

Ringe Tjære- og Asfaltfabrik. Naturlig nedbrydning af tjærestoffer i grundvandsmagasinet

Udviklingsprojekt. Feltundersøgelse

Broholm, Mette Martina

Publication date:
2007

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Broholm, M. M. (2007). Ringe Tjære- og Asfaltfabrik. Naturlig nedbrydning af tjærestoffer i grundvandsmagasinet: Udviklingsprojekt. Feltundersøgelse. Kgs. Lyngby: Miljø og Ressourcer DTU, Danmarks Tekniske Universitet, Region Syddanmark & Miljøstyrelsen.

DTU Library Technical Information Center of Denmark

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

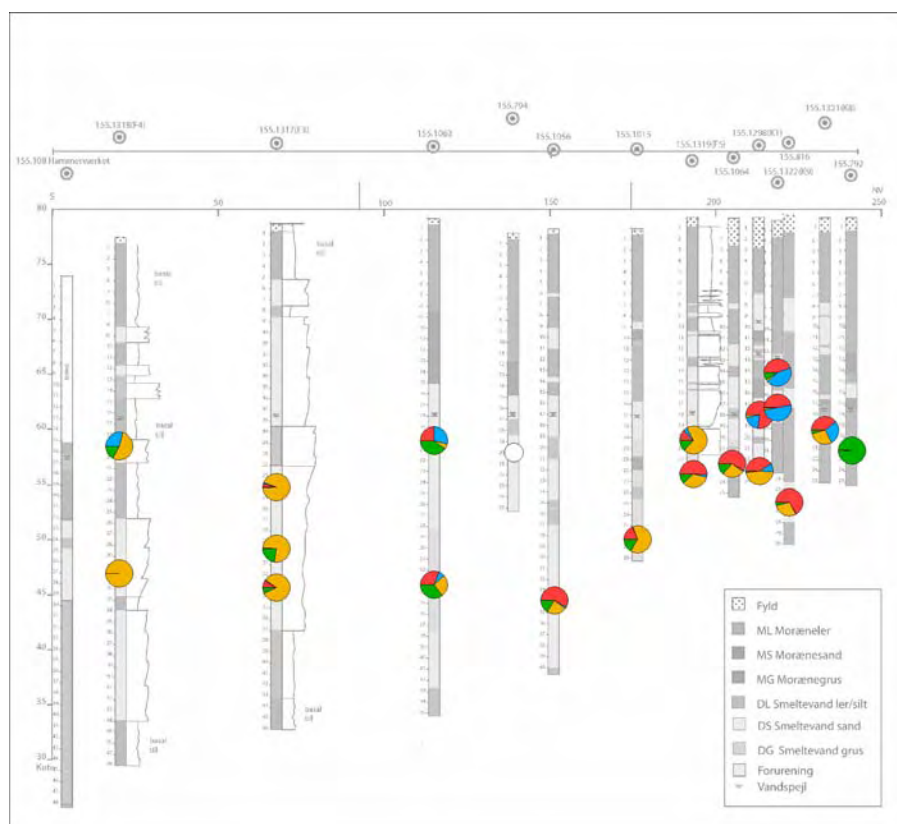
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Ringø Tjære- og Asfaltfabrik

Naturlig nedbrydning af tjærestoffer i grundvandsmagasinet

Udviklingsprojekt. Feltundersøgelse.

April 2007



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik
Naturlig nedbrydning af
tjærestoffer i
grundvandsmagasinet
Udviklingsprojekt. Feltundersøgelse.

Mette M. Broholm, Institut for Miljø og Ressourcer, Danmarks
Tekniske Universitet

April 2007

Indholdsfortegnelse

FORORD.....	3
1.1 Formål.....	4
2 UNDERSØGELSER	5
2.1 Traditionelle feltundersøgelser	5
2.2 Specifikke nedbrydningsprodukter	5
2.3 Isotopfraktionering.....	6
3 SAMMENSÆTNING, TRANSPORT OG OPLØSNING AF TJÆRE	9
3.1 Transport og fordeling af tjære	9
3.2 Sammensætning af tjære	10
3.3 Opløsning af tjærestoffer	12
3.4 Grundvandspåvirkning i kildeområdet.....	13
3.5 Udvikling i sammensætning af tjære (NAPL) og sammensætning af tjærekomponenter i grundvandet	15
4. TRANSPORT OG UDBREDELSE AF TJÆRESTOFFER I SANDMAGASINET	17
4.1 Tilbageholdelse ved sorption i sandmagasin	17
4.2 Forureningsudbredelse i grundvandsmagasinet	18
5 NEDBRYDNING I GRUNDEVANDSMAGASIN VED RTA	23
5.1 Redoxforhold i grundvandsmagasin ved RTA.....	23
5.2 Nedbrydningspotentiale for tjærestoffer	24
5.3 Belysning af nedbrydning i forureningsfanen ved ændringer i stofsammensætningen.	25
5.4 Belysning af nedbrydning i forureningsfanen ved specifikke nedbrydningsprodukter	33
5.5 Belysning af nedbrydning i forureningsfanen ved isotopfraktionering	34
6 SAMLET VURDERING AF FORDELING, TRANSPORT OG NATURLIG NEDBRYDNING AF TJÆREKOMPONENTER I GRUNDEVANDSMAGASINET	38
8 REFERENCER.....	40

Bilag

Bilag 1: Resultater fra /3/ for analyser af jord og grundvand

- 1.1: Situationsplan med boringsplaceringer
- 1.2: Analyseresultater for jordprøver
- 1.3: Analyseresultater for vandprøver
- 1.4: Lokalitetsplaner med data for sum og hovedgrupper af tjærestoffer og udvalgte problemstoffer i grundvand
- 1.5: Tværsnit gennem fanen med data for sum og hovedgrupper af tjærestoffer og udvalgte problemstoffer i grundvand
- 1.6: Plan og tværsnit med data for redoxparametre i grundvand
- 1.7: Plan og tværsnit med fordeling af hovedgrupperne i sum af tjærestoffer
- 1.8: Plan og tværsnit med fordeling af enkeltstoffer i hovedgrupperne

Bilag 2: Rapporter fra Eurofins

- 2.1: Udvikling af metode for specifikke nedbrydningsprodukter
- 2.2: Analyserapport

Bilag 3: Vægt-fraktioner i jordprøver og estimering af sammensætning i vandfase.

- 3.1: Vægt-fraktion af enkeltkomponenter og hovedgrupper i totaltjære
- 3.2: Estimerede koncentrationer i porevand (effektive opløseligheder) ved tilstedeværelse af tjære som NAPL.
- 3.3: Estimerede fraktioner af enkeltkomponenter i hovedgrupperne i vand i kontakt med tjære (NAPL)
- 3.4: Fraktioner af enkeltkomponenter i hovedgrupperne i grundvandsprøver

Bilag 4: Vurderede redoxforhold for de enkelte filtre.

Bilag 5: Isotopfraktioneringsdata. Komplet resultatskema fra University of Neuchatel.

