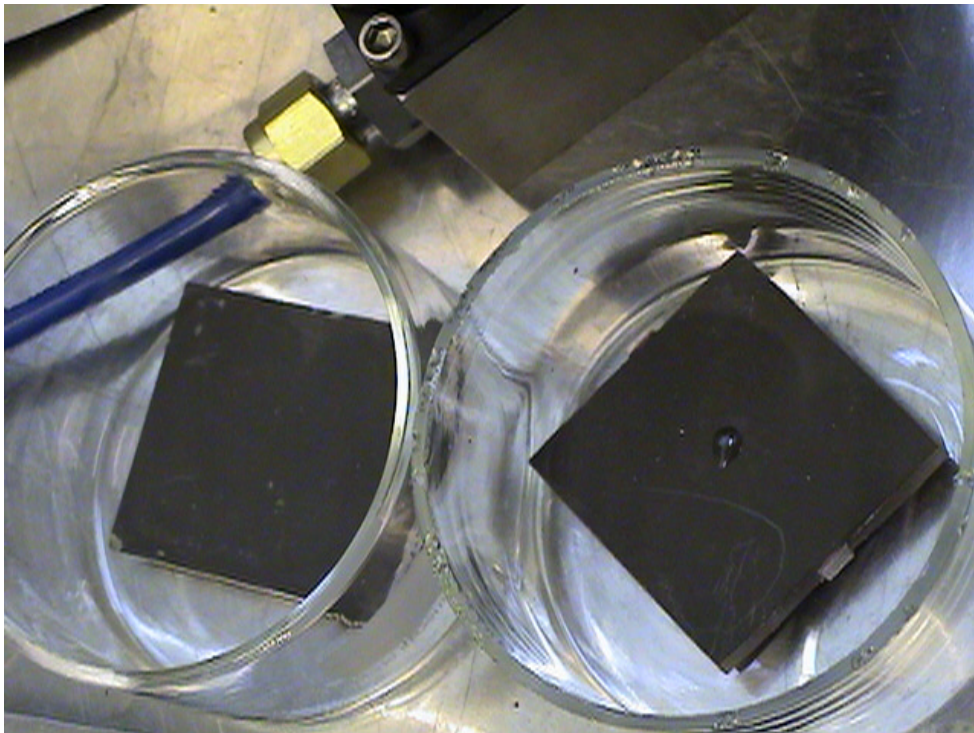


Ola Claesson, Kristina C. Arnoldsson

Sanering av militära färgsystem under kontrollerade förhållanden

- Sanering med två olika saneringssystem
- Avdunstningsbeteende hos senapsgas och soman vid olika temperaturer



Ola Claesson, Kristina C. Arnoldsson

Sanering av militära färgsystem under kontrollerade förhållanden

- Sanering med två olika saneringssystem
- Avdunstningsbeteende hos senapsgas och soman vid olika
temperaturer

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI NBC-skydd 901 82 Umeå	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1566--SE	Klassificering Underlagsrapport
	Forskningsområde 3. Skydd mot NBC och andra farliga ämnen	
	Månad, år April 2005	Projektnummer E4948
	Delområde 32 B- och C-forskning	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Ola Claesson Kristina C. Arnoldsson	Projektledare Ola Claesson	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FMV	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Sanering av militära färgsystem under kontrollerade förhållanden; -Sanering med två olika saneringssystem -Avdunstningsbeteende hos senapsgas och soman vid olika temperaturer		
Sammanfattning (högst 200 ord) Undersökningen är en fortsättning på storskaliga saneringsförsök som utförts 1998-2000, och har utförts i två delar. I del 1 utfördes saneringsförsök på tre olika färgsystem. Färgplattor belades med soman och sanerades efter 3 timmar med antingen skum (CASCAD) eller emulsion (E 2000). Den totala saneringseffekten är i samtliga fall 100 %, även för enbart vattenavspolning. Kvarvarande mängd före sanering understeg 1 % av ursprunglig mängd, vilket gjorde att saneringseffekten beroende på saneringskemikalie inte gick att bestämma. Framtida försök av denna typ bör därför avgränsa frågeställningen och/eller anpassa försöksmetodiken. I del 2 undersöktes avdunstningsbeteendet hos senapsgas och soman på fyra färgsystem vid +30°C, +5°C och -12°C. Avdunstningshastigheten beror dels på fysikaliska egenskaper hos agens (flyktighet, smältpunkt) och dels på interaktionen med färgytan (droppens utbredning). Den inbördes effekten av parametram varierar beroende på temperaturen. Variationen i avdunstningshastighet beroende på agens, temperatur och färgsystem är stor och även inom samma färgsystem kan variationen vara betydande. Detta gör det omöjligt att använda avdunstning som definierad saneringsmetod.		
Nyckelord Sanering, storskalig sanering, saneringsmedel, färgsystem, avdunstning, självsanering, kemiska stridsmedel		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 58 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency NBC Defence SE-901 82 Umeå	Report number, ISRN FOI-R--1566--SE	Report type Base data report
	Programme Areas 3. NBC Defence and other hazardous substances	
	Month year April 2005	Project no. E4948
	Subcategories 32 Biological and Chemical Defence Research	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Ola Claesson Kristina C. Arnoldsson	Project manager Ola Claesson	
	Approved by	
	Sponsoring agency Swedish Defence Materiel Administration	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Decontamination of military paint systems in a controlled environment; -Decontamination with two different decontamination systems, - Evaporation behaviour of sulphur mustard and soman at different temperatures		
Abstract (not more than 200 words) This study continues work done in 1998-2000 on large-scale decontamination, and has been performed in two parts. In part 1 decontamination trials were performed on three different paint systems. Painted plates were contaminated with soman and after 3 hours decontamination was performed using foam (CASCAD) or emulsion (E-2000). The overall decontamination effectiveness is 100 % also when only rinsing with water is done. Residual amounts before decontamination were lower than 1 % of original amounts. This sssmade the determination of the effectiveness of the decontamination chemicals impossible. Future work of this type should have a well defined question and/or the methodology should be adjusted. In part 2 the evaporation behaviour of sulphur mustard and soman were investigated using four paint systems at +30°C, +5°C and -12°C. The rate of evaporation is dependant on physical properties of the agent (volatility, melting point) and interactions with the painted surface (the spreading of the drop). The impact of the parameters varies with temperature. The variation in evaporation rate depending on agent, temperature and paint system is large. The variation within the same paint system can be significant. This makes it impossible to use evaporation as a defined method of decontamination.		
Keywords Decontamination, large-scale decontamination, decontamination agent, paint system, evaporation, self decontamination, chemical warfare agents		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 58 p.	
	Price acc. to pricelist	

INNEHÅLLSFÖRTECKNING:

SAMMANFATTNING	7
REKOMMENDATIONER	7
Förord	9
Inledning	11
Del 1. Storskalig sanering med två olika saneringssystem	12
Material och metoder	12
Resultat	13
Diskussion	13
Del 2a. Självsanering av färgsystem använda inom marinen	15
Del 2b. Avdunstningsbeteende hos senapsgas och soman vid olika temperaturer	16
Material och metoder	16
Resultat och diskussion	17
Normalisering	17
Tid till ”ofarlig” nivå	18
Kvarvarande mängder efter tre timmar	19
Avdunstningsförlopp	20
Modellering av avdunstningsförloppet	22
Slutsats och rekommendationer	23
Källor	24

BILAGOR:

Bilaga 1	Beskrivning av färgsystem	25
Bilaga 2	Beskrivning av saneringsmedel	26
Bilaga 3	Teknisk beskrivning av avdunstningsutrustning och restmängdsanalys	27
Bilaga 4	Uppmätta mängder vid eluering respektive avdunstning	28
Bilaga 5	Avdunstningskurvor	30
Bilaga 6	Avdunstningstid	57

SAMMANFATTNING

Följande undersökning är utförd på uppdrag av Försvarets materielverk. Undersökningen är en fortsättning av de storskaliga saneringsförsök som genomfördes 1998-2000, och har utförts i två delar – *Storskalig sanering med två olika saneringssystem* samt *Avdunstningsbeteende hos senapsgas och soman vid olika temperaturer*.

I den första delen utfördes storskaliga saneringsförsök under mer kontrollerade försöksbetingelser i kylcontainer vid +5°C. Vid försöken användes plattor med tre olika färgsystem som belades med soman. Före sanering fick färgplattorna ligga i 3 timmar, därefter sanerades de dels med ett kanadensiskt skumsaneringsmedel (CASCAD) och dels med ett finskt saneringsmedel i emulsionsform (E-2000). Sanering med enbart vattenavspolning prövades också. Kvarvarande mängd agens på plattorna bestämdes före och efter sanering. Teoretiskt borde ca 50% av agens ha varit kvar på plattorna före sanering. Det visade sig dock att den kvarvarande mängden understeg 1 % av ursprunglig mängd, vilket gjorde att saneringseffekten beroende på saneringskemikalie inte gick att bestämma. Den totala saneringseffekten är för samtliga metoder, även för enbart vattenavspolning, i detta fall 100 %.

Försök att undersöka skillnad i beläggningsgrad och självsanering av kontaminerade torra respektive våta ytor fick avbrytas, p g a ovan nämnda självsaneringsgrad.

I den andra delen undersöktes fyra färgsystem m a p avdunstningsbeteende hos senapsgas och soman vid tre temperaturer, +30°C, +5°C och -12°C. Även här belades färgplattor med agens. Avdunstningen skedde under laboratorieförhållanden och följdes on-line under 24 timmar för varje färgplatta. Avdunstningen kan visas bero på dels fysikaliska egenskaper hos agens (flyktighet, smältpunkt) och dels på interaktionen med färgytan (droppens utbredning). Effekten av de olika parametrarna varierar beroende på temperaturen. Utbredning över ytan av den pålagda droppen ger en högre avdunstningshastighet. Utbredningen är också orsak till att spridningen i hastighet mellan olika färgplattor inom samma färgsystem kan vara stor, eftersom ytans beskaffenhet, och därigenom utbredningen, kan skilja sig åt mellan olika plattor. Självsaneringen visar sig kunna ha en stor betydelse i vissa fall, som vid högre temperaturer och för agens med hög flyktighet som soman, där avdunstning inom en relativt kort tid kan minska mängden agens till tolerabla nivåer. Variationen beroende på agens, temperatur och färgsystem är dock stor. Även inom färgsystem kan variationen vara betydande.

REKOMMENDATIONER

Undersökningarna visar att man kan förvänta sig betydande skillnader i avdunstning av agens från ytor. Det gör att graden av självsanering är svår att bedöma. De stora variationerna i avdunstningshastighet mellan olika agens, olika färgsystem, inom samma färgsystem och de olika temperaturerna gör det svårt, för att inte säga omöjligt att använda avdunstning som en definierad saneringsmetod.

Vidare arbete bör inkludera:

- definition och avgränsning av försöksmetodiken för utvärdering av själv- respektive kemisk sanering vid fältförsök.
- bestämning av effekten av saneringskemikalier med anpassad försöksmetodik under väl kontrollerade förhållanden i container och vid låga (+5°C) temperaturer.

- de avbrutna försöken med sanering av kontaminerade våta respektive torra ytor.
- en robustare metod för analys och utvärdering vid avdunstningsförsök.

Förord

Följande rapport avser arbete utfört på uppdrag av FMV, enligt beställning 215509-LB558528 *Saneringsförsök emulsion FOI 2001*, FOI dnr 01-3097. Rapportens indelning följer beställningens försöksuppdelning.

Försöken har utförts vid FOI NBC-skydd i Umeå. Förutom rapportförfattarna har Jerker Thorpsten, Marianne Strömqvist och Anita Jansson deltagit i arbetet.

Uppdragets andra del (avdunstning från färgsystem) har i delar presenterats vid 8th International Symposium on Protection against Chemical and Biological Warfare Agents, Göteborg 2-6 juni 2004.

Inledning

Under perioden 1998-2000 utförde FOI och SkyddC, på uppdrag av FMV, storskaliga "fältsförsök" med sanering av militära färgsystem [1-2]. Totalt utvärderades fyra saneringsemulsioner och två saneringslösningar på sex olika typer av färgsystem. Försöken genomfördes utomhus vid olika temperaturer; vinter, sommar och höst, och utförandet var avsett att likna det sätt som sanering utförs under fältmässiga förhållanden. De agens som användes var senapsgas, senapsgas i blandning med diisopropylfluorofosfat och soman. Resultaten visade att under de tre timmar som färgplattorna vilade mellan påläggning och sanering så avdunstar agens. Avdunstningen beror på färgsystemet (utflytning) och årstiden (temperaturen). Kvarvarande mängder agens efter självsanering och utförd sanering var < 1 % för senapsgas och < 0.1 % för soman. Spridningen i värdena och de i vissa fall ringa mängderna kvarvarande agens efter självsaneringen gjorde det omöjligt att ge en allmängiltig bedömning av effektiviteten av de olika saneringsmedlen. För att minska variationerna i mätningarna föreslogs att laborativa metoder skulle utvecklas.

I ett senare skede utfördes kompletterande laboratieförsök där avdunstning och kvarvarande mängder agens på ytor studerades [3]. Dessa försök gav samma bild som fältsförsöken.

För att kombinera mer kontrollerade miljöbetingelser med en fortsatt utvärdering av saneringsmedel under relativt fältmässiga former planerades på uppdrag av FMV fortsatta försök. Dessa försök skulle bestå av tre delar (numrering enligt FMV's beställning):

1. En fortsatt utvärdering av saneringsmedel med samma metodik som vid de storskaliga försöken, men i en laborativ miljö. Temperaturen under försöken skulle vara 5°C, dvs. höstlika. Två olika saneringssystem; CASCAD, (ett saneringssystem baserat på skum från Irvin Aerospace Canada Ltd), och E-2000, (en saneringsemulsion framtagen vid Finska Försvarets tekniska forskningscenter, PvTT) skulle användas. Saneringen skulle utföras på tre olika, tidigare testade, färgsystem belagda med soman.
- 2a. För att undersöka graden av sanering, förutom kemisk sanering, planerades försök för att utvärdera effektiviteten med vattenbegjutna ytor som skydd mot kontaminering.
- 2b. I de storskaliga fältsförsöken visade det sig att självsanering genom avdunstning spelade en stor roll och varierade mellan olika färgsystem. Denna del av undersökningen fokuserade på en bättre förståelse av avdunstningsbeteende hos C-agens under olika betingelser. I försöken ingick att under väl kontrollerade förhållanden studera avdunstningen av soman och senapsgas från olika färgytor vid olika temperaturer.

Liknande storskaliga saneringsförsök som i del 1 har utförts av Spiez Laboratory, Schweiz. I dessa studerades avdunstning av senapsgas, soman, VX samt förtjockad senapsgas och förtjockad soman bland annat från ett polyuretanbaserat färgsystem och asfalt [4]. Emellertid användes en kortare kvarliggningstid (35 - 60 min). Temperaturen var mellan 9 och 17°C.

De färgsystem som användes vid de här presenterade försöken bestod dels av befintliga färger inom Försvaret och dels av färgsystem som är planerade att införas. Ett av de nya färgsystemen, en polyuretan pulverfärg, ger en extra hård yta och är mer kemiskt resistent än normala alkydfärger. En utförlig beskrivning av färgsystemen återfinns i **Bilaga 1**.

Del 1. Storskalig sanering med två olika saneringssystem

Försöken bygger på metodik från de storskaliga saneringsförsök som genomförts utomhus [1-2]. Undersökningens upplägg syftar till att under mer kontrollerade betingelser upprepa några av de försök som då genomfördes. Därför utfördes hela försöksserien i en kylcontainer för att bl.a. kunna kontrollera temperaturen.

Material och metoder

Försöken utfördes med färgplattor på 4 x 4 cm med färgsystem 1 (alkydfärg för fordon), färgsystem 7 (epoxi-/akrylfärg för elverk) och färgsystem 8 (polyuretan pulverfärg). Plattorna var åldrade under accelererade betingelser (50°C i 19 dagar). Som saneringsmedel användes antingen E-2000 (emulsion) eller CASCAD (skum). Beskrivning av saneringsmedlen återfinns i **Bilaga 2**.

Färgplattorna (5 per prov) belades med 4µL agens (soman) och fästes i en testrigg. Kontamineringsgraden motsvarar 2.5g/m². Efter påläggning av agens fick självsanering och ev. penetration i färgskiktet ske under 3 timmar i ventilerad kylcontainer vid +5°C, varefter plattorna sanerades. Testriggarna med plattor placerades i 45° vinkel på en avspolningsplats. Plattorna sköljdes först av med vattenledningsvatten innan saneringskemikalier lades på. Saneringskemikalierna fick verka under 30 min och spolades därefter av med 90°C vatten under tryck (8 bar). Som jämförelse användes enbart avspolning utan användning av kemikalier (försöksserie D).

Efter saneringen eluerades plattorna med hexan och restmängd agens i eluatet bestämdes. Restmängden bestämdes med intern standardmetod och med hjälp av GC-FID. Tekniska detaljer angående analysen återfinns i **Bilaga 3**. För att säkerställa analysresultaten togs också nollprov och prov på total mängd (försöksserie A resp. B). Mängd agens efter tre timmars självsanering (försöksserie C) bestämdes för att få en utgångsmängd för den kemiska saneringen.

Tabell 1

Sammanfattning av försöksserien:

Försök	Behandling
A	0-prov
B	100% prov
C	Självsanering 3h
D	Enbart vatten
E	E-2000
F	CASCAD
0	100% prov (utan platta)

Resultat

Resultaten är summerade nedan i **Tabell 2**.

Tabell 2

Kvarvarande mängd agens (soman) i % \pm standardavvikelse				
Försök		Färgsystem 1	Färgsystem 7	Färgsystem 8
A	0-prov	0.00	0.00	0.00
B	100% prov	100 \pm 7.7	100 \pm 2.0	100 \pm 3.4
C	Självsanering 3h	0.60 \pm 0.09	0.06 \pm 0.12	0.00 \pm 0.00
D	Enbart vatten	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
E	E-2000	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
F	CASCAD	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
0	100% prov utan platta	106 \pm 23	-	-

Diskussion

Analys av 0-provet (försöksserie A) visade att inga interfererande ämnen eluerar från plattorna.

Tillsätts samma mängd agens som läggs på plattorna direkt till elueringsmedlet erhålls en något större mängd än den som elueras från plattan (jämför försöksserie B med försöksserie 0 för färgsystem 1). Detta indikerar en avdunstningsförlust under det korta tidsintervallet mellan påläggning och eluering av plattorna (jämför diskussion nedan).

Alla de tre saneringsmetoderna som användes i dessa försök resulterar i fullständig sanering, ingen kvarvarande soman kunde konstateras i något prov från något av färgsystemen. Självsaneringsgraden är emellertid hög för alla tre färgsystemen, under tre timmar avdunstar allt (färgsystem 8), 99.94 % (färgsystem 7) eller 99.40 % (färgsystem 1) av pålagt agens (resultat försöksserie C). Bara en mindre del av den applicerade mängden agens återstår vid tidpunkten för påläggning av saneringsmedel. Den absoluta saneringseffekten av de olika saneringsmedlen är därmed svår att precisera.

Även vid jämförelse med tidigare genomförda försök är avdunstningshastigheten under de här rapporterade försöken påfallande hög [1]. Under höstbetingelser (+10°C) återstod efter tre timmars självsanering 6.2 % soman på färgsystem 1, att jämföra med de 0.6 % som uppmättes här (+5°C). Enligt teoretiska beräkningar av kvarvarande mängd soman vid +5°C och med en antagen effekt av ventilationen motsvarande en vindhastighet på 2 m/s, borde ca 50 % av agens ha varit kvar (**Tabell 3** och **Tabell 4**). För att erhålla den avdunstning som uppmätts borde vindhastigheten ha varit över 5m/s. Även om avdunstningshastigheten inte bara påverkas av vind och temperatur utan även av faktorer såsom interaktioner mellan agens och den målade ytan (se också nedan under **del 2b**), så kan inte detta förklara skillnaden mellan försöken. För att kunna dra fördel av de bättre definierade förhållanden som containerbaserade försök medger måste orsaken till skillnaden i resultat mellan föregående storskaliga försök och containerbaserade försök utredas.

Tabell 3

Parametrar för beräkning av avdunstning av soman vid +5°C

Substansnamn:	GD
Molekylvikt:	182.18 amu
Temperatur:	5.0°C
Ångtryck ^a vid 5.0 °C	0.061 mmHg
Flyktighet ^a vid 5.0 °C	642 mg/m ³
Massmediandiameter av droppe:	2 mm
Renhetsgrad på agens:	100 %
Vindhastighet:	2 m/s

^a(ej korrigerat för massmedian och vind)**Tabell 4**

Avdunstning av soman vid +5°C beräknat enl Kirchhoff [5]

Vindhastighet (m/s)	Avdunstning per timme (%/h)	Återstående mängd efter 3 timmar (%)
1	9.51	71
2	16.54	50
3	22.86	31
5	34.37	<10
10	59.77	<10

Del 2a. Självsanering av färgsystem använda inom marinen

En del i marinens skydd mot C-kontaminering består i att vattenbegjuta fartyget före och under anfall, för att därigenom minska en del av beläggningen. Därför planerades att undersöka vilken påverkan vattenbegjutning av ytan har på självsaneringsgraden.

Undersökningen berörde de marina färgsystemen 5 och 6. Utförandet av försöken med självsanering av våta respektive torra ytor planerades att genomföras på samma sätt som för saneringsförsöken under del 1, med en kvarliggningstid av agens på 3 timmar.

Då försöken i del 1 visade att det efter tre timmar inte skulle vara kvar tillräckligt med agens för att kunna urskilja om beläggningsgraden av agens blev lägre med våta ytor avbröts försöken, och ingen fortsatt utvärdering har skett.

I referens 4 har försök med beläggning av agens på torra och våta ytor och betydelsen av detta för sanering undersökts. Utvärdering efter sanering visade på vissa skillnader mellan sanering av torr eller våt yta. Skillnaden varierade beroende på saneringsmedlets fysikaliska form (skum, emulsion eller koncentrat). Självsaneringsgraden studerades dock inte.

Del 2b. Avdunstningsbeteende hos senapsgas och soman vid olika temperaturer

Fortsättningen av del 1 gick ut på att studera avdunstningsbeteendet hos soman (GD) och senapsgas (HD). I undersökningen användes rena agens. Blandning av senapsgas och diisopropylfosfat, som användes under de storskaliga saneringsförsöken, utgick.

Avdunstningen från olika färgsystem undersöktes vid olika temperaturer under laborieförhållanden. Avdunstningen mättes under 24 timmar och därefter bestämdes den återstående mängden av agens genom eluering.

Material och metoder

Avdunstningen mättes på rena (>99 %) C-agens, soman (GD) och senapsgas (HD).

Fysikaliska parametrar återfinns i **Tabell 5**.

Tabell 5 Fysikaliska parametrar för soman och senapsgas [6,7].

Agens	Fryspunkt (°C)	Flyktighet vid 20°C (mg/m ³)	Viskositet vid 25°C (cP)
Soman	-42	2060	3.3 – 4.9
Senapsgas	14.5	625	3.9

Tabell 6

Beräknat ångtryck och flyktighet för soman och senapsgas enl. ref. [5]

Temperatur	Ångtryck (mmHg)		Flyktighet (mg/m ³)	
	Soman	Senapsgas	Soman	Senapsgas
+30°C	460×10^{-3}	160×10^{-3}	4419	1376
+5°C	61×10^{-3}	18×10^{-3}	642	162
-12°C	12×10^{-3}	3×10^{-3}	139	29

Försöken utfördes med målade plåtplattor på 4 x 4 cm. De målade plattorna var åldrade under accelererade betingelser (50°C i 19 dagar). Färgsystemen som undersöktes var 1 (alkydfärg för fordon), 5 (alkydfärg på minröjningsfartyg) och 6 (alkydfärg för Stridsbåt 90). Dessutom undersöktes färgsystem 8 (polyuretan pulverfärg) som är en s.k. CARC-färg (Chemical Agent Resistant Coating) som ger en hård yta utan porer. Försöken utfördes som trippelförsök för varje färgsystem, utom för 8 som utfördes som enkelförsök. Varje försök utfördes vid tre temperaturer, -12°C, +5°C samt +30°C. På varje provplatta applicerades 4µL agens med hjälp av en mikroliterspruta. Applikationen utfördes med försiktighet så att färgskiktet inte rispades eller på annat sätt påverkades av sprutspetsen. Agens applicerades som en droppe, och denna fick sedan spridas på färgytan utan påverkan. Kontamineringsgraden motsvarar 2.5g/m² för soman och 3.2g/m² för senapsgas.

Avdunstningen mättes on-line i en testrigg bestående av en avdunstningskammare (FLEC), där plattan placerades, kopplad till en provtagare (ATD) för utgående luftström, och detektor (GC-FID). Tekniska detaljer rörande instrument och analyser återfinns i **Bilaga 3**.

Avdunstningskammaren är närmare beskriven i [3]. Genom avdunstningskammaren strömmade 100 mL ren luft (industri kvalitet) per minut radiellt över provet med utsug över provets mitt. Den linjära hastigheten genom avdunstningskammaren och över provet uppskattas till 0.003 m/s. Från kammarens utlopp sögs ett provflöde om 22 mL/min till

provtagningseenheten. Provtagningen skedde under 5 minuter var 10:e eller var 20:e minut beroende på om en eller två kammare kördes parallellt. Provet analyserades med gaskromatografi och flamjonisationsdetektor. Mängden avdunstat agens i varje prov bestämdes med hjälp av standardkurva. Eftersom provtagningen av avdunstad mängd inte skedde kontinuerligt, fick avdunstad mängd mellan provtagningsintervallen beräknas med interpolering. Den totalt avdunstade mängden utgörs sålunda dels av en analytiskt bestämd del och dels av en beräknad del. Vid utvärderingen har den avdunstade mängden normaliserats (se nedan under "Resultat och diskussion").

Efter 24 timmars avdunstning eluerades provplattorna och den återstående mängden av agens på plattan bestämdes på samma sätt som i del 1. All återstående mängd agens som finns på plattan antas kunna elueras ut fullständigt och inget anses vara bundet till färgen (jmf [3]). Inga signifikanta mängder av nedbrytningsprodukter kunde detekteras vid analysen.

