

**Ytprofiler på kopparkapslar  
från deponeringshål 5 och 6  
i försöksserien Prototyp**

Claes Taxén, Swerea-Kimab

December 2013

**Svensk Kärnbränslehantering AB**

Swedish Nuclear Fuel  
and Waste Management Co

Box 250, SE-101 24 Stockholm  
Phone +46 8 459 84 00



ISSN 1651-4416

SKB P-13-50

ID 1395292

# **Ytprofiler på kopparkapslar från deponeringshål 5 och 6 i försöksserien Prototyp**

Claes Taxén, Swerea-Kimab

December 2013

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarens egen. SKB kan dra andra slutsatser, baserade på flera litteraturkällor och/eller expertsynpunkter.

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från [www.skb.se](http://www.skb.se).

## Sammanfattning

Kopparkapslar från SKB:s prototypförvar vid Äspö har undersökts avseende korrosion. Provet från kapslarna från deponeringshål 5 och 6 har studerats efter omkring sju år i prototypförvaret. Kopparytans morfologi har studerats och dokumenterats genom att ta prov i form av borrhärdar tvärs genom kapselväggen på sex olika platser per kapsel. Kopparytans ytprofil har mätts upp från SEM-bilder av tvärsnitt genom borrhärdarna. Observationer av maximalt gropdjup gjordes för 20 olika platser per prov. Mätvärden för gropdjup har behandlats med extremvärdesanalys. Resultaten är relativt samstämmiga för båda de undersökta kapslarna. Provet från bottenplattan uppvisar de största gropdjupen. Största observerade djup:  $\sim 7 \mu\text{m}$ . Provet från mitt på mantelytan uppvisar de minsta gropdjupen. Provet från locket, som inte har exponerats för kompakterad bentonit, intar ett mellanläge avseende gropdjup. Kapseln från deponeringshål 6 har något djupare gropar än kapseln från deponeringshål 5. Skillnaden är av storleksordningen 20 %. Resultaten från denna undersökning kan inte ligga till grund för en bedömning av morfologins utveckling med tiden. En sådan bedömning kan göras vid jämförelse med de inre kapslarna i försöksserien.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Bakgrund</b>	7
1.1	Prototypförvaret	7
1.2	Utförande av kopparkapslarna i prototypförvaret	8
<b>2</b>	<b>Experimentellt</b>	9
2.1	Nomenklatur	9
2.2	Provtagning från kopparkapslar från deponeringshåll 5 och 6	9
2.3	Ljusoptisk mikroskopi	9
2.4	Svepelektronmikroskopi	10
2.5	Metodik	10
<b>3</b>	<b>Extremvärdesanalys enligt Gumbel</b>	13
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	15
4.1	Ljusoptisk mikroskopi	15
4.2	Svepelektronmikroskopi	16
4.3	Extremvärdesanalys	18
4.4	Gropdjup på prov från kapsel 5	19
4.4.1	Gropdjup på prov 5A	19
4.4.2	Gropdjup på resterande prov från kapsel 5	19
4.4.3	Gropdjup på kapsel 5 som helhet	22
4.5	Gropdjup på prov från kapsel 6	22
4.5.1	Gropdjup på kapsel 6 som helhet	22
4.6	Försök att extrapolera uppmätta gropdjup till maximalt gropdjup för en hel kapsel	25
4.6.1	Systematik eller slumpmässighet i uppmätta gropdjup	25
4.6.2	Hur stor yta motsvarar en observation?	25
4.6.3	Hur stor yta har kapseln?	26
4.6.4	Prov från kapseln i deponeringshåll 5	26
4.6.5	Cylinderns mantelyta	26
4.6.6	Maximalt gropdjup för hela kapseln, alternativ 1	28
4.6.7	Maximalt gropdjup för hela kapseln, alternativ 2	31
4.6.8	Jämförelse mellan betraktelsesätt	31
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	33
5.1	Konsekvenser för fortsatta undersökningar	33
5.1.1	Alternativ extremvärdesanalys	34
5.1.2	Alternativa undersökningsmetoder	34
<b>6</b>	<b>Slutsatser</b>	35
	<b>Referenser</b>	37

# 1 Bakgrund

## 1.1 Prototypförvaret

'Prototyp' är en försöksserie där SKB exponerar fullskaliga kopparkapslar vid det underjordiska Äspölaboratoriet. Äspölaboratoriets rapport om verksamheten under 2011 ger följande beskrivning av prototypförvaret (SKB 2012) i den svenska sammanfattningen:

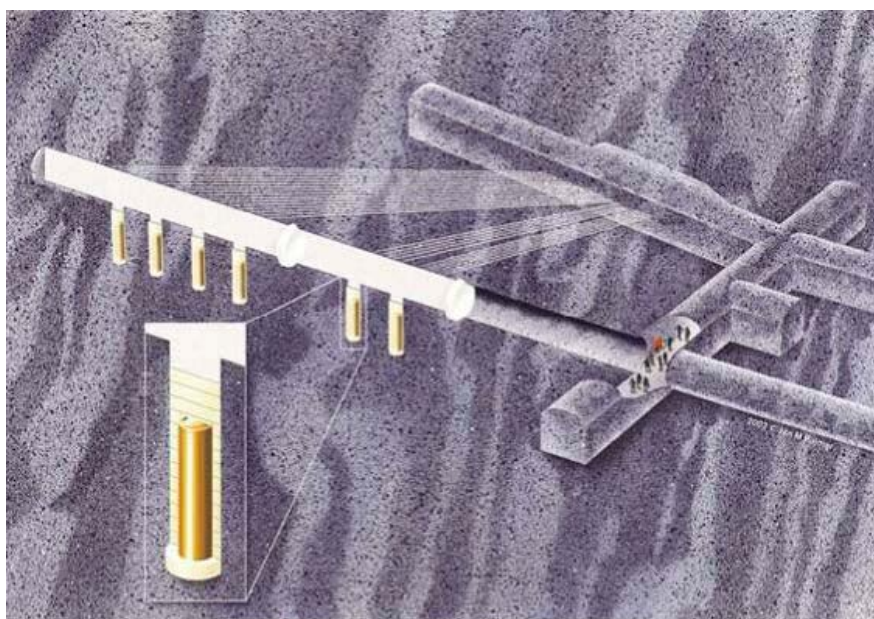
"I Prototypförvaret pågår en demonstration av den integrerade funktionen hos förvarets barriärer. Prototypförvaret utgör dessutom en fullskalig referens för prediktiv modellering av slutförvaret och barriärernas utveckling. Prototypförvaret omfattar totalt sex deponeringshåll, fyra i en inre tunnelsektion och två i en yttre. Mätningar av relativ fuktighet, portryck, totalt tryck och temperatur i olika delar av testområdet genomförs kontinuerligt. Genomförda mätningar indikerar att återfyllningen i båda sektionerna av tunneln är vattenmättade och att mätnadsgraden i bufferten varierar för de olika deponeringshålen. Under 2011 startade uttaget av återfyllnaden i Sektion II."

Figur 1-1 visar en skiss av prototypförvaret med sex vertikala kopparkapslar till vänster i bild (SKB 2012). Deponeringshåll 5 och 6 avser de två yttersta, dvs de två längst till höger i bild, av de sex.

Försöken var från början inte avsedda för att studera kopparkorrosion. I samband med att de första kapslarna tagits upp ur prototypförvaret beslöts att ändå studera kopparytan med avseende på korrosion. Tabell 1-1 visar tidpunkter för när exponeringen kan anses starta och sluta. Om startdatum anses vara det datum då tunneln ovanför deponeringshåll 5 och 6 återfylls och försluts och slutdatum anses vara när kapslarna tas upp ur deponeringshålen så har exponeringstiden varit mellan sju och åtta år för båda kapslarna. Kapseln från deponeringshåll 6 förvarades sedan underjord i tunnelsystemet under några månader efter upptaget ur deponeringshålet. Kapseln från deponeringshåll 5 togs direkt till markytan.

**Tabell 1-1. Kronologi för kapslarna.**

	Kapsel 5	Kapsel 6
Start datum (återfyllnad klar)	Jun 2004	Jun 2004
Upptag ur deponeringshåll	Dec 2011	Jul 2011
Till markytan	Dec 2011	Nov 2011



**Figur 1-1.** Schematisk bild av prototypförvaret (inte skalnligt) (SKB 2012).

## **1.2 Utförande av kopparkapslarna i prototypförvaret**

Kopparkapslarna i prototypförvaret har varit elektriskt uppvärmda och försedda med olika sensorer. Utförandet skiljer sig därmed något från det utförande som kapslar avsedda för använt kärnbränsle kommer att ha. Direkt ovanpå varje kapsel i prototypförvaret ligger en kopparring som distans till ett extra kopparlock. Syften med dessa dubbla lock är att skydda genomföringen för kablar mot skador. Såväl yttre som inre lock har skruvats fast och alltså inte svetsats. Kopparringen från kapsel 5 har tidigare studerats med avseende på korrosion (Taxén et al. 2012). Samtliga prov i denna studie kommer från själva kapseln.

## 2 Experimentellt

### 2.1 Nomenklatur

Denna studie omfattar prov och observationer från två olika kopparkapslar. För tydlighets skull definierar vi begreppen här. Ett prov avser en borrhärna. En observation från ett prov avser en mätning av maximalt gropdjup över ett visst längdintervall över kapselns ytteryta. Det kan finnas flera gropar inom en observation men bara den djupaste inom längdintervallet registreras.

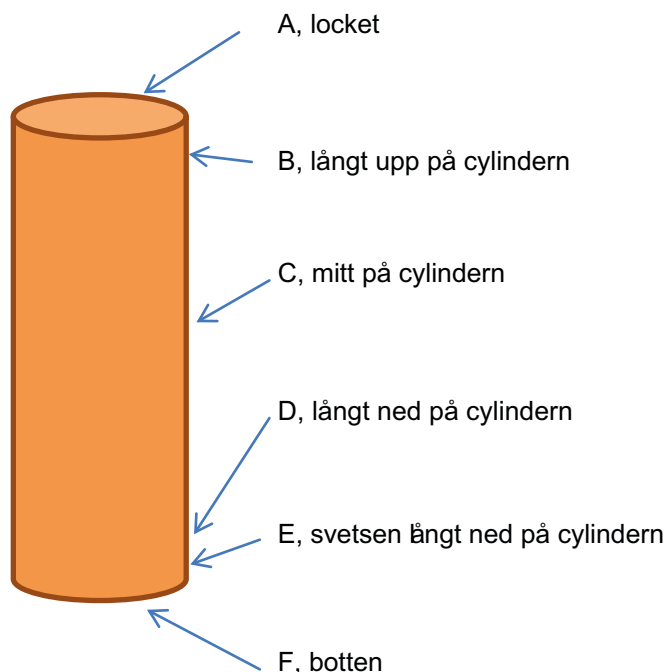
Kopparkapslarna refereras här till efter det deponeringshål de varit placerade i inom försöksserien Prototyp. Kapseln från deponeringshål 5 kallas för enkelhetens skull kapsel 5 och den från deponeringshål 6 kallas kapsel 6.

### 2.2 Provtagning från kopparkapslar från deponeringshål 5 och 6

Prover från kopparkapslar togs ut från olika positioner på kapseln. Skissen i figur 2-1 visar positionerna för de olika prover som togs ut i form av borrhärnor genom kapseln lock, vägg och botten. Totalt sex prover togs från varje kapsel och identifieras här med en bokstav A–F. Figur 2-2 visar en bild från provtagning av botten på kapsel 5. Borrhärnorna hade en diameter på omkring 20 mm.

### 2.3 Ljusoptisk mikroskopi

Ljusoptisk mikroskopi utfördes med mikroskop Askania, MZM 1 försedd med digitalkamera Kappa DX 40.



*Figur 2-1. Skiss med positioner på kapseln där prover av kopparmetallen togs ut i form av borrhärnor.*



*Figur 2-2. Fotografi från provtagning av botten på kapsel 5.*

## 2.4 Svepelektronmikroskopi

FEG-SEM utrustningen som användes i detta arbete var ett LEO 1530 med Gemini kolumn, uppgraderat till ett Zeiss Supra 55 (FEG-SEM = 'Field Emission Gun-Scanning Electron Microscopy'). Vid insamlandet av bilder användes en back-scatter detektor med SEM-inställningarna 15kV och 60  $\mu\text{m}$  apertur på ett arbetsavstånd av ca: 10 mm.