Forord

Dette notat udgør en del af et udviklingsprojekt udført som led i undersøgelser og vurderinger vedr. forholdene ved lokaliteten Ringe Tjære- og Asfaltfabrik (RTA), hvor jord og grundvand er forurenet med tjære eller tjærestoffer. Notatet vil indgå som bilag i den samlede rapport over undersøgelserne.

Dette notat omhandler en vurdering af fordeling, transport og nedbrydning af tjærestoffer i grundvandsmagasinet ved lokaliteten baseret på feltundersøgelser, herunder analyser for isotopfraktionering og specifikke nedbrydningsprodukter for udvalgte tjære stoffer. Disse vurderinger indgår som led i en vurdering af risikoen for påvirkning af nedstrøms vandindvinding med tjærestoffer.

Udviklingsprojektet omfatter derudover laboratorieforsøg til vurdering af nedbrydningen af udpegede problemstoffer under naturlige forhold og ved stimulering af nedbrydningen, herunder bestemmelse af nedbrydningsrater. Laboratorieforsøgene udføres og rapporteres af DHI i et separat notat, som ligeledes vil indgå som bilag i den samlede rapport.

De øvrige led i undersøgelserne udarbejdes af Orbicon og GEUS. Orbicons notater omfatter:

- De traditionelle feltundersøgelser ved lokaliteten, herunder strømningsforhold og forureningsudbredelse
- En passiv ventilationstest for den umættede del af magasinet på lokaliteten
- Modellering af transport og nedbrydning af problemstoffer i forureningsfanen

GEUS notat omhandler en lokal og regional geologisk model for lokaliteten/området.

Den samlede rapport, hvori ovennævnte notater indgår som bilag, udarbejdes af Orbicon. I rapporten sammenfattes resultaterne fra notaterne og foretages risikovurdering for påvirkning af vandindvindingen samt vurdering af behov og muligheder for afværge.

1 Indledning

Ringe Tjære- og Asfaltfabrik (RTA) har anvendt lokaliteten, registreret som depot nr. 473-14, i årene 1929-1962. Som følge af RTAs aktiviteter på grunden er jord og grundvand forurenet med tjære eller tjærekomponenter. Der er i 1990 foretaget afværgeforanstaltninger i form af nedbrydning af tanke og opgravning af tjæreforurenet jord. Der optræder fortsat kraftig tjæreforurening i såvel umættet som mættet zone i jord og grundvand.

Ved de tidligere undersøgelser af forureningen på lokaliteten er konstateret udbredt forurening med tjære i fyld og moræneler på grunden. I den sydlige ende af grunden optræder særlig kraftig tjæreforurening, og en fane med høje koncentrationer af tjærekomponenter udbreder sig mere end 100 m mod sydvest i den nedre del af sandmagasinet.

Transport og nedbrydning af tjærestoffer i sprækket moræneler er undersøgt i forbindelse med et omfattende forskningsprojekt udført på DTU i samarbejde med GEUS og DMU i 1993-1995. Med udgangspunkt i forskningsresultaterne, nyere litteratur samt resultater fra undersøgelserne på lokaliteten er i 2005 foretaget en samlet vurdering af transport og naturlig nedbrydning af tjærekomponenter i jord og grundvand og dermed af risikoen for påvirkning af vandindvindingen i området /1/. I rapporten er udpeget en række problemstoffer, som kan udgøre en særlig risiko for påvirkning af vandindvinding i området. De udpegede problemstoffer omfatter benzen, 2,6-dimethylphenol, thiophen, benzo-thiophen og methylbenzofuraner. Desuden er der peget på mulige metoder til at foretage en nærmere vurdering af naturlig nedbrydning af tjærestoffer, herunder bestemmelse af specifikke nedbrydningsprodukter og isotopfraktionering.

En konceptuel model for forureningen på lokaliteten blev opstillet i 2005 /2/. Den gav en oversigt over forureningssituationen og manglende viden i relation til vurdering af afværagemuligheder. På basis deraf blev givet et forslag til undersøgelser, herunder forslag til udførelse af et udviklingsprojekt omfattende 1) specialanalyser af vandprøver fra lokaliteten til nærmere vurdering af naturlig nedbrydning og 2) laboratorieforsøg til belysning af naturlig og stimuleret nedbrydning. Dette notat omhandler del 1 af udviklingsprojektet.

1.1 Formål

Formålet med denne rapport er at foretage en samlet vurdering af fordeling, transport og naturlig nedbrydning af tjærekomponenter i grundvandsmagasinet. Det vil ske på grundlag af:

- Tidligere vurderinger af transport og nedbrydning af tjærestoffer i /1/
- Nye resultater fra traditionelle undersøgelser på lokaliteten /3/, herunder indhold af tjærestoffer i jordprøver og vandprøver fra nye og eksisterende borer samt redoxforhold i grundvand
- Specialanalyser for specifikke nedbrydningsprodukter
- Specialanalyser for isotopfraktionering

Vurderingen skal sammen med resultaterne fra nedbrydningsforsøgene danne grundlag for modelleringen af stoftransport og nedbrydning og indgå i den samlede vurdering af risikoen for påvirkning af vandressourcen.

2 Undersøgelser

Naturlig nedbrydning kan belyses ved traditionelle analyser for forureningskomponenter og redoxfølsomme parametre. Specielt for de sværest nedbrydelige stoffer er det imidlertid ikke muligt at vurdere om de nedbrydes alene ud fra viden om koncentrationer af disse og de øvrige forureningskomponenter. Påvirkningen af de redoxfølsomme parametre kan ofte relateres til nedbrydningen af lettere nedbrydelige forureningskomponenter og i forureningsfanen, hvor stofkoncentrationer er fortyndet, ses ofte ingen påvirkning af redox.

Isotopfraktionering og bestemmelse af specifikke nedbrydningsprodukter er metoder, som kan dokumentere nedbrydningen af specifikke stoffer i felten. Disse teknikker er foruden traditionelle undersøgelser anvendt for vurdering af nedbrydningen ved RTA og vurderet i dette notat.

Endelig kan potentialet for naturlig nedbrydning af specifikke problemstoffer undersøges i lokalitetsspecifikke laboratorieforsøg. Denne type forsøg er udført for RTA, men rapporteres i en separat rapport fra DHI.

2.1 Traditionelle feltundersøgelser

Udførelse af nye boringer, synkronpejling, prøvetagning og analyser af jord- og vandprøver for tjærestoffer er beskrevet i notat over feltundersøgelser /3/. Arbejdet har omfattet:

- Ni boringer med 1-2 filtre i/ved kildeområdet (K1-K9 (DGU nr. 155.1298-155.1303 og 155.1320-155.1323))
- Fem boringer med 3 filtre til lokalisering og afgrænsning af fanen (F1-F5, DGU nr. 155.1204-155.1205 og 155.1217-155.1219)
- Prøvetagning og analyse af jordprøver fra de nye boringer i/nær kildeområdet for indhold af tjærestoffer
- Prøvetagning og analyse af grundvand fra samtlige eksisterende og nye boringer for indhold af tjærestoffer og udvalgte for redoxparametre
- Synkronpejling

Resultaterne fremgår af undersøgelsesrapporten /3/ og er illustreret på plan og tværsnit af lokaliteten og forureningsfanen i denne. Illustrationer og behandlede data er gengivet i dette notat, afsnit 3 til 4 og bilag 1, i det omfang de udgør en del af grundlaget for vurderingerne.