Resultat och diskussion

Normalisering

Då både den avdunstade mängden agens samt den icke-avdunstade (eluerade) mängden uppmättes för varje försök, gjordes en massbalansberäkning för varje enskilt försök. Denna redovisas i **Bilaga 4**. Massbalansen över återfunnen mängd (summan av totalt avdunstad och eluerad mängd agens), jämfört med pålagd mängd, uppvisar en diskrepans. För soman varierar diskrepansen med temperaturen. Vid +30°C erhöles ett utbyte av ca. 35-50 % av pålagd mängd, vid +5°C ca. 50-150 % samt vid -12°C erhöles ca. 100-300 %. För senapsgas var däremot den återfunna mängden ca. 80-120 % vid samtliga temperaturer. Variationen i utbyte för senapsgas uppskattas ligga inom metodens felmarginal. Variationen i utbytet av soman verkar dock påverkas av systematiska fel. Den största källan till variationen i återfunnen mängd härrör från mätningen av den avdunstade mängden, p.g.a. de tekniska förutsättningarna och det stora antalet prov som tas vid varje försök.

För att identifiera troliga orsaker till det varierande utbytet har en genomgång av analyskedjan vid avdunstning gjorts. Analyskedjan delades i tre komponenter: avdunstning, provtagning och analys/kvantifiering.

- Vid mätning av **avdunstningen** varierar flödet över provet med temperaturen, eftersom inflödet av luft håller rumstemperatur och därigenom kyls av och krymper volymsmässigt i avdunstningskammaren. Volymen av provtagningsflödet hålls däremot konstant. Variationen i volym mellan högsta och lägsta temperatur är dock bara ca 16 % vilket endast förklarar en del av det systematiska felet.
- Under **provtagningen** sker en anrikning på en kylfälla innehållande en adsorbent som därpå desorberas för analys. Vid bestämningen av standardkurva användes däremot lösa provtagningsrör med kända pålagda mängder vilka desorberas i två steg, först till anrikning på kylfällan och därefter för analys. Affiniteten mellan soman och senapsgas, och den använda adsorbenten är god och det antas att affiniteten på adsorbenten i kylfällan inte varierar med temperaturen. Då prov och standarder inte har helt lika introduktionsvägar till analysen kan detta ge ett systematiskt fel. Storleken på felet går inte att bestämma utan fortsatt arbete.
- Vid **kvantifieringen** spänner de uppmätta avdunstade mängderna över ett större område än vad standardkurvan täcker in. Vid höga temperaturer avdunstar, i synnerhet för soman, en stor mängd agens per tidsenhet, och kvantifieringen görs med en extrapolerad standardkurva vilket introducerar osäkerheter i bestämningen. Däremot bör bestämningen vid lägre temperaturer, med avdunstade mängder inom standardkurvans intervall, vara säkrare. De höga utbytena av soman vid låga

temperaturer visar dock att ytterligare faktorer inverkar på bestämningen av mängderna.

Ett fullständigt klarläggande av variationen i utbyte av avdunstad agens har inte kunnat göras med de data som genererats i denna undersökning. Ytterligare arbete måste utföras för att kunna bestämma och öka metodens robusthet.

De erhållna värdena på avdunstad mängd kunde, p g a variationerna i utbytet, inte användas för direkta jämförelser. Vid antagandet att avdunstningsmönstret återges korrekt kan detta dock ligga till grund för en normalisering av de uppmätta värdena, vilket också genomförts. Som initialmängd för avdunstningsförloppet (100 %) sattes den pålagda mängden agens. Då bestämningen av den eluerade mängden agens genomfördes med säkerställd metod, sattes denna som slutpunkt för avdunstningsförloppet, dvs skillnaden mellan pålagd mängd och eluerad mängd ger den mängd som avdunstat under försöket. Det integrerade mätta avdunstningsförloppet normaliserades till denna mängd. I redovisning av resultat samt i diskussionerna används genomgående de normaliserade värdena istället för de absoluta, uppmätta avdunstningsvärdena.

Avdunstningsförloppen presenteras grafiskt i **Bilaga 5** och i siffror som avdunstad mängd agens efter olika tider i **Bilaga 6**.

Tid till ”ofarlig” nivå

För att ställa den studerade avdunstningen i relation till risknivå kan en jämförelse göras med de gränser för kontaktfara som användes i de storskaliga saneringsförsöken [1]. En restmängd på 0.1 g/m² för G-agens och 0.5 g/m² för H-agens ansågs där säker vid beröring [8]. Relaterad till i de här försöken pålagd mängd motsvarar detta en reduktion med 96 % för soman och med 84 % för senapsgas¹.

Vid +30°C sker i denna undersökning en reduktion av mängden soman till ”ofarlig” nivå på mindre än tre timmar för alla färgsystem (se **Bilaga 6**). I fallet med senapsgas nås nivån på knappt fyra timmar för alkydfärgsystemen och efter sju timmar för uretanfärgsystemet. Det kan noteras att avdunstningshastigheten under dessa laboratorieförsök är lägre än i motsvarande försök i [3], antagligen beroende på ett lägre flöde av luft över provytan.

Även vid temperaturen +5°C når alla färgsystem pålagda med soman riskfria mängder genom avdunstning. Spridningen i tid tills gränsen uppnåtts är dock stor, mellan 4-12 h, och med stora variationer inom samma färgsystem. En viktig orsak till variationen är den utbredning av droppen som sker under försöket (jämför [1]). Utbredningen är beroende av färgytans beskaffenhet, och variationen mellan olika plattor inom samma färgsystem är tillräcklig för att utbredningen ska skilja dem emellan. Den försöksupställning som använts tillåter inte en bestämning av droppens utbredning, vilket gör att den parametern inte har kunnat beaktas i behandlingen.

Vid +5°C befinner sig senapsgas under sin fryspunkt (**Tabell 5**). Trots det avdunstar senapsgas så att färgsystem 1 uppnår en säker nivå genom avdunstning, inom tidsintervallet 24 timmar. Inom färgsystemet varierar tiden mellan 8 och 18 timmar. För övriga färgsystem varierar avdunstningen med droppens utbredning. För färgsystemen 5 och 8, med mycket liten utbredning av droppen, nås inte gränsen för ”ofarlig” nivå inom 24 timmar. För färgsystem 6, där droppen flöt ut på två av tre plattor, avdunstar senapsgas till mängder under gränsen för dessa två plattor på 7 respektive 14 timmar, medan senapsgasen på plattan utan utbredning av droppen, inte har avdunstat inom 24 timmar.

¹ Jämför dock STANAG 4360 där gräns för desorberad mängd (kontaktid 15 min) för färg av CARC-typ (uretanfärg) anges till 0.1 g/m² för senapsgas och 0.01 g/m² för G-agens.

Vid -12°C är avdunstningen från senapsgas inte signifikant i något fall. För soman är avdunstningen vid -12°C spridd i tiden. Färgsystem 1 uppvisar avdunstning till under gränsen på 11-17 timmar, liksom färgsystem 6 på 8-14 timmar. Färgsystem 5 uppvisar avdunstning ned till gränsen för två av tre plattor, 9 respektive 16 timmar, medan en platta liksom plattan med färgsystem 8 inte når gränsen inom tiden 24 timmar.

Sammanfattningsvis kan sägas att de stora variationerna i tid mellan olika agens, olika färgsystem, inom samma färgsystem och de olika temperaturerna gör det svårt, för att inte säga omöjligt, att använda självsanering som en definierad saneringsmetod.

Kvarvarande mängder efter tre timmar

I de storskaliga saneringsförsök som utförts under fältmässiga förhållanden [1], antogs att tre timmar förflyter mellan kontaminering och sanering. Under denna tid sker en självsanering genom avdunstning. Avdunstningen kan vid höga temperaturer vara så stor att effekten av kemisk sanering i det närmaste är omöjlig att utvärdera. Även vid lägre temperaturer kan avdunstningen ge upphov till sådana variationer i kvarvarande mängd, också inom samma färgsystem, att det försvårar utvärderingen av saneringseffekten. De här genomförda laborieförsöken ger en möjlighet att jämföra fältförsöken med försök under mer kontrollerade förhållanden.

Laborieförsöken visar samma tendenser som resultaten vid fältförsöken, vad gäller effekter av temperatur och olika färgsystem, se **Tabell 7**. Högre temperatur ger större avdunstade mängder, variationen i utbredning av agens mellan olika färgsystem ger olika avdunstningshastigheter. Vid i övrigt lika förhållanden syns en skillnad i avdunstning för olika plattor inom samma färgsystem, även under de bättre kontrollerade förhållandena under laborieförsöken.

Fältförsöken gav generellt lägre kvarvarande mängder agens än laborieförsöken. Detta kan eventuellt vara en effekt av en högre vindhastighet över plattorna under fältförsöken. Ytterligare en skillnad mellan försöken är luftens fukthalt, då det under laborieförsöken användes torr, syntetisk luft vid avdunstningen.

Laborieförsöken bekräftar fältförsökens problemställning avseende utvärdering av saneringseffekt utan att resultera i förslag till förbättringar av försöksmetodiken.

Tabell 7

Återstående mängd efter tre timmars avdunstning, interpolerat resultat från tre försök om inte annat anges. Pålagd mängd senapsgas (HD) 5072 μg , motsvarande 3.2 g/m^2 , och soman (GD) 4088 μg , motsvarande 2.5 g/m^2 .

		medelvärde av återstående mängd \pm SD (i μg)	motsvarande beläggingsgrad (g/m^2)	Återstående mängd som % av pålagd mängd
HD +30°C	FS 1	620 \pm 97	0.39	12
	FS 5	890 \pm 44	0.56	18
	FS 6	240 \pm 143	0.15	5
	FS 8 ^b	1640 \pm 225	1.0	33
HD +5°C	FS 1	4090 \pm 244	2.6	81
	FS 5	4880 \pm 21	3.0	96
	FS 6	4130 \pm 920	2.6	81
	FS 8 ^a	4730 -	3.0	93
HD -12°C		ej signifikant avdunstning		
GD +30°C	FS 1	60 \pm 33	0.04	1
	FS 5 ^a	70 -	0.04	2
	FS 6	110 \pm 20	0.07	3
	FS 8 ^a	38 -	0.02	1
GD +5°C	FS 1 ^d	730 \pm 210	0.46	18
	FS 5 ^c	660 \pm 84	0.41	16
	FS 6	650 \pm 575	0.41	16
	FS 8 ^a	340 -	0.21	8
GD -12°C	FS 1 ^c	2950 \pm 226	1.8	72
	FS 5	2870 \pm 235	1.8	70
	FS 6	2930 \pm 251	1.8	72
	FS 8 ^a	3940 -	2.5	96

a) ett försök
b) två försök

c) fyra försök
d) fem försök

Avdunstningsförlopp

Ur diagrammen i **Bilaga 5**, kan utläsas att avdunstningsförloppet är uppdelat in i två faser. Detta är tydligast för soman vid +5°C och för senapsgas vid +30°C, men är även synligt för soman vid +30°C.

Den första fasen är ett dynamiskt förlopp där avdunstningen ökar med droppens utbredning på ytan. Här sker en förhållandevis snabb avdunstning av större delen av agens (ca 90 %). Utbredningen påverkas av spridningen i färgskiktet (bl.a. med hjälp av kapillärkrafter) vilket ger en högre avdunstning för alkydfärgsystemen (soman och senapsgas +30°C). Vid de lägre temperaturerna ökar viskositeten på droppen. Detta ger en långsammare utbredning, vilket avspeglar sig i en längre initial avdunstningsperiod (jämför avdunstningen av soman vid +30°C med avdunstningen vid +5°C).

Den andra fasen i avdunstningsförloppet är betydligt långsammare och har en mer konstant hastighet. Detta beror med största sannolikhet på interaktioner mellan agens och ytan, t.ex. kan porer hålla kvar agens i ytan.

Förloppen kan även grovt utläsas ur **Tabell 8** nedan.

Tabell 8

Avdunstad mängd senapsgas (HD) respektive soman (GD) vid olika tidpunkter, uttryckt som procent av ursprunglig mängd. Interpolerat resultat från tre försök om inte annat anges.

		30 min	1 h	3 h	24h
HD +30°C	FS 1	26	50	88	>99
	FS 5	14	34	82	100
	FS 6	25	61	95	100
	FS 8 ^b	15	30	67	>99
HD +5°C	FS 1	1	3	19	98
	FS 5	1	1	4	27
	FS 6	1	4	19	87
	FS 8 ^a	1	2	7	73
HD -12°C		ej signifikant avdunstning			
GD +30°C	FS 1	78	92	99	100
	FS 5 ^a	87	94	98	100
	FS 6	83	92	97	100
	FS 8 ^a	77	95	99	100
GD +5°C	FS 1 ^d	14	32	82	>99
	FS 5 ^c	20	41	84	>99
	FS 6	19	42	84	>99
	FS 8 ^a	29	61	92	100
GD -12°C	FS 1 ^c	3	7	28	>99
	FS 5	3	6	30	95
	FS 6	2	6	28	>99
	FS 8 ^a	0	1	4	57

a) ett försök

c) fyra försök

b) två försök

d) fem försök

Somans flyktighet dominerar avdunstningen starkt vid +30°C och samtliga färgsystem uppvisar en total avdunstning av agens inom sju timmar. Den huvudsakliga avdunstningen motsvarande ca 90 % av mängden sker under den första timmen. Alkydfärgsystemen uppvisar en något långsammare avdunstning än polyuretanfärgen under den senare avdunstningsfasen, vilket kan bero på att agens kvarhålls i porer i färgen.

Den mindre flyktiga senapsgasen uppvisar ett långsammare avdunstningsförlopp vid +30°C och endast från färgsystem 5 och 6 avdunstar allt agens inom 24 timmar. Den tidiga fasen av avdunstning kan jämföras med [4] där avdunstningen av senapsgas uppmättes under utomhusförhållanden vid +16°C. Avdunstningen under de första 35 minuterna visade sig där vara 24 % från polyuretanmålade plattor och 18 % från asfalt. Motsvarande tidsrymd ger i den här undersökningen 15-25 % avdunstning från alla färgsystem vid +30°C.

Den tidiga fasen av avdunstningen av senapsgas är jämfört med soman här mer tydligt beroende av färgsystem, alkydfärgerna (1, 5 och 6) med en större utbredning av droppen har ett snabbare avdunstningsförlopp jämfört med polyuretanfärgen (8) där droppen är mer sammanhållen. Som jämförelse har avdunstning av senapsgas från glasyta, där droppen inte flyter ut, studerats. Där är avdunstningsförloppet i stort sett linjärt, med 6 % avdunstad mängd per timme, ner till ca 5 % återstående mängd.

Vid +5°C syns en klar skillnad i avdunstning av senapsgas beroende på om droppen flutit ut eller inte. Observera att temperaturen ligger under fryspunkten för senapsgas vilket gör att den uppför sig som en underkyld vätska vid, och strax efter påläggning av agens. På färgsystem 5 och 8, där droppen är sammanhållen, är avdunstningen långsam. På färgsystem 6 förekommer både utbredning av droppen och sammanhållen droppe och detta färgsystem uppvisar också den största spridningen i avdunstningshastighet.

För soman sker vid +5°C en relativt snabb avdunstning där skillnader mellan individuella plattor överskuggar skillnader mellan olika färgsystem, troligen också här beroende på droppens olika utbredning. Avdunstningen sker marginellt snabbare på uretansystemet, vilket kan jämföras med avdunstningsresultat visade i [4], där soman under utomhusförhållanden vid +9°C avdunstade till 75 % från både polyuretanmålade plattor och asfalt på 45 minuter. Liksom vid +30°C sker en långsammare avdunstning av de sista 10 % av mängden från alkydfärgsystemen.

Vid den lägsta temperaturen, -12°C, är avdunstningen låg och endast av betydelse för soman i kombination med alkydfärgsystemen 1, 5 och 6, där utbredningen över ytan påverkas av interaktioner mellan färg och agens.

Modellering av avdunstningsförloppet

Den teoretiska modell för avdunstning som utarbetats vid FOI [5] har vissa begränsningar vad gäller tillämpning på de här försöken. Modellen är avsedd för beräkning av avdunstning under utomhusförhållanden, vilket bl.a. innebär att vindhastigheten antas vara mycket högre än det luftflöde som förekommer under laboratorieförsöken. En viss korrigering för droppens utbredning finns inbyggd i modellen men utbredningen antas sannolikt vara mindre än vad som erhållits under försöken [9]. Avdunstningen antas också ske med konstant hastighet och modellens användningsområde är begränsat till 90 % av avdunstad mängd. Modellens begränsningar blir uppenbara i de beräknade avdunstningstiderna som är betydligt längre än de experimentellt visade (**Tabell 9**). Detta visar att faktorer som droppens utbredning på ytan har en stor betydelse för avdunstningen speciellt vid låga luftflöden.

Tabell 9

Beräknad avdunstningshastighet för senapsgas resp soman enl. [5], vid en droppdiameter på 2 mm samt en uppskattad vind på 0.01 m/s (motsvarar 0.003m/s 5 mm över ytan). Hastigheten är angiven som procent per timme.

agens	+30°C	+5°C	-12°C
HD	0.50	0.06	0.01
GD	1.52	0.24	0.06

Den relativa avdunstningshastigheten per agens beräknad på försöksdata, stämmer förhållandevis väl med modellen. Däremot är överensstämmelsen av den relativa hastigheten inbördes mellan soman och senapsgas sämre vid de olika temperaturerna. Det faktum att avdunstningen från senapsgas undersökts vid temperaturer som underskrider stelningstemperaturen har säkert inverkan på detta resultat.

Slutsats och rekommendationer

Sanering av C-agens kan delas upp i avlägsnande av agens, t.ex. självsanering genom avdunstning, och destruktion t.ex. genom kemisk sanering. I den här undersökningen visas att avdunstning kan spela en signifikant roll för självsaneringen, men att den varierar med agens, temperatur och underlag (färgsystem). Avdunstningens temperaturberoende kan förmodas bero på inverkan på fysikaliska parametrar som flyktighet och viskositet för agens. Interaktioner mellan agens och färgyta påverkar storleken av utbredningen av agens över ytan och därigenom storleken av den exponerade ytan för avdunstning. De påverkar också tillgängligheten av agens för avdunstning genom kvarhållning av agens i porer i ytskiktet. Interaktionerna mellan agens och färgytan gör att avdunstningen inte uppvisar ett idealt beteende. Det innebär att uppskattning och modellering av avdunstningen blir mer komplicerad. Relativt enkla avdunstningsmodeller som GASSY-modellen [5] är inte tillämpbara för att bedöma avdunstningshastigheter i det här fallet.

I likhet med tidigare studie [1] visas att avdunstningen under kvarliggningstiden gör att saneringseffekten av de kemiska saneringsmedlen är svår att bestämma, till och med under väl kontrollerade förhållanden. Den totala saneringseffekten inkluderat självsanering kan naturligtvis bestämmas, men det separata bidraget av den kemiska saneringen blir svår att precisera när det inte finns ett fastställt startvärde, dvs när den kvarvarande beläggningsgraden är alltför påverkad av avdunstning. Frågeställningen inför saneringsförsök bör därför vara väl definierad och avgränsas utifrån de förutsättningar som väljs, försöken måste dessutom utformas med tanke på vilken effekt som skall undersökas (jmf [4]).

De experimentella förutsättningarna i de laborativa försöken i del 2b är bestämda utifrån att erhålla väl definierade parametrar och inte för att kunna avspegla realistiska förhållanden, därför kan inte de mätta avdunstningshastigheter sägas avspegla verkliga förhållanden fullt ut. Flödet i avdunstningskammaren är lågt jämfört med normala vindförhållanden och den använda luften är torr och motsvarar alltså inte normal luftfuktighet. Det har inte gått att reproducera resultat erhållna vid fältförsök under laboratorieförsöken. Däremot har variationen i avdunstning vid olika temperaturer, från olika färgsystem och variationer i avdunstning inom samma färgsystem uppvisat samma tendenser.

De stora variationerna i avdunstningshastighet mellan olika agens, olika färgsystem, inom samma färgsystem och de olika temperaturerna gör det svårt, för att inte säga omöjligt att använda avdunstning som en definierad saneringsmetod. De erhållna resultaten ger däremot en fingervisning om avdunstningsbeteendet för respektive agens på dessa färgsystem, vilket kan behöva beaktas under tiden innan sanering kan utföras.

Även om huvuddelen av en C-kontaminering kan försvinna genom avdunstning inom en rimlig tid vid högre temperaturer, kommer små restmängder att ta väsentligt längre tid att avdunsta. För att få bort de sista resterna agens från släta ytor krävs sanering, men för små rester krävs inte högeffektiva saneringsmedel. En frågeställning vid sidan av denna undersökning är kvarvarande agens i fogar och liknande (jmf [4]). Där kan sådana mängder agens kvarstanna, trots avdunstning, att kontaktrisker uppnås. Detta kräver sanering med effektiva saneringsmedel och –metoder. Sanering kan också behövas om avdunstningen sker till slutna utrymmen över en längre tid.

Vidare arbete bör inkludera de avbrutna försöken med beläggningsgrad och självsanering av kontaminerade våta respektive torra ytor. En modifiering av förutsättningarna måste göras, förslagsvis med en kortare kvarliggningstid samt eventuellt utföras med ett agens med lägre

flyktighet än soman. Också om effekten av den kemiska saneringen ska utredas ytterligare, måste en modifiering av metodiken vid fältförsök ske.

För storskaliga försök bör fortsatt arbete även framledes utföras i container för att erhålla så kontrollerade förhållanden som möjligt. Försöken bör fokusera på låga temperaturer där förhållandena kan förmodas vara besvärligast ur saneringssynpunkt.

En robustare metod för analys och utvärdering vid avdunstningsförsök bör arbetas fram, där bl a arean över vilken agens breder ut sig kan bestämmas eller bedömas. De osäkerheter som kvarstår i metoden kan också minskas med ett större statistiskt underlag.

Källor

- 1 Claesson O. et al. (2000) *Storskaliga saneringsförsök – E-95 och CASCAD*. Användarrapport FOA-RH--00-00571-862—SE. ISSN 1104-9154
- 2 *Rapport efter genomförda saneringsförsök*. 2000-12-01. Rapport från Skyddscentrum, 21120:60500, FOA Dnr 00-5869.
- 3 Claesson O., et al. (2000). *Sanerbarheten hos marina färgsystem. Kompletterande laborieförsök* Umeå FOA. Användarrapport. FOA-R--00-01534-862—SE. ISSN 1104-9154
- 4 Aue W., Guidetti F. (2003) *Live Agent Decontamination field trials with HD, THD, VX, GD and TGD: Comparison of three Decontamination Chemicals on seven Materials*. Labor Spietz, CH. LS 2003-14. Confidential.
- 5 Nyrén K., Broxvall Å. (1988) *GASSY. Datorprogram för beräkning av ångtryck, flyktighet och avdunstning av kemiska stridsmedel och similiämnen*. FOA rapport CH 40059--4.5.
- 6 Töpfer H.-J. *Kärcher: Pocket Handbook. Nuclear Biological Chemical Defence. Ed.2*. Winnenden 2000.
- 7 Santesson J. (1984) *C-ordbok. Förkortningar, akronymer och trivialnamn*. Rapport FOA A 40048-C1.
- 8 Thierauf. *Grundsätze der Dekontamination durch ABCAbwaTr und ABCAbwTr des Heeres*. Mannheim 1997.
- 9 Personlig kontakt, Stellan Winter FOI-NBC-skydd. December 2004.

Bilaga 1 Beskrivning av färgsystemFärgsystem 1: alkydfärg

målningssystem standard (underlag plåt)

Washprimer FSD 7064	5-10µm
Grundfärg FSD 7056	30µm
Täckfärg FSD 7211	2×30µm
Maskeringsfärg 7403	30µm

Färgsystem 5: alkydfärg

målningssystem för väderdäck på minröjningsfartyg (underlag plastlaminat)

Intergard 088-089	30µm
Maskeringsfärg FSD 7416	40µm
Maskeringsfärg FSD 7416	40µm

Färgsystem 6: alkydfärg

målningssystem för fartygssidor och däck på Stridsbåt 90 (underlag aluminium)

Intershield ENA 300/303	30µm
Intergard FAJ 034/ FAA 262	40µm
Interlack CLA 022 049 M	30-60µm

Färgsystem 7: epoxid-/akrylfärg

målningssystem för elverk, enligt Hitzinger K06429 (underlag plåt)

Grundfärg Ebelux A 10	
Täckfärg Ebephen AC	
sammanlagd tjocklek	120 – 130 µm

Färgsystem 8: polyuretanfärg pulver

målningssystem för kemiskt hårdgjorda ytor (underlag plåt)

Beckrytan TJ-590-4326-01	60-80µm
--------------------------	---------

Bilaga 2 Beskrivning av saneringsmedel**CASCAD**

Tillverkas av Irvin Aerospace Canada Ltd och är ett saneringssystem där ett speciellt munstycke gör att saneringsvätskan bildar ett skum med bra vidhäftningsförmåga. I försöken användes en ryggburen spruta för sanering av mindre föremål.

Komponent	vikts%
GCE2000 emulgator	4.5
- natriummyristylsulfat 10-30%	
- natriumolefin(C14-C16)sulfonat 10-30%	
- mm	
GP2000C aktiv komponent	11.6
- natriumdikloroisocyanurat 40-70%	
- natriumkarbonat 10-30%	
- mm	
GPX lösningsmedel	8
- polypropylenglykol 425	
vatten	75.9

E-2000

Framtagen vid PvTT, Finska Försvarets tekniska forskningscenter, och är en emulsion med god vidhäftningsförmåga och låg fryspunkt. Som emulgator används natriumdodecylbensensulfonat (Teepol). Aktiv komponent är natriumhypoklorit och xylen används som fettlösande och penetrerande beståndsdel. Konsistensgivare och fryspunktssänkande ingredienser är talk och kalciumklorid. Emulsionen blandas direkt i saneringssprutan. I försöken användes en saneringsspruta för sanering av mindre föremål (M2336-112011 Saneringsspruta 8L).