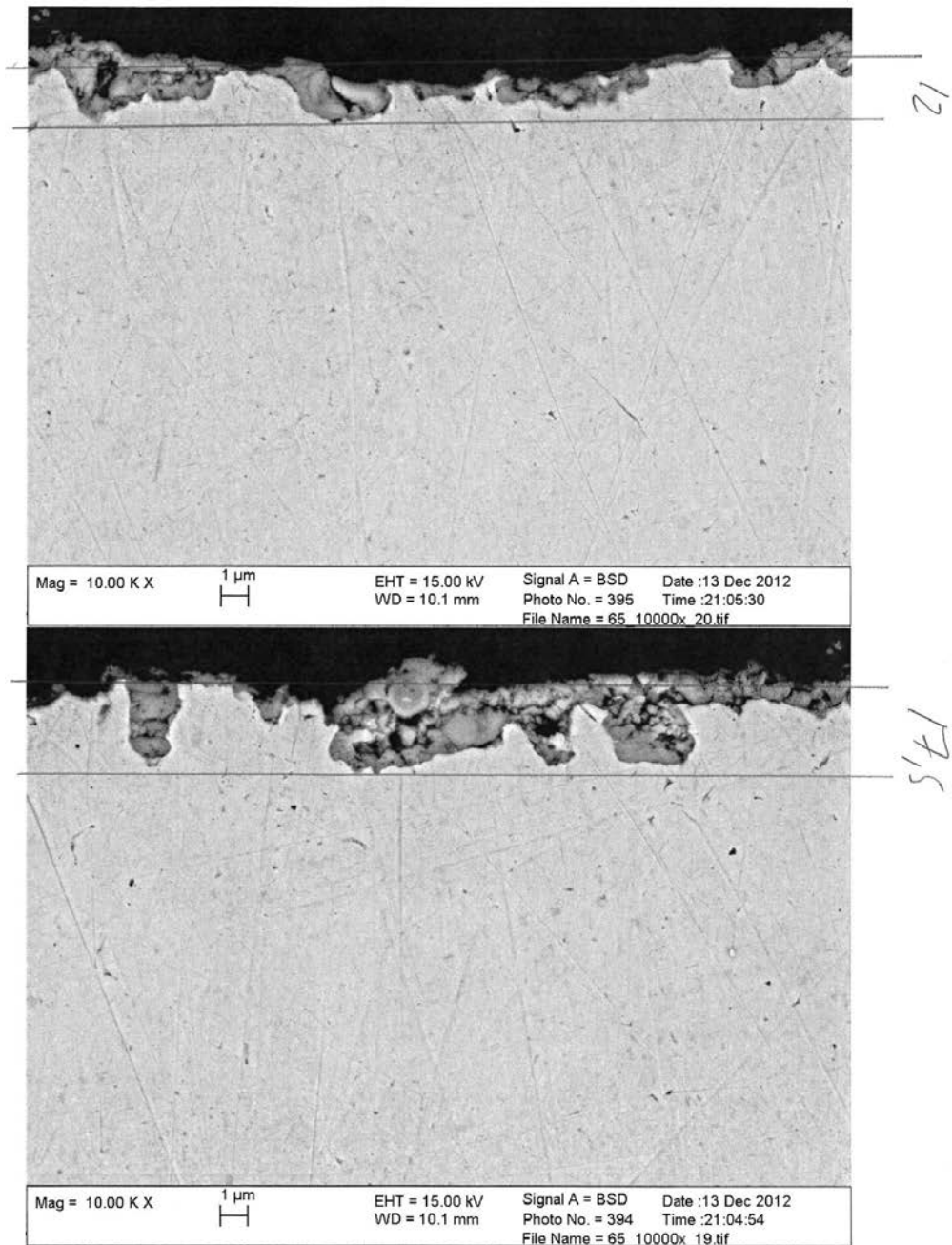
## 2.5 Metodik

Borrkärnorna fotograferades enligt avsnitt 2.3. Ett stycke i form av en halv cylinder sågades ut ur varje borrkärna med bågfil. Dessa stycken göts i en metallografisk harts orienterade så att den del som utgjort kapselns utsida avtecknar sig i profil. Den ingjutna metallytan slipades på en roterande skiva med successivt finare slippapper med kiselkarbid ned till finhetsgrad 1 200. Efter detta polerades proverna på en roterande skiva med successivt finare diamantpasta ned till 0,25  $\mu\text{m}$ .

Tvärsnitten studerades och fotograferades i svepelektronmikroskop. Efter att ha studerat bilder med olika grad av förstoring valdes en förstoring av 10 000 gånger för visuell mätning av djup av förekommande ojämnheter i ytan. Denna grad av förstoring valdes för att ge ett tillräckligt stort synfält för att visa läget av medelytan samtidigt som djupet på ojämnheter och gropar kunde mätas med tillräcklig noggrannhet. Figur 2-3 illustrerar förfarandet. Bilderna skrevs ut på papper, ett streck ritades efter den yttersta delen av kopparmetall och ett annat streck efter den innersta gropen i metallen. Det eftersträvades att båda linjerna skulle vara parallella med medelytan, så som den framträdde över det begränsade synfältet. Avståndet mellan de parallella linjerna korrelerades mot bildens skalstreck så att ett mått i mikrometer erhöles. Vidden på synfältet för varje bild uppmättes på detta sätt till 29  $\mu\text{m}$ . Om det antas att hela ytan är något korroderad men ursprungligen varit helt jämn motsvarar avståndet mellan de två linjerna maximalt gropdjup för detta synfält.

Tjugo stycken observationer gjordes för varje prov. Avsikten var att observationerna skulle göras slumpmässigt utefter den profil av kapsels ytteryta som avtecknas i provet. Läget runt de spår som kvarstår efter kapselns tillverkning undveks dock avsiktligt. Detta har dock inte inneburit någon stor begränsning av den undersökta ytan eftersom också flankerna på spåren ter sig som plana ytor vid den höga förstoring som användes vid fotografering i svepelektronmikroskop.





**Figur 2-3.** Illustration av förfarandet vid bestämning av maximalt gropdjup för en observation. De handskrivna siffrorna anger uppskattat gropdjup i millimeter på pappret. Dessa mått räknades om till verkliga djup med hjälp av skalan långt ned till vänster i bild.

### 3 Extremvärdesanalys enligt Gumbel

Extremvärdesanalys används ibland för att uppskatta sannolikheten för att det finns ett korrosionsangrepp som är djupare än ett visst värde. Den enklaste och troligen den vanligaste bygger på att de djupaste groparna över ett visst intervall har en fördelning som kan bestämmas från ett antal prov. Exempel på användningen av ett begränsat antal mätningar av maximala korrosionsdjup för att bedöma helheten ges i TWI (2002). Ytterligare information ges av Shibata (1994).

Modellfunktionen för extremvärdesanalys av frätgropsdjup enligt Gumbel kan skrivas:

$$F(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-\lambda}{\alpha}\right)\right) \quad 3-1$$

Där  $x$  är gropdjup,  $\alpha$  och  $\lambda$  är parametrar som bestäms utifrån mätdata och funktionen  $F(x)$  beskriver sannolikheten att djupet  $x$  är det största värdet för en observation.

Metoden som används bygger på följande steg:

- Bestäm storleken på ett fönster på provytan så att ett flertal oberoende fönster kan betraktas och så att maximalt gropdjup inom varje fönster kan mätas.
- Utför mätningarna.
- Ordna mätvärdena i en fallande skala.
- Rita upp ett diagram där de uppmätta djupen utgör x-koordinat och y-koordinaten beräknas enligt ekvation 3-2.

$$y_i = -\ln\left(-\ln\left(1-\frac{i}{N+1}\right)\right) \quad 3-2$$

där  $N$  är antalet observationer och  $i$  är ordningstalet i tabell sorterad i fallande ordning.

- Bestäm lutning och avskärning mot x-axeln för den bästa linje som kan anpassas till mätdata.

Om punkterna uppenbart inte bildar någon linje utan har systematiska avvikelser så är metoden inte tillämpbar. Omvänt, om punkterna bildar en linje utan systematiska avvikelser så kan metoden anses ge meningsfulla resultat. Parametrarna  $\alpha$  och  $\lambda$  i ekvation 3-1 kan bestämmas ur den räta linjens lutning och avskärning eller med andra metoder (Shibata 1994).  $1/\alpha$  är den räta linjens lutning och  $\lambda$  av skärningen med x-axeln vid  $y = 0$ .

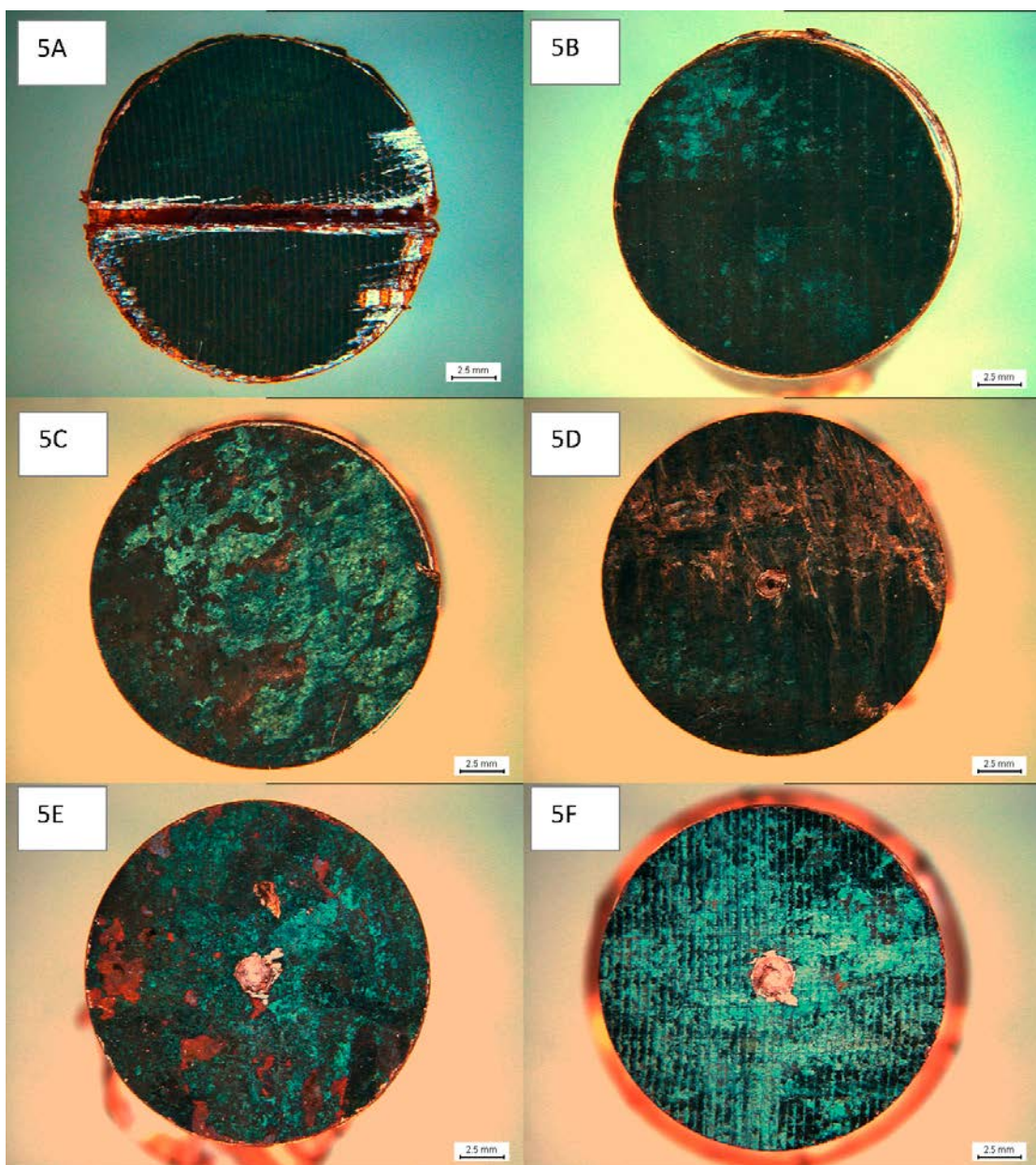
Metoden ger möjlighet att extrapolera från en observerad yta till en mycket större yta men det går inte att direkt extrapolera från en exponeringstid till en längre. I denna rapport används metodiken främst som ett sätt att sammanfatta och visualisera resultaten av mätningarna av ytornas morfologi.

## 4 Resultat

### 4.1 Ljusoptisk mikroskopi

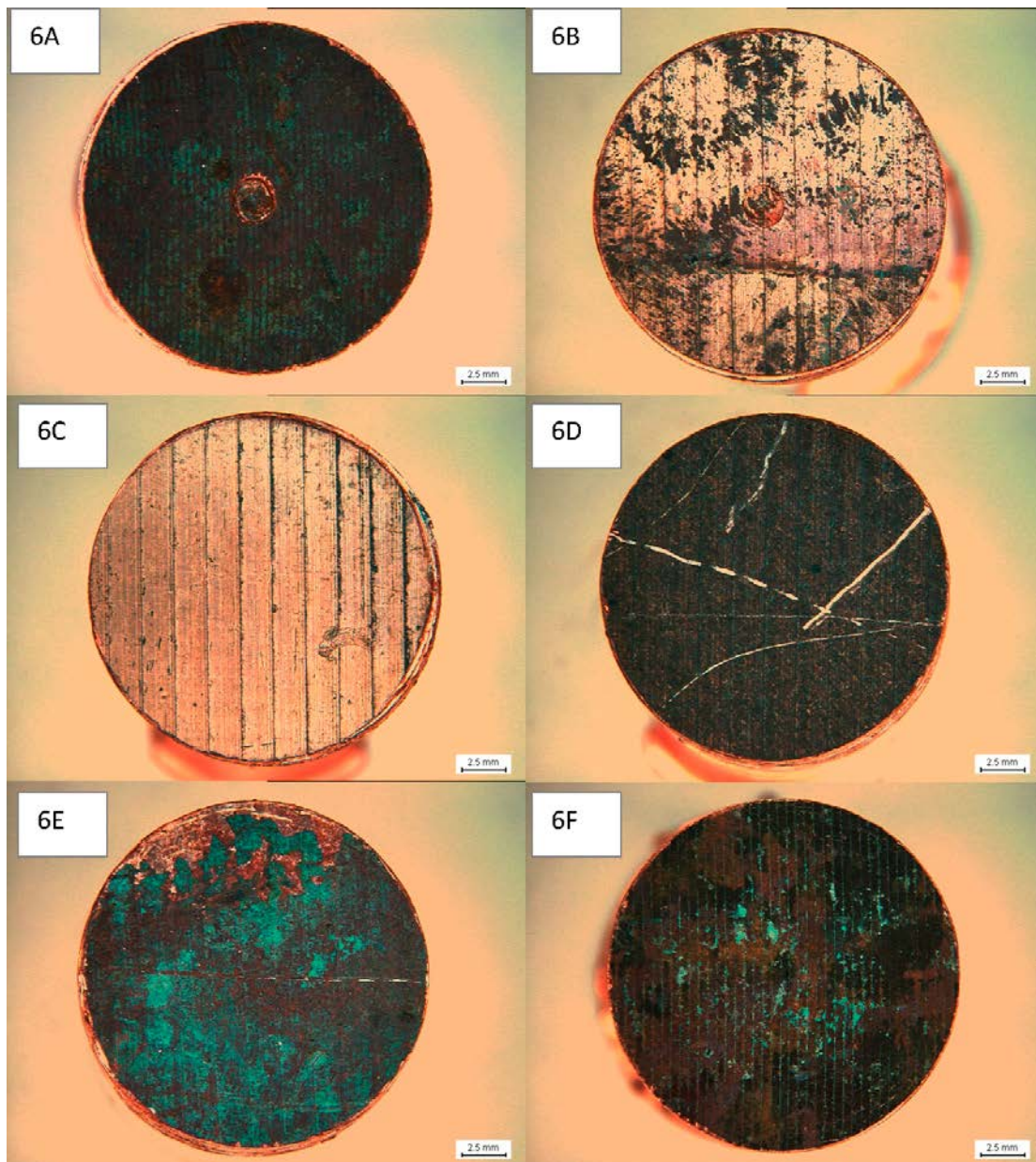
Figur 4-1 och 4-2 visar bilder av den yta på borrhärnorna som varit exponerad utåt. Figur 4-1 visar bilder från kapsel 5 och figur 4-2 från kapsel 6. De uppenbara skadorna i metallen har orsakats vid provtagning och hantering. Bild 5A i figur 4-1 visar spår efter den bågfil som användes för att dela proven.