Samhørende borings nr. og DGU nr. fremgår af alle tabeller i rapport og bilag. Bilag 1.3 omfatter alle boringer, som er prøvetaget.

2.2 Specifikke nedbrydningsprodukter

For nogle tjærestoffer dannes ved nedbrydning specifikke nedbrydningsprodukter, som kun kan stamme fra nedbrydningen af et givent stof. Detektion af disse specifikke nedbrydningsprodukter er således dokumentation for nedbrydningen af moderstofferne. Da disse nedbrydningsprodukter ofte selv er nedbrydelige er manglende detektion derimod ikke udtryk for persistens af moderstoffet. Specifikke nedbrydningsprodukter kendes for de monoaromatiske kulbrinter toluen, ethylbenzener og xylener ved anaerob nedbrydning og for NSO-forbindelserne thiophen ved aerob nedbrydning og benzothiophen ved anaerob nedbrydning /1/.

For de monoaromatiske kulbrinter toluen, ethylbenzen og xylener samt for 2-methylnaphthalen dannes ved nedbrydning under anaerobe forhold de i tabel 2.1 nævnte specifikke nedbrydningsprodukter /1/. Moderstof, nedbrydningsprodukter og deres forkortelser fremgår af tabel 2.1.

Tabel 2.1: Specifikke nedbrydningsprodukter.

Moderstof	Specifikt nedbrydningsprodukt	Forkortelse	Detektionsgrænse (µg/l)
Toluen	Benzylravsyre	BSA	0,02-0,05
Ethylbenzen	Alfa-methylbenzylravsyre	α-mBSA	0,04-0,1
<i>o</i> -Xylen	2-Methylbenzylravsyre	2-mBSA	0,02-0,05
<i>m</i> -Xylen	3- Methylbenzylravsyre	3-BSA	0,02-0,05
<i>p</i> -Xylen	4- Methylbenzylravsyre	4-BSA	0,02-0,05
2-Methyl-naphthalen	Naphthyl-2-methylravsyre	NSA	0,02-0,05
	Naphthylitaconsyre	NIA	0,04-0,05

For benzothiophen eksisterer der 3 specifikke anaerobe nedbrydningsprodukter og for thiophen eksisterer der 1 specifikt aerobt nedbrydningsprodukt. Disse nedbrydningsprodukter er særligt interessante, da moderstofferne udgør problemstoffer (tungt nedbrydelige – persistente) i forureningsfanen.

En analysemetode til bestemmelse af de omtalte specifikke nedbrydningsprodukter af monoaromatiske kulbrinter i grundvand er udviklet af Eurofins. Metoden er afprøvet på 2 prøver fra RTA, en med forholdsvis høje og en med meget lave koncentrationer af benzen og moderstofferne. Rapporten er vedlagt som bilag 2.1. De opnåede detektionsgrænser fremgår af tabel 2.1. Eurofins vurderede det ikke muligt, at medtage nedbrydningsprodukterne fra thiophen og benzothiophen i analyseudviklingen.

Da detektionsniveauet blev fundet tilstrækkeligt lavt, og en del af de specifikke nedbrydningsprodukter blev konstateret i den med moderstofferne mest påvirkede vandprøve, blev udtaget prøver fra flere filtre på lokaliteten til analyse.

Prøver til analyse for specifikke nedbrydningsprodukter blev udvalgt på grundlag af resultaterne af analyser for redoxparametre samt benzen og moderprodukterne og således, at borerer i såvel fanen som kildeområdet var repræsenteret. Der blev foruden de to prøver metoden var afprøvet på udtaget og analyseret prøver fra 12 filtre, hvor forholdene var anaerobe (ingen nitrat). I de udvalgte filtre var der konstateret betydeligt indhold af et eller flere af moderstofferne, men forholdet mellem benzen og moderstoffer var højt (indikation på nedbrydning af moderstof).

Filtrene, som er prøvetaget, er (DGU nr. 155.): 9912 (1064), 9912A (1065), K1-2 (1298-2), K7-1 (1320-1), K7-2 (1320-2), K9-1 (1322-1), F2-2 (1305-2), F3-2 (1317-2), F5-1 (1319-1), 1010 (816), 1021 (821) og pumpeboring (1056). Analyserapporten er vedlagt som bilag 2.2. Analyseresultaterne er gengivet i afsnit 5.4, tabel 5.8.1. Boringernes beliggenhed fremgår af bilag 1.1. Forpumpning og prøvetagning af borerne er beskrevet i /3/.

2.3 Isotopfraktionering

Ved nedbrydning af organiske stoffer kan ske en ændring i fraktionerne af de stabile kulstofisotoper i stoffet. Opløsning og sorption giver ikke anledning til væsentlig isotopfraktionering. Diffusion

medfører isotopfraktionering men denne er uden betydning i et system med advektivt domineret transport (flowsystem). Hvis der observeres isotopfraktionering langs en flowlinie ud gennem fanen er det således dokumentation for nedbrydning af de pågældende stoffer i fanen. I modsætning til koncentrationsniveauet af et stof påvirkes isotopfraktioneringen af stoffet ikke af fortynding og retardation ved sorption.

Kulstof i organiske stoffer består af 2 stabile isotoper ^{12}C og ^{13}C , hvoraf ^{13}C kun udgør få promille. Ved naturlig nedbrydning af organiske stoffer er det ofte sådan, at ^{12}C - ^{12}C bindinger brydes hurtigere end ^{12}C - ^{13}C bindinger /5/. Derved øges fraktionen af ^{13}C i det stof der nedbrydes. Fraktionen af ^{13}C i nedbrydningsproduktet er initialt lavt og stiger derefter til den fraktion, som ^{13}C udgjorde i moderproduktet oprindeligt. Ændringer i isotopforholdene kan kvantificeres ved beregning af isotopfraktionen som $\delta^{13}\text{C}$ notation relativ til VPDN standard:

$$\delta^{13}\text{C} = (R/R_{\text{st}} - 1) \cdot 1000$$

hvor $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$.

Isotopfraktionering kan bestemmes for specifikke stoffer, heriblandt monoaromater. Stigning i fraktionen af ^{13}C langs en strømlinie er dokumentation for nedbrydning af stoffet.

Ændringen i isotopfraktionering er forskellig for forskellige organiske stoffer. Dog er det typisk således at ændringen i isotopfraktionering er mindre for stoffer med flere C-C bindinger. Ændringen i fraktionering er således mindre for f.eks. benzen end for chlorethener.

Stoffer fra forskellig kilde kan meget vel have forskellig fraktion af ^{13}C fra start, hvorfor analyse af isotopfraktion for specifikke stoffer også anvendes til at skelne mellem kilderne til stoffet.