Bilaga 3 Teknisk beskrivning av avdunstningsutrustning och restmängdsanalysAvdunstningsutrustning (del 2b)

FLEC: diameter 15 cm
volym ca 40 mL
flöde 100mL/min

Thermal desorber (Perkin-Elmer TurboMatrix)

temperaturer:

ventil 200°C
rör 200°C
transfer 210°C
fälla 20°C – 40°C/s – 250°C

tider: tid för cykel 10 min
provtagningstid 5.0 min
purge 1.0 min
desorption 1.0 min
hålltid fälla 1.0 min

Gaskromatograf – flamjonisationsdetektor (HP 5880A)

kolonn: DB-5, 30m x 0.53 mm, film 1.5micron, bärgas kvävgas
temperaturprogram: 100°C/0.1 min – 20°C/min – 200°C/0.1 min
detektortemperatur: 250°C

kalibrering: standardkurva 50 – 1000 ng GD, 12-1270 ng HD
kontroll: analys 500, 1000 ng GD samt 635, 1270 ng HD
kalibrering och kontroll utförs med lösningar som får indunsta på adsorbentrör (5 – 10 min med vakuumsug) och sedan analyseras enl. metod

Restmängdsanalys (del 1 och 2b)

Eluering av provplatta utfördes med n-hexan med tillsatt intern standard undecan 50 ppm. Elueringsvolym per prov var 30 mL och elueringstid var 10 min. Viss omrörning gjordes under elueringen.

Gaskromatograf – flamjonisationsdetektor (HP 5890)

kolonn: DB-5-MS, 30m x 0.25mm, film 0.25micron, bärgas helium
temperaturprogram: 40°C/1min – 10°C/min – 260°C

kalibrering: standardkurva
kontroll: 100%-prover; 5 x elueringsfas med direkt tillsatt mängd agens (4 µL) analyseras enl. metod

Bilaga 4 Uppmätta mängder vid eluering respektive avdunstning.Senapsgas

a) Eluerad och avdunstad mängd senapsgas (HD) samt summerad mängd (utbyte) jämfört med teoretiskt utbyte. Pålagd mängd 5072 µg.

		eluerad mängd µg	avdunstad mängd µg	% av teoretiskt utbyte	
HD +30°C	FS 1	0.0	4779	94.2	
		2.0	4858	95.8	
		2.5	5068	100.0	
	FS 5	0.0	4352	85.8	
		0.0	4158	82.0	
		0.5	4353	85.8	
	FS 6	0.0	4742	93.5	
		0.0	6251	123.2	
		0.0	4846	95.5	
	FS 8	0.0	2819	55.6	
		7.6	2746	54.3	
	HD +5°C	FS 1	35.5	5622	111.5
33.0			6274	124.3	
181			5713	116.2	
FS 5		3302	1244	89.6	
		3865	1838	112.4	
		4027	1429	107.6	
FS 6		0.0	4718	93.0	
		8.6	5735	113.2	
		1801	1775	70.5	
FS 8		1380	1974	66.1	
HD -12°C		FS 1	4428	152	90.3
			4007	377	86.4
	4230		230	87.9	
	FS 5	4697	75	94.1	
		4884	94	98.2	
		5011	83	100.4	
		5214	75	104.3	
	FS 6	4874	186	99.8	
		4489	84	90.2	
		4408	105	89.0	
		4260	109	86.2	
	FS 8	4742	53	94.6	

Soman

b) Eluerad och avdunstad mängd soman (GD) samt summerad mängd (utbyte) jämfört med teoretiskt utbyte. Pålagd mängd 4088 µg.

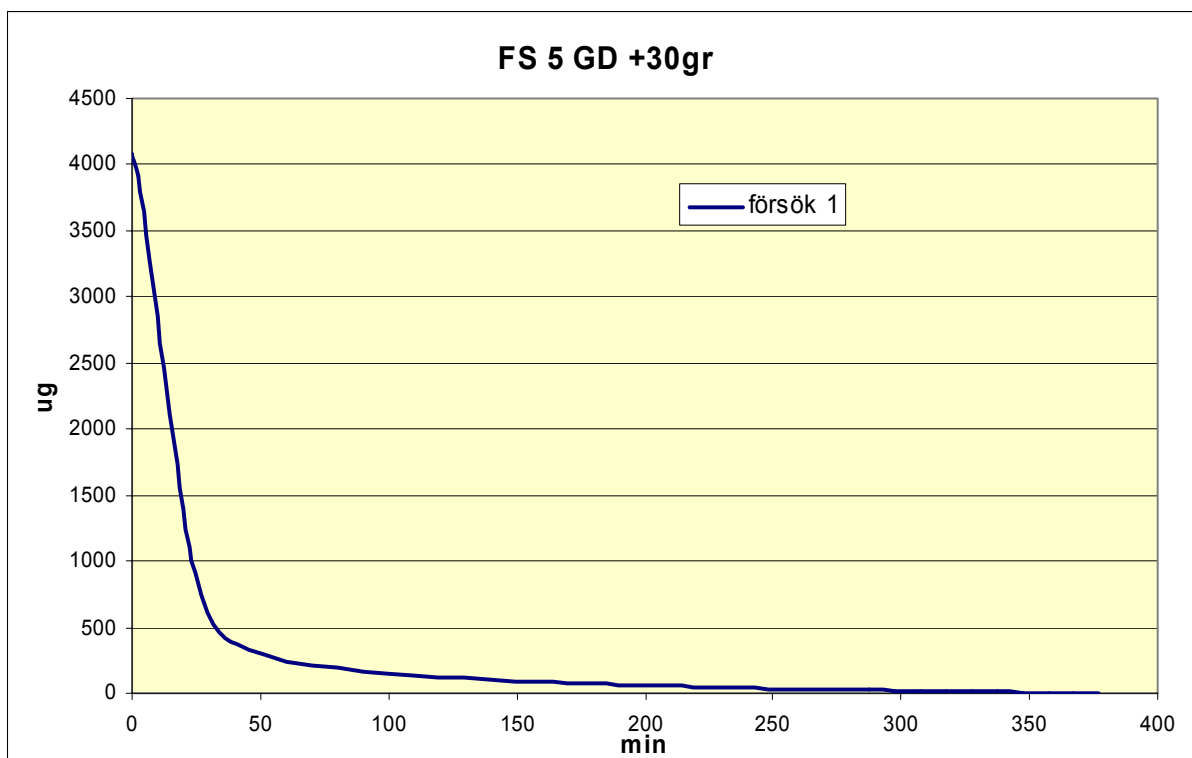
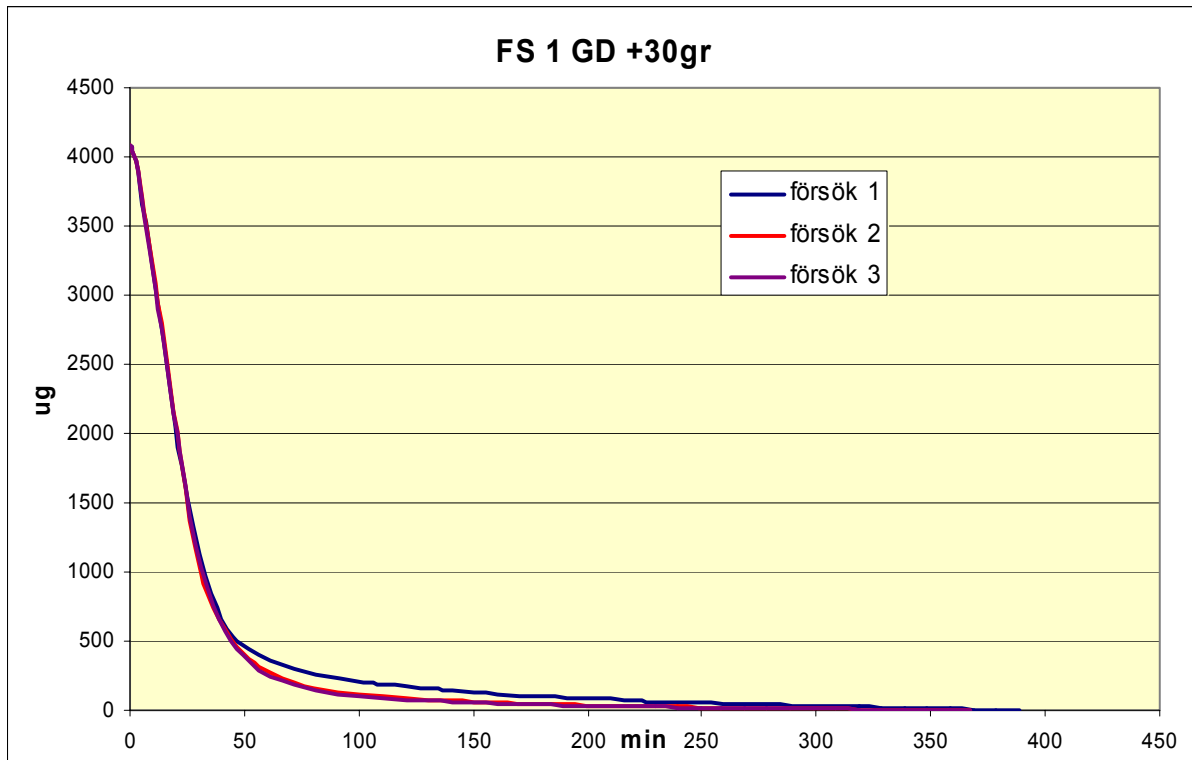
		eluerad mängd µg	avdunstad mängd µg	% av teoretiskt utbyte
GD +30°C	FS 1	0.0	1812	44.3
		0.0	1285	31.4
		0.0	1437	35.1
	FS 5	0.0	1619	39.6
	FS 6	0.0	1544	37.8
		0.0	1633	40.7
		0.0	1644	40.2
	FS 8	0.0	1975	48.3
GD +5°C	FS 1	0.0	3764	92.1
		0.0	2765	67.6
		40.8	4096	101.2
		53.2	1968	49.5
		71.9	6554	162.1
	FS 5	0.0	1548	37.9
		0.0	2027	49.6
		55.6	5411	133.7
		57.2	3105	77.3
	FS 6	11.1	3398	83.4
		16.4	2723	67.0
		32.1	3260	80.5
FS 8	0.0	2767	67.7	
GD -12°C	FS 1	8.2	8373	204.8
		27.5	3830	94.4
		32.3	10942	268.4
		62.8	11293	277.8
	FS 5	0.0	9343	228.6
		68.8	9557	235.4
		505	7056	184.9
	FS 6	0.0	6765	165.4
		17.0	10175	249.3
		57.2	11608	285.3
	FS 8	1762	7140	217.8

Bilaga 5 Avdunstningskurvor

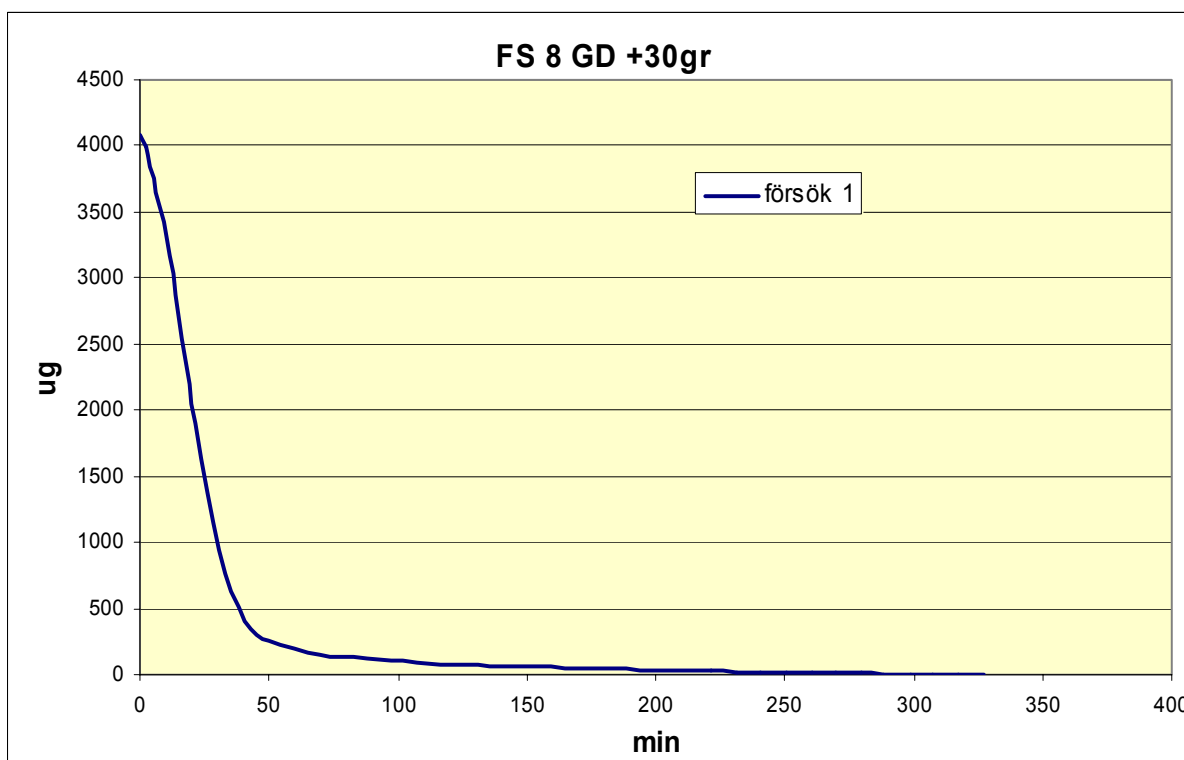
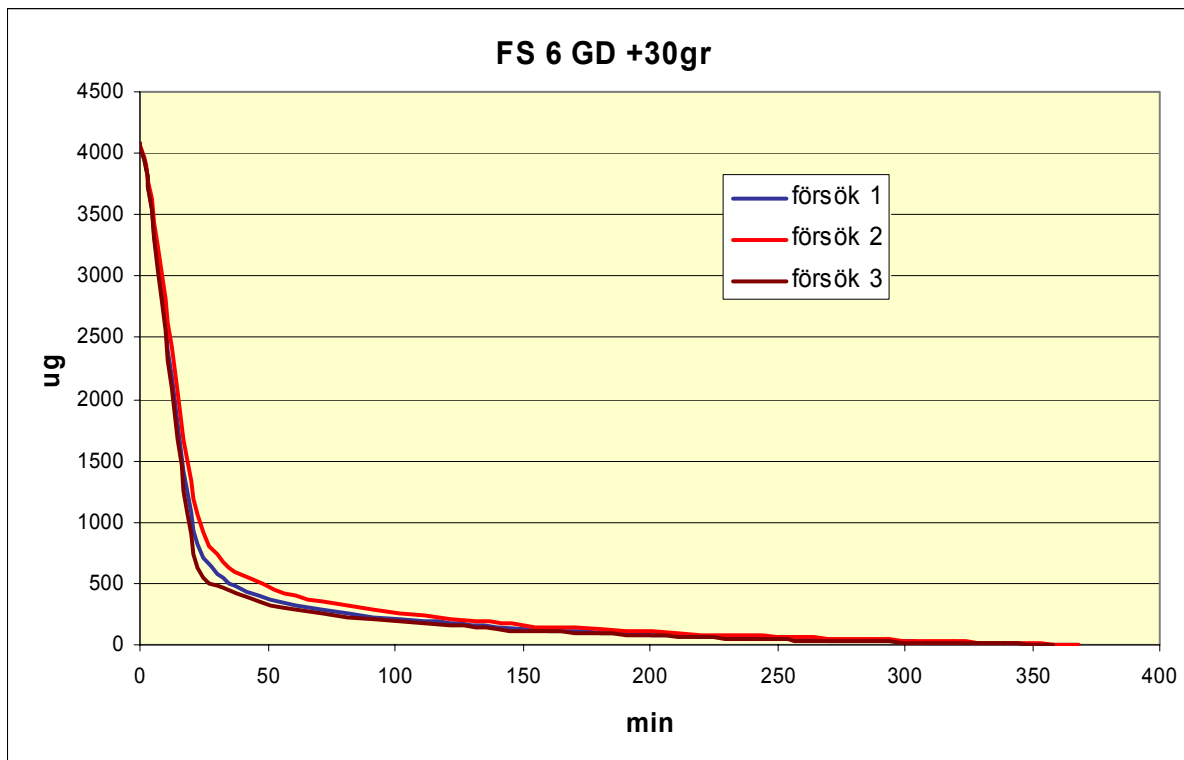
1. Avdunstningskurva för soman vid +30°C
 - a. normal skala
 - b. logaritmisk skala
 - c. som b. med tidsskala 0-1600 min
2. Avdunstningskurva för soman vid +5°C
 - a. normal skala
 - b. logaritmisk skala
3. Avdunstningskurva för soman vid -12°C
 - a. normal skala
 - b. logaritmisk skala
4. Avdunstningskurva för senapsgas vid +30°C
 - a. normal skala
 - b. logaritmisk skala
5. Avdunstningskurva för senapsgas vid +5°C
 - a. normal skala
 - b. logaritmisk skala
6. Avdunstningskurva för senapsgas vid -12°C
 - a. normal skala

7. Interpolerade avdunstningskurvor för soman
8. Interpolerade avdunstningskurvor för senapsgas

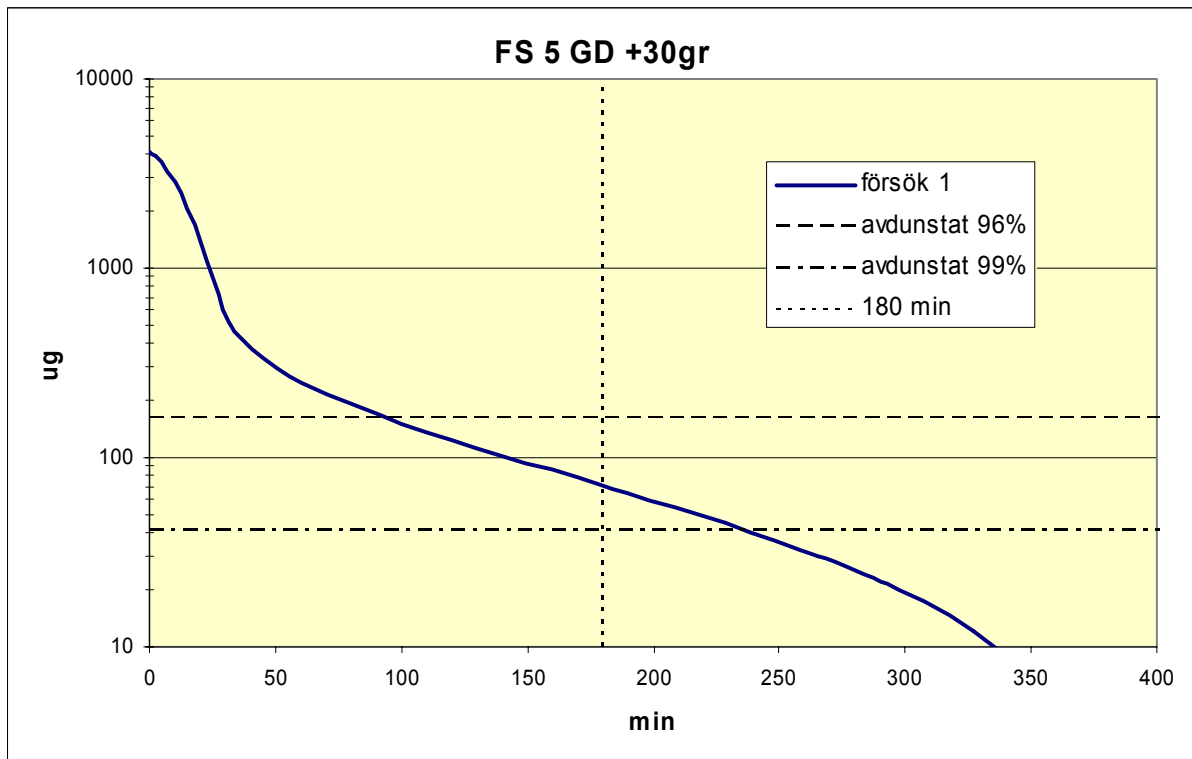
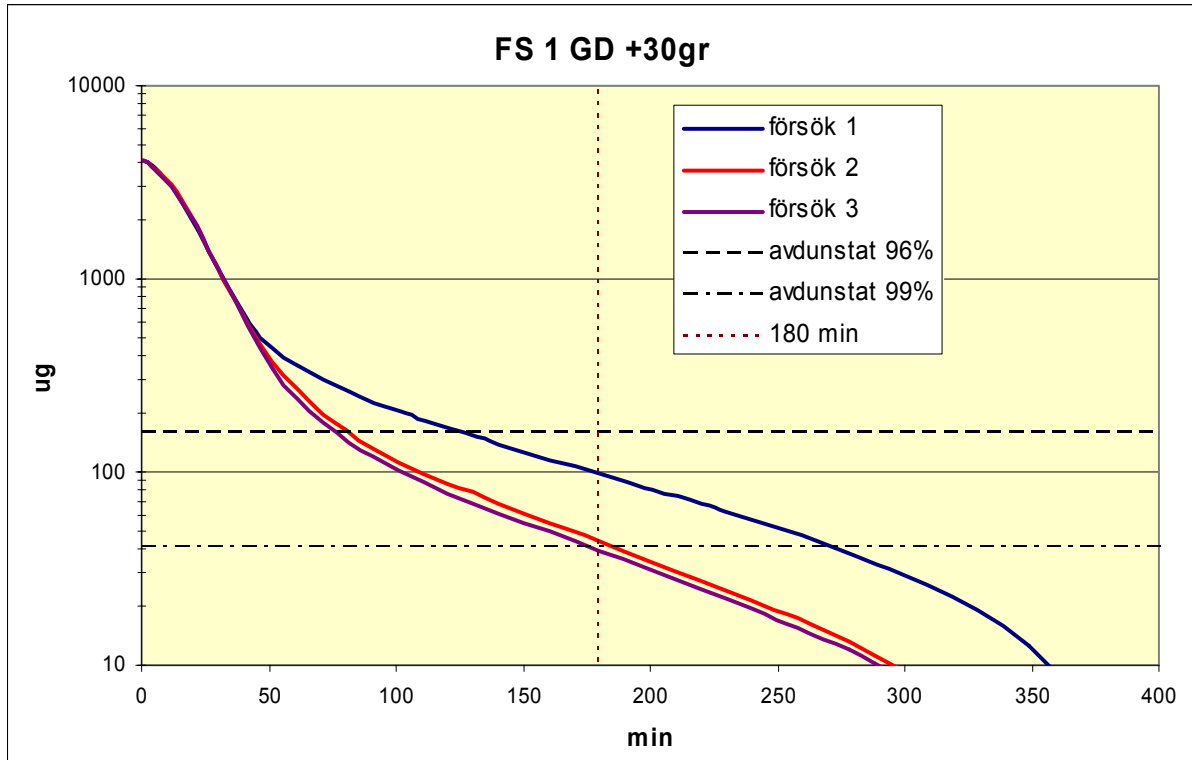
1. Avdunstningskurva för soman vid +30°C
 - a. normal skala; färgsystem 1 och 5



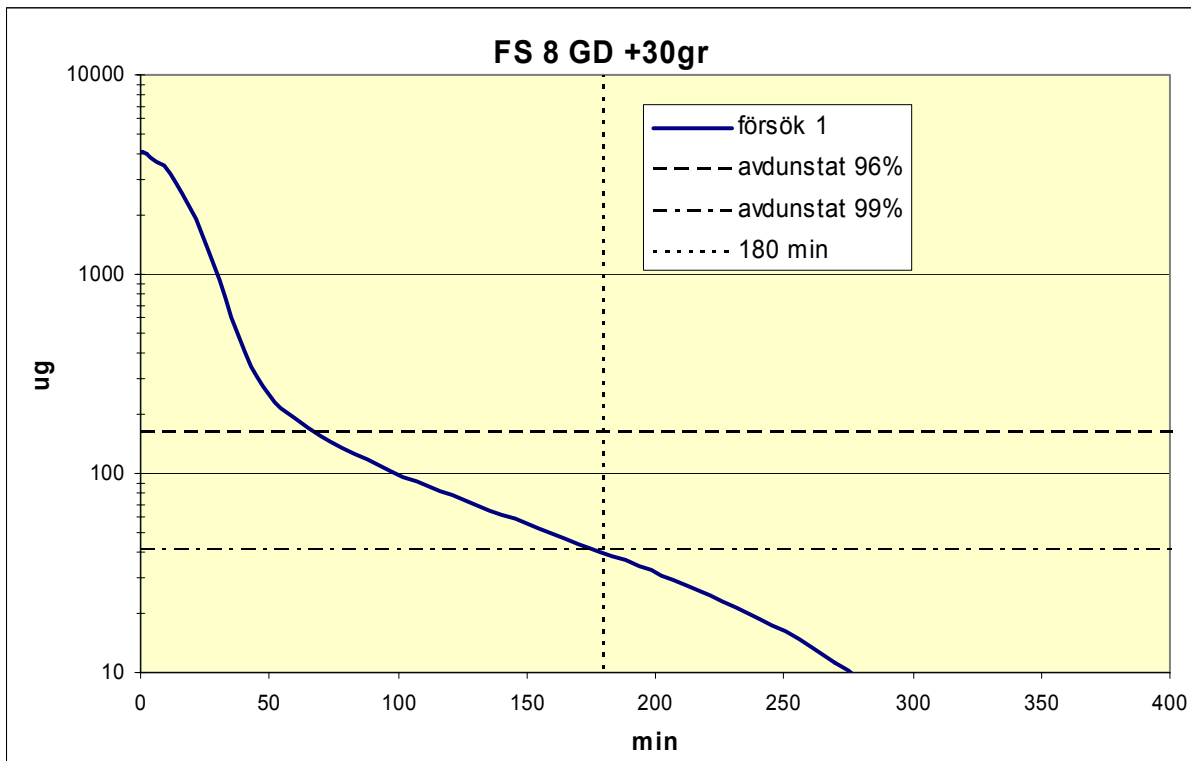
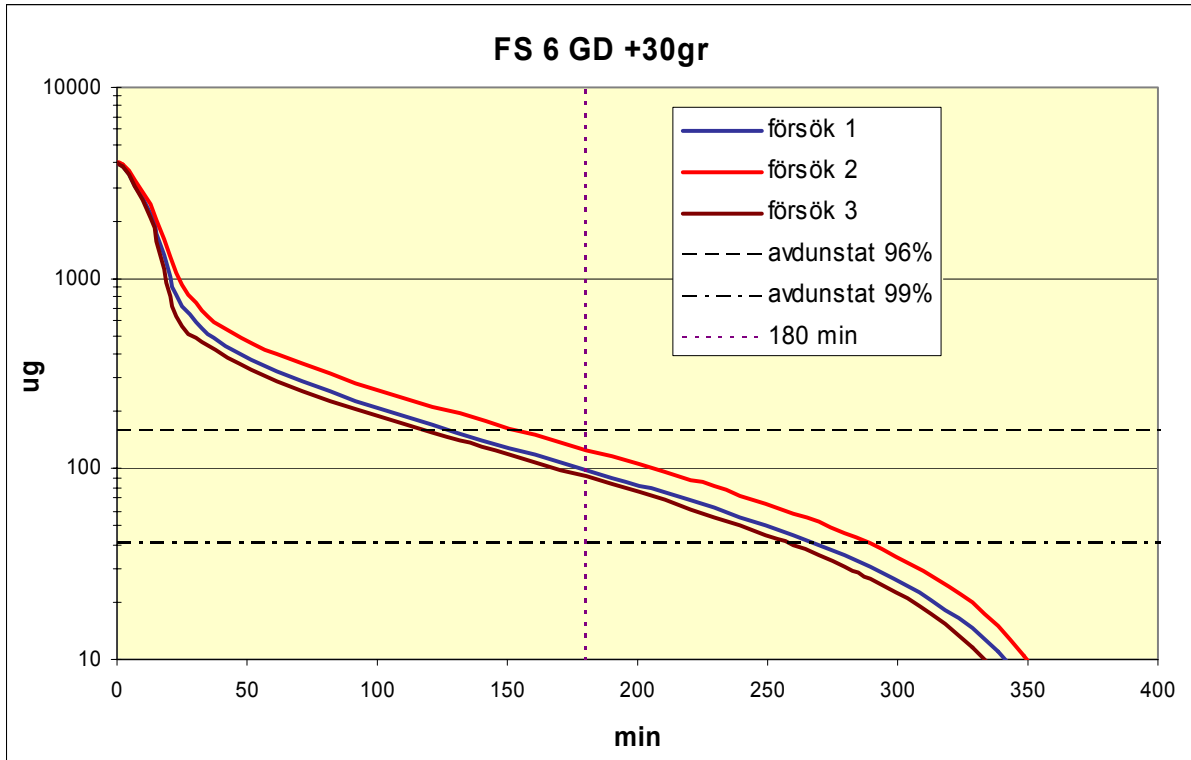
1. Avdunstningskurva för soman vid +30°C
 - a. normal skala; färgsystem 6 och 8



