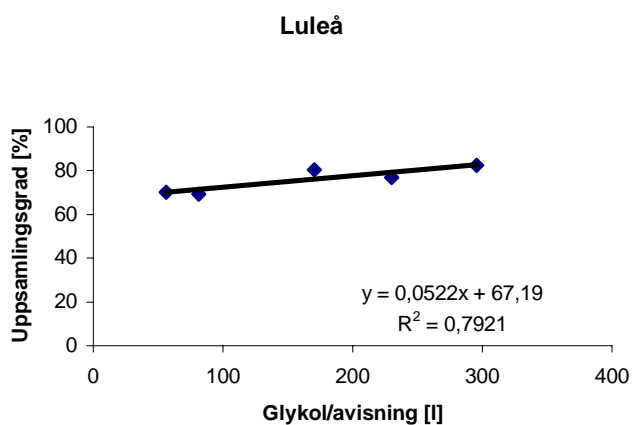
## – Uppsamlingsgradens beroende av avisningsmetodiken



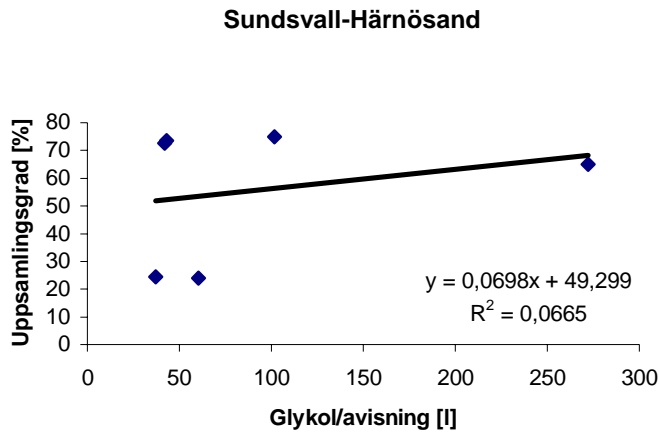
**Figur 1:** Uppsamlingsgradens beroende av mängd glykol per avisning på Bromma flygplats under år 2000-2002.



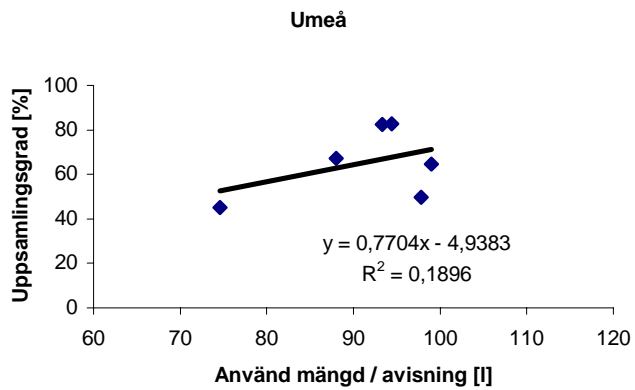
**Figur 2:** Uppsamlingsgradens beroende av mängd glykol per avisning på Kiruna flygplats under år 1995-2001.



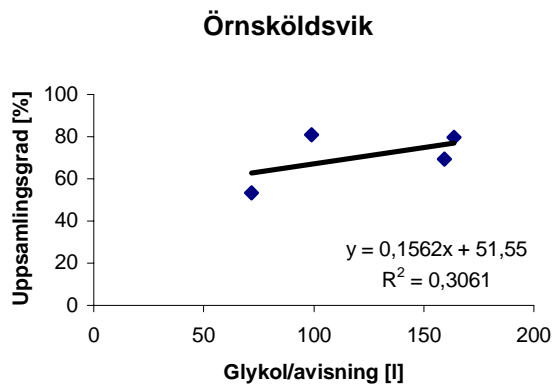
**Figur 3:** Uppsamlingsgradens beroende av mängd glykol per avisning på Kallax flygplats (Luleå) under år 1997-2001.



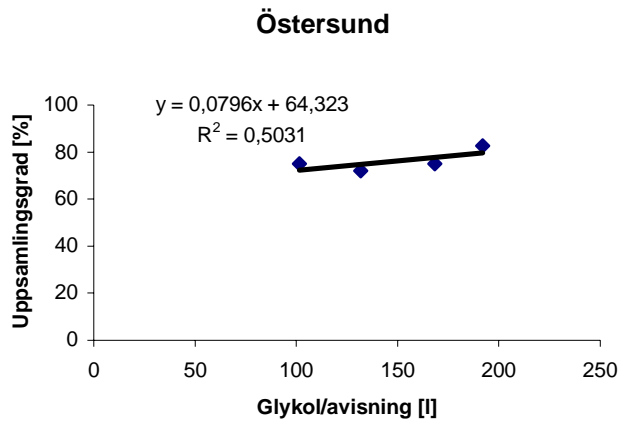
**Figur 4:** Uppsamlingsgradens beroende av mängd glykol per avisning på Sundsvall-Härnösands flygplats under år 1995-2001.



**Figur 5:** Uppsamlingsgradens beroende av mängd glykol per avisning på Umeå flygplats under år 1996-2001.



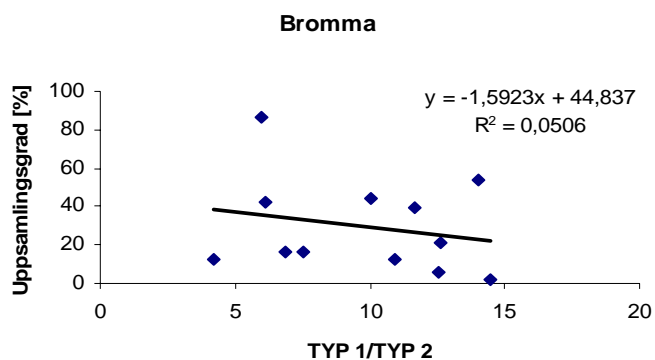
**Figur 6:** Uppsamlingsgradens beroende av mängd glykol per avisning på Örnsköldsviks flygplats under år 1998-2001.



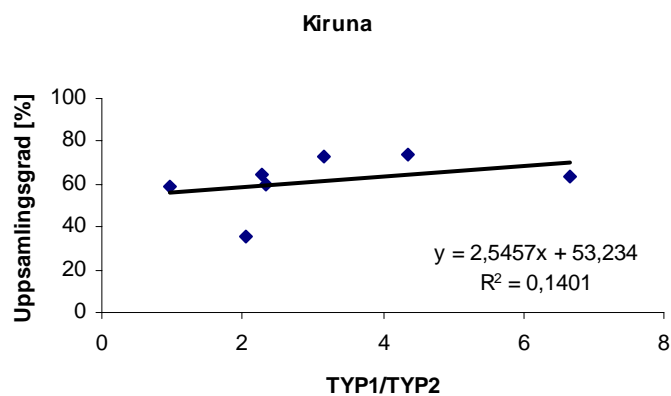
**Figur 7:** Uppsamlingsgradens beroende av mängd glykol per avisning på Östersunds flygplats under år 1996-2001. (Data för 1999 och 2000 saknas.)

