



Københavns Amt

**Pneumatisk frakturering  
Pilotforsøg på Vadsbyvej 16A,  
Hedehusene**

Supplerende undersøgelser

August 2006



**Københavns Amt**

**Pneumatisk frakturering  
Pilotforsøg på Vadsbyvej 16A, Hedehusene  
Supplerende undersøgelser**

**August 2006**



**Rådgivende ingeniører  
og planlæggere A/S**

NIRAS  
Sortemosevej 2  
DK-3450 Allerød

Telefon 4810 4200  
Telefax 4810 4300  
E-mail [niras@niras.dk](mailto:niras@niras.dk)  
Web [www.niras.dk](http://www.niras.dk)

CVR-nr. 37295728  
Tilsluttet F.R.I

**Udgave nr.:**  
Endelig

**Dato:**  
15. august 2006

**Forfattere:**  
Charlotte Riis, NIRAS

Mette M. Broholm, Camilla Christiansen og Poul L. Bjerg, Miljø & Ressourcer, DTU

**Kvalitetskontrol:**  
Anders G. Christensen, NIRAS

**Godkendt af:**  
Erling V. Fischer

**Sag nr. og filnavn:**  
\\allkfs01\data\sag\03\792.04\Rap\Moræneler\Supplerende undersøgelser Juni06\Notat-endelig m  
forside\Forside2 til notat endelig.doc

# Notat



Rådgivende ingeniører  
og planlæggere A/S

NIRAS  
Sortemosevej 2  
DK-3450 Allerød

Telefon 4810 4200  
Fax 4810 4300  
E-mail niras@niras.dk

CVR-nr. 37295728  
Tilsluttet F.R.I

Københavns Amt

---

## PNEUMATISK FRAKTURERING. PILOTFORSØG PÅ VADSBYVEJ 16A, HEDEHUSENE

### Supplerende undersøgelser

---

15. august 2006

### Indhold

<b>1. Indledning .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Formål med supplerende undersøgelser .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Undersøgelsesaktiviteter .....</b>	<b>3</b>
3.1 Felt .....	3
3.2 Laboratorium .....	3
<b>4. Resultater - tracerudbredelse/sprækker .....</b>	<b>3</b>
<b>5. Dokumentationsmetoder .....</b>	<b>6</b>
<b>6. Revideret massebalance og influensradius.....</b>	<b>6</b>
<b>7. Potentiale for anvendelse af pneumatisk frakturering til oprensning ...</b>	<b>8</b>
7.1 Konceptuel model for tracerspredning i moræner ved pneumatisk frakturering.....	8
7.2 Konceptuel model for forureningspredning af chlorerede stoffer i moræner.....	14
7.3 Anvendelighed af pneumatisk frakturering ved typiske lokaliteter med chlorerede opløsningsmidler i moræner .....	16
<b>8. Konklusion.....</b>	<b>17</b>
8.1 Pilotforsøg med pneumatisk frakturering .....	17
8.2 Anvendelighed af pneumatisk frakturering .....	18



## 9. Referencer.....19

### Bilag

- 1 Situationsplan med placering af kerner
- 2 Dokumentation af pneumatisk frakturering vha. tracere i kerneprøver
- 3 Optegninger af geologi og visuel observation af fluorescens under UV-lys i kerner samt fotos af kerner.
- 4 Analyseresultater for jordprøver
- 5 Grafisk præsentation af analyseresultater for kerneboringerne
- 6 Massebalanceberegninger
- 7 Profilsnit med vurderet sprækkeudbredelse
- 8 Oversigt over forureningsudbredelse i moræneler på 7 lokaliteter med forurening med chlorerede opløsningsmidler

### 1. Indledning

Københavns Amt har i december 2005 udført et pilotforsøg med pneumatisk frakturering på lokaliteten Vadsbyvej 16A, Hedehusene. Pilotforsøget har omfattet pneumatisk frakturering fra en enkelt boring i 5 dybder samt efterfølgende felt- og laboratorieaktiviteter til dokumentation af tracer- og sprækkeudbredelsen inden for en radius af ca. 5 meter fra fraktureringsboringen. Pilotforsøget er afrapporteret i /1/.

### 2. Formål med supplerende undersøgelser

På baggrund af undersøgelserne udført umiddelbart efter udførelsen af pilotforsøget /1/, blev det vurderet, at hovedparten af tracermassen var fordelt inden for en radius af 1-2 meter fra fraktureringsboringen. Imidlertid var undersøgelsespunkterne i /1/ placeret med henblik på at dække hele arealet ud til 5 meters radius fra fraktureringsboringen. Således var datatætheden inden for 1-2 meters radius begrænset, hvilket medførte en betydelig usikkerhed på massebalanceberegninger for genfindning af de injicerede tracere.

Der er således iværksat supplerende undersøgelser til belysning af koncentrationsfordelingen af tracer inden for en radius på 1-2 meter med henblik på forbedring af massebalanceberegninger samt til detal-

jering af udvalgte af de udarbejdede profilsnit med henblik på forbedret beskrivelse af sprækkeudbredelsen og –strukturen.

Undersøgelserne er udført i april-maj 2006 og omfatter udtagning af 9 kerneprøver med efterfølgende fotografering under UV-belysning samt kemisk analyse af deljordprøver for tracerne uranine og rhodamine WT.

### 3. Undersøgelsesaktiviteter

#### 3.1 *Felt*

Der er i perioden 20.-25. april 2006 udtaget kerneprøver med GeoProbe® i 9 punkter, benævnt KF4 - KF12. Placeringen af prøvetagningsstederne er vist på situationsplan i bilag 1. Dybderne af de enkelte kerner samt prøvetagningsdato fremgår af tabel 1.

De udtagne kerneprøver er hver af ca. 1 meters længde og udtaget i ø38 mm PVC-linere, i lighed med de tidligere udtagne kerneprøver /1/. Umiddelbart efter udtagning, er kernerne transporteret til DTU, hvor den videre håndtering af kernerne har fundet sted.

*Tabel 1    Oversigt over kerneprøver*

Kerne	Dybde, m.u.t.	Afstand fra PF1, m	Retning fra PF1	Udtaget dato	Antal Geoprobe
KF4	2-10	0,5	NNV	20/4-06	8
KF5	2-8	0,5	ØSØ	20-21/4-06	6
KF6	2-9	1,2	SSV	21/4-06	6
KF7	2-10	1,5	NNV	24/4-06	8
KF8	2-10	1	VNV	24/4-06	8
KF9	2-8	1,6-2	ØSØ	24-25/4-06	6
KF10	2-6	1	SSØ	25/4-06	4
KF11	2-8	1,25	ØNØ	25/4-06	6
KF12	4-8	2,2	VNV	25/4-06	4

#### 3.2 *Laboratorium*

Håndtering, fotografering, delprøvetagning og analyser er beskrevet i bilag 2.

Håndtering, analyser m.v. af kernerne er udført i overensstemmelse med de retningslinier, der er beskrevet i /1/.

### 4. Resultater - tracerudbredelse/sprækker

Resultaterne af beskrivelse, fotografering og analyse af kernerne er sammenfattet i bilag 2, geologi og visuel observation af fluorescens er illustreret for de enkelte kerneboringer i bilag 3, mens samtlige analyseresultater er tabelleret i bilag 4 og vist grafisk i bilag 5.

De visuelle observationer af sprækker og fluorescens er opsummeret i tabel 2.

Tabel 2 Oversigt over sprække- og fluorescensobservationer deketteret ved fotografering under UV-belysning samt sprækkeindikationer baseret på analysedata

Observationer	Kerneboringer								
	KF4	KF5	KF6	KF7	KF8	KF9	KF10	KF11	KF12
Afstand fra PF1	0,5	0,5	1,2	1,5	1	1,6-2	1	1,25	2,2
Dybde [m u.t.]									
2-3	-	-	sp: 1	-	-	RL	-	-	
3-4	sp: 1+1	sp: 5	sp: 3	sp: 2	sp: 3	sp: 1	Sp: 4	RL; sp: 1	
4-5	-	-	sp: 2	GL	-	-	RL	-	sp: 1
5-6	sp: 1	GS	sp: 1	sp: 2	GS; sp: 1	-	Sp: 1	sp: 1	-
6-7	GL	sp: 1	-	sp: 2	(sp: 1)	-	-	-	-
7-8	sp: 2	-	sp: 1	sp: 1	GL	-	-	-	-
8-9	GS; RL			-	GS; GL				
9-10	GS; sp: 1			-	GL				

-: ikke observeret fluorescens, sp: 1: antal pink/røde sprækker observeret, grøn celle: diffus grønlig fluorescens, rødlig celle: diffus rødlig fluorescens, G: grønlig, R: rødlig, L: moræneler; S: morænesand. Sp: 1 (sort tekst): antal horisontale sprækker med tracer indikeret ved peak-koncentration af rhodamine WT større end 1/10 af uranine-koncentrationen.

Resultaterne fra karakterisering og analyse af de supplerende kerneboringer kan sammenfattes som følger:

- Spredning af fluorescerende tracere er overvejende sket i eksisterende, horisontale, hydraulisk aktive sprækker i zonen omkring redoxgrænsen, 3-4 m u.t.
- I enkelte kerner observeres tracer i intervallet 2-3 m u.t.
- Der er observeret tracer ned til maksimalt 9,7 m.u.t. i to af de supplerende kerner.
- Dybere end 5 m u.t. træffes i ca. 2/3 af borerne enkeltstående horisontale sprækker med tracer. Disse træffes typisk ca. 2 m under redoxgrænsen og i enkelte tilfælde også 1-2 m dybere. Også her er der sandsynligvis tale om eksisterende hydraulisk aktive sprækker.
- I tre kerneboringer er set betydelige indslag af morænesand med fluorescens. Begge tracere er påvist, men i et lavere koncentrationsniveau sammenholdt med koncentrationsniveauet i sprækkerne. Forekomsten af begge tracere og ved et ensartet koncentrationsniveau over dybden i sandindslagene indikerer, at stofspredningen hertil ikke er sket ved diffusion ud fra en enkelt sprække. Den faktiske spredningsmekanisme hertil er ikke identificeret.



- I to borer træffes vertikale sprækker med fluorescens. Disse sprækker vurderes at være induceret ved fraktureringen. Det vurderes sandsynligt, at der er dannet flere vertikale sprækker ved fraktureringen. Afstanden imellem disse er ikke kortlagt.
- Enkelte områder med grønlig fluorescens (uranine) uden tegn på sprækker i form af pink/rød fluorescens (rhodamin) (eller i betydelig afstand fra disse) er observeret i leret. I nogle tilfælde indikerer analyserne tilstedeværelse af enkeltstående sprækker, men dette er ikke generelt. Der kan være tale om spredning af uranine ved diffusion i lermatrix (fra vertikale sprækker) eller spredning af uranine med strømning i horisontale sprækker efter fraktureringen.
- Data indikerer, at der i perioden mellem udførelsen af pneumatisk frakturering og undersøgelserne umiddelbart herefter i december 2005 /1/ og til udtagningen af de supplerende kerner i april 2006 er sket en udvaskning af uranine fra sprækkerne ved horisontal strømning i sprækkerne. Dette er mere udtalt umiddelbart over re-oxgrænsen, hvor den største afdræning sker sammenholdt med større dybde, hvor vandmætningen er højere. Endvidere er uranine-koncentrationerne aftaget som følge af matrixdiffusion fra sprækker ind i leret.
- Der er ingen tegn i de supplerende kerner KF4-KF12 på et mere finmasket net af inducerede sprækker i moræneleret.

I de tidligere undersøgelser /1/ er der tæt på PF1 (0,75 m) samt i større afstand (1,5-3 m fra PF1) i dybden 6-7 m.u.t. (KF3 og M2) visuelt observeret en mere jævn fordeling af tracer i matrix i form af tætliggende sprækker eller tætte, ikke-kontinuerte forekomster af tracer.

Jordanalyser i forbindelse med de tidligere undersøgelser /1/ viste, at tracer i nogle tilfælde er spredt ud i dele af formationen, hvor der ikke visuelt kan detekteres tracer eller sprækker. Dette er ikke tilfældet i de supplerende undersøgelser, hvor de kvalitative analyser stemmer fint overens med de visuelle observationer. Dette kan skyldes, at der i de mellemliggende 4 måneder er sket en omfattende diffusion ind i matrix samt en vis udvaskning ud af nærområdet ved PF1 af primært uranine.

De tidligere udarbejdede profilsnit med den vurderede sprækkeudbredelse (bilag M, /1/) er revideret, således at observationerne og analyseresultaterne af de supplerende kerner er indtegnet og sprækkeudbredelsen er revurderet. De reviderede profilsnit er vedlagt i bilag 7.

De supplerende data har muliggjort en detaljering af profilsnittene i nærområdet omkring PF1. Billedet af sprækkeudbredelsen er overord-

net uændret, bortset fra, at antallet af sprækker i dybden 2-4 m.u.t. er markant forøget på samtlige profilsnit.

Det bemærkes, at det som nævnt ikke er afklaret, hvordan tracer er spredt til de områder med grøn fluorescens, hvor der ikke er tegn på sprækker. Der er derfor markeret en sprække til disse områder med tynd streg, dvs. med mindre vægt end de påviste sprækker i de supplerende kerner.

## 5. Dokumentationsmetoder

De supplerende undersøgelser bekræfter konklusionerne vedrørende dokumentationsmetoder fra /1/, som derfor gentages herunder i forkortet form.

- Fotografering af kerne under UV-lys, fluorescensanalyser af delprøve af kerner, af jordprøver og af vandprøver fra sugeceller samt jordprøver (feltobservationer) vurderes at være de bedst egnede og mest anvendelige dokumentationsmetoder ved fraktureringen på Vadsbyvej
- De nævnte dokumentationsmetoder supplerer hinanden mht. skala og detektionsgrænser
- Uranine vurderes velegnet til fotodokumentation under UV-lys. Bromid, uranine og rhodamine WT supplerer hinanden godt ved en kombination af fotodokumentation og analyser på jordprøver, kerneprøver og vandprøver. Optisk hvidt kan være et godt supplement, såfremt der etableres dokumentation for stoffets respons i forhold til FFD-detektoren.
- Registrering af jordhævninger under og efter fraktureringen vurderes ikke at give information om tracerudbredelsen eller sprækkeapertur. Hævningsdata vil dog have relevans ved vurdering af risikoen for opåvirkning af bygninger eller ledninger i nærområdet.

Den gode genfinding af tracerne 135-140 dage efter injektionen styrker yderligere, at både uranine og rhodamine WT er meget velegnede som tracere ved karakterisering af sprækkenetværk efter pneumatisk frakturering.

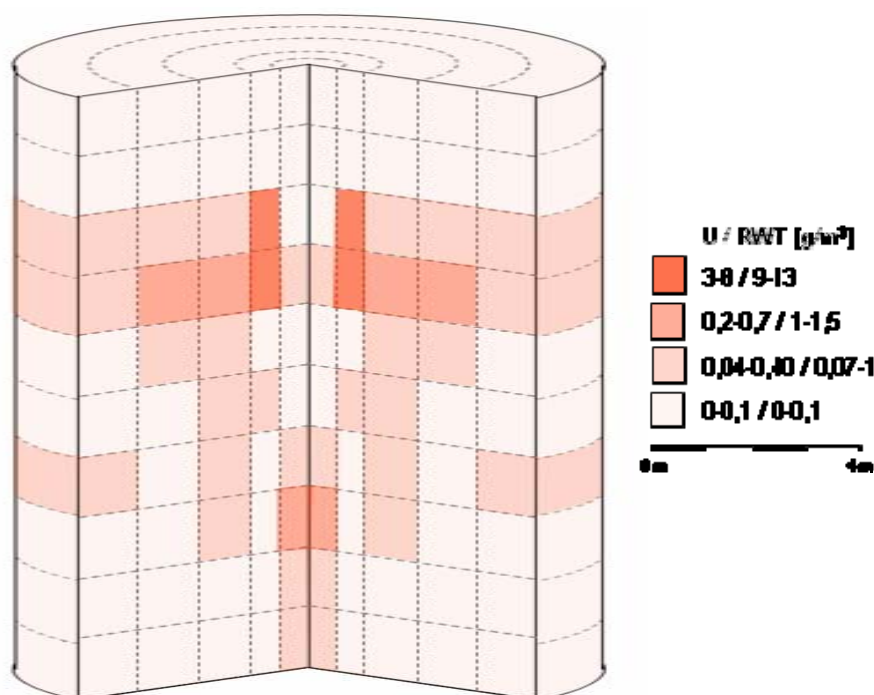
## 6. Revideret massebalance og influensradius

Der er udført en revideret massebalance for tracerne i testfeltet på baggrund af de supplerende undersøgelser. Fremgangsmåde og resultater er beskrevet i bilag 6.

I massebalancen kan der redegøres for størstedelen (83 %) af den tilsatte rhodamine WT, mens der kun kan redegøres for ca. 35 % af det

injicerede uranine. Dette vurderes primært at skyldes forskellen i stof-fernes sorptionsegenskaber, således at rhodamine WT tilbageholdes i testfeltet ved sorption til moræneleret (specielt sprækkeoverfladerne), mens en del af det mere mobile uranine vurderes at være transporteret uden for PF1's umiddelbare influensradius ved gennemstrømning af horisontale sprækker.

Massefordelingen af tracerne i testfeltet er illustreret i figur 1.



*Figur 1* Massefordeling af tracerne Uranine (U) og Rhodamine WT (RWT) i testfeltet (0-4 m radiært, 0-10 m u.t.). Afstanden mellem hver streg på figuren er 1 m både vertikalt og horisontalt. Der er dog en ekstra horisontal inddeling ved 0,5 meters afstand fra PF1.

Hovedparten af tracermassen findes i dag (ultimo april 2006) 3-4 m u.t. i 0,5-1 meters afstand fra PF1. Dette er i god overensstemmelse med de kvalitative og visuelle observationer. I afstanden 0-3 m radiært fra fraktureringsboringen vurderes usikkerheden på massebestemmelserne som værende lille, mens der i afstanden 3-4 m er en relativ stor usikkerhed på massebestemmelsen.

Det konkluderes, at størstedelen af den injicerede tracermasse er blevet fordelt inden for 2 m fra injektionsboringen PF1. Langs isolerede linier (primært 2-4 m u.t.) er væsentlige mængder tracer dog nået helt ud i mere end 4 meters afstand fra PF1 (op til 6,8 m væk fra PF1 jf. /1/). Den effektive influensradius vurderes konservativt til 2 m.

Massebalancen viser, at ca. 80 % af den genfundne masse af begge tracere findes i dybden 2-4 m.u.t., mens yderligere knap 20 % af den genfundne masse findes i dybden 4-8 m.u.t. Den genfundne masse i dybderne 0-2 m.u.t. og 8-10 m.u.t. er ubetydelig. Tracerne er således overordnet fordelt inden for fraktureringsintervallet 3-8 m.u.t. samt 1 m herover, med størst intensitet i intervallet 2-4 m.u.t. Dette svarer til zonen ved og umiddelbart over redoxgrænsen, hvor intensiteten af naturlige horisontale sprækker er størst. Som nævnt ovenfor, vurderes disse ud fra de supplerende kerner at være primære spredningsveje for de injicerede tracere.

## 7. **Potentiale for anvendelse af pneumatisk frakturering til oprensning**

I det følgende forsøges det at uddrage nogle mere generelle perspektiver for anvendelsen af pneumatisk frakturering på danske morænelerslokaliteter. Perspektiveringens tager afsæt i de opnåede erfaringer fra pilotforsøget og sammenstiller disse med viden om morænelerslokaliteter og forureningsspredningen her.

### 7.1 *Konceptuel model for tracerspredning i moræneler ved pneumatisk frakturering*

På baggrund af resultaterne af pilotforsøget er der udarbejdet en konceptuel model for hvordan tracer fordeles i en morænelersformation som følge af pneumatisk frakturering, bl.a. med fokus på samspillet mellem eksisterende og inducerede sprækker.

Den konceptuelle model er udarbejdet med udgangspunkt i en karakterisering af det naturlige sprækkesystem på forsøgslokaliteten Vadsbyvej. Det naturlige sprækkesystem beskrives overordnet i det følgende.

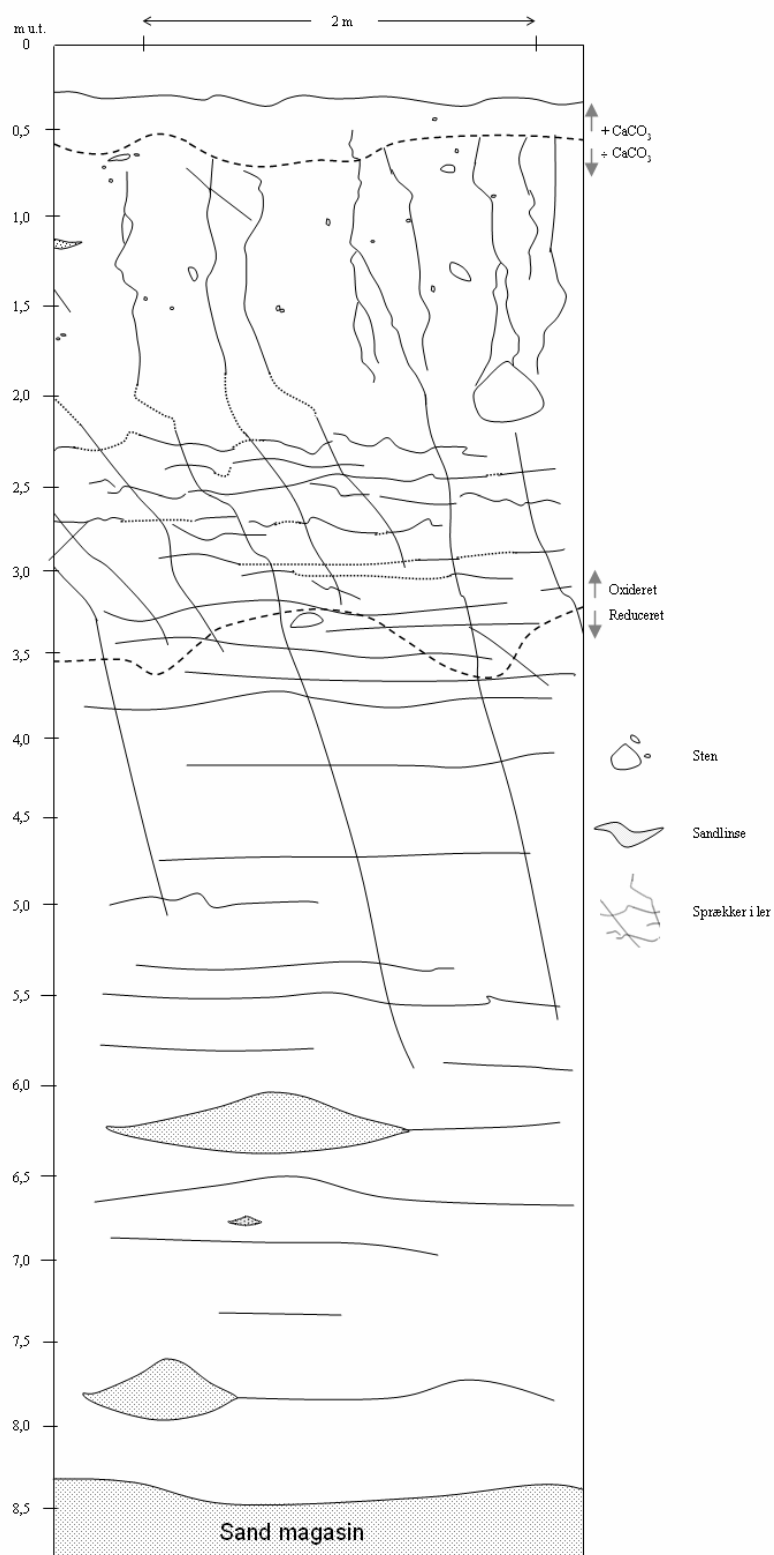
#### 7.1.1 *Naturlige sprækker*

De naturlige sprækker i lerformationen på Vadsbyvej er blevet vurderet ved en 10x10x5 m udgravning ca. 5 m nordvest for fraktureringsboringen, PF1. Resultaterne er nævnt i /1/, men mere detaljeret beskrevet i /2/. De primære udgravningsprofiler, samt overordnede sprækker set her, er vist i figur 2.



*Figur 2 Foto af primære udgravningsprofiler på Vadsbyvej. Overordnede sprækker, kalk- og redoxgrænse, sandlinser og store sten er fremhævet. Inddelinger på landmålerstokke er 20 cm. Optegnet fra /2/.*

Fem typer naturlige sprækker er identificeret i Vadsbyvej-moræneleren, se tabel 3. Vadsbyvej-lokaliteten er blevet vurderet som en typisk dansk bundmoræne-formation, og de identificerede sprækketyper er typiske for denne type morænelersformationer. Andre morænetyper (klassificeret efter afsætningsmiljø) vil ikke nødvendigvis have lige så veludviklede systematiske sprækkenetværk. En konceptuel model for naturlige sprækkeforekomster i en typisk (bund)morænelersformation, baseret på figur 2 – Vadsbyvej, underlejret af sand/sekundær akvifer, er vist i figur 3.



**Figur 3** *Konceptuel figur for en typisk (bund)-morænelersformation. Kontraktionsprækker fundet 0-2 m.u.t. er ikke vist på figuren.*

Tabel 3 Naturlige sprækketyper identificeret v. udgravning af 10x10x5 m felt på Vadsbyvej-lokaliteten, baseret på /2/.

Sprækketype	Dybde [m u.t.]	Udbredelsesretning	Tæthed [afstand]	Kommentar
Rod- og ormegange	0-1	Horisontale & Vertikale	< 1 cm	Usystematiske
Kontraktionssprækker	0-2 (0-4)	Horisontale & Vertikale	1 cm 1 cm	Usystematiske; dannet ved udtørings- og fryse/tø-processer; observeret indtil 2 m u.t., men udtørings-sprækker forventes at være til stede indtil redoxgrænsen ved ca. 3,5-4 m u.t., dog med en lavere frekvens.
Horisontale subglacial-tektoniske shear-sprækker	2-4 (2-14)	Horisontale	20 cm (10-50 cm)	Systematiske; dannet ved moræne-afsætningen; observeret indtil 4 m u.t., men forventes at gennemsætte hele formationen (til 14 m u.t. hvor sandlag træffes)
Vertikale subglacial-tektoniske shear-sprækker	1-4 (0-6)	Vertikale	1-3 m u.t.: 12-14 cm; 3-6 m u.t.: 1 m	Systematiske; observeret indtil 4 m u.t., forventes at fortsætte (med større afstand) indtil max. 6 m u.t., hvor sekundært vandspejl træffes
Vertikale subglacial-tektoniske ekstensions-sprækker				

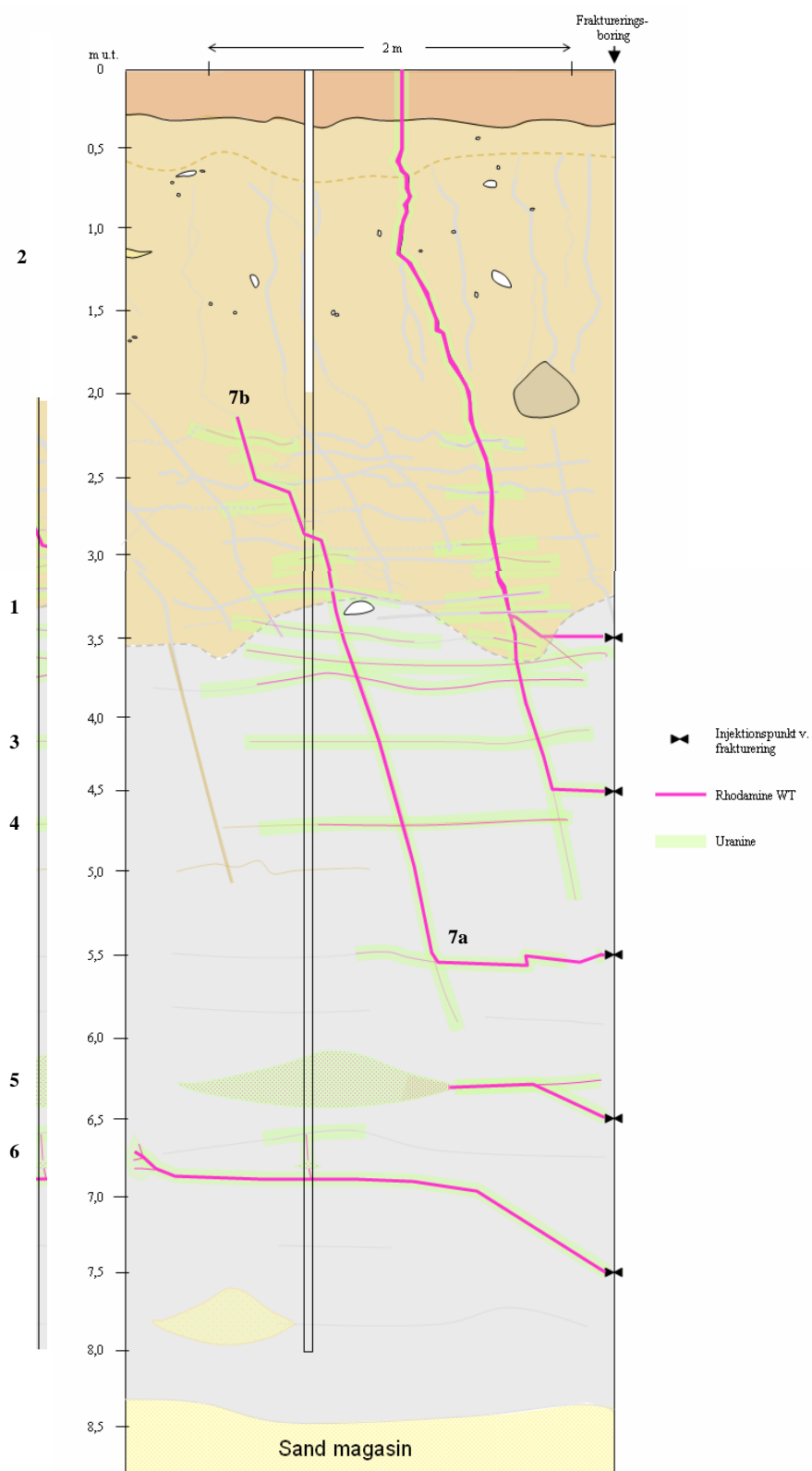
Det bemærkes, at ikke alle sprækker og sprækketyper er hydraulisk aktive.

### 7.1.2 Inducerede sprækker og tracerspredning

På grundlag af observationerne af tracerudbredelse på Vadsbyvej er udarbejdet en konceptuel model for moræneler vist i figur 4. Denne illustrerer den type massespredning, man på basis af det udførte forsøg vil kunne forvente i en morænelersformation ved pneumatisk frakturering over 1 m-intervaller fra 3-8 m u.t.

Den konceptuelle model illustrerer følgende:

1. En stor del af en injiceret traceropløsning vil fordele sig i naturlige, hydraulisk aktive sprækker omkring redoxgrænsen, som typisk findes mellem 2,5-5,5 m u.t. i danske morænelers-aflejringer /2/. Redoxgrænsen er på figur 4 angivet mellem 3,5-4 m u.t., som på Vadsbyvej. Stoffyldte sprækker med 10-20 cm's afstand kan forventes lokalt i dette område (fra 2,5-4 m u.t. på Vadsbyvej).
2. Hvordan traceropløsningen fordeler sig ovenover redoxzonen (fra 0-2,5 m u.t. på Vadsbyvej) er der ikke indhentet dokumentation for.



Figur 4 *Konceptuel figur for tracerspredning i eksisterende og inducerede sprækker i en typisk morænelersformation.*



*Fraktureringsboringen er vist i figurens højre side, så der er kun vist sprækkeudbredelsen i én retning. En fiktiv kerne er indtegnet til illustration af typiske kerneobservationer. Tracerspredning i kontraktionssprækker er ikke vist*

3. Under redoxzonen forventes hydraulisk aktive horisontale og tracerfyldte sprækker truffet med 0,5-1 meters mellemrum.
4. Udvasning i umættet zone og afstrømning i hydraulisk aktive sprækker omkring redoxzonen vil føre til at mobile stoffer (som uranine), i modsætning til kraftigt sorberende stoffer (som rhodamine WT), bliver ført længere ud i formationen end den umiddelbare influensradius opnået ved pneumatisk frakturering. Mobile stoffer vil typisk også diffundere længere ind i matrix.
5. Når sprækker munder ud i et sandindslag (eller evt. stærkt sandet indslag i moræneleren), dannes tilsyneladende umiddelbart et tæt stoffyldt sprækkenetværk i sandindslaget. Efterfølgende sker en koncentrationsudligning ved diffusion, hvorved stoffet med tiden fordeler sig homogent over hele sandindslagets volumen.
6. Trods fraktureringens primære mål om at skabe subhorisontale sprækker (til spredning af et givent stof), vil vertikale sprækker forventes dannet, hvor trykaflastning lettest sker vertikalt, eksempelvis observeret i KF4, 7-8 m u.t. og KF7, 5-6 m u.t., se bilag 3.
7. Generelt vil sprækkerne søge mod overfladen, når trykket ikke længere rækker<sup>1</sup> til horisontal udbredelse. I teorien vil sprækken følge en buet kurve mod overfladen (således at sprækken får en skål-facon), men med de mange naturlige, hydraulisk aktive, subvertikale sprækker, der typisk forefindes i moræneler, vurderes det, at de "inducerede" sprækkers horisontale udbredelse i mange tilfælde vil standses ved gennemskæring af de vertikale sprækker, der tilbyder hurtig vej til overfladen og dermed trykaflastning. Trykaflastningen kan ske inden overfladen, hvis en vertikal sprække krydser en horisontal sprække evt. med højere permeabilitet eller større apertur, som traceren så ledes igennem. Sådan afstrømning forventes primært i redoxzonen, hvor sprækketætheden er størst.

---

<sup>1</sup> Injektionstrykket skal være større end in situ stress i given dybde

## 7.2 *Konceptuel model for forureningsspredning af chlorerede stoffer i moræneler*

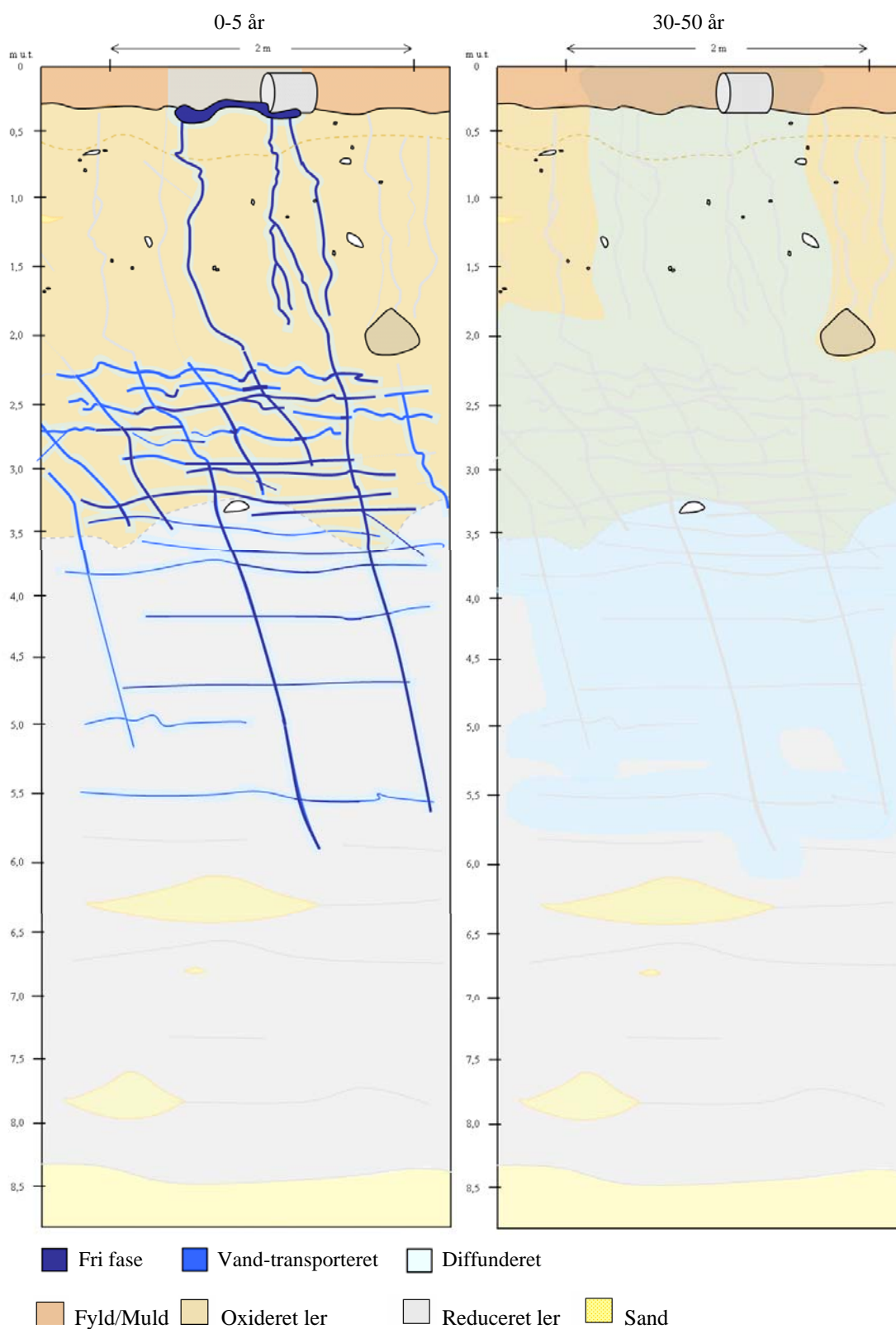
Med henblik på at vurdere anvendeligheden af pneumatisk frakturering mere generelt, er der indledningsvist foretaget en vurdering af, hvordan forurening med chlorerede opløsningsmidler på morænelerslokalteter typisk observeres fordelt.

Chlorerede opløsningsmidler vil i undergrunden findes som DNAPL og opløst stof, i umættet zone også på gasform. Måden hvorpå stofferne forventes at fordele sig i en lavpermeabel, opsprækket moræneler er illustreret i figur 5.

DNAPL-forureningen forventes primært at fordele sig via de naturlige sprækkesystemer. Ved vandgennemstrømning af sprækkerne opløses stofferne og transporteres længere ud i sprækkenetværket. Efterfølgende diffunderer stofferne (på såvel fri fase og opløst form) fra sprækkerne ind i den omkringliggende matrix. Forureningen forventes således at fordele sig i matrix primært omkring redoxgrænsen (hvor den største tæthed af naturlige sprækker findes) og over dybden i naturlige sandslirer og sprækker, samt i sandlegemer med direkte forbindelse hertil.

Dette billede bekræftes af observationer gjort på 7 danske morænelerslokalteter, forurenet med chlorerede opløsningsmidler. De geologiske forhold og forureningsforholdene på 7 lokaliteter er summeret i bilag 8. Væsentlige pointer herfra er fremhævet i det følgende.

- Generelt er de forurenende aktiviteter påbegyndt for 30-55 år siden, hvormed forureningsspredning i undergrunden formentlig har fundet sted i samme antal år.
- I kildeområdet træffes forureningen typisk omkring redoxzonen og/eller i dybdeintervallet fra redoxzonen til dybereliggende sandlag indlejret i morænelersaflejringer. Sprækkerne i redoxzonen forventes forbundet (med indlejrede sandlag) af vertikale sprækker.
- Forureningsfanerne er da primært udbredt i omtalte sandlag og eventuelle indlejrede sandslirer, samt i morænelerens matrix i samme dybdeinterval.