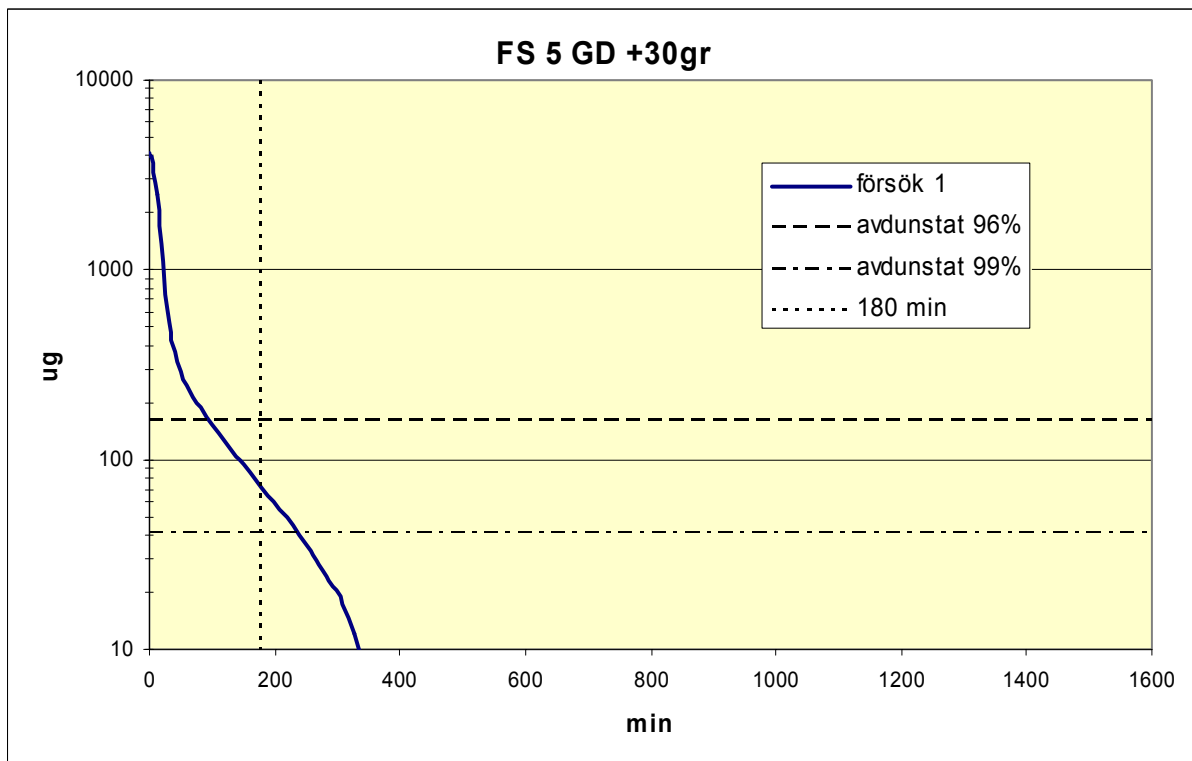
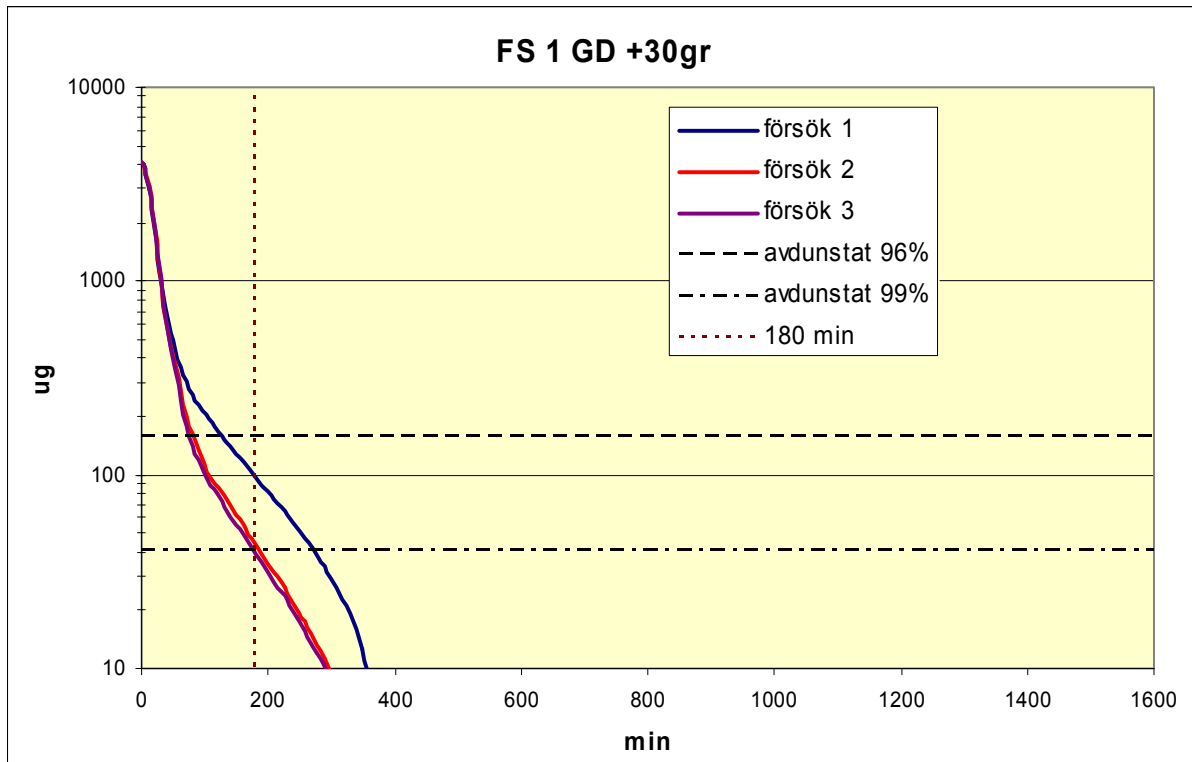
1. Avdunstningskurva för soman vid +30°C
 - b. logaritmisk skala; färgsystem 1 och 5



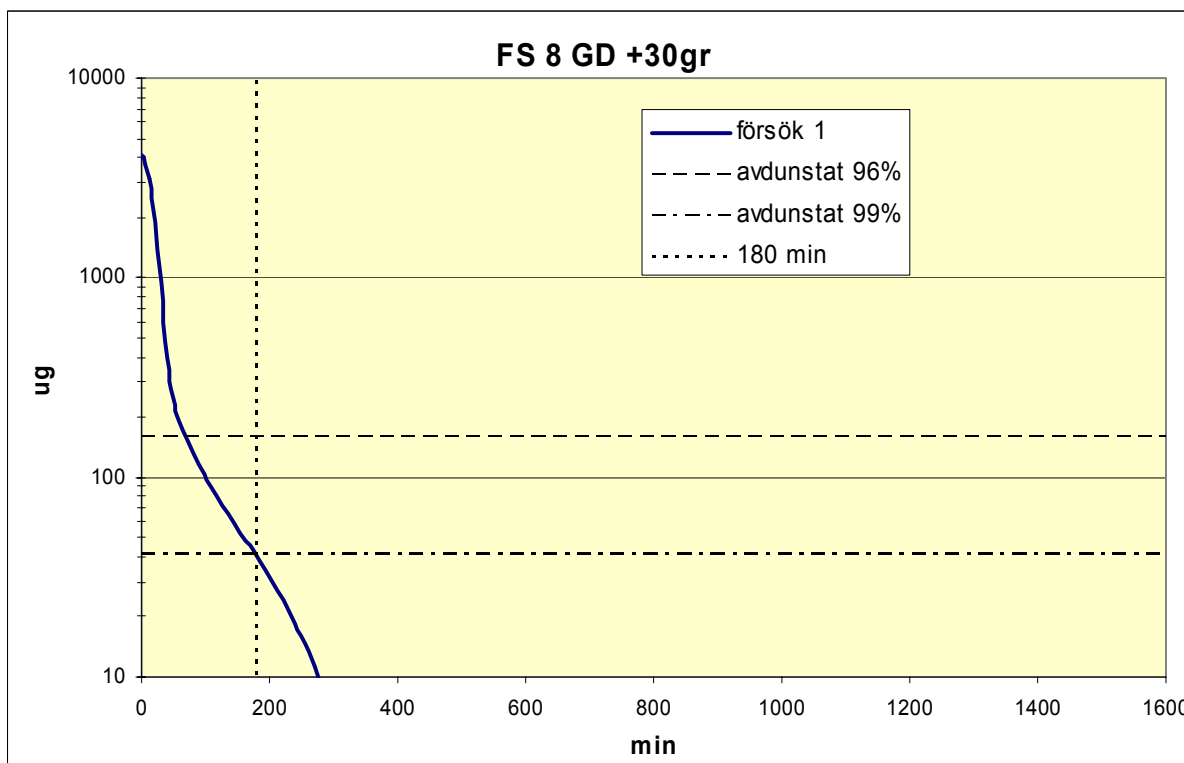
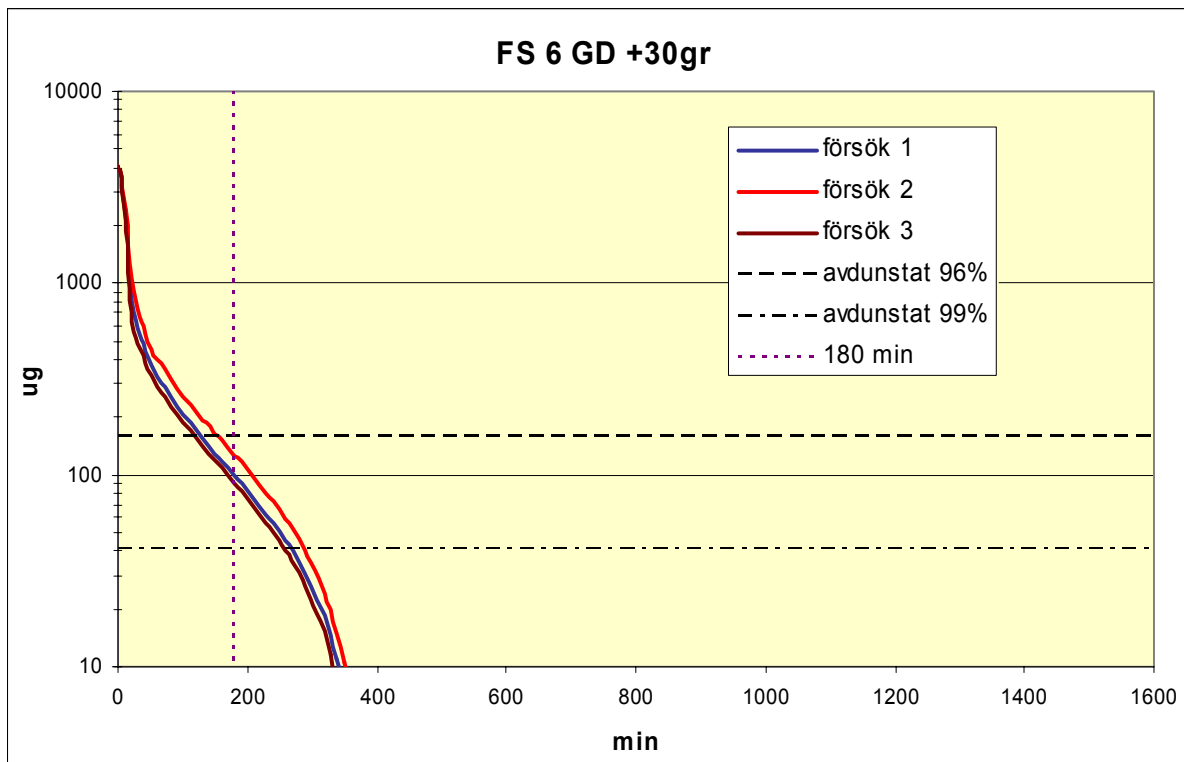
1. Avdunstningskurva för soman vid +30°C
 - b. logaritmisk skala; färgsystem 6 och 8



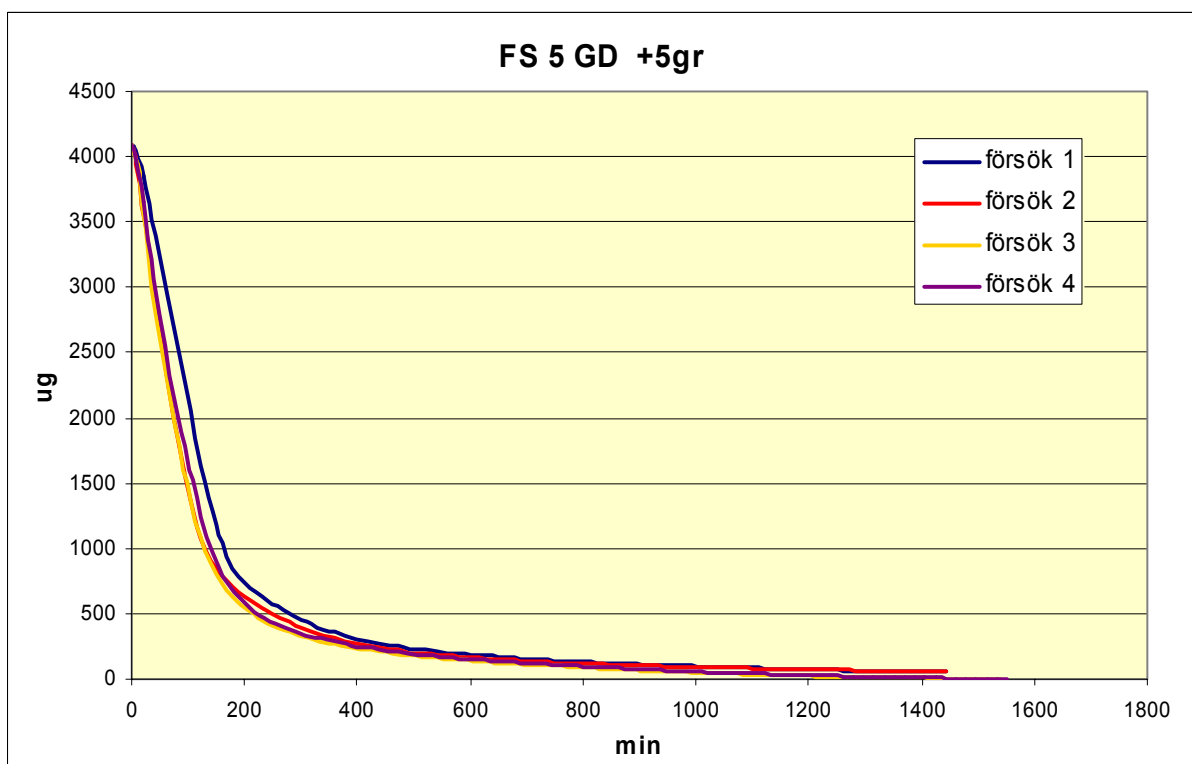
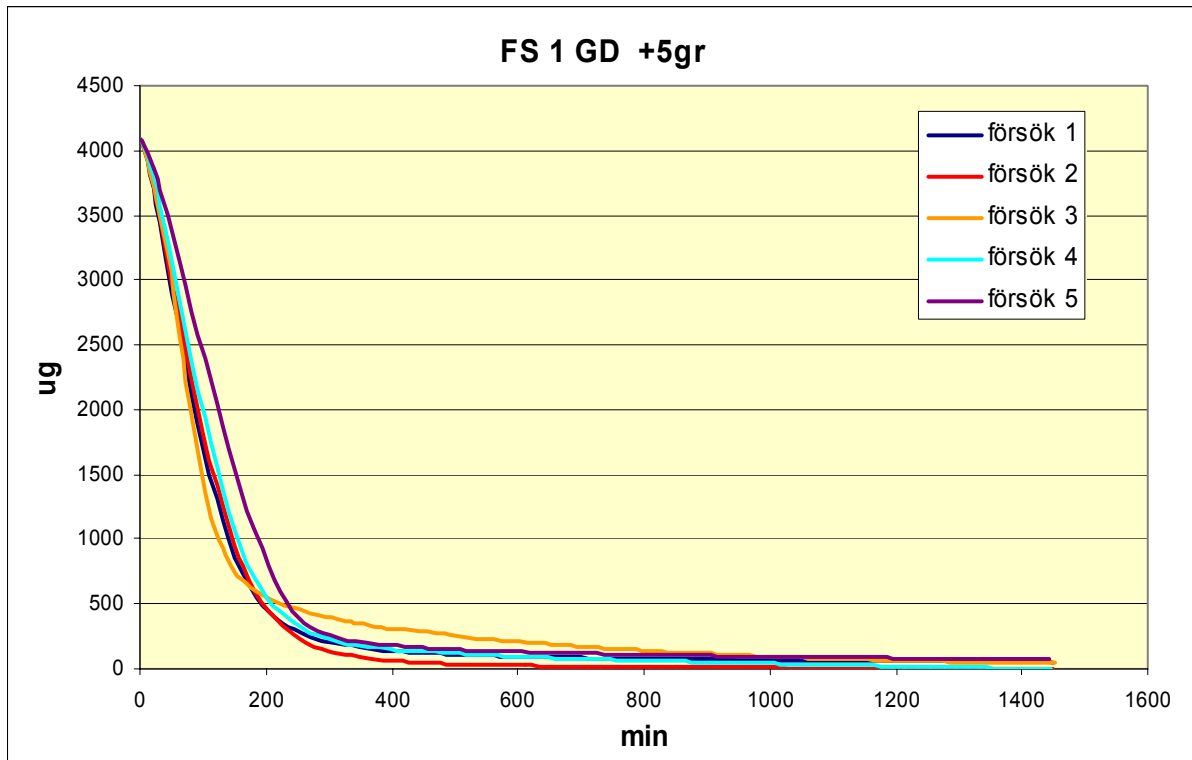
1. Avdunstningskurva för soman vid +30°C
 - c. logaritmisk skala, tid 0-1600 min; färgsystem 1 och 5



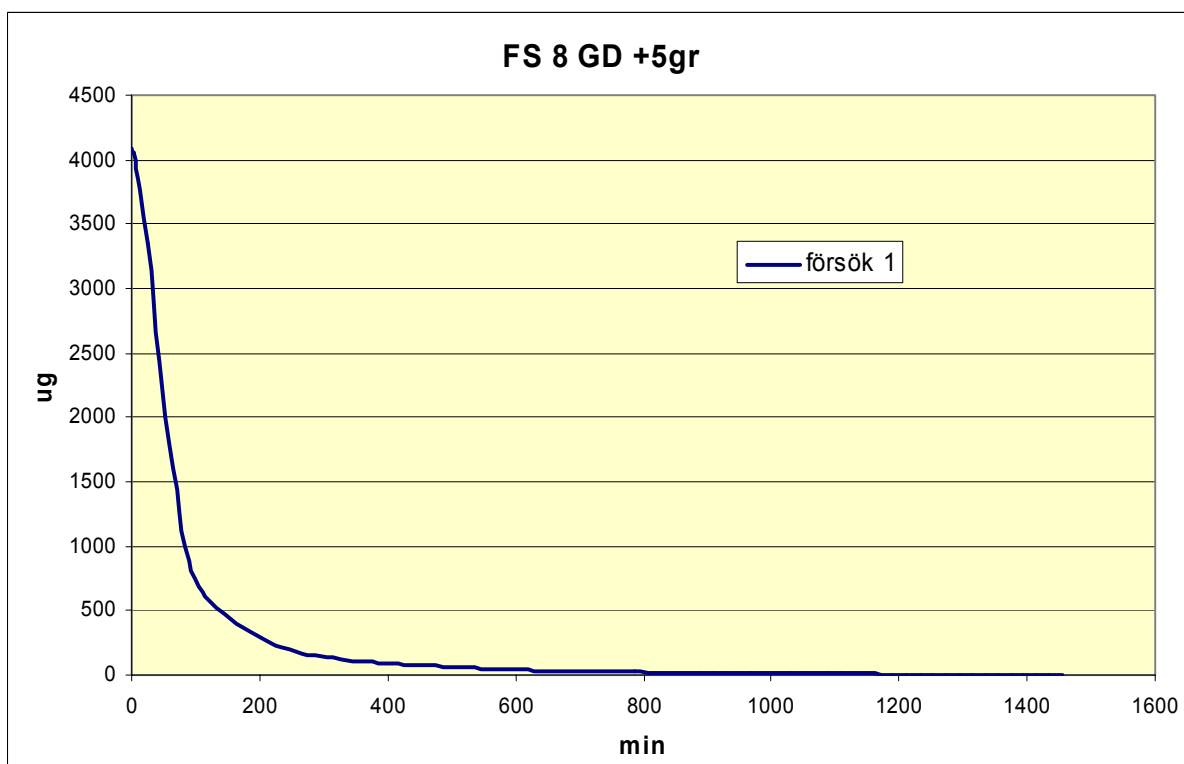
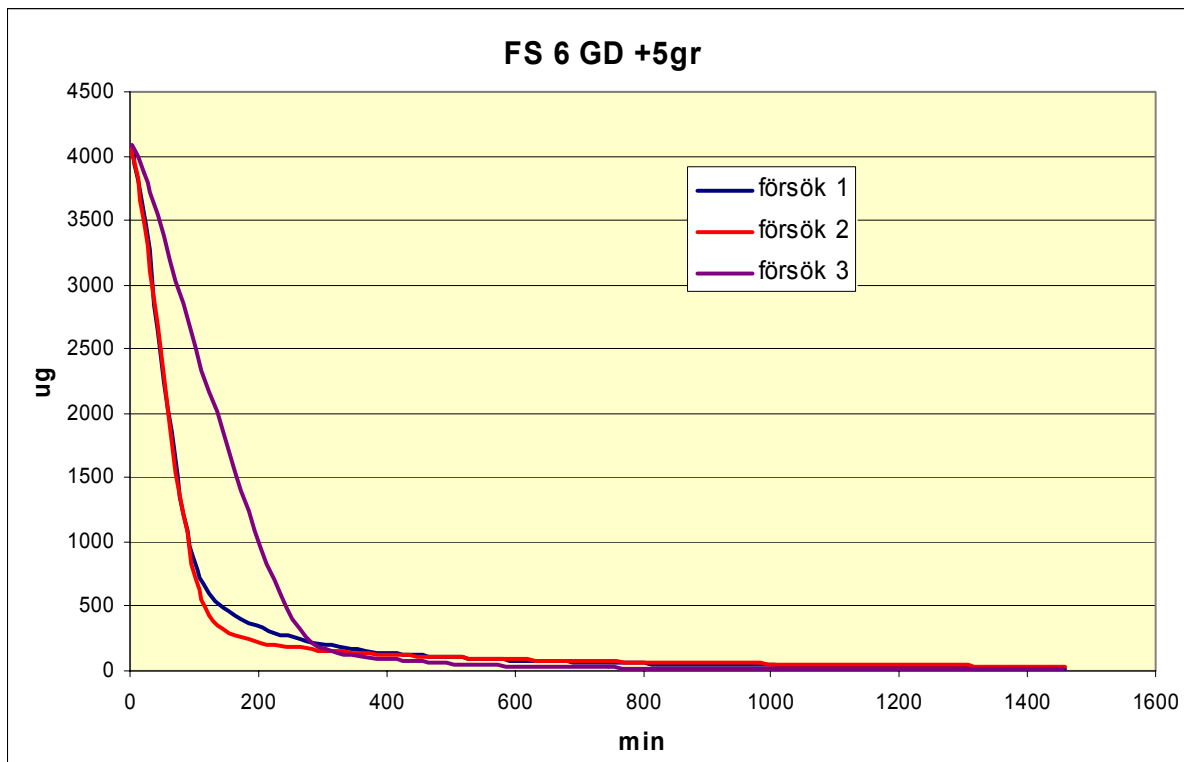
1. Avdunstningskurva för soman vid +30°C
 c. logaritmisk skala, tid 0-1600 min; färgsystem 6 och 8