Som figur 4-1 och 4-2 visar så syns spår i metallytan efter tillverkningen. Proven från cylinderns mantelyta har omkring 1,5 mm mellan spåren medan proven från botten och locket har omkring 0,5 mm mellan spåren. Spåren har en höjd på omkring 10 µm. Fasta korrosionsprodukter och sannolikt också bentonitrestar syns i varierande grad på proven.



**Figur 4-1.** Bilder av den yta på borrhärnorna från kapsel 5 som varit exponerade utåt. Jämförelseskalan är 2,5 mm lång.





**Figur 4-2.** Bilder av den yta på borrhärdarna från kapsel 6 som varit exponerade utåt. Jämförelseskalan är 2,5 mm lång.

## 4.2 Svepelektronmikroskopi

Svepelektronmikroskopi användes för att fotografera proven enligt avsnitt 2.4 och mäta maximala gropdjup enligt avsnitt 2.5. Tabell 4-1 och 4-2 visar uppmätta maximala djup.

En jämförelse mellan tabell 4-1 och 4-2 visar att de maximala gropdjupen är något större för kapseln från deponeringshåll 6, för de flesta positioner. De maximala observerade gropdjupen för position E och F är omkring 20 % större för kapseln från deponeringshåll 6 än för motsvarande position för kapseln från deponeringshåll 5.

**Tabell 4-1. Uppmätta djup (µm) på prov från kapseln i deponeringshål 5. Djupen är ordnade i fallande skala för varje prov. Bokstäverna A-F avser positioner på kapseln enligt figur 2-1.**

5A	5B	5C	5D	5E	5F
4,2	4,2	2,9	5,1	4,5	5,4
2,9	3,5	2,7	4,5	4,0	5,3
2,7	3,1	2,7	4,4	3,4	4,9
2,5	2,7	2,1	3,5	3,4	4,3
2,4	2,5	1,9	3,1	3,4	4,2
2,4	2,5	1,9	2,9	3,3	4,0
2,1	2,4	1,8	2,9	3,1	4,0
2,0	2,2	1,7	2,7	3,0	3,8
1,8	1,8	1,6	2,6	3,0	3,1
1,6	1,8	1,6	2,6	2,9	3,1
1,5	1,8	1,5	2,5	2,8	3,1
1,5	1,8	1,5	2,5	2,8	2,9
1,5	1,7	1,5	2,3	2,5	2,9
1,5	1,6	1,5	2,2	2,4	2,8
1,5	1,6	1,5	2,0	2,2	2,7
1,4	1,5	1,4	2,0	2,2	2,7
1,1	1,5	1,3	1,9	2,1	2,5
1,1	1,5	1,3	1,4	2,1	2,3
1,1	1,4	1,3	1,2	2,0	2,3
1,1	1,3	1,1	0,5	1,9	0,9

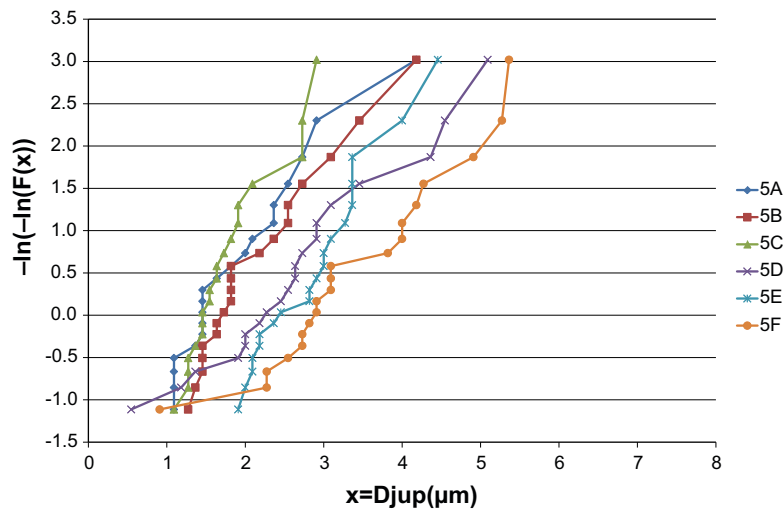
**Tabell 4-2. Uppmätta djup (µm) på prov från kapseln i deponeringshål 6. Djupen är ordnade i fallande skala för varje prov. Bokstäverna A-F avser positioner på kapseln enligt figur 2-1.**

6A	6B	6C	6D	6E	6F
4,5	3,8	3,0	3,5	5,7	6,9
3,6	2,9	2,9	3,4	5,5	6,7
3,5	2,6	2,5	3,3	5,3	6,3
3,3	2,5	2,4	3,1	4,8	6,3
3,2	2,5	2,4	3,1	4,4	5,2
2,8	2,4	2,3	3,0	4,2	4,9
2,6	2,4	2,2	2,9	4,0	4,8
2,5	2,4	2,1	2,5	3,8	4,8
2,5	2,2	2,0	2,4	3,7	4,7
2,1	2,2	2,0	2,4	3,6	4,4
2,1	2,2	1,9	2,2	3,5	4,2
2,1	2,1	1,8	2,1	3,5	4,2
2,1	2,0	1,8	2,0	3,5	4,2
1,8	1,8	1,7	1,8	3,3	4,0
1,8	1,8	1,6	1,6	3,2	3,7
1,8	1,8	1,5	1,6	3,1	3,6
1,7	1,7	1,5	1,5	2,5	3,5
1,5	1,5	1,4	1,5	2,4	3,1
1,5	1,5	1,3	1,5	2,2	2,9
0,9	1,3	0,9	1,3	2,0	2,7

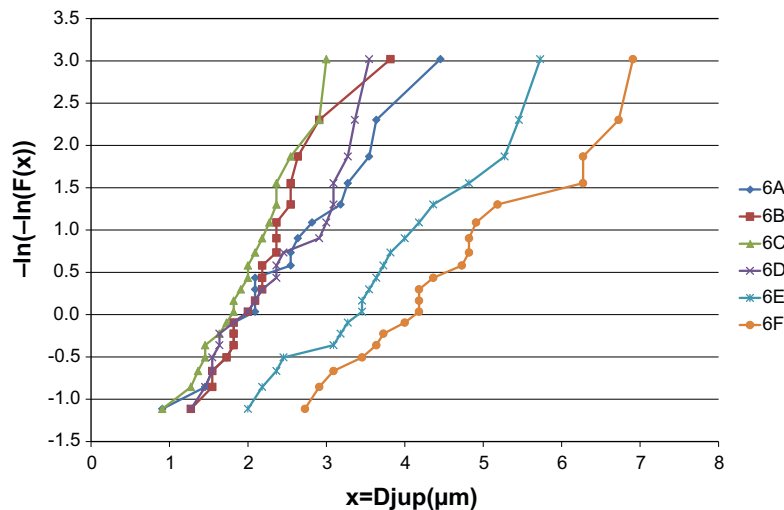
### 4.3 Extremvärdesanalys

Figur 4-3 och 4-4 visar sammanställningar av mätdata för kapsel 5 och 6. Värdena har ordnats i fallande ordning och y-värdet beräknats enligt ekvation 3-2. I denna form bildar punkterna idealt en rät linje som används för att bestämma parametrarna  $\alpha$  och  $\lambda$  i Gumbels ekvation 3-1. Bokstäverna A–F anger positionen på kapseln där provet tagits och siffran 5 eller 6 anger vilket deponeringshål som kapseln tagits från.

En jämförelse mellan diagrammen i figur 4-3 och 4-4 visar att position F dvs bottenplattan haft de största gropdjupen på båda kapslarna. De minsta gropdjupen finns i position C, dvs mitt på den cylindriska ytan på båda kapslarna.



**Figur 4-3.** Samtliga mätdata för de enskilda proven från kapsel 5 uppritade i den form som används för att bestämma parametrarna  $\alpha$  och  $\lambda$  i Gumbels ekvation 3-1.



**Figur 4-4.** Samtliga mätdata för de enskilda proven från kapsel 6 uppritade i den form som används för att bestämma parametrarna  $\alpha$  och  $\lambda$  i Gumbels ekvation 3-1.

## 4.4 Gropdjup på prov från kapsel 5

### 4.4.1 Gropdjup på prov 5A

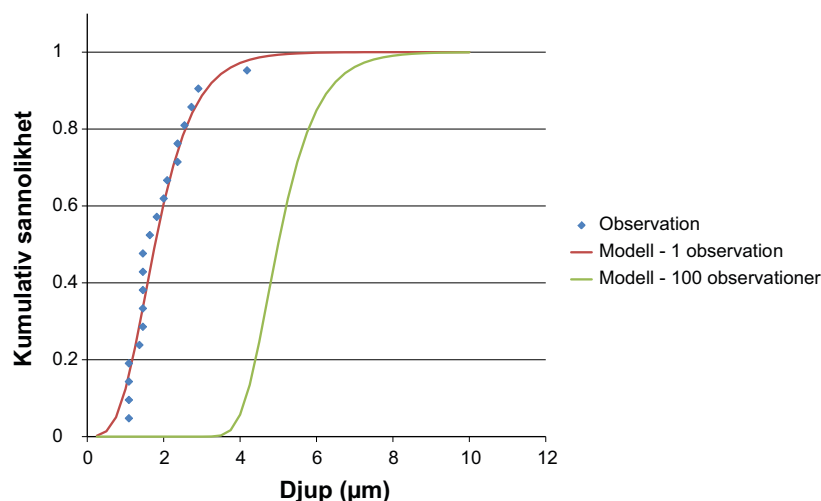
De uppmätta djupen utgör x-koordinater i det vi här kallar Gumbel-diagram. Y-koordinaten i Gumbel-diagrammen är  $\exp(-\exp(-y))$  där  $y$  beräknades enligt ekvation 3-2. För varje kapsel finns alltså sex prov och sex serier med data. Figur 4-5 visar resultat för prov 5A. De enskilda observationerna visas med en fyrkant. Modellfunktionen  $F(x, \lambda, \alpha)$  visas med rödbrun kurva. Parametrarna  $\lambda$  och  $\alpha$  bestämdes till 1,52  $\mu\text{m}$  respektive 0,70  $\mu\text{m}$  med linjär regression för dataserien 5A i figur 4-3.

Den rödbruna modellkurvan i figur 4-5 kan tolkas som sannolikheten att det största gropdjupet för en observation är mindre än ett visst värde. Den gröna kurvan visar sannolikheten för att det största gropdjupet inom en grupp av 100 observationer är mindre än ett visst värde. Den kumulativa sannolikheten för 100 observationer fås som den kumulativa sannolikheten för en observation upphöjt till 100 (TWI 2002).  $F(x)$ , i ekvation 3-1, upphöjt till talet  $N$  visar sig vara ekvivalent med en translation i x-led med  $\alpha \cdot \ln(N)$  (Shibata 1994), i detta fall  $0,70 \cdot \ln(100) \sim 3,2 \mu\text{m}$ . För 10 000 observationer skulle sannolikhetskurvan translateras ytterligare 3,2  $\mu\text{m}$ .

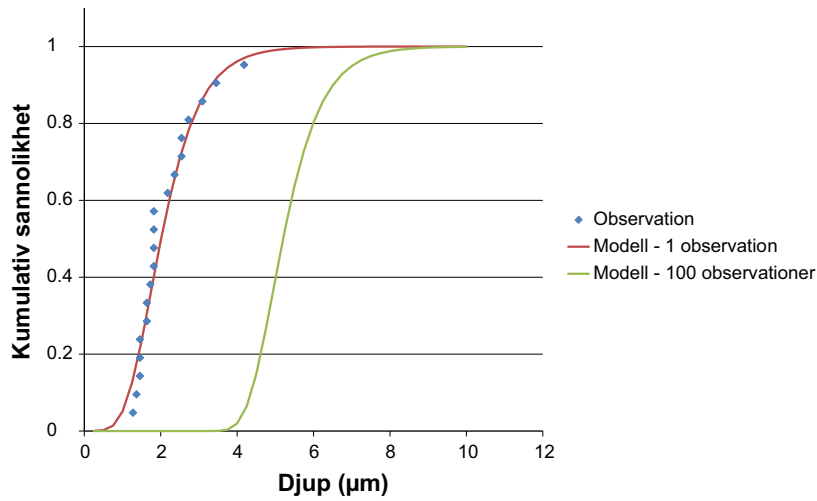
Den fysikaliska meningen av parametrarna  $\alpha$  och  $\lambda$  framträder nu. Parametern  $\lambda$  ger ett värde relaterat till medelvärdet på de maximala gropdjupen för en grupp observationer. Eftersom detta medelvärde inte skulle öka med flera likartade observationer så påverkas inte extrapolationen till 100 observationer av värdet på  $\lambda$ . Parametern  $\alpha$  utgör ett mått på spridningen i maximala gropdjup inom en grupp observationer. Vid extrapolation till 100 observationer medför en större spridning i maximala gropdjup att sannolikheten att det inom dessa 100 observationer förekommer stora gropdjup ökar.