# Bilaga C

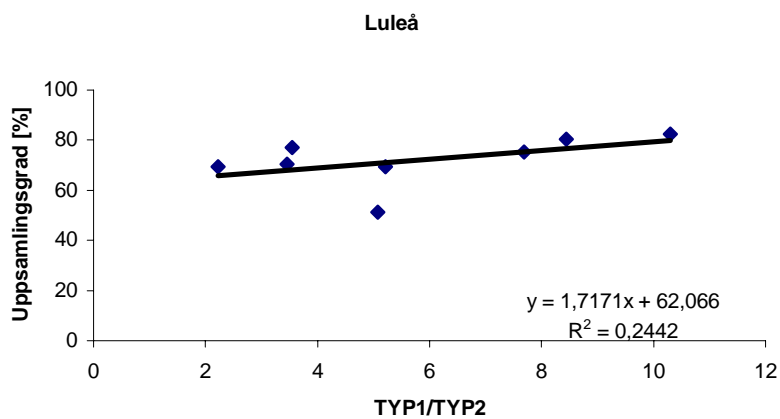
## - Uppsamlingsgradens beroende av avisningsvätskans typ



**Figur 1:** Uppsamlingsgradens beroende av fördelningen mellan typ 1 och typ 2 på Bromma flygplats under år 2000-2002.

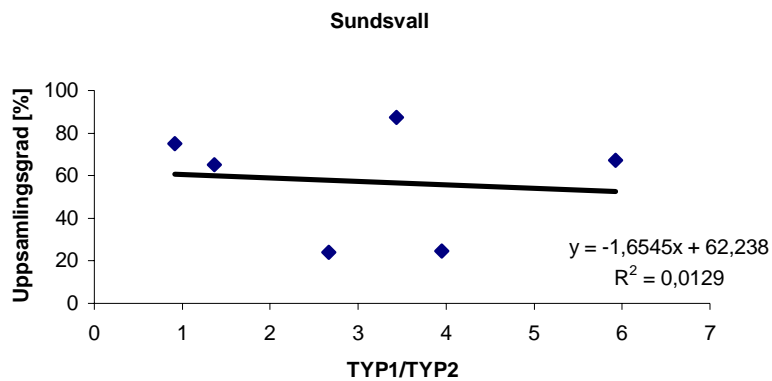


**Figur 2:** Uppsamlingsgradens beroende av fördelningen mellan typ 1 och typ 2 på Kiruna flygplats under år 1995-2002.

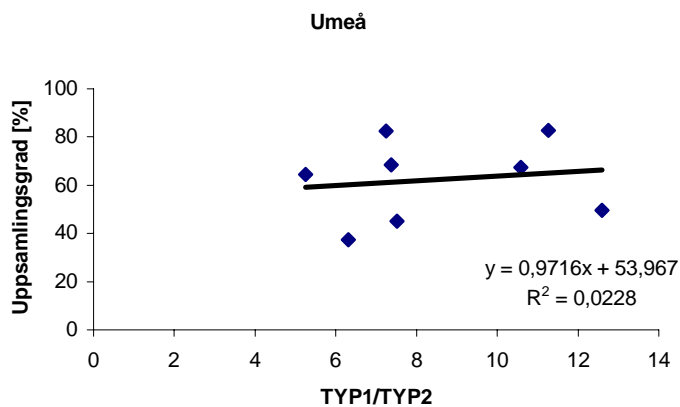




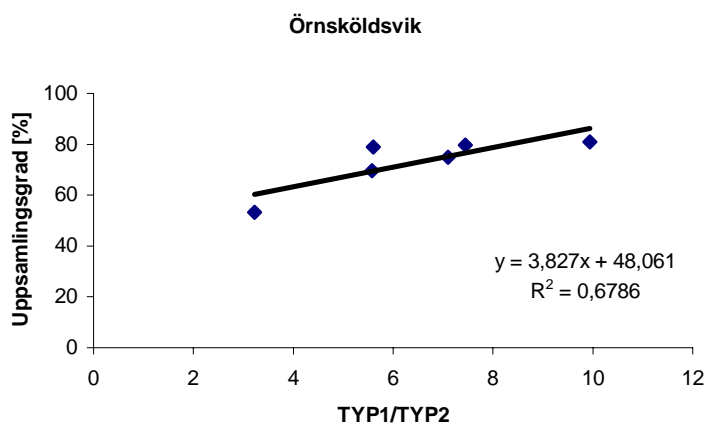
**Figur 3:** Uppsamlingsgradens beroende av fördelningen mellan typ 1 och typ 2 på Kallax flygplats (Luleå) under år 1995-2002.



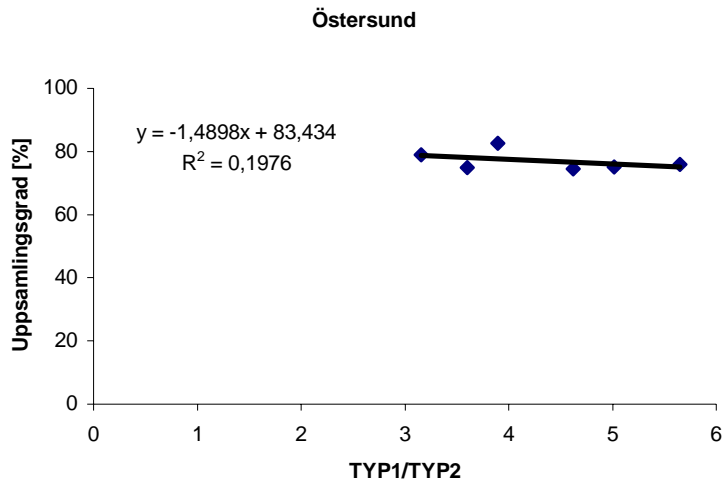
**Figur 4:** Uppsamlingsgradens beroende av fördelningen mellan typ 1 och typ 2 på Sundsvall-Härnösands flygplats under år 1995-2002.



**Figur 5:** Uppsamlingsgradens beroende av fördelningen mellan typ 1 och typ 2 på Umeå flygplats under år 1995-2002.



**Figur 6:** Uppsamlingsgradens beroende av fördelningen mellan typ 1 och typ 2 på Örnsköldsviks flygplats under år 1997-2002.



**Figur 7:** Uppsamlingsgradens beroende av fördelningen mellan typ 1 och typ 2 på Umeå flygplats under år 1995-2002.

# Bilaga D

– Fallstudie av Bromma flygplats

## **D1. INLEDNING**

De frågeställningar som rapporten behandlar i denna fallstudie rör främst de krav Miljödomstolen har ställt på Bromma flygplats, i en deldom rörande flygplansavisning (se 2.8). Frågeställningarna är följande:

- **Är uppsamlingsmetoden på Bromma flygplats tillräcklig?**
- **Vad finns det för brister vid uppsamlingen?**
- **Kan utsläppen minskas utan att ändra uppsamlingsmetod?**
- **Vart tar glykolen vägen?**
- **Är glykolutsläppen från Bromma flygplats skadliga för miljön?**

## D2. BAKGRUND

### D2.1 HISTORIK

Bromma flygplats anlades under åren 1933-36 och invigdes den 23 maj 1936. Flygplatsen ägdes av Stockholms stad och förvaltades fram till 1947 av flyghamnsstyrelsen, därefter övertogs driften av staten genom LFV. Bromma flygplats var Stockholms nationella och internationella flygplats fram till 1962, då Arlanda invigdes och all Brommas utrikes reguljärtrafik omplacerades dit. Kvar på Bromma fanns då framförallt inrikestrafik som bedrevs av såväl SAS som Linjeflyg<sup>17</sup>. Inrikestrafiken ökade under 1960- och 70-talen och med den ökade även opinionen mot flygplatsen. Till följd av detta beslutade riksdagen 1980 att även den tunga reguljära inrikestrafiken skulle flyttas från Bromma till Arlanda. (Sanz, 1996)

Efter att beslutet hade verkställts 1983 fanns enbart affärs-, taxi- och privatflyg samt ett par mindre flygbolag som bedrev inrikestrafik kvar på Bromma. Till följd av den minskade trafiken minskade även flygplatsens inkomster vilket resulterade i betydande förluster. Denna omständighet samt opinionens önskan om att upplåta flygplatsens mark till bostäder startade åter debatten om Bromma flygplats vara eller inte vara. Det senare argumentet, samt buller och övrig miljöproblematik är orsaker till att frågan debatteras än idag.