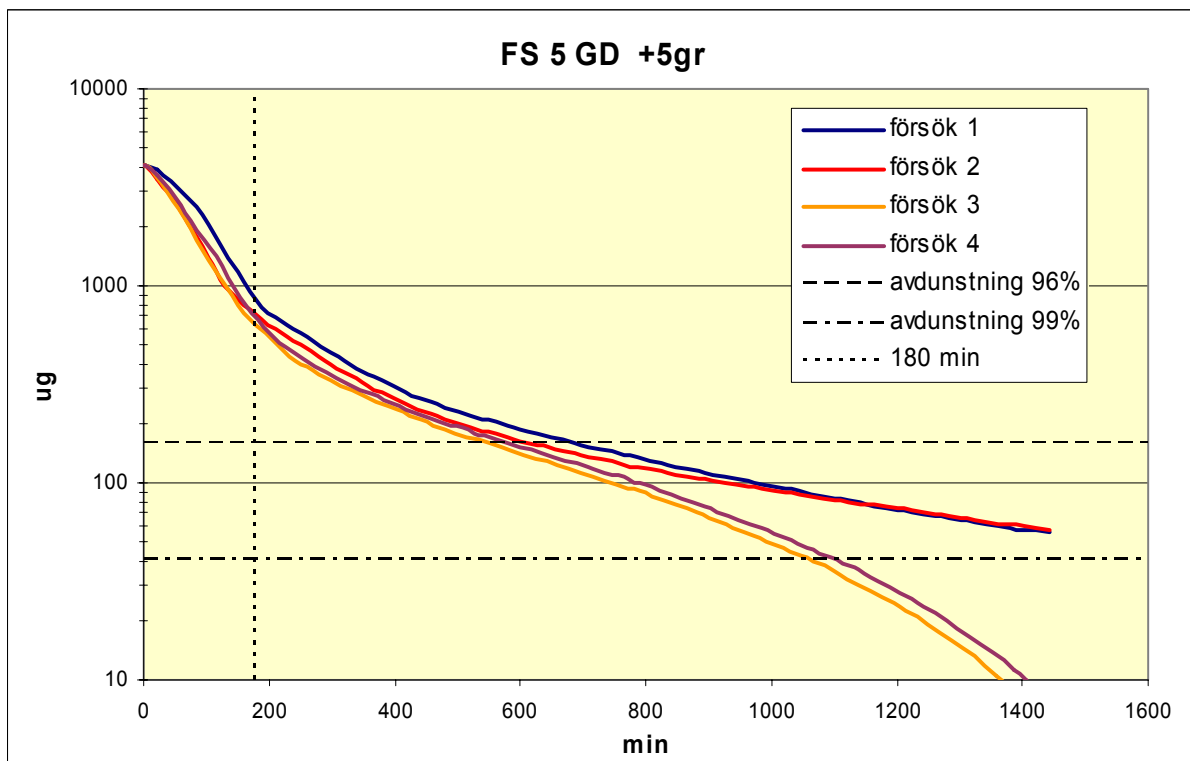
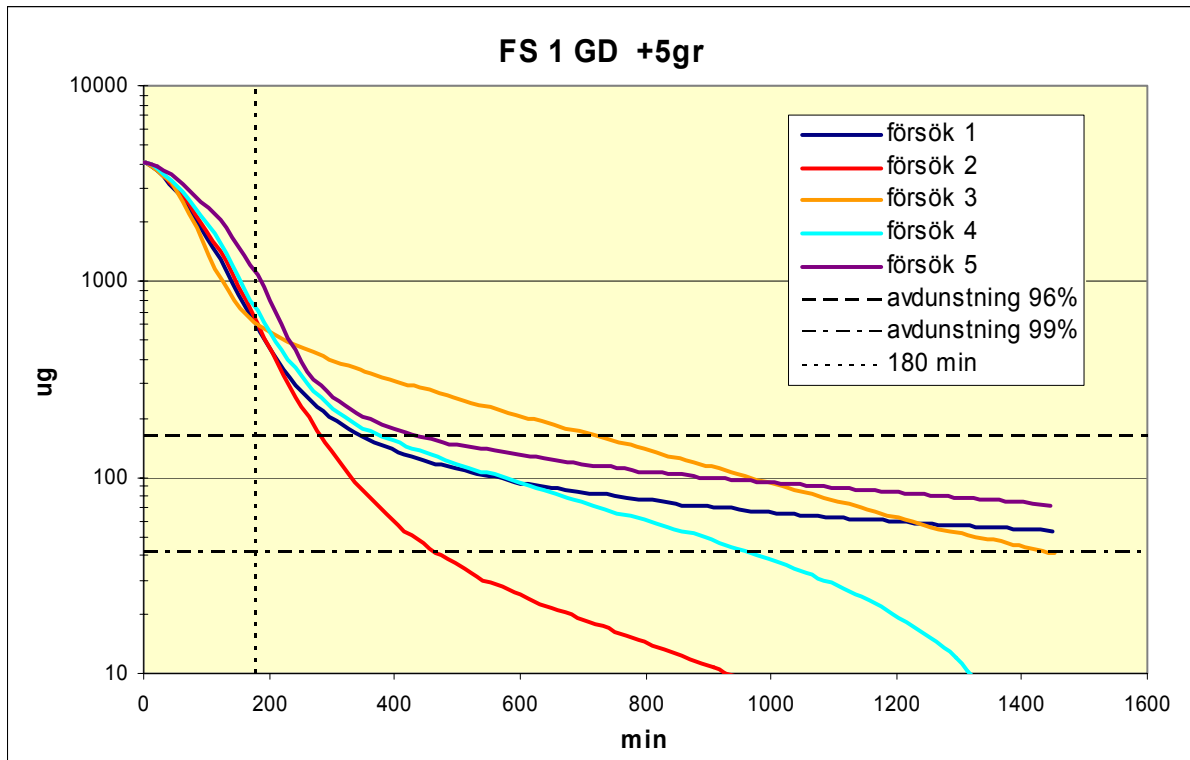
2. Avdunstningskurva för soman vid +5°C
a. normal skala; färgsystem 1 och 5



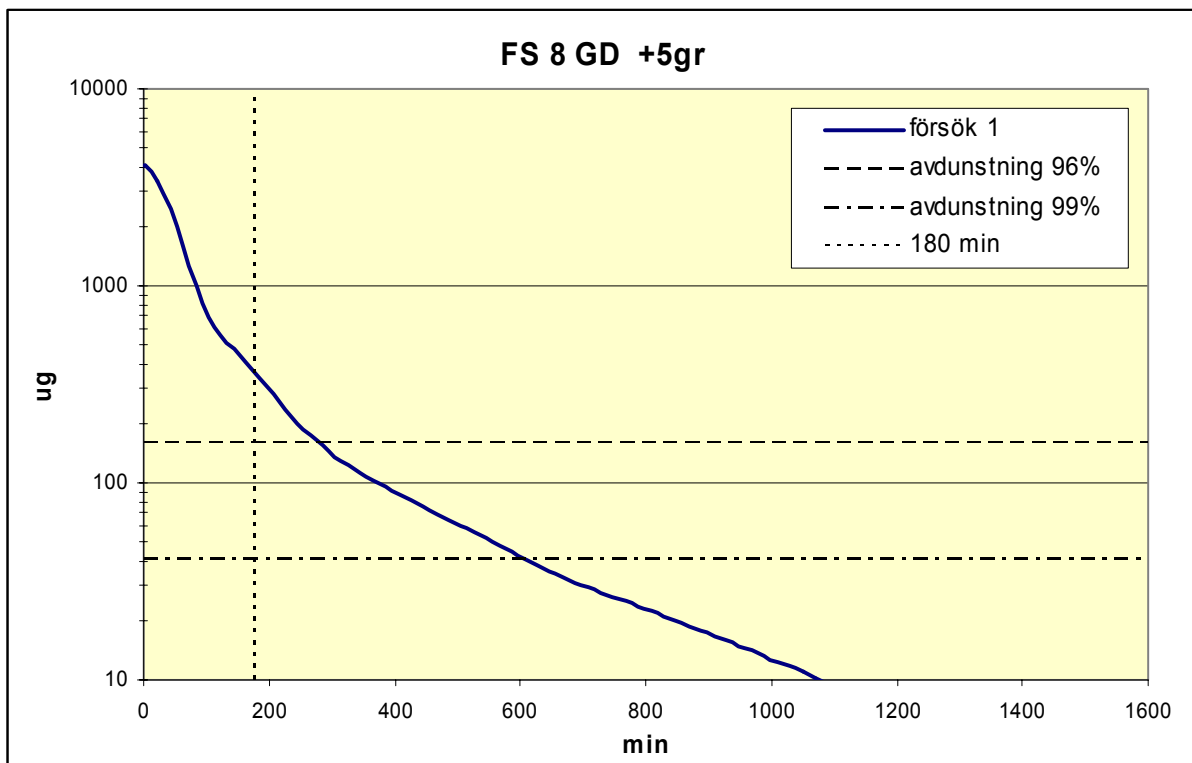
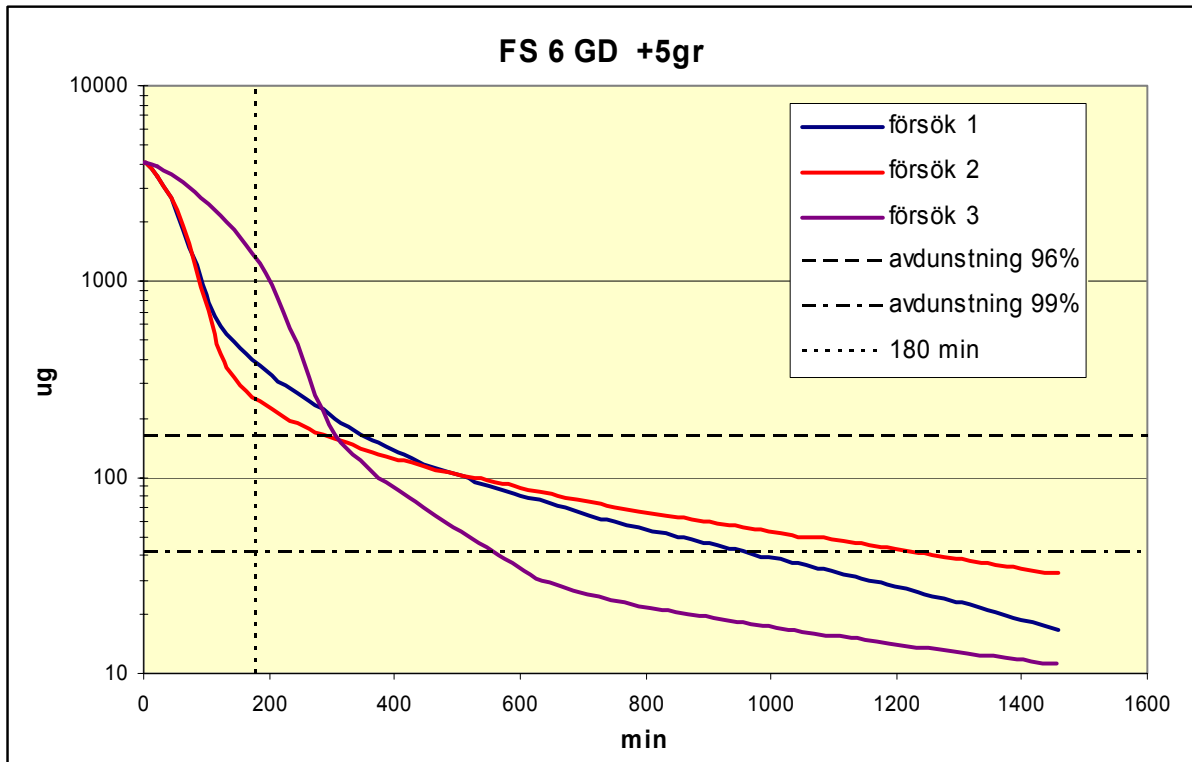
2. Avdunstningskurva för soman vid +5°C
 a. normal skala; färgsystem 6 och 8



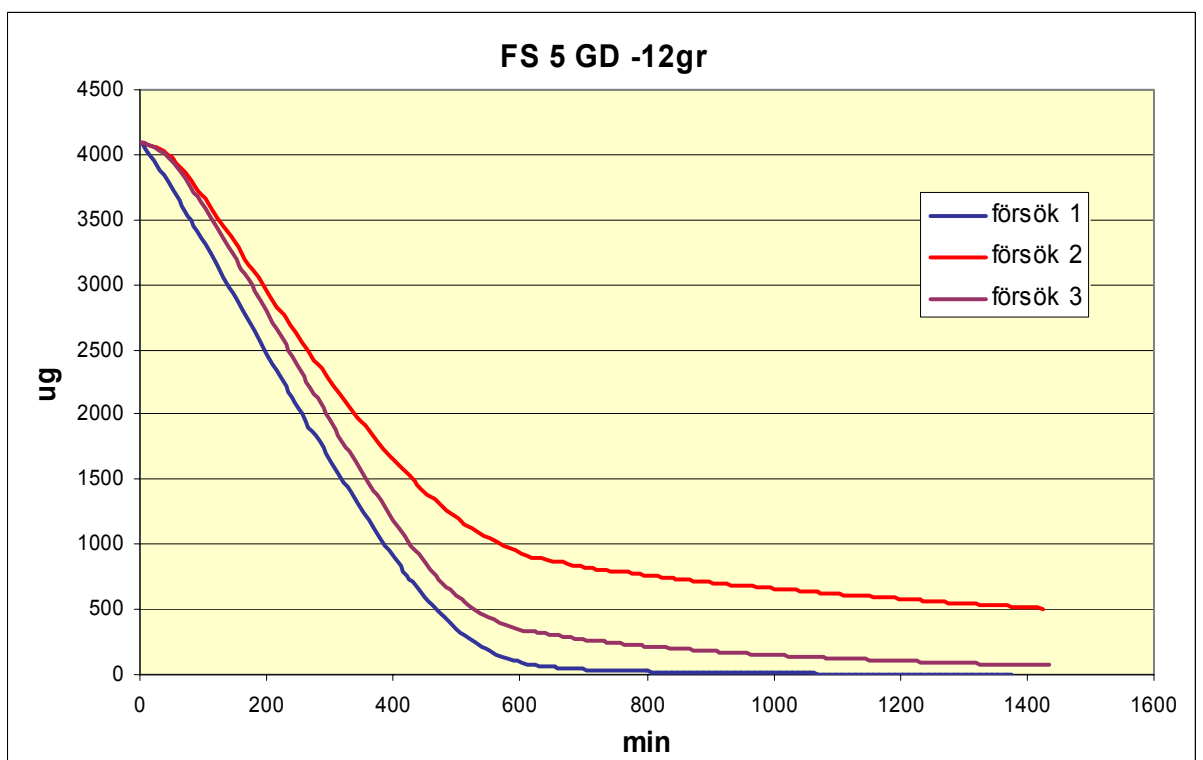
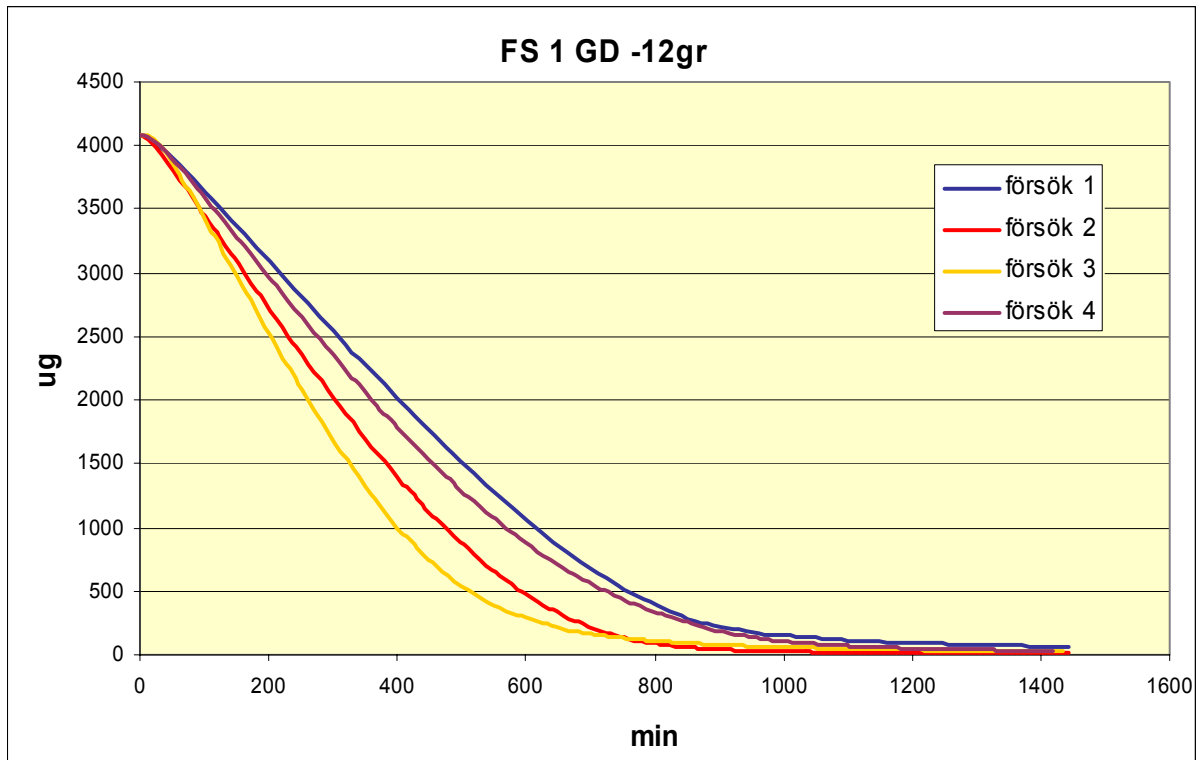
2. Avdunstningskurva för soman vid +5°C
b. logaritmisk skala; färgsystem 1 och 5



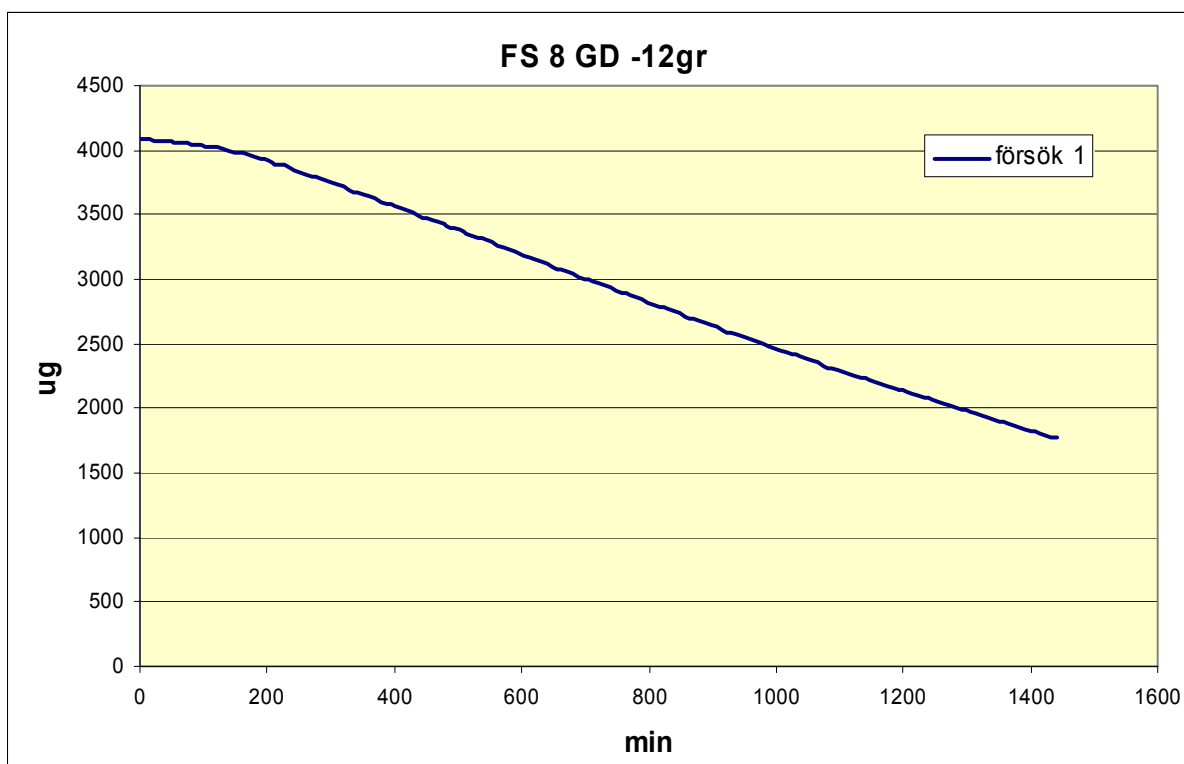
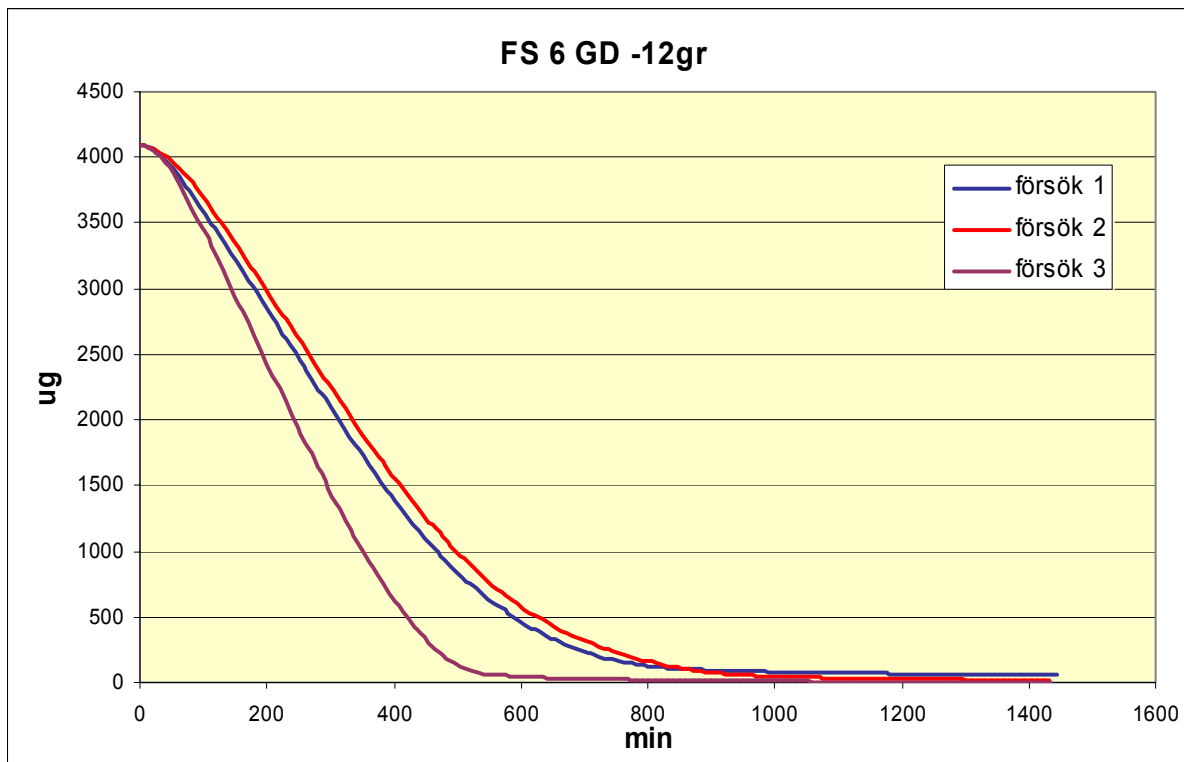
2. Avdunstningskurva för soman vid +5°C
 b. logaritmisk skala; färgsystem 6 och 8