### 4.4.2 Gropdjup på resterande prov från kapsel 5

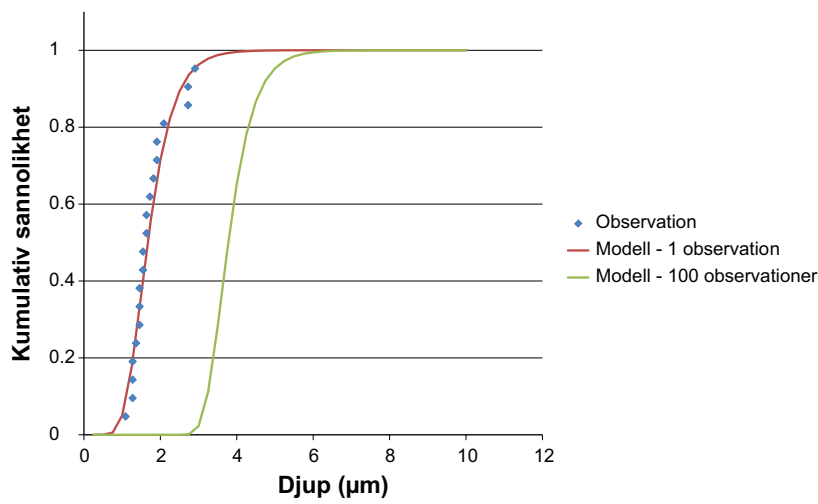
Figur 4-6 till 4-10 visar Gumbel diagram för proverna 5B, 5C, 5D, 5E och 5F. Tabell 4-3 sammanfattar diagrammen i parametrarna  $\alpha$  och  $\lambda$  samt den statistiska förklaringsgraden,  $r^2$ , för bestämningen av dessa värden. Värden som bildar en perfekt linje skulle ge ett värde på  $r^2$  lika med ett. Helt slumpmässiga värden skulle ge ett värde på  $r^2$  lika med noll.



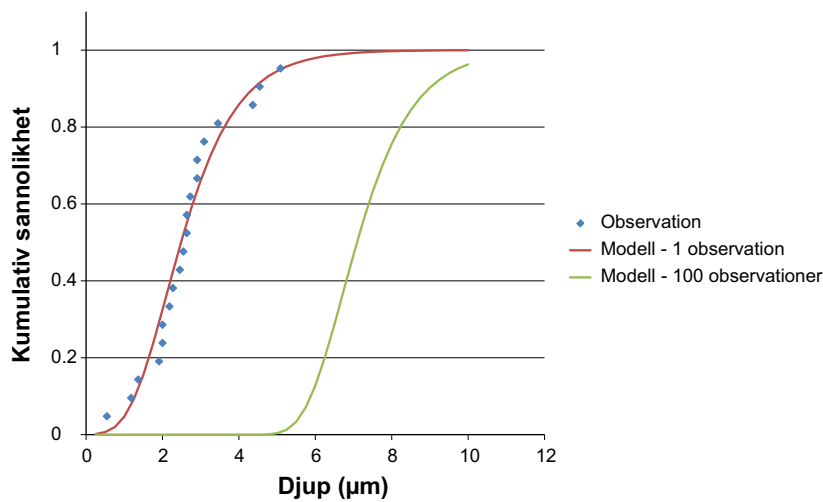
Figur 4-5. Gumbel sannolikhetsdiagram för prov 5A.



Figur 4-6. Gumbel sannolikhetsdiagram för prov 5B.

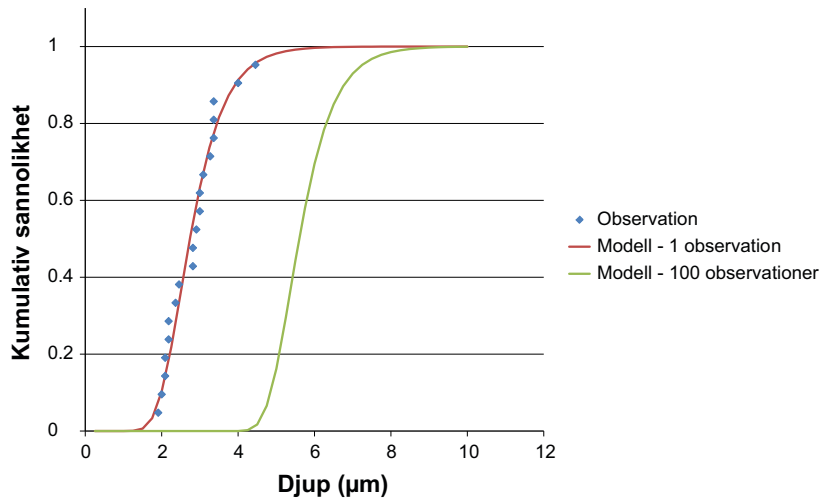


Figur 4-7. Gumbel sannolikhetsdiagram för prov 5C.

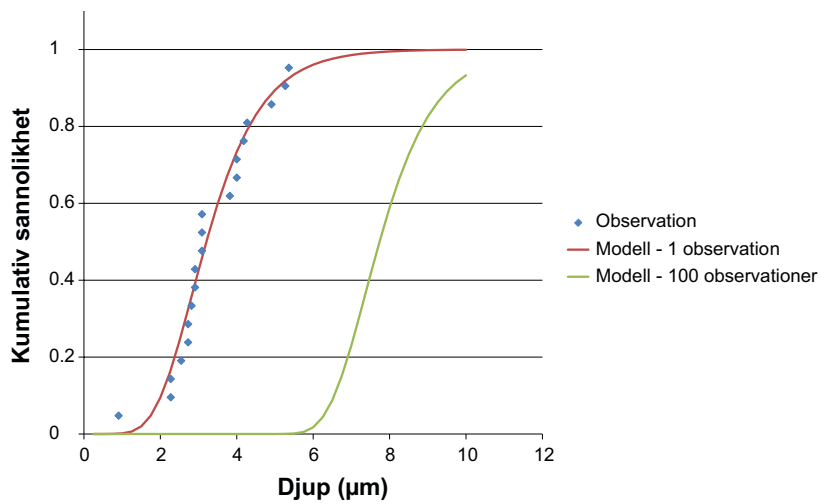


Figur 4-8. Gumbel sannolikhetsdiagram för prov 5D.





Figur 4-9. Gumbel sannolikhetsdiagram för prov 5E.



Figur 4-10. Gumbel sannolikhetsdiagram för prov 5F.

Tabell 4-3. Sammanställning av extremvärdesparametrarna  $\alpha$  och  $\lambda$  för proven från kapsel 5.  $r^2$  är den statistiska förklaringsgraden.

Prov	$\alpha$ ( $\mu\text{m}$ )	$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	$r^2$
5A	0,70	1,52	0,94
5B	0,69	1,76	0,95
5C	0,46	1,50	0,94
5D	1,00	2,12	0,96
5E	0,62	2,51	0,97
5F	0,98	2,84	0,94
Hela kapsel 5	0,83	1,96	0,99

### 4.4.3 Gropdjup på kapsel 5 som helhet

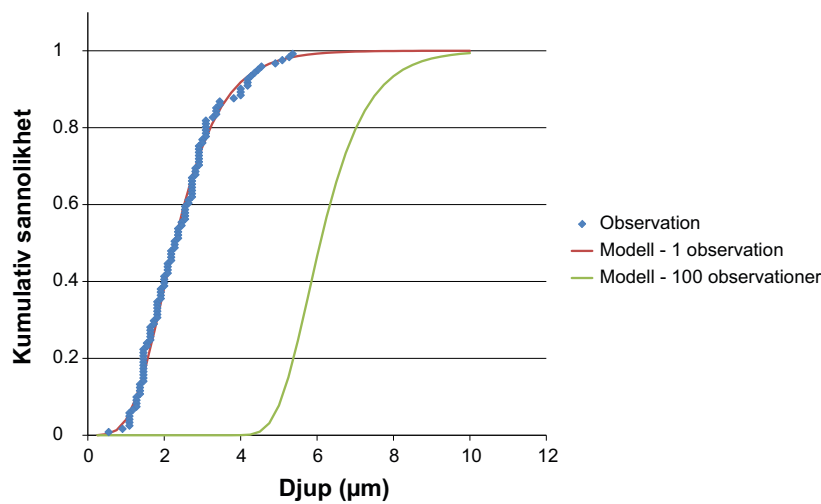
Sex olika prov togs från kapsel 5. Proven har behandlats var för sig med de kan också sammanställas för att ge en genomsnittlig bild av hela kapseln. Figur 4-11 visar ett Gumbel diagram där alla observationer från kapsel 5 tagits med. Parametrarna för hela kapseln visas i tabell 4-3.

## 4.5 Gropdjup på prov från kapsel 6

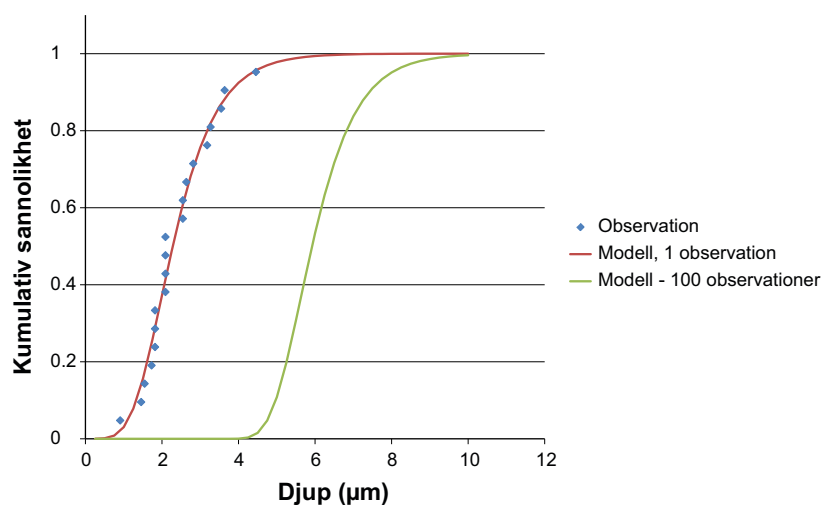
Figur 4-12 till 4-17 visar Gumbel-diagram för de olika prov som togs från kapsel 6. Figur 4-18 visar ett genomsnitt för hela kapsel 6. En sammanställning av parametrarna visas i tabell 4-4.

### 4.5.1 Gropdjup på kapsel 6 som helhet

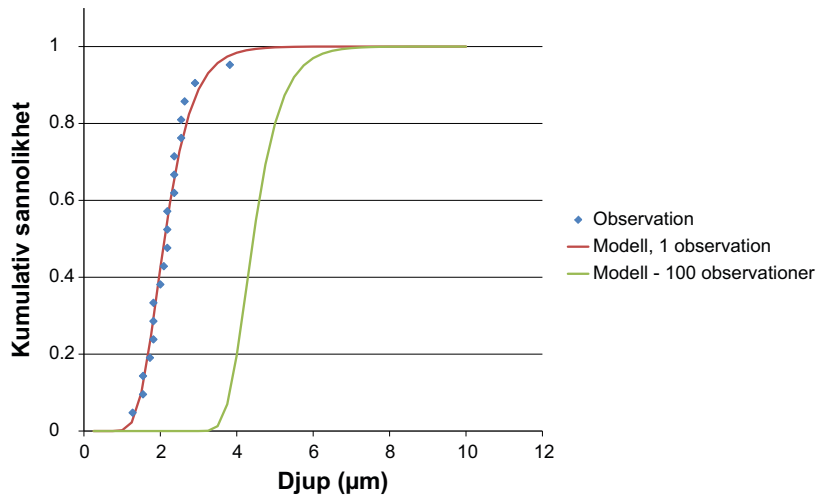
Figur 4-18 visar ett Gumbel diagram där alla observationer från kapsel 6 tagits med. Parametrarna för hela kapseln visas i tabell 4-4.



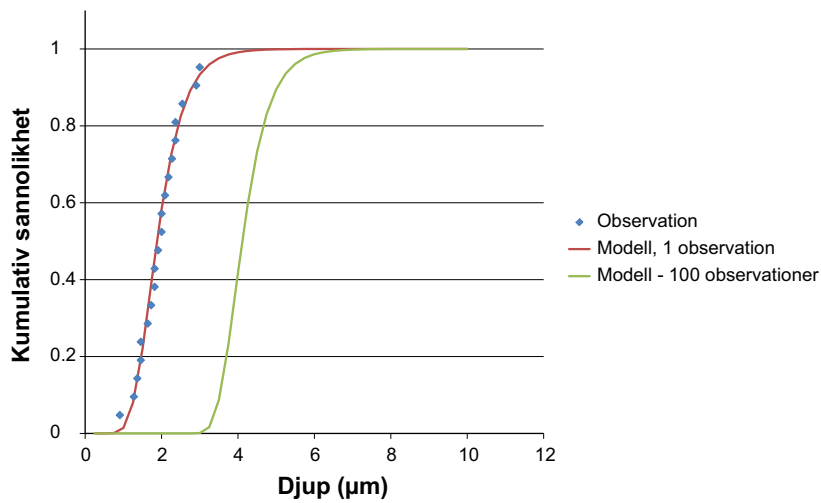
Figur 4-11. Gumbel sannolikhetsdiagram för samtliga prov från kapsel 5 behandlade som en serie observationer.