**Figur 5**    *Konceptuel model for forureningsspredning i eksisterende og naturlige sprækker i en typisk morænelersformation*

- I tilfælde hvor en mere jævn forureningsfordeling ses over hele morænelerssekvensen, skyldes det, at den pågældende morænesekvens er stærkt heterogen med mange sandslirer og – indslag over hele dybden, og/eller at sekvensen er så tynd, at den er gennemsat af vertikale sprækker, hvorfra forurening har kunnet diffundere ud i matrix over hele dybden.
- Forurening af sekundære og primære akviferer kan tydeligt kobles til tykkelsen af den overliggende morænesekvens, der som nævnt ovenfor vil være gennemsat af vertikale sprækker, der fungerer som direkte transportveje til underliggende sekvenser, hvis dræningsforholdene har tilladt det.
- Det ses at sandlegemer indlejret i morænesekvensen kan hindre/sinke videre nedtrængning af forurening i morænen, da DNAPL tilbageholdes som residual fase og på opløst form spredes horisontalt og dermed fortyndes i sandlaget.

### 7.3 *Anvendelighed af pneumatisk frakturering ved typiske lokaliteter med chlorerede opløsningsmidler i moræneler*

Ved pilotforsøget er det fundet, at tracerne primært er spredt horisontalt ved åbning af eller transport i naturlige sprækker, der forekommer med størst intensitet over og omkring redoxgrænsen. Endvidere er der ved fraktureringen dannet vertikale sprækker. Tracerne er overordnet fordelt i intervallet 2-8 m.u.t. med hovedparten af massen (80 %) fundet 2-4 m.u.t., svarende til redoxzonen, hvor det naturlige sprækkesystem er mest udbygget.

Som det fremgår af afsnit 7.2, vil DNAPL-forurening på en morænelerslokalitet i høj grad fordele sig i og omkring de naturlige sprækkesystemer i moræneleret. Således ses hovedparten af forureningen med chlorerede stoffer på en typisk morænelerslokalitet over og omkring redoxgrænsen, hvor der er flest naturlige sprækker.

Idet det naturlige sprækkesystem er drivkraft for både forureningsspredningen og for fordelingen af tracer (eller ”oprensningmiddel”), er der således sammenfald mellem hvor den største forureningsmængde findes og hvor pneumatisk frakturering synes at have størst effekt.

Imidlertid gælder det, at jo længere tid forureningen har stået på, jo længere ind i matrix vil forureningen være diffunderet. Samtidig forventes det, at tilbagediffusionen fra matrix til det naturlige sprækkesystem har samme eller længere tidshorisont end inddiffusionen. Idet oprensningen af matrix vil være diffusionsbegrænset, er det derfor afgørende, at afstanden mellem sprækkerne ikke er for stor, således at tidshorisonten for en oprensning af matrix bliver realistisk

Beregninger i /2/ for at vurdere den nødvendige sprækkeafstand indikerer, at det skal opnås en effektiv afstand mellem sprækker på max. 10 cm, såfremt en total oprensning skal ske inden for 10 år. Beregningerne forudsætter imidlertid, at der alene sker uddiffusion af chlorerede stoffer fra matrix og at nedbrydningen alene foregår i sprækkerne. Analyser af kerner fra en morænelerslokalitet, hvor der pågår stimuleret reaktiv dechlorering /3/, viser imidlertid, at der kan ske en nedbrydning i selve matrix i en zone omkring sprækken (ca. 3 cm væk fra sprækken). Antages dette for generelt gældende, er kravet til en maksimal sprækkeafstand måske større. Vurderinger af den nødvendige sprækkeafstand er dog forbundet med betydelig usikkerhed, som både afhænger af den konkrete geologi, forureningssituation og oprensningsmetoden. Det har også betydning hvilke oprensningskrav der stilles. Ønskes en forureningsreduktion eller en reduktion i forureningsfluxen væk fra det forurenede område frem for en total oprensning, kan en større afstand mellem sprækkerne måske være tilstrækkelig.

Spredning af tracer (eller ”oprensningsmiddel”) i det naturlige, hydraulisk aktive sprækkesystem kan således være utilstrækkeligt til at opnå en total oprensning inden for en realistisk tidshorisont. Imidlertid er der ved pilotforsøget tillige åbnet hydraulisk inaktive sprækker og skabt vertikale sprækker i matrix. Det vurderes således, at det totale antal hydraulisk aktive sprækker er blevet forøget som følge af fraktureringen. Den største tracermasse er dog som nævnt spredt i de hydraulisk aktive, naturlige sprækker. Hvorvidt det øgede sprækkeantal stadig er tilstrækkeligt til en total oprensning er uklart.

Influensradius for en effektiv fordeling af tracer vurderes at være 2 m. Det vurderes ikke muligt ved direkte injektion af tracer/substrat at opnå tilnærmelsesvist den samme influensradius. Det er dog uafklaret og bør undersøges nærmere.

## 8. Konklusion

### 8.1 *Pilotforsøg med pneumatisk frakturering*

På baggrund af den reviderede massebalance vurderes en influensradius for effektiv fordeling af tracer at være 2 meter.

Traceren er overordnet fordelt i intervallet 2-8 m.u.t. Ca. 80 % af den genfundne tracermasse er fundet i dybden 2-4 m.u.t.

Hovedparten af tracermassen vurderes at være spredt horisontalt via åbning af eller transport i naturlige sprækker, der forekommer med størst intensitet over og omkring redoxgrænsen.

Under redoxgrænsen og ned til 10 m.u.t. er der observeret tracer i de supplerende kerner, dels som horisontale eller vertikale lilla sprækker omkranset af grøn fluorescens, dels som 50-70 cm lange sekvenser af

grøn og orange fluorescens uden distinkte sprækker – både i moræneleret og i indslag af morænesand.

De vertikale sprækker vurderes at være dannet ved pneumatisk frakturering.

Det er ikke afklaret, hvordan tracerne er spredt til og i morænesandindslagene, da analysedata ikke peger i retning af diffusiv spredning fra en enkelt sprække.

Ved de tidligere undersøgelser /1/ sås eksempler på sekvenser med tæt forekomst af tracer, indikerende stedvis dannelse af et tættere sprækkenetværk. Sådanne observationer er ikke registreret i de supplerende kerner, udtaget 4 måneder efter fraktureringen. Disse kerner indikerer, at den største mængde tracer er spredt via naturligt forekommende sprækker.

Det vurderes, at der som beskrevet i /1/ kan foretages en række designmæssige justeringer af fraktureringen, der kan forbedre spredningen under redoxgrænsen betydeligt. Disse omfatter: Frakturering fra kortere intervaller (f.eks. ½ m), injektion af større væskevolumen samt udførelse af frakturering og injektion i ét trin. Desuden vil bedre afpropning af eksisterende borer og/eller monitoringsboringer også kunne have en gavnlig effekt.

Det vurderes fortsat på baggrund af pilotforsøget /1/, at pneumatisk frakturering har et potentiale til at forbedre fordelingen af stof i en morænelersformation med henblik på oprensning ved in situ massefjernelse.

## 8.2 *Anvendelighed af pneumatisk frakturering*

Den største tracermasse er spredt omkring redoxgrænsen, hvor også den største forureningsmængde typisk findes. Omkring redoxgrænsen er også den største tæthed af naturlige sprækker. Ved pneumatisk frakturering udnyttes det naturlige sprækkenetværk til fordeling af tracer, primært ved transport i hydraulisk aktive sprækker, men også ved åbning af hydraulisk inaktive sprækker samt ved dannelse af nye, vertikale sprækker i leret. Det totale antal aktive sprækker vurderes derudover forøget som følge af fraktureringen.

Idet oprensningen af matrix vil være diffusionsbegrænset, er afstanden mellem sprækkerne afgørende for effekten af oprensningen. I selve redoxzonen vurderes de dannede sprækker at have en afstand, der ligger i størrelsesordenen med den beregnede maksimale sprækkeafstand for en total oprensning inden for en rimelig tidshorisont.

Under redoxzonen er afstanden mellem de dannede sprækker noget større end den kritiske afstand, hvorfor metoden her i højere grad vil

være anvendelig til reduktion af forureningsmasse eller reduktion af flux fra det forurenede område.

## 9. Referencer

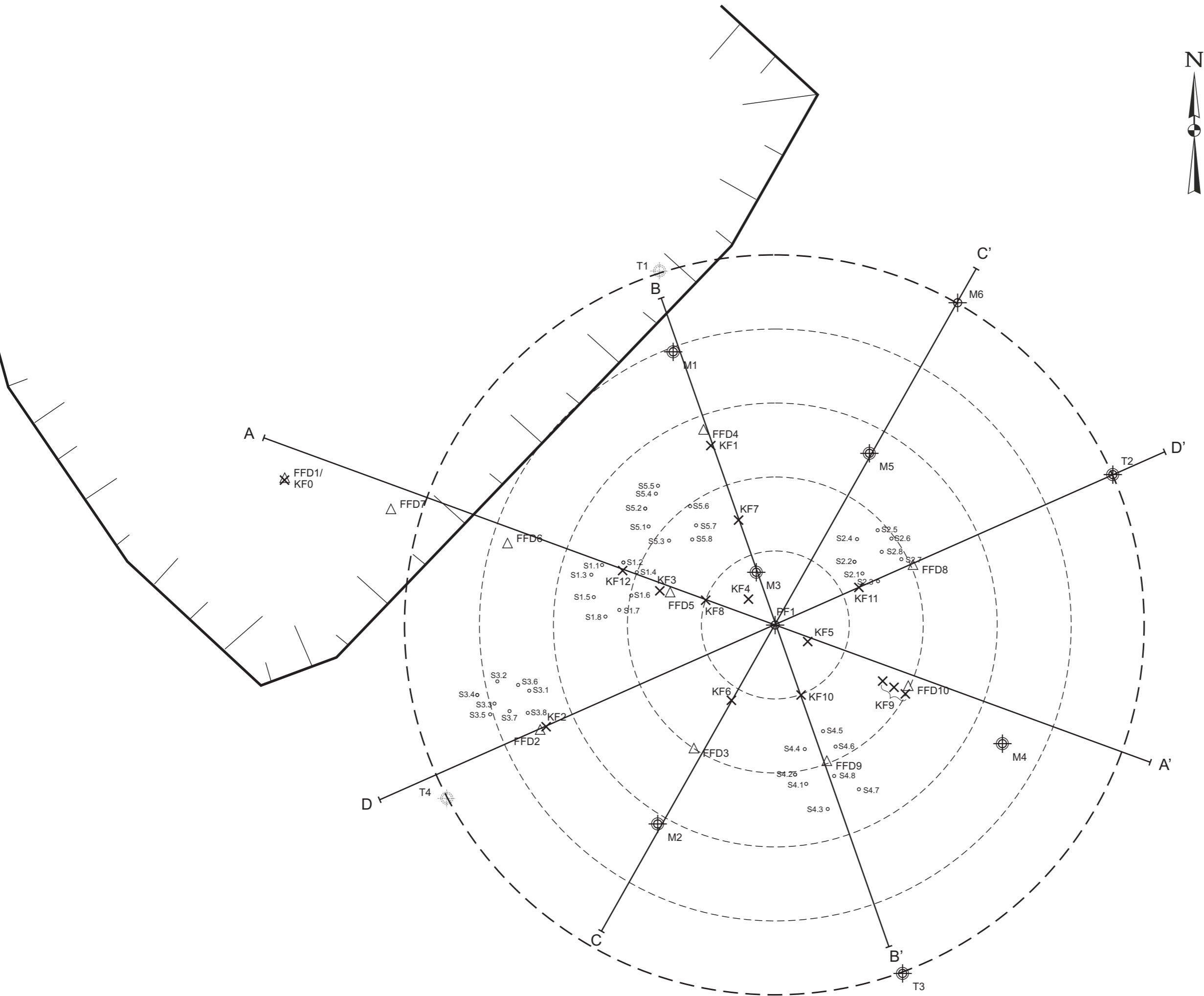
- /1/ Københavns Amt. Pneumatisk frakturering. Dokumentation af pilotforsøg. Vadsbyvej 16A, Hedehusene. Maj 2006. Udarbejdet af NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S og Institut for Miljø og Ressourcer, DTU.
- /2/ Christiansen, C. & J.S.A. Wood: Environmental Fracturing in Clay Till Deposits. Master Thesis. Institute of Environment & Resources. Technical University of Denmark. January 2006.
- /3/ Broholm, M.M., C. Scheutz, E. Begtrup, P.L. Bjerg, C.S. Jacobsen, T. Jørgensen, L. Stub & P. Rasmussen. Oprensning af chlorerede opløsningsmidler i moræneler: Betydning af diffusion. ATV Møde. Vintermøde om Jord- og Grundvandsforurening. Vingstedcentret 7.-8. marts 2006.

---

**Bilag 1**  
**Situationsplan med placering af kerner**

---





- A—A' Placering af profilsnit
- ⊕ Boring, filtersat
- ⊗ Boring, ikke filtersat
- ⊕ Filtersat boring gået tabt
- Sugecelle
- × Kerneprøve
- △ FFD-sondering
- ┌┐ Udgravning



Tegningen er baseret på affotograferet materiale og er ikke nødvendigvis målfast

**Bilag 1**  
**Vadsbyvej 16A, Hedehusene**  
 Situationsplan

Sag nr.: 03792.04

Juni 2006



tegn\suppl kerner\vadsbyvej.cdr

---

**Bilag 2**  
**Dokumentation af pneumatisk frakturering**  
**vha. tracere i kerneprøver**

---

## **BILAG 2**

### **NOTAT – Supplerende undersøgelser**

#### **KØBENHAVNS AMT**

### **DOKUMENTATION Af PNEUMATISK FRAKTURERING VHA. TRACERE I KERNEPRØVER**

#### **1.0 Indledning**

Den 6. december 2005 er der udført pneumatisk frakturering med tracerinjektion i et testfelt på lokaliteten Vadsbyvej 16A, Hedehusene. I december 2005 til januar 2006 blev udført en række undersøgelser til vurdering af tracerudbredelsen. Disse er rapporteret i /1/.

Med henblik på forbedret vurdering af effektiviteten af pneumatisk frakturering i moræneler er der i april 2006 udtaget (fotograferet og analyseret) supplerende kerneprøver (KF4-KF12) i testfeltet.

Dette notat beskriver håndteringen af sedimentkerner udtaget på lokaliteten i april 2006 samt de opnåede fluorescensresultater for disse sedimentkerner.

Håndtering og fotografering af kerner samt analyser af fluorescerende tracere jordprøver er udført på Institut for Miljø & Ressourcer, DTU.

I bilag 1 findes en situationsplan over lokaliteten, hvor placering af kerneboringerne KF4-KF12 er angivet sammen med placeringen af undersøgelsespunkter fra den tidligere undersøgelse /1/.

## 2.0 Metoder

### 2.1 Udtagning og håndtering af kerner på Vadsbyvej, Hedehusene

I tabel 1 forefindes en oversigt over de udtagne kerner KF4-12.

Kernerne er udtaget med geoprobe i geoproberør (PVC-liner og ø38mm) af NIRAS og umiddelbart herefter fragtet til Institut for Miljø & Ressourcer, DTU, hvor de er opbevaret mørkt og på køl ved 10 °C indtil opskæring. I tabel 2.1 er givet en oversigt over håndteringen af de enkelte kerner.

**Tabel 2.1:** Oversigt over kerner udtaget på Vadsbyvej i Hedehusene, april 2006.

Kerne	Udtaget (Dato)	Dybde [m.u.t.]	Antal kerner	Fotografering	Delprøvetagning		Geologisk beskrivelse
					Fluorescerende tracere	Bromid	
<b>KF4</b>	xx.04.06	2 - 10	8	✓	✓	-	✓
<b>KF5</b>		2 - 8	6	✓	✓	-	✓
<b>KF6</b>		2 - 8	6	✓	✓	-	✓
<b>KF7</b>		2 - 10	8	✓	✓	-	✓
<b>KF8</b>		2 - 10	8	✓	✓	-	✓
<b>KF9</b>		2 - 8	6	✓	✓	-	✓
<b>KF10</b>		2 - 6	4	✓	✓	-	✓
<b>KF11</b>		2 - 8	6	✓	✓	-	✓
<b>KF12</b>		4 - 8	4	✓	✓	-	✓

Geoproberørene er opskåret på langs, således at de deles i to lige store stykker. Med en kniv skæres kernen herefter igennem og halvdelene vippes forsigtigt fra hinanden sammen med den tilhørende halvdel af geoproberøret. Den ene halvdel benyttes til fotografering og geologisk beskrivelse, mens den anden halvdel benyttes til delprøvetagning. Kernen hvorfra der udtages delprøver har således ikke været udsat for lys fra fotograferingen, hvormed risikoen for nedbrydning af Uranine ved udsættelse for lys er minimeret. Bund og top markeres og kernerne pakkes forsigtigt ind i stanniol og opbevares i kølerum ved 10 °C indtil videre håndtering.

Fotografering af kernerne er foretaget med kameraindstillinger og opstilling som beskrevet i bilag D i /1/. Ved siden af kernen er placeret en målestok, som er placeret med begyndelsen ved kernens top (se bilag 3).

Der er foretaget fotografering under UV-lys. Kernerne har ikke været udsat for unødigt belysning inden fotograferingen under UV-lys og hermed inden en vurdering af

tracernes fluorescens foretages. Fotos af kernerne er redigeret ved brug af redigeringsprogrammet Nikon Capture 4.0 (som beskrevet i bilag D i /1/).

Efter fotograferingen af en hel kerne (dvs. f.eks. fra 2-10 m.u.t. for KF4), er der udtaget delprøver fra samtlige kerner. I områder, hvor fluorescens ikke har været observeret er der prøvetaget hver ½ m (stikprøver), mens der i områder med fluorescens er udtaget et varierende antal delprøver med henblik på at opnå en repræsentativ kvantifikation af den observerede fluorescens. Alle delprøver er blevet analyseret for de fluorescerende tracere Uranine og Rhodamine WT.

For en enkelt delkerne fra KF10 (5-6 m.u.t.) er der udvalgt en markant sprække til mere detaljeret prøvetagning med henblik på vurdering af diffusionsafstanden for tracerne ind i matrix fra en sprække. Der er udtaget delprøver med ca. 0,5 cm's mellemrum på hver side af sprækken, og med gradvist længere afstand væk fra sprækken.

Fremgangsmåden ved delprøvetagningen er beskrevet i /1/ bilag I.

Efter fotografering samt delprøvetagning af kernerne er der udført en geologisk beskrivelse af de enkelte kerner. Udvalgte kerner (KF4, KF5, KF7 og KF8) er vurderet geologisk af Knud Erik Klint, GEUS, for at sikre korrekt skelnen mellem moræneler og –sand samt for en vurdering af, om sprækker med tracer var eksisterende sprækker eller ny-inducerede sprækker. I bilag 3 forefindes optegninger af geologi såvel som observation af tracere for kernerne KF4-KF12 fra Vadsbyvej. Overvejende er der for alle 9 kerner tale om sandet moræneler.

### 2.3 Analyser

Analyserne for fluorescerende tracere i jordprøver er beskrevet i bilag E og F i /1/. Detektions- og kvantifikationsgrænser for analysen af fluorescerende tracere i jordprøver er opstillet i tabel 2.2. Begrundelse for valg af detektions- og kvantifikationsgrænser, findes i bilag I-7 i /1/.

Idet hovedparten af prøverne udtaget fra delkerner uden tegn på sprækker med indhold af tracere eller sandområder med tracer viste højere fluorescens ved

bølgelængde for Rhodamine WT end kvantifikationsgrænsen fra /1/, formodes baggrundsniveauet for fluorescens i leret at være højere ved denne analyserunde end ved den tidligere /1/, formentlig pga. genkalibrering af fluorometeret.

Derfor er foretaget en fornyet vurdering af kvantifikationsniveauet for denne tracer. Baseret på det målte diffusionsprofil for en sprække i KF10 vurderes Rhodamine WT's påvirkning maksimalt at kunne måles til en afstand af 10 cm fra en sprække med visuelt observeret Rhodamine WT fluorescens. Alle prøver med visuel indikation på Rhodamine WT eller koncentration overstigende 0,5 mg/kg og alle prøver beliggende indenfor 10 cm fra disse samt alle prøver fra sandområder med Uranine er udeladt. For de resterende prøver er gennemsnit plus standardafvigelse beregnet for Rhodamine WT. Denne værdi, 0,14 mg/kg, er valgt som ny kvantifikationsgrænse.

**Tabel 2.2:** Detektions- og kvantifikationsgrænser for Uranine og Rhodamine WT (se bilag I-7 i /1/).

Tracer	Jordprøver [mg/kg] <sup>a</sup>		
	Detektion	Kvantifikation	
Uranine	$2,38 \cdot 10^{-3}$	0,03	
Rhodamine WT	0,02	0,07	Gl. kvantifikationsgr.
Rhodamine WT <sup>b</sup>		0,14	Ny kvantifikationsgr.

<sup>a</sup> Estimeret ud fra en jordmængde på 0,3 g,

<sup>b</sup> Baseret på prøver fra KF4-12 som vurderes upåvirkede af RWT, gennemsnit + standard afvigelse.

### 3.0 Resultater

Et geoproberør repræsenterer 1 meter, f.eks. 1-2 m.u.t. i felten. Som regel måler kernen i geoproberøret over 1 meter, hvorfor kernerne er korrigeret for forskellen mellem kernelængden i geoproberøret (1,2 m) og 1 meter. I tilfælde, hvor der mangler sediment i kernerne, antages det, at det manglende sediment mangler fra bunden af kernen. Således vil en kerne med en længde på f.eks. 0,33 meter fra dybden 3-4 m.u.t., repræsentere dybden fra 3,00 – 3,33 m.u.t. Således ses ikke altid overensstemmelse mellem den på billederne viste tommestok og den dybde (m.u.t.), der er angivet for et fluorescerende område.

#### 3.1 Geologi

Geologisk beskrivelse af kernerne er vist i bilag 3. Aflejringerne består overvejende af moræneler (sandet og stenet). Der er dog også observeret flere indslag af morænesand i mægtigheder på 0,1 til omtrent 0,7 m (f.eks. KF4 9-9,4 m u.t.). Sandindslagene er af begrænset udbredelse og sandsynligvis ikke sammenhængende om end de i KF5 og

KF8 træffes i samme dybde. Sandindslagene vurderes at være dannet ved afsætning af morænen (shear zone) og er derved karakteriseret som morænesand. Grænsen mellem oxideret (rødbrun) og reduceret (grå) moræneler træffes omkring 3,5-3,6 m u.t.

Udvalgte kerner (KF4 7-8 og 9-10 m u.t., KF5 3-4 og 5-6 m u.t., KF7 5-6 m u.t. samt KF8 3-4 m u.t., 5-6 m u.t. og 8-9 m u.t.) blev undersøgt nærmere. Ved åbning af de observerede sprækker, blev de horisontale sprækker med tracer vurderet at være eksisterende hydraulisk aktive sprækker, idet der kunne observeres rødbrun farvning (=oxidation af jernminerale) på sprækkefladerne. Dog vurderedes den horisontale, naturlige sprække (silt på sprækkeflader) i KF4 7-8 m u.t. muligvis at være åbnet ved fraktureringen. De vertikale sprækker (f.eks. KF7 ca. 5-5,7 m u.t.), observeret i enkelte af de udvalgte kerner, havde derimod ingen af disse tegn og kan være nye inducerede sprækker eller åbnede, eksisterende men ikke hydraulisk aktive sprækker.

### 3.2 Visuel dokumentation af sprækker ved tracere i kerner

Observationerne af fluorescerende tracere er illustreret i bilag 3 sammen med den geologiske beskrivelse. Fotos af udvalgte dele af kernerne er også vist i bilag 3. En oversigt over visuelle observationer af fluorescens er givet i tabel 2.3.

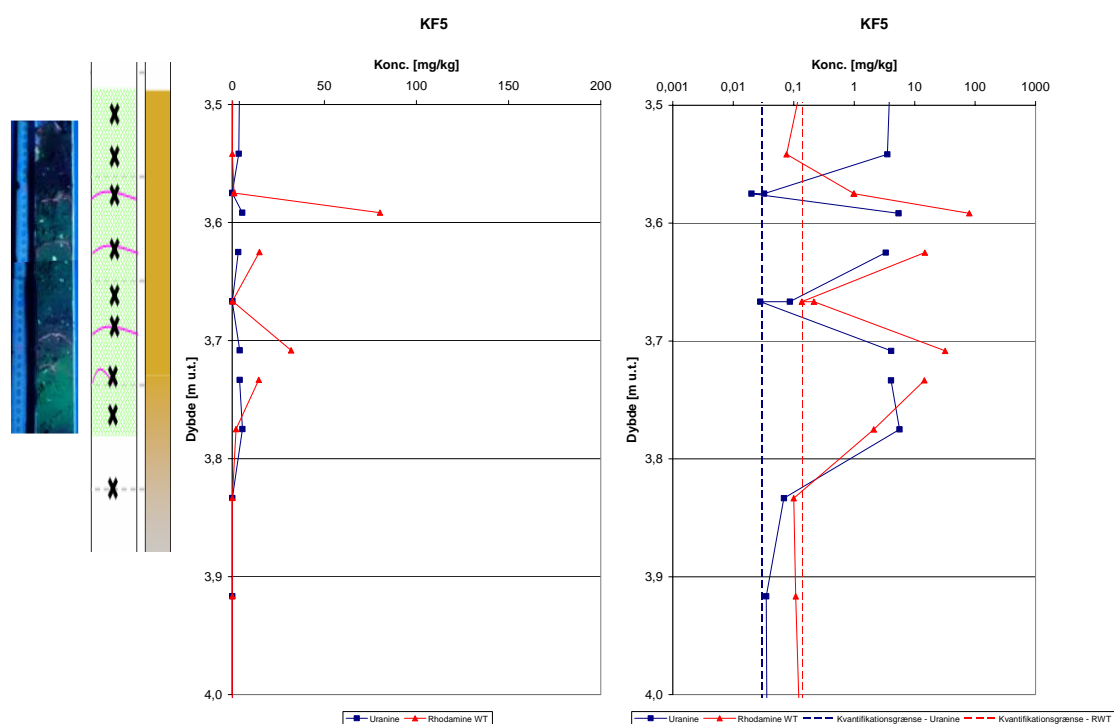
**Tabel 2.3:** Oversigt over sprækker/områder med tydelig fluorescens detekteret ved fotografering under UV-belysning af kernerne KF4-12 fra Vadsbyvej, Hedehusene.

Observationer	Kerneboringer									
	KF4	KF5	KF6	KF7	KF8	KF9	KF10	KF11	KF12	
Dybde [m u.t.]										
2-3	-	-	sp: 1	-	-	RL	-	-		
3-4	sp: 1	sp: 5	sp: 3	sp: 2	sp: 3	sp: 1	sp: 4	RL; sp: 1		
4-5	-	-	GL	GL	-	-	RL	-	sp: 1	
5-6	GL	GS	sp: 1	sp: 2	GS; sp: 1	-	sp: 1	sp: 1	-	
6-7	GL	RGL	-	RGL	GL	-	-	-	-	
7-8	sp: 2	-	sp: 1	RGL	GL	-	-	-	-	
8-9	GS; RL			-	GS; GL					
9-10	GS; RGL			-	GL					

-: ikke observeret fluorescens, sp: 1: antal pink/røde sprækker observeret, grøn celle: diffus grønlig fluorescens, rødlig celle: diffus rødlig fluorescens, G: grønlig, R: rødlig, L: moræneler; S: morænesand.

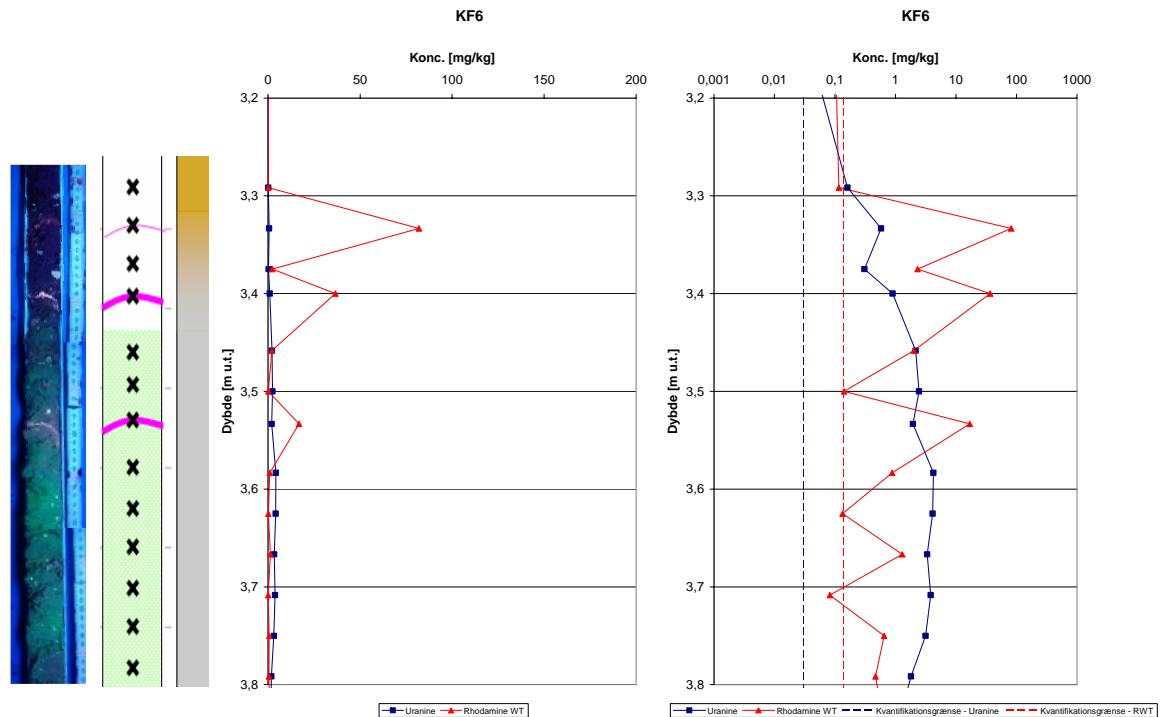
I KF6 og KF9 træffes fluorescens omkring 2,6-2,9 m u.t. i forvitret moræneler (overvejende rød/pink, lidt grønligt i KF6). I ingen af de øvrige kerneboringer træffes fluorescens i intervallet 2-3 m u.t.

Omkring redoxgrænsen, i kerner fra intervallet 3-4 m u.t. registreres fluorescens i samtlige kerneboringer. Rød/pink fluorescens markerer de horisontale sprækker og diffus grønlig fluorescens træffes i et interval omkring hovedparten af disse, i nogle forskudt nedefter i forhold til sprækkerne. Sprækkerne med fluorescens er eksisterende hydraulisk aktive sprækker og dybden er sammenfaldende med det interval, hvor der ved udgravningen ved testfeltet /2/ blev observeret den største densitet af naturlige horisontale sprækker. Enkelte af disse områder er udvalgt og illustreret ved udsnit af kerneoptegningerne og tilhørende fotos i figur 2.1 og 2.2.



Figur 2.1: Horisontale, tracerpåvirkede sprækker i 3,5-4 m u.t. i KF5.





Figur 2.2: Horisontale, tracerpåvirkede sprækker i 3,2-3,8 m u.t. i KF6.

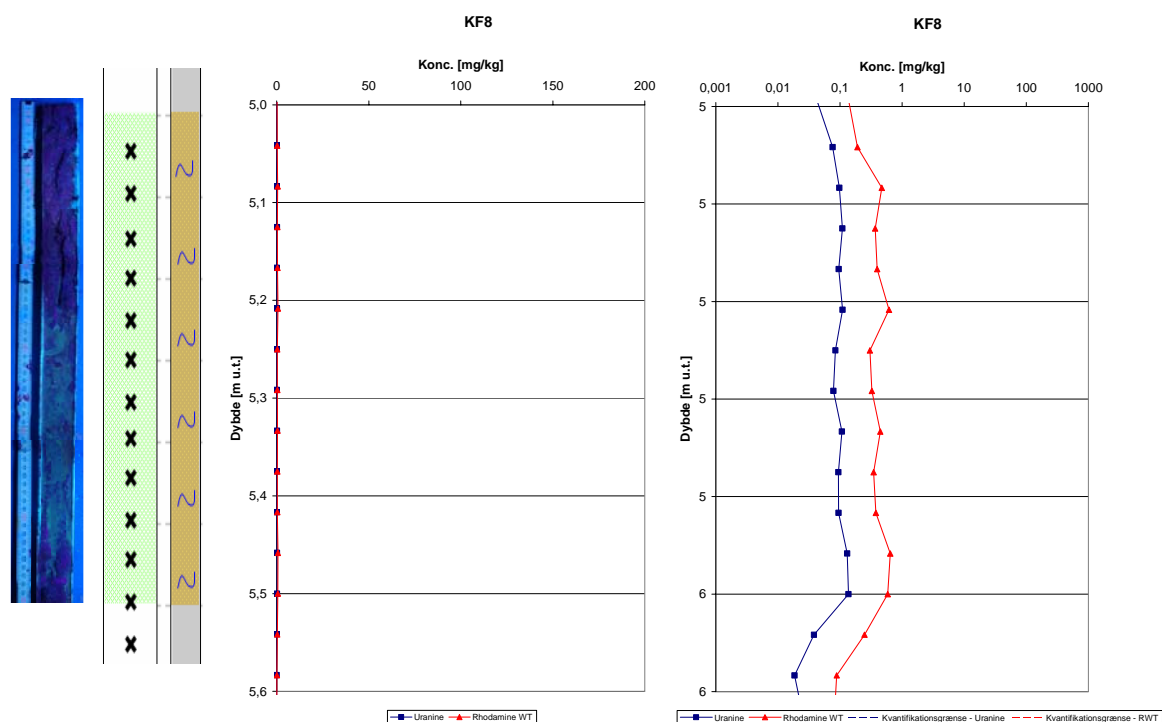
I nogle borer er observeret sprækker over redoxgrænsen, i/ved hvilke der alene ses pink fluorescens (Rhodamine WT) uden et grønt fluorescerende område (uranine) omkring sprækken. Det tyder på, at der efter fraktureringen er sket en dræning og betydelig udvaskning horisontalt i sprækkerne, således at alene det stærkt sorberende Rhodamine WT rester på/ved sprækkefladerne, mens Uranine er helt eller delvist udvasket. Der ses en tendens til større udbredelse af grønlig fluorescens under sprækkerne nederst i intervallet omkring redoxfronten. Dette kan skyldes en om end mindre vertikal nedsivning i den ellers lavpermeable moræneler.

I KF12 træffes en horisontal rød/pink sprække ved en sten omgivet af grønlig fluorescens 4,05-4,25 m u.t. I KF6 og KF7 træffes i intervallet 4-5 m u.t. områder med diffus, grønlig fluorescens med en mægtighed på ca. 40 cm i uforvitret (grå) moræneler uden visuelle tegn på sprækker.

I større dybde (5-12 m u.t.) i uforvitret moræneler træffes i 6 af borerne en eller to enkeltstående rød/pink fluorescerende horisontale sprækker med grønlig fluorescens omkring. Disse horisontale sprækker træffes typisk i intervallet 5-6 m u.t., svarende til ca. 2 m dybere end sprækkerne ved redoxgrænsen, eller i intervallet 7-8 m u.t.,

svarende til yderligere ca. 2 m dybere. I mere end 5 m's dybde er der således betydelig vertikal afstand mellem de visuelt observerbare horisontale sprækker. De horisontale sprækker med fluorescens vurderes at være eksisterende sprækker. En enkelt sprække i KF10 er illustreret i figur 2.4.

I KF4 (ca. 8-8,15 og 9-9,5 m ut.), KF5 (ca. 5-5,7 m u.t.) og KF8 (ca. 5-5,5 og 8,05-8,5 m u.t.) er der truffet indslag af morænesand med grønlig fluorescens, illustreret i figur 2.3.



**Figur 2.3:** Tracerpåvirket morænesandsområde i 5-5,5 m u.t. i KF8.

I KF4 (ca. 7,2-7,6 m u.t.) og KF7 (ca. 5-5,7 m u.t.) er der truffet vertikale sprækker med rød/pink fluorescens omgivet af diffus grønlig fluorescens. For disse sprækker er der ikke observeret tegn på, at der har været tale om eksisterende sprækker. De er tilsyneladende vertikale og ikke sub-vertikale, som de eksisterende sprækker. Der er således sandsynligvis tale om inducerede sprækker.

### 3.2.2 Kvantitativ dokumentation

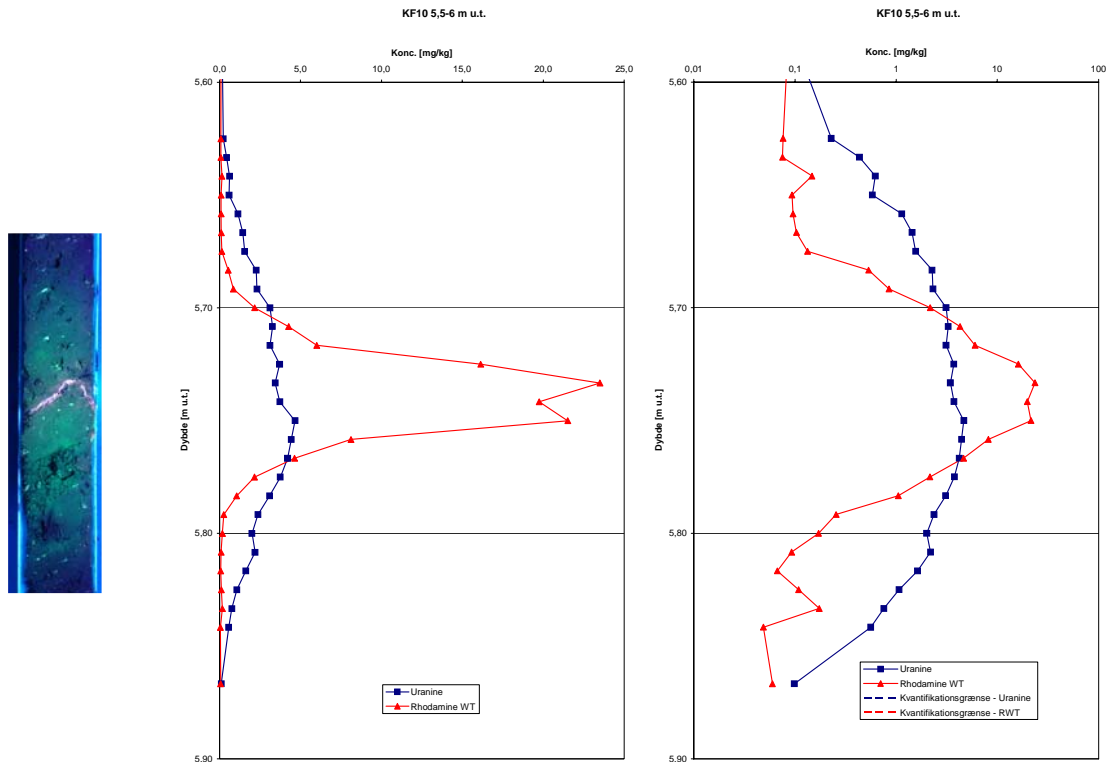
En tabel med samtlige analysedata for Uranine og Rhodamine WT i de 9 kerneboringer er givet i bilag 4. Dataene er illustreret grafisk ved normalplot og log-plot for hver kerneboring i bilag 5. Kvantifikationsgrænserne er vist på log-plots.

De kraftigste koncentrationer af tracerne, specielt markant for Rhodamine WT, er generelt truffet i sprækkerne omkring redoxfronten (ca. 3,5-3,7 m u.t.). Maksimal-koncentrationen af Rhodamine WT i sprækkerne (eller på sprækkefladerne) for de enkelte kerneboringer i dette interval ligger på mellem 80 og 180 mg/kg, mens Uranine koncentrationen typisk er mindst en faktor 10 lavere. For de af sprækkerne som ligger lige over redoxgrænsen er forholdsfaktoren større (i et enkelt tilfælde mere end 100). Dette gør sig også gældende for sprækkerne observeret ca. 2,7 m u.t. i KF6 og ca. 3,07 m u.t. i KF9. Ved den tidligere undersøgelse af kerner fra testfeltet udført inden for få dage efter fraktureringen var koncentrationsniveauet af de to fluorescerende tracere tilnærmelsesvis ens.

At det højeste koncentrationsniveau for Rhodamine WT i sprækkerne træffes i dette dybdeinterval (omkring redoxfronten) indikerer, at sprækkernes apertur (den dominerende sprække eller summen af aperturer ved flere sprækker) i denne zone er større end i øvrige dybder.

Mindre tilbageholdelse af Uranine end Rhodamine WT ved sorption bevirker større ind-diffusion af Uranine i matrix og dermed lavere koncentration af Uranine ved sprækken og et fladere profil for Uranine. Som følge af den begrænsede prøvetæthed (specielt uden for det visuelt detekterbare område) er det ikke muligt at bedømme forholdet mellem masserne af Rhodamine WT og Uranine, umiddelbart virker massen af Uranine dog betydeligt lavere end massen af Rhodamine WT. Det indikerer, at der er sket horisontal udvaskning af en del af Uraninen i sprækkerne, specielt markant for sprækkerne over redoxgrænsen.

For de enkeltstående horisontale frakturer i større dybde er maksimal-koncentrationerne for Rhodamine WT på mellem 10 og 40 mg/kg. Uranine koncentrationen er typisk 5-10 gange lavere. Her er tilsyneladende bedre overensstemmelse mellem masserne af de to tracere. Dette kan skyldes, at den horisontale udvaskning af uranine er mindre markant under redoxzonen. For det detaljerede profil fra KF10 er forholdet mellem masserne af Rhodamine WT og Uranine ca. 2, illustreret i figur 2.4.



**Figur 2.4.** Foto af udsnit af KF10 under UV-lys omkring sprække ca. 5,7 m u.t. samt detaljeret profil for Rhodamine WT (rød) og Uranine (blå) i kernen med normal skala og log-skala.

I morænesandsområderne er koncentrationerne af tracerne generelt meget lave (KF4: 6-15 mg/kg RWT og 1-10 mg/kg Uranine, KF5: 0,4-0,5 mg/kg RWT og 0,2-0,3 Uranine, KF8: 0,3-0,8 mg/kg RWT og 0,1-0,3 mg/kg Uranine) sammenholdt med koncentrationsniveauet i sprækkerne, illustreret i hhv. figur 2.2 og 2.3. Der er således tale om betydelig fortynding af tracerne i morænesands-indslagene. Koncentrationen i morænesandet er meget ensartede. Fortynding og ensartede koncentrationer kan bl.a. skyldes relativt hurtig diffusion eller densitetsbetinget strømning. Rhodamine WT koncentrationen er højere end Uranine koncentrationen, men forholdet er mindre end på sprækkefladerne. Det er tegn på, at der er sket en mindre tilbageholdelse af Rhodamine WT ved sorption i morænesandet.

For de vertikale sprækker, truffet i KF4 (ca. 7,2-7,6 m u.t.) og KF7 (ca. 5-5,7 m u.t.), ses maksimal-koncentrationer for Rhodamine WT på 50-70 mg/kg, mens Uranine er ca. 10-35 gange mindre i sprækkerne. Dataene viser betydelig spredning, som formodentlig afhænger af om prøverne er taget midt i sprækken eller lidt forskudt derfra. De vertikale frakturer er vurderet at være dannet ved fraktureringen. Det formodes, at de er dannet nedefra og op startende i en horisontal sprække under selve

fraktureringen. Den meget store forskel mellem koncentrationen af Rhodamine WT og Uranine indikerer, at der efterfølgende er sket nogen afdræning eller udvaskning af den vertikale sprække formodentlig til den horisontale sprække den er udsprunget fra. Sandsynligheden for at træffe vertikale sprækker i vertikale borer er meget begrænset. I 9 kerneboringer er her truffet vertikale sprækker i 2. På det grundlag anses det for sandsynligt, at der er dannet en hel del vertikale sprækker ved fraktureringen. Det er dog ikke muligt at bedømme afstanden mellem disse.

For områder med diffus grønlig fluorescens uden visuel indikation (rød/pink fluorescerende sprække) på sprækker i moræneler er foretaget en nærmere gennemgang af de analytiske data.

I nogle tilfælde, f.eks. KF6 ca. 4,3 m u.t., indikerer data en horisontal sprække, hvor forholdet mellem koncentrationerne af Rhodamine WT og Uranine blot er for lavt til at fluorescensen fra Rhodamine WT kan observeres visuelt (overdøves af Uranine fluorescensen). De visuelle sprækkeobservationer (Tabel 4) er i tabel 5 suppleret med indikationer på sprækker med begge tracere (peak Rhodamine WT koncentration større end 1/10 af Uranine koncentration) fra analysedataene. I 4 (-5) af de 9 kerneboringer er der indikation på 1-3 sprækker ud over de visuelt observerede.

Tabel 2.4: Sprækkeobservationer fra tabel 4 suppleret med indikationer på sprækker fra analysedata.

Observationer	Kerneboringer									
	Dybde [m u.t.]	KF4	KF5	KF6	KF7	KF8	KF9	KF10	KF11	KF12
2-3	-	-	sp: 1	-	-	RL	-	-	-	-
3-4	sp: 1+1	sp: 5	sp: 3	sp: 2	sp: 3	sp: 1	sp: 4	RL; sp: 1	-	-
4-5	-	-	sp: 2	GL	-	-	RL	-	-	sp: 1
5-6	sp: 1	GS	sp: 1	sp: 2	GS; sp: 1	-	sp: 1	sp: 1	-	-
6-7	GL	sp: 1	-	sp: 2	(sp: 1)	-	-	-	-	-
7-8	sp: 2	-	sp: 1	sp: 1	GL	-	-	-	-	-
8-9	GS; RL	-	-	-	GS; GL	-	-	-	-	-
9-10	GS; sp: 1	-	-	-	GL	-	-	-	-	-

Sp: 1 (sort tekst): antal horisontale sprækker med tracer indikeret ved peak-koncentration af Rhodamine WT større end 1/10 af Uranine-koncentration. Se i øvrigt forklaring under tabel 2.3.

I andre tilfælde, f.eks. KF7 ca. 4,4 m u.t. og KF8 ca. 9,3 m u.t., observeres en forholdsvis bred/flad peak af Uranine uden at Rhodamine WT optræder. Dette kan indikere en sprække, som ikke blev invaderet med tracer i denne afstand fra frakturerings-boringen under selve fraktureringen, men hvor Uranine siden er spredt

til ved strømning i sprækken. Alternativt kan det være Uranine spredt ved diffusion fra en vertikal sprække lidt uden for kernen.

### *3.2.3 Sammenligning af visuelle og kvantitative resultater for kerner*

- Der er god overensstemmelse mellem visuelle observationer og analyseresultater, men Rhodamine WT/Uranine forholdet i moræner skal være forholdsvis højt (min. 2) for at Rhodamine WT kan observeres visuelt.
- I hovedparten af de fluorescerende områder optræder begge tracere. Rhodamine WT optræder typisk i højest koncentration også i diffust grønne fluorescens områder bl.a. i morænesands-indslag. Dette skyldes større tilbageholdelse af Rhodamine WT ved sorption til moræner (på sprækkeflader og i matrix).
- I de områder, hvor Uranine koncentrationen overstiger Rhodamine WT koncentrationen kan det skyldes større spredning af Uranine ved diffusion i lermatrix eller transport af Uranine med strømning i sprækker til dele af sprækkerne, som tracerne ikke nåede ved selve fraktureringen.
- På basis af det detaljerede profil fra KF10 vurderes den visuelle detektionsgrænse ved UV-lys at være ca. 2 mg/kg for Uranine. Rhodamine WT ses kun i/på selve sprækken/sprækkefladen, hvor koncentrationen er ca. 20 mg/kg og ca. 4-5 gange højere end Uranine koncentrationen.

### *3.2.3 Sammenligning med resultater fra kerner udtaget i december 2005*

- For kernerne fra december 2005 observeredes omtrent udelukkende grønlig fluorescens i overensstemmelse med Rhodamine WT/Uranine koncentrationsforhold mindre end 2-3, hvor Uranine fluorescens overdøver Rhodamine WT fluorescens.
- Maksimalkoncentrationerne af Rhodamine WT og Uranine var i december 2005 på 50-160 mg/kg hhv. 30-100 mg/kg. Koncentrationsforholdet var på ca. 1,5 i/på sprækkerne og det samlede masseforhold var ca. 1. Koncentrationen af Rhodamine WT i kernerne fra april 2006 er sammenlignelige med data fra december 2005. Det viser, at Rhodamine WT tilbageholdes kraftigt ved

sorption til leren. I modsætning hertil er maksimal-koncentrationerne af Uranine aftaget meget, som følge af matrixdiffusion i moræneleren samt i dele af aflejringen ved udvaskning med gennemstrømmende vand i sprækkerne (primært over redoxfronten).

- Den visuelle detektionsgrænse for uranine under UV-lys blev på basis af resultaterne fra december 2005 bedømt beliggende mellem 1 og 10 mg/kg. De nye resultater er i overensstemmelse hermed.

#### **4.0 Konklusion**

Ud fra de udtagne kerner konkluderes, at;

- Spredning af fluorescerende tracere er overvejende sket i eksisterende, horisontale, hydraulisk aktive sprækker i zonen omkring redoxgrænsen, 3-4 m u.t.
- I enkelte kerner observeres tracer i intervallet 2-3 m u.t.
- Dybere end 5 m u.t. træffes i ca. 2/3 af borerne enkeltstående horisontale sprækker med tracer. Disse træffes typisk ca. 2 m under redoxgrænsen og i enkelte tilfælde også 1-2 m dybere. Også her er der sandsynligvis tale om eksisterende hydraulisk aktive sprækker.
- I 3 borer er set betydelige indslag af morænesand med fluorescens. Koncentrationsniveauet af tracerne er her fortyndet sammenholdt med koncentrationsniveauet i sprækkerne.
- I 2 borer træffes vertikale sprækker med fluorescens. Disse sprækker vurderes at være induceret ved fraktureringen.
- Enkelte områder med grønlig fluorescens uden tegn på sprækker i form af pink/rød fluorescens (eller i betydelig afstand fra disse) er observeret i leren. I nogle tilfælde indikerer analyserne tilstedeværelse af enkeltstående sprækker, men dette er ikke generelt. Der kan være tale om spredning af Uranine ved diffusion i lermatrix (fra vertikale sprækker) eller spredning af Uranine med strømning i horisontale sprækker efter fraktureringen.
- Der er ingen tegn i de supplerende kerner (KF4-KF12) på noget mere finmasket net af inducerede sprækker i moræneleren.

#### **5.0 Referencer**

- /1/ Riis, C., Christensen, A.G., Bjerg, P., Christensen, S.B., Broholm, M.M. og Scheutz, C. Københavns Amt. Pneumatisk frakturering. Dokumentation af pilotforsøg, Vadsbyvej 16A, Hedehusene, maj 2006.
- /2/ Christensen, C., og Wood, J.S.A. Environmental fracturing in clay till deposits. M.Sc. project ved Institut for Miljø og Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet.













---

**Bilag 3**  
**Optegninger af geologi og visuel observation af  
fluorescens under UV-lys i kerner samt fotos af kerner**

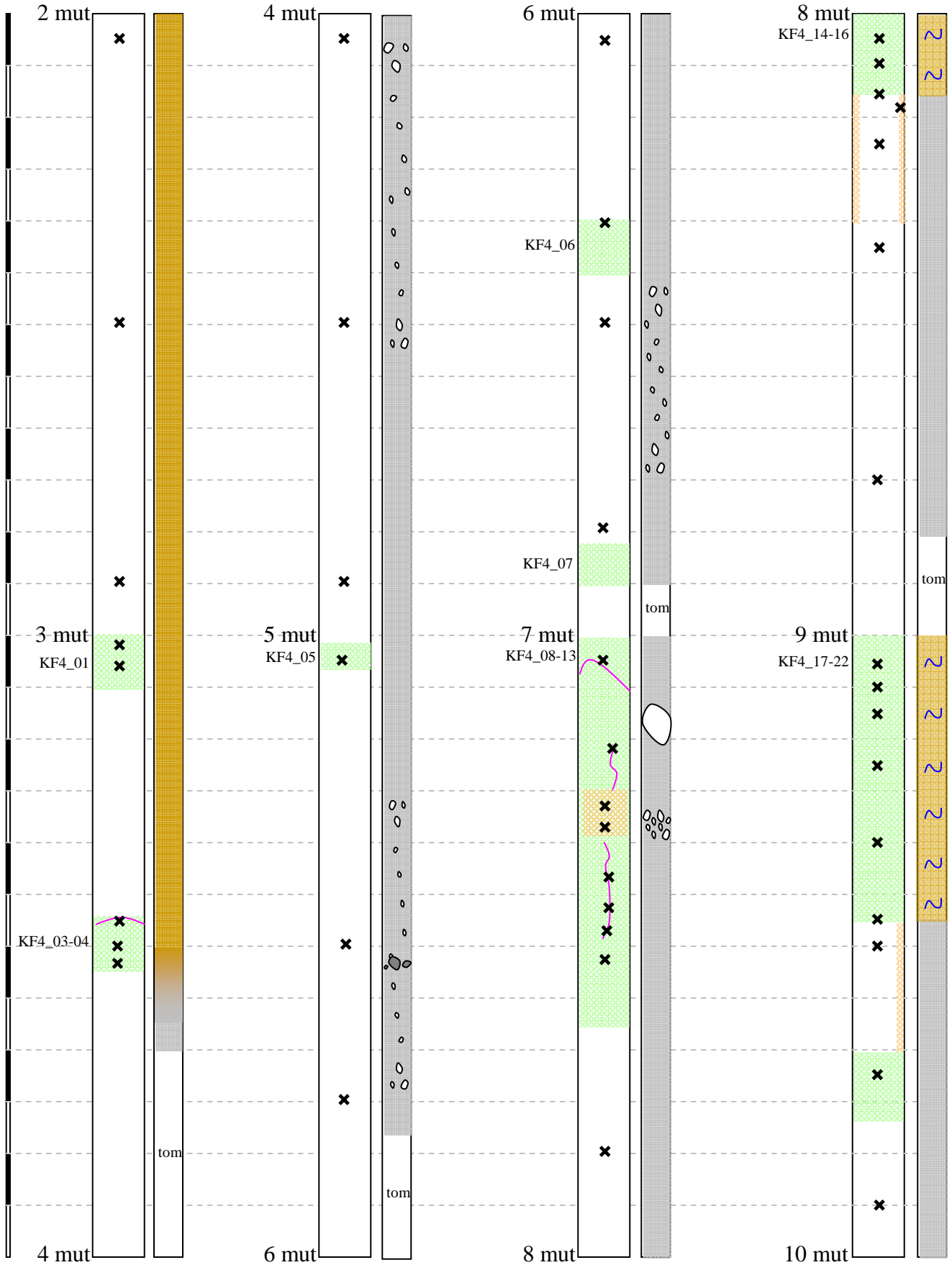
---

Signaturforklaring:

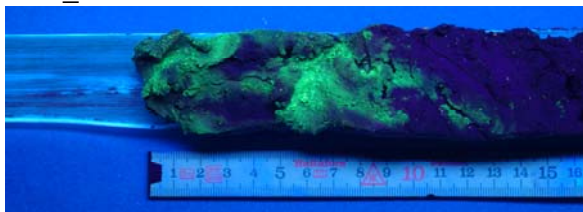
✕	Prøve
	Diffust fluorescerende område (grønligt)
	Sprække (rød/pink)
	Sten (sort – flint; hvid – kalk)
	Oxideret ler
	Reduceret ler
	Naturlig sprække m. okkerudfældninger
	Vådt område
	Morænesand
	Redoxgrænse
	Diffust fluorescerende område (orange)

KF4

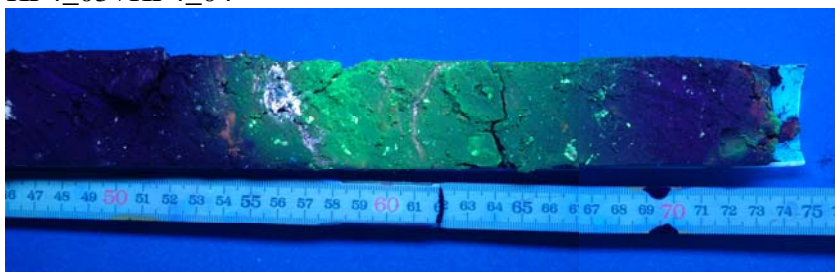
1,20 m kerne = 1 m "undergrund"



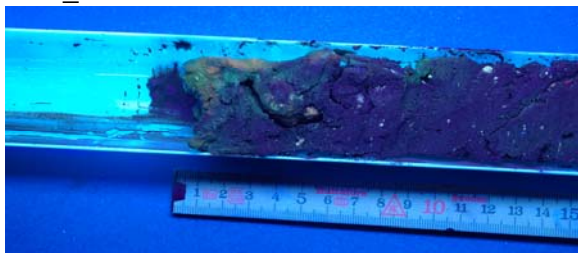
KF4\_01



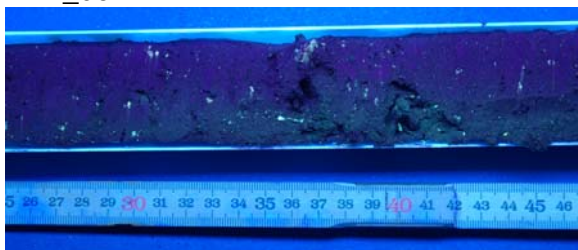
KF4\_03+KF4\_04



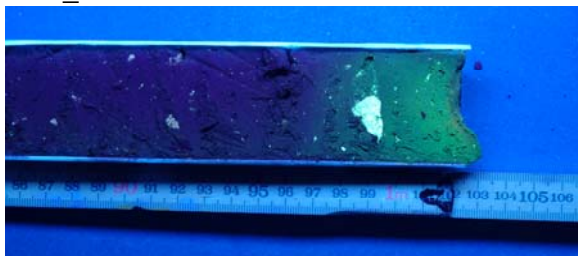
KF4\_05



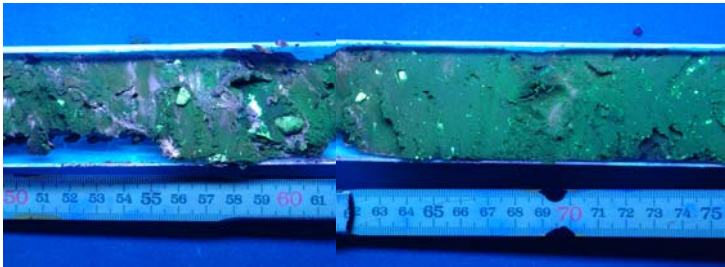
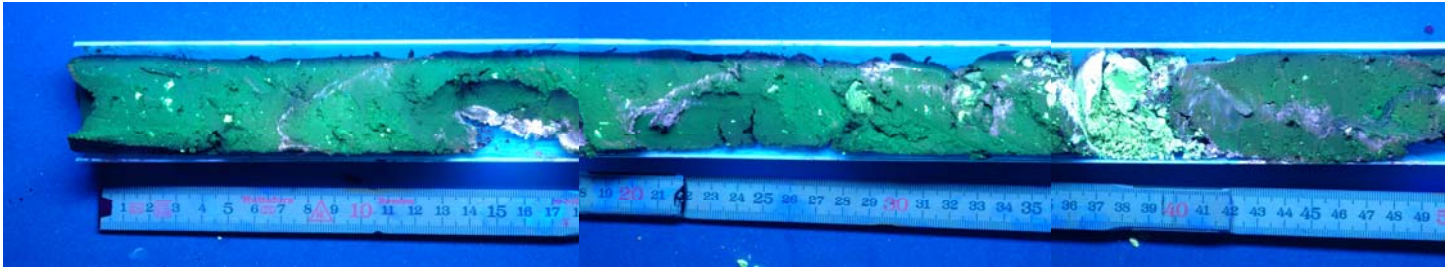
KF4\_06



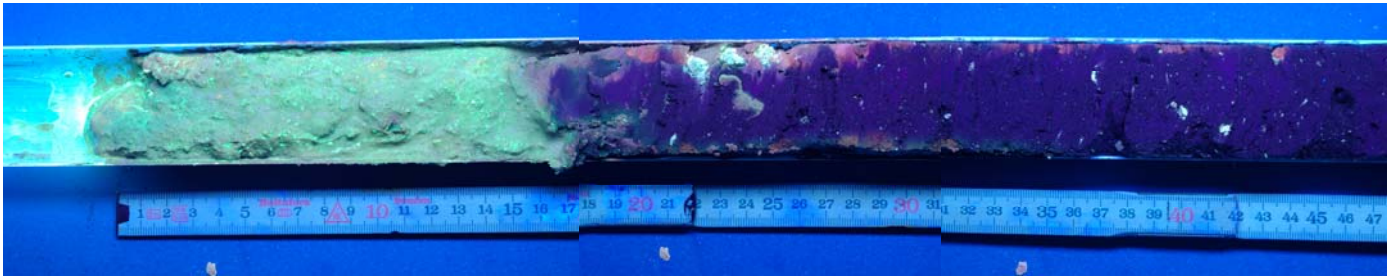
KF4\_07



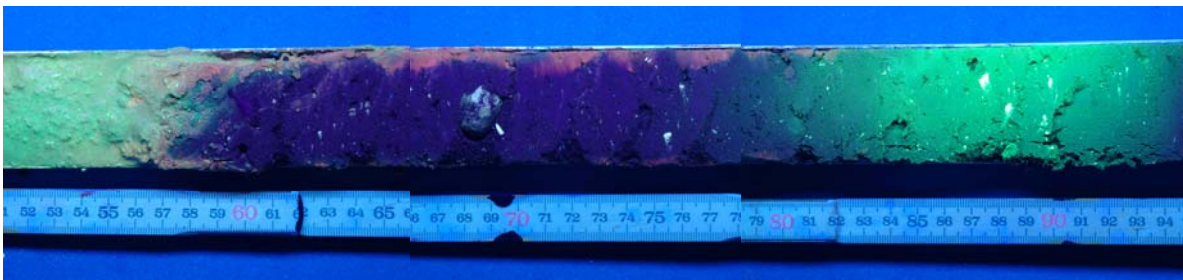
KF4\_08+KF4\_10+KF4\_11+KF4\_12+KF4\_13



KF4\_14+KF4\_15+KF4\_16

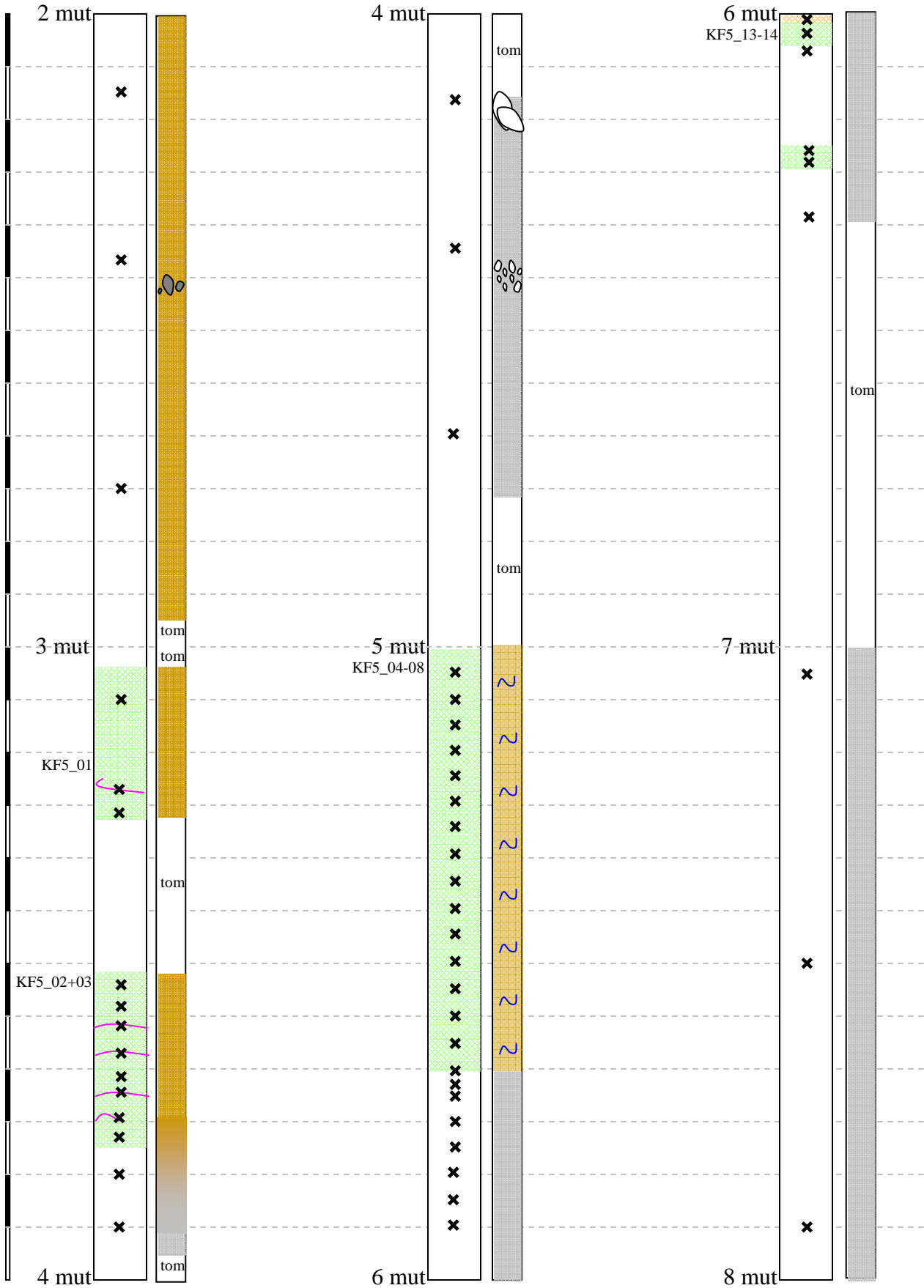


KF4\_17+KF4\_18+KF4\_19+KF4\_20+KF4\_21+KF4\_22

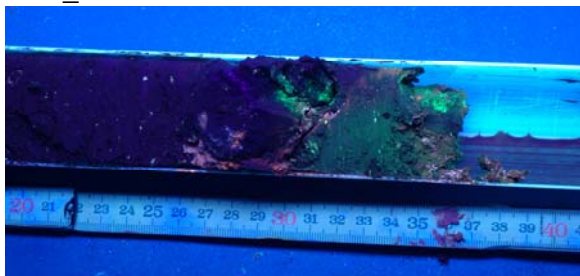


KF5

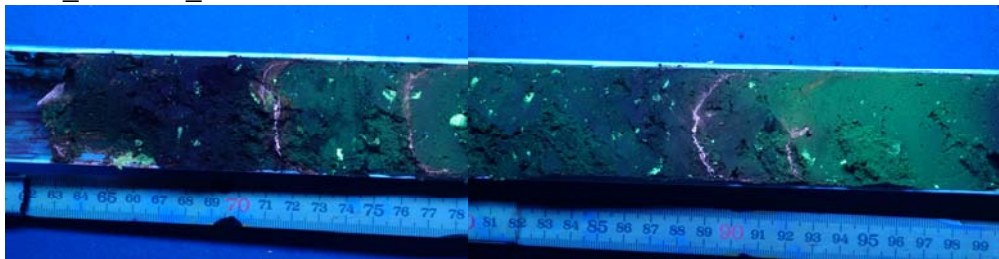
1,20 m kerne = 1 m "undergrund"



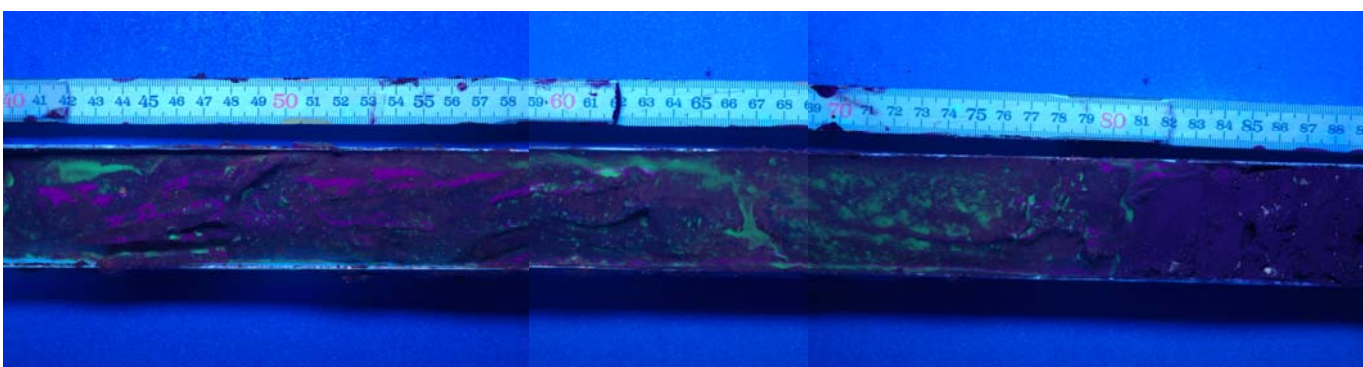
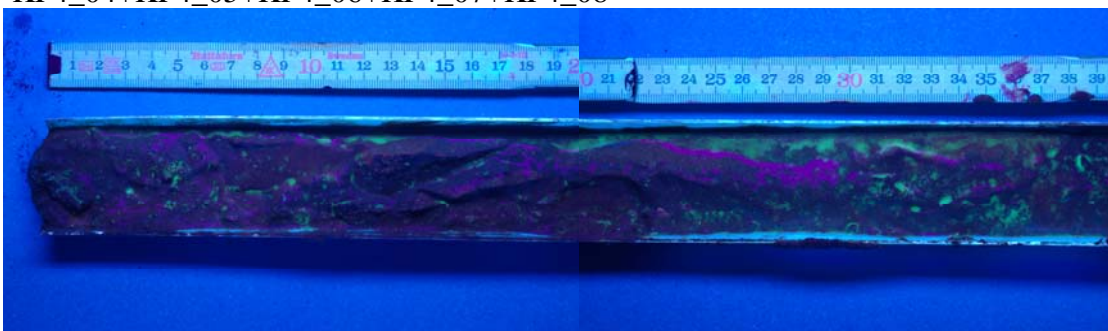
KF5\_01



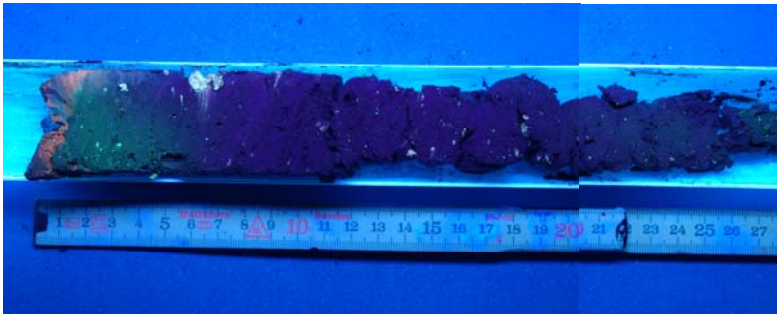
KF5\_02+KF5\_03



KF4\_04+KF4\_05+KF4\_06+KF4\_07+KF4\_08



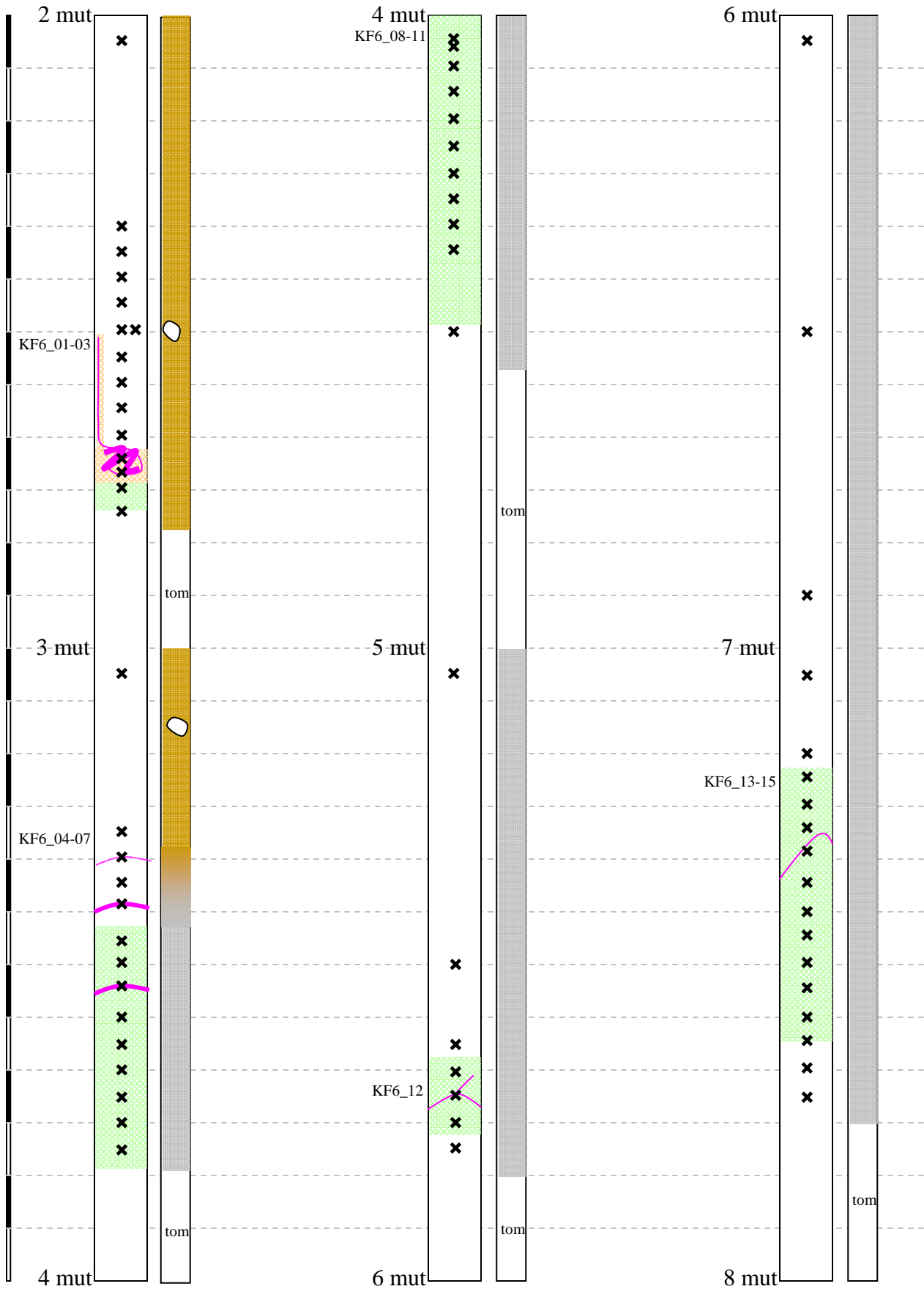
KF5\_13+KF5\_14



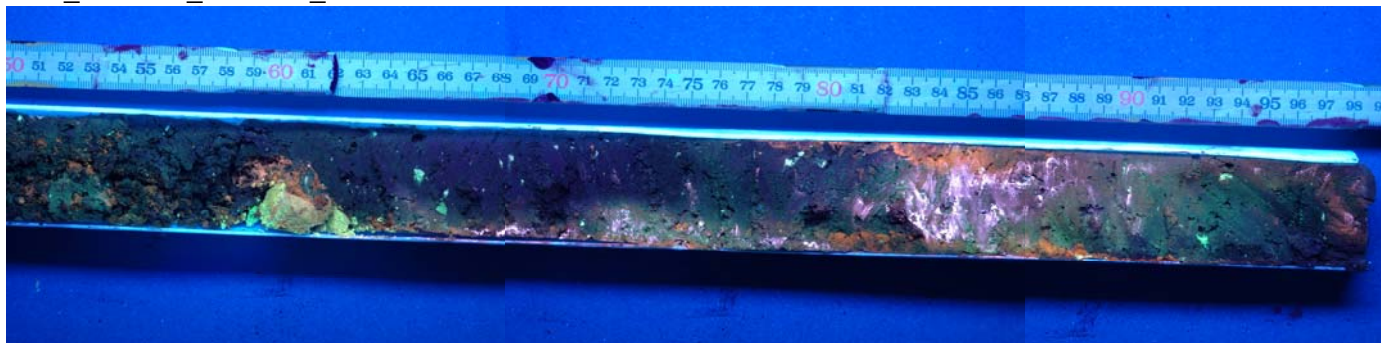


KF6

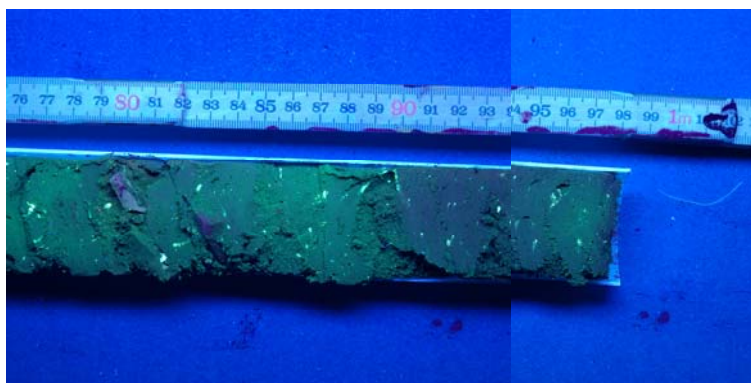
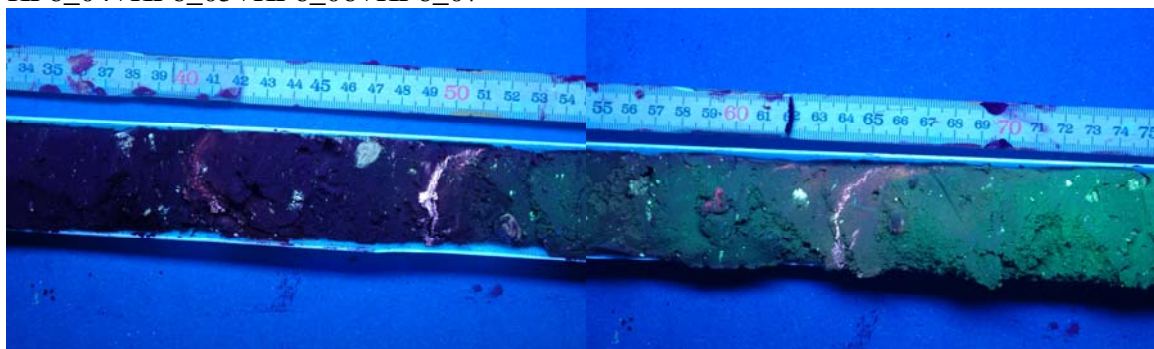
1,20 m kerne = 1 m "undergrund"



KF6\_01+KF6\_02+KF6\_03

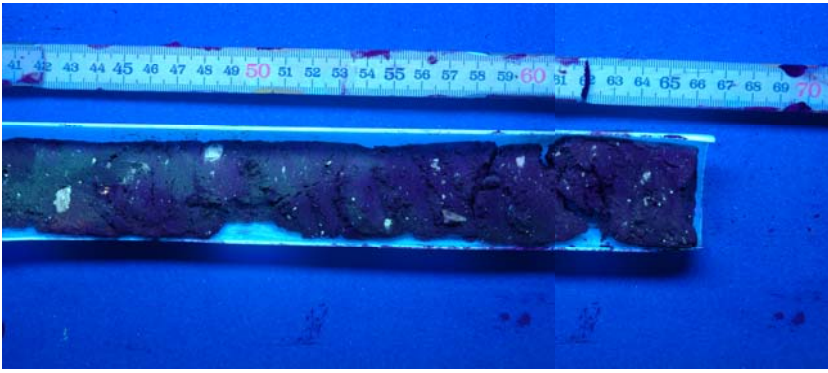


KF6\_04+KF6\_05+KF6\_06+KF6\_07

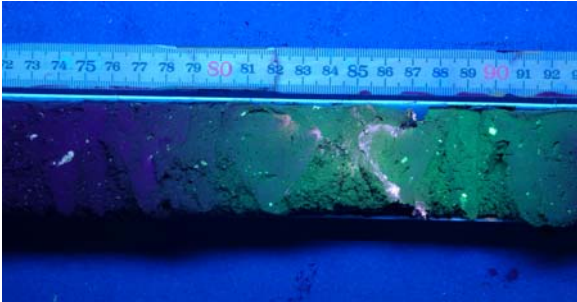


KF6\_08+KF6\_09+KF6\_10+KF6\_11

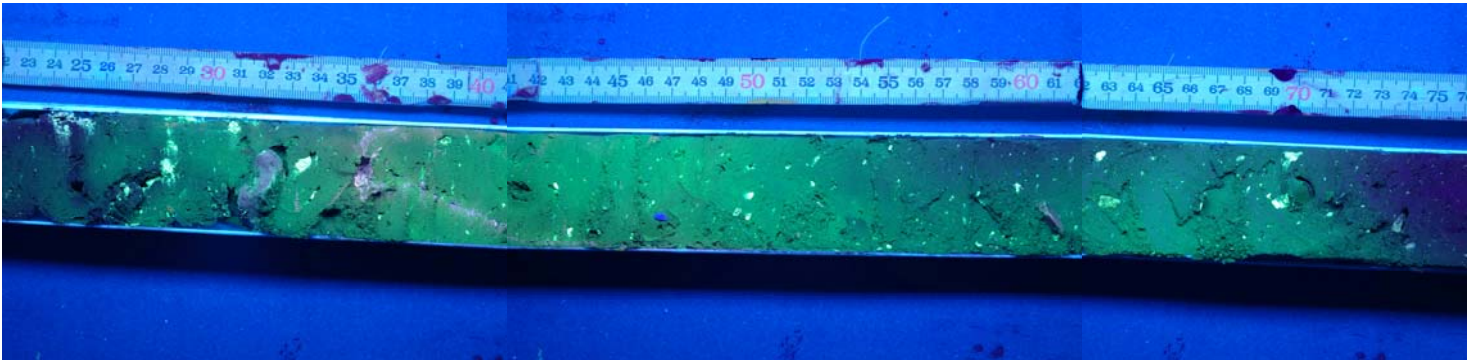




KF6\_12

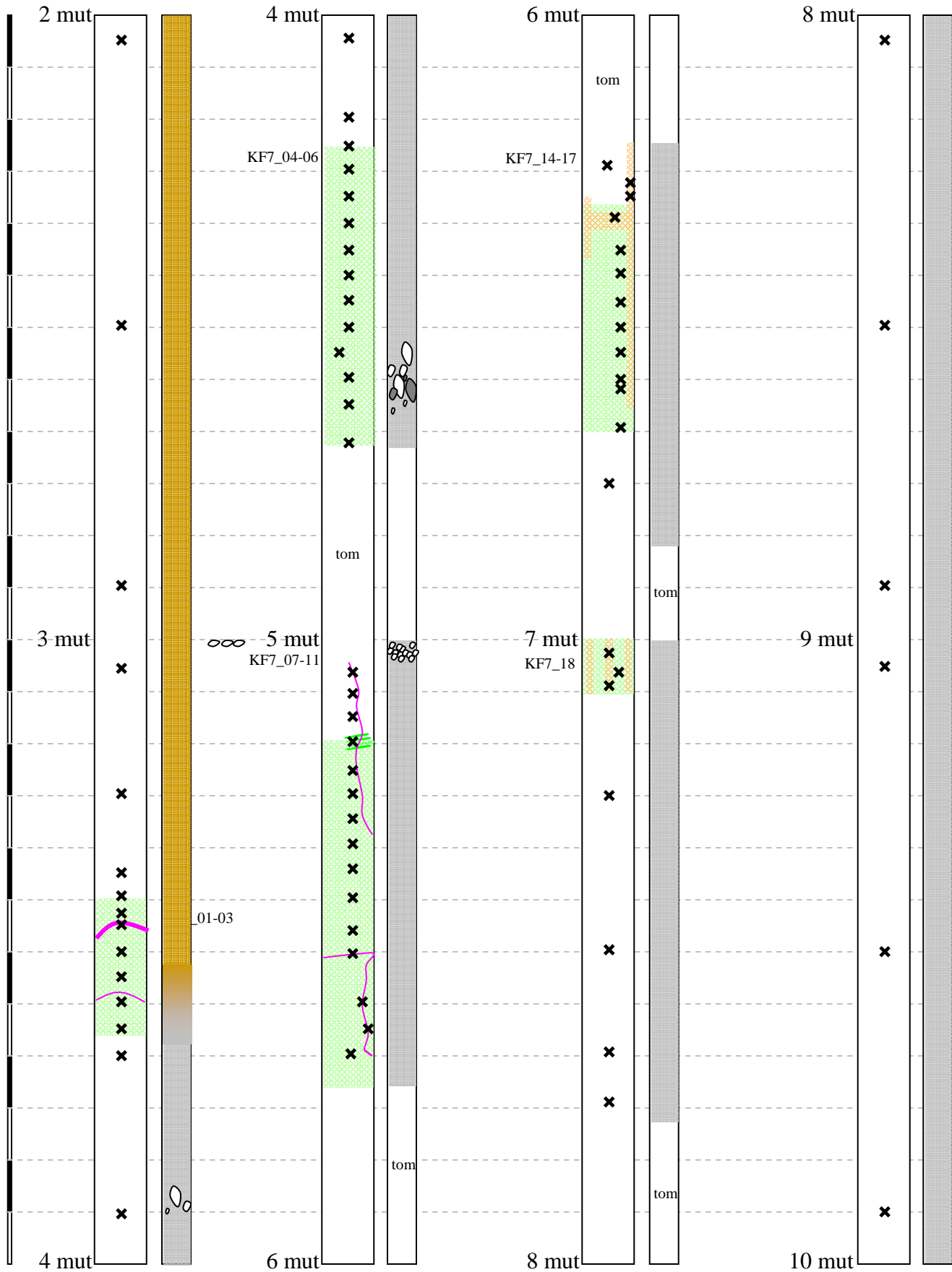


KF6\_13+KF6\_14+KF6\_15

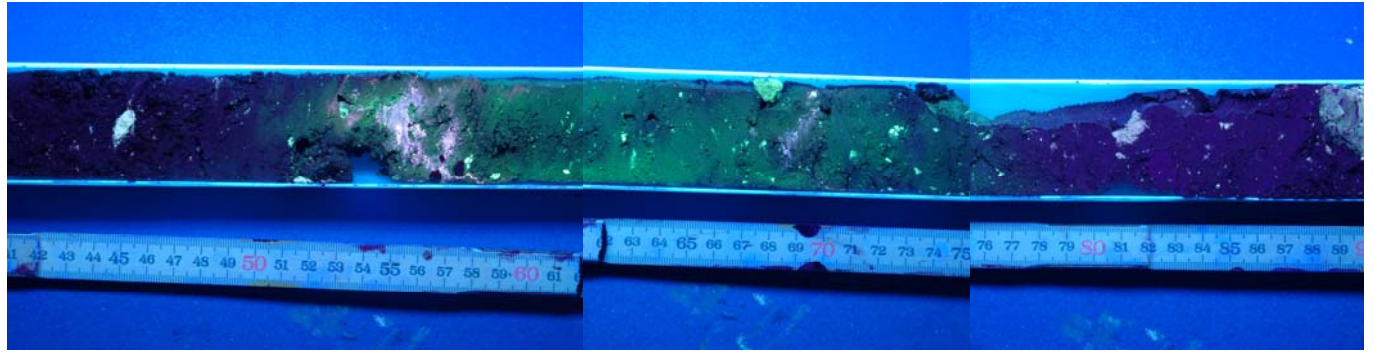


KF7

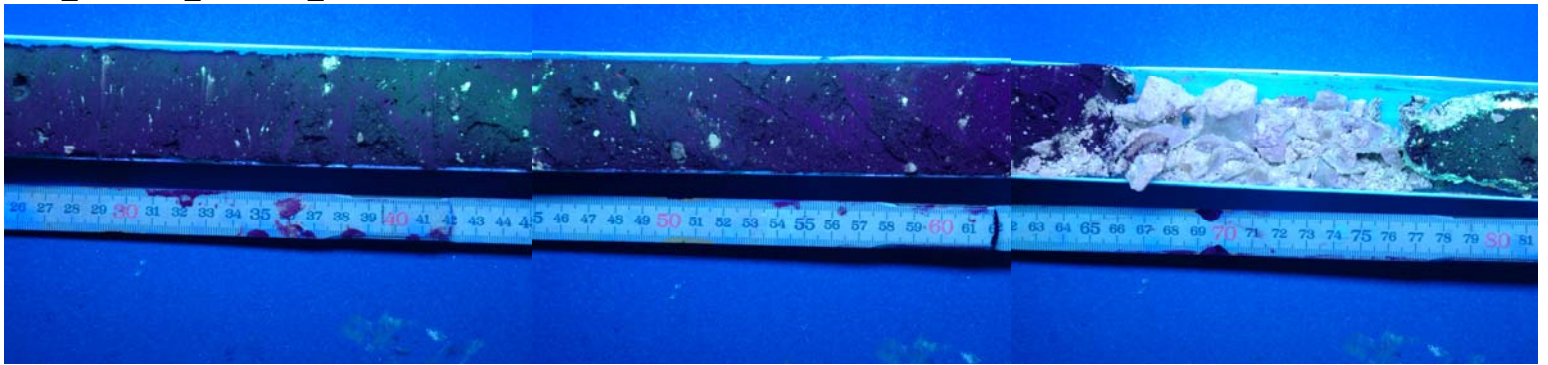
1,20 m kerne = 1 m "undergrund"



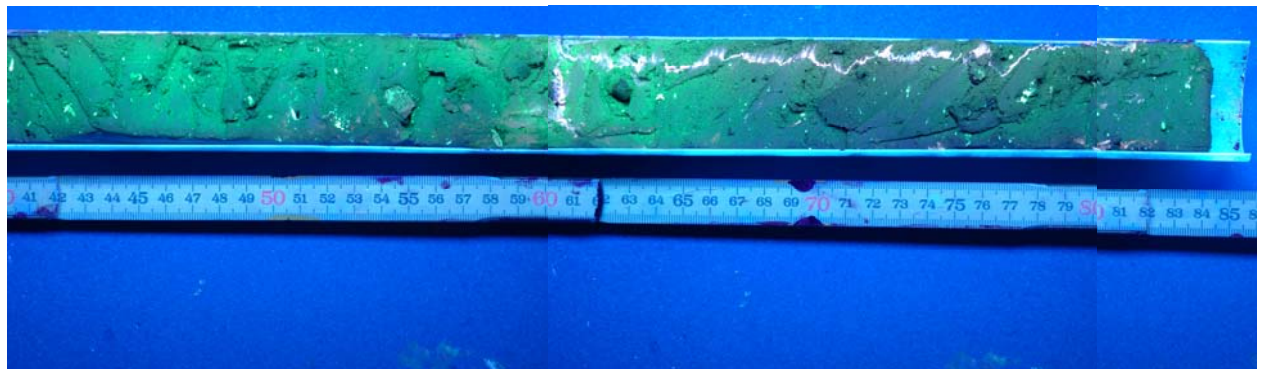
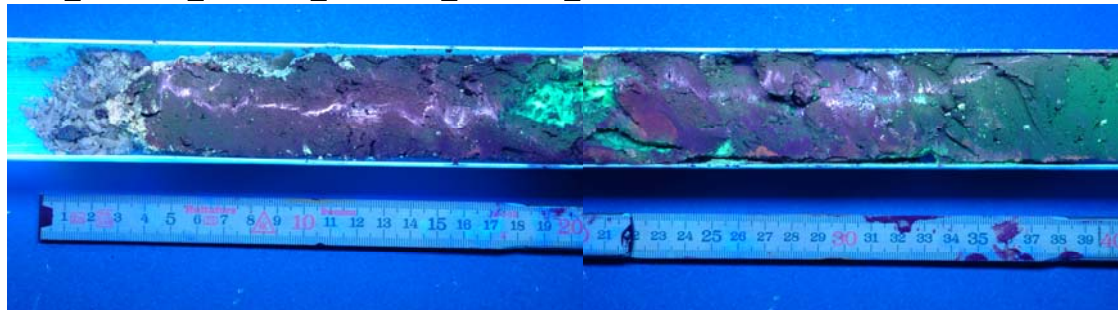
KF7\_01+KF7\_02+KF7\_03



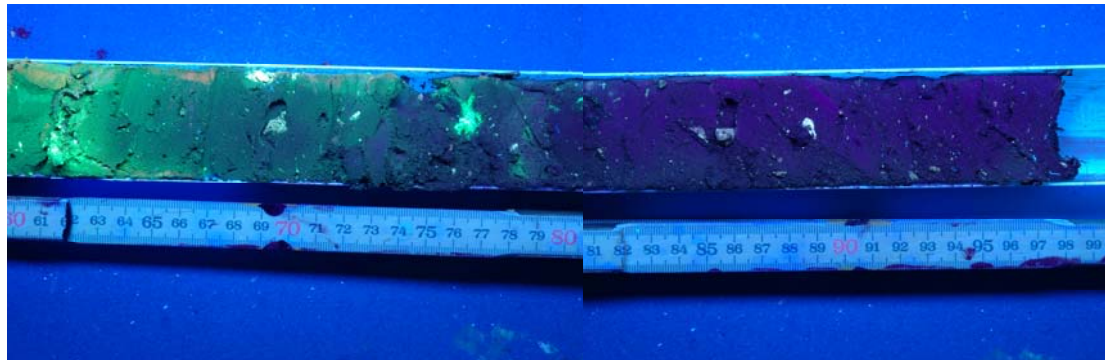
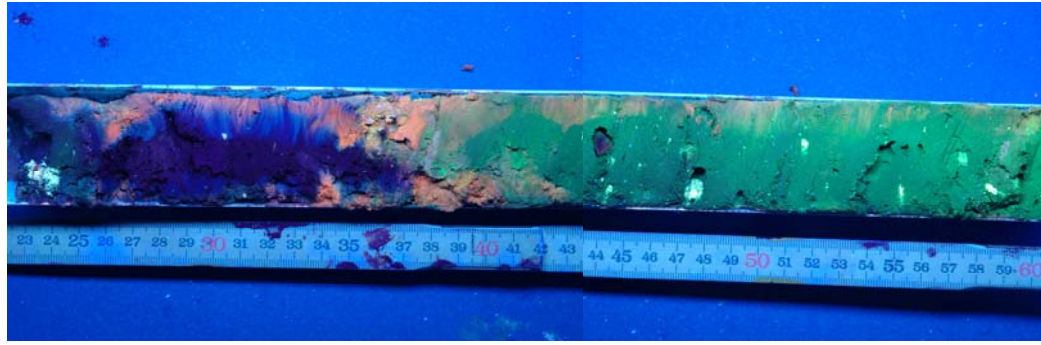
KF7\_04+KF7\_05+KF7\_06



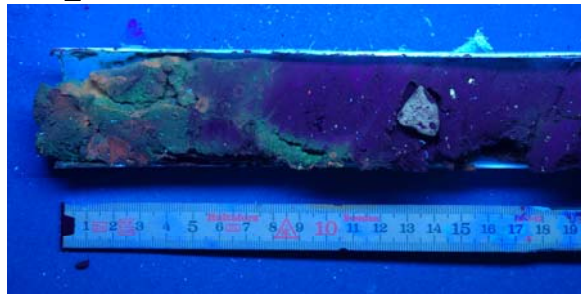
KF7\_07+KF7\_08+KF7\_09+ KF7\_10+KF7\_11



KF7\_14+KF7\_15+KF7\_16+ KF7\_17

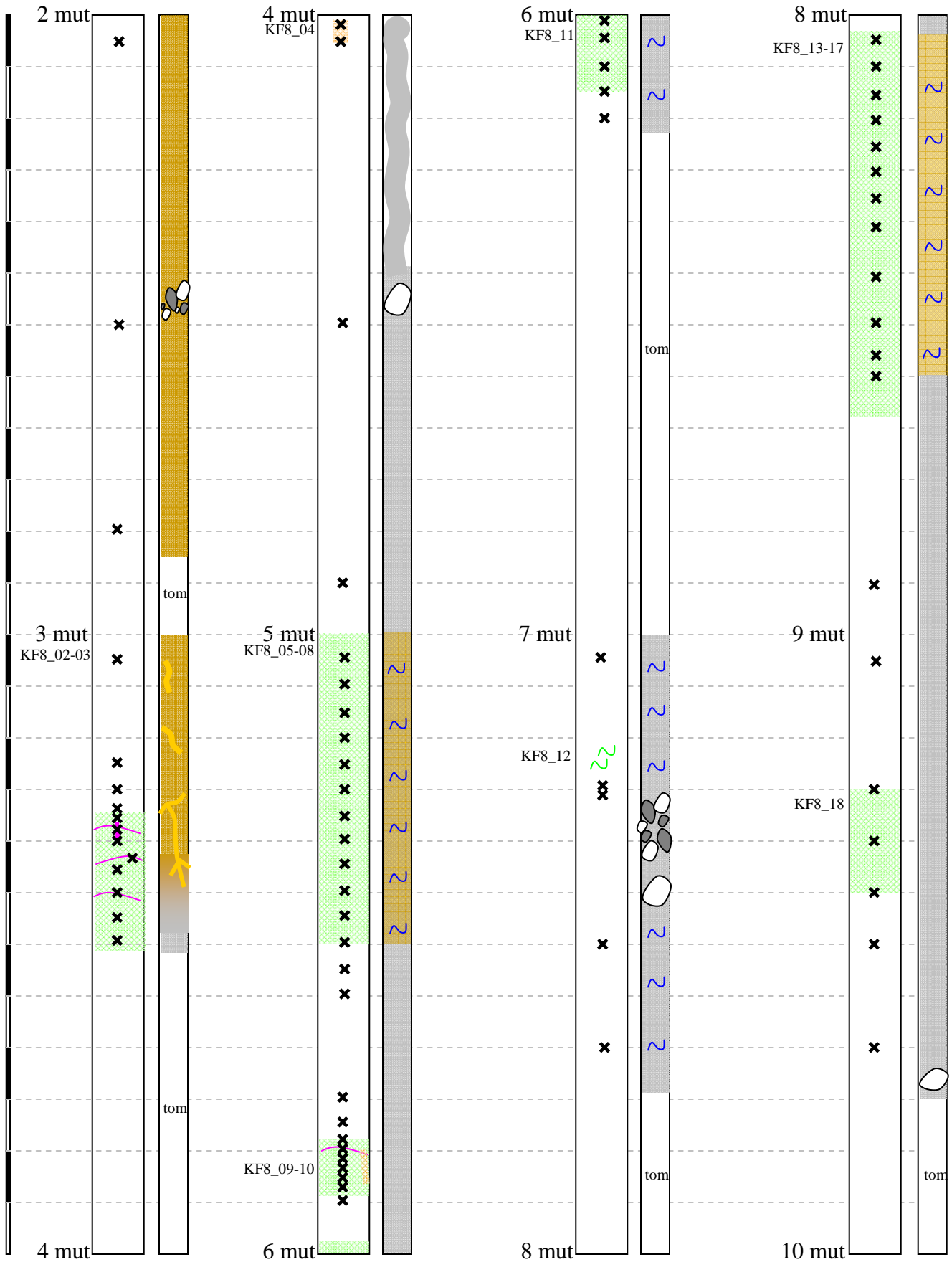


KF7\_18

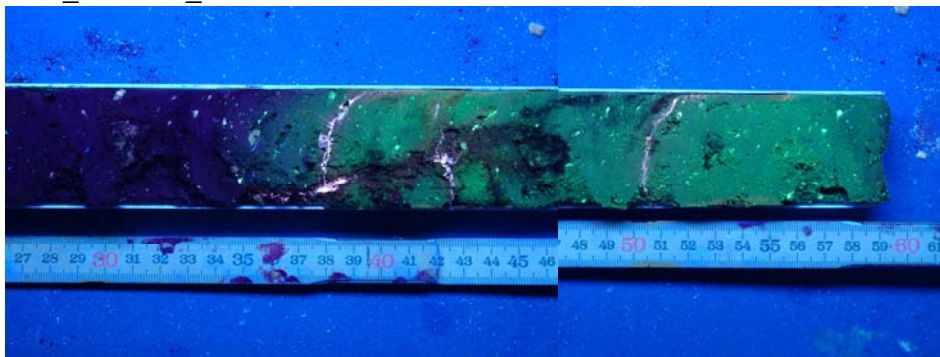


KF8

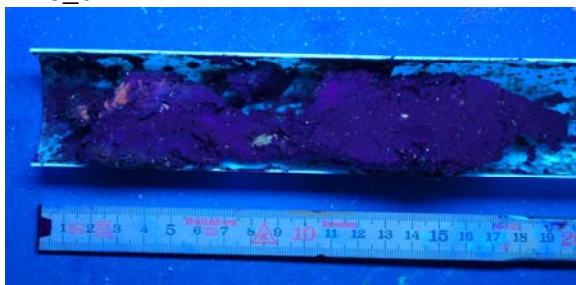
1,20 m kerne = 1 m "undergrund"



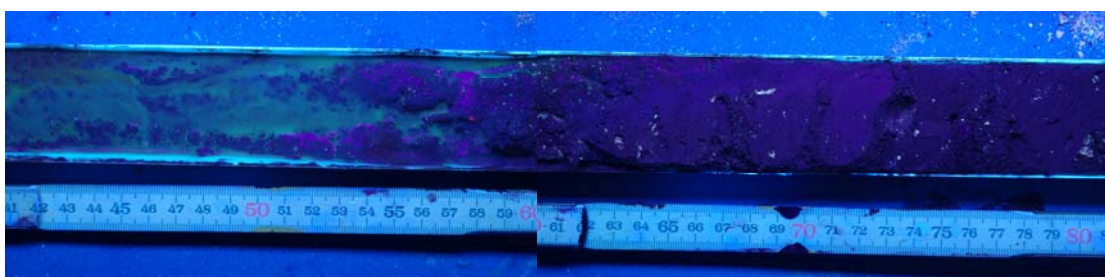
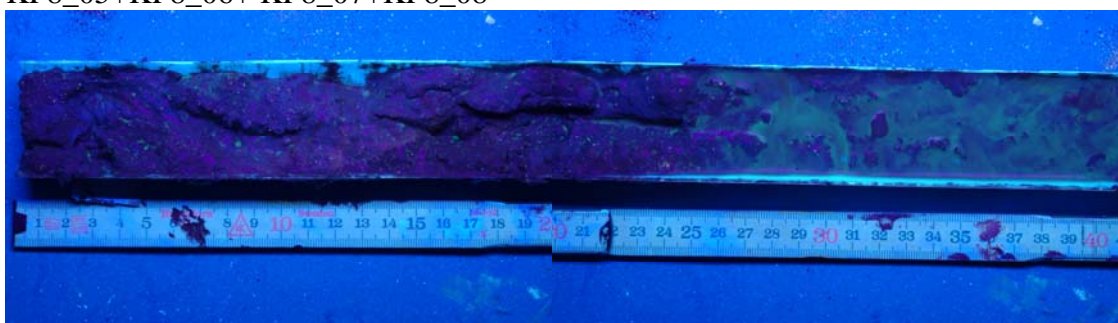
KF8\_02+KF8\_03



KF8\_04

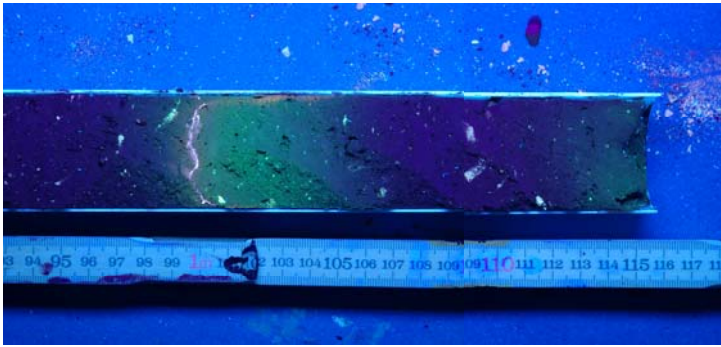


KF8\_05+KF8\_06+ KF8\_07+KF8\_08

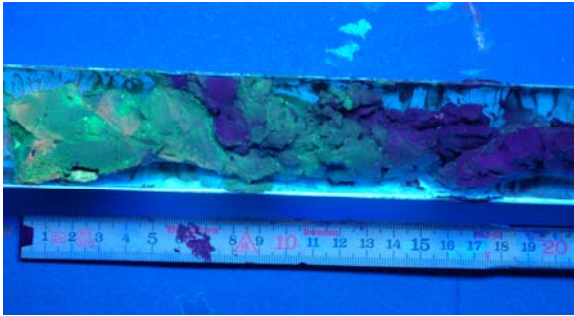


KF8\_09+KF8\_10

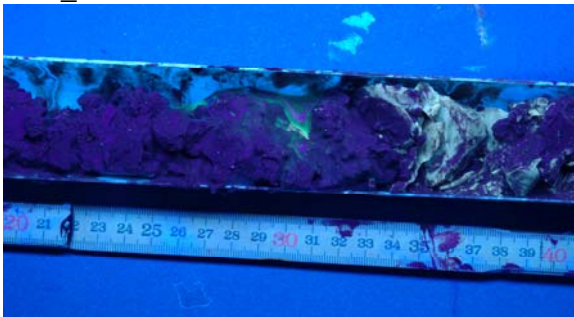




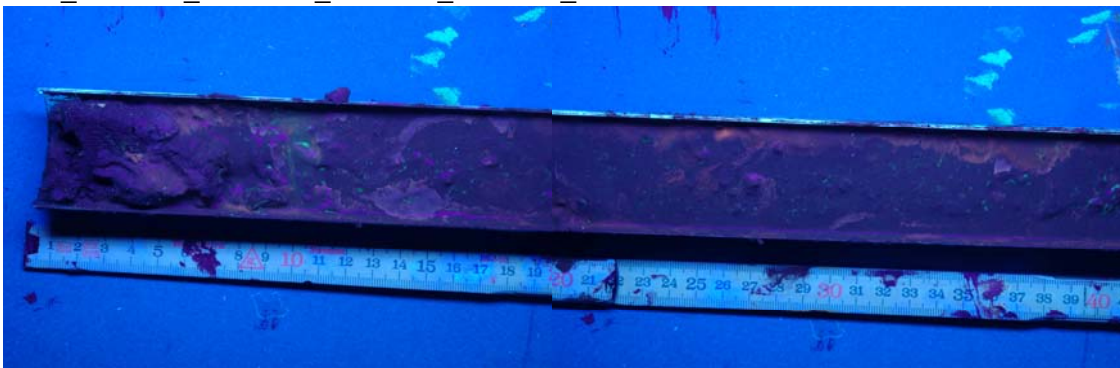
KF8\_11

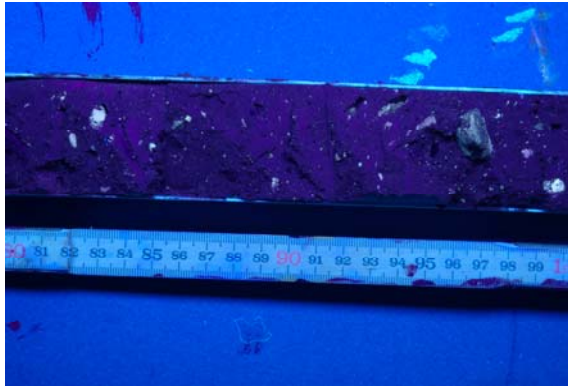
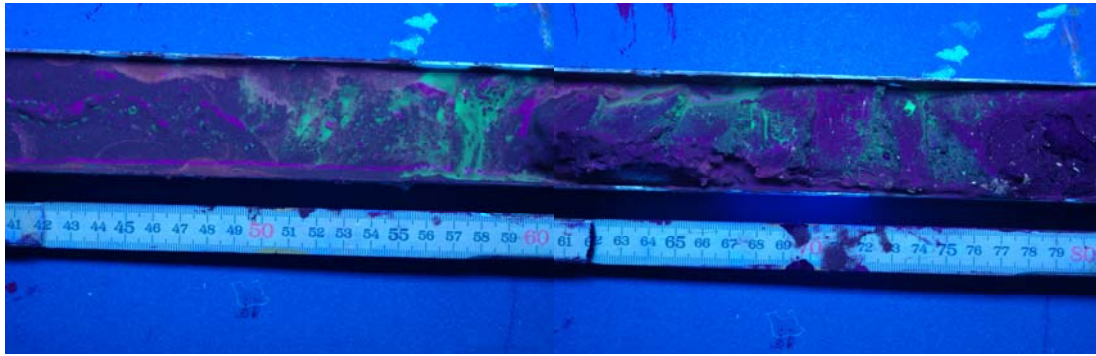


KF8\_12



KF8\_13+KF8\_14+ KF8\_15+KF8\_16+KF8\_17



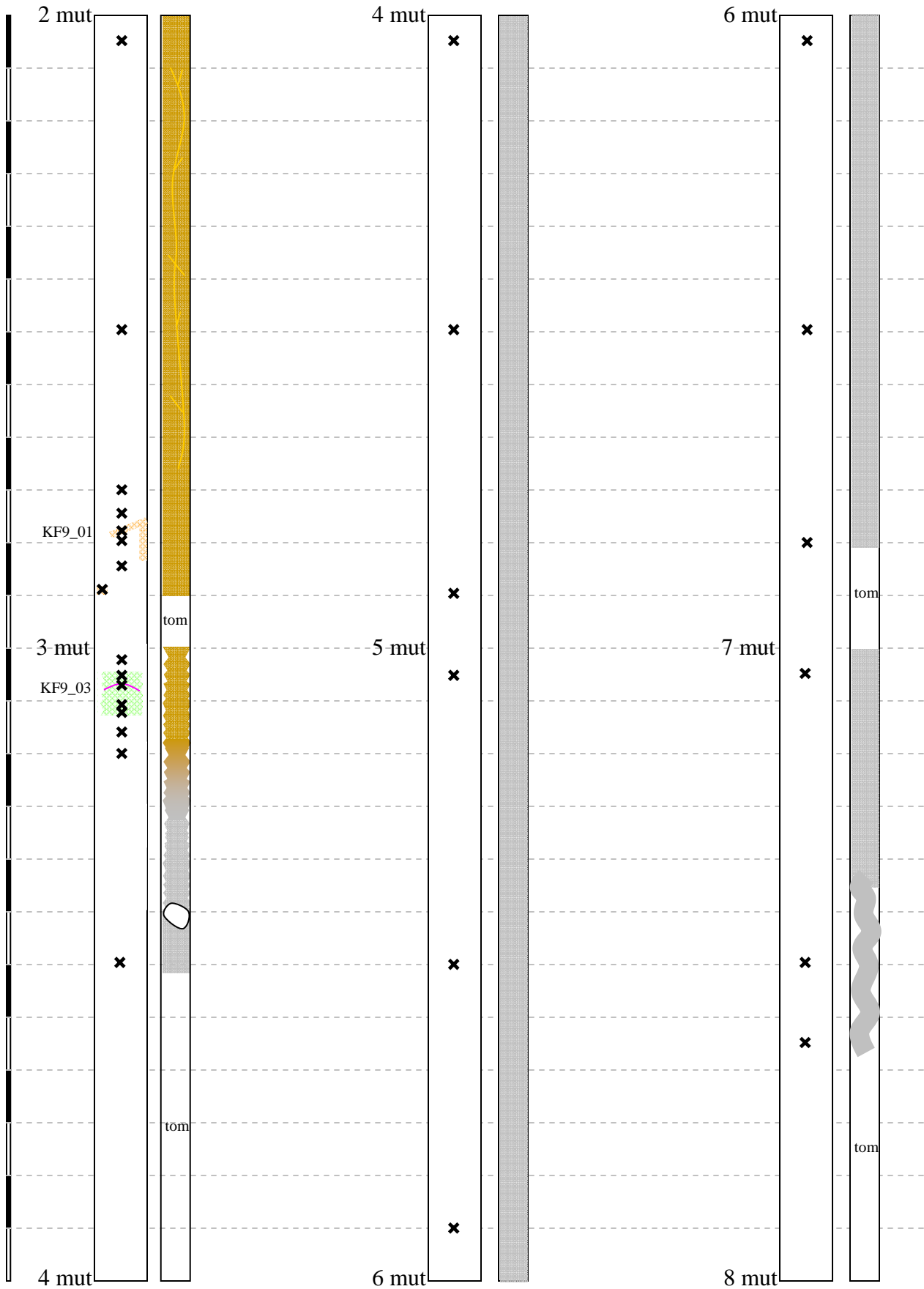


KF8\_18



KF9

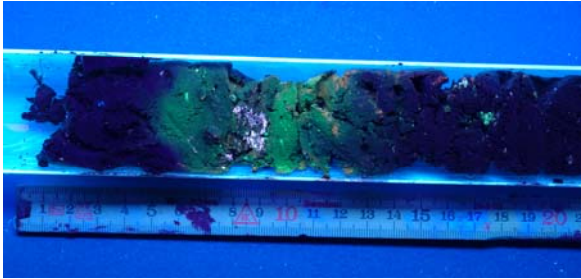
1,20 m kerne = 1 m "undergrund"



KF9\_01

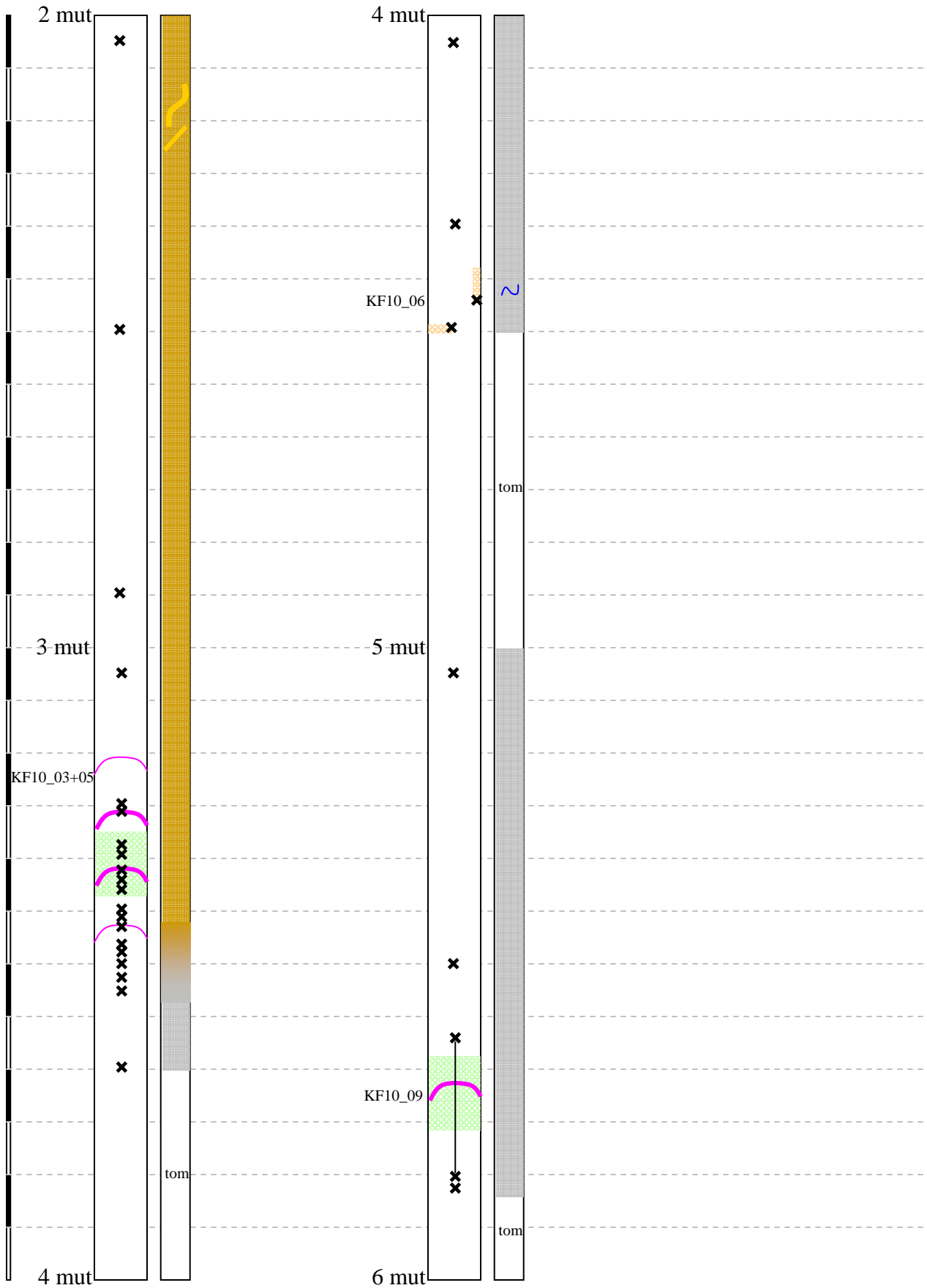


KF9\_03

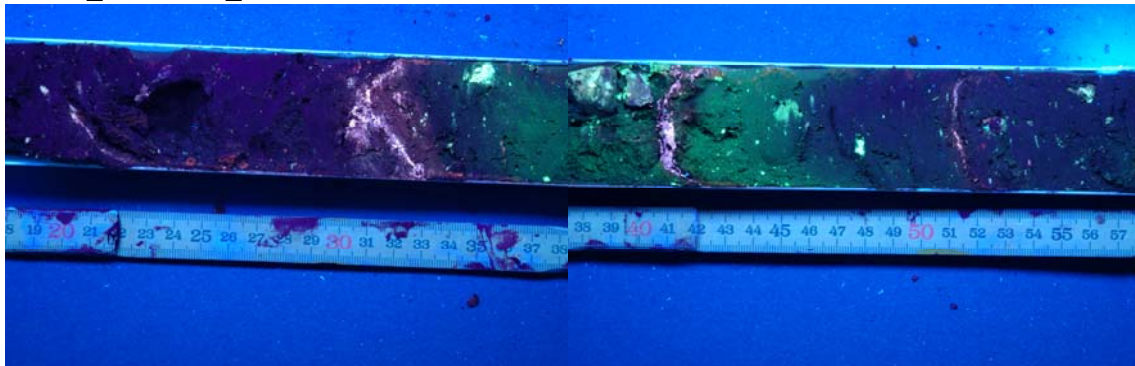


KF10

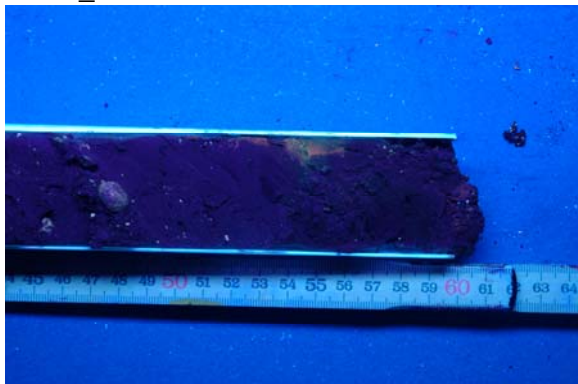
1,20 m kerne = 1 m "undergrund"



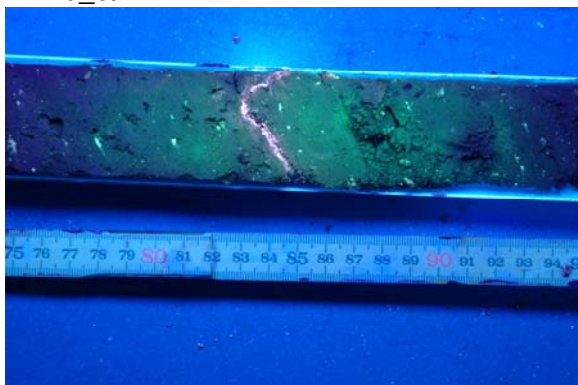
KF10\_03+KF10\_05



KF10\_06

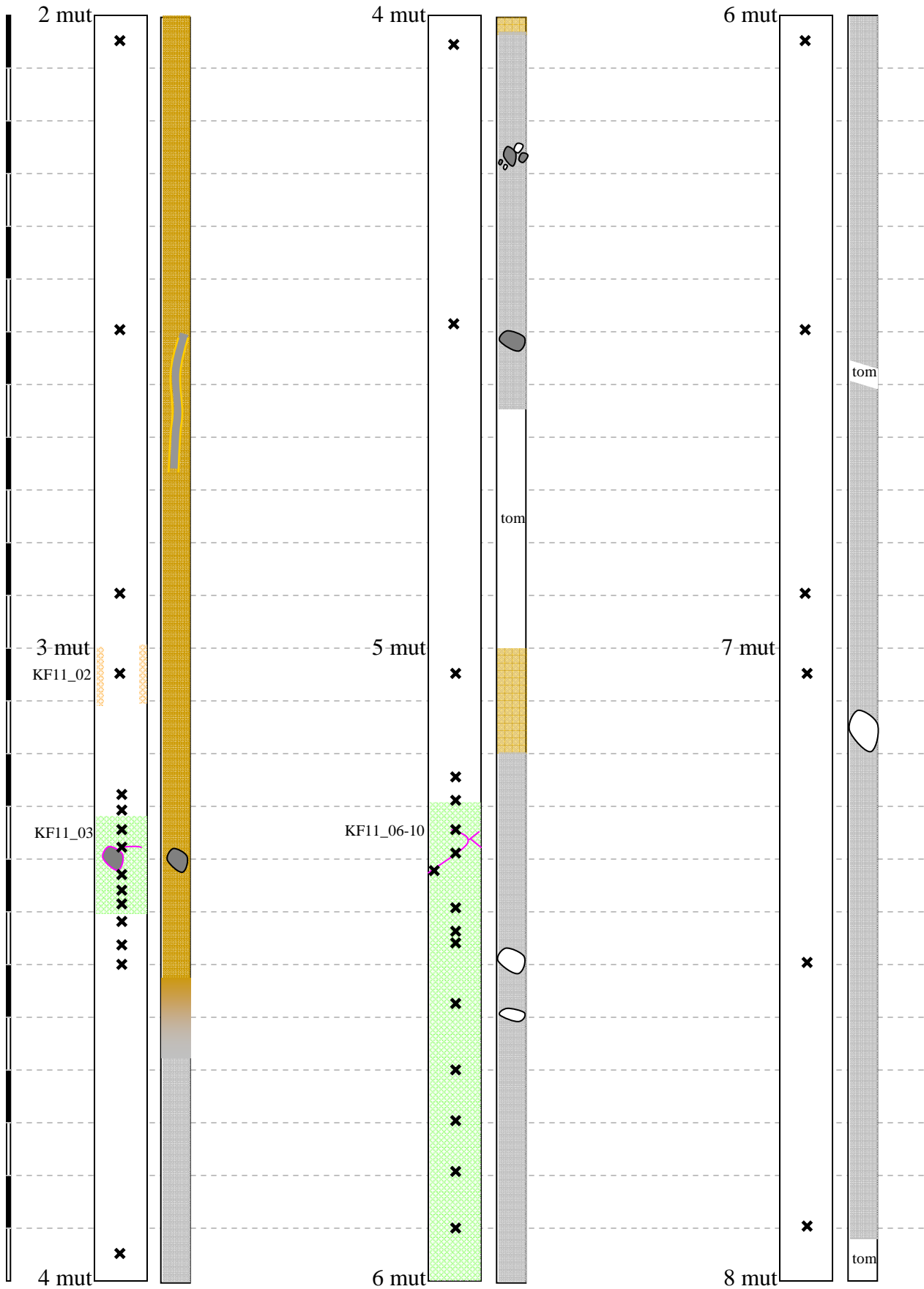


KF10\_09

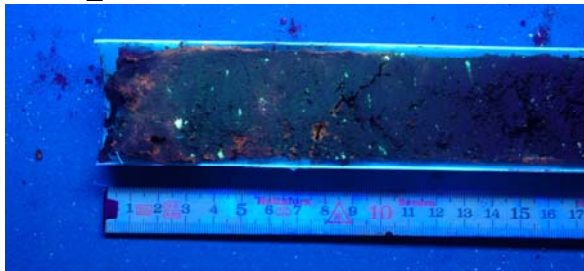


KF11

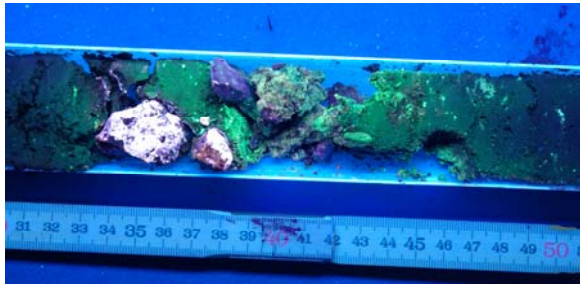
1,20 m kerne = 1 m "undergrund"



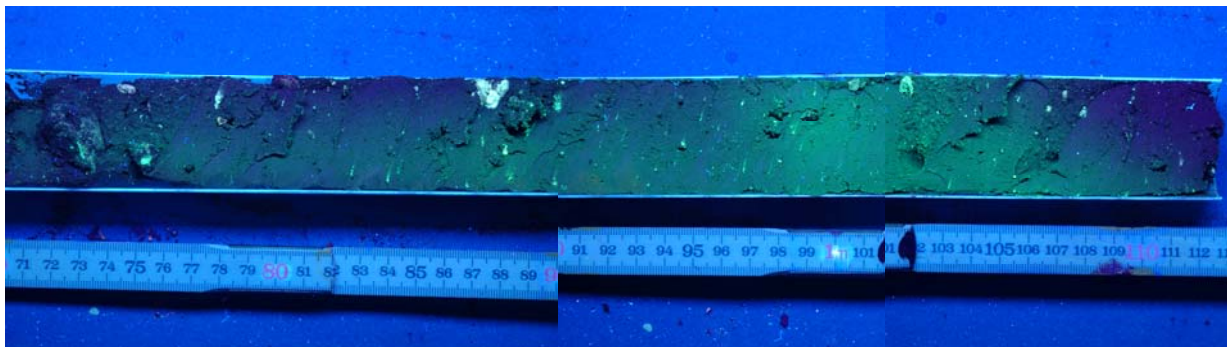
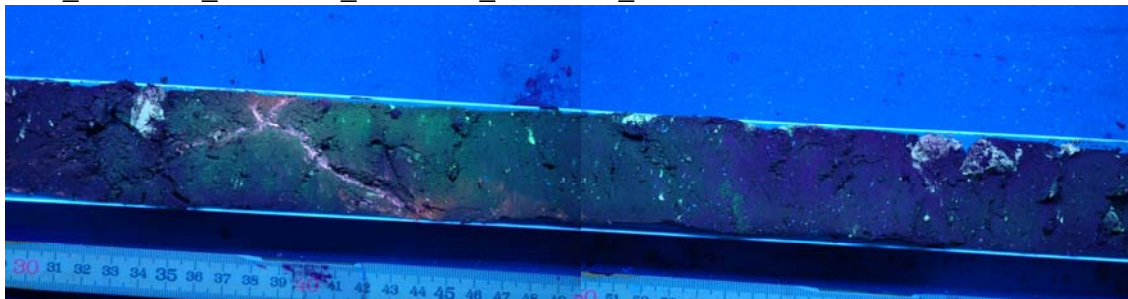
KF11\_02



KF11\_03



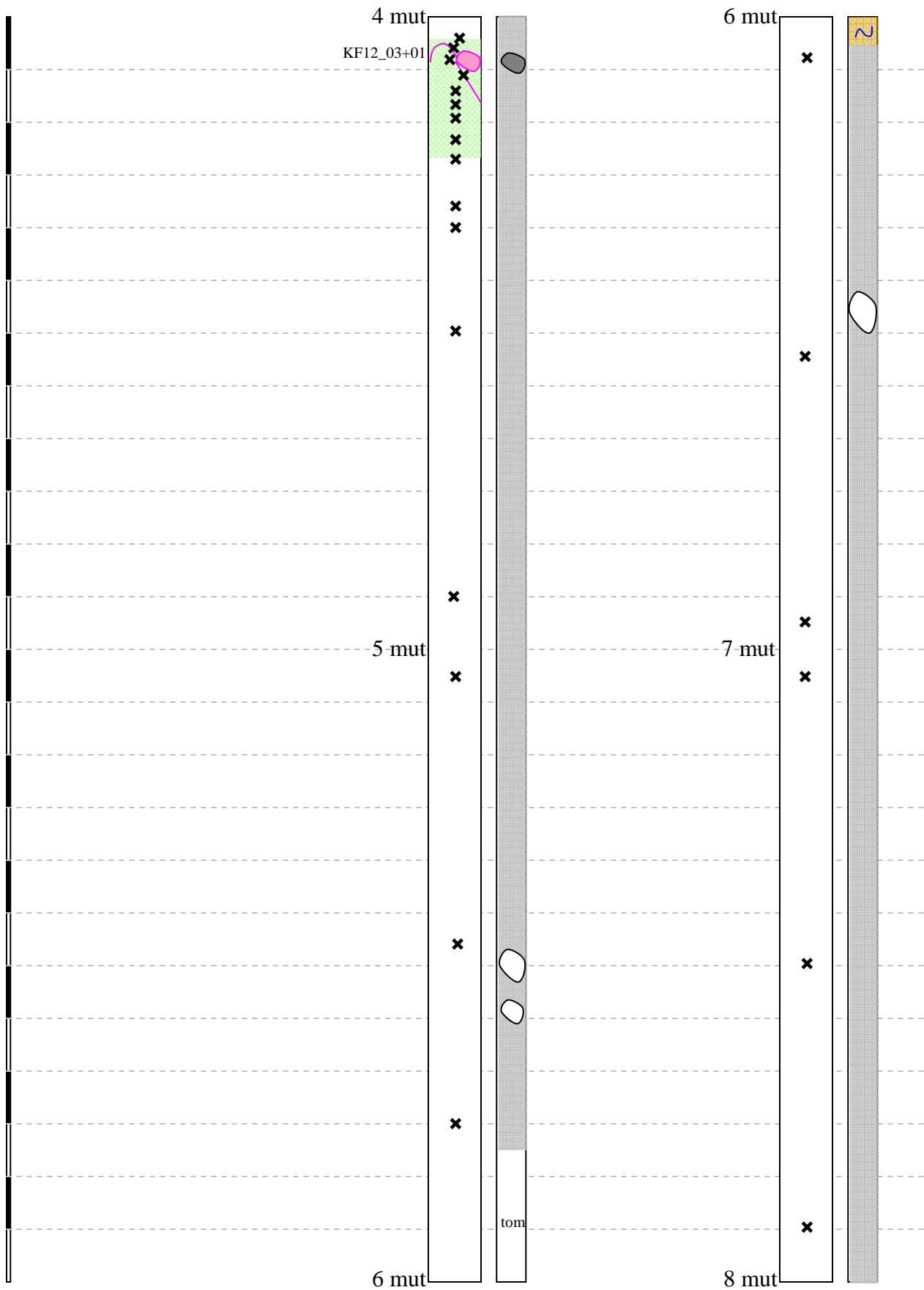
KF1\_06+KF11\_07+KF11\_08+KF11\_09+KF11\_10



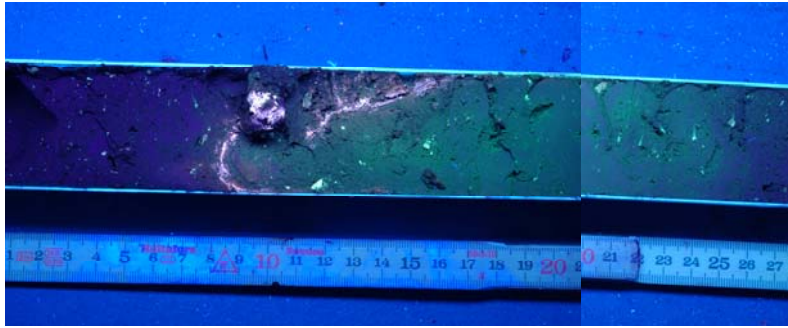


KF12

1,20 m kerne = 1 m "underground"



KF12\_03+KF12\_01



---

**Bilag 4**  
**Analyseresultater for jordprøver**

---

St = stik (ingen synlig fluorescens)

F = fluorescens

G = grønlig = Uranine

R = rødlig = RWT

Sp = sprække

Jordkonc. [mg/kg]		Prøve info					
Uranine	RWT	obs.	Kerne	top dybde	cm fra top	m u.t.	1,2 m kerne = 1 m undergrund
0,01	0,05	st	KF4	2,00	6	2,05	
0,01	0,03	st	KF4	2,00	60	2,50	
0,03	0,06	st	KF4	2,00	110	2,92	
6,01	2,59	gf	KF4	3,00	2	3,02	*1ste analyse blev ikke gemt, 2en analyse foretaget 24 timer senere
9,85	4,34	gf	KF4	3,00	6	3,05	
7,13	122,11	sp grf	KF4	3,00	57	3,48	
13,54	12,65	gf	KF4	3,00	60	3,50	
10,67	26,06	gf	KF4	3,00	63	3,53	
0,03	0,11	st	KF4	4,00	60	4,50	
0,03	0,09	st	KF4	4,00	110	4,92	
0,89	0,38	gf	KF4	5,00	6	5,05	
0,09	0,14	st	KF4	5,00	60	5,50	
0,03	0,09	st	KF4	5,00	90	5,75	
0,75	0,50	st/f	KF4	6,00	6	6,05	fluorescens ikke set på foto
0,55	0,07	gf	KF4	6,00	40	6,33	
0,33	0,06	st	KF4	6,00	60	6,50	
0,12	0,06	st	KF4	6,00	100	6,83	tæt på gf område
7,49	2,92	gf	KF4	7,00	5	7,04	tæt på r sp
5,00	59,65	sp grf	KF4	7,00	22	7,18	
6,87	35,58	gf	KF4	7,00	33	7,28	
5,26	12,38	gf	KF4	7,00	37	7,31	zone med små kalk sten
4,30	43,23	sp grf	KF4	7,00	47	7,39	
4,10	39,74	sp grf	KF4	7,00	53	7,44	
3,66	66,13	sp grf	KF4	7,00	57	7,48	
5,92	5,17	gf	KF4	7,00	63	7,53	
1,77	0,19	st	KF4	7,00	100	7,83	
1,17	8,04	gf	KF4	8,00	4	8,03	
3,25	14,01	gf	KF4	8,00	10	8,08	
4,12	15,24	gf	KF4	8,00	15	8,13	
2,67	4,07	rf	KF4	8,00	18	8,15	
0,11	0,11	st	KF4	8,00	25	8,21	
0,13	0,15	st	KF4	8,00	45	8,38	
0,03	0,07	st	KF4	8,00	90	8,75	
1,52	6,19	gf	KF4	9,00	5	9,04	
2,48	6,94	gf	KF4	9,00	10	9,08	
1,20	6,40	gf	KF4	9,00	15	9,13	
3,78	7,35	gf	KF4	9,00	25	9,21	
5,31	9,98	gf	KF4	9,00	40	9,33	
4,70	10,21	gf	KF4	9,00	55	9,46	
0,06	0,12	st	KF4	9,00	60	9,50	
12,44	9,66	gf	KF4	9,00	85	9,71	
0,15	0,25	st	KF4	9,00	110	9,92	
0,02	0,07	st	KF5	2,00	15	2,13	
0,03	0,09	st	KF5	2,00	50	2,42	
0,02	0,10	st	KF5	2,00	90	2,75	
0,02	0,08	gf	KF5	3,00	10	3,08	
0,02	0,11	gf	KF5	3,00	10	3,08	* ekstra (kontrol) analyser udført 24 timer senere
0,19	1,69	sp grf	KF5	3,00	27	3,23	

0,19	1,82	sp grf	KF5	3,00	27	3,23	
5,73	1,02	gf	KF5	3,00	32	3,27	
5,48	1,03	gf	KF5	3,00	32	3,27	
3,54	0,08	gf	KF5	3,00	65	3,54	
0,03	1,00	gf	KF5	3,00	69	3,58	
0,02	0,98	gf	KF5	3,00	69	3,58	
5,43	80,23	sp grf	KF5	3,00	71	3,59	
3,32	14,75	sp grf	KF5	3,00	75	3,63	
0,09	0,14	gf	KF5	3,00	80	3,67	
0,03	0,22	gf	KF5	3,00	80	3,67	
4,09	31,97	sp grf	KF5	3,00	85	3,71	
4,06	14,44	sp grf	KF5	3,00	88	3,73	
5,62	2,11	gf	KF5	3,00	93	3,78	
0,07	0,10	st	KF5	3,00	100	3,83	
0,04	0,11	st	KF5	3,00	110	3,92	
0,04	0,15	st	KF5	4,00	20	4,17	
0,02	0,08	st	KF5	4,00	44	4,37	
0,04	0,40	st	KF5	4,00	80	4,67	
0,32	0,58	gf	KF5	5,00	5	5,04	
0,23	0,47	gf	KF5	5,00	10	5,08	
0,23	0,48	gf	KF5	5,00	15	5,13	
0,23	0,49	gf	KF5	5,00	20	5,17	
0,21	0,49	gf	KF5	5,00	25	5,21	
0,21	0,52	gf	KF5	5,00	30	5,25	
0,21	0,53	gf	KF5	5,00	35	5,29	
0,22	0,48	gf	KF5	5,00	40	5,33	
0,19	0,39	gf	KF5	5,00	45	5,38	
0,22	0,48	gf	KF5	5,00	50	5,42	
0,20	0,41	gf	KF5	5,00	55	5,46	
0,21	0,40	gf	KF5	5,00	60	5,50	
0,14	0,33	gf	KF5	5,00	65	5,54	
0,22	0,63	gf	KF5	5,00	70	5,58	
0,17	0,37	gf	KF5	5,00	75	5,63	
0,12	0,18	gf	KF5	5,00	80	5,67	
0,03	0,10	st*	KF5	5,00	82	5,68	* "diffusionskontrol"
0,01	0,05	st*	KF5	5,00	85	5,71	
0,08	0,10	st	KF5	5,00	110	5,92	
0,02	0,09	st*	KF5	5,00	90	5,75	* "diffusionskontrol"
0,03	0,09	st*	KF5	5,00	95	5,79	
0,04	0,10	st*	KF5	5,00	100	5,83	
0,07	0,08	st*	KF5	5,00	105	5,88	
2,07	2,78	rf	KF5	6,00	1	6,01	
3,13	0,55	gf	KF5	6,00	2	6,02	
1,09	0,08	st	KF5	6,00	6	6,05	
2,27	0,15	gf	KF5	6,00	27	6,23	
1,10	0,08	gf	KF5	6,00	29	6,24	
0,59	0,08	st	KF5	6,00	40	6,33	
0,01	0,05	st	KF5	6,90	5	6,94	
0,02	0,08	st	KF5	6,90	60	7,40	
0,02	0,08	st	KF5	6,90	110	7,82	
1,45	0,44	st	KF6	2,00	5	2,04	
0,91	0,53	grf	KF6	2,00	40	2,33	
2,53	1,14	grf	KF6	2,00	45	2,38	
5,48	7,12	grf	KF6	2,00	50	2,42	
5,72	1,50	grf	KF6	2,00	55	2,46	
4,44	9,60	grf	KF6	2,00	60	2,50	ved sten
2,17	0,42	st	KF6	2,00	60	2,50	ved siden af fluorescerende område (rep. v. prøve 100)
2,81	16,81	grf*	KF6	2,00	65	2,54	* ved siden af sprække, der løber langs kant
1,48	22,42	grf*	KF6	2,00	70	2,58	
3,79	6,84	grf*	KF6	2,00	75	2,63	
1,05	59,62	grf*	KF6	2,00	80	2,67	glas m prøve angivet som 72,2396 antages at "2" er en skrivefejl
1,52	93,76	sp grf	KF6	2,00	83	2,69	
1,37	117,43	sp grf	KF6	2,00	85	2,71	
1,52	1,75	gf	KF6	2,00	90	2,75	

2,39	0,97	gf	KF6	2,00	95	2,79
0,01	0,09	st	KF6	3,00	5	3,04
0,16	0,12	st	KF6	3,00	35	3,29
0,58	82,03	sp grf	KF6	3,00	40	3,33
0,31	2,32	st	KF6	3,00	45	3,38
0,90	36,61	sp grf	KF6	3,00	48	3,40
2,16	2,02	gf	KF6	3,00	55	3,46
2,46	0,14	gf	KF6	3,00	60	3,50
1,94	16,84	sp grf	KF6	3,00	64	3,53
4,22	0,88	gf	KF6	3,00	70	3,58
4,10	0,13	gf	KF6	3,00	75	3,63
3,34	1,29	gf	KF6	3,00	80	3,67
3,81	0,08	gf	KF6	3,00	85	3,71
3,13	0,65	gf	KF6	3,00	90	3,75
1,80	0,47	gf	KF6	3,00	95	3,79
0,15	2,42	gf	KF6	4,00	4	4,03
0,67	7,70	gf	KF6	4,00	5	4,04
1,08	1,10	gf	KF6	4,00	10	4,08
1,22	0,58	gf	KF6	4,00	15	4,13
1,96	0,10	gf	KF6	4,00	20	4,17
2,07	0,11	gf	KF6	4,00	25	4,21
1,46	1,38	gf	KF6	4,00	30	4,25
0,57	2,09	gf	KF6	4,00	35	4,29
0,70	2,94	gf	KF6	4,00	40	4,33
0,54	0,81	gf	KF6	4,00	45	4,38
0,36	0,18	st	KF6	4,00	60	4,50
0,06	0,08	st	KF6	5,00	5	5,04
0,02	0,07	st	KF6	5,00	60	5,50
0,18	0,06	st	KF6	5,00	75	5,63
1,97	0,07	gf	KF6	5,00	80	5,67
4,10	25,17	sp grf	KF6	5,00	85	5,71
5,46	2,00	gf	KF6	5,00	90	5,75
0,60	0,11	st	KF6	5,00	95	5,79
0,06	0,06	st	KF6	6,00	5	6,04
0,02	0,07	st	KF6	6,00	60	6,50
0,02	0,07	st	KF6	6,00	110	6,92
0,04	0,10	st	KF6	7,00	5	7,04
0,39	0,07	st	KF6	7,00	20	7,17
1,64	0,06	gf	KF6	7,00	25	7,21
2,63	0,36	gf	KF6	7,00	30	7,25
4,68	14,01	gf	KF6	7,00	35	7,29
6,21	36,53	sp grf	KF6	7,00	40	7,33
6,91	9,14	gf	KF6	7,00	45	7,38
6,01	5,62	gf	KF6	7,00	50	7,42
6,17	1,02	gf	KF6	7,00	55	7,46
3,69	0,07	gf	KF6	7,00	60	7,50
5,03	0,07	gf	KF6	7,00	65	7,54
3,91	0,07	gf	KF6	7,00	70	7,58
2,42	0,29	gf	KF6	7,00	75	7,63
0,12	0,14	st	KF6	7,00	80	7,67
1,88	0,06	st	KF6	7,00	85	7,71
0,02	0,07	st	KF7	2,00	5	2,04
0,01	0,10	st	KF7	2,00	60	2,50
0,03	0,11	st	KF7	2,00	110	2,92
0,02	0,07	st	KF7	3,00	5	3,04
0,02	0,05	st	KF7	3,00	30	3,25
1,11	0,39	st	KF7	3,00	45	3,38
2,33	5,69	gf	KF7	3,00	50	3,42
3,51	29,08	gf	KF7	3,00	52	3,43
6,28	84,96	sp grf	KF7	3,00	54	3,45
7,27	5,97	gf	KF7	3,00	60	3,50
4,26	2,30	gf	KF7	3,00	65	3,54
3,54	4,47	gf	KF7	3,00	70	3,58
2,47	0,11	gf	KF7	3,00	75	3,63
0,09	0,08	st	KF7	3,00	80	3,67
0,03	0,12	st	KF7	3,00	110	3,92
0,07	0,14	st	KF7	4,00	5	4,04
0,23	0,13	st	KF7	4,00	20	4,17
0,88	0,14	gf	KF7	4,00	25	4,21

1,32	0,09	gf	KF7	4,00	30	4,25	
1,37	0,09	gf	KF7	4,00	35	4,29	
1,51	0,10	gf	KF7	4,00	40	4,33	
2,32	0,20	gf	KF7	4,00	45	4,38	
1,92	0,16	gf	KF7	4,00	50	4,42	
1,33	0,08	gf	KF7	4,00	55	4,46	
0,50	0,07	gf	KF7	4,00	60	4,50	
0,18	0,20	gf	KF7	4,00	65	4,54	
0,06	0,14	gf	KF7	4,00	70	4,58	i kalkstensområde
0,05	0,15	gf	KF7	4,00	75	4,63	
2,23	6,46	gf	KF7	4,00	83	4,69	
1,60	35,28	sp grf	KF7	5,00	5	5,04	
0,58	12,90	sp grf	KF7	5,00	10	5,08	prøve ej fra 'centrum' af sprække
0,55	3,08	sp grf	KF7	5,00	15	5,13	prøve ej fra 'centrum' af sprække
0,90	13,63	sp grf	KF7	5,00	20	5,17	prøve ej fra 'centrum' af sprække
0,93	13,13	sp grf	KF7	5,00	25	5,21	prøve ej fra 'centrum' af sprække
1,39	51,34	sp grf	KF7	5,00	30	5,25	
1,52	6,83	gf	KF7	5,00	35	5,29	ved siden af sprække
6,19	6,76	gf	KF7	5,00	40	5,33	
7,23	4,92	gf	KF7	5,00	45	5,38	
5,41	2,77	gf	KF7	5,00	50	5,42	
6,15	15,12	gf	KF7	5,00	55	5,46	
6,62	48,50	sp grf	KF7	5,00	63	5,53	
4,08	36,08	sp grf	KF7	5,00	70	5,58	
3,99	20,67	sp grf	KF7	5,00	75	5,63	
4,08	6,01	gf	KF7	5,00	80	5,67	
0,04	0,13	st	KF7	6,00	30	6,25	
0,08	0,15	rf	KF7	6,00	32	6,27	
1,06	1,31	rf	KF7	6,00	35	6,29	
4,68	5,03	rgf	KF7	6,00	40	6,33	
5,48	0,50	rgf*	KF7	6,00	45	6,38	*ved siden af rødt fluorescerend
5,12	0,13	rgf*	KF7	6,00	50	6,42	
7,31	1,33	rgf*	KF7	6,00	55	6,46	
9,45	4,38	rgf*	KF7	6,00	60	6,50	
6,03	0,58	rgf*	KF7	6,00	65	6,54	
2,23	0,07	rgf*	KF7	6,00	70	6,58	
2,37	0,10	rgf*	KF7	6,00	73	6,61	
1,00	0,04	gf	KF7	6,00	80	6,67	
0,19	0,07	st	KF7	6,00	90	6,75	
1,85	1,01	rgf	KF7	7,00	4	7,03	
1,25	4,14	rgf	KF7	7,00	8	7,07	baseret på 5 fluorometer målinger
0,16	0,09	rgf*	KF7	7,00	10	7,08	*ved siden af fluorescerende områ
0,03	0,10	st	KF7	7,00	30	7,25	
0,02	0,11	st	KF7	7,00	60	7,50	
0,01	0,05	st	KF7	7,00	80	7,67	
0,05	0,24	st	KF7	7,00	90	7,75	Ustabile L1C1 værdier (neg værdier fjernet fra gns udregn)
0,02	0,15	st	KF7	8,00	5	8,04	
0,03	0,12	st	KF7	8,00	60	8,50	
0,02	0,18	st	KF7	8,00	110	8,92	
0,04	0,08	st	KF7	9,00	5	9,04	
0,03	0,10	st	KF7	9,00	60	9,50	
0,02	0,09	st	KF7	9,00	110	9,92	
0,01	0,03	st	KF8	2,00	5	2,04	
0,01	0,09	st	KF8	2,00	60	2,50	
0,01	0,06	st	KF8	2,00	110	2,92	
0,02	0,06	st	KF8	3,00	5	3,04	
0,06	0,09	st	KF8	3,00	25	3,21	
0,15	0,14	st	KF8	3,00	30	3,25	
1,27	0,15	gf	KF8	3,00	35	3,29	
5,80	1,52	gf	KF8	3,00	38	3,32	
4,92	153,38	sp grf	KF8	3,00	39	3,33	
10,09	5,13	gf	KF8	3,00	40	3,33	
6,12	55,40	sp grf	KF8	3,00	43	3,36	
6,49	13,57	gf	KF8	3,00	45	3,38	
5,49	42,43	sp grf	KF8	3,00	50	3,42	

6,25	2,86	gf	KF8	3,00	55	3,46
5,64	0,09	gf	KF8	3,00	58	3,48
0,07	0,50	rf	KF8	4,00	3	4,03
0,03	0,13	st	KF8	4,00	5	4,04
0,02	0,07	st	KF8	4,00	60	4,50
0,02	0,08	st	KF8	4,00	110	4,92
0,08	0,19	gf	KF8	5,00	5	5,04
0,10	0,47	gf	KF8	5,00	10	5,08
0,11	0,37	gf	KF8	5,00	15	5,13
0,10	0,40	gf	KF8	5,00	20	5,17
0,11	0,62	gf	KF8	5,00	25	5,21
0,08	0,30	gf	KF8	5,00	30	5,25
0,08	0,32	gf	KF8	5,00	35	5,29
0,11	0,44	gf	KF8	5,00	40	5,33
0,09	0,35	gf	KF8	5,00	45	5,38
0,09	0,38	gf	KF8	5,00	50	5,42
0,13	0,65	gf	KF8	5,00	55	5,46
0,14	0,59	gf	KF8	5,00	60	5,50
0,04	0,25	st	KF8	5,00	65	5,54
0,02	0,09	st	KF8	5,00	70	5,58
0,07	0,06	st	KF8	5,00	90	5,75
0,15	0,08	st	KF8	5,00	95	5,79
1,11	1,12	gf	KF8	5,00	98	5,82
2,60	12,94	sp grf	KF8	5,00	99	5,83
3,96	6,00	gf	KF8	5,00	101	5,84
3,51	0,51	gf	KF8	5,00	103	5,86
1,81	0,11	gf	KF8	5,00	105	5,88
0,33	0,08	gf	KF8	5,00	107	5,89
0,23	0,08	st	KF8	5,00	110	5,92
4,15	0,89	gf	KF8	6,00	3	6,03
0,82	0,29	gf	KF8	6,00	5	6,04
1,45	0,21	gf	KF8	6,00	10	6,08
0,12	0,07	gf	KF8	6,00	15	6,13
0,11	0,13	st	KF8	6,00	20	6,17
0,03	0,14	st	KF8	7,00	5	7,04
0,03	0,16	gf	KF8	7,00	30	7,25
0,06	0,16	gf	KF8	7,00	33	7,28
0,02	0,08	st	KF8	7,00	60	7,50
0,02	0,06	st	KF8	7,00	80	7,67
0,26	0,81	gf	KF8	8,00	5	8,04
0,08	0,41	gf	KF8	8,00	10	8,08
0,20	0,59	gf	KF8	8,00	15	8,13
0,23	0,60	gf	KF8	8,00	20	8,17
0,06	0,32	gf	KF8	8,00	25	8,21
0,12	0,48	gf	KF8	8,00	30	8,25
0,06	0,41	gf	KF8	8,00	35	8,29
0,11	0,43	gf	KF8	8,00	40	8,33
0,10	0,44	gf	KF8	8,00	50	8,42
0,22	0,57	gf	KF8	8,00	60	8,50
0,02	0,08	gf	KF8	8,00	65	8,54
0,02	0,09	gf	KF8	8,00	70	8,58
0,08	0,06	st	KF8	8,00	110	8,92
0,03	0,13	st	KF8	9,00	5	9,04
0,14	0,09	gf	KF8	9,00	30	9,25
1,00	0,14	gf	KF8	9,00	40	9,33
0,85	0,07	gf	KF8	9,00	50	9,42
0,07	0,07	st	KF8	9,00	60	9,50
0,14	0,07	st	KF8	9,00	80	9,67
0,01	0,05	st	KF9	2,00	5	2,04
0,01	0,03	st	KF9	2,00	60	2,50
0,18	0,26	rf	KF9	2,00	90	2,75
1,39	0,57	rf	KF9	2,00	95	2,79
2,20	9,99	rf	KF9	2,00	97	2,81
1,06	0,19	rf	KF9	2,00	100	2,83
0,05	0,08	rf	KF9	2,00	105	2,88
1,34	0,53	rf	KF9	2,00	108	2,90
0,23	0,15	st	KF9	3,00	3	3,03
10,18	0,96	gf	KF9	3,00	5	3,04
9,95	159,09	sp grf	KF9	3,00	8	3,07

ved kalksten



16,38	2,79	gf	KF9	3,00	10	3,08
6,61	1,75	gf	KF9	3,00	12	3,10
0,42	0,49	st	KF9	3,00	15	3,13
0,12	0,07	st	KF9	3,00	20	3,17
0,02	0,10	st	KF9	3,00	60	3,50
0,03	0,08	st	KF9	4,00	5	4,04
0,02	0,06	st	KF9	4,00	60	4,50
0,02	0,08	st	KF9	4,00	110	4,92
0,04	0,17	st	KF9	5,00	5	5,04
0,02	0,09	st	KF9	5,00	60	5,50
0,04	0,19	st	KF9	5,00	110	5,92
0,03	0,12	st	KF9	6,00	5	6,04
0,02	0,07	st	KF9	6,00	60	6,50
0,03	0,12	st	KF9	6,00	110	6,92
0,02	0,07	st	KF9	7,00	5	7,04
0,02	0,08	st	KF9	7,00	60	7,50
0,02	0,09	st	KF9	7,00	75	7,63
0,01	0,05	st	KF10	2,00	5	2,04
0,01	0,07	st	KF10	2,00	60	2,50
0,01	0,06	st	KF10	2,00	110	2,92
0,69	0,06	st	KF10	3,00	5	3,04
0,24	1,11	st	KF10	3,00	30	3,25
0,74	97,47	sp grf	KF10	3,00	31	3,26
1,60	2,28	gf	KF10	3,00	37	3,31
6,55	1,68	gf	KF10	3,00	40	3,33
7,35	170,22	sp grf	KF10	3,00	41	3,34
10,91	2,23	gf	KF10	3,00	43	3,36
5,18	0,10	gf	KF10	3,00	45	3,38
2,44	0,02	st	KF10	3,00	50	3,42
2,46	0,29	st	KF10	3,00	51	3,43
1,90	20,68	sp grf	KF10	3,00	52	3,43
1,38	1,18	st	KF10	3,00	56	3,47
1,39	0,12	st	KF10	3,00	58	3,48
1,24	0,06	st	KF10	3,00	60	3,50
0,45	0,09	st	KF10	3,00	62	3,52
0,03	0,05	st	KF10	3,00	65	3,54
0,02	0,09	st	KF10	3,00	80	3,67
0,02	0,07	st	KF10	4,00	5	4,04
0,02	0,10	st	KF10	4,00	40	4,33
1,15	1,60	rf	KF10	4,00	54	4,45
1,24	2,30	rf	KF10	4,00	60	4,50
0,01	0,06	st	KF10	5,00	5	5,04
0,02	0,11	st	KF10	5,00	60	5,50
0,23	0,08	st	KF10	5,00	75	5,63
0,43	0,08	st	KF10	5,00	76	5,63
0,62	0,15	st	KF10	5,00	77	5,64
0,58	0,09	gf	KF10	5,00	78	5,65
1,14	0,10	gf	KF10	5,00	79	5,66
1,43	0,10	gf	KF10	5,00	80	5,67
1,56	0,13	gf	KF10	5,00	81	5,68
2,26	0,54	gf	KF10	5,00	82	5,68
2,31	0,85	gf	KF10	5,00	83	5,69
3,11	2,17	gf	KF10	5,00	84	5,70
3,27	4,27	gf	KF10	5,00	85	5,71
3,12	6,01	gf	KF10	5,00	86	5,72
3,71	16,14	gf	KF10	5,00	87	5,73
3,43	23,50	sp grf	KF10	5,00	88	5,73
3,72	19,75	gf	KF10	5,00	89	5,74
4,66	21,51	gf	KF10	5,00	90	5,75
4,43	8,12	gf	KF10	5,00	91	5,76
4,20	4,63	gf	KF10	5,00	92	5,77
3,75	2,15	gf	KF10	5,00	93	5,78
3,09	1,05	st	KF10	5,00	94	5,78
2,36	0,25	st	KF10	5,00	95	5,79
2,00	0,17	st	KF10	5,00	96	5,80
2,19	0,09	st	KF10	5,00	97	5,81

én måling pillet ud da den var helt forskellig fra de øvrige 10...

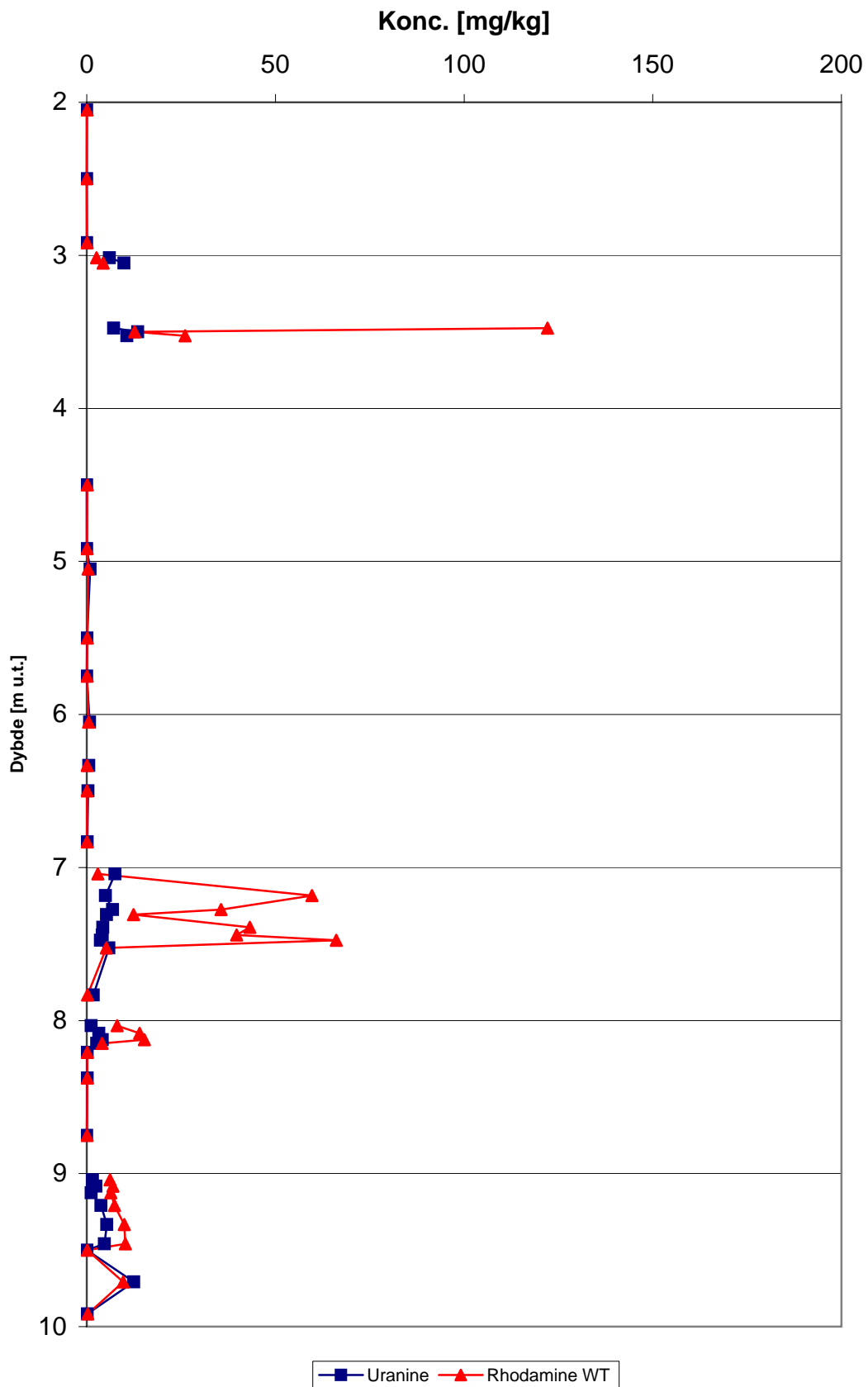
1,62	0,07	st	KF10	5,00	98	5,82
1,07	0,11	st	KF10	5,00	99	5,83
0,76	0,17	st	KF10	5,00	100	5,83
0,56	0,05	st	KF10	5,00	101	5,84
0,10	0,06	st	KF10	5,00	104	5,87
0,00	0,03	st	KF11	2,00	5	2,04
0,00	0,07	st	KF11	2,00	60	2,50
0,01	0,06	st	KF11	2,00	110	2,92
3,24	27,46	st/rf	KF11	3,00	5	3,04
3,00	0,84	st	KF11	3,00	27	3,23
4,60	0,99	st	KF11	3,00	30	3,25
9,67	4,56	gf	KF11	3,00	33	3,28
11,60	136,77	sp grf	KF11	3,00	36	3,30
8,63	2,59	gf	KF11	3,00	42	3,35
7,77	3,47	gf	KF11	3,00	45	3,38
3,43	0,02	gf	KF11	3,00	48	3,40
1,18	0,16	st	KF11	3,00	51	3,43
0,56	0,07	st	KF11	3,00	55	3,46
0,09	0,05	st	KF11	3,00	60	3,50
0,02	0,09	st	KF11	3,00	110	3,92
0,07	0,17	st	KF11	4,00	5	4,04
0,32	0,55	st	KF11	4,00	60	4,50
0,02	0,09	st	KF11	5,00	5	5,04
0,30	0,14	st	KF11	5,00	25	5,21
0,66	1,11	gf	KF11	5,00	30	5,25
0,76	2,20	sp grf	KF11	5,00	35	5,29
2,18	17,19	sp grf	KF11	5,00	40	5,33
1,42	12,94	sp grf	KF11	5,00	44	5,37
1,99	0,17	gf	KF11	5,00	50	5,42
0,87	0,08	gf	KF11	5,00	55	5,46
0,86	0,07	gf	KF11	5,00	60	5,50
1,14	0,10	gf	KF11	5,00	70	5,58
1,66	0,03	gf	KF11	5,00	80	5,67
3,09	0,57	gf	KF11	5,00	90	5,75
4,37	0,08	gf	KF11	5,00	100	5,83
0,64	0,06	gf	KF11	5,00	110	5,92
0,02	0,07	st	KF11	6,00	5	6,04
0,02	0,10	st	KF11	6,00	60	6,50
0,01	0,05	st	KF11	6,00	110	6,92
0,02	0,05	st	KF11	7,00	5	7,04
0,02	0,08	st	KF11	7,00	60	7,50
0,02	0,08	st	KF11	7,00	105	7,88
0,24	0,07	st	KF12	4,00	5	4,04
0,83	0,60	st	KF12	4,00	8	4,07
1,43	23,06	sp grf	KF12	4,00	10	4,08
1,46	15,45	sp grf	KF12	4,00	13	4,11
2,01	11,61	gf	KF12	4,00	15	4,13
2,64	3,77	gf	KF12	4,00	18	4,15
2,98	2,04	gf	KF12	4,00	20	4,17
2,15	0,10	gf	KF12	4,00	25	4,21
0,78	0,06	gf	KF12	4,00	27	4,23
0,24	0,08	st	KF12	4,00	35	4,29
0,17	0,08	st	KF12	4,00	40	4,33
0,35	0,07	st	KF12	4,00	60	4,50
0,01	0,05	st	KF12	4,00	110	4,92
0,02	0,07	st	KF12	5,00	5	5,04
0,02	0,10	st	KF12	5,00	60	5,50
0,02	0,10	st	KF12	5,00	88	5,73
0,02	0,07	st	KF12	6,00	5	6,04
0,02	0,07	st	KF12	6,00	60	6,50
0,02	0,11	st	KF12	6,00	110	6,92
0,02	0,06	st	KF12	7,00	5	7,04
0,02	0,07	st	KF12	7,00	60	7,50
0,02	0,09	st	KF12	7,00	110	7,92

---

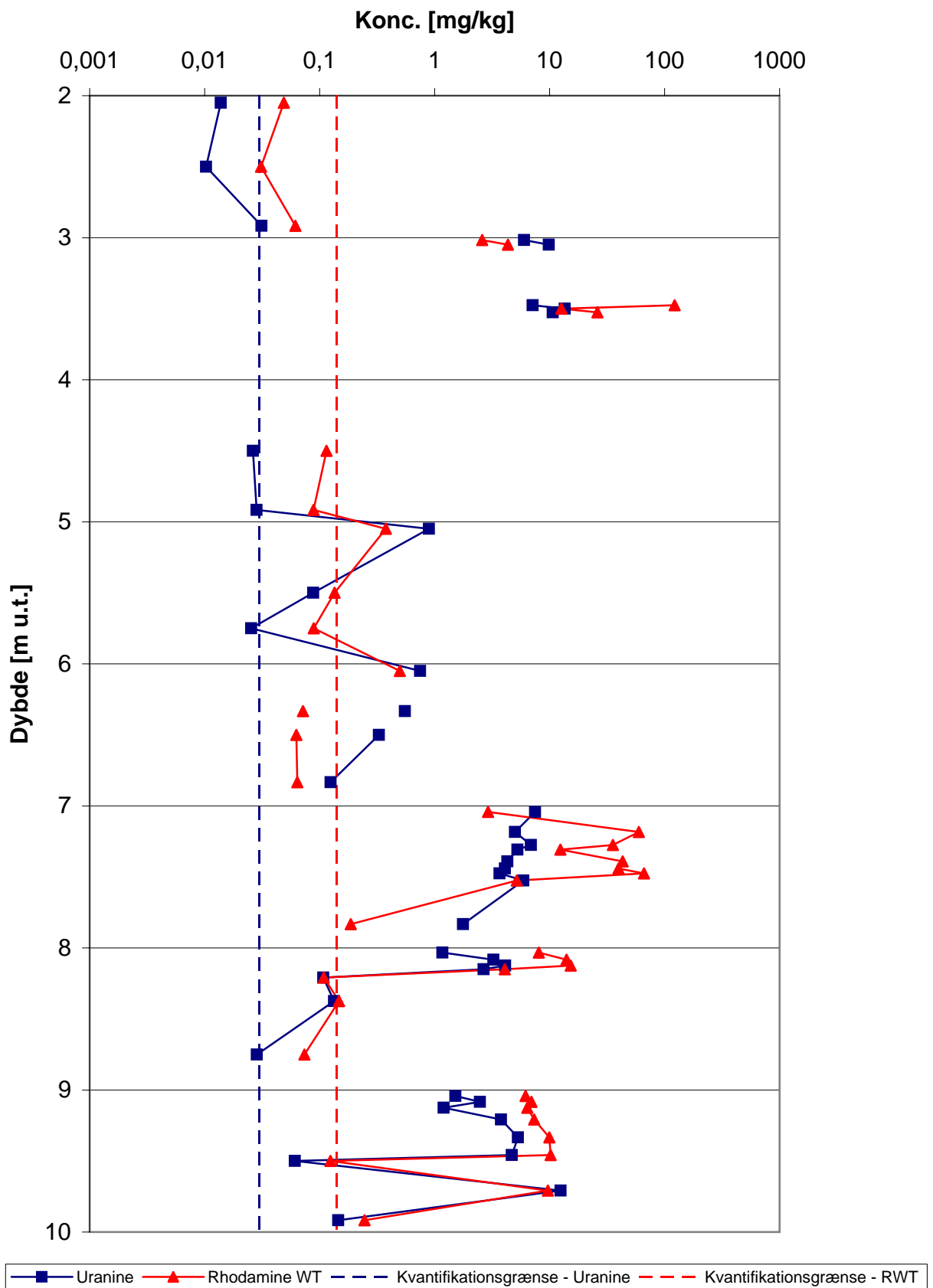
**Bilag 5**  
**Grafisk præsentation af**  
**analyseresultater for kerneboringerne**

---

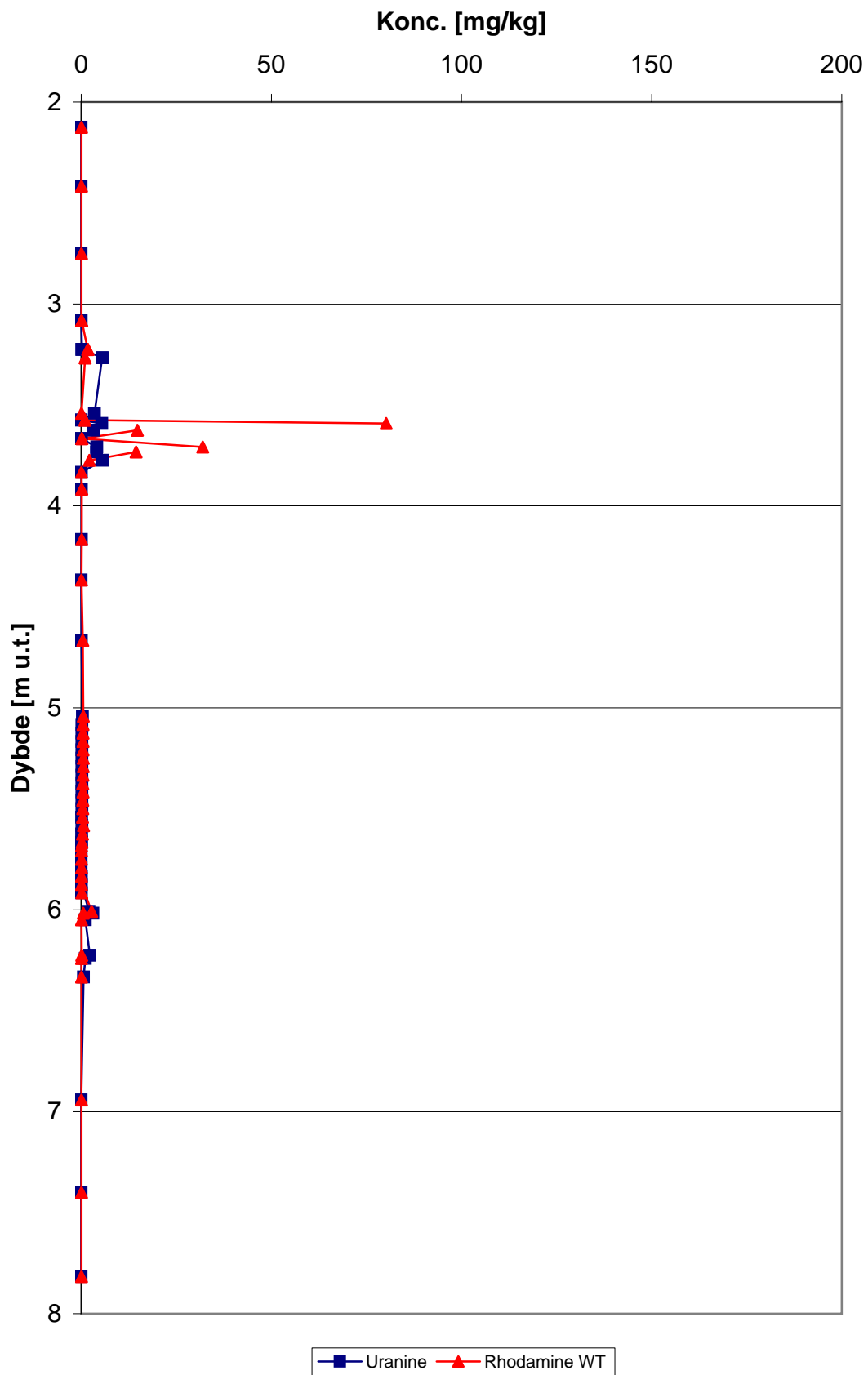
# KF4



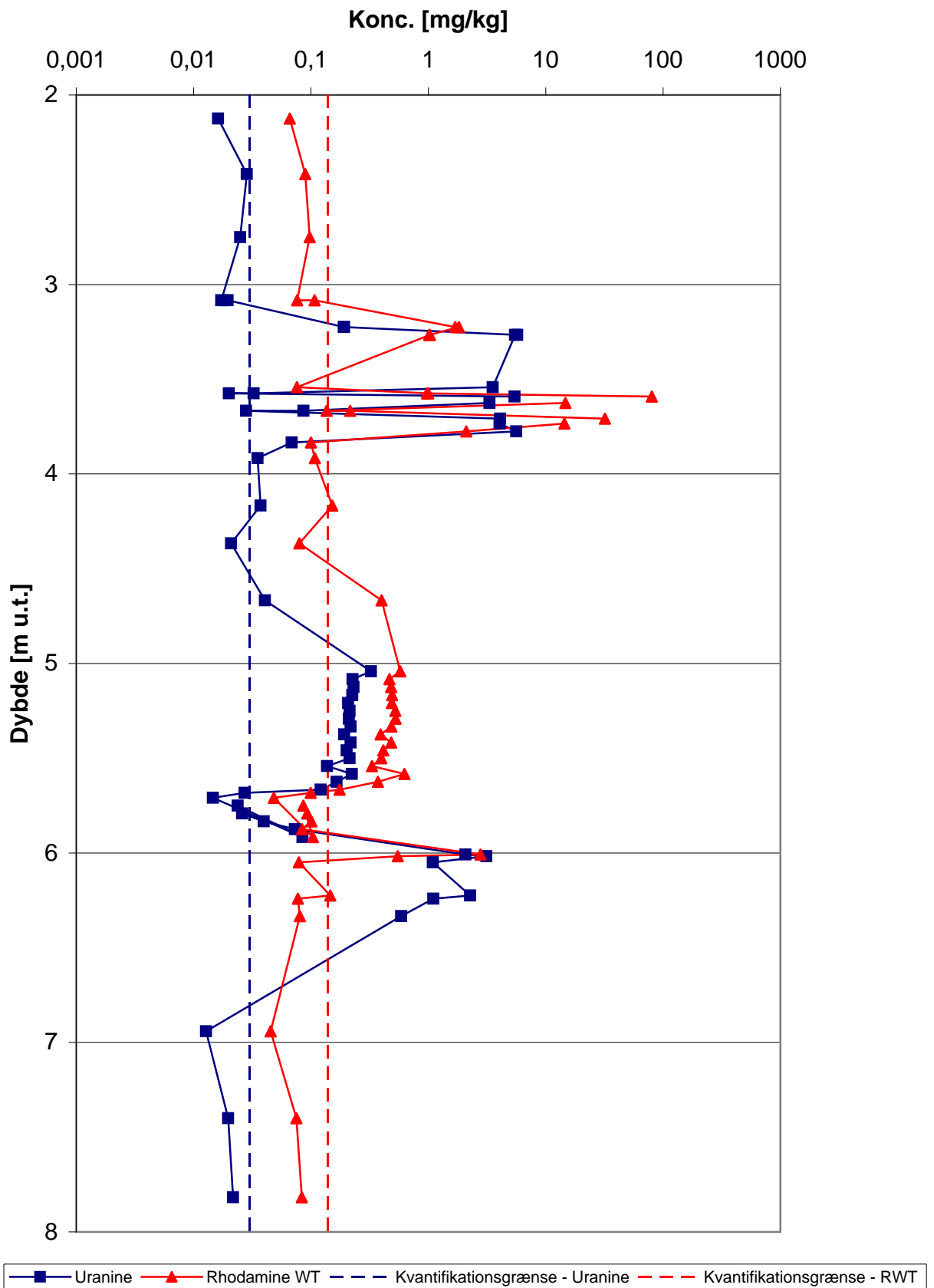
# KF4



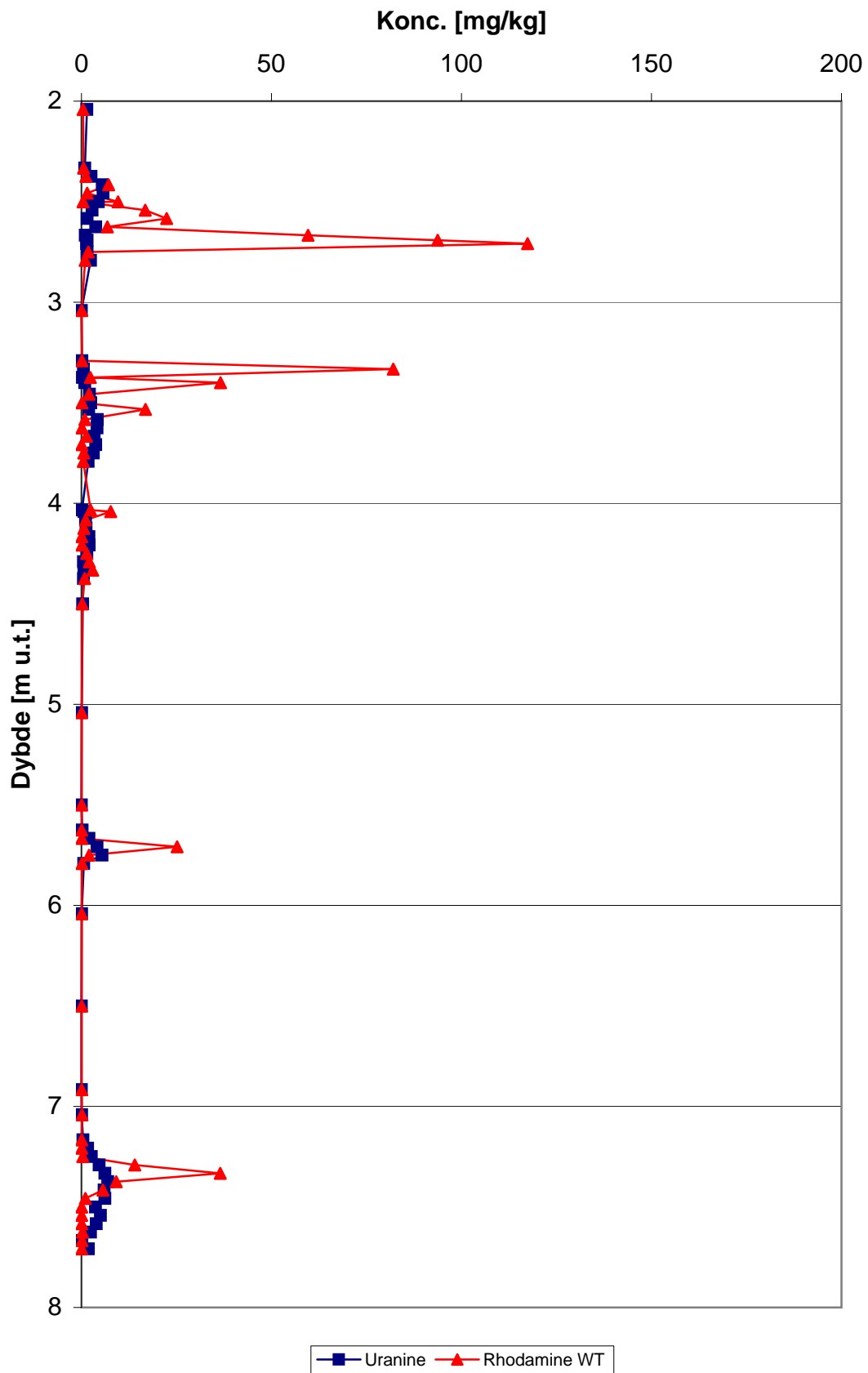
# KF5



# KF5

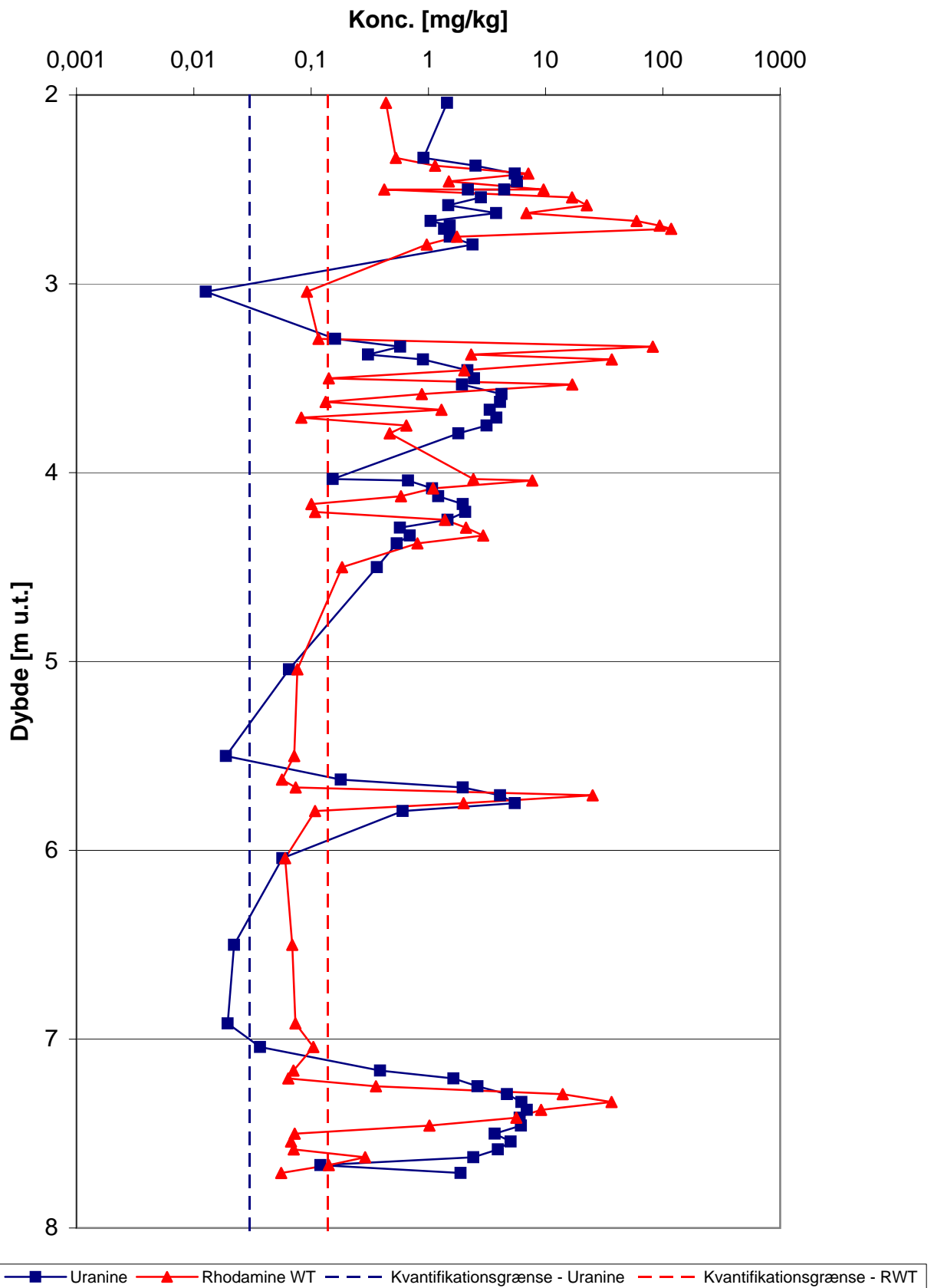


# KF6

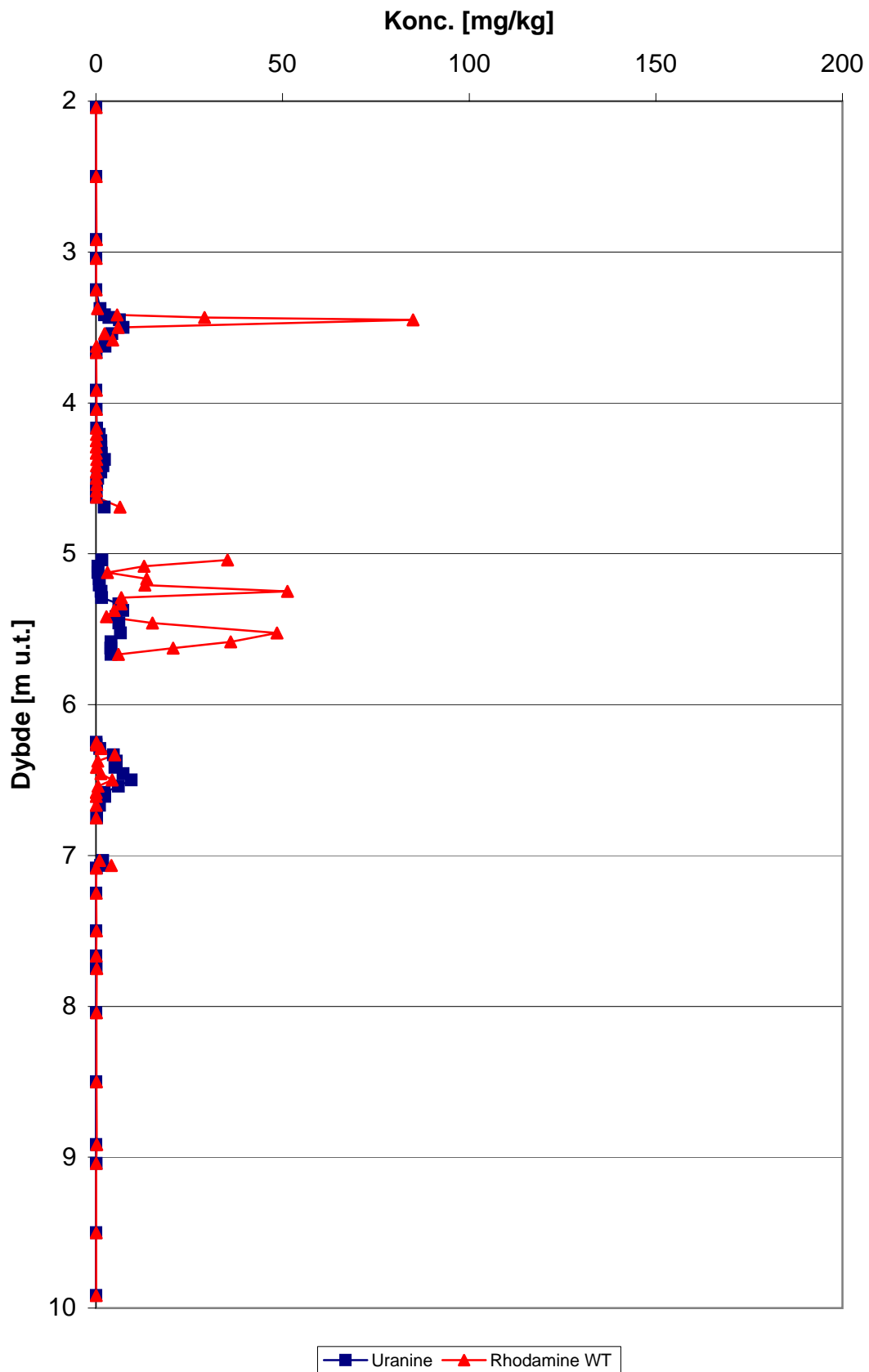




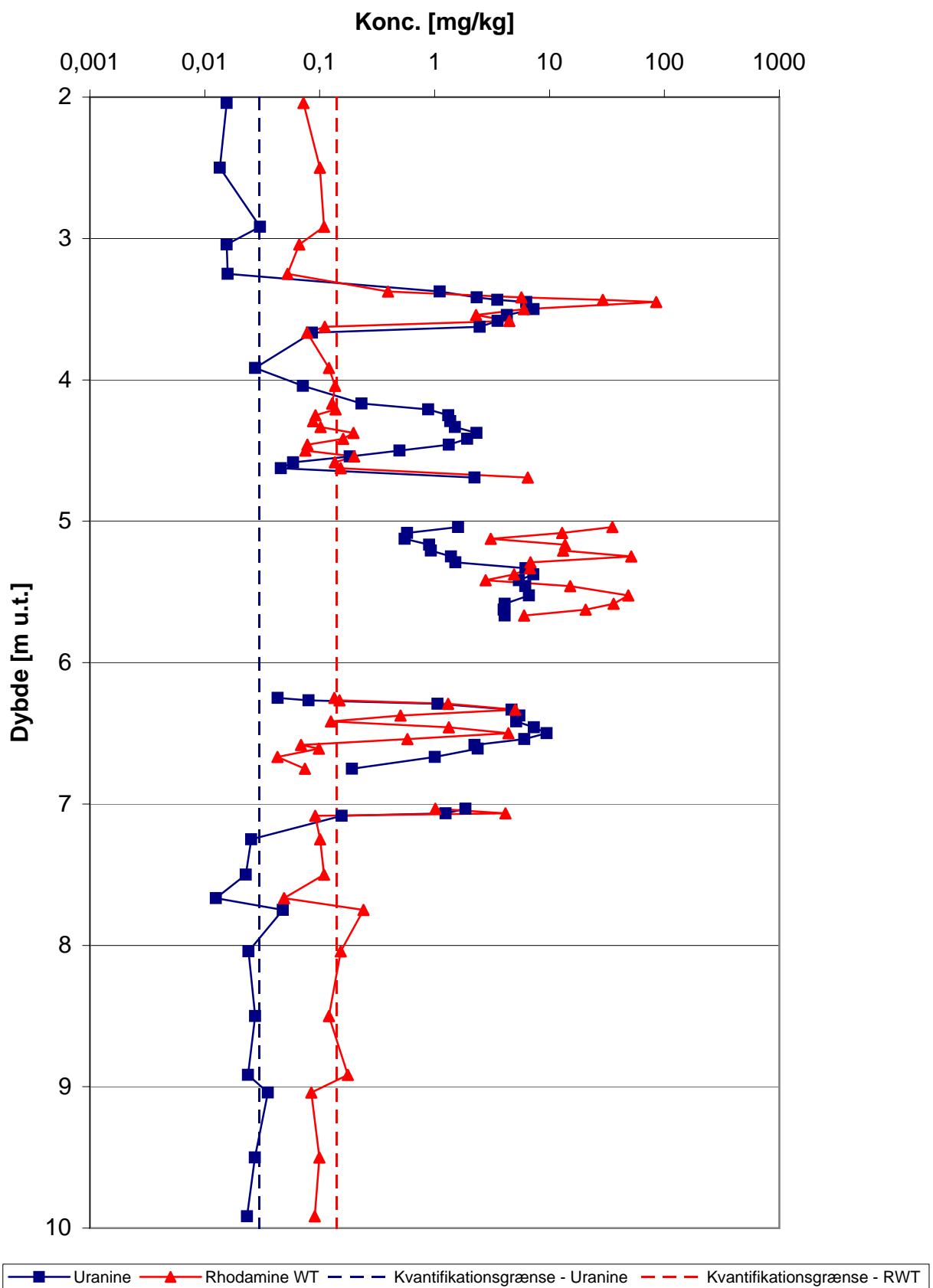
# KF6



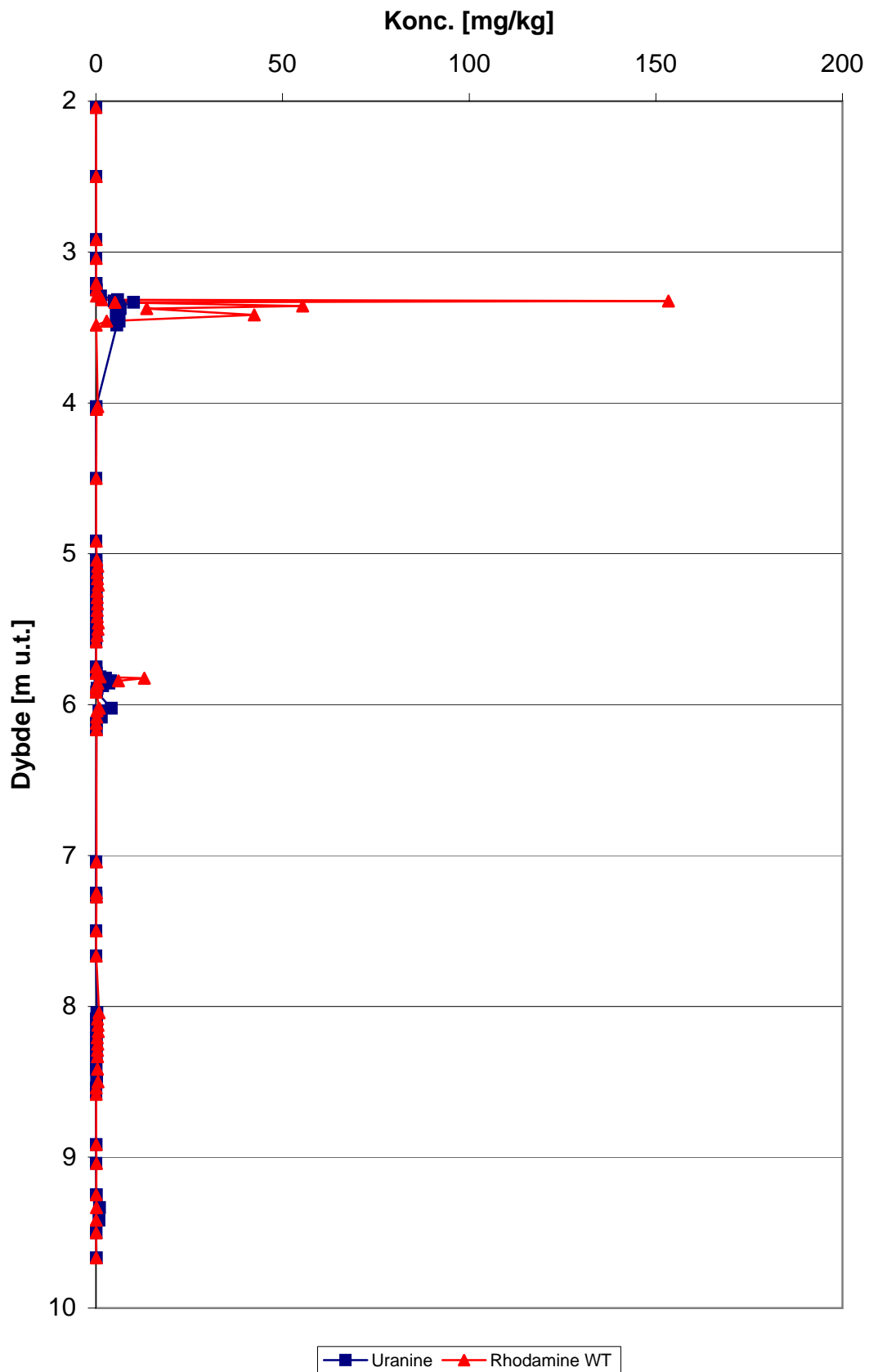
# KF7



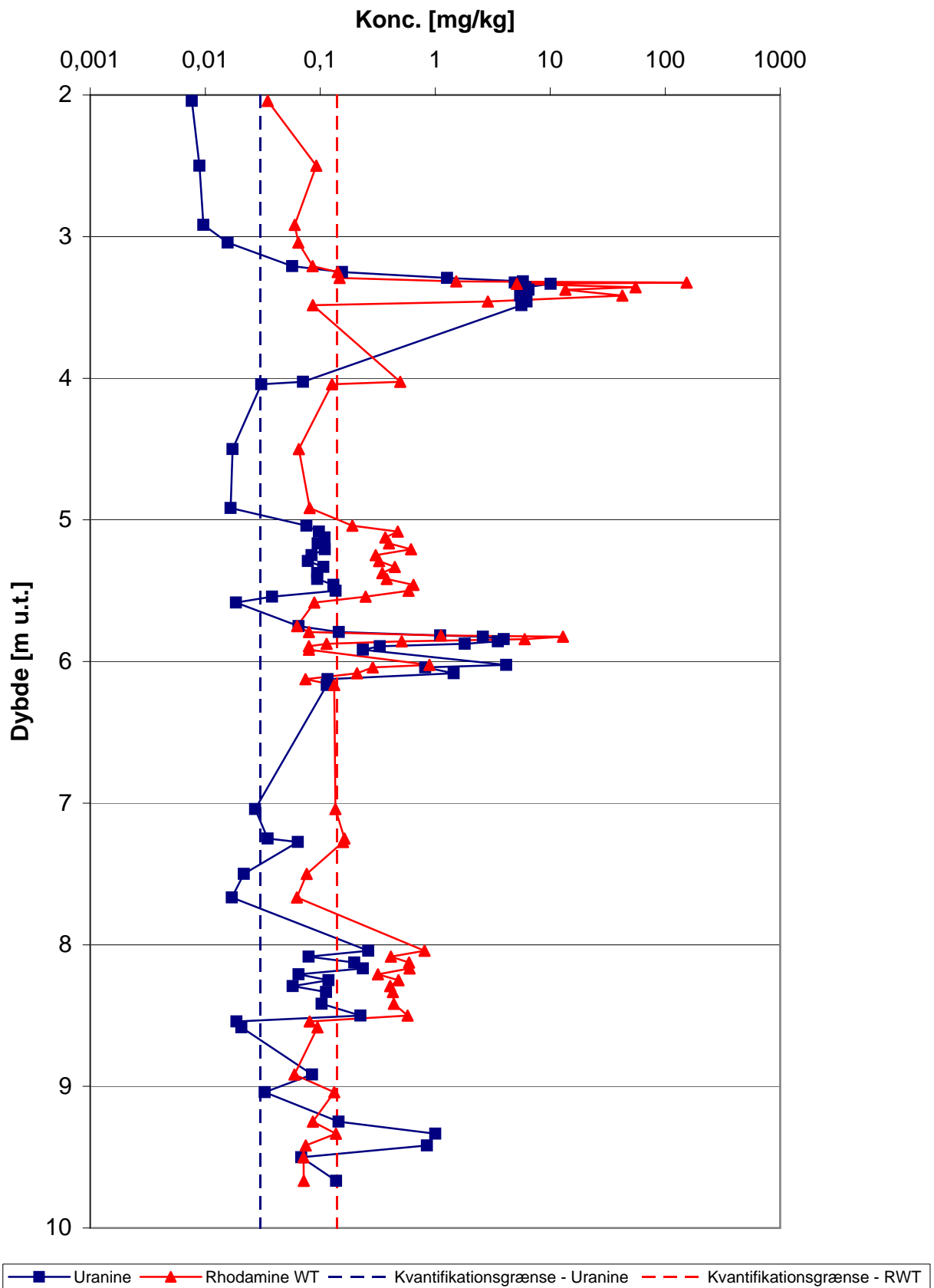
# KF7



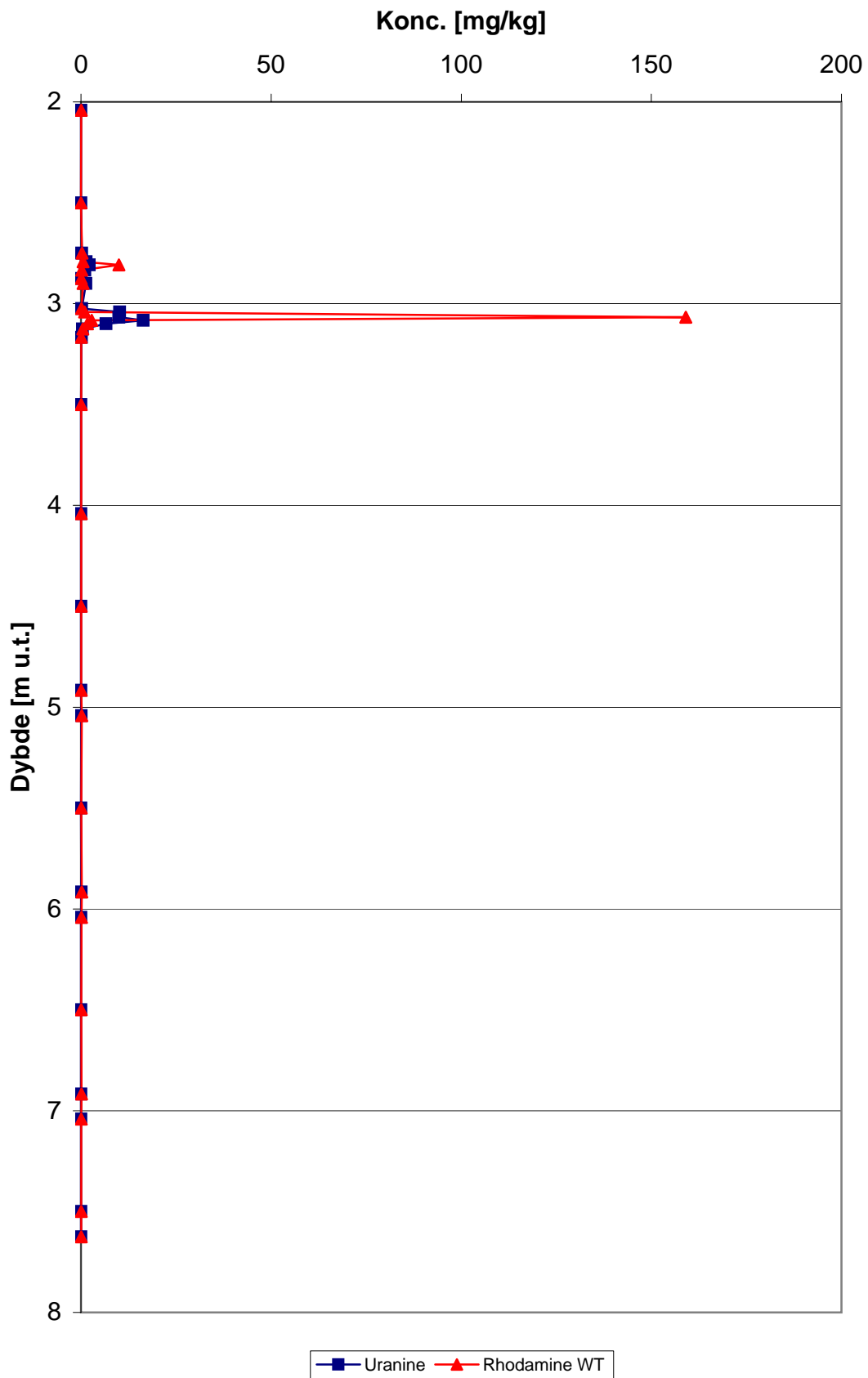
# KF8



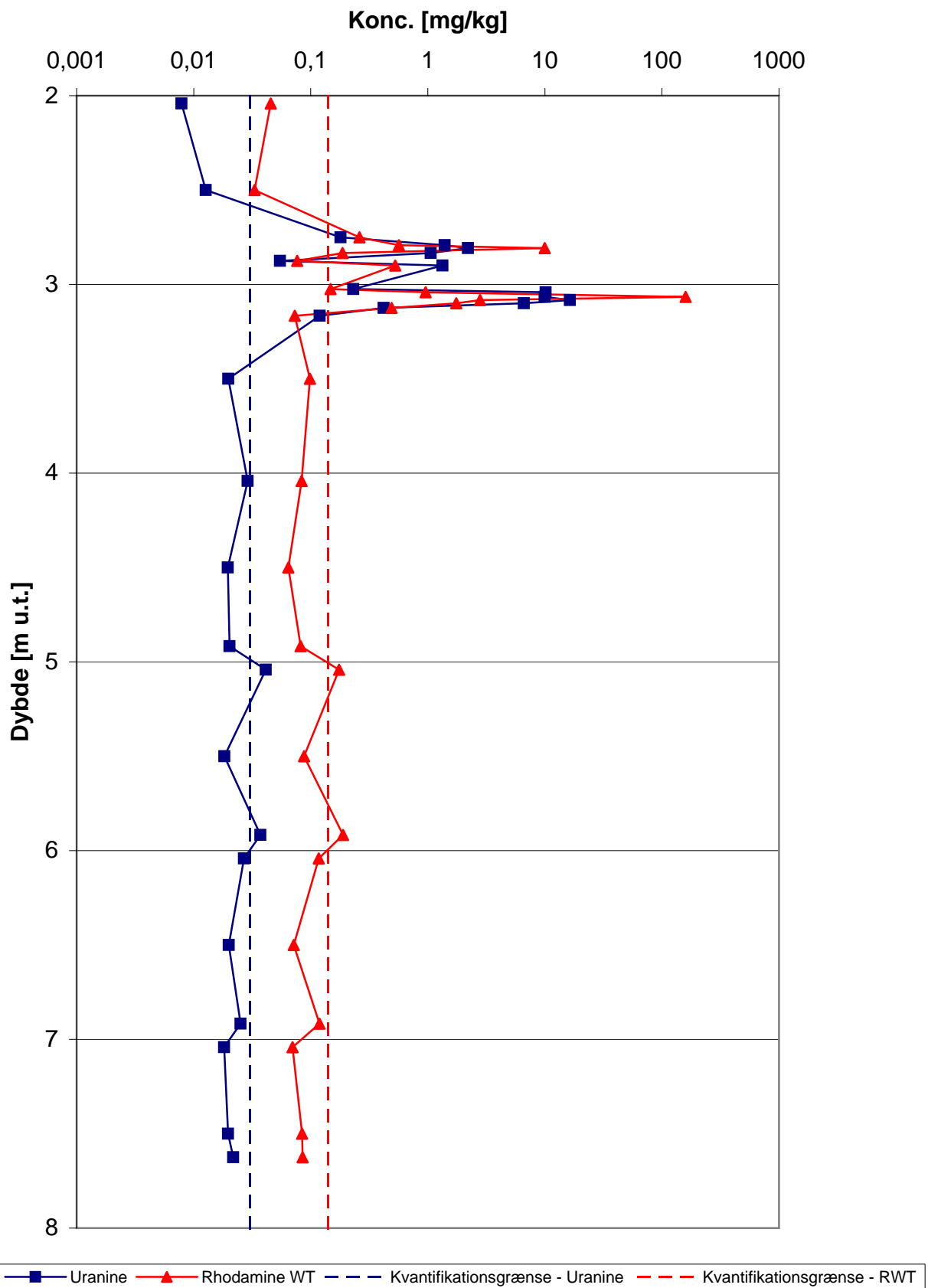
# KF8



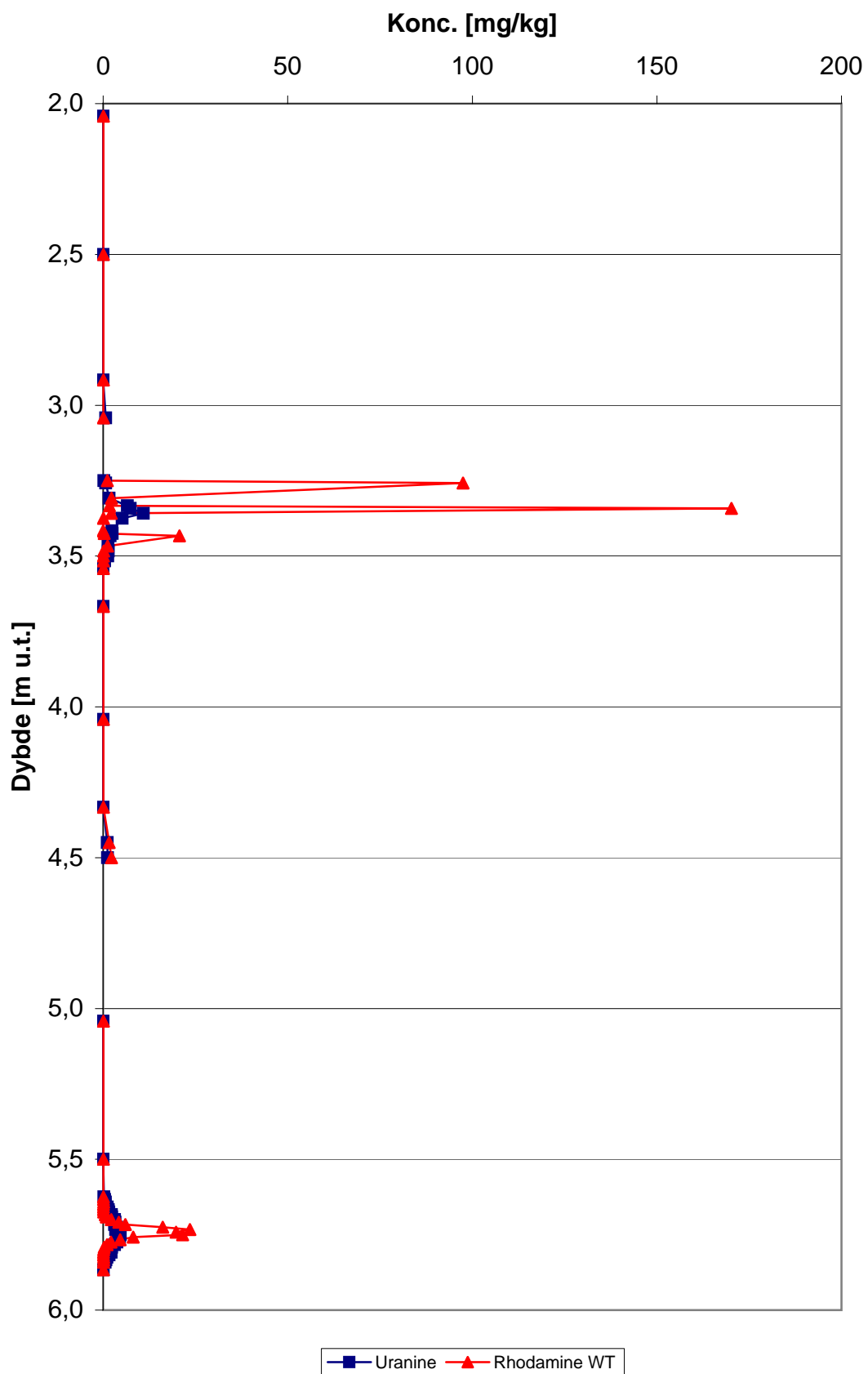
# KF9



# KF9

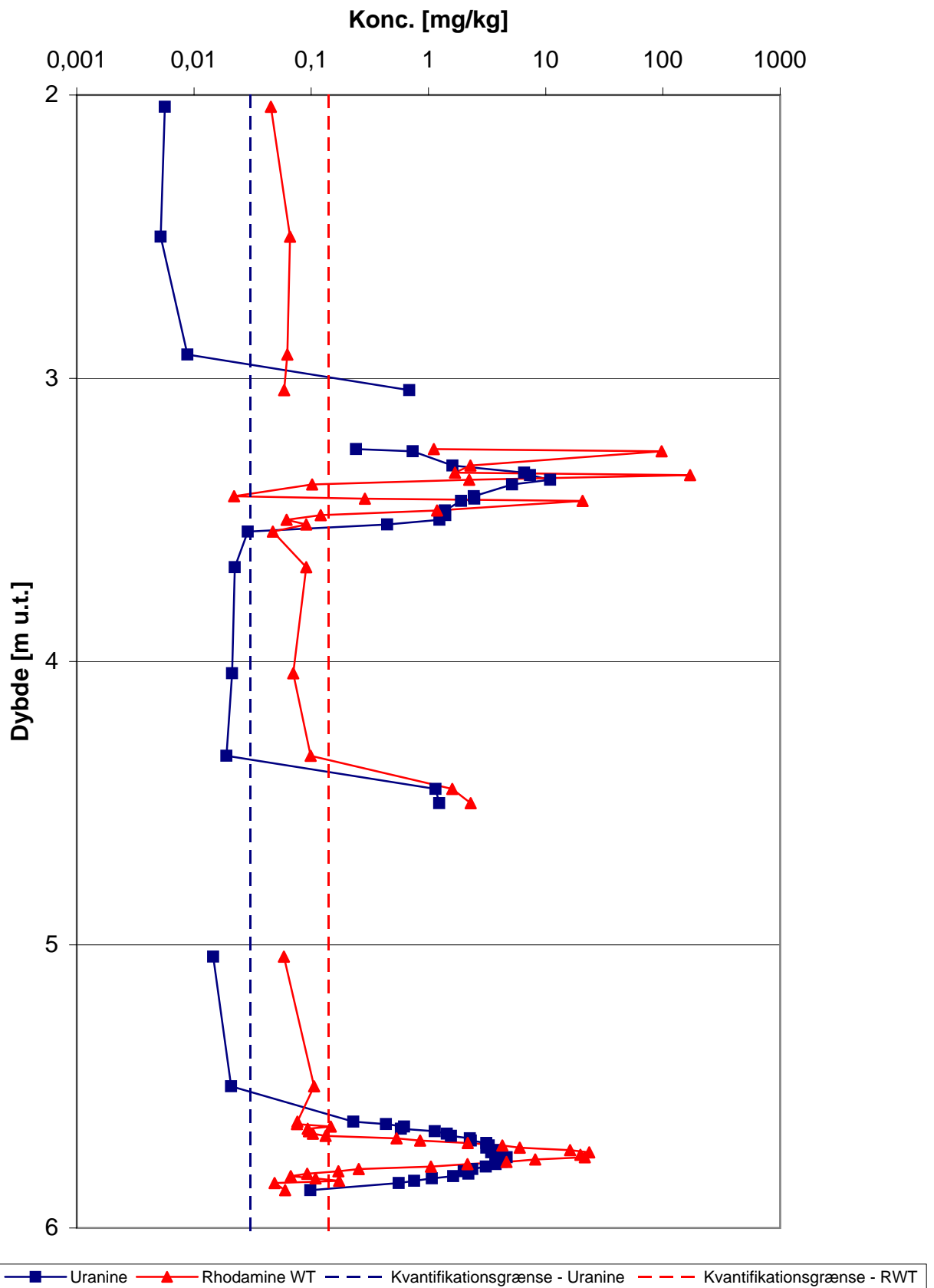


# KF10

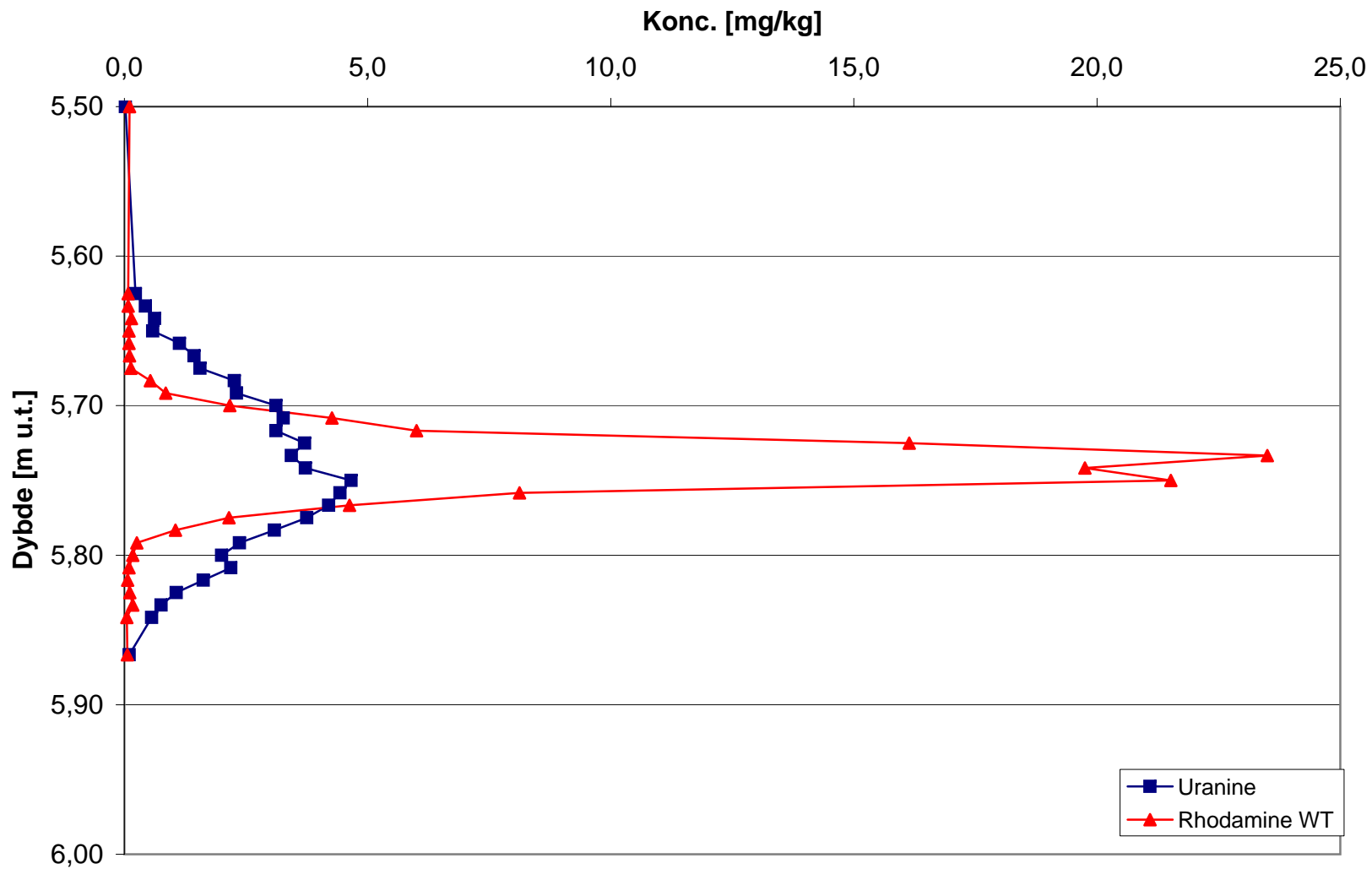




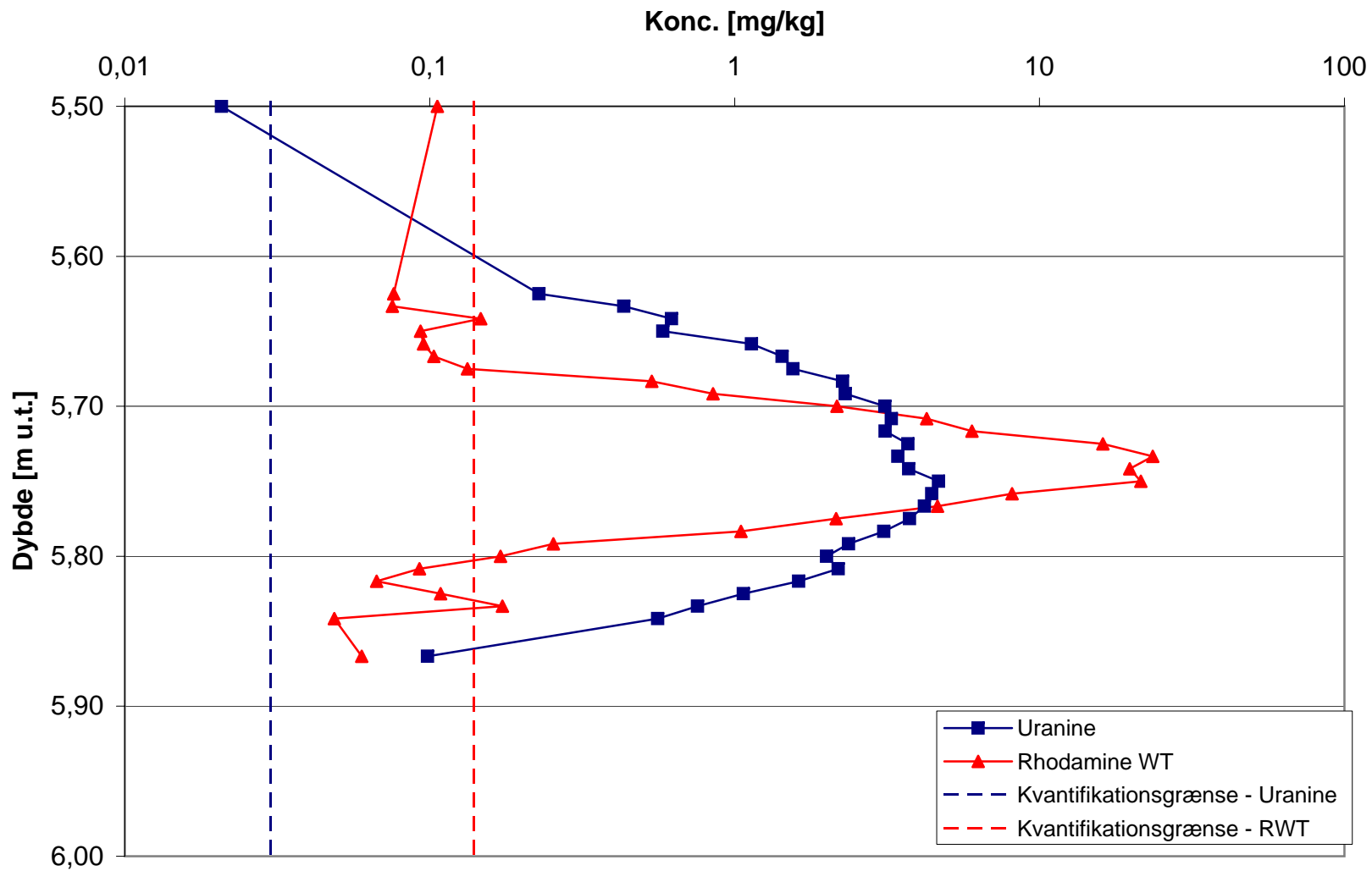
# KF10



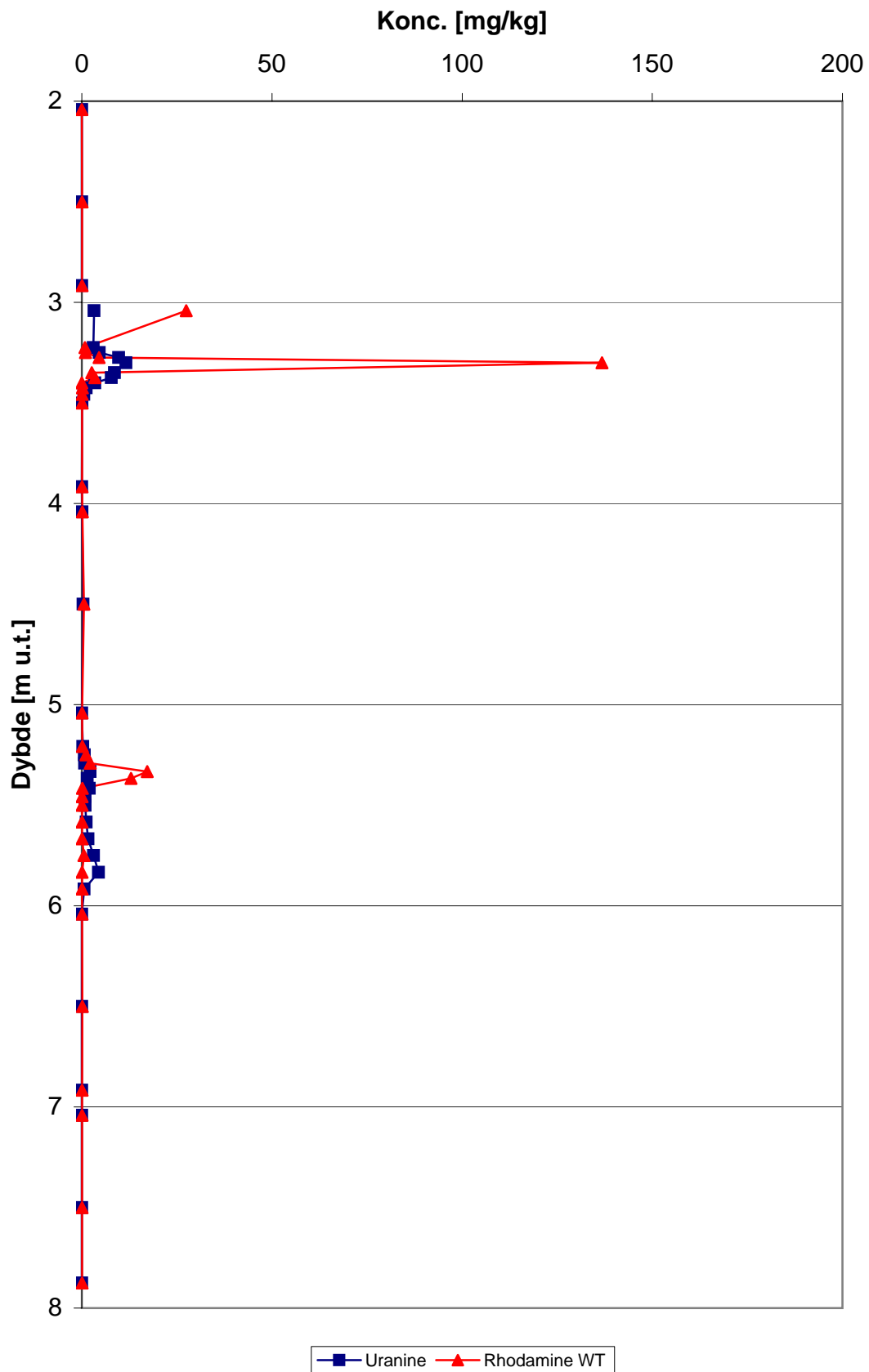
# KF10 5,5-6 m u.t.



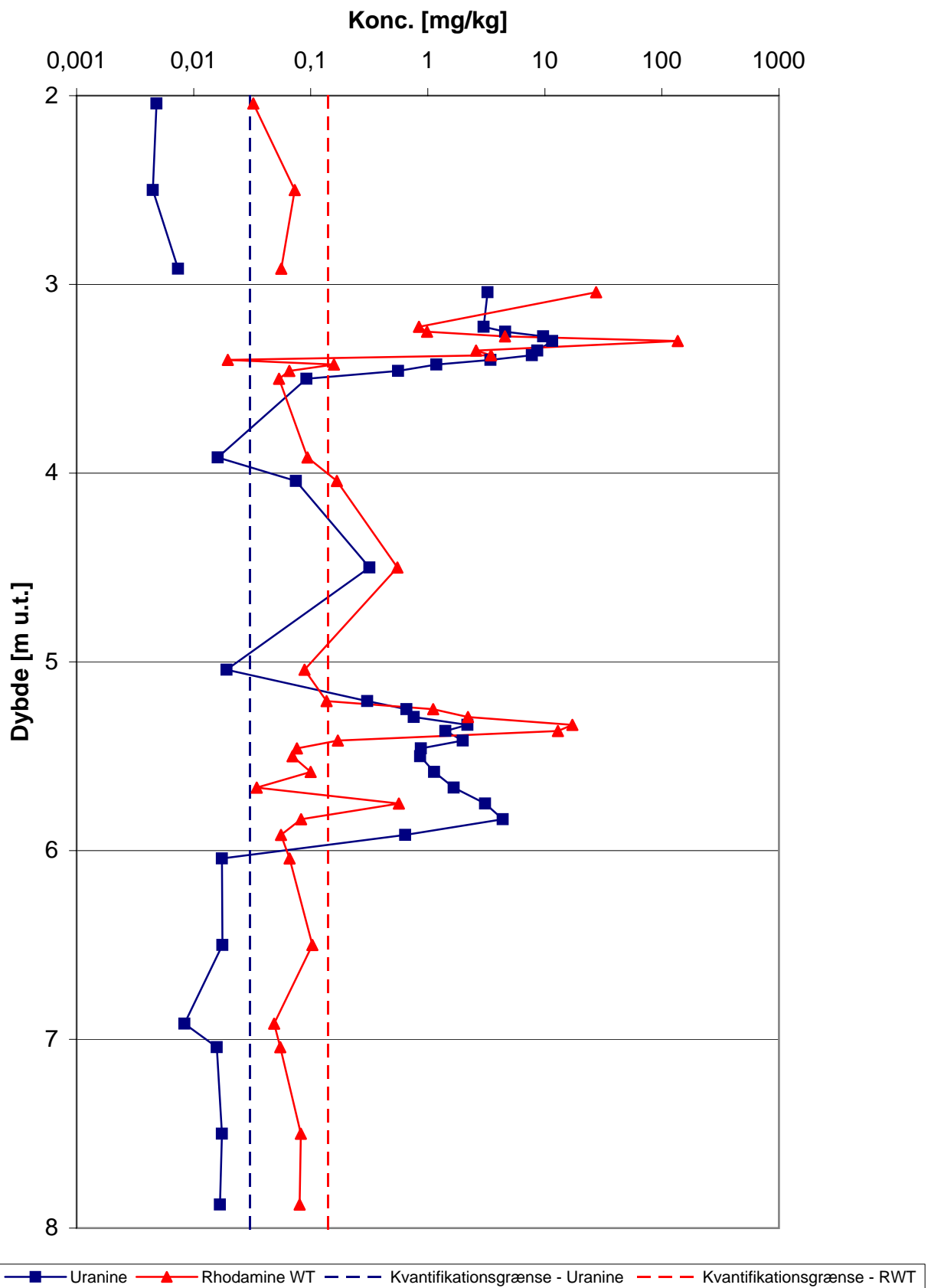
# KF10 5,5-6 m u.t.



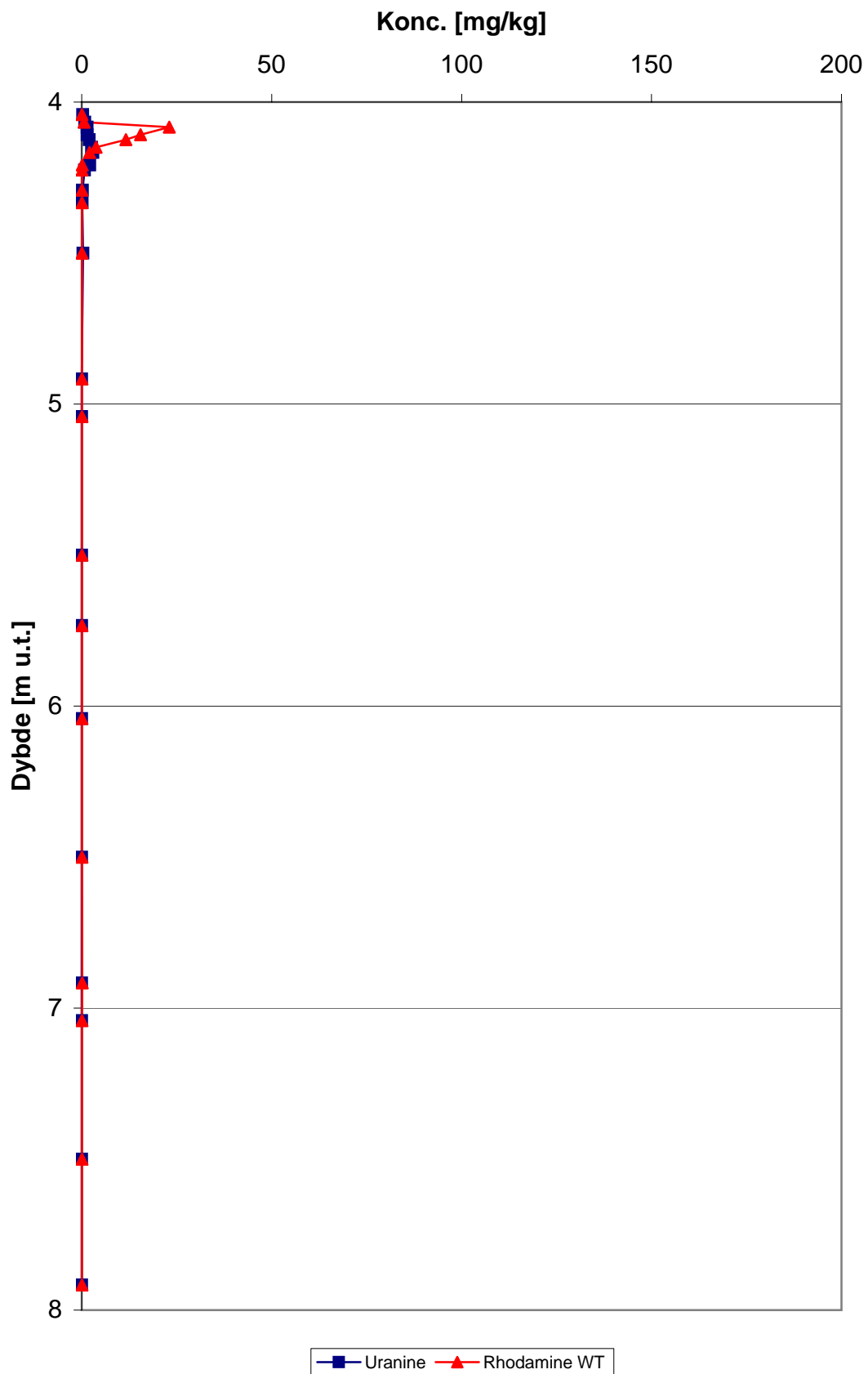
# KF11



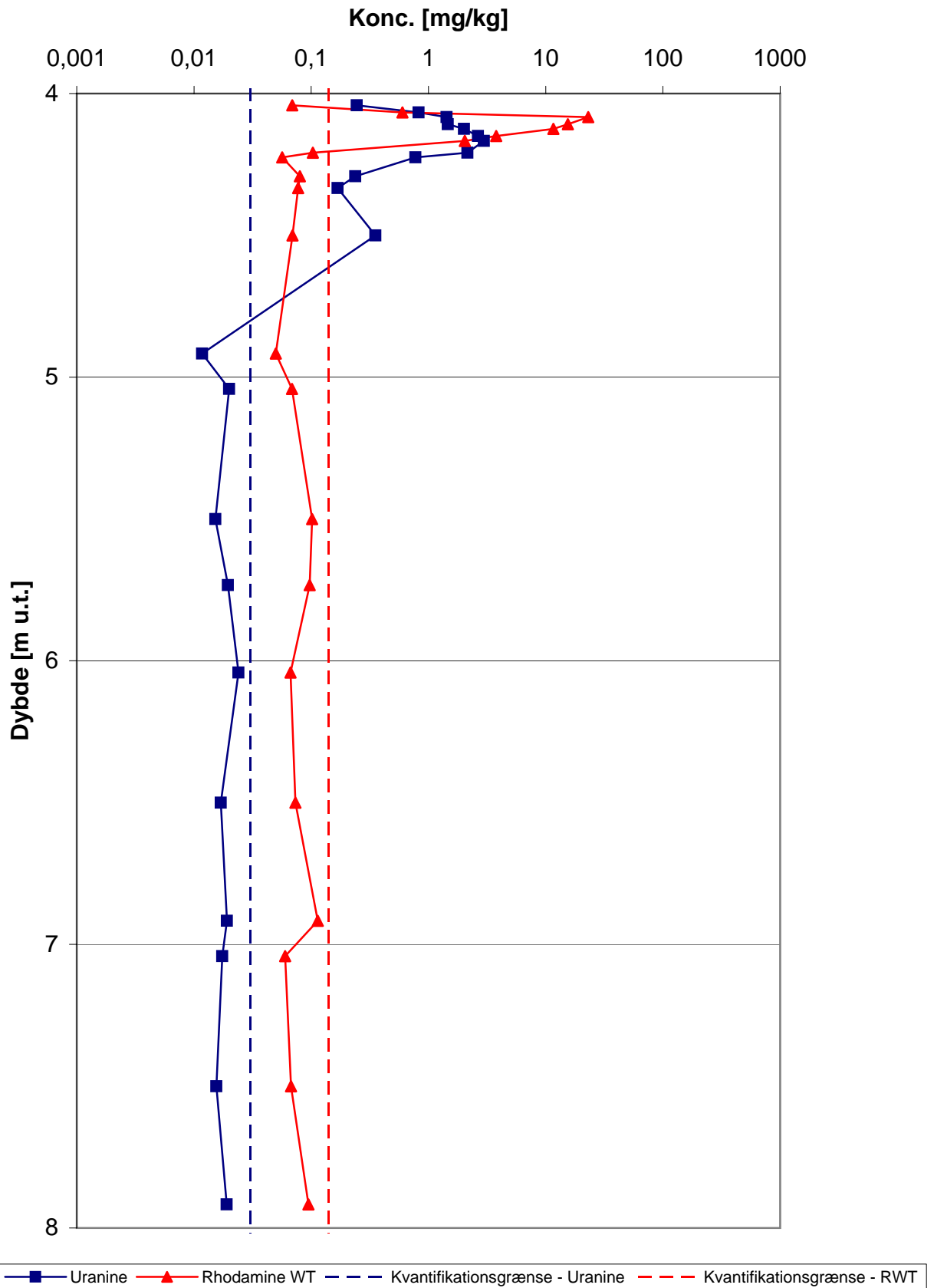
# KF11



# KF12



# KF12



---

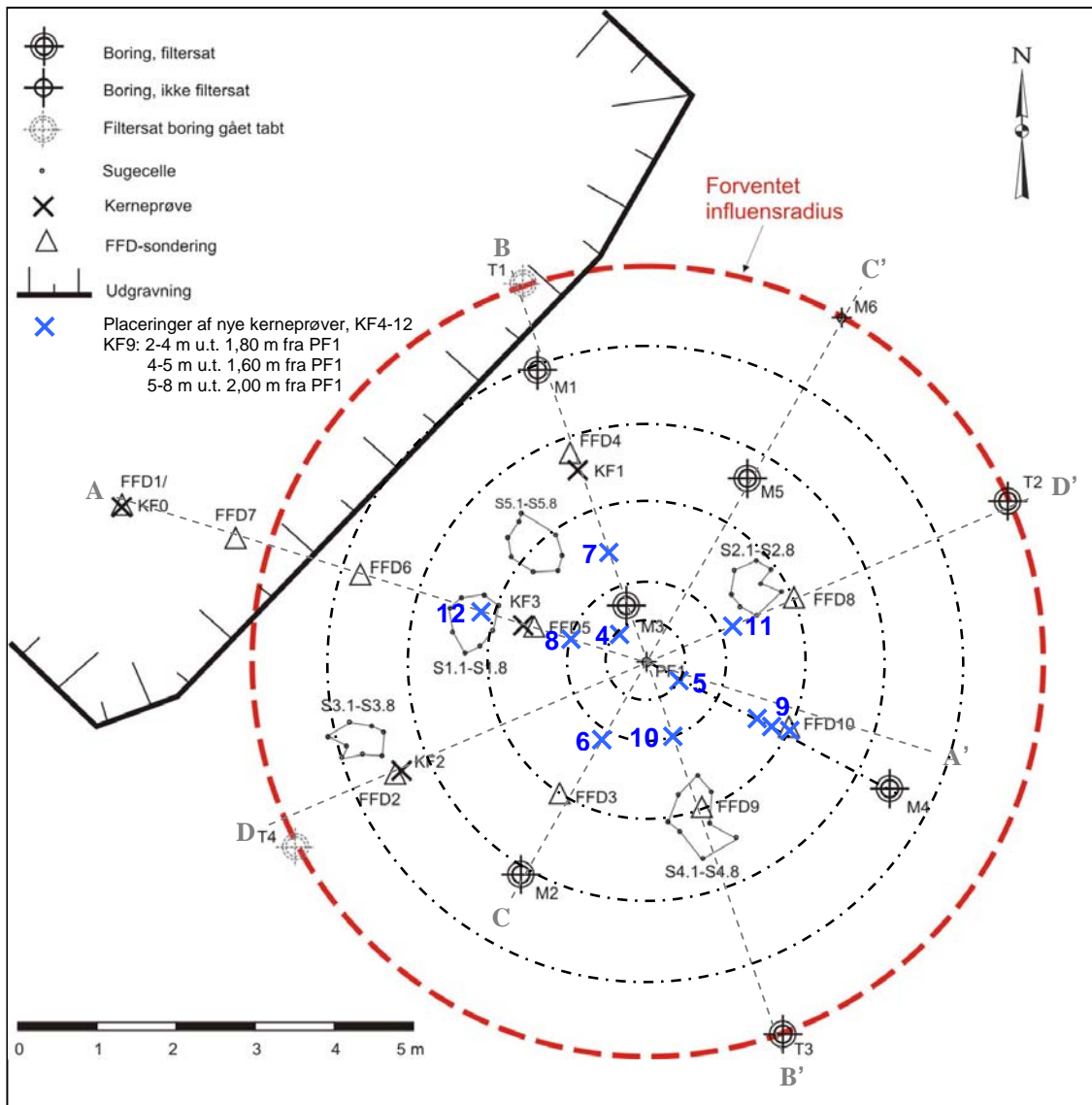
**Bilag 6**  
**Massebalanceberegninger**

---



## BILAG 6. Reviderede massebalanceberegninger

Der er udtaget 9 kerneboringer, KF4-KF12, i forbindelse med de supplerende undersøgelser på Vadsbyvej 16A i april-maj 2006. De nye kerneboringer har givet mulighed for at revidere de tidligere massebalanceberegninger (/1/, Bilag T) baseret på jordprøver, idet en større mængde data nu er indhentet inden for 0,5-2,25 meters afstand fra PF1.



**Figur 6.1:** Massebalancens delområder: 0-0,5m, 0,5-1 m, 1-2 m, 2-3 m og 3-4 m fra PF1.

De nye massebalanceberegninger er udført som følger: Inden for hvert delområde, angivet i Figur 6.1, er analyseresultater fra de nye kerneboringer holdt op imod resultater fra M-boringerne anvendt til massebalanceberegninger i /1/. Således er det vurderet, hvilke boringer der skulle indgå i de nye massebalanceberegninger, se Tabel 6.1. Ofte

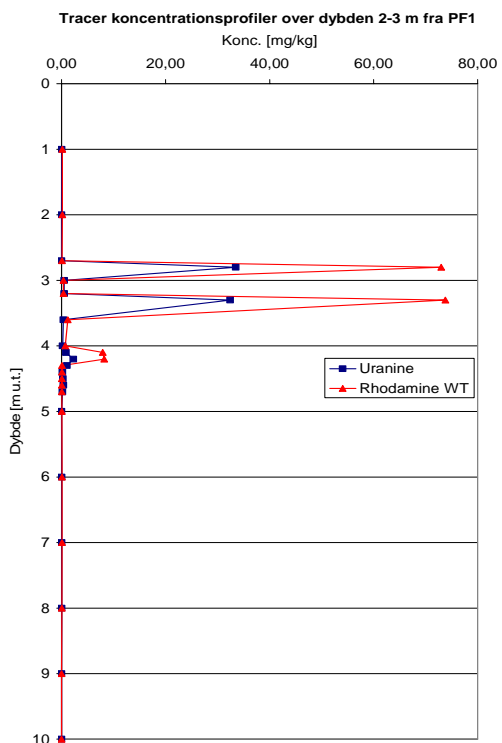
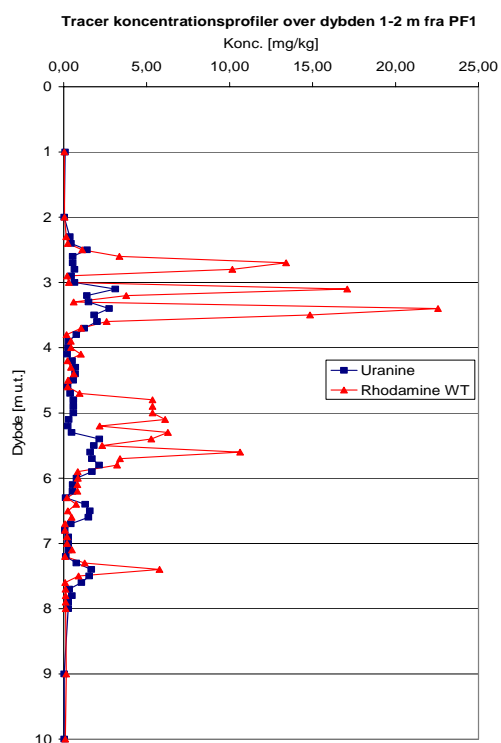
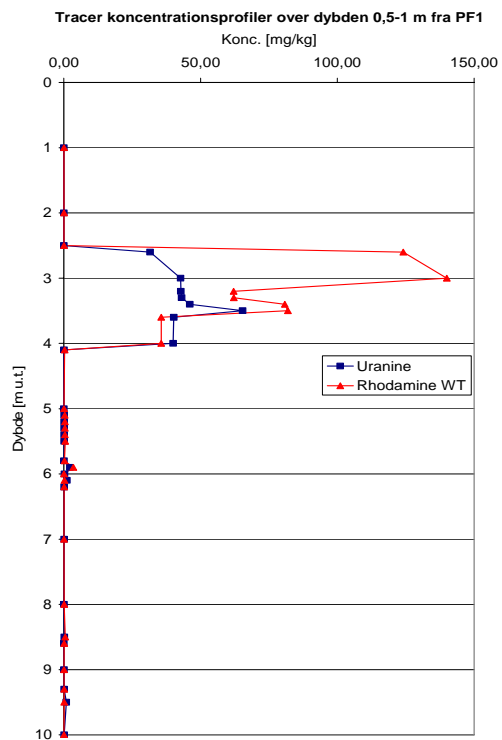
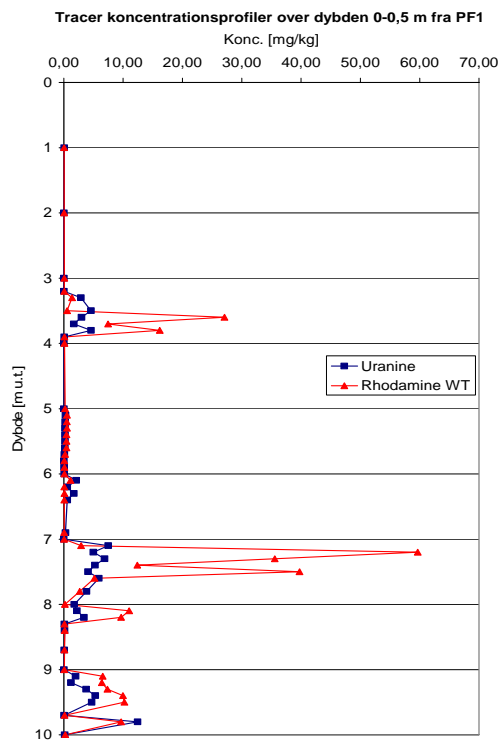
anvendes flere boringer inden for et givet område, vægtet efter hvor stor en del af området, de vurderes at repræsentere.

**Tabel 6.1:** Oversigt over data, der danner basis for hver af massebalancens delområder.

<b>Afstandsintervaller fra PF1</b>	<b>Baseret på boringerne:</b>
<b>0-0,5 m</b>	0-2 m baseret på M3; 2-7 m baseret på KF5; 7-10 m baseret på KF4 - vægtet ½
<b>0,5-1 m</b>	0-2 m baseret på M3; 2-4 m baseret på M3 og KF8; dog 3,5-4 m baseret på M3 og KF10; hver boring vægtet 1/2 4-10 m baseret på KF8
<b>1-2 m</b>	0-2 m baseret på M3; 2-8 m baseret på KF6, KF7, KF9 & KF11 (alle vægtet 1/4); 8-10 m baseret på KF7
<b>2-3 m</b>	0-4 m baseret på M5; data fra 2-3 m u.t. vægtet ½ 4-8 m baseret på KF12; 8-10 m antaget 0
<b>3-4 m</b>	Tidligere beregninger anvendt (ingen nye data i dette interval)

En vis usikkerhed må forventes i de nye massebalanceberegninger, idet data fra december 2005 og data fra april/maj 2006 indgår på lige fod, og noget tracermasse forventes at være blevet transporteret længere ud i og uden for området siden december. Det er ikke muligt at kvantificere usikkerheden, da de to datasæt ikke overlapper hinanden væsentligt. Usikkerheden forventes dog ikke at have betydning for de overordnede konklusioner.

De anvendte koncentrationsprofiler for hvert af de delområder, for hvilke massebalanceberegningerne er blevet revideret, ses i Figur 6.2.



**Figur 6.2:** Koncentrationsprofiler for de uranine og rhodamine WT anvendt ved de nye massebalanceberegninger for intervallerne 0-0,5 m, 0,5-1 m, 1-2 m og 2-3 m.

Tracerfordelingen i jorden inden for testfeltet ser på baggrund af de nye massebalanceberegninger ud som angivet i nedenstående tabel 6.2.

Afstand fra PF1	Tracer masse i hvert delområde omkring PF1 estimeret ud fra jordprøver					% af total mængde injiceret	
	Uranine	RWT	Delvolumen	Uranine	RWT	Uranine	RWT
[m]	[g]	[g]	[m <sup>3</sup> ]	[g/m <sup>3</sup> ]	[g/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]
0-0,5	10	25	8	1	3	1	2
0,5-1	277	520	24	12	22	16	31
1-2	91	288	94	1	3	5	17
2-3	166	397	157	1	3	10	24
3-4	74	138	220	0	1	4	8
Total – estimeret	618	1368				35	83

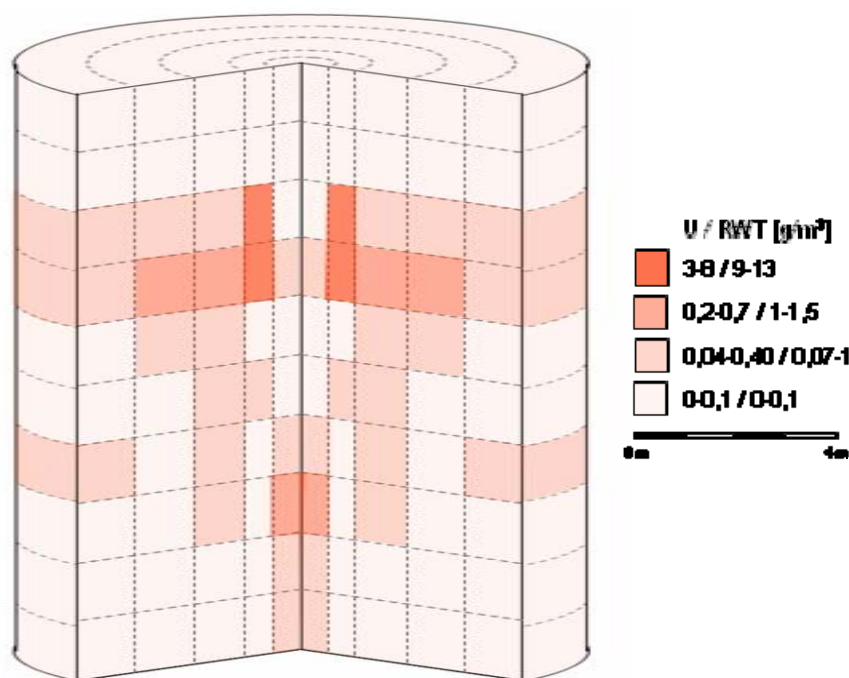
Dybde	Tracer masse i hvert injektionsinterval estimeret ud fra jordprøver					% af mængde injiceret i det enkelte injektionsinterval	
	Uranine	RWT	Delvolumen	Uranine	RWT	Uranine	RWT
[m u.t.]	[g]	[g]	[m <sup>3</sup> ]	[g/m <sup>3</sup> ]	[g/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]
0-1	3	8	50	0,1	0,2	-	-
1-2	1	8	50	0,0	0,2	-	-
2-3	168	472	50	3,3	9,4	-	-
3-4	336	593	50	6,7	11,8	93	172
4-5	34	96	50	0,7	1,9	9	28
5-6	30	95	50	0,6	1,9	8	28
6-7	23	49	50	0,5	1,0	6	14
7-8	19	42	50	0,4	0,8	5	12
8-9	1	6	50	0,0	0,1	-	-
9-10	4	6	50	0,1	0,1	-	-
Total – estimeret	619	1373	% af total mængde injiceret indeholdt i injektionsintervaller			24	51
			% af total mængde injiceret indeholdt over og under			10	30
			% af total mængde injiceret			35	81

**Tabel 6.2:** Fordeling af tracerne uranine og rhodamine WT (RWT) i jorden i hhv. 5 afstandsintervaller fra injektionsboringen PF1 og i 10 1-meters dybdeintervaller fra 0-10 m u.t.

Af Tabel 6.2 fremgår det, at hovedparten af tracermassen i dag (ultimo april 2006) findes 3-4 m u.t. i 0,5-1 meters afstand fra PF1. Dette er i god overensstemmelse med de kvalitative/visuelle observationer, jf. Tabel 2.3, Bilag 2, samt Bilag 5. Der kan redegøres for næsten hele den injicerede masse af rhodamine WT, da denne i høj grad er sorberet på sprække overflader. Derimod kan der kun redegøres for ca. 35 % af den injicerede uranine-masse. Dvs. en stor del forventes at være blevet transporteret uden for PF1's umiddelbare influensradius via horisontalt flow i området, da uranine sorberer langt

mindre end rhodamine WT, og dermed i højere grad vil udvaskes. Nedenstående Figur 6.3 illustrerer massefordelingen over både dybde og afstand fra PF1.

Usikkerheden på de kvantificerede masser (givet ved kvantifikationsgrænsen for de to tracere, se evt. Bilag 2) er givet i Tabel 6.4. Heraf ses det, at usikkerheden er ubetydelig for de 4 inderste af massebalancens delområder, mens der forefindes en signifikant usikkerhed på 40 % for kvantificeringen af rhodamine WT i massebalancens yderste delområde.



Figur 6.3: Illustration af tracer-massefordelingen over dybde og afstand fra PF1.

Afstand fra PF1	Delvolumen	Usikkerhed på massekvantifikation i delvolumen		% af estimeret masse i delvolumen	
		Uranine [g]	RWT [g]	Uranine	RWT
[m]	[m <sup>3</sup> ]				
0-0,5	8	0,42	1,98	4	8
0,5-1	24	1,27	5,94	0	1
1-2	94	5,09	23,75	6	8
2-3	157	8,48	39,58	5	10
3-4	220	11,88	55,42	16	40

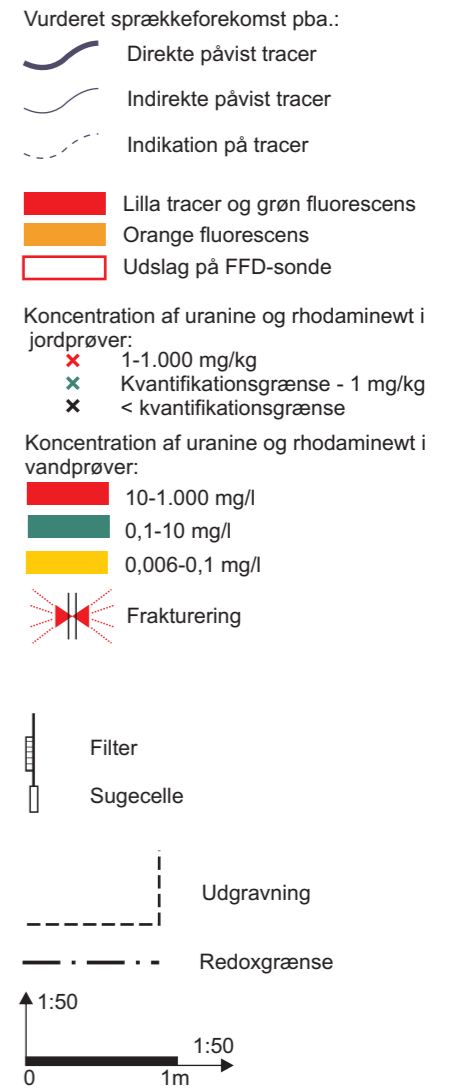
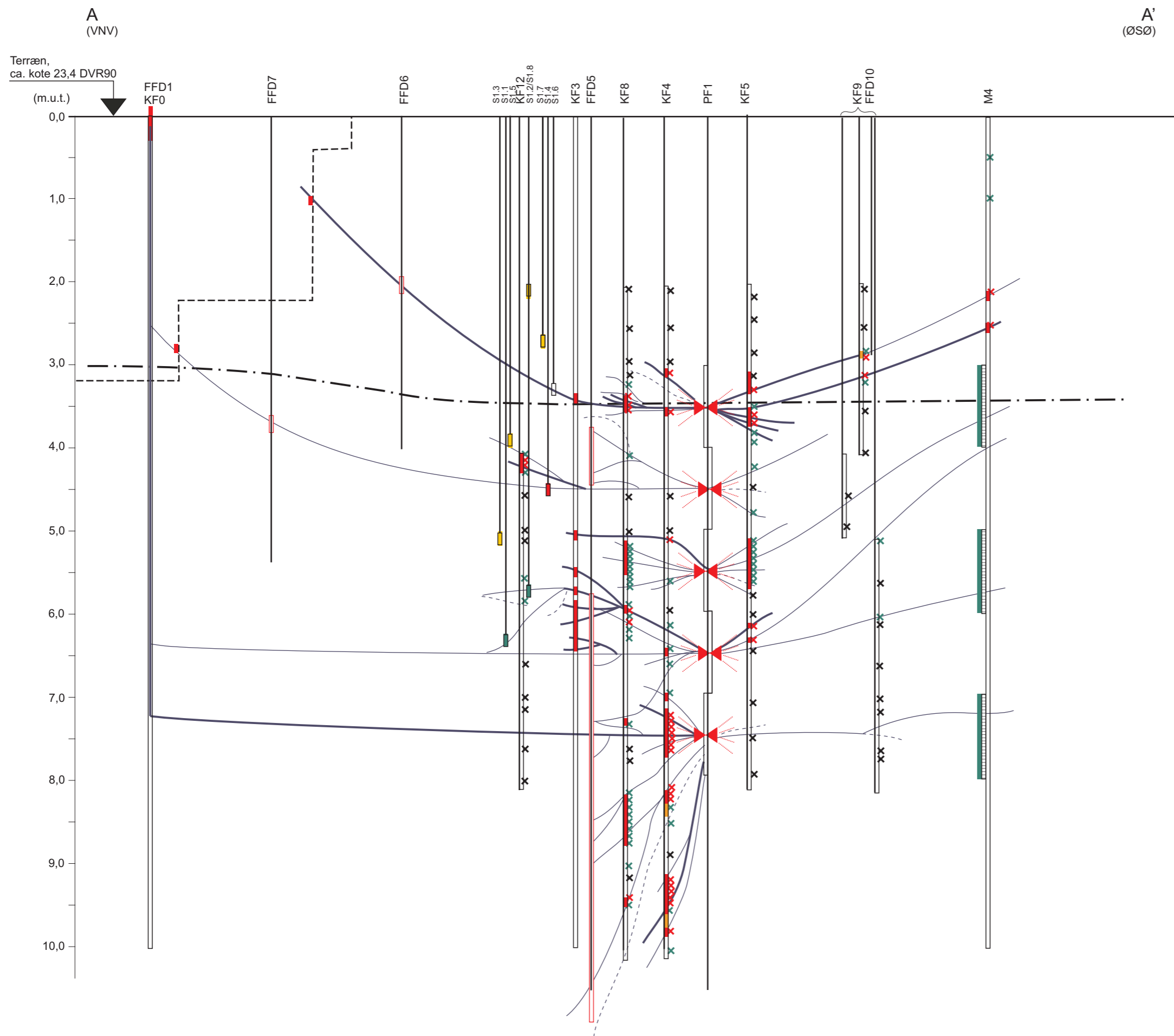
**Tabel 6.4:** Usikkerhed på estimerede tracer-masser i massebalancens 5 delområder.

Dermed kan det konkluderes at størstedelen af den injicerede tracer masse er blevet fordelt inden for 2 m af injektionsboringen PF1. Langs visse isolerede linier er væsentlige mængder tracer dog nået helt ud i 4+ m's afstand af PF1. Den effektive influensradius vurderes konservativt til 2 m.

---

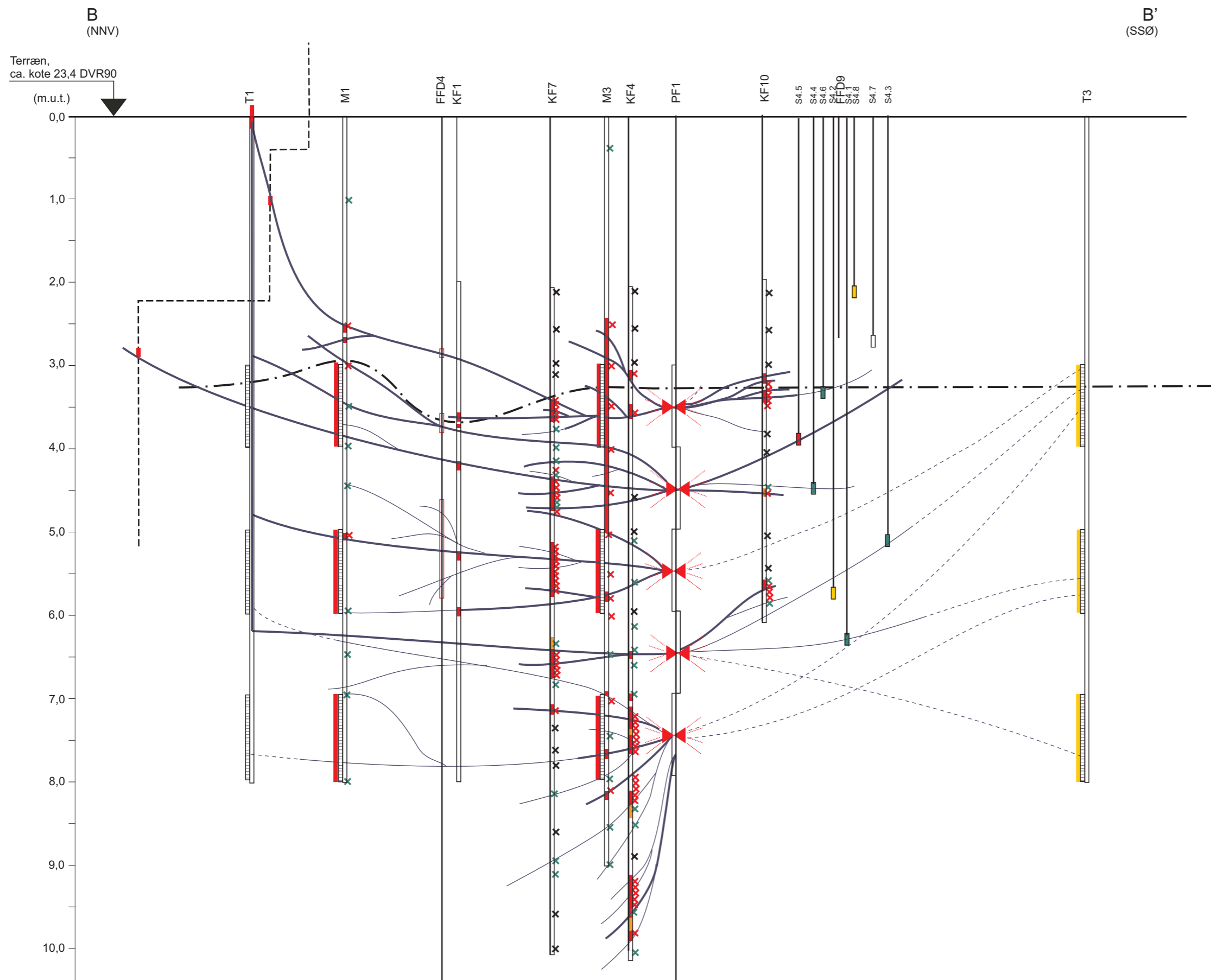
**Bilag 7**  
**Profilsnit med vurderet sprækkeudbredelse**

---



**Bilag 7**  
**Vadsbyvej 16A, Hedeusene**  
 Frakturering  
 Profilsnit A - A'

Sag nr.: 03792.04

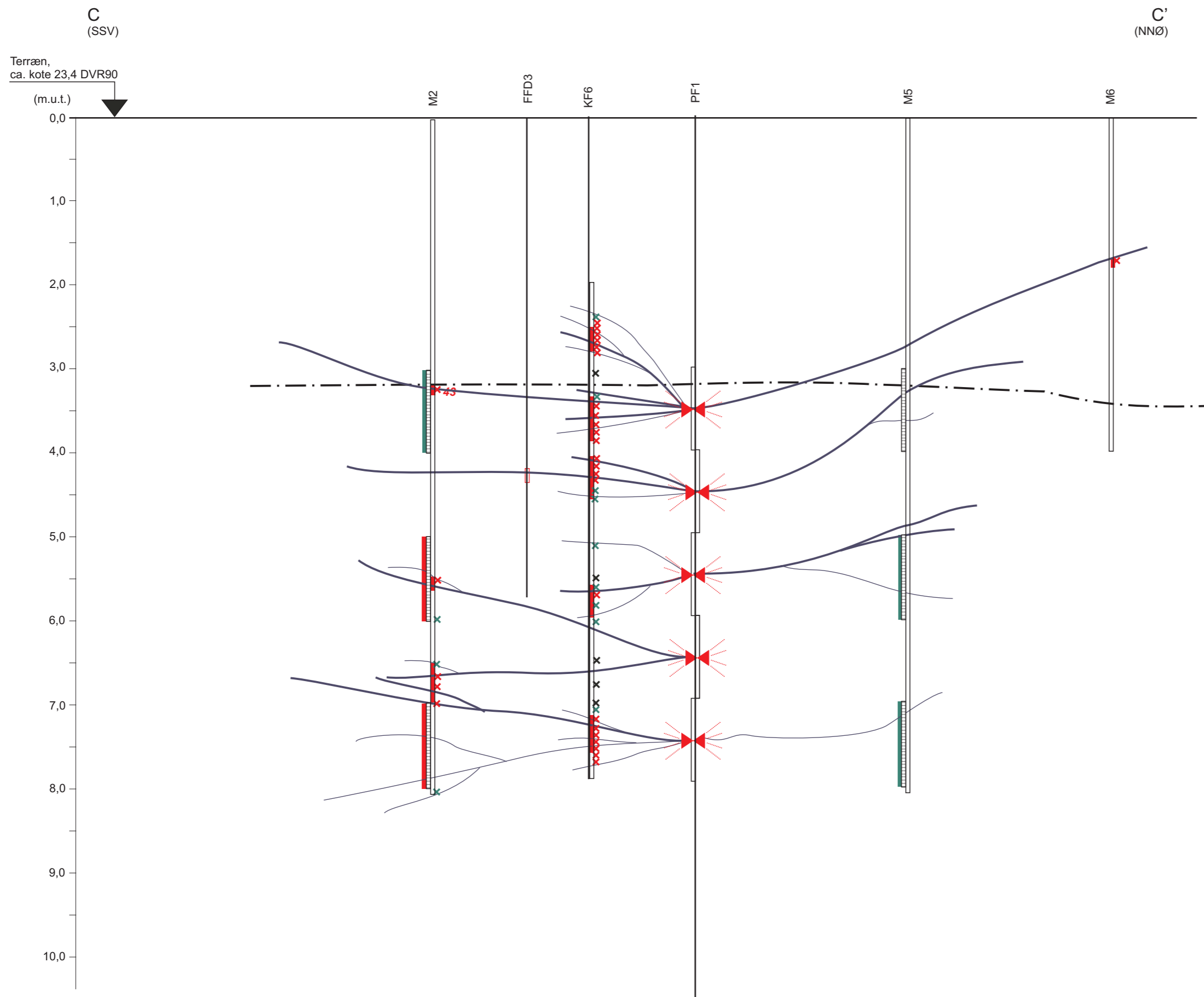


- Vurderet sprækkeforekomst pba.:
- Direkte påvist tracer
  - Indirekte påvist tracer
  - Indikation på tracer
- Lilla tracer og grøn fluorescens  
 Orange fluorescens  
 Udslag på FFD-sonde
- Koncentration af uranine og rhodaminewt i jordprøver:
- 1-1.000 mg/kg
  - Kvantifikationsgrænse - 1 mg/kg
  - < kvantifikationsgrænse
- Koncentration af uranine og rhodaminewt i vandprøver:
- 10-1.000 mg/l
  - 0,1-10 mg/l
  - 0,006-0,1 mg/l
- Frakturering
- × Jordprøve  
 Filter  
 Sugecelle
- Udgravning  
 Redoxgrænse
- 1:50  
 0 1m

**Bilag 7**  
**Vadsbyvej 16A, Hedeusene**  
 Frakturering  
 Profilsnit B - B'

Sag nr.: 03792.04



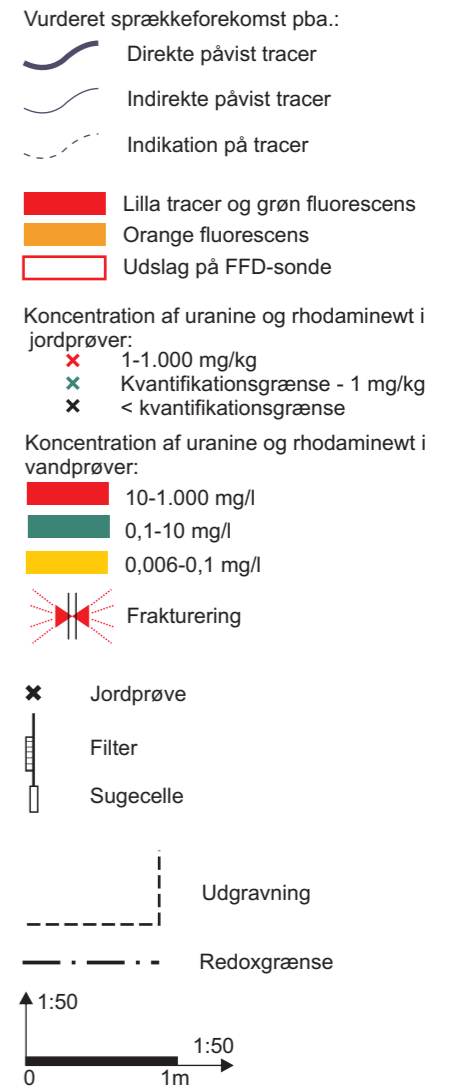
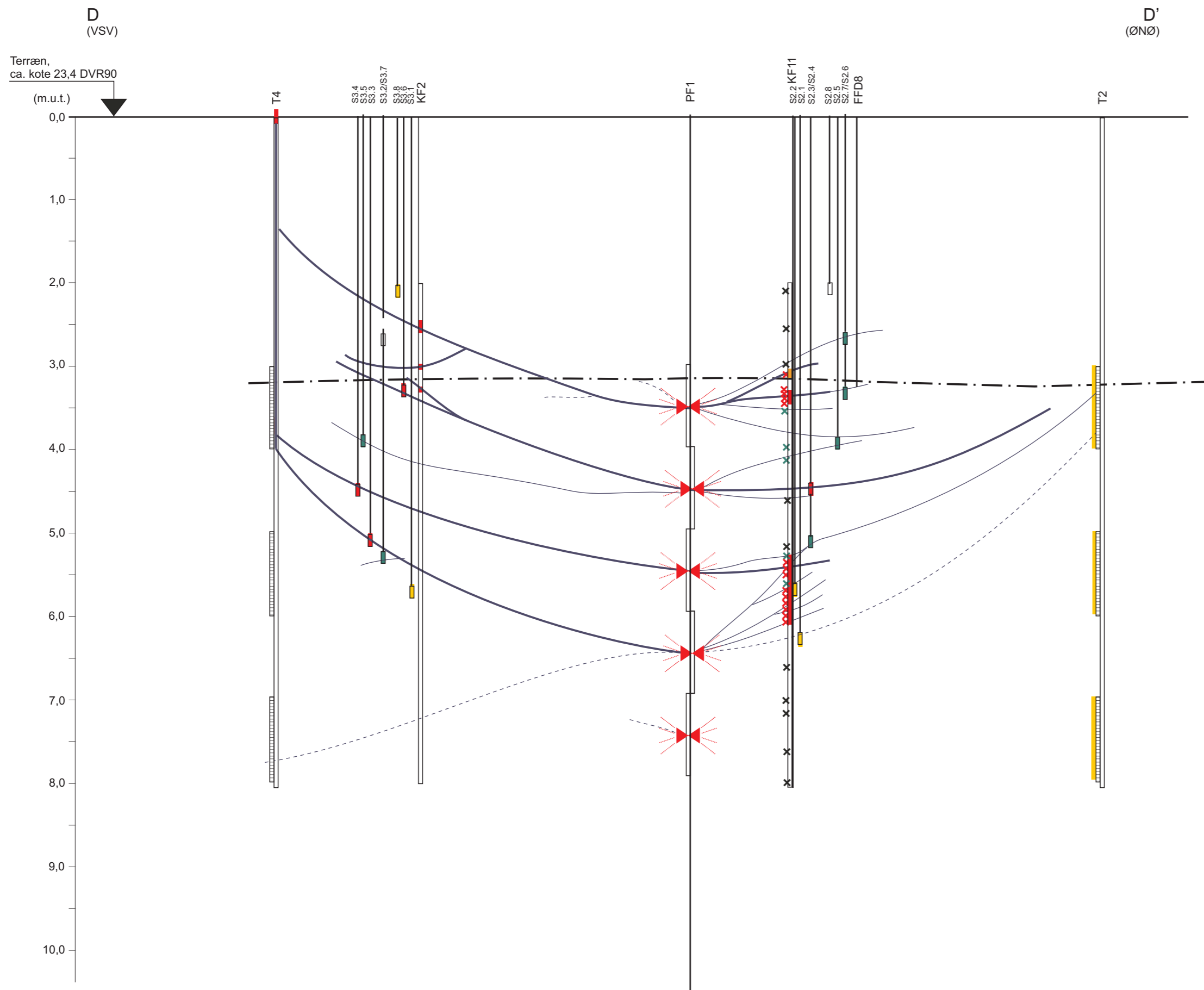


- Vurderet sprækkeforekomst pba.:
- Direkte påvist tracer
  - Indirekte påvist tracer
  - Indikation på tracer
- Lilla tracer og grøn fluorescens  
 Orange fluorescens  
 Udslag på FFD-sonde
- Koncentration af uranine og rhodaminewt i jordprøver:
- 1-1.000 mg/kg
  - Kvantifikationsgrænse - 1 mg/kg
  - < kvantifikationsgrænse
- Koncentration af uranine og rhodaminewt i vandprøver:
- 10-1.000 mg/l
  - 0,1-10 mg/l
  - 0,006-0,1 mg/l
- Frakturering
- Jordprøve  
 Filter  
 Sugecelle
- Udgravning  
 Redoxgrænse
- 1:50  
 0 1m

**Bilag 7**  
**Vadsbyvej 16A, Hedeusene**  
 Frakturering  
 Profilsnit C - C'

Sag nr.: 03792.04

Juni 2006



**Bilag 7**  
**Vadsbyvej 16A, Hedeusene**  
 Frakturering  
 Profilsnit D - D'

Sag nr.: 03792.04

Juni 2006



---

**Bilag 8**  
**Oversigt over forureningsudbredelse i moræneler på 7**  
**lokaliteter med forurening med chlorerede**  
**opløsningsmidler**

---

## Bilag 8

Oversigt over forureningsudbredelse i moræner på lokaliteter med forurening med chlorerede opløsningsmidler. Dybder og dybdeintervaller i m u.t.

Lokalitet	Vadsbyvej	Baldersbækvej	Naverland	Vesterbrogade	Gl. Kongevej	Sortebrovej	Rugårdsvej	
Periode	1973-1976	1970-1990	1965-1983	Ca. 1960-?	1963-1987	1951-1995	1950-1988	
<b>Geologi og hydrogeologi</b>								
Geologi	R,F	0-2,7	0-2,4; vm	0-5	0-2; vm	0-3	0-4	
	K,ML	2,7->20	2,4-11	5-8	2-8	3-9	4-33	
	K,S	14-18; vm	4,7-6,3; vm	1,5-7,5; vm (0-2,7 m)	7-8; us; vm	3-4; us; vm	10-17 us; 25-30 us, vm; 38-55*, vm	11-16 (m); vm (1-3 m) 16-20 (n)
	T,K	>20	11-	7-	8-	9-	>55-	33- (sand)
VSs	6,5 (ø) 7,1 (n)	1-1,5	Kort boring tør	4,4-5,5	2,5-3,2	6,6-11,6 (ML) 26,5 (S)	1-3 (ø) 3-4 (m) 3-4 (n)	
VSp	i.m.	0,9	7,5	6,5	3,3-3,7	27*	4-5	
Redoxgr.	3,2-3,5	2,2-3	3,6-6	2,3-3,4	2,7-3,4	3,9-4,5	4,1-4,4	
Sandslirer	Ikke omtalt. Stærkt sandede partier	I ML over og under K,S	I ML 2-4,5, ML generelt våd/fugtig	Ikke omtalt	I ML flere i 2,5-3,6, få i 4,5-5 og 7	Af og til er truffet sandslirer eller sandlag i ML	3-6,5	
Sprækker	Ikke omtalt (se tidl. afs.)	Ikke omtalt	Okkerudf. i ML 2-4	Okkerudf./- striber i ML 2-8	Enkelte okkerudf. I ML 2,5-4	Ikke omtalt		
<b>Forurening, kildeområde</b>								
PID >1000	3	4	1-1,5; 2,5; 4,5; 6; 7,5- 8,5	2,5-7,5	4-6	-	3,5-7	
PID > 100	0,3-1; 2,5-3; 4; 7,5-8,5	3,5-4	1-8,5	0,5-7,5	2-7	10-18	4-8,5	
PID > 10	0,3-9	0,5-5	0,5-15	0,5-7,5	2-7	4-18	0,5-9	
PID >1	0,3-9	0,5-7	0,5-15	0,5-9	0,5-7	4-19	0,5-9	
Max. Jordkonc. (mg/kgTS)	9,9	840	i.m.	18	53	i.m.	98	
Max. Vandkonc. (µg/l)	1580 (ø) 43600 (n)	1100	263000	6900	695000	34000	12400 (ø) 33000 (m) 24 (n)	
Fri fase indikation	-	+, jord	+, jord (Sudan 4), vand, primært	-	+, vand	-	-	
<b>Forurening, fane</b>								
PID >1000	-		-	-	-	-		
PID > 100	-		-	-	-	-		
PID > 10	-		-	4,5-6	3	-		
PID >1	Alle	i.m.	Mange	2,5-7	3	-		
Vandk. s, max	36 (ø) 2600 (n)	870	Tørt	13800	3800	230	640	
Udbredt i	K,S	K,S	T,K	K,S	K,S og T,K	Nedsivet K,S	K,S	
Vandk. p, max	i.m.	12	31500 (kilde, dybest) 59500 (fane, øverst)	8	3000	<2*	<	

**Forkortelser:**

**R,F:** Fyld og recente aflejringer;

**K,ML:** Kvartære aflejringer overvejende bestående af moræneler,

**K,S:** Kvartære aflejringer bestående af morænesand eller smeltevandssand (oftest indlejret i moræneleren, sekundære magasiner);

**T,K:** Tertiære aflejringer overvejende bestående af kalk (primært magasin); us: usammenhængende indslag;

**vm:** varierende mægtighed;

**VSS:** vandspejl for øvre sekundært magasin;

**VSp:** vandspejl for primære magasin;

**PID:** udslag på photoionisationsdetektor (svarende til ppm butane i luft);

**(ø):** øvre filter i ML;

**(n)** nedre filter i ML eller S;

**\***: primært magasin i sandlag.