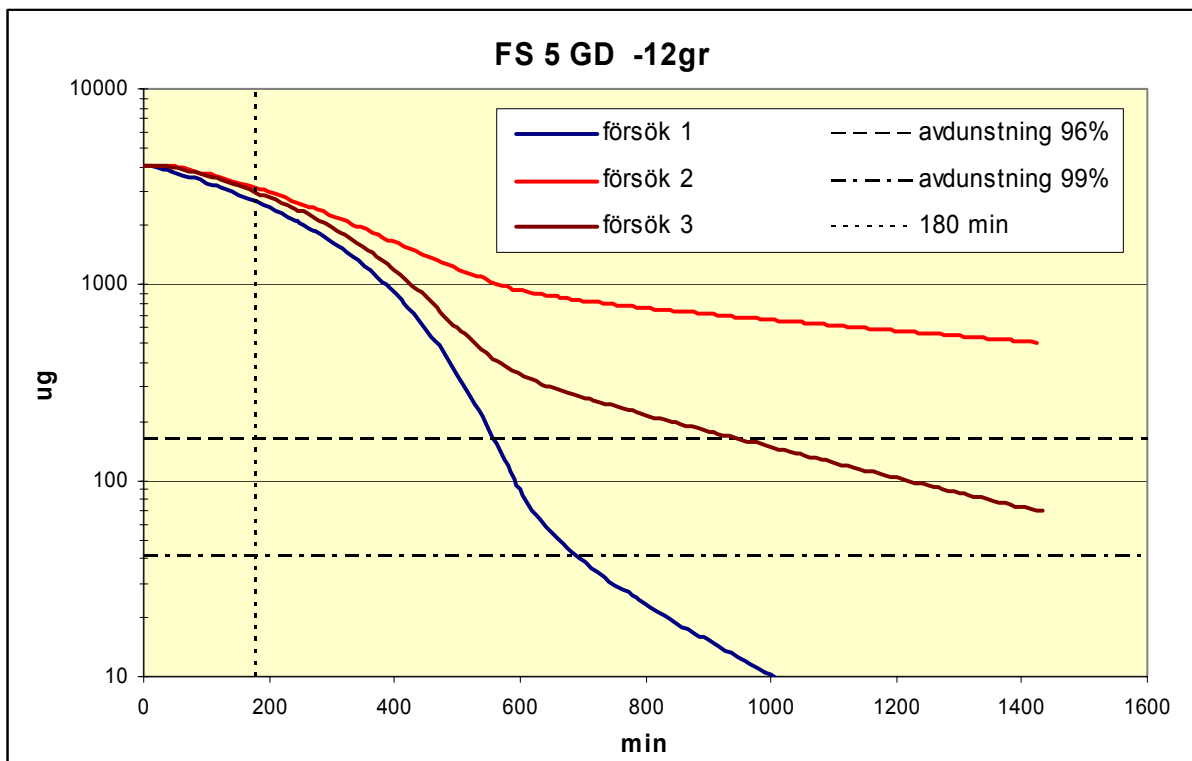
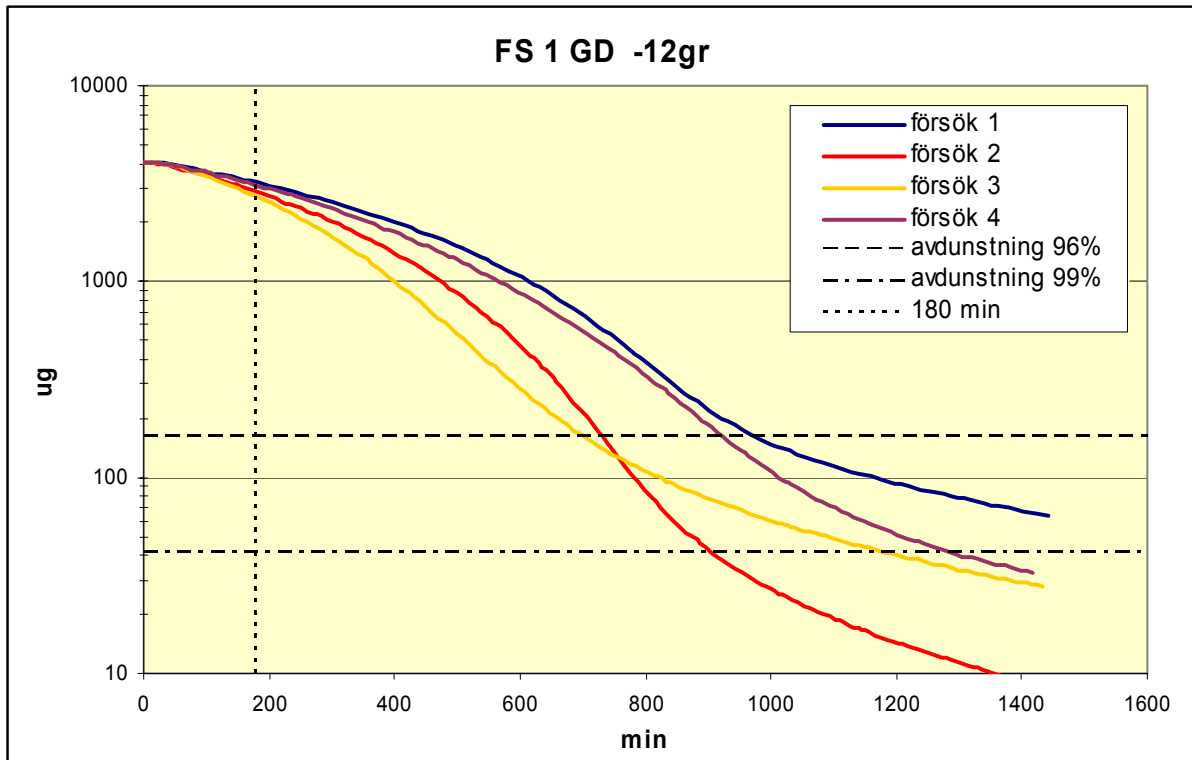
3. Avdunstningskurva för soman vid -12°C
a. normal skala; färgsystem 1 och 5



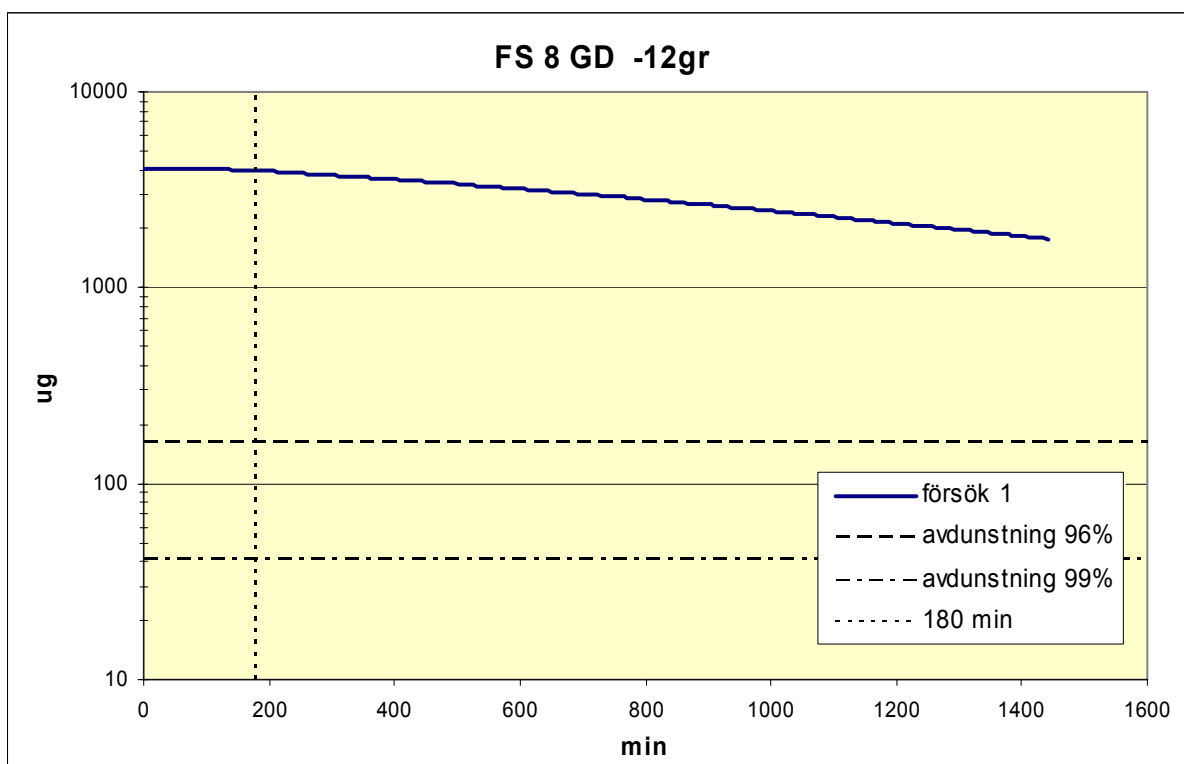
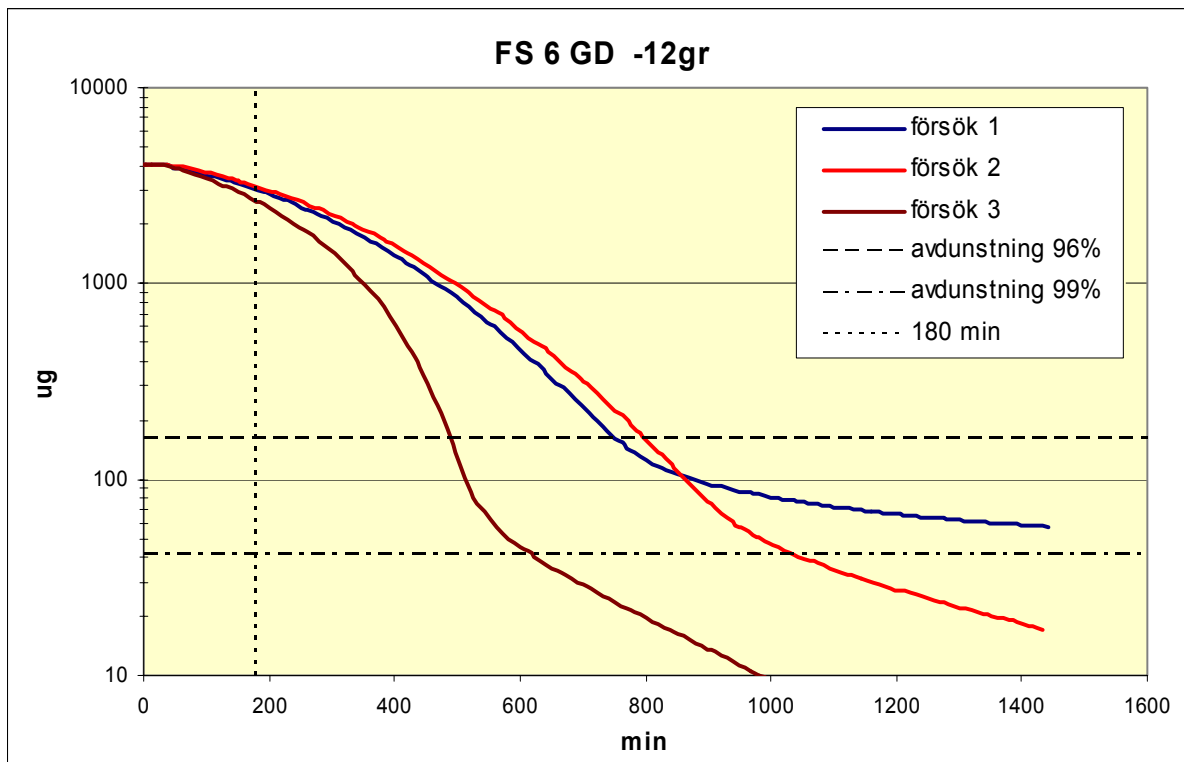
3. Avdunstningskurva för soman vid -12°C
 a. normal skala; färgsystem 6 och 8



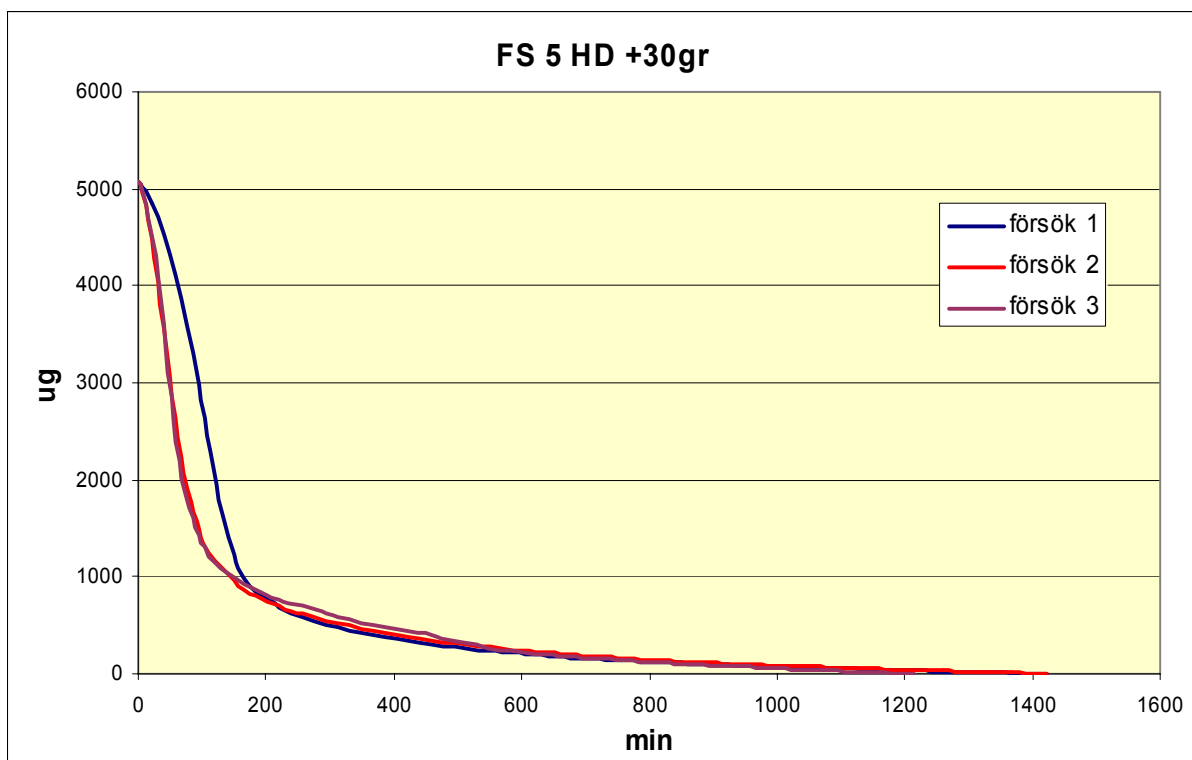
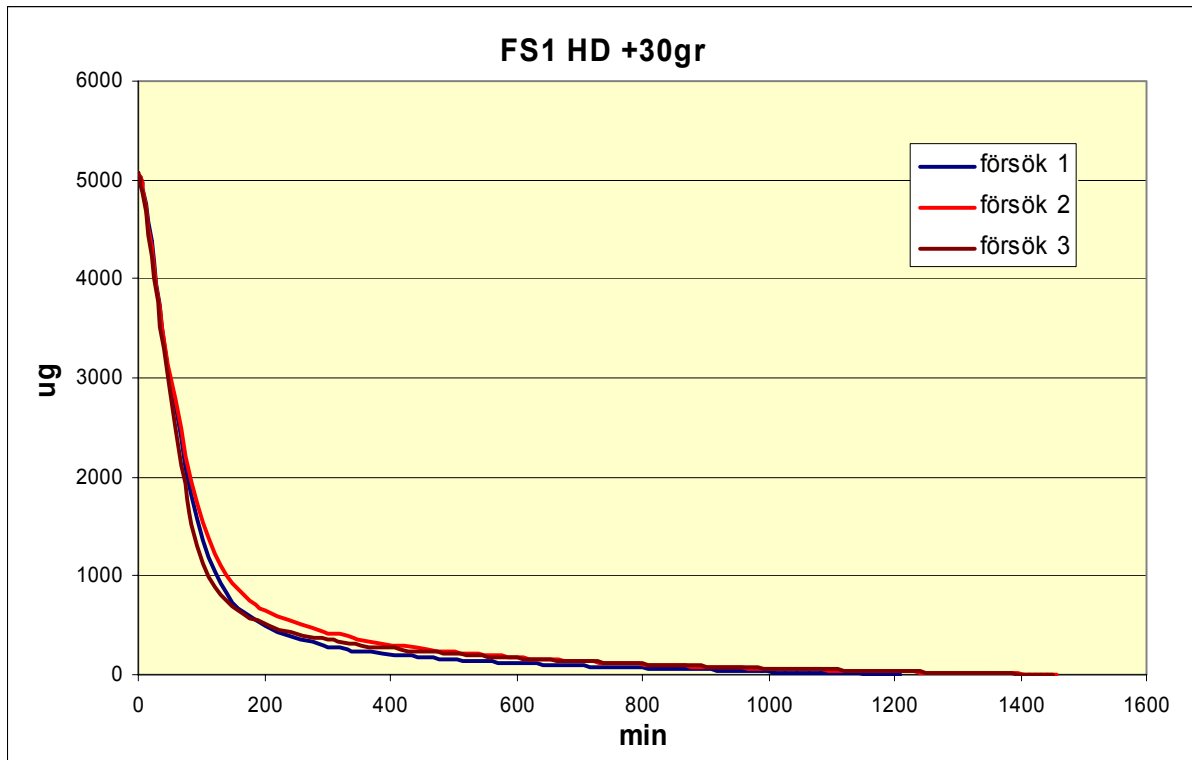
3. Avdunstningskurva för soman vid -12°C
 b. logaritmisk skala; färgsystem 1 och 5



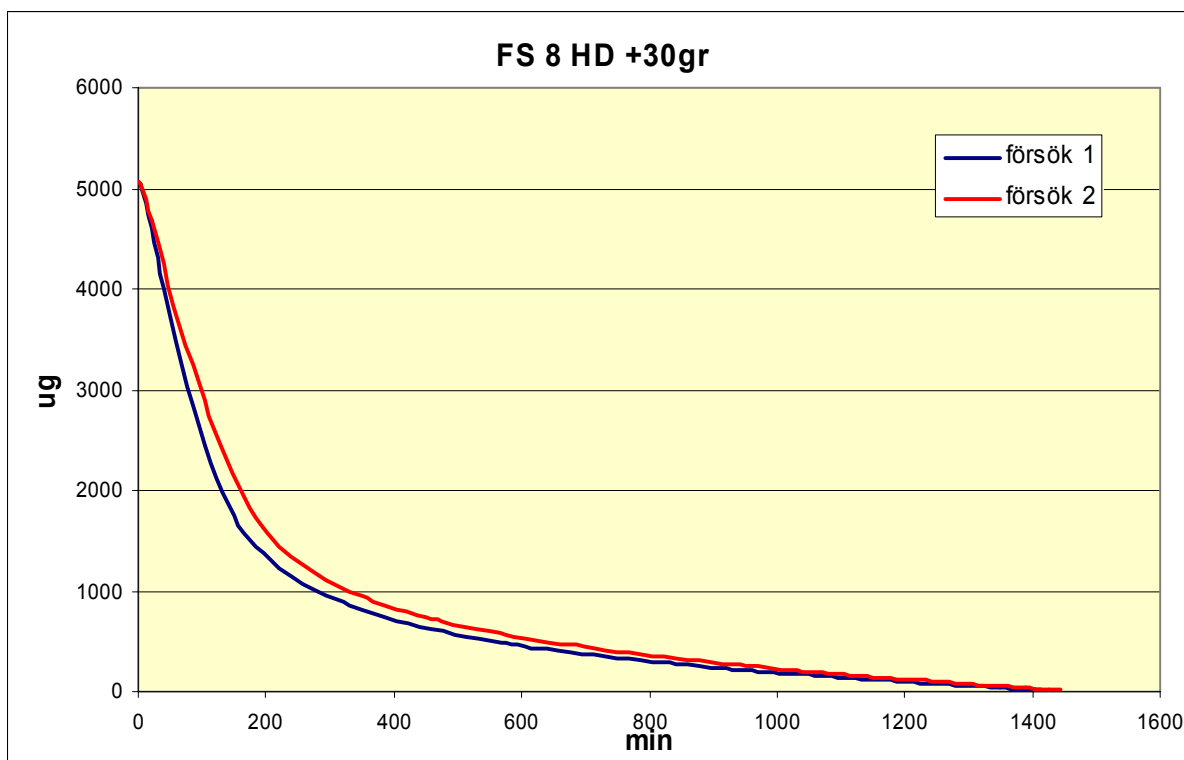
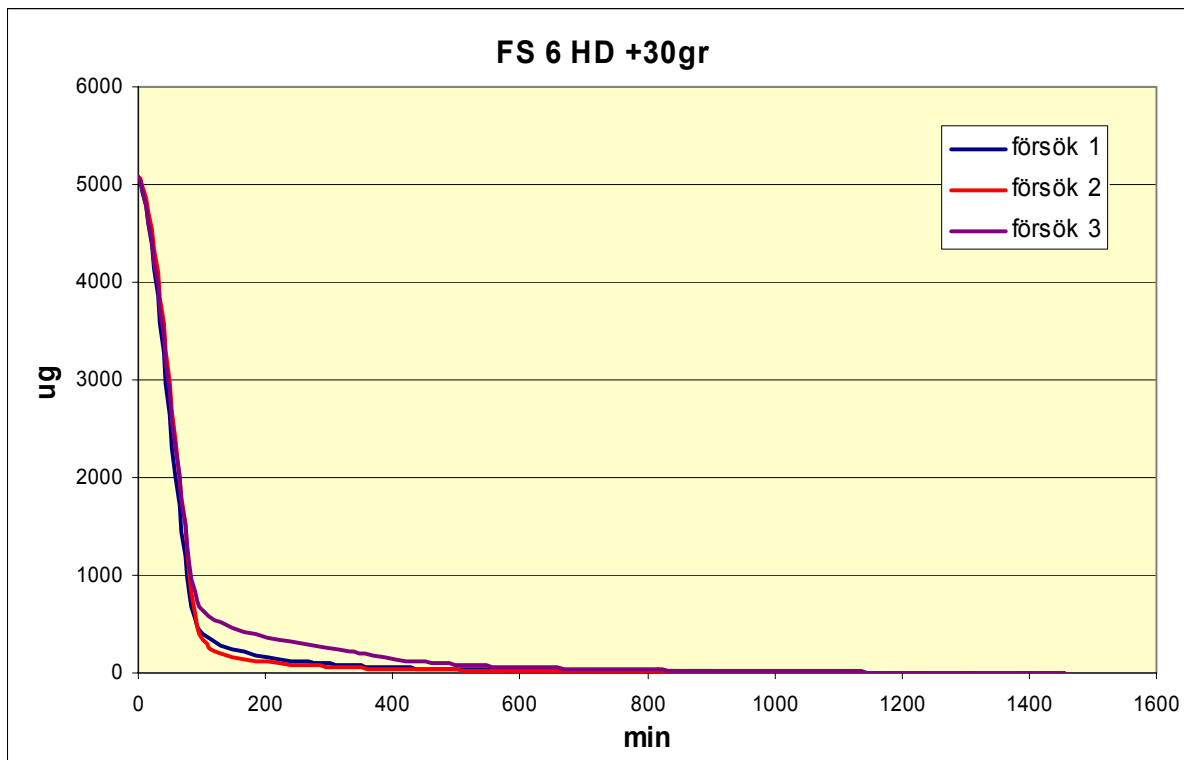
3. Avdunstningskurva för soman vid -12°C
 b. logaritmisk skala; färgsystem 6 och 8



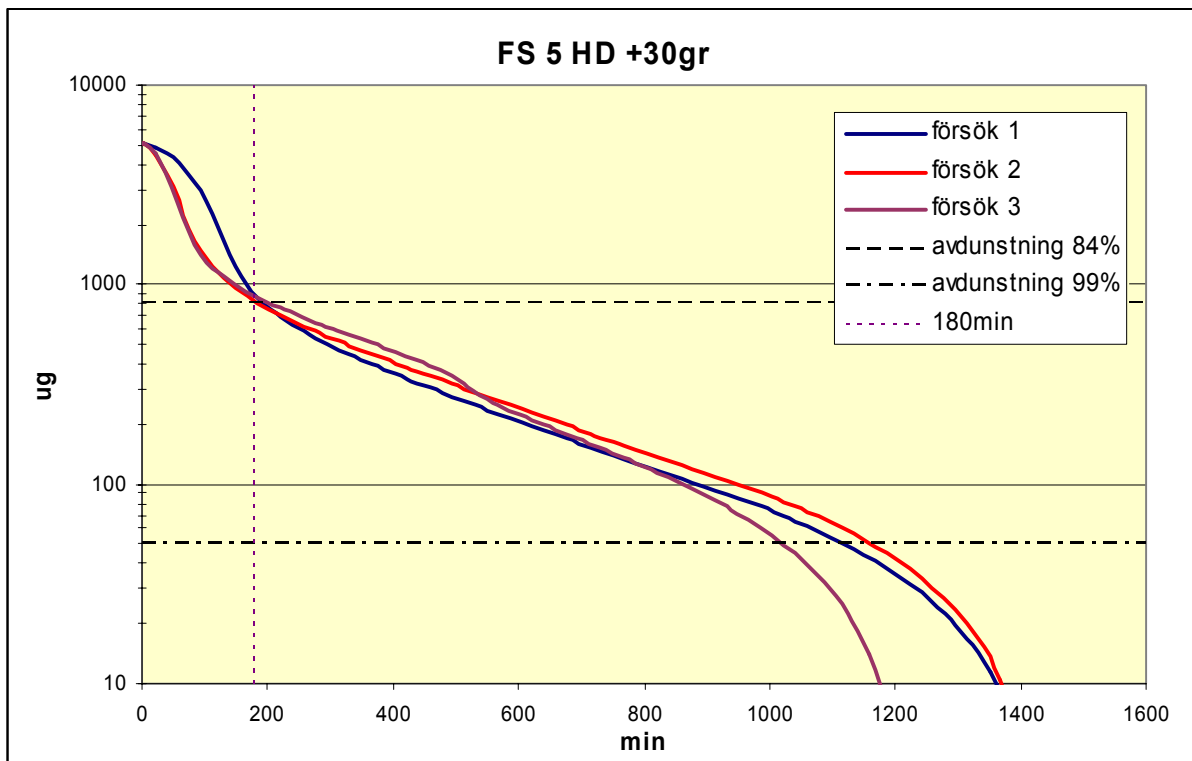
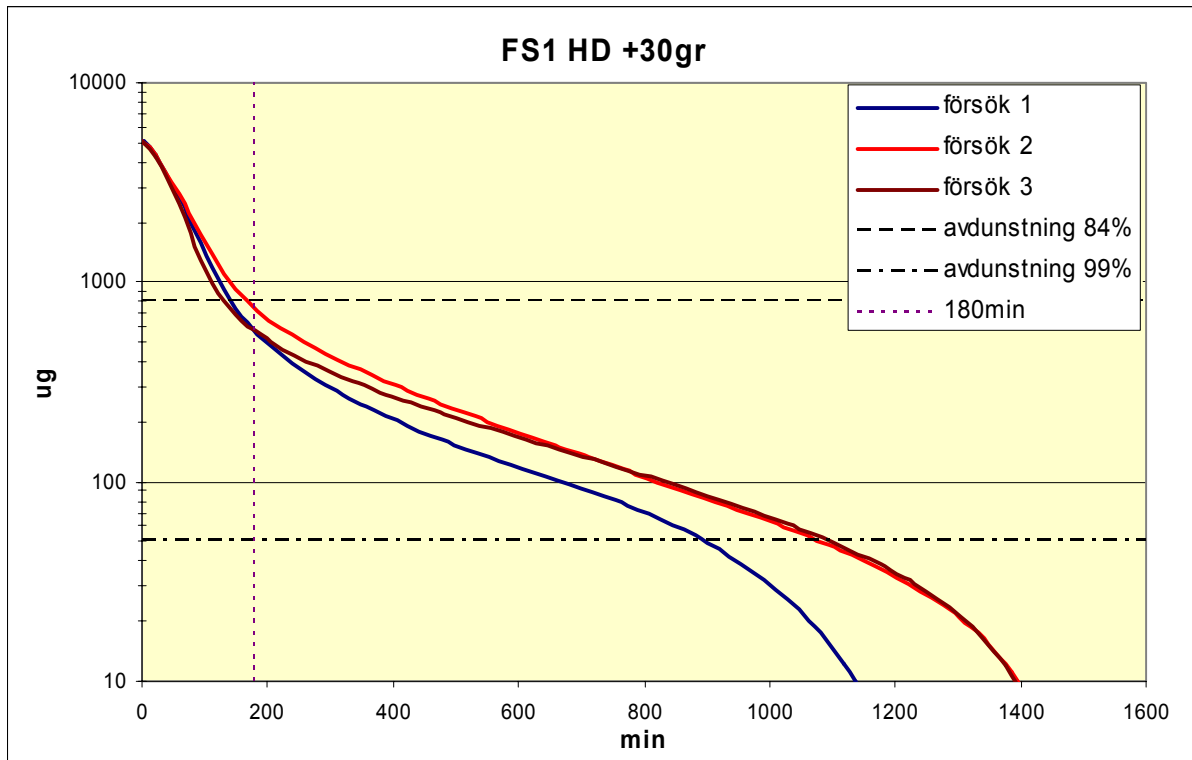
4. Avdunstningskurva för senapsgas vid +30°C
a. normal skala; färgsystem 1 och 5