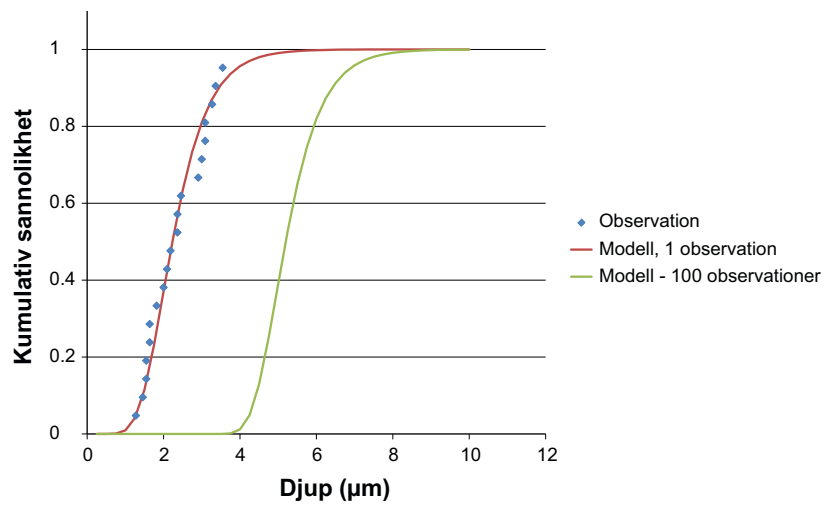
Figur 4-12. Gumbel sannolikhetsdiagram för prov 6A.



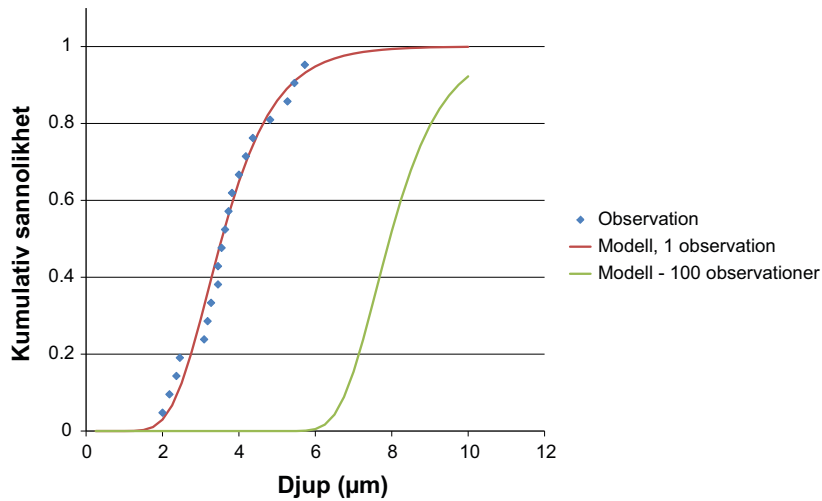
Figur 4-13. Gumbel sannolikhetsdiagram för prov 6B.



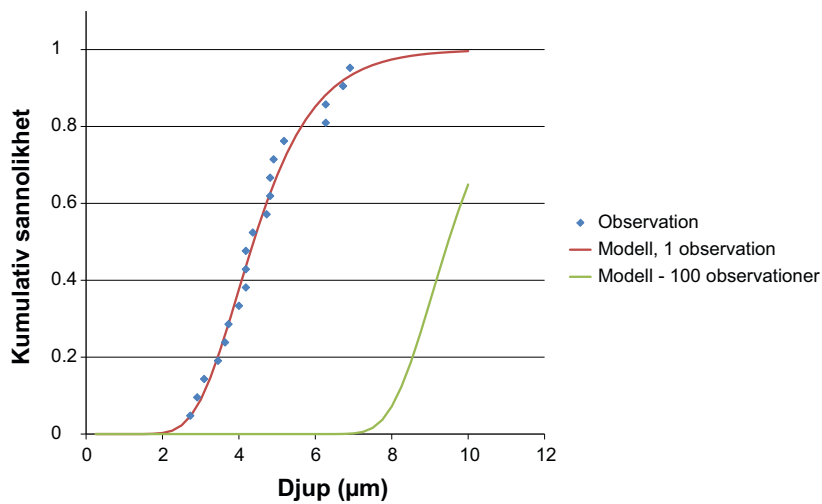
Figur 4-14. Gumbel sannolikhetsdiagram för prov 6C.



Figur 4-15. Gumbel sannolikhetsdiagram för prov 6D.



Figur 4-16. Gumbel sannolikhetsdiagram för prov 6E.



Figur 4-17. Gumbel sannolikhetsdiagram för prov 6F.

Tabell 4-4. Sammanställning av extremvärdesparametrarna  $\alpha$  och  $\lambda$  för proven från kapsel 6.  $r^2$  är den statistiska förklaringsgraden.

Prov	$\alpha$ ( $\mu\text{m}$ )	$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	$r^2$
6A	0,79	1,99	0,98
6B	0,50	1,92	0,95
6C	0,48	1,70	0,97
6D	0,64	1,99	0,94
6E	0,95	3,20	0,97
6F	1,11	3,98	0,97
Hela kapsel 6	1,04	2,27	0,99

## 4.6 Försök att extrapolera uppmätta gropdjup till maximalt gropdjup för en hel kapsel

Liksom i alla undersökningar som bygger på stickprov så antas att stickproven är representativa för en större grupp möjliga prov varav bara en del undersökts. De möjliga proven beskriver helheten så det antas att stickproven utgör en representativ del av helheten. I detta fall så utgör hela kapselytan helheten, man kunde i princip ha tagit så många prov så att man fått en komplett beskrivning av gropdjupen i kapselytan. Här har vi ett relativt litet antal stickprov som antas vara representativa för en mycket större grupp möjliga prov. Små undersökta ytor antas vara representativa för stora ytor.

Syftet med denna extrapolation är här inte i första hand att ge en helhetsbeskrivning av maximalt gropdjup för en hel kapsel utifrån befintliga observationer. Syftet är mer att belysa problematiken och frågeställningarna för att utifrån dessa erfarenheter kunna förfina provtagning och undersökningsmetodik.

### 4.6.1 Systematik eller slumpmässighet i uppmätta gropdjup

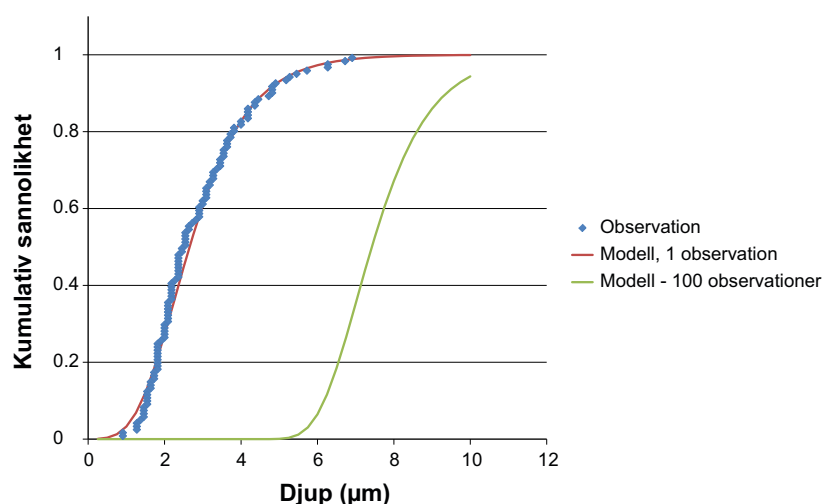
Tabell 4-3 visar resultaten för extremvärdesanalys enligt Gumbel, för prov tagna från olika platser på kapseln som exponerats i deponeringshåll 5 i Prototypförvaret vid Äspö under omkring 7 år. Prov 5A och 5F representerar prov tagna från lock respektive botten. 5B, 5C, 5D och 5E representerar prov tagna från mantelytan. Dessutom redovisas en analys av helheten för denna kapsel. Tabell 4-4 visar motsvarande resultat för kapseln som exponerats i deponeringshåll 6.

Vid analysen av kapseln som helhet har variationer mellan prov tagna från olika positioner på kapseln antagits vara slumpmässiga. Det finns tecken på att denna variation inte är slumpmässig utan att det finns systematiska skillnader mellan prov tagna från olika positioner på kapseln. Det är alltså tveksamt att behandla kapseln som en enhet och kanske lämpligare att behandla lock och botten för sig och mantelytan för sig. Dock förekommer skillnader som tycks vara systematiska också utefter mantelytan vilket föranleder att också dess delar bör delas behandlas för sig.

### 4.6.2 Hur stor yta motsvarar en observation?

I den studie som gjorts här så har maximalt gropdjup utefter en linje mätts upp. För att omvandla denna linje till en yta så måste man göra vissa antaganden om formen på groparna.

Olika antanden kan göras och man får olika alternativa resultat för maximalt gropdjup på den större ytan dvs helheten, beroende på vilket antagande man gör om formen på groparna. Längden på den linje som observerats är 29  $\mu\text{m}$ . Ett rimligt antagande är att en observerad grop har en utbredning



Figur 4-18. Gumbel sannolikhetsdiagram för prov samtliga prov från kapsel 6.

vinkelrätt mot linjen (och djupet) av samma storleksordning som det uppmätta djupet. Det är uppenbart att om man antar att djupa gropar också är vida, relativt sett, så finns det en större sannolikhet att de observeras utefter en linje. Olika antaganden med olika grad av pessimism kan göras. Ett mycket pessimistiskt antagande är att groparna, oavsett djup och oavsett utbredning utefter linjen har en vidd av endast 1  $\mu\text{m}$ .

#### 4.6.3 Hur stor yta har kapseln?

En 5 meter lång kapsel med 1 meters diameter betraktas här.

Lock och botten: 0,7854 m<sup>2</sup> vardera

Mantelyta: 15,71 m<sup>2</sup>

Tabell 4-5 visar förhållanden mellan ytan för hela objektet och ytan per observation för några olika ansatta gropvidder. Längden per observation: 29  $\mu\text{m}$ .

#### 4.6.4 Prov från kapseln i deponeringshål 5

De djupaste groparna återfanns i botten på kapsel 5 liksom på kapsel 6. Figur 4-19 visar ett sannolikhetsdiagram för botten på kapsel 5. De blå fyrkanterna representerar mätdata. Den rödbruna kurvan visar modellens sannolikhet för att en ytterligare observation skulle ha ett visst maximalt gropdjup. Den gröna kurvan visar modellens sannolikhet att någon av 100 observationer skulle ha ett visst maximalt gropdjup. De svarta kurvorna visar modellens sannolikhet för att någon observation av alla oberoende observationer som kan göras på hela botten av kapseln skulle ha ett visst maximalt gropdjup.

Alla andra kurvor än modellens kurva för en observation kan beskrivas som en translation i x-led (gropdjup) med värdet  $0,98 \cdot \ln(N)$ , där  $N$  är antalet observationer. Läget för den gröna kurvan är alltså lika med läget för den rödbruna förskjutet  $0,98 \cdot \ln(100) \sim 4,5\mu\text{m}$ . Den svarta heldragna kurvan är förskjutet  $0,98 \cdot \ln(2,7 \cdot 10^{10}) \sim 23,5 \mu\text{m}$  från den rödbruna. Faktorn 0,98 är värdet på parametern  $\alpha$  i Gumbels ekvation. Talet  $2,7 \cdot 10^{10}$  är taget ur tabell 4-5.

Ofta är det lägre intervallet i den kumulativa sannolikheten av mindre intresse när det gäller maximalt gropdjup. Figur 4-20 visar samma data som figur 4-19 men där endast sannolikheter större än 95 % visas.

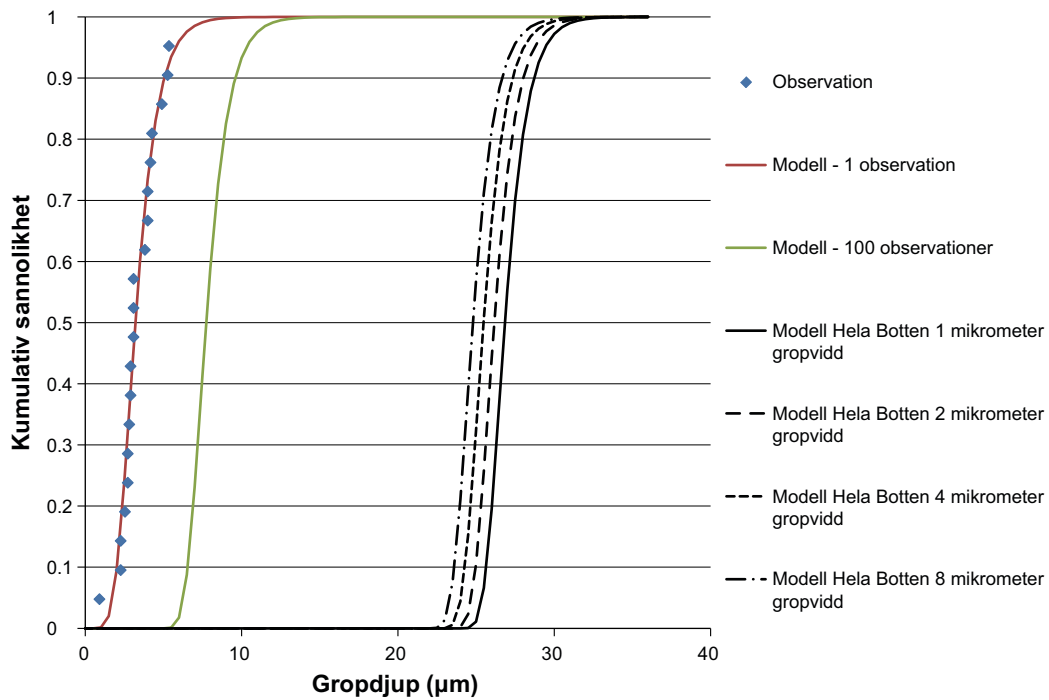
Ur figur 4-20 kan utläsas att med 99 % sannolikhet så är den djupaste gropen på kapselns botten mindre än 32  $\mu\text{m}$  djup. Detta är det mest pessimistiska alternativet och avser en grop som har en vidd på maximalt 1  $\mu\text{m}$ .