En följd av debatten var att höga krav ställdes på en omfattande miljöanpassning av verksamheten på flygplatsen. Flygplatsledningen satte miljöarbetet högt på prioritetslistan under 1980- och 1990-talet och de hade som målsättning att göra Bromma flygplats till den miljövänligaste i Sverige. Även om denna målsättning var betydligt lättare att leva upp till vid den tidpunkten än det är i dagsläget, vidtogs en hel del miljöförbättrande åtgärder under den perioden. I detta sammanhang är kanske det viktigaste exemplet var att det var först vid den tiden uppsamling av avisningsvätska initierades. (Sanz, 1996)

Efter luftfartsmonopolets avreglering 1992 startade ett antal nya flygbolag linjetrafik till Bromma. Trafikutvecklingen har därefter stadigt ökat och Bromma flygplats är idag den fjärde mest trafikerade flygplatsen i Sverige, räknat till passagerareantal, med ca 1,2 miljoner passagerare år 2003 (Luftfartsverket, 2004c). I dagsläget trafikeras Bromma flygplats av nio flygbolag vilka tillsammans ger upphov till ca 50 flygplansstarter per dag. Därutöver tillkommer flygrörelser<sup>18</sup> med affärs-, taxi-, sjuktransport-, privatflyg mm. Sammanlagt har Bromma flygplats ca 54000 flygrörelser (Luftfartsverket, 2004b) vilket innebär att flygplatsen i snitt trafikeras av ca 150 flygplansrörelser om dagen.

### D2.2 OMRÅDESBESKRIVNING.

Enligt ett markupplåtelseavtal från 1947 avsattes, ett ca 270 ha stort område av stadsdelen Ricksby i Stockholms kommun, för flygverksamhet. Området användes tidigare som jordbruksmark och är i dag Bromma flygplats. Flygplatsen är belägen ca 7 kilometer nordväst om Stockholms centrum och strax syd-väst om stadsdelen Sundbyberg.

Av flygplatsområdet är ca 180 ha inhägnade och utgör den egentliga flygplatsen. Inom det inhägnade området finns förutom start- och landningsbanan, med tillhörande taxibanor även

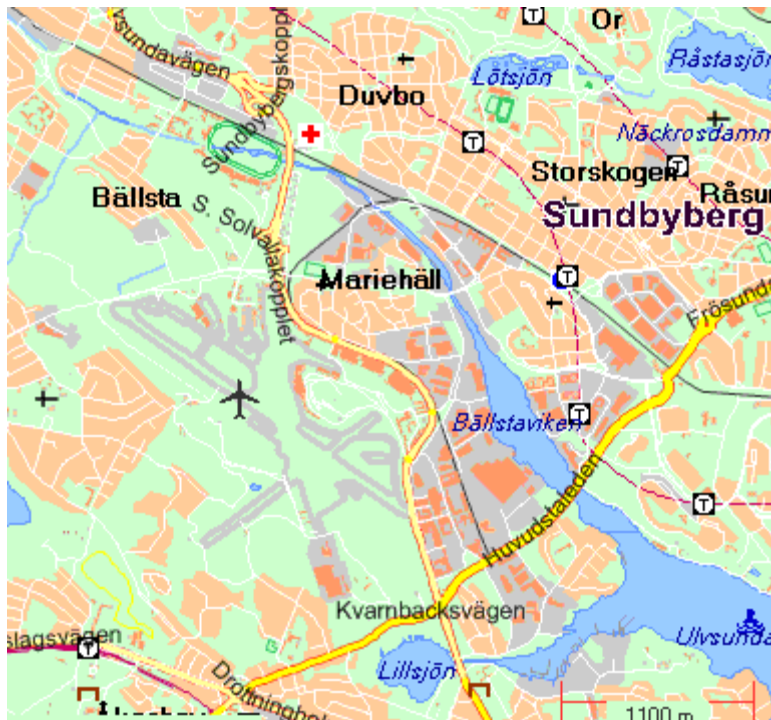
---

<sup>17</sup> Svenskt inrikesflygbolag majoritetens ägdes av Svenska staten.

<sup>20</sup> En flygrörelse är antingen en landning eller en start med flygmaskin.

stationsbyggnaden, verkstads- och kontorsbyggnader, samt arealer för hangarer, parkeringar och uppställningsplatser. Av det inhägnade området utgörs 60 ha av belagda ytor och tak, 60 ha av anlagda grösytor och resten av naturmark. (Luftfartsverket, 1993)

I det närliggande området finns ett stort industriområde öster om flygplatsområdet, i väster finns villaområden och söder om flygplatsen breder grönområden ut sig. Bromma flygplats ligger ca en kilometer väster om Bällstaviken, där Bällstaån mynnar ut i Mälaren, se figur 1. Bällstaån är belägen ca 1 kilometer nordöst om flygplatsen och löper nästan parallellt med flygplatsens huvudbana.



**Figur 1:** Området kring Bromma flygplats. Flygplatsen markeras med ett flygplan.

### D2.3 GEOLOGI

Så sent som på 200-talet e. Kr. var största delen av det som idag utgör flygplatsområdet sjöbotten och även under vikingatiden låg de centrala delarna av flygplatsen under vatten (Sanz, 1996). Följaktligen utgörs områdets mark främst av finkorniga sediment, dominerade av ler. Mäktigheten av sedimenten uppgår som mest till ca 20 meter. Torrskorpan sträcker sig till ca 2 meters djup och organiskt material har påträffats på djup av ca 7 meter. (Luftfartsverket, 1993)

Under dessa sediment ligger lager av grövre material och då främst normalblockig, sandigmoig morän. I de högre belägna områdena som omger flygplatsen saknas de fina sedimenten och marken utgörs endast av grövre material. I de högst belägna områdena går berget i dagen. När flygplatsen anlades sprängdes bergpartier bort från de högre belägna delarna. Dessa bergsmassor användes som fyllnadsmassor i vissa delar av de lägre belägna områdena. Mäktigheten av dessa fyllnadsmassor uppgår till maximalt 7 meter. (VBB Viak, 1995)

### D2.4 DAGVATTEN OCH AVRINNING.

Större delen av de hårdgjorda ytorna, ca 40 ha, avvattnas av dagvattenledningar. Dagvattnet leds via det kommunala nätet ut i Bällstaviken. Bällstaviken är en grund vik (med ett maximalt djup av 6 meter) i norra delen av Ulvsundasjön. Även ledningar från området vid

Bromma kyrka (ca 30 ha) ansluter till ledningssystemet på flygplatsområdet. (Luftfartsverket, 1993) När dagvattnet lämnar flygplatsområdet har dagvattenledningarna sammanstrålat så huvuddelen av dagvattnet lämnar flygplatsområdet i en och samma ledning. Ledningen som har en diameter på 1300 mm och en lutning på ca 0,1 %, fungerar även som breddningsavlopp åt en spillvattenledning som lämnar flygplatsen. I denna ledning tas regelbundet prov på dagvattnet.

De områden vars avrinning inte avleds via dagvattennätet, avvattnas genom de gräsytor som omger banområdet. Största delen av detta vatten perkolerar ner genom marken och transporteras slutligen till Bällstaån. Bällstaån som mynnar ut i Bällstaviken, har sin källa i Jakobsberg. Med sitt avrinningsområde på ca 35 km<sup>2</sup> är ån det största flödet (20-215 l/s) som mynnar i Bällstaviken och därigenom en kraftigt påverkande faktor för vattenkvaliteten där. Bällstaåns syrehalt varierar mellan 3,6 och 8,2 mg/l vilket kan jämföras med Bällstavikens syrenehåll på 4,5-10,9 (Luftfartsverket, 1993)

Att området till så stor del består av lerjordar kan påverka avrinningen ur ett antal olika aspekter. Den mest påtagliga inverkan uppkommer av lerjordars låga konduktivitet, vilket medför att de dräneras långsamt.

## **D2.5 GRUNDVATTEN.**

Den generella riktningen av grundvattenströmningen är östlig i riktning mot Bällstaviken. Det finns ett antal faktorer som påverkar lokala ändringar i detta strömningsmönster. Genom området löper två avloppstunnlar, som är utsprängda i berget. En tunnel är lokaliserad strax öster om flygplatsen och går i nord-sydlig riktning och den andra ligger strax söder om flygplatsen och löper i öst-västlig riktning. Även sprickzoner i berggrunden är en faktor som kan påverka grundvattenströmningen genom sin, i relation till omgivningen, höga konduktivitet. (Luftfartsverket, 1994)

För att möjliggöra provtagningar av grundvattnet inom området finns 6 observationsbrunnar Nedströms avisningsområdet. Tre av brunnarna är 10 meter djupa och ligger i lösa avlagringar/sprängsten och tre är 28 meter djupa och når ner till berggrunden. År 1993 togs i dessa brunnar, vattenprover som analyserades bl.a. med avseende på glykol. Inget prov påvisade några spår av glykol, även fast uppsamlingen vid denna tidpunkt var sparsam. (Luftfartsverket, 1993)

## **D2.6 NATURVÄRDEN, NATUROMRÅDEN OCH KULTURVÄRDEN.**

Botaniska naturvärden finns i området i nära anknytning till flygplatsen. Vid Kyrksjöområdet finns fuktlövskog och vid Tranberg finns ekskog. Dessutom finns två små sjöar inte allt för avlägset från flygplatsen, Lillsjön som ligger söder om flygplatsen och väster om flygplatsen ligger Kyrksjön. Förutom sjöarnas naturvärden med bland annat ett rikt fågelliv, fungerar de också som värdefulla rekreationsområden. (Luftfartsverket, 1993)

## **D2.7 FLYGPLANSAVISNING OCH TILLVARATAGANDE AV ANVÄNDA VISNINGSVÄTSKOR**

Flygplansavisningen på Bromma flygplats utförs av LFV:s personal och all flygplansavisning genomförs på flygplanens uppställningsplatser på rampområdet. För att minska utsläpp till dagvattensystemet är i princip alla dagvattenbrunnar i anknytning till de platser på rampområdet där avisning sker, avstängda hela avisningssäsongen.

Avisningsvätskorna som används är av märket Safewing och de typer som används är typ 1 och 2. Numer är såväl typ 1 som typ 2 MPG-baserade men tidigare har exempelvis typ 2-vätskan varit DEG-baserad.

Uppsamlingen på Bromma flygplats görs med två stycken sugbilar. Den uppsamlade glykolen lagras i en mellanlagringstank tills den pumpas via spillvattennätet till ett kommunalt reningsverk där glykolen används som extern kolkälla vid denitrifikationssteget.

I dagsläget används inte tippfickan för tippning av uppsamlad avisningsvätska. I stället tippas den uppsamlade glykolen på platsen som är avsatt för upplagring av glykolhaltig snö, snötippen. Snötippen har hydrologisk förbindelse med tippfickan via underjordiska ledningar. Därigenom når den uppsamlade glykolen ändå tippfickan. Anledningen till detta tillvägagångssätt, istället för direkt tippning i tippfickan, är att den uppsamlade glykolen är mycket ”snöslaskig” vilket medför att tippfickan lätt sätts igen vid en direkt tippning. För att motverka igensättningen finns ett elektriskt värmeaggregat installerat. Dessvärre klarar inte värmeaggregatet att smälta den uppsamlade avisningsvätskan.

Mätningar görs med avseende på MPG-koncentration, TOC-halt, BOD<sub>5</sub> och COD. Proverna tas flödesproportionellt när pumpning till spillvattensystemet från mellanlagringstanken sker och för att bestämma masstransporten mäts även vattenvolymer som pumpas till reningsverket.

Två stationära avisningsplatser anlades i början av 1990-talet, en i vardera banändan, och har använts på prov. Av diverse tekniska orsaker, beslutades att de ej skulle användas för det ordinarie avisningsarbetet och bägge platserna avvecklades. (Luftfartsverket, 1994)

## **D2.8 TILLSTÅND / MILJÖKRAV**

Det första tillståndet för något slags miljöfarlig verksamhet erhöll Bromma flygplats genom ett beslut av Koncessionsnämnden för miljöskydd, den 13 juli 1979. Tillståndet gällde drift av flygplats för inrikes linjefart och allmänflyg. Detta tillstånd har sedan dess ändrats vid två olika tillfällen och av två olika instanser, av regeringen 1980 och av koncessionsnämnden 1982. I de tillstånden förekom villkor på hur verksamheten skulle bedrivas för att reducera luft- och vattenföroreningar, samt andra störningar för omgivningen. De flesta av dessa villkor överensstämde med vad Luftfartsverket hade åtagit sig när de ansökte om tillståndet.

För flygplansavisning gällde följande krav:

*Genom att så långt som möjligt utnyttja tvåstegsavisning och andra lämpliga åtgärder skall glykolförbrukningen per avisat flygplan hållas på lägsta möjliga nivå. Den mängd glykol som förbrukas för bekämpning av snö och is på flygplan skall årligen redovisas till länsstyrelsen. (Koncessionsnämndens beslut, 1982-05-11.)*

Genom en ändring av miljöskyddslagen 1992, öppnades en möjlighet för verksamhetsutövaren att själv ansöka om åtstramning av villkoren. Detta utnyttjade Luftfartsverket och ansökte villkorsändringar både 1993 och 1995. I den tidigare av de två behandlas glykolomhändertagandet på följande sätt:



- *Ändring av markbunden verksamhet för att minska mark- och vattenförorening.*
- *Anordning av plattor för flygplansavisning, där spilld glykol samlas upp.*
- *Deponeringen av uppsamlad glykol anpassas till processen i avloppsreningsverket.*

I 1995 års ansökan redovisas de vidtagna åtgärderna för omhändertagandet av glykolen:

- *Rampytan på stationsplattan har tätats och dagvattenbrunnar tillslutes när uppsamlingen av glykol sker. Sådan uppsamling görs med sugbil.*
- *Deponeringen av uppsamlad glykol anpassas till processen i avloppsreningsverket.*

Denna ansökan innehöll även ett yrkande om villkorsändring bland annat för glykolomhändertagandet:

- *Spill av glykol från avisning av flygplan skall samlas upp till 80 procent som riktvärde.*
- *Deponeringen av uppsamlad glykol anpassas till processen i avloppsreningsverket.*
- *Rampytan på stationsplattan har tätats och dagvattenbrunnar tillslutes när uppsamlingen av glykol sker. Sådan uppsamling göres med sugbil.*

Denna ansökan hann dock aldrig färdigbehandlas innan koncessionsnämnden för miljöskydd upplöstes år 1997. Ärendet gick istället till miljödomstolen. I samband med detta lämnade LFV in nya förslag till villkor. När det gäller glykol så yrkade LFV istället för 80% uppsamling av avrunnen mängd, på 50% av totalt använd mängd glykol. Miljödomstolen behandlade frågan och presenterade sitt beslut gällande glykolomhändertagandet i en deldom hösten 2002 (deldom 2002-10-22, mål nr M 81-99). Deldomen innehåller bland annat följande punkter:

- *Utreda nitrifikationshämmande egenskaper.*
- *Utreda möjligheterna att åstadkomma så hög uppsamlingsgrad som möjligt i samband med flygplansavisning.*
- *Ytterligare utreda mängden föroreningar inklusive glykol i dagvattnet och effekten av dagvattenutsläppen i Bällstaviken/Ulvsundasjön.*
- *Som riktvärde skall 80% av spilld glykol omhändertas.*
- *Luftfartsverket skall ha undersökt detta juni 2004-07-01.*

Luftfartsverket överklagade denna deldom på de två sista punkterna. Överklagandet lämnades till miljööverdomstolen, där den i dagsläget behandlas. Ingenting har fastställts, därför är fortfarande villkoren från 1979 gällande.

Anmärkningsvärt är att LFV överklagar ett krav i deldomen som de själva har yrkat om att få i sin ansökan om villkorsändring, i en inte allt för avlägsen tid (1995), nämligen kravet på uppsamlingsgrad. Anledningen till detta diskuteras i rapportens huvuddel kapitel 5.3.

## D3. METOD

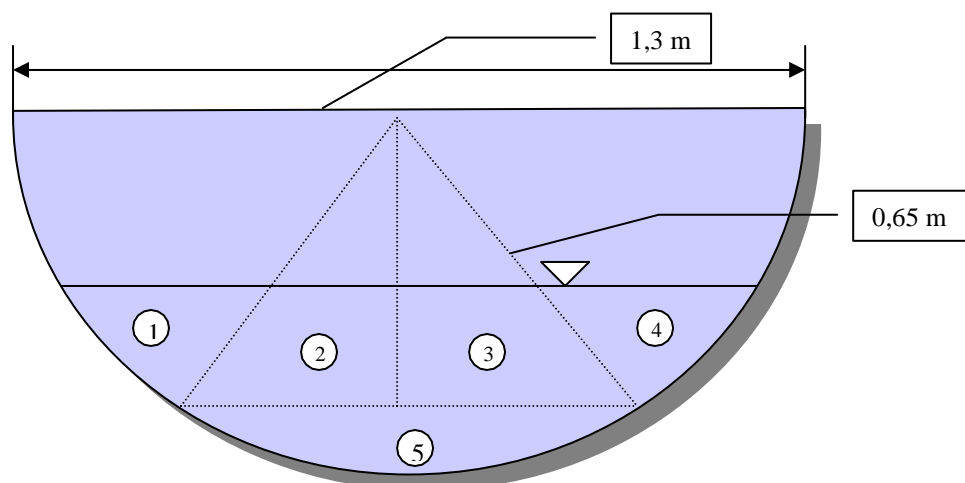
### D3.1 MASSBALANS

Massbalansen beräknades för december 2003 samt januari 2004. Under dessa månader brukar avisningen på Bromma vara som intensivast och därför har dessa månader störst inverkan på säsongen som helhet. I massbalansen delas den använda glykolen upp i fyra olika delar. 1) Det som lämnar flygplatsen via dagvattenssystemet. 2) Den med sugbil uppsamlade mängden. 3) Glykolen som kvarblir på flygplanet till taxning. 4) Diffusa sänkor. Dessa delar beräknas alla på olika sätt enligt nedan, varpå de relaterades till den totala mängden använd glykol under de aktuella månaderna.

### D3.2 Transport via dagvattenssystemet

För att beräkna hur mycket av den använda avisningsvätskan som borttransporteras via dagvattenssystemet antogs att all avisningsvätska som når dagvattenssystemet lämnar flygplatsområdet i en och samma ledning. Detta antagande är rimligt då endast en liten del av områdets dagvatten lämnar flygplatsområdet inte går via denna ledning och det området ligger långt ifrån de områden där flygplansavisning utförs. Den glykol som eventuellt lämnar flygplatsen genom andra ledningar kommer från den avisningsvätska som rinner av flygplanen vid start och borde rimligtvis ej ge upphov till mätbara halter. Genom detta antagande genomfördes endast mätningar i en brunn där huvudledningen lämnar flygplatsområdet. Mätningen genomfördes i två moment, dels flödesmätning för att bestämma hur stora vattenmängder som lämnar flygplatsen, dels en vattenprovtagning för att avgöra hur stor glykolkoncentration vattnet hade. Genom att sedan kombinera dessa två värden kan sedan den totala mängden ren PG som lämnar flygplatsen beräknas.

Flödesmätningarna som utfördes vid 18 olika tillfällen mellan 2003-10-31 och 2004-01-21, verkställdes med flygel<sup>19</sup> när det var möjligt (se nedan). Mätningarna med flygel gjordes i form av 5 punkter i ett tvärsnitt av flödet. Detta för att kunna göra en medelvärdesbildning av hela tvärsnittets strömningshastighet. Mätpunkterna var fördelade över tvärsnittet enligt figur 2, varje mätpunkt motsvarar ett delområde av tvärsnittet och mätpunkten var placerad mitt i delområdet. Alla fem delområden var lika stora men storleken varierade från mättillfällena på grund av varierande vattenstånd.



**Figur 2:** Mätpunkter vid flygelmätning.

<sup>19</sup> Flödesmätare bestående av en propeller vars hastighet beror på vattnets hastighet. Propellern är kopplad till ett räkneverk.

Flygeln förmår ej att mäta strömningshastigheter mindre än 0,02 m/s och när så låga hastigheter förekom användes i stället flotörmetoden för att uppskatta strömningshastigheten. Vid en flotörmätning mäts tiden som åtgår för ett flytande objekt att transporteras med strömmen en uppmätt distans. Genom att dividera distansen med transporttiden, kan strömningshastigheten beräknas.

Vid varje tillfälle flotörmetoden användes, utfördes fem olika mätningar. Från de fem mätningarna av transporttiderna ett medelvärde räknades ut för att bestämma en representativ strömningshastighet. Denna hastighet representerar dock bara ytvattnets hastighet och för att kunna relatera denna hastighet med hela tvärsnittets strömningshastighet gjordes även flotörmätningar parallellt med flygelmätningarna. Därigenom kunde ett samband mellan ythastigheten vid flotörmätningarna och tvärsnittets medelhastighet beräknas.

Mätningen med flygeln bör ha en relativt bra noggrannhet och mätfelet kan negligeras i jämförelse med andra felkällor. Flotörmätningen däremot antas ha en större osäkerhetsgrad, bl.a. på grund av den överskattning som uppstår eftersom den hastighet som uppmäts, ythastigheten, är större medelhastigheten för hela tvärsnittet.

Vid tio tillfällen då vattenföringen uppmättes, togs även vattenprover på dagvattnet. Dessa analyserades med avseende på koncentration MPG och TOC. Vattenproven som togs analyserades på samma sätt som proven i nedbrytningsförsöket (rapportens huvuddel 3.3.1)

### **D3.3 Glykol tillgänglig för uppsamling**

Beräkningarna gjordes enligt rapportens huvuddel 4.4. Eftersom ca 80 % av avisningarna på flygplatsen utfördes på Malmö aviations flygplan, baserades avisningsareans storlek på deras plan AVRO RJ 100 och Bae 146-200. Bägge dessa flygplan har en ungefärlig vingarea på 77 m<sup>2</sup> vilket medförde att ett värde av 85 m<sup>2</sup> uppskattades som total avisningsarea.

### **D3.4 Diffusa sänkor**

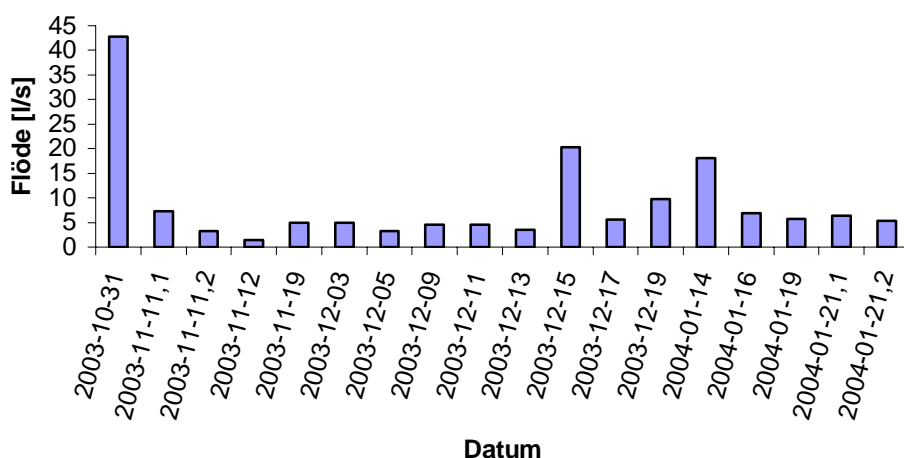
Den glykol som inte kunde mätas eller uppskattas antogs nå en diffus sänka (se rapportens huvuddel 5.4). I denna undersökning medtogs inte den glykol som följde med flygplanet utanför avisningsområdet bland de diffusa sänkorna, även om en stor del av denna glykol antas nå en diffus sänka vid start eller taxning. De diffusa sänkorna kan i detta fall istället betraktas som en transportväg från avisningsplatsen som inte kan mätas eller uppskattas t.ex. via vind, snö eller infiltration genom marken.

## D4. RESULTAT

### D4.1 MASSBALANS

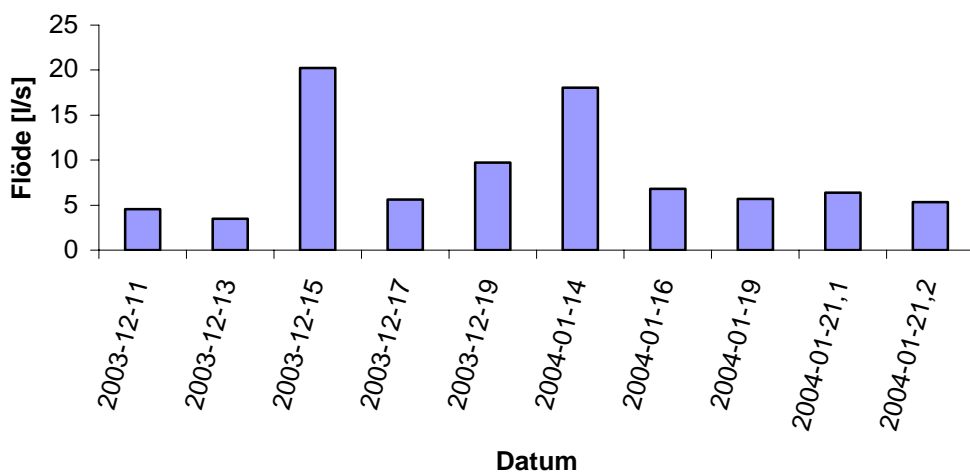
#### D4.1.1 Dagvattentransport

I figur 3 redovisas samtliga mätningar av vattenföringen som gjordes under perioden 2003-10-31 till 2004-01-21. Vid två tillfällen gjordes två mätningar under en och samma dag, fast vid olika tidpunkter. Dessa mätningar kan särskiljas genom att de förutom datumet betecknas med en siffra, 1 eller 2.



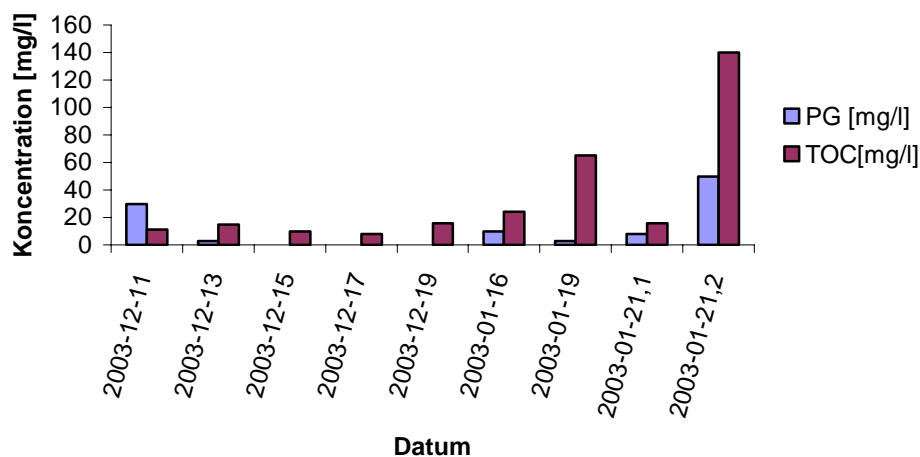
Figur 3: Vattenföring i dagvattenledning vid olika tidpunkter.

Vattenföringen vid de tio tillfällen då vattenprover togs kan studeras i figur 4.



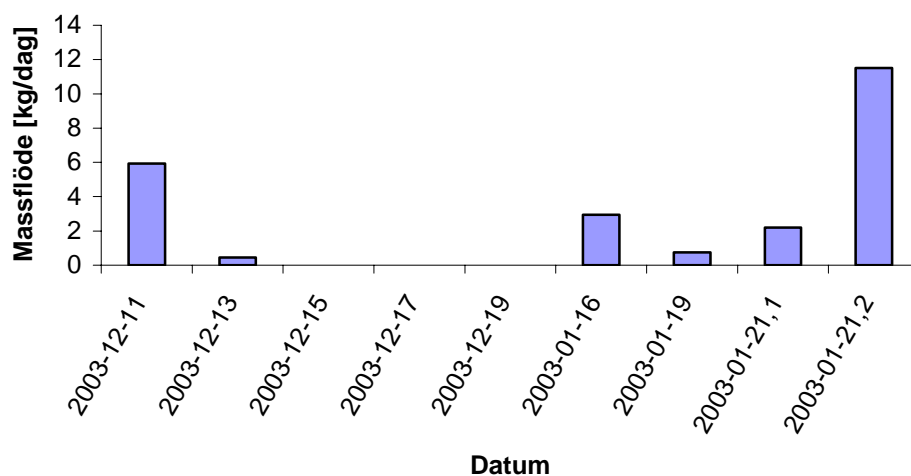
Figur 4: Vattenföring vid de måttillfällen vattenprover togs.

Figur 5 redovisar analyserna av vattenproverna. Vid analysen av MPG för provet som togs 2004-12-19 uppstod ett mätfel och resultatet medräknades ej i transport beräkningen.



**Figur 5:** Analyser av vattenprover av såväl koncentrationer MPG (PG) som TOC.

Genom att multiplicera MPG-koncentrationerna och vattenföring för respektive mätillfälle samt anta att detta värde motsvarade ett medelvärde för en hel dag, kunde en masstransport för varje dag göras. I det fall två mätningar gjordes samma dag redovisas bägge alternativen. Resultaten kan beskådas i figur 6.



**Figur 6:** Medelmasstransport [kg (MPG) / dag] varje dag mätningar gjordes.

Genom antagandet att medeltransporten för de dagar mätningar gjordes är densamma som medeltransporten för respektive månad, kunde det totala massflödet för såväl januari som december beräknas enligt tabell 1.

**Tabell 1:** Medelvärdesbildningar av massflödet av MPG från flygplatsen via dagvattnet under december 2003 och januari 2004.

Månad	Medelmasstransport [kg MPG/da]	Total masstransport [kg MPG]
December	1,27	39,6
Januari	4,35	135

#### D4.1.2 Mängd glykol tillgänglig för uppsamling

I tabell 2 redovisas beräkningen för hur mycket glykol som följer med flygplanet utanför avisningsområdet.

**Tabell 2:** Beräkning av mängd glykol kvar på flygplanskroppen fram till taxning.

Månad	Avisningsarea [m <sup>2</sup> ]	Antal de-icingar	Film tjocklek, typ 1 [mm]	MPG, typ 1 [kg]	Antal anti-icingar	Film tjocklek, typ 2 [mm]	MPG, typ 2 [kg]	MPG, Totalt [kg]
December	85	201	0,064	489	56	0,27	668	1157
Januari	85	552	0,064	1342	200	0,27	2387	3730

Tabell 3 visar hur mycket av den totalt använda MPG:n som var tillgänglig för uppsamling respektive följde med flygplanet utanför avisningsområdet.

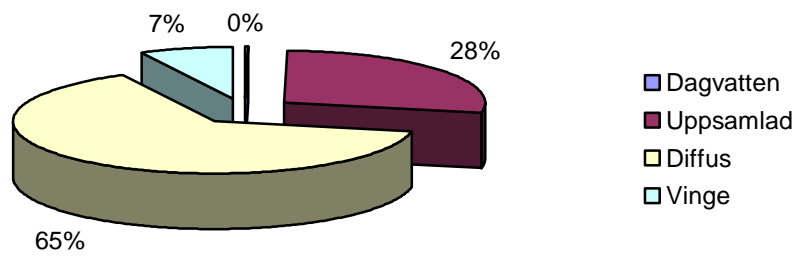
**Tabell 3:** Mängd MPG som totalt användes, kvarstannade på flygplanet respektive blev tillgänglig för uppsamling.

Månad	Totalt använd mängd [ton]	Mängd kvar på flygplan [ton]	Mängd tillgänglig för uppsamling [kg]
December	15,60	1,16	14,44
Januari	29,38	3,73	25,65

#### D4.1.3 Sammanställning

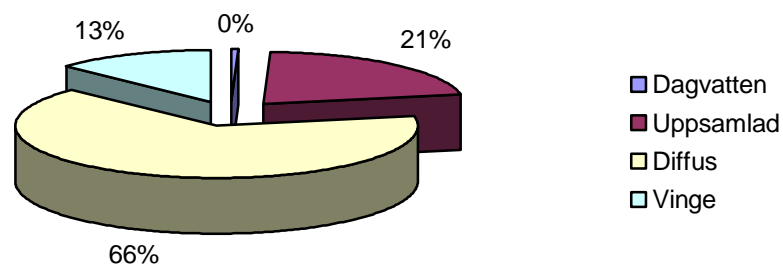
I figur 7 och 8 redovisas hur stora andelar av den totala mängden använd glykol som transporteras bort från avisningsplatsen på olika sätt. De uppsamlade mängderna togs från Bromma flygplats glykolrapport (Marklund, 2004). Eftersom ett misstänkt mätfel förelåg för januari, användes istället ett värde för MPG, beräknat utifrån COD, BOD<sub>5</sub> och TOC.

### December



**Figur 7:** Andelen MPG av total använd mängd som lämnade avisningsplatsen på respektive sätt under december 2003.

### Januari



**Figur 8:** Andelen MPG av total använd mängd som lämnade avisningsplatsen på respektive sätt under december 2003.

## D5. DISKUSSION

### D5.1 MASSBALANS

Vid Bromma flygplats görs i normala fall inga mätningar av vattenföringen i dagvattnet som går ut från flygplatsen. Vid beräkningar av masstransporter används istället en beräkningsmodell baserad på antagna avrinningskoefficienter (Luftfartsverket, 2004b). I jämförelse med beräknade värden på vattenföringen är de uppmätta värdena i denna undersökning betydligt högre. Orsakerna till skillnaden ligger främst i att beräkningsmetodens avrinningskoefficienter är antagna och inte på något sätt validerade. Givetvis beror även skillnaderna på att de uppmätta värdena baseras på diskreta mätningar och att kraftiga toppar kan ha blivit överrepresenterade i medelvärdesbildningen. En sista orsak är att beräkningsmodellen ej medtar avrinningsområdet kring Bromma kyrkby. Oavsett skillnaderna är det intressantaste att mätningarna i denna undersökning med största sannolikhet inte är underskattningar utan snarare underskattningar. Ändå så uppgår inte andelen MPG som når dagvattensystemet ens 1 % av den totalt använda mängden, trots att mätningarna gjordes under en period då avisningen var mycket intensiv. Största anledningen till detta är antagligen det faktum att i princip alla dagvattenbrunnar i anknytning till avisningsområdet är stängda under hela avisningssäsongen. För att sänka halten MPG i dagvattnet ytterligare kan även de få kvarvarande dagvattenbrunnarna i området stängas.

Andelen uppsamlad MPG är anmärkningsvärt låg samtidigt som andelen diffusa sänkor är stor. Troliga orsaker till det är följande punkter:

- **Tippning av uppsamlad avisningsvätska på tipp fickan.** Problemet som uppstår när glykolen tippas på snötippen, istället för i tippfickan, beror på att även på snötippen sätts ledningssystemet igen av ”snöslask”. Efter några tömningar blir snötippen en liten damm av glykolhaltig snö och glykolhaltigt vatten. När sedan snötippen skottas bildas en stor hög av glykolhaltig snö bakom snötippen och därigenom utanför området som är sammanbundet med tippfickan. Den glykol som finns i denna snöhög når därför aldrig uppsamlingsystemet och därigenom varken mäts eller pumpas glykolen iväg. Istället når glykolen dagvattensystemet eller infiltrerar ner genom marken och med största sannolikhet når grundvattnet.
- **Högre stressfaktor ger sämre uppsamling.** Figur 13 visar på att ett samband finns mellan antalet avisningar och uppsamlingsgrad, där fler uppsamlingar medför en sämre uppsamlingsgrad. Den mest troliga orsaken är att fler antal avisningar medför en mer stressande situation vid uppsamlingen som påverkar kvaliteten på arbetet. Denna teoristyrks av en undersökning där uppsamlingsgraden relaterades till sugbilarnas körhastighet (Svensson, 1990a), som visade på att en högre körhastighet medförde en lägre uppsamlingsgrad.
- **Förluster på grund av vind.** På Bromma används avisningsbilar där avståndet mellan sprutmunstycke och flygplanet är relativt långt, vilket kan leda till en större andel MPG som kan blåsa utanför det direkta avisningsområdet.
- **Infiltration genom asfalt.** Är inte asfaltsytor där avisningar genomförs fullständigt täta kan märkbara volymer MPG perkolerar ner genom marken och nå en diffus sänka.



- **Nederbörd.** Nederbörd i form av såväl regn som snö påverkar uppsamlingsgraden negativt (se figur 12). Under de två undersökta månaderna var nederbörden relativt stor, främst i december (78 mm i december och 37 mm i januari).

## **D5.2 KLIMATETS INVERKAN**

Klimatets påverkan på avisningen och uppsamlingen av avisningsvätskor är tydligast på åtgången av avisningsvätskor. Sambanden är logiska, kallare väderlek och nederbörd kräver fler avisningar och följaktligen även större kvantiteter av avisningsvätska (se figur 9-11). Hur uppsamlingsgraden påverkas är inte lika uppenbar. Två trender kan dock urskiljas. Den ena är att en ökad nederbörd bidrar till försämrade uppsamlingsgrad och den andra, att ett större antal avisningar leder till en sämre uppsamlingsgrad. Den senare är i och för sig inget direkt klimatfenomen men om man studerar figur 10 förstår man att antalet avisningar är väl korrelerat till antalet isdagar.

## **D5.3 MILJÖPÅVERKAN**

Brommas enda tänkbara akvatiska recipient är Bällstaviken. Bällstaviken kan räknas som en relativt känslig recipient med avseende på belastning av syreförbrukande ämnen eftersom den har en relativt hög belastning p.g.a. avrinningsområdets urbana läge. Därför är det viktigt att i största möjliga mån undvika att organiska ämnen når viken.

Det som talar emot att flygplansavisningen på Bromma flygplats skulle vara en bidragande orsak till miljöpåverkan på Bällstaviken är främst att mängden MPG från flygplatsen som via dagvattnet når Bällstaviken är små. Därtill bör tilläggas att när avisningen är som intensivast är den mikroorganismiska aktiviteten i Bällstaviken som lägst, p.g.a. låga vattentemperaturer. Det borde innebära att bara en liten del av glykolen som når Bällstaviken, bryts ner innan den har färdats vidare till större och därigenom mindre känslig recipient.

En intressant fråga ur miljösynpunkt är, vad som händer med de stora kvantiteter avisningsvätska som når de diffusa sänkorna. Bryts all MPG ner i markens omättade zon och inga anaeroba förhållanden uppstår, kan slutsatsen dras att flygplansavisningen på Bromma inte är något större miljöhot. Risken finns dock att återluftningen i jorden inte är tillräcklig för att den aeroba nedbrytningen skall bemästra all MPG. Om så blir fallet börjar glykolen brytas ner anaerobt vilket är ineffektivare och ger upphov till skadliga restprodukter. Detta får följderna att grundvattenkvaliteten försämras och i förlängningen kan även Bällstaviken drabbas.

Det är även viktigt att komma ihåg att läckage av MPG inte är det enda miljöproblem avisningen ger upphov till. Även resursanvändningen är intressant att beakta. I dagsläget används den uppsamlade glykolen som extern kolkälla vid reningsverket. Reningsverken har på senare tid blivit mer tveksamma till att mottaga glykolen (se rapportens huvuddel 6.1). Dessutom finns det betydligt lämpligare användningsområden för den använda glykolen. De alternativ som finns i dagsläget är biogastillverkning eller återvinning. Problemet på Bromma är att glykolkoncentrationerna i den uppsamlade vätskan är väldigt låg, 3-8 %. Den bästa metoden för att höja koncentrationen är att använda stationära avisningsplatser. Metoden har redan prövats en gång på Bromma och misslyckats, men med ny erfarenhet från många andra flygplatser som använder metoden utan problem borde metoden även kunna fungera på Bromma. Argumenten mot stationära avisningsplatser är de logistiska problem som kan uppstå samt ekonomin. Ett möjligt alternativ för att minska de logistiska problemen är att

använda sig av olika metoder vid olika tider på dygnet. Kvarstår gör frågan om miljövinsten vid återanvändning/återvinning är ekonomiskt försvarbar.

Det finns enklare och billigare tillvägagångssätt för att minska resursåtgången. Den ena är att minska glykolvätskemängden vid avisningen. Att vara sparsam med avisningsvätskan är positivt ur såväl miljösynpunkt som ur en ekonomisk aspekt. Förhoppningsvis gör därför personalen sitt yttersta för att minska spillet vid avisningen. Faktum är att Bromma använder lite glykol per avisning relaterat till många andra svenska flygplatser (se bilaga 2). Det man kan förbättra är att hålla en så låg glykolkoncentration i typ 1-vätskan som möjligt. Under året har glykolkoncentrationen legat runt 45 % hela avisningssäsongen. Det skulle inte bara innebära att utomhustemperaturen skulle vara i princip densamma under hela avisningssäsongen. Det skulle även innebära att utomhustemperaturen i snitt skulle ligga under  $-10^{\circ}\text{C}$ . En annan tänkbar åtgärd är att använda sig av preventiv avisning.

Redan vid inköpet av avisningsbilar kan miljövinster göras. Detta för att åtgången av glykol per avisning i stor grad kan variera mellan olika avisningsbilar. Enligt ovan kan åtgången minskas genom att använda en lägre koncentration. Detta kan uppnås genom en avisningsbil med reglerbar glykolkoncentration. Även spillet kan minskas genom att en avisningsbil används där avstånd mellan vinge och sprutmunstycke minimeras.

## **D6. ÅTGÄRDER**

### **D6.1 TÄTNING AV DAGVATTENBRUNNAR**

Redan i dagsläget är de flesta dagvattenbrunnar, där flygplansavisning sker, avstängda under hela avsningsssäsongen. Mina mätningar av glykoltransporten via dagvattensystemet visar på att mängderna över lag är små. Dock förekommer vissa dagar och tidpunkter, där mängderna är förhållandevis höga (se figur 6). Därför bör man kontrollera om ytterligare någon brunn bör stängas och även om någon av de redan stängda brunnarna läcker och måste tätas.

### **D6.2 RENOVERING AV TIPPFICKAN**

Den enklaste åtgärden för att lösa problemet vid mellanlagringssystemet är att renovera tippfickan, genom att isolera väggarna och installera ett starkare värmeaggregat. Tippfickan bör även utrustas med en mekanisk lucka som förutom utökar isolationen även kan hindra att utspädning p.g.a. nederbörd.

### **D6.3 RENOVERING AV SNÖTIPPEN**

Även om problemet på snötippen drastiskt reduceras om tippfickan kan börja användas, kan även ytterligare förbättringar göras. Snötippen bör (i alla fall till viss del) invallas. Därigenom kan spridning av glykolhaltig snö utanför området minskas. För att effektivisera snötippen bör även en uppvärmning, förslagsvis med värmeslingor, installeras.

Dessa åtgärder är kostsamma och innan man ens tänker på att genomföra dem bör en kartläggning göras av hur mycket glykolhaltig snö som i realiteten omhändertas.

### **D6.4 SPARSAMHET VID AVISNING**

Det är viktigt för personalen att alltid försöka minimera spill och att späda ut typ 1-vätskan till rätt koncentration.

### **D6.5 LÅNGSIKTIGA INVESTERINGAR**

För att ytterligare minska åtgången av MPG vid avisningen kan nya avisningsbilar införskaffas (se 5.2). För att möjliggöra återvinning/återanvändning bör en eller flera stationära avisningsplatser anläggas.

### **D6.6 TILLSTÅND**

I den tillståndsansökan som nu behandlas, har Bromma (som så många andra svenska flygplatser) angett ett mått på uppsamlingsgrad av spilld glykol som en begränsning av den miljöpåverkan flygplansavisningen ger upphov till. Svagheten i ett sådant tillstånd är dels att uppsamlingsgraden av flera anledningar både är svår att mäta och definiera, dels är uppsamlingsgraden i sig inte ett direkt mått på miljöpåverkan. Flygplansavisningens miljöpåverkan borde istället begränsas genom en maximal mängd av MPG alternativt BOD som lämnar flygplatsen. Denna transport kan sedan kontrolleras genom stickprovsmätningar av koncentration (måste dock genomföras rel. ofta) samt mätning av vattenföringen. Vattenföringen mäts lämpligen kontinuerligt. Därutöver bör prov på grundvattnet göras för att säkerställa sig om att inga anmärkningsvärda MPG-halter eller försänkta syrgashalter förekommer.

Om man ändå vill/måste behålla villkoret med en viss uppsamlingsgrad kan förändringar göras. Mätningarna av uppsamlingsgraden på Bromma är antagligen de bästa i Sverige, dock kan många förbättringar göras. Det största problemet är att uppskatta hur mycket glykol som spills ner på plattan och därigenom blir tillgängligt för uppsamling. Ett sätt att förbättra denna uppskattning är att använda metoden med avisningsvätskans filmtjocklek. Dock återstår mängden glykol som med vindens hjälp sprids utanför uppsamlingsytan.