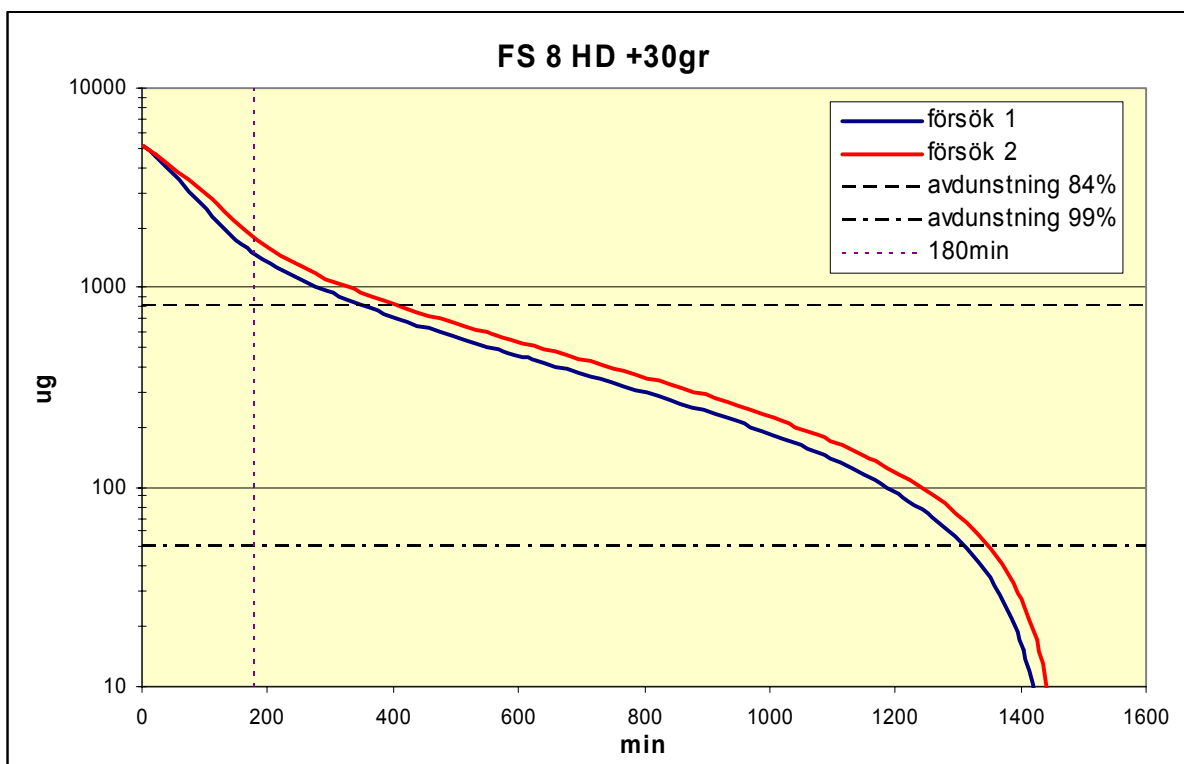
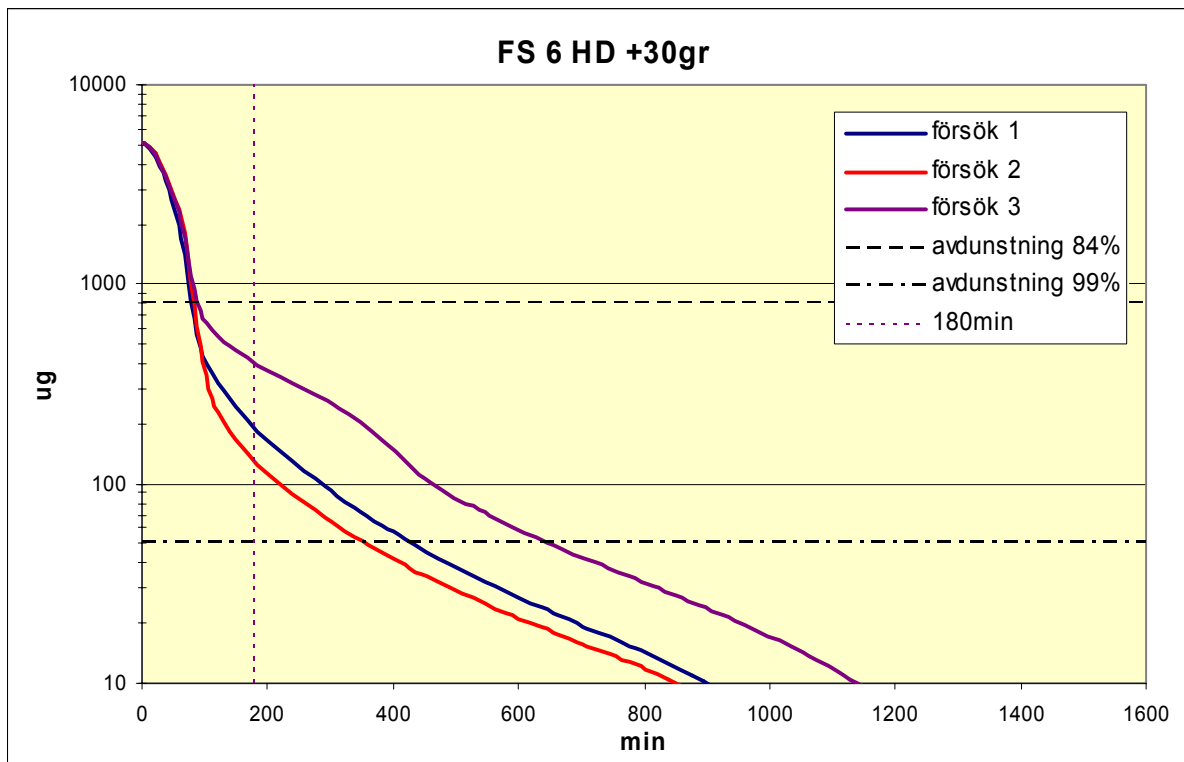
4. Avdunstningskurva för senapsgas vid +30°C
 a. normal skala; färgsystem 6 och 8



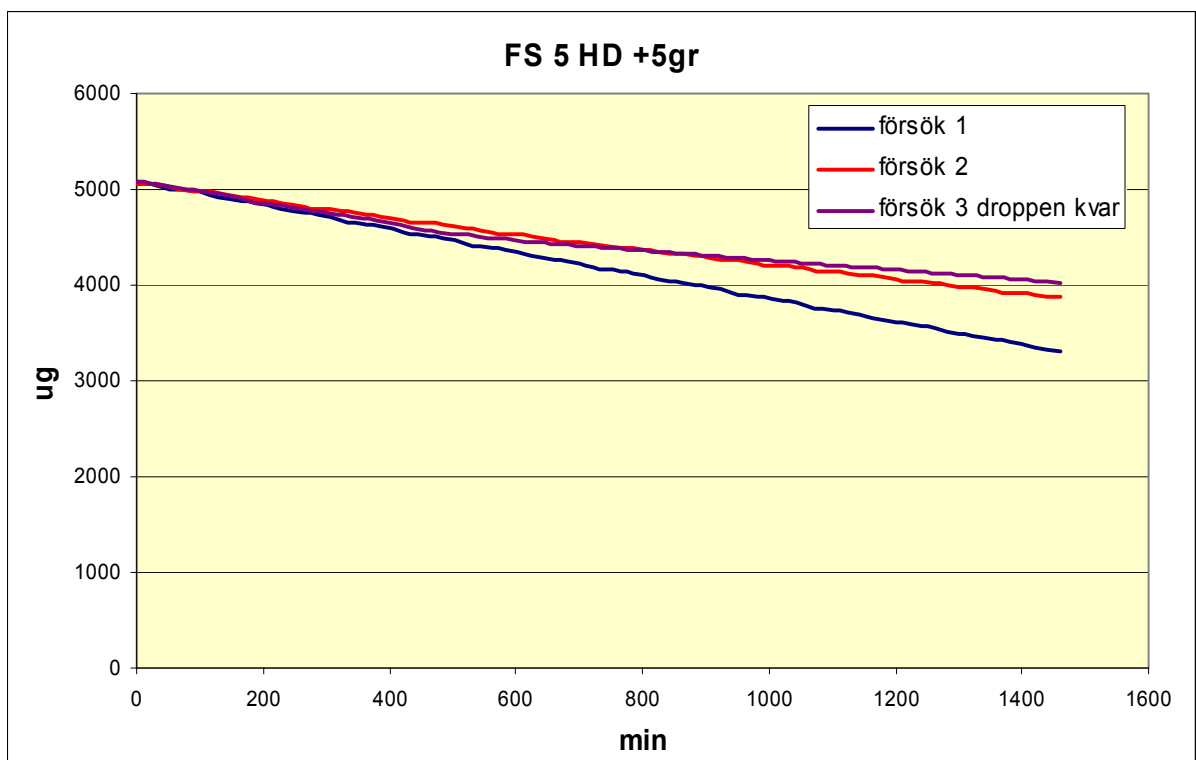
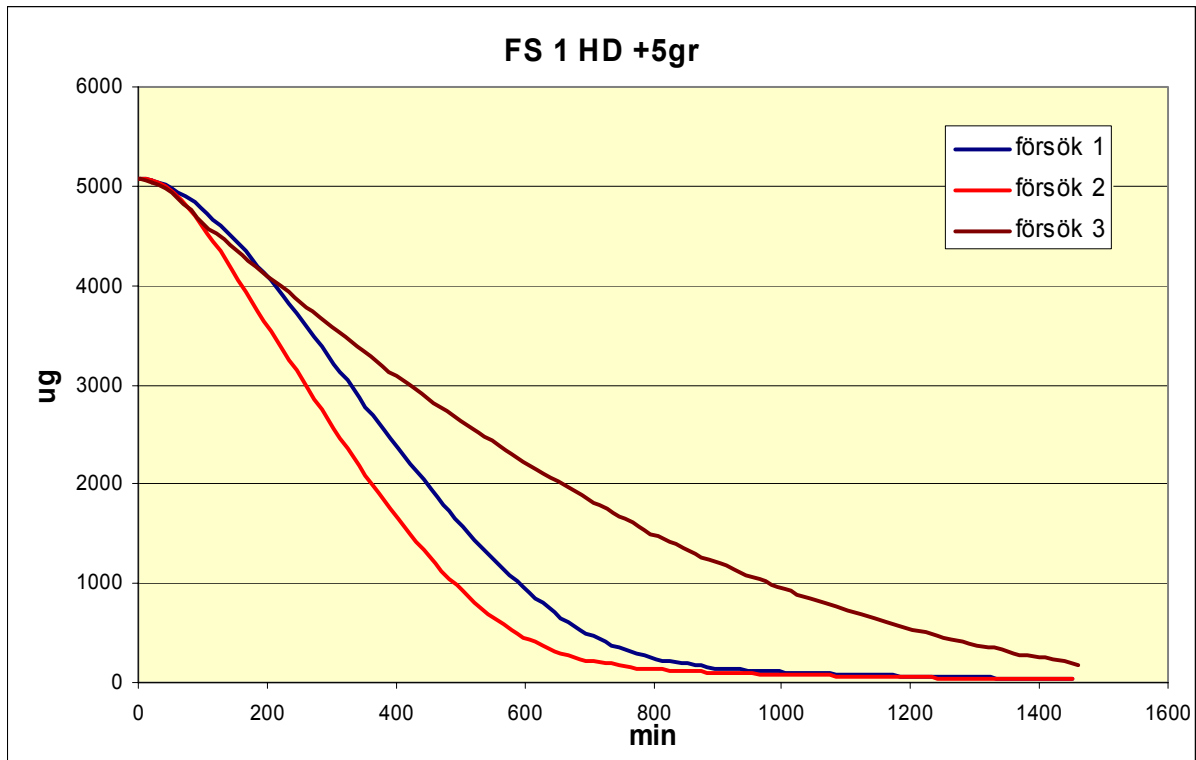
4. Avdunstningskurva för senapsgas vid +30°C
b. logaritmisk skala; färgsystem 1 och 5



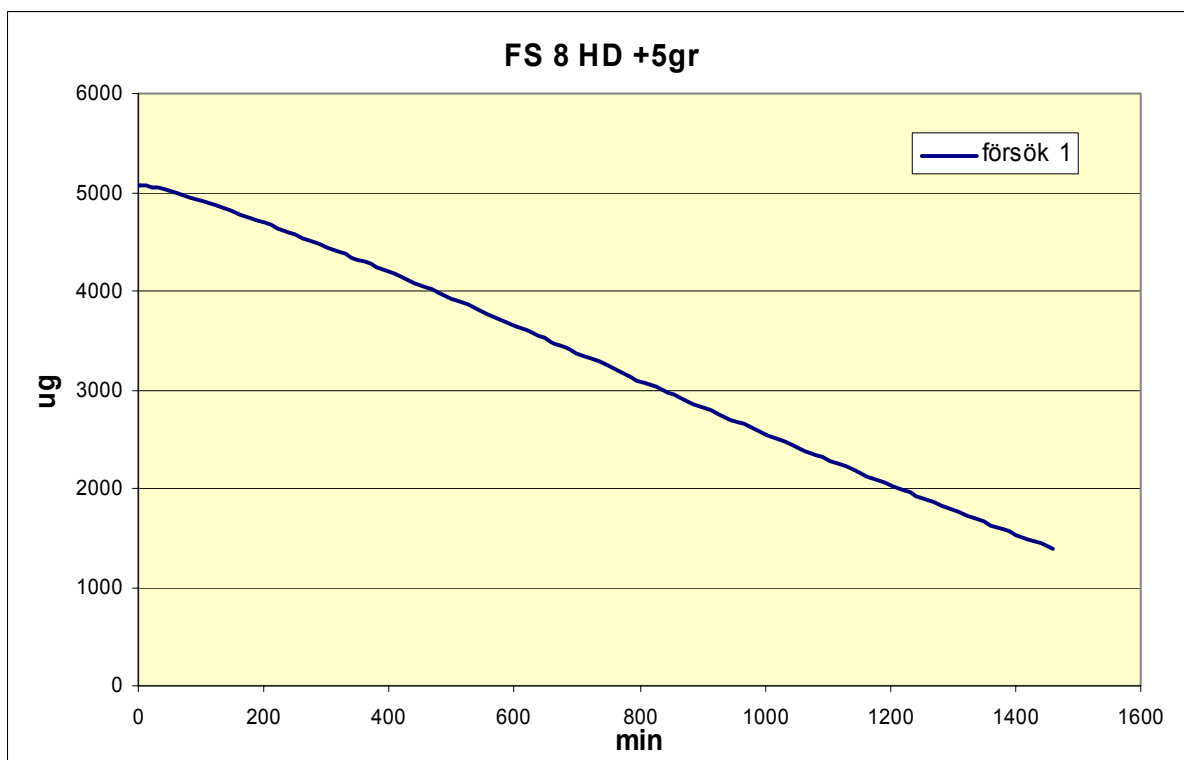
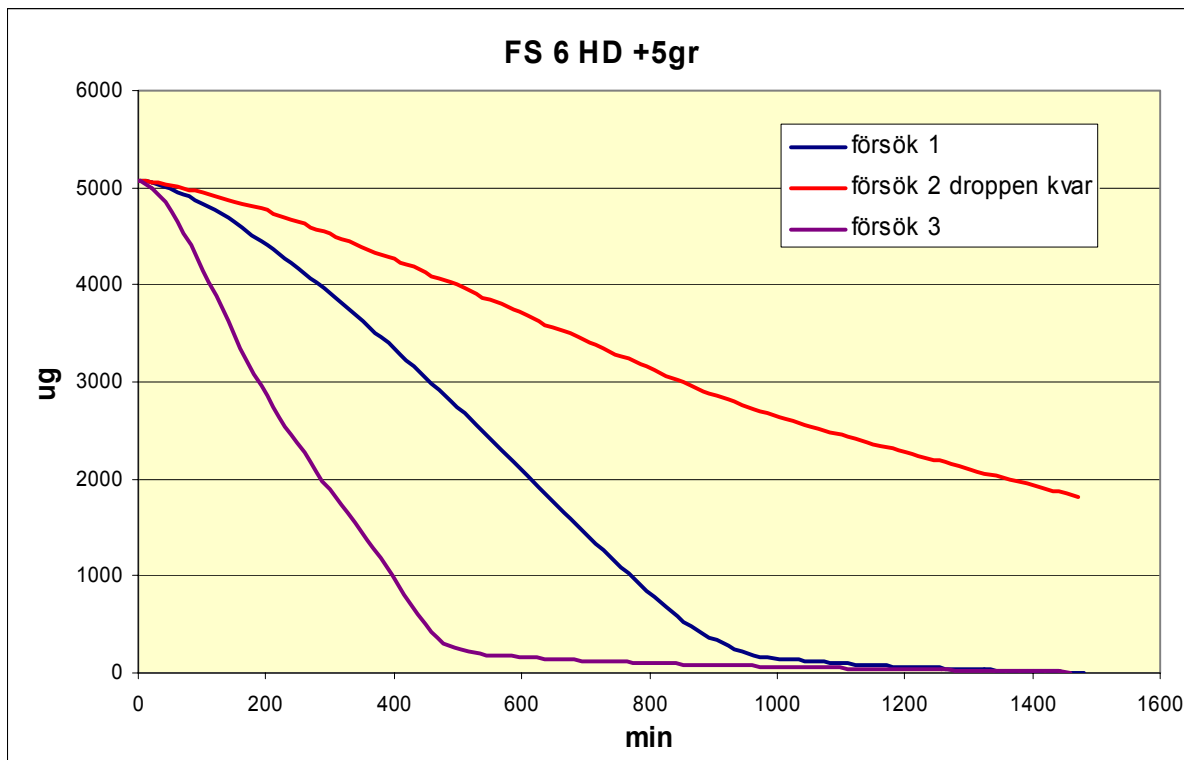
4. Avdunstningskurva för senapsgas vid +30°C
 b. logaritmisk skala; färgsystem 6 och 8



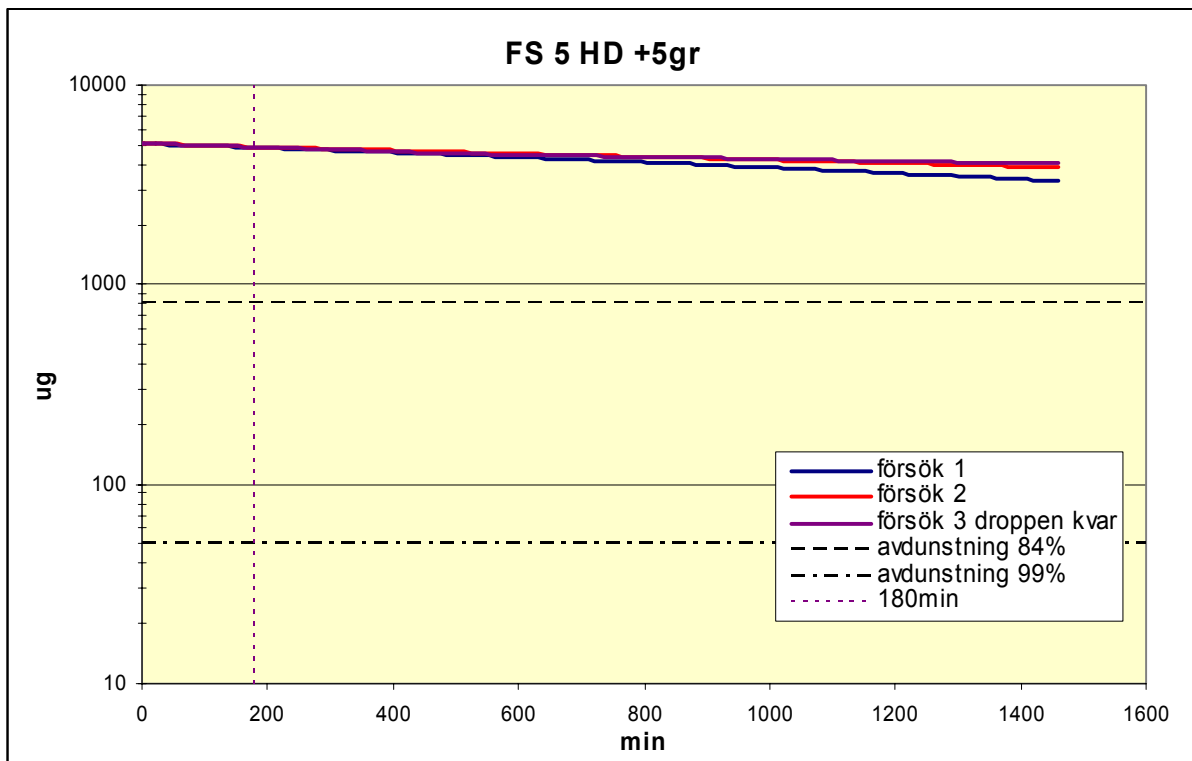
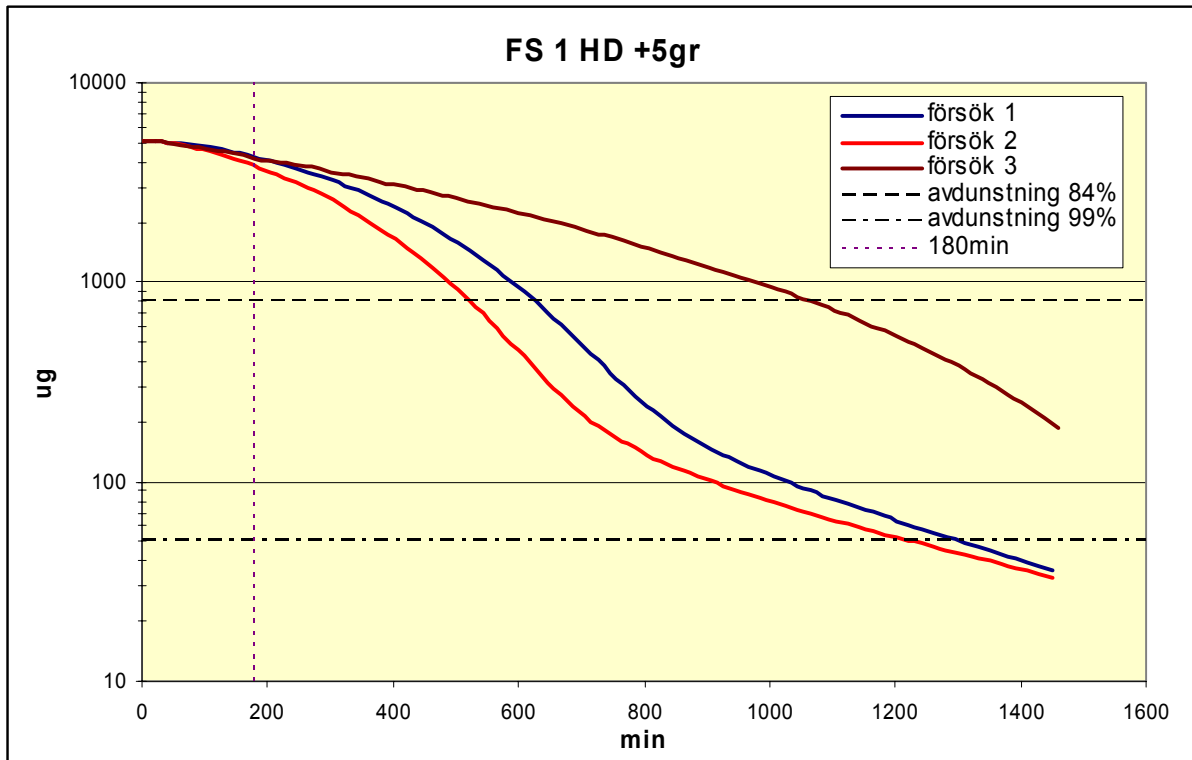
5. Avdunstningskurva för senapsgas vid +5°C
a. normal skala; färgsystem 1 och 5