#### 4.6.5 Cylinderns mantelyta

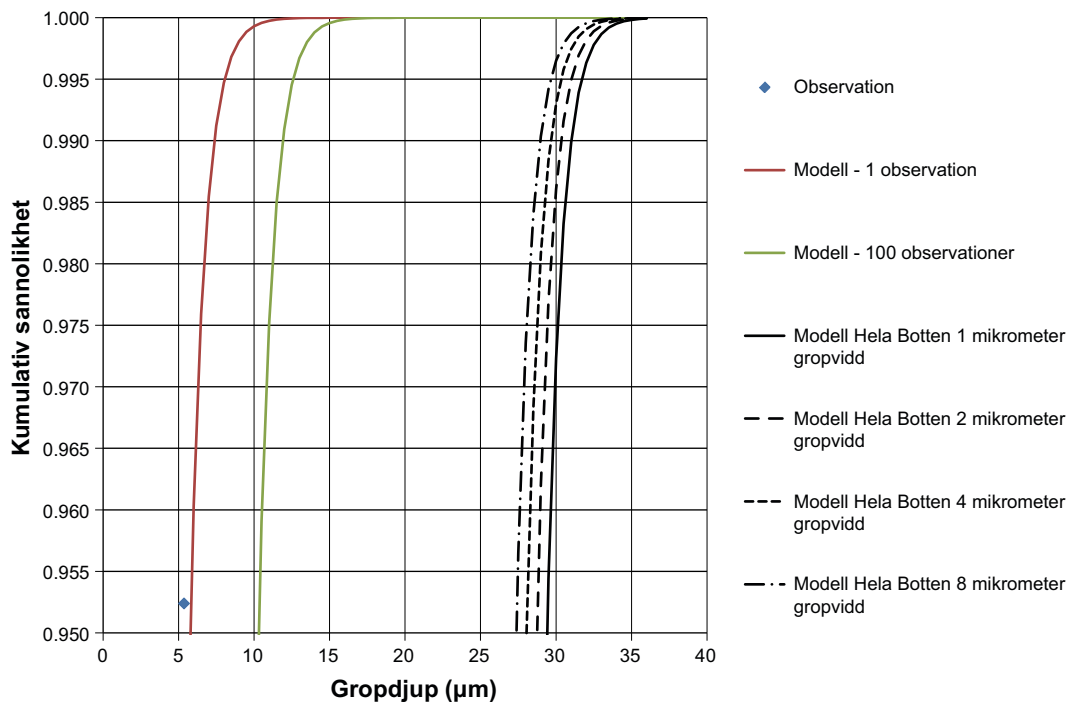
Relativt stora variationer i maximalt gropdjup observerades för kapseln från deponeringshål 5. Position 5D, dvs långt ned på kapseln uppvisar det största värdet på parametern  $\alpha$  i tabell 4-3. Just denna parameter bestämmer hur mycket kurvan från en observation till  $N$  observationer skall translateras i gropdjup. För position 5D så har parametern  $\alpha$  värdet 1,0  $\mu\text{m}$ .

**Tabell 4-5. Förhållanden mellan ytan för hela objektet och ytan per observation för några olika ansatta gropvidder. Längden per observation: 29  $\mu\text{m}$ .**

	Gropvidd ( $\mu\text{m}$ )			
	1	2	4	8
Cirkelytor	$2,71 \cdot 10^{10}$	$1,35 \cdot 10^{10}$	$6,77 \cdot 10^9$	$3,39 \cdot 10^9$
Mantelyta	$5,42 \cdot 10^{11}$	$2,71 \cdot 10^{11}$	$1,35 \cdot 10^{11}$	$6,77 \cdot 10^{10}$



**Figur 4-19.** Sannolikhetsdiagram för kapselns bottenyta. Observerade maximala gropdjup samt olika grader av extrapolation till fler observationer motsvarande större ytor upp till hela bottenplattan. Data för kapseln från deponeringshål 5.



**Figur 4-20.** Sannolikhetsdiagram för kapselns bottenyta. Samma data som i figur 4-19 expanderat så att endast sannolikheter större än 95 % visas.

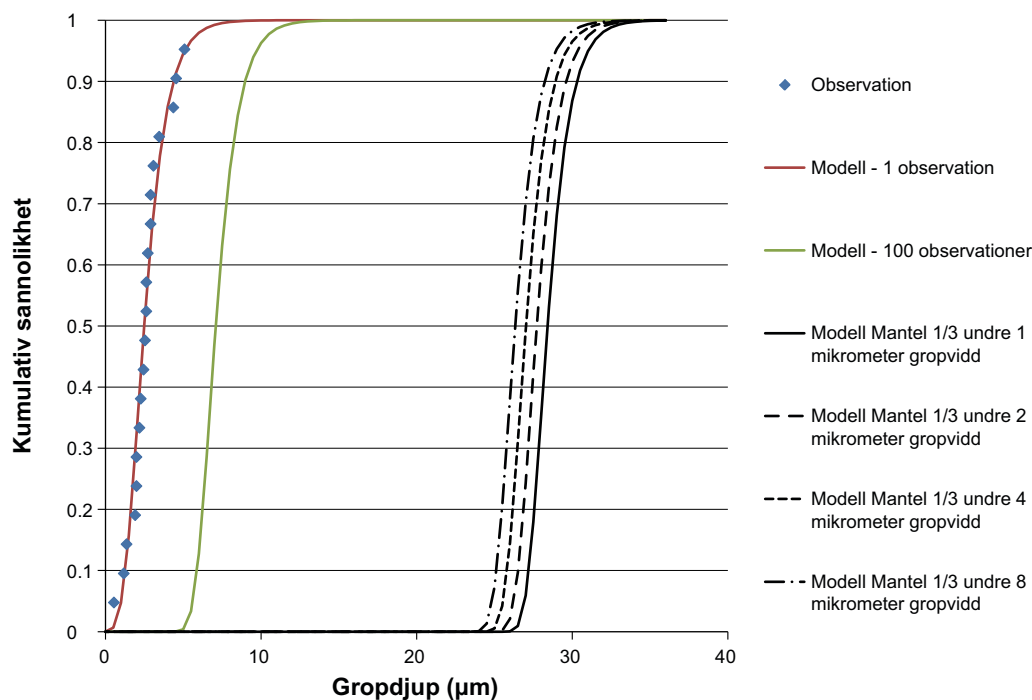
Om man antar att denna position är representativ för den undre tredjedelen av mantelytan så kan maximalt gropdjup där uppskattas. Figur 4-21 visar ett sannolikhetsdiagram för den nedre delen av mantelytan under dessa antaganden. Figur 4-21 skiljer sig inte mycket från figur 4-19. Detta är ett resultat av att parametern  $\alpha$  för position 5D inte skiljer sig mycket från värdet för position 5F (1,0  $\mu\text{m}$  för 5D, 0,98  $\mu\text{m}$  för 5F). Samt att extrapolation till den större ytan inte skiljer sig så mycket i logaritmiska termer, (15,7/3  $\text{m}^2$  för position 5D, 0,79  $\text{m}^2$  för position 5F). Dock, trots att position 5F uppvisar de största uppmätta gropdjupen så medför extrapolationen till den större ytan en högre kumulativ sannolikhet för större gropdjup för position 5D.

Figur 4-22 visar samma data som figur 4-21 expanderat så att endast kumulativ sannolikhet större än 95 % visas.

#### 4.6.6 Maximalt gropdjup för hela kapseln, alternativ 1

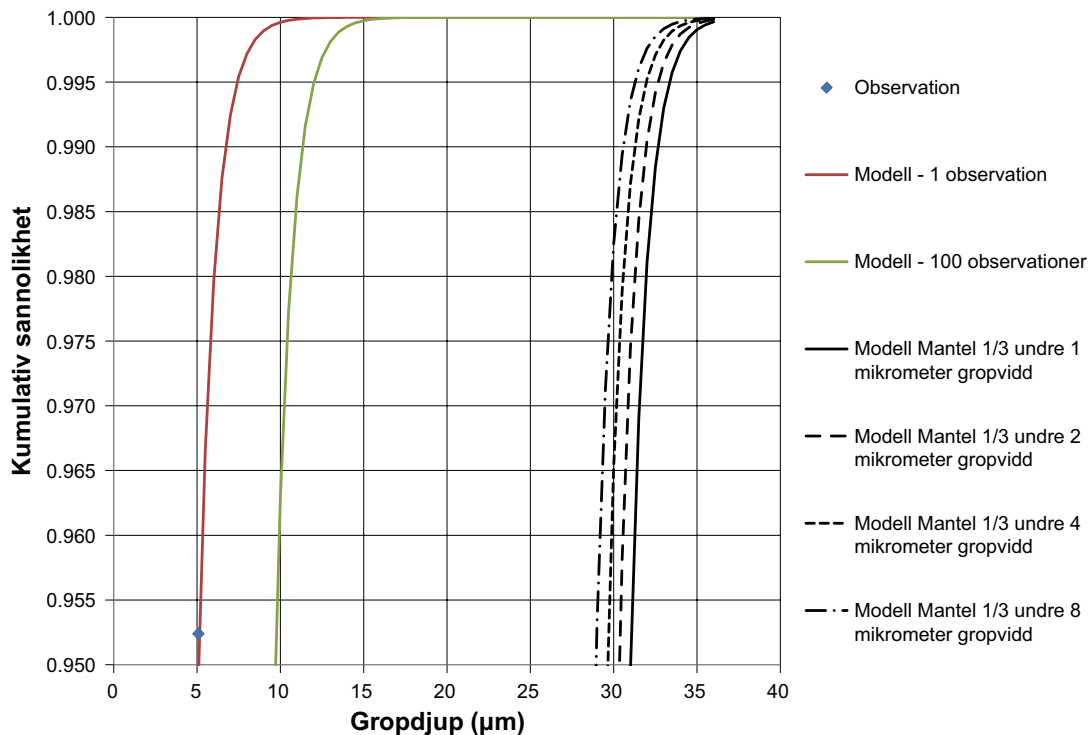
Eftersom det tycks finnas systematiska skillnader mellan prov tagna från olika positioner på kapseln så är det inte lämpligt att behandla hela kapseln som en enhet. Istället kan sannolikhet för ett visst gropdjup på olika delar av kapseln adderas till en total sannolikhet.

Till exempel, sannolikheten att det finns ett gropdjup större än 32  $\mu\text{m}$  någonstans på den nedre tredjedelen av kapsels mantelyta eller på bottenytan kan uppskattas ur figur 4-20 och 4-22. Vi betraktar det mest pessimistiska alternativet, att det kan finnas djupa gropar med vidd på endast 1  $\mu\text{m}$ . Diagram 4-20 visar en kumulativ sannolikhet på omkring 0,992 (uppskattat ur diagrammet) för att maximalt gropdjup är mindre än 32  $\mu\text{m}$ . Detta ska tolkas så att det finns en sannolikhet på  $1 - 0,992 = 0,008 = 0,8\%$  att maximalt gropdjup är större än 32  $\mu\text{m}$  någonstans på bottenplattan. Diagram 4-22 visar en kumulativ sannolikhet på omkring 0,970 (uppskattat ur diagrammet) för att maximalt gropdjup är mindre än 32  $\mu\text{m}$ . Detta ska tolkas så att det finns en sannolikhet på  $1 - 0,970 = 0,030 = 3,0\%$  att maximalt gropdjup är större än 32  $\mu\text{m}$  någonstans på mantelytans nedre tredjedel. Tillsammans så finns det alltså  $0,8\% + 3,0\% = 3,8\%$  sannolikhet att det finns ett gropdjup större än 32  $\mu\text{m}$  någonstans på den nedre tredjedelen av kapsels mantelyta eller på bottenytan. Ett annat, mer allmängiltigt, sätt att finna sannolikheten för denna situation är att multiplicera sannolikheterna för maxvärde, 0,992 och 0,970 till 0,962. Sannolikheten blir alltså  $1 - 0,962 = 0,038$  att det finns en djupare grop.



**Figur 4-21.** Sannolikhetsdiagram för nedre delen kapselns mantelyta. Observerade maximala gropdjup samt olika grader av extrapolation till fler observationer motsvarande större ytor upp till hela tredjedelen av mantelytan. Data för kapseln från deponeringshål 5.





**Figur 4-22.** Sannolikhetsdiagram för nedre delen kapselns mantelyta. Samma data som i figur 4-21 expanderat så att endast sannolikheter större än 95 % visas.

Ett diagram över den kumulativa sannolikheten för bottenplatta och mantelytans nedre tredjedel tillsammans skulle visa ett värde på  $1 - 0,038 = 0,962$  vid gropdjup  $32 \mu\text{m}$ . Detta förfarande kan generaliseras så att man får en kumulativ sannolikhetskurva för hela kapseln, under samma antaganden som gäller för bestämning av delarnas sannolikhetskurvor.