Isotopfraktionering af specifikke stoffer udføres der ikke kommercielt tilgængelige analyser for på jord og grundvand i Danmark. Det eneste af de udpegede problemstoffer, som der løbende udføres isotopfraktionering for på nogle forskningsinstitutioner, herunder University of Neuchatel, er benzen.

Prøver til analyse for isotopfraktionering blev udvalgt på grundlag af eksisterende resultater for benzenindhold for eksisterende borer og nye resultater for nye borer og således, at borer i såvel fanen som kildeområdet var repræsenteret. Der blev udtaget og analyseret prøver fra 13 filtre, hvor der var konstateret indhold af benzen. Vandprøver er udtaget i 40 ml vials for headspace analyse. Forpumpning og prøvetagning af borerne er beskrevet i /3/.

Prøverne er analyseret for benzen isotopfraktionering af University of Neuchatel. I det omfang isotopfraktioneringen af toluen, ethylbenzen og m-xylen har kunnet bestemmes ved samme prøvefortynding er de også rapporteret. Analyserne er udført som headspace analyse. Gasfasen er analyseret med en TRACETM gas chromatograph koblet til en ThermoFinniganTM Delta Plus XP isotope-ratio mass spectrometer via et ThermoFinniganTM GC combustion III interface. Metoden er beskrevet i /4/.

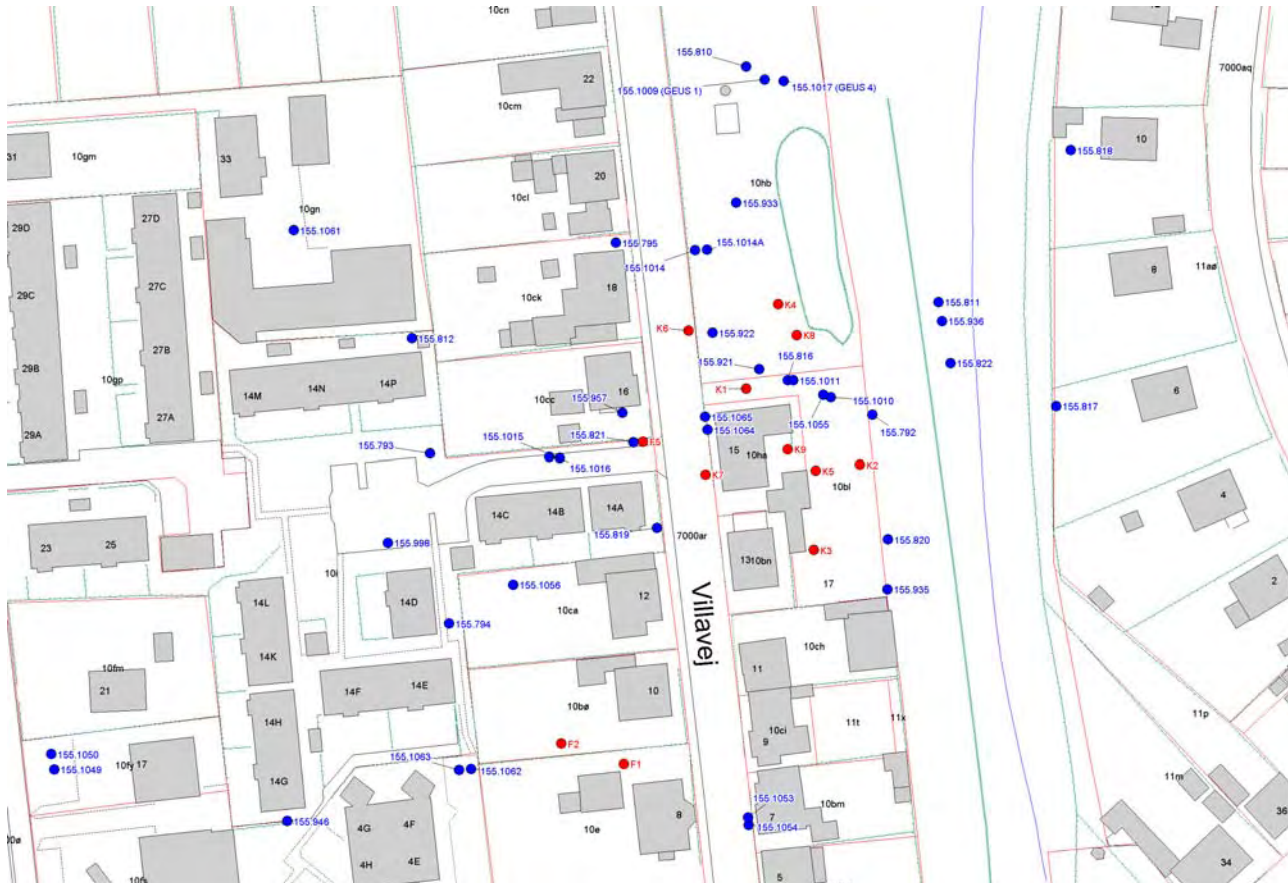
Resultaterne fremgår af afsnit 5.5, tabel 5.9. Isotopfraktioneringen er rapporteret som $\delta^{13}\text{C}$ notation relativ til VPDN standard ($\delta^{13}\text{C} = (R/R_{\text{st}} - 1) \cdot 1000$, hvor $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$).

University of Neuchatel har indkøbt de øvrige problemstoffer med henblik på at foretage en vurdering af, om det er muligt at foretage analyse af isotop-fraktionering for stofferne. De har endnu ikke foretaget vurderingen, hvorfor der ikke er udført analyser for de øvrige problemstoffer. Der er tidligere observeret isotopfraktionering af benzothiophen ved nedbrydning i vand, men for de øvrige stoffer er det uvist, om der sker isotopfraktionering.

3 Sammensætning, transport og opløsning af tjære

Sammensætning, transport og opløsning af tjære er beskrevet i /1/. Ved de nye undersøgelser er udført analyser af jord- og vandprøver fra nye og eksisterende borer i kildeområdet, som supplerer viden herom for lokaliteten. De nye data vurderes i dette afsnit.

Beliggenheden af de i afsnittet omtalte borer fremgår af figur 3.1 samt bilag 1.1.



Figur 1.1: Nye og eksisterende borer i og omkring kildeområdet på RTA. Nye borer (K1-K9 og F5) er markeret med rød signatur. Samhørende boringsnummer og DGU nummer fremgår af bl.a. bilag 1.3.

3.1 Transport og fordeling af tjære

Der var begrundet mistanke om, at tjære kunne være trængt ned til/under grundvandspejlet (17-18 m u. t.) i dele af kildeområdet. De nye borer i kildeområdet (K1-K9 (DGU nr. 155.1298-155.1303 og 155.1320-155.1322)) er derfor udført med henblik på dels at afklare om tjære er trængt ned under grundvandspejlet og dels at afgrænse dybereliggende tjæreforurening, samt om muligt at belyse sammensætningen af tjæren.

På den sydlige del af grunden træffes overfladen af en morænelersknold omkring grundvandspejlet i sandmagasinet. Da tjære, der spredes som NAPL, vil følge hældningen af overfladen af moræneleren, kan tjæren forventes at sive ned under grundvandspejlet de steder, hvor morænelerens overflade går ned under grundvandspejlet. Det er derfor tilstræbt at placere borerne i kildeområdet, hvor morænelersoverfladen dykker ned under grundvandspejlet.

I borerne K1, K2, K4, K5, K8 og K9 er der observeret kraftig forurening i betydelig dybde, og for K1, K4 og K8 er dette også tilfældet under grundvandspejlet. I K1 er der observeret tjære i betydelig dybde, og ved /under grundvandspejlet /3/. Analyser af jordprøver dokumenterer et højt indhold af tjære i prøver fra K1, specielt 18 m u.t. (tabel 3.1). For borerne K5, K8 og K9 er analyserne ikke helt så entydige som i K1, men der er dokumenteret meget kraftig forurening i flere prøver. Der er i borerne formodentlig tale om en blanding af forvitret (delvist nedbrudt) tjære og stoffer opløst fra tjære og diffunderet ind i morænelermatrix. For boring K4 er der tale om forurening med et olieprodukt, formodentlig delvis nedbrudt petroleum.

Resultaterne bekræfter mistanken om, at tjære er trængt ned under vandspejlet 17- 18 m u.t. i kildeområdet som NAPL. Dette forklarer sammensætningen af forureningskomponenter i grundvandet, hvor der er truffet tjærestoffer, som ved transport på vandopløst form gennem moræneler og umættet sand ville forventes at være tilbageholdt eller omsat.

3.2 Sammensætning af tjære

Ved tilstedeværelse af tjære som NAPL vil sammensætningen af tjæren være af betydning for opløsningen og dermed koncentrationerne af de enkelte tjæreforbindelser i porevand i kontakt med tjæren. Ved tilstedeværelse af tjære som NAPL i grundvandszonen (eller nær denne) vil sammensætningen her være mest betydende for koncentrationerne i grundvandszonen.

Udvalgte jordprøver er analyseret for indhold af tjærekompener. Totalindholdet af tjærestoffer i jordprøver fordelt på hovedgrupper fra /3/ er gengivet i tabel 3.1. For overskuelighedens skyld er koncentrationerne afrundet. Indholdet af enkeltkomponenter i prøverne fremgår af bilag 1.

Tabel 3.1: Totalindhold af tjærestoffer i jordprøver (mg/kgTS) fordelt på hovedgrupper.

Boring (DGU nr. 155.)	Dybde (m u.t.)	BTEX'er	Naphthalener	PAH'er (sum 5 MST)	PAH'er (sum 16 EPA - Naphthalen)	Phenoler	NSO'er	Totalkulbrinter / Tjære ¹
K1 (1298)	12,5	<0,1	0,5	<0,005	i.a.	0,01	0,2	1
K1 (1298)	18	46	357	150	i.a.	2	41	3.900
K1 (1298)	19,9	0,9	17	4	i.a.	i.a.	i.a.	110
K2 (1299)	6,5-7,5	70	2.000	19	i.a.	52	32	3.000
K2 (1299)	14,5-16	0,5	20	0,5	i.a.	0,06	0,5	64
K4 ² (1301)	18,5	10	62	69	i.a.	2	6	1.000
K5 (1302)	7	16	50	0,3	i.a.	10	13	210
K5 (1302)	14	1	31	<0,005	i.a.	0,2	2	63
K8 (1321)	11,5	91	648	160	590	13	77	3.300
K8 (1321)	13	100	426	25	110	6	7	1.700
K8 (1321)	15	240	1.300	500	1.900	19	100	10.000
K8 (1321)	19	1	4	1	4	3	0,6	22
K9 (1322)	8	49	630	14	60	0,6	24	1.100
K9 (1322)	14,5	<0,1	4	0,04	0,1	0,02	0,2	5
F5 (1319)	23	<0,1	0,3	0,03	0,5	0,01	0,2	6

1: Indhold af total-tjære bestemt som ekstraherbare kulbrinter. Der er desuden en fraktion af tjære som ikke er ekstraherbar. 2: Bemærk at der i K4 ikke er tale om tjære men delvis nedbrudt petroleum.

De 7 MST PAH'er omfatter ikke de mest dominerende PAH-forbindelser i tjære, derfor er der for de senest udtagne prøver foretaget analyse for alle 16 EPA PAH'er. EPA PAH'er inkluderer både de mest dominerende PAH'er og de 7 MST PAH'er. EPA PAH'erne omfatter tillige naphthalen, som i tabellen er opført i en separat gruppe af naphthalener og derfor fratrukket EPA PAH summen i tabellen. Ses der bort fra prøver med meget lavt indhold af MST PAH'erne, er indholdet af EPA PAH (ekskl. naphthalen) i de analyserede prøver ca. 4 gange (3,4-4,4) så højt som indholdet af MST PAH'er. Ved de efterfølgende vurderinger antages forholdet ligeledes at være ca. 4 i prøver, der ikke er analyseret for EPA PAH'er.

Den vægtfraktion af total-tjæreindholdet, bestemt som ekstraherbare totalkulbrinter, som hver af stofgrupperne udgør, er angivet i tabel 3.2. Vægtfraktionerne for enkeltstofferne fremgår af bilag 3.1. Ikke hele tjæreindholdet er ekstraherbart, hvorfor den reelle fraktion af samtlige målte enkeltstoffer vil være lidt lavere. EPA PAH'erne udgør blot en mindre del af de PAH'er som optræder i tjære, hovedparten af den resterende vægt-fraktion af totaltjæren (uidentificerede stoffer) udgøres formodentlig fortrinsvis af PAH'er.

Tabel 3.2: Vægt-fraktion i % (mg/g) af totaltjæreindholdet, bestemt som totalkulbrinter, som udgøres af hver af hovedgrupperne. Prøverne med de højeste total-tjære indhold er markeret med **fed**.

Boring (DGU nr. 155.)	Dybde (m u.t.)	BTEX'er	Naphthalener	PAH'er (sum 16 EPA - Naphthalen)	Phenoler	NSO'er	Resterende fraktion
K1 (1298)	12,5	0	540	i.d. ¹	9	156	295
K1 (1298)	18	12	92	154¹	0,4	11	731
K1 (1298)	19,9	8	156	144 ¹	i.a.	i.a.	700
K2 (1299)	6,5-7,5	23	664	25¹	17	11	260
K2 (1299)	14,5-16	8	306	34 ¹	1	8	643
K4 (1301)	18,5	10	62	(280) ¹	2	6	(640) ²
K5 (1302)	7	75	239	6 ¹	49	62	569
K5 (1302)	14	17	498	i.d. ¹	3	30	438
K8 (1321)	11,5	28	196	179	4	23	570
K8 (1321)	13	59	250	65	3	4	394
K8 (1321)	15	24	129	190	2	10	645
K8 (1321)	19	62	182	186	152	25	393
K9 (1322)	8	45	576	55	0,5	22	293
K9 (1322)	14,5	i.d.	704	20	4	50	222
F5 (1319)	23	i.d.	54	85	2	29	830

¹: Data for MST PAH'er multipliceret med 4. Hvor MST PAH'er ikke er detekteret eller er meget lave er EPA PAH'er sandsynligvis reelt højere, og for boring 4, hvor der er tale om nedbrudt petroleum og ikke tjære kan forholdet mellem MST PAH og EPA PAH heller ikke forventes at være det samme. ²: restindhold består formodentlig overvejende af alifatiske kulbrinter. i.d.: Ikke detekteret. i.a.: Ikke analyseret.

I prøven udtaget fra K1 (18 m u.t.), hvor der er observeret tjære, udgør BTEX 1%, naphthalener 9%, EPA PAH'er + resterende fraktion 88%, phenoler 0,4% og NSO'er 1%. Sammenholdt med litteraturredata for sammensætningen af frisk tjære er indholdene af phenoler og NSO-forbindelser

lave, hvilket kan skyldes at der allerede er sket en væsentlig udvaskning af de lettest opløselige stoffer.

I prøverne med det højeste tjæreindhold, markeret med fed i tabel 3.2, udgør BTEX <1-6%, naphthalener 9-66%, EPA PAH'er + resterende fraktion 29-89%, phenoler 0,4-17% og NSO'er 4-22%. Prøverne (med fed) udtaget i K2 og K9 adskiller sig fra de øvrige ved en større fraktion af naphthalener og mindre af PAH'er. Disse prøver er udtaget højere oppe i jordprofilet og består formodentlig af moræneler. Hvis matrix af moræneler er dominerende i prøven kan forskelle i matrixdiffusion resultere i en højere fraktion af naphthalener sammenholdt med PAH'er. For de øvrige prøver med meget høje tjære-indhold udgør BTEX <1-6%, naphthalener 9-25%, EPA PAH'er + resterende fraktion 46-89%, phenoler 2-17% og NSO'er 4-22%. Sammensætningen svarer generelt til sammensætning i frisk tjære. Chromatogrammerne (bortset for prøver fra K1) indikerede dog snarere en sammenblanding af forvitret (delvist nedbrudt) tjære og stoffer opløst fra tjære og diffunderet ind i morænelermatrix. Dette er også et mere sandsynligt scenarium for en ældre forurening som denne.

3.3 Opløsning af tjærestoffer

Koncentrationen af tjærestoffer i porevand i ligevægt med tjære (NAPL) kan estimeres ud fra sammensætningen af tjære og stoffernes opløselighed. Hvis Raoults lov er gældende udtrykkes koncentrationen i vandfasen (den effektive opløselighed) ved stoffets molfraktion i tjæren gange stoffets vandopløselighed. Da tjære består af en meget komplekst blanding af stoffer må der forventes en afvigelse på estimatet på op til faktor ca. 3 (formodentlig større ved meget lav molfraktion af et stof). Da den komplette sammensætning af tjæren ikke er kendt anvendes i stedet vægt-fraktioner, hvilket resulterer i en mindre afvigelse.

Da det ikke er muligt at tage egentlige tjæreprøver på lokaliteten, må resultater fra analyserne af jordprøver anvendes til estimering af koncentrationsniveau i porevand i kontakt med tjære for sammenligning med koncentrationsniveauet i vandprøver fra lokaliteten. Disse estimater er udført for samtlige identificerede stoffer i jordprøverne. Tabeloversigter for de beregnede koncentrationer for samtlige stoffer er vedlagt i bilag 3.2, og for udvalgte stoffer og stofgrupper er tillige vist i tabel 3.3.

For de jordprøver, hvor det totale indhold af tjære er begrænset vil opløste stoffer i porevand for nogle stoffer bevirke at indholdet af enkeltstoffet i tjære overestimeres, hvilket fører til urealistisk høje koncentrationer i vandfasen for de lettest opløselige stoffer. De mest troværdige estimater vurderes at hidrøre fra K1 18 m u.t., hvor tjære er observeret, og de kraftigt påvirkede prøver fra K8.

Det fremgår tydeligt, at PAH'erne, som er dominerende i tjæren, kun vil udgøre en mindre del af på-virkningen af vandfasen, mens BTEX'er og NSO'er, som kun udgjorde beskedne dele af tjæren, bliver ligeså betydende i vandfasen som naphthalener, og at phenoler, som også kun udgjorde en beskedne del af tjæren, bliver meget dominerende i vandfasen.

De udvalgte problemstoffer i tabel 3.3 ses nær tjæren kun at udgøre en forholdsvis beskedne del af den hovedstofgruppe de tilhører. En tabeloversigt over den fraktion af hver hovedstofgruppe de enkelte stoffer i porevand i kontakt med tjære estimeres at være er givet i bilag 3.3.

Tabel 3.3: Estimerede koncentrationer (µg/l) for hovedgrupper og udvalgte problemstoffer i porevand i kontakt med tjære som NAPL. Estimater er baseret på analyser af jordprøver. Prøverne med de højeste total-tjære indhold er markeret med **fed**.

Boring (DGU nr. 155.)	Dybde (m u.t.)	Benzen	BTEX'er	Naphthalener	PAH'er ¹	2,6-Xylenol	Phenoler	Benzothiophen	Methylbenzofuran	NSO'er	Sum ekskl. PAH'er
K1 (1298)	12,5	0	0	51000		20000	548000	2500	740	8800	610.000
K1 (1298)	18	1100	4100	9300		590	5100	230	60	2300	21.000
K1 (1298)	19,9	4600	5600	16000		0	0	0	0	0	22.000
K2 (1299)	6,5-7,5	0	4200	71000		8300	310000	370	55	30000	415.000
K2 (1299)	14,5-16	0	1600	32000		469	35000	220	22	360	69.000
K4 (1301)	18,5	2300	4100	6000		1900	20000	240	68	430	31.000
K5 (1302)	7	8600	29000	24000		6200	1800000	3000	950	6700	1.900.000
K5 (1302)	14	0	3500	54000		1700	51000	2300	600	3700	110.000
K8 (1321)	11,5	410	8700	21000	183	2100	76000	450	260	24000	130.000
K8 (1321)	13	480	13000	27000	64	1000	84000	47	77	1700	130.000
K8 (1321)	15	6300	13000	13000	177	1100	47000	160	100	9100	82.000
K8 (1321)	19	40000	54000	19000	146	43000	1800000	460	130	58000	1.900.000
K9 (1322)	8	0	9800	62000	57	0	11000	1300	0	20000	100.000
K9 (1322)	14,5	0	0	77000	0	6000	44000	2500	0	70000	190.000
F5 (1319)	23	0	0	3200	203	19000	19000	950	0	6700	29.000

1: (sum 16 EPA - Naphthalen)

3.4 Grundvandspåvirkning i kildeområdet

Vandprøver fra nye såvel som eksisterende borer er analyseret for indhold af tjærekompener. Samtlige analysereultater er givet i tabelform i bilag 1.3. I tabel 3.4 er resultaterne for summen af stofferne i de forskellige hovedgrupper samt udvalgte enkeltstoffer for borer i/ved kildeområdet givet. For overskuelighedens skyld er værdierne afrundet. Fordelingen på enkeltkomponenter fremgår af bilag 1.3. DGU nr. for borerne fremgår af tabel 3.4 og bilag 1.3.

For K1s filtre er koncentrationerne af BTEX, naphthalener, phenoler og NSO'er i grundvandet (tabel 3.4) højere end de estimerede effektive opløseligheder under/ved vandspejlet (tabel 3.3). Det bekræfter, at der er tjære som NAPL i en dybde svarende til filterniveauerne 15,9-19,9 og 22,4-23,4 m u.t. i kildeområdet ved K1.

For K8s filtre svarer koncentrationerne af BTEX, naphthalener, phenoler og NSO'er i grundvandet til 30-70% af de estimerede effektive opløseligheder for prøver udtaget nær vandspejlet. Det er en stærk indikation på, at der nær K8 også er tjære som NAPL i grundvandszonen.

Endelig svarer koncentrationerne af BTEX, naphthalener, phenoler og NSO'er i grundvandet fra K9s øvre filter til ca. 3% og det nedre filter samt F5s nedre filter til knap 1% af de estimerede effektive opløseligheder, hvilket er indikation på, at der opstrøms eller nær borerne træffes tjære som NAPL. For K4s filter svarer koncentrationerne af BTEX, naphthalener, phenoler og NSO'er i

grundvandet til ca. 13% af de estimerede effektive opløseligheder for prøven udtaget nær vandspejlet. Da forureningen ved K4 er bestemt som petroleum, bekræfter dette at der er petroleum som NAPL på (eller nær) vandspejlet ved K4.

Boring 1010 ligger i kildeområdet, og der er observeret tjære som NAPL i boringen omkring 18 m u.t.. Boringen er imidlertid filtersat i sand under et adskillende morænelerslag, hvorfor koncentrationerne i vandprøver fra filteret ikke reflekterer NAPL. Boring 9810 og 9810A ligger nær/nedstrøms K4 og afspejler den kraftige petroleumforurening. Boring 9912 og 9912A ligger omtrent mellem K1 og F5 og altså nedstrøms kildeområdet med tjære som NAPL, hvilket afspejles i koncentrationniveauet.

Tabel 3.4: Resultater af nye grundvandsanalyser (µg/l) for hovedgrupper og udvalgte problemstoffer i/ved kildeområdet.

Boring (DGU nr. 155.)	Filterinterval (m u.t.)		Benzen	BTEX'er	Naphthalener	2,6-Xylenol	Phenoler	Benzothiophen	Methyl- benzofuraner	NSO'er	Total
K1-2 (1298)	15,9	19,9	13.000	28.000	11.000	160	1.260	75	46	420	40.000
K1-1 (1298)	22,4	23,4	8.500	10.000	3.800	1.800	17.000	180	140	920	32.000
K2 (1299)	14	19	0,1	0,3	0,07	i.d.	0,18	0,01	i.d.	0,07	0,6
K3 (1300)	13,5	15,5	i.d.	0,08	0	i.d.	0	i.d.	i.d.	0	0,08
K4 (1301)	14,5	18,5	1.100	2.000	2.400	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	4.300
K5 (1302)	15	19	1,3	1,9	1,8	i.d.	0,23	0,01	i.d.	0,03	3,9
K6 (1303)	15	20	87	92	2,4	4,9	16	1,1	5,2	23	134
K7-2 (1320)	16	20	13	20	2,8	44	48	5,8	7,0	14	84
K7-1 (1320)	20,9	23,9	3,7	6,5	3,0	32	34	3,3	3,4	7,0	51
K8-2 (1321)	12,5	14,5	810	1.100	740	1.900	46.000	490	400	3.800	51.000
K8-1 (1321)	16	22	4.400	12.000	12.000	780	11.000	410	330	2.100	37.000
K9-2 (1322)	12,7	14,7	790	1.400	1.900	8,1	88	94	130	430	3.800
K9-1 (1322)	15,4	18,4	120	270	410	0,4	16	0,05	1,8	9,5	710
F5-2 (1319)	19	21	0,9	2,0	1,2	15	16	1,6	1,3	3,4	22
F5-1 (1319)	22,5	23,5	74	97	9,2	85	95	12	12	36	240
1010 (816)	24	28	630	670	7,4	190	440	4,2	3,4	59	1.200
9810A (1014A)	16,1	22,1	84	85	0,43	39	41	2,6	1,6	6,5	130
9810 (1014)	22,9	25,9	180	200	3,4	94	99	5,4	6,2	19	320
9912 (1064)	20,8	23,8	350	390	13	90	270	44	32	140	810
9912A (1065)	16,5	19,5	2,4	3,0	1,0	0,07	0,56	0,26	0,18	0,68	5,2

Fractionen af enkeltkomponenter i hovedgrupperne i grundvandsprøverne er givet i tabelform i bilag 3.4. I de kraftigst påvirkede vandprøver udgør de udvalgte problemstoffer en begrænset del af den hovedgruppe de tilhører i fin overensstemmelse med forventningen til sammensætningen baseret på de estimerede effektive opløseligheder. For de mindre påvirkede vandprøver ses de udvalgte problemstoffer at udgøre en betydeligt større andel af de respektive hovedgrupper, hvilket er indikation på, at der i området ved de boringer vandprøverne hidrører fra foregår nedbrydning af andre stoffer fra hovedgrupperne. Dette belyses nærmere i et senere afsnit.

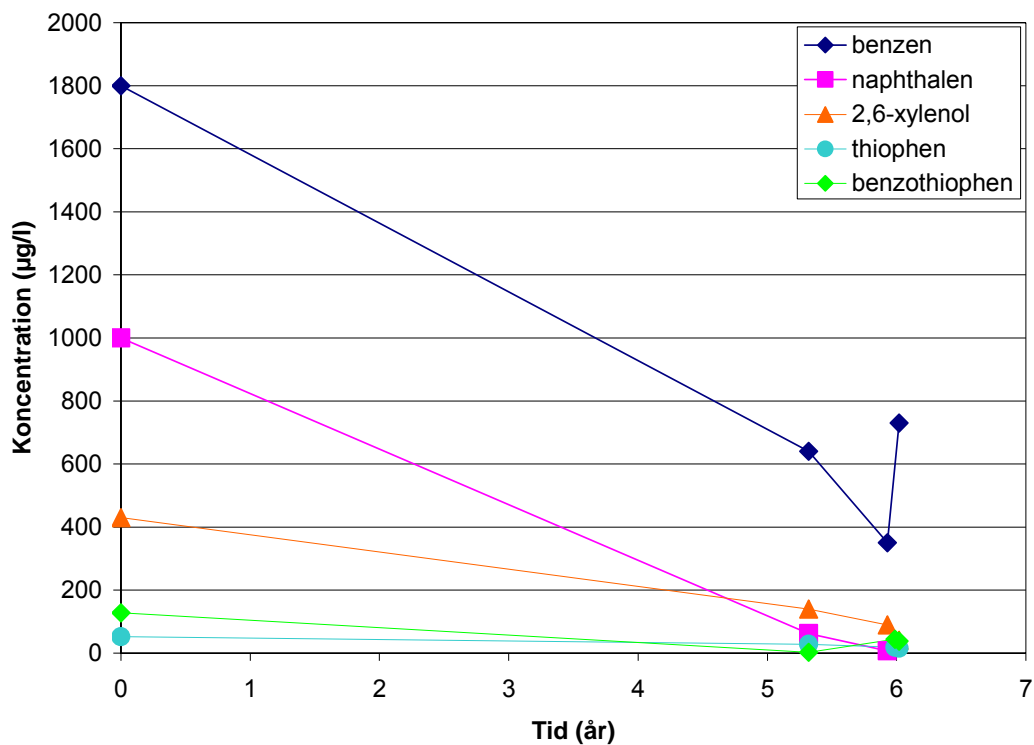
3.5 Udvikling i sammensætning af tjære (NAPL) og sammensætning af tjærekomponenter i grundvandet

Efter et spild af tjære som NAPL i jord- og grundvandsmiljøet sker der en gradvis udvaskning af stoffer fra tjæren. Da de enkelte stoffer i tjære har meget forskellige effektive opløseligheder, der som nævnt afhænger af både sammensætning af tjæren og stoffernes vandopløselighed, vil nogle stoffer (de med højest vandopløselighed) blive udvasket hurtigst. Disse stoffer udgør således en mindre og mindre andel af tjæren, hvorfor den effektive opløselighed og dermed koncentration af de lettest opløselige stoffer i vandfasen aftager over tid, hvorimod koncentrationen af stoffer med lavere opløselighed i vand stiger i koncentration i vandfasen.

Som omtalt ovenfor er fraktionen af phenoler, NSO-forbindelser og BTEX i tjæren (NAPL) baseret på analyser af jordprøver fra K1, hvor der er observeret tjære, lavere end forventet for frisk tjære. Det er i god overensstemmelse med at der er sket en udvaskning af disse stoffer over tid. Det betyder også at koncentrationerne af disse stoffer i tjæren og dermed i grundvandet i kildeområdet tidligere har været højere. Ligeledes må koncentrationerne af disse stoffer forventes fortsat at aftage (om end langsomt) i koncentration som følge af fortsat udvaskning.

Det betyder at forholdet mellem enkeltstoffer og mellem stofgrupper varierer over tid og dermed kan forventes at variere ud gennem forureningsfanen.

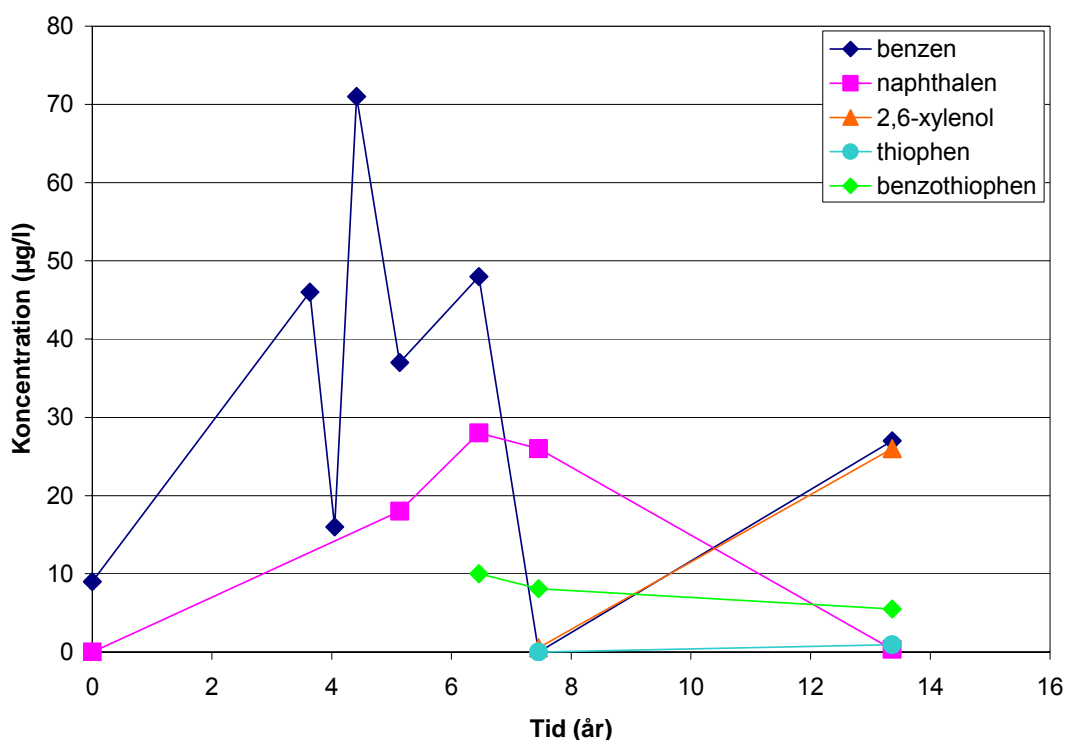
Af de ovenfor omtalte boringer i/ved kildeområdet er det kun boring 9912, som har været prøvetaget flere gange siden etableringen i 1999 og bortset fra første gang var de alle i 2005. Og så udgør de 6 år fra 1999-2006 kun en lille del af den tid forureningen har eksisteret. Udviklingen er illustreret i figur 3.1.



Figur 3.1. Udvikling i koncentrationer af udvalgte tjærestoffer i boring 9912 fra 1999 (første datasæt) til 2005 (3 øvrige datasæt).

Prøverne udtaget i 2005 viser en ret stor variation i koncentrationer, som sandsynligvis skyldes, at fluktuerende vandspejl skaber varierende kontakt med tjære som NAPL omkring vandspejlsniveau. På trods heraf ses for alle stofferne aftagende koncentration fra 1999 til 2005. Da stofferne sammenholdt med PAH'er, som er dominerende i tjæren, har høje opløseligheder er aftagende koncentrationer i vandfasen også forventet. Selvom naphthalens opløselighed er lavere end f.eks. benzen og xylenol's aftager koncentrationen af naphthalen mere dramatisk i perioden end benzen og specielt 2,6-xylenol. Det skyldes sandsynligvis nedbrydning af naphthalen i grundvandet i kildeområdet.

Boring 1021 er beliggende lidt nedstrøms boring 9912. Den er dog ikke ret dyb, så filteret sidder i toppen af fanen, hvorfor koncentrationsniveauet er relativt beskedent. Boringen er prøvetaget flere gange siden etableringen i 1992. Udviklingen er illustreret i figur 3.2.



Figur 3.2: Udvikling i koncentrationer af udvalgte tjærestoffer i boring 1021 fra 1992 til 2005. Prøverne er udtaget i 1992, 3 gange i 1996, 1997, 1998, 1999 og endelig 2005.

For benzen ses en betydelig variation, men bortset fra et enkelt datapunkt ligger resultaterne indenfor samme størrelsesorden. Naphthalen er ikke detekteret i 1992. Sidst