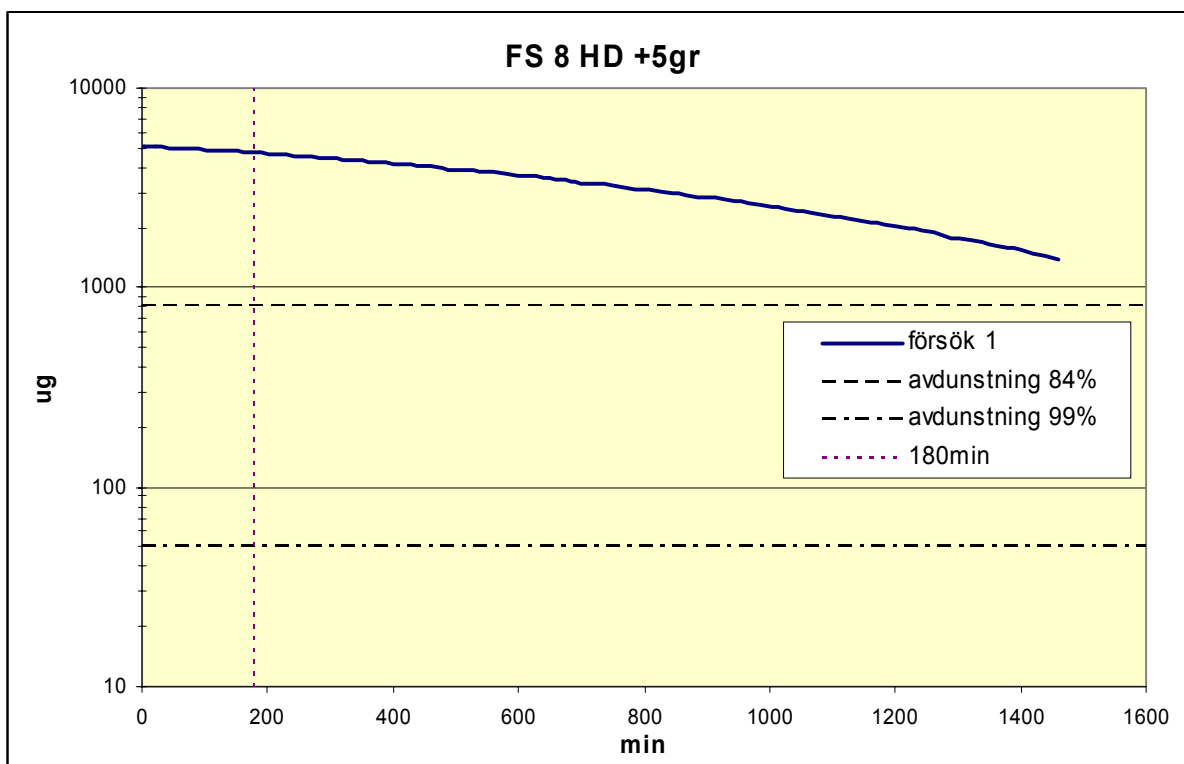
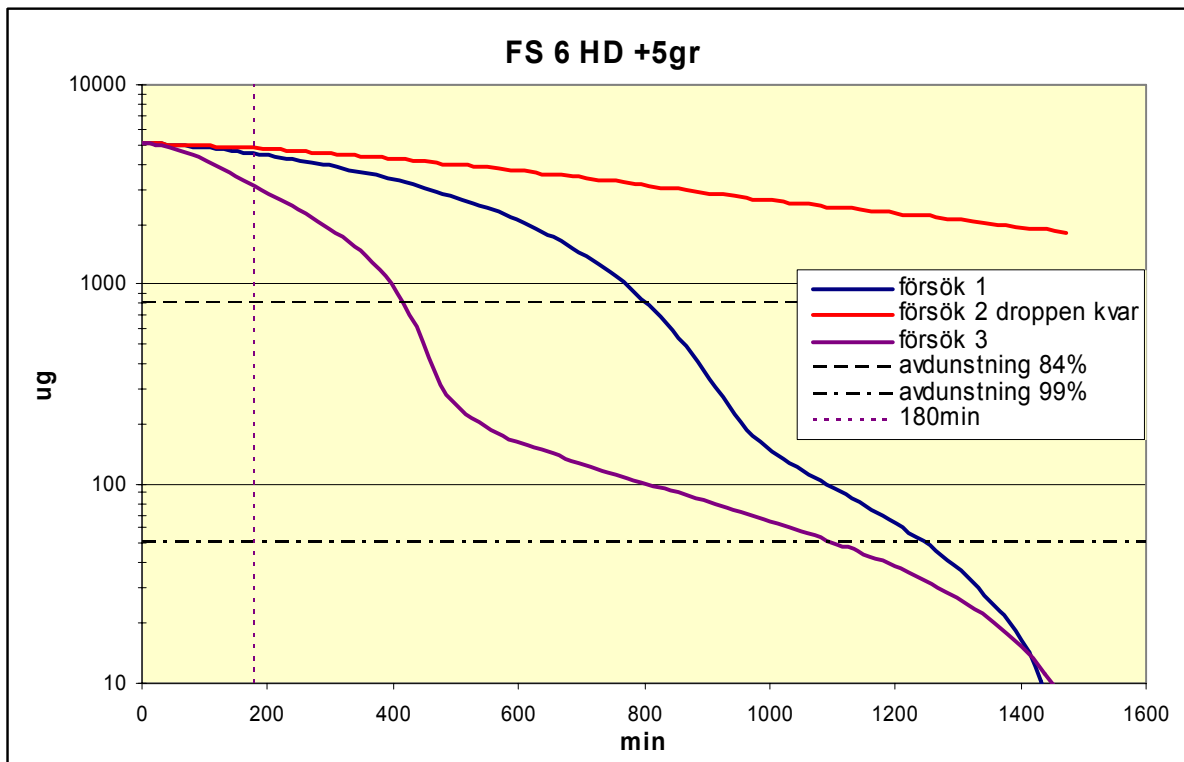
5. Avdunstningskurva för senapsgas vid +5°C
 a. normal skala; färgsystem 6 och 8



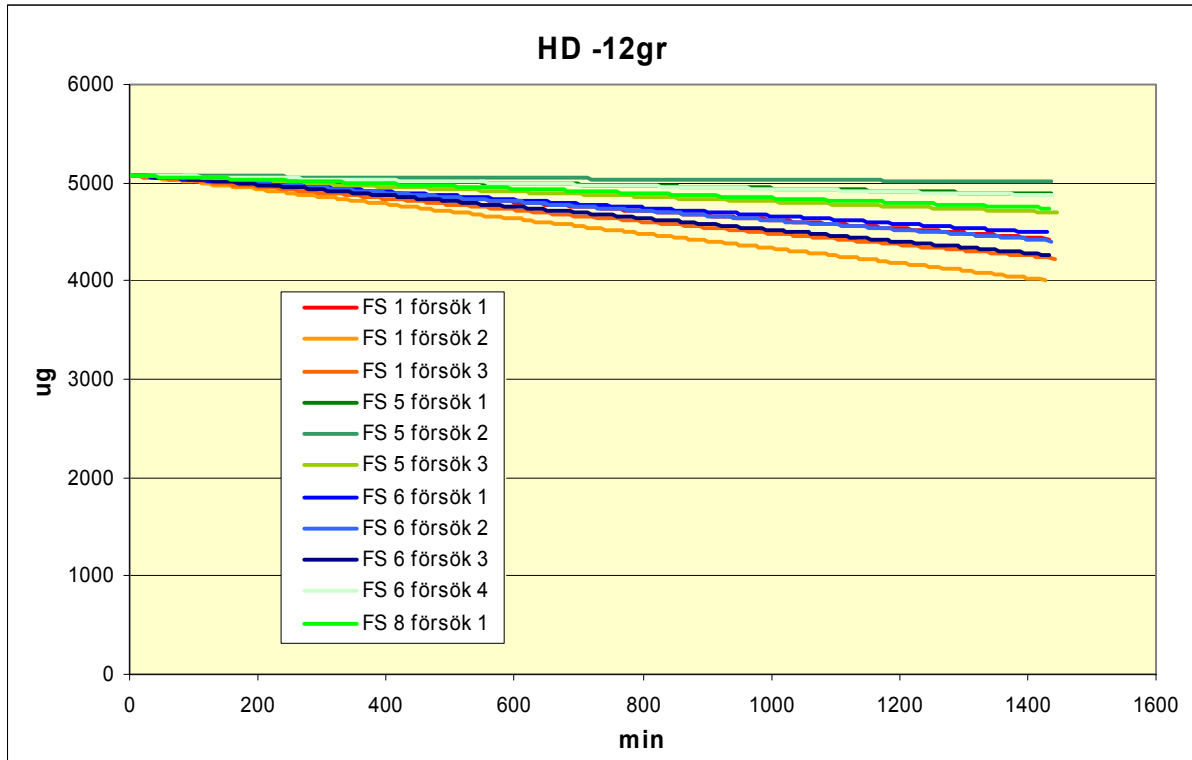
5. Avdunstningskurva för senapsgas vid +5°C
 b. logaritmisk skala; färgsystem 1 och 5



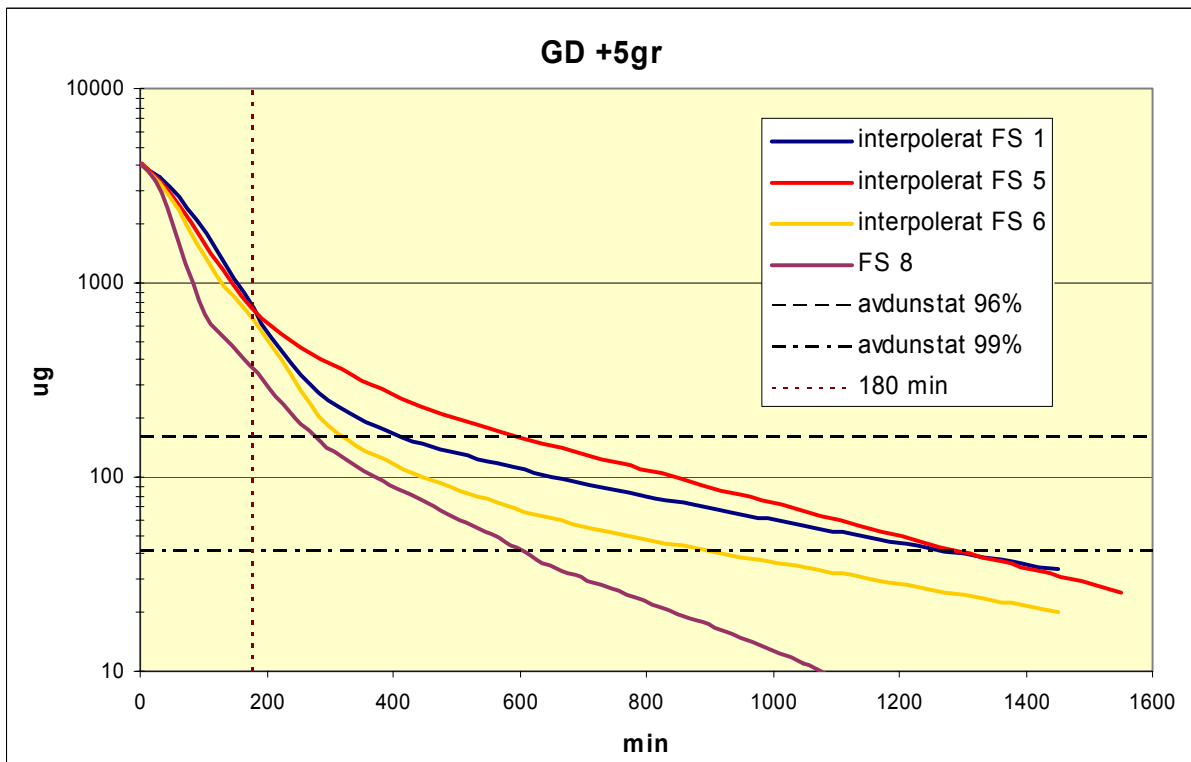
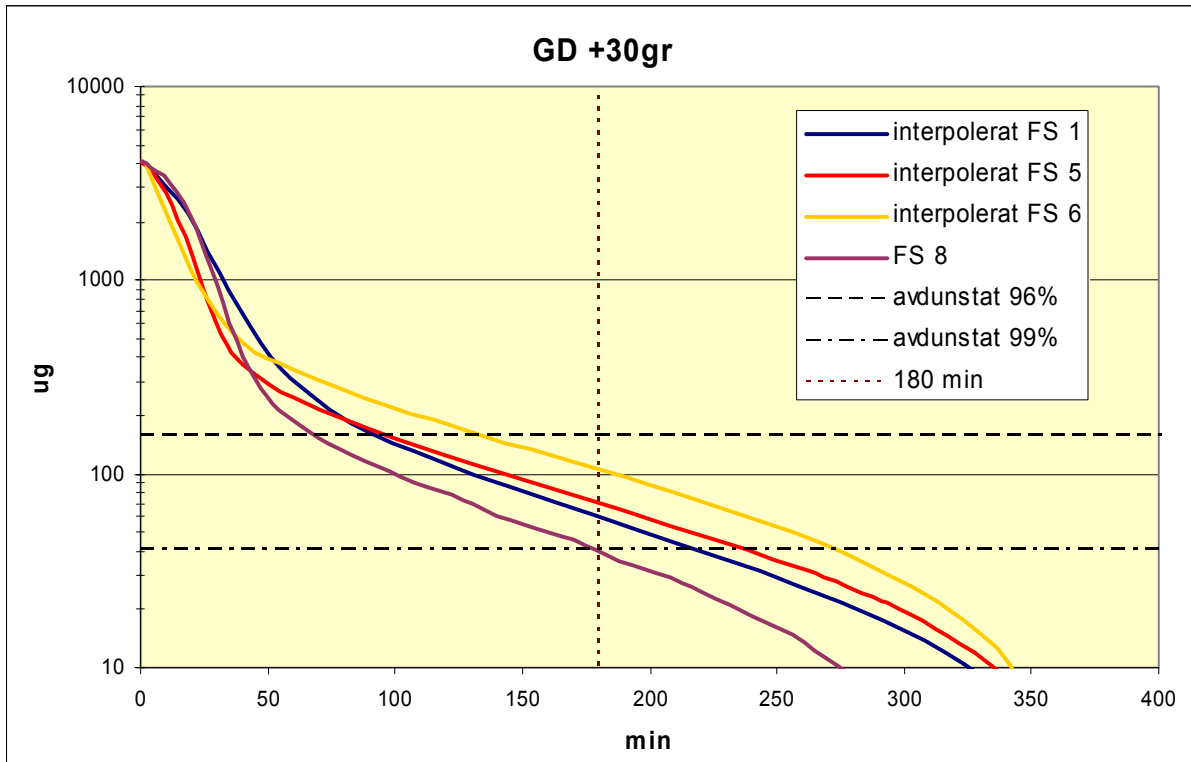
5. Avdunstningskurva för senapsgas vid +5°C
 b. logaritmisk skala; färgsystem 6 och 8



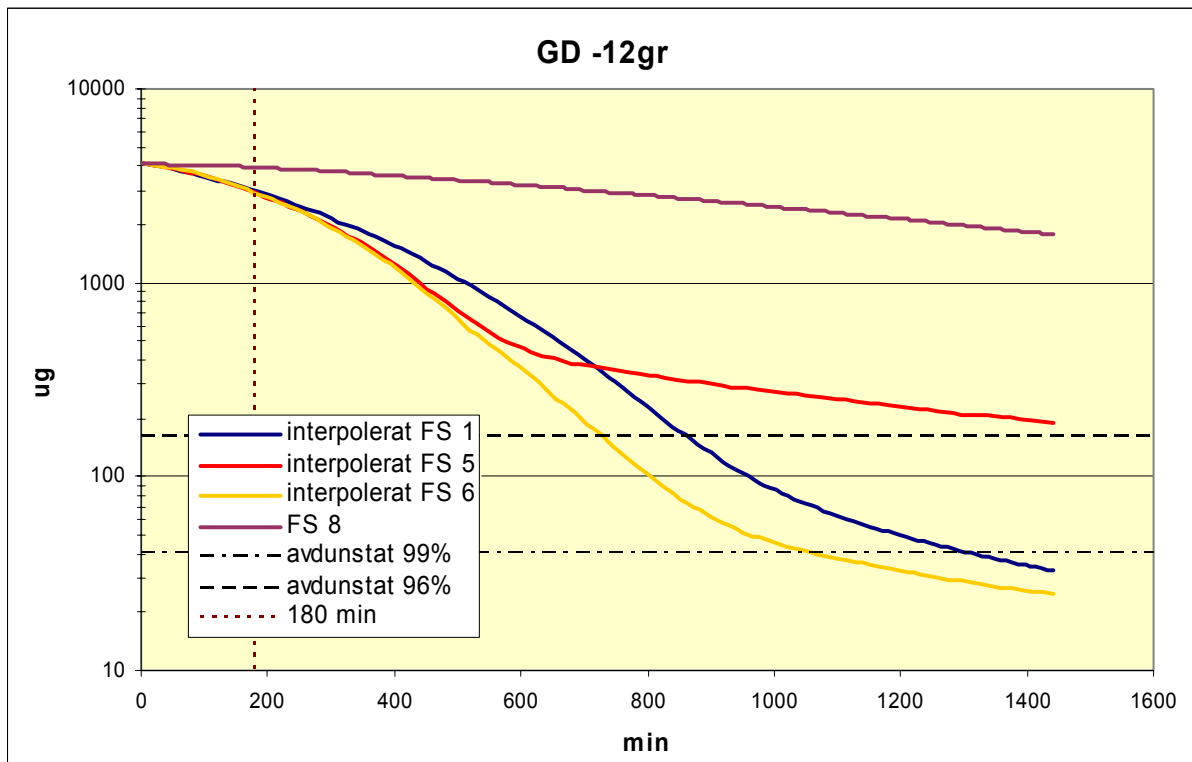
6. Avdunstningskurva för senapsgas vid -12°C
a. normal skala; färgsystem 1, 5, 6 och 8



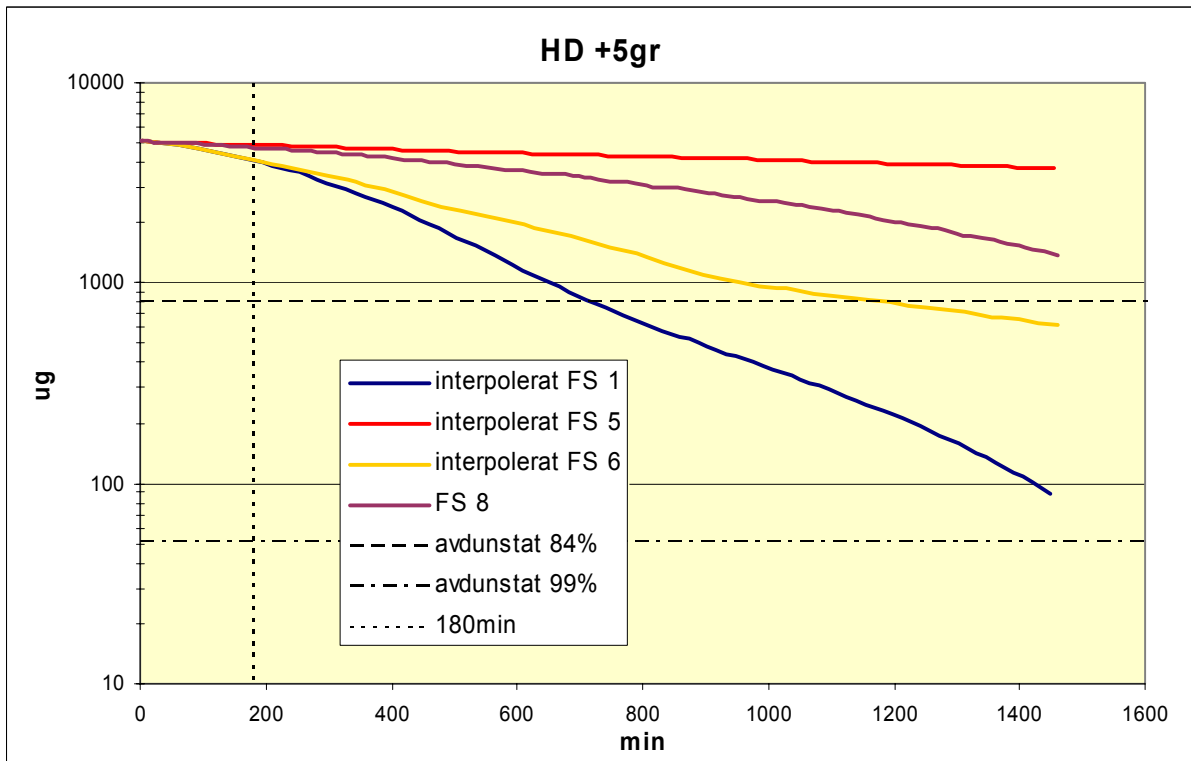
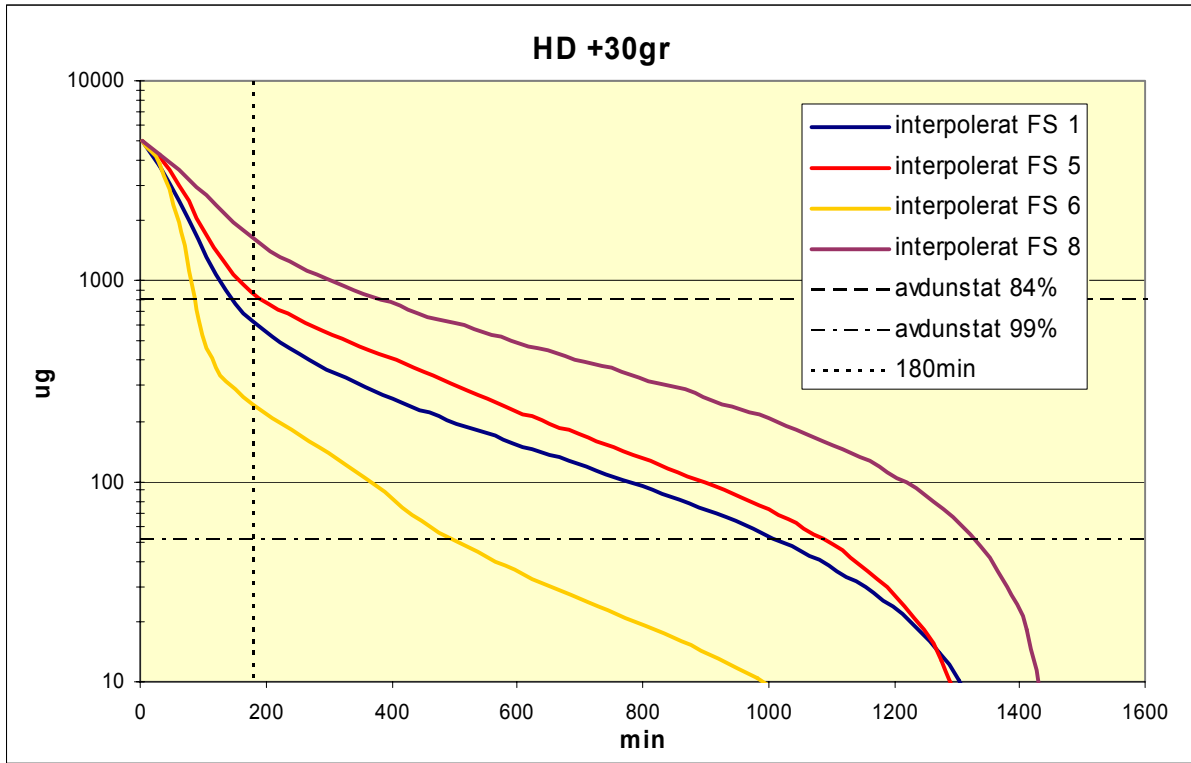
7. Interpolerade avdunstningskurvor för soman



7. Interpolerade avdunstningskurvor för soman, forts.



8. Interpolerade avdunstningskurvor för senapsgas vid +30°C och +5°C. Ej signifikant avdunstning vid -12°C



Bilaga 6 Avdunstningstid

Tidsintervall för avdunstning av agens från fyra olika färgsystem.

Senapsgas.

Tre försök per färgsystem för FS1, 5 och 6 samt ett försök för FS8 om inte annat anges

avdunstad mängd HD i %	FS1	FS5	FS6	FS8
	avdunstning vid +30°C i timmar ^a			
10	<0.3	0.3 – 0.7	0.3	0.3
20	0.4	0.5 - 1.0	0.5	0.7
50	1.0	1.0 – 1.9	0.8 – 0.9	1.8 – 2.0
84*	2.2 – 2.8	3.1 – 3.4	1.3 – 1.5	5.8 – 6.7
90	3.4 – 4.3	4.9 – 6.1	1.6 – 2.2	8.8 – 10.1
>99	>24	18.7 – 21.6	9.1 – 14.8	>24
	avdunstning vid +5°C i timmar			
10	1.8 – 2.2	6.8 – 9.1	1.2 – 4.8	4.4
20	2.6 – 3.5	13.7 – 22.6	1.9 – 7.8	7.7
50	5.1 – 8.8	>24	3.8 – 17.4	16.7
84*	8.7 – 17.7	-	7.1 - >24	>24
90	9.8 – 20.4	-	7.3 - >24	-
>99	>24	-	22.9 - >24	-
	avdunstning vid -12°C i timmar ^b			
10	11.0 - 18.1	>24	14.8 – 19.8	>24
20	22.3 - >24	-	>24	-
50	>24	-	-	-
84*	-	-	-	-
90	-	-	-	-
>99	-	-	-	-

* restmängd som anses vara säker vid beröring

a) FS8: två försök

b) FS6: fyra försök

Soman.

Tre försök per färgsystem för FS1, 5 och 6 samt ett försök för FS8 om inte annat anges

avdunstad mängd GD i %	FS1	FS5	FS6	FS8
	avdunstning vid +30°C i timmar ^a			
10	< 5 min	< 5 min	< 5 min	< 10 min
20	< 10 min	< 10 min	< 10 min	< 10 min
50	0.3	< 15 min	< 15 min	0.3
90	0.8	0.7	0.6 – 1.0	0.7
96*	1.2 – 2.2	1.5	1.9 – 2.5	1.2
>99	4.0 – 5.5	5.0	5.1 – 5.5	4.0
	avdunstning vid +5°C i timmar ^b			
10	0.4	0.3 – 0.5	< 10 min – 0.5	<15min
20	0.7 – 0.8	0.5 – 0.9	0.3 – 1.0	0.4
50	1.4 – 2.0	1.2 – 1.7	1.0 – 2.2	1.2
90	3.5 – 5.1	4.0 – 5.3	2.0 – 4.2	2.7
96*	4.8 – 12.0	8.9 – 11.1	4.9 – 5.9	4.6
>99	11.2 - >24	20.8 - >24	14.5 - >24	14.1
	avdunstning vid -12°C i timmar ^c			
10	1.1 – 1.5	1.0 – 1.7	1.3 – 1.7	5.5
20	1.9 – 2.8	1.8 – 2.6	1.9 – 2.7	9.2
50	4.3 – 6.5	3.9 – 4.8	4.0 – 5.5	20.7
90	9.0 – 13.2	8.2 - >24	7.2 – 10.9	>24
96*	11.7 – 16.3	9.3 - >24	8.1 – 13.3	-
>99	18.0 - >24h	14.0 - >24	13.2 - >24	-

* restmängd som anses vara säker vid beröring

a) FS5: ett försök

c) FS1: fyra försök

b) FS1: fem försök, FS5: fyra försök