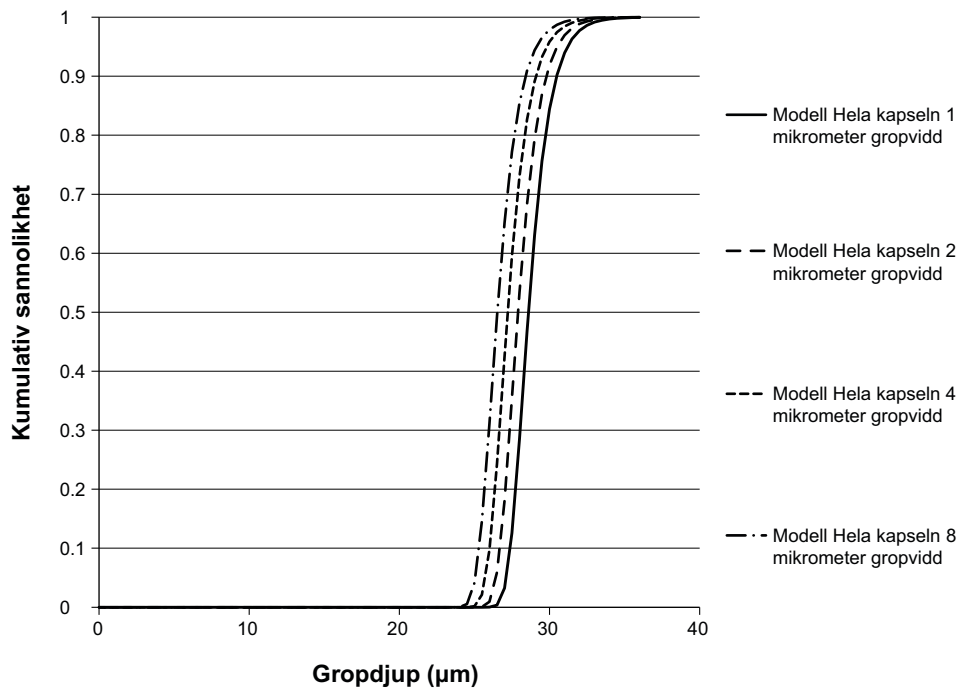
De positioner som visar de största gropdjupen har inkluderats i exemplet och den kumulativa sannolikhetskurvan för hela kapseln domineras av den nedre delen av mantelytan. Bidragen från positioner med mindre gropdjup är små.

Figur 4-23 visar ett sannolikhetsdiagram för hela kapseln från deponeringshål 5, där vi har satt samman sannolikhetskurvorna för de olika delarna till en total sannolikhetskurva för hela kapseln. Sannolikhetskurvor för locket och botten samt övre tredjedelen, mittersta tredjedelen och nedre tredjedelen av mantelytan har kombinerats till att visa sannolikheten för att det någonstans på kapseln finns gropdjup större än de som visas på x-axeln. Figur 4-24 visar samma data som figur 4-23 expanderat så att endast kumulativ sannolikhet större än 95 % visas.

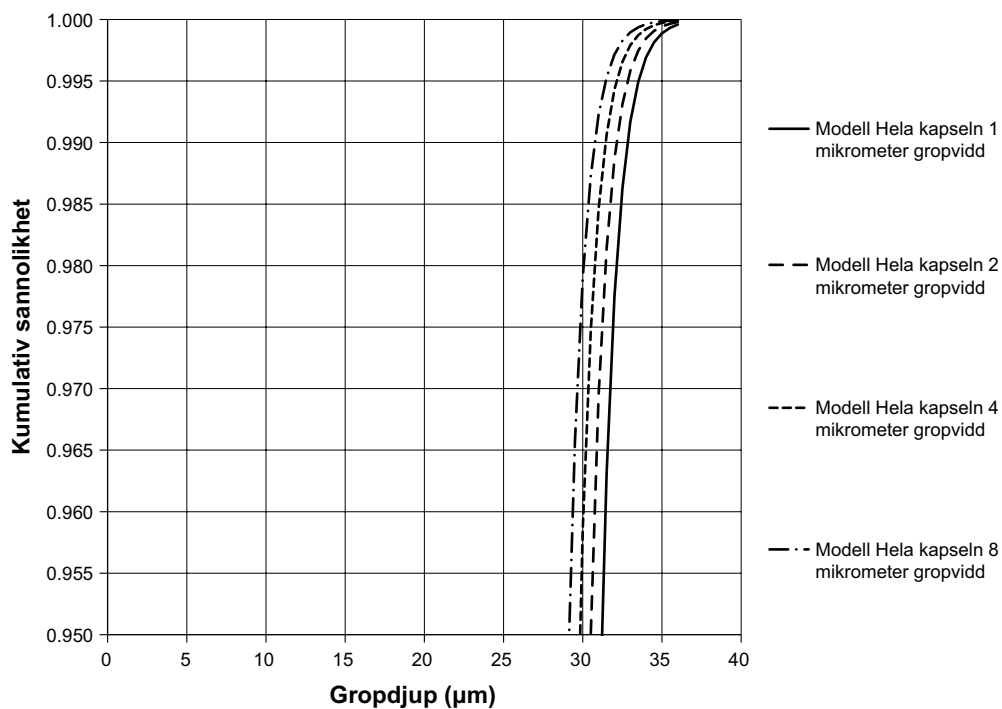
Figur 4-23 och 4-24 konstruerades från data sammanställda i tabell 4-5. Extremvärdesparametrarna i tabell 4-6 är tagna från tabell 4-3. Storleken på ytorna som proven antas representera är tagna från tabell 4-5 där mantelytan delats i tre lika stor delar. Faktorn för extrapolation avser kvoten mellan ytan för varje observation och ytan som provet antas representera. En gropvidd på  $8 \mu\text{m}$  har valts.

Resultat för prov 5D, mantelytans nedre tredjedel, och prov 5F, botten har redan redovisats.

För att ge en bild av hela kapseln så har data från lock, mantelytans tre delar samt botten sammanställts. Prov 5E som representerar svetsen har inte tagits med här. Detta prov uppvisar något mindre gropdjup än 5D. Framför allt så har parametern  $\alpha$  ett lägre värde. Värdet på denna parameter är avgörande för effekten av en extrapolation till en större yta. Med antagandet av att också svetsen representeras av prov 5D fås en något mer pessimistisk uppskattning än om prov 5E tagits med.



**Figur 4-23.** Sannolikhetsdiagram för en hel kapsel som den exponerats i deponeringshål 5. Data från de olika delarna av kapseln extrapolerade till de delar av kapseln de anses representera. De kumulativa sannolikheterna för djupa gropar på delarna har sedan lagts ihop till en kumulativ sannolikhet för djupa gropar på någon av delarna.



**Figur 4-24.** Sannolikhetsdiagram för en hel kapsel som den exponerats i deponeringshål 5. Samma data som i figur 4-23 expanderat så att endast sannolikheter större än 95 % visas.

**Tabell 4-6. Sammanställning av extremvärdesparametrarna  $\alpha$  och  $\lambda$  för proven från kapsel 5 samt storleken på de ytor som proven antas representera.**

Prov	Plats	$\alpha$ ( $\mu\text{m}$ )	$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	Extrapolerat till yta ( $\text{m}^2$ )	Faktor för extrapolation (8 $\mu\text{m}$ gropvidd)
5A	Lock	0,70	1,52	0,79	$3,39 \cdot 10^9$
5B	Mantelyta övre	0,69	1,76	5,24	$2,26 \cdot 10^{10}$
5C	Mantelyta mitt	0,46	1,50	5,24	$2,26 \cdot 10^{10}$
5D	Mantelyta nedre	1,00	2,12	5,24	$2,26 \cdot 10^{10}$
5E	Mantelyta svets	0,62	2,51	-	-
5F	Botten	0,98	2,84	0,79	$3,39 \cdot 10^9$
Hela kapsel 5		0,83	1,96	17,28	$7,45 \cdot 10^{10}$

De olika kurvor för kumulativ sannolikhet som presenterats i figurerna beskrivs av olika funktioner  $F(x)$ . För tydlighetens skull så skriver vi funktion som  $F(x, \alpha, \lambda, N)$ , där  $x$  är gropdjup,  $\alpha$  och  $\lambda$  är extremvärdesparametrarna och  $N$  är extrapolationsfaktorn. Som beskrivs i avsnitt 4.3.1 så kan  $F(x, \alpha, \lambda, N)$  beräknas som  $F(x, \alpha, \lambda, 1)^N$  där siffran "1" indikerar sannolikheten för att maximalt gropdjup för en observation skall vara  $x$ . I denna sammanställning så har vi alltså delat upp kapselytan i olika mindre delar och uppskattat den kumulativa sannolikheten för att maximalt gropdjup på delytorna skall vara mindre än ett visst värde. För att få den totala sannolikheten att maximalt gropdjup någonstans på kapseln skall vara större än ett visst värde så multipliceras de olika sannolikheterna.

$$F_{\text{kapsel}} = F_{\text{botten}} \cdot F_{\text{lock}} \cdot F_{\text{mantelyta nedre}} \cdot F_{\text{mantelyta mitt}} \cdot F_{\text{mantelyta övre}}$$

$F_{\text{botten}}$  redovisas i figur 4-19 och 4-20,  $F_{\text{mantelyta nedre}}$  redovisas i figur 4-21 och 4-22.  $F_{\text{mantelyta mitt}}$  och  $F_{\text{mantelyta övre}}$  beräknades på samma sätt med parametrar från tabell 4-6.  $F_{\text{kapsel}}$  visas i figur 4-23 och 4-24.

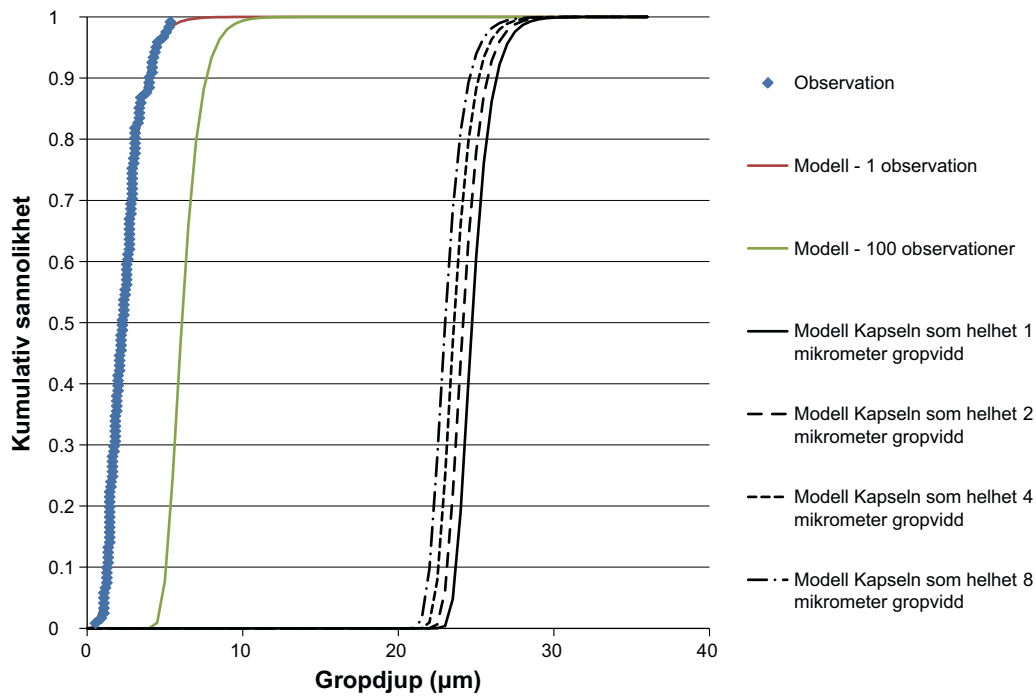
#### 4.6.7 Maximalt gropdjup för hela kapseln, alternativ 2

I det föregående så antog vi, med stöd från observationer från kapseln från deponeringshål 6, att skillnaderna i gropdjup vid olika positioner på kapseln var systematiska. En alternativ tolkning är att skillnaderna är slumpmässiga och alla observationer motsvarar helheten på kapseln.

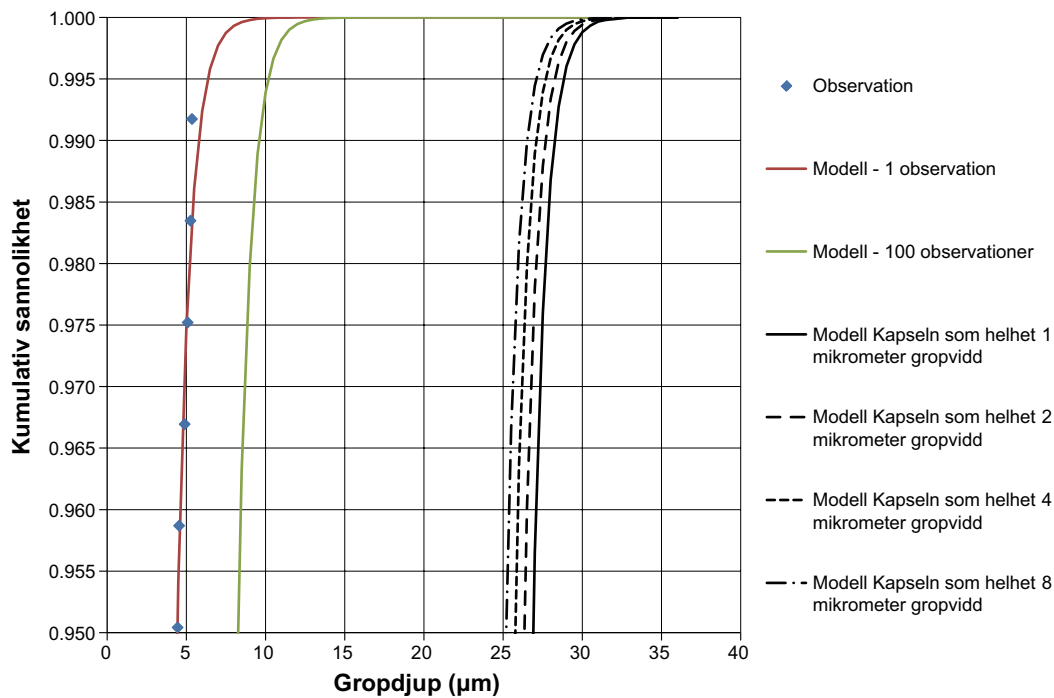
Med denna tolkning så används parametrar i tabell 4-6 som motsvarar hela kapseln. Figur 4-25 och 4-26 visar resultatet. Samtliga 120 observationer som gjorts på kapseln från deponeringshål 5 har nu använts för att bestämma extremvärdesparametrarna och dessa tillämpas på hela kapselytan.

#### 4.6.8 Jämförelse mellan betraktelsesätt

Figur 4-23 och 4-25 respektive 4-24 och 4-26 representerar båda uppskattningar av den kumulativa sannolikheten att maximalt gropdjup någonstans på kapseln överstiger ett visst värde. Skillnaden mellan att betrakta kapseln som sammansatt av olika delar vars maximala gropdjup skiljer sig åt och att betrakta kapseln som en enhet, är inte radikal. Det mest pessimistiska antagandet är att betrakta de observerade gropdjupen långt ned på mantelytan som representativa för den nedre tredjedelen av mantelytan. Figur 4-23 och 4-24 uppvisar något större extrapolerade gropdjup än figur 4-25 och 4-26.



Figur 4-25. Sannolikhetsdiagram för en hel kapsel som den exponerats i deponeringshål 5. Samtliga observationer från kapseln har antagits representativa för helheten.



Figur 4-26. Sannolikhetsdiagram för en hel kapsel som den exponerats i deponeringshål 5. Samma data som i figur 4-25 expanderat så att endast sannolikheter större än 95 % visas.

## 5 Diskussion

Olikheter mellan prover från samma kapsel kan ha slumpmässiga orsaker. Men, om de båda undersökta kapslarna systematiskt uppvisar samma trend så är det sannolikt inte bara slump. Att bottenplattan haft de största gropdjupen och att mitten på cylindern haft de minsta gropdjupen tycks alltså vara systematiskt. Något anmärkningsvärt är att positionen A i figur 2-1, dvs cylinderns lock intar ett mellanläge i gropdjup för båda kapslarna. På grund av dessa experimentkapslars utförande så har locken inte utsatts för samma miljö som resten av kapseln. Ovanpå dessa lock har legat en distansring och sedan ytterligare ett lock, som beskrivs i avsnitt 1.1. Miljön för position A torde varit varm luft, mer eller mindre instängd under tiden i förvaret. Damm från bentonit kan möjligen ha förekommit men ytan har inte varit utsatt för kompakterad bentonit.

Det främsta syftet med denna undersökning är att ge en bild av kapselytans morfologi efter en relativt kort tid i förvaret. Skillnaden i tid i förvaret mellan kapsel 5 och 6 är relativt kort. Skillnaden i gropdjup bör därför inte ligga till grund för någon extrapolation av gropdjup som funktion av tid i förvaret.

Resultaten i denna rapport kan sägas utgöra en punkt på en tidslinje för morfologins utveckling. Ingen liknande detaljundersökning har rapporterats för en oexponerad kapsel så ingen säker punkt finns för punkten noll på tidslinjen. När de inre kapslarna tas upp och undersöks kan ytterligare punkter på denna tidslinje erhållas.

### 5.1 Konsekvenser för fortsatta undersökningar

I denna undersökning har vi sammanställt observationer från, bokstavligen, mikroskopiskt små områden i ett försök att beskriva ett relativt stort föremål. De extrapolationer som erfordras är mycket stora. Så stora att man helt tappat kontakten mellan observerade gropdjup och de maximala gropdjup som, enligt extremvärdesanalysen, kan förekomma någonstans på kapselytan. De tal som visas i högra kolumnen i tabell 4-6 illustrerar problemet. Talen är mycket stora. För att minska omfattningen av extrapolation från storleken på arean för en observation till arean av kapseln måste man finna en teknik som möjliggör observation av en större area.

Fler observationer ger bättre statistiskt underlag men så länge arean per observation inte är större än den som använts, och antagits, här förblir kvoten mellan en observerad area och antalet möjliga, oberoende observationer av samma storleksordning som i tabell 4-6. Den observerade ytan, eller ytan per observation bestäms ju av längd och vidd. Längden väljs med storleken på det fönster som betraktas. Vidden, eller djupet, på en profilbild är ju i princip mycket liten men det är rimligt att betrakta storleken (utbredningen vinkelrätt mot profilen) på existerande gropar som ett mått på vidden. En svårighet i att mäta gropdjup är att ytan inte är plan annat än i mikroskopisk skala. Spåren efter bearbetning av kapselmaterialet är djupare än de observerade groparna. Detta faktum och andra överväganden gjorde att vi, i denna undersökning, valde ett fönster som var 29  $\mu\text{m}$  långt för varje observation. Längre fönster kan väljas men då kan man behöva öka skalan så mycket att mer än ett spår efter materialbearbetning ryms inom fönstret.

Av naturliga skäl är det då svårt att korrekt mäta gropdjup på några få mikrometer. En möjlighet är att komprimera bilden utefter ytan men behålla en god upplösning vinkelrätt mot ytan. Längden på ett fönster skulle då bli omkring 3 mm enligt bilderna i figur 4-1 och 4-2. En borrhärna, delad som bilden på prov 5A i figur 4-1 antyder, skulle ge möjlighet till 10–12 observationer. Sedan måste man slipa ned sitt prov ett kontrollerat stycke för att få en ny profil, som är oberoende från den tidigare, att göra observationer från. Rimligtvis har ändå valet av ett längre fönster betydelse för noggrannheten i mätningen av gropdjupen. Ett fönster på 3 mm istället för 29  $\mu\text{m}$  innebär att extrapolationsfaktorerna i tabell 4-5 skulle minska en faktor 100.

Mindre pessimistiska antaganden beträffande groparna vidd kan göras. I tabell 4-5 antog vi att, oavsett djup, så kan en grop ha en utsträckning i en dimension längs kapselytan som inte är större än 8  $\mu\text{m}$ . Om man istället ansatte att den minsta utsträckningen skulle vara t ex 16  $\mu\text{m}$  eller 32  $\mu\text{m}$  så skulle extrapolationsfaktorerna minska en faktor 2 respektive 4. Samtidigt tappar man lite i konservatism i bedömningen.

### 5.1.1 Alternativ extremvärdesanalys

Extremvärdesanalys kan förfinas på olika sätt. Det enklaste är att vikta data på ett annat sätt. I den analys som redovisas här så har alla punkter samma statistiska vikt. Alla mätpunkter, också de som visar gropdjup på 1 eller 2  $\mu\text{m}$ , påverkar kurvan som förutsäger maximala gropdjup på över 30  $\mu\text{m}$ . Figur 4-3 för kapsel 5 och 4-4 för kapsel 6 visar att det finns mätpunkter vid ringa gropdjup som tycks avvika från en rät linje. Det är inte uppenbart att små avvikelser i bestämningen av dessa gropdjup skall ha något genomslag för förutsägelser av stora gropdjup.

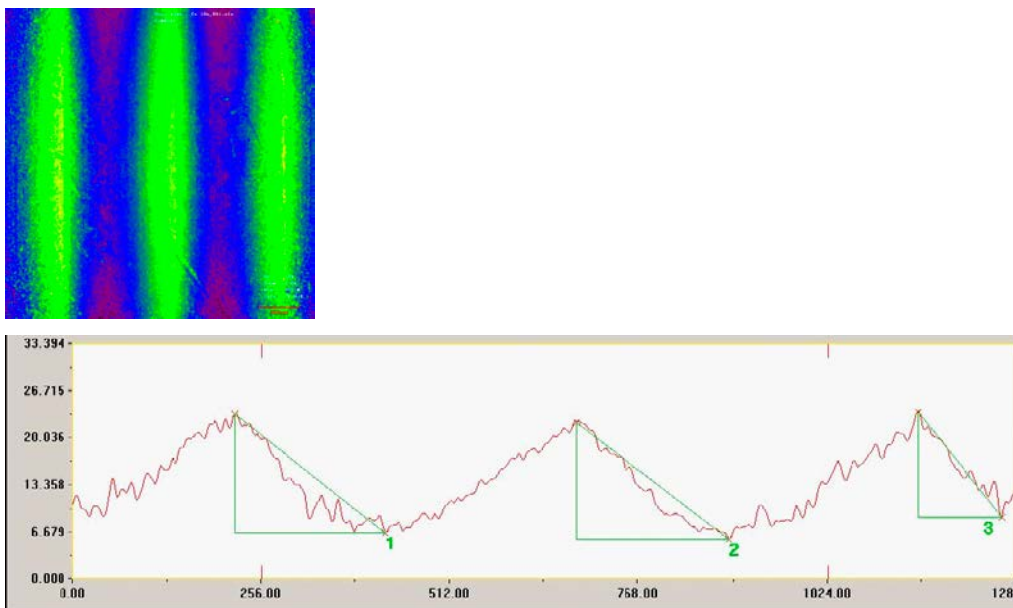
Extremvärdesanalys enligt Gumbel, som använts här, är den kanske enklaste typen av extremvärdesanalys. Endast två parametrar används. Data i diagram som i figur 4-3 och 4-4 antas bilda räta linjer. Det finns varianter på denna metodik. En generaliserad extremvärdesanalys kan användas också på data som, i denna form, inte bildar någon rät linje. Ytterligare en parameter krävs dock vilket ställer större krav på det statistiska underlaget.

Man kunde komplettera det statistiska underlaget med annan information så att sannolikhetskurvan för maximalt gropdjup klipps av vid realistiska värden. Det torde dock vara svårt att finna säker information om att en grop inte skulle kunna bli djupare än t ex 20  $\mu\text{m}$  efter sju års exponering.

### 5.1.2 Alternativa undersökningsmetoder

Alternativa undersökningsmetoder kan användas. Ljusoptisk undersökning med konfokalmikroskopi kan ge en god bild av ytans morfologi utan att blottlägga profilen som gjorts i denna undersökning. En förutsättning är då att ytan rengörs på ett sådant sätt att inga korrosionsprodukter finns kvar i groparna. Eventuellt vindlande gropar skulle inte mätas korrekt. Ytan på en borrhärna skulle kunna undersökas avseende relativt stora gropar på kort tid. Extremvärdesanalys torde kunna tillämpas på sådana data.

Antal borrhärnor som tas ut ur kapseln blir avgörande för omfattningen på det statistiska underlaget och för omfattningen av extrapolation till maximalt gropdjup för hela kapseln. Figur 5-1 visar ett exempel från en undersökning med konfokalmikroskopi av ringen ovanpå kapseln från deponeringshål 5 (Taxén et al. 2012). Den sågtandsformade profilen visar spåren efter bearbetning av kapselmaterialet. Gropar som skulle kunna orsakats av korrosion återfinns överlagrade på denna profil. Det är inte självklart hur gropdjup skall mätas från en sådan ursprungsyta. Osäkerheten i bestämningen av gropdjup torde bli stor också om vi skulle finna gropar som är avsevärt djupare än djupen på spåren efter bearbetning (10–20  $\mu\text{m}$ ).



*Figur 5-1. Ytprofil från konfokalmikroskopi av prov från ringen på kapseln i deponeringshål 5. Mättskala i mikrometer (Taxén et al, 2013).*

## 6 Slutsatser

Kopparkapslar från SKB:s prototypförvar vid Äspö har undersökts avseende korrosion. Prov från kapslarna från deponeringshål 5 och 6 har studerats. Kopparytans morfologi har studerats och dokumenterats genom att ta prov i form av borrhärdar tvärs genom kapselväggen på sex olika platser per kapsel. Kopparytans ytprofil har mätts upp från SEM-bilder av tvärsnitt genom borrhärdarna. Observationer av maximalt gropdjup gjordes för 20 olika platser per prov. Mätvärden för gropdjup har behandlats med extremvärdesanalys. Undersökningen medger följande slutsatser:

- Resultaten är relativt samstämmiga för båda de undersökta kapslarna.
- Provet från bottenplattan uppvisar de största gropdjupen. Största observerade djup: ~7  $\mu\text{m}$ .
- Provet från mitt på mantelytan uppvisar de minsta gropdjupen.
- Provet från locket, som inte har exponerats för kompakterad bentonit, intar ett mellanläge avseende gropdjup.
- Kapseln från deponeringshål 6 har något djupare gropar än kapseln från deponeringshål 5. Skillnaden är av storleksordningen 20 %.

## Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på [www.skb.se/publikationer](http://www.skb.se/publikationer).

**Shibata T, 1994.** Application of extreme value statistics to corrosion. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology 99, 327–335.

**SKB, 2012.** Äspö Hard Rock Laboratory. Annual report 2011. SKB TR-12-03, Svensk Kärnbränslehantering AB

**Taxén C, Lundholm M, Persson D, Jakobsson D, Sedlakova M, Randelius M, Karlsson O, Rydgren P, 2012.** Analyser av koppar från prototypkapsel 5 och 6. SKB P-12-22, Svensk Kärnbränslehantering AB

**TWI, 2002.** Guidelines for use of statistics for analysis of sample inspection of corrosion. Prepared by TWI Limited for the Health and Safety Executive 2002. Research report 016, Health and Safety Executive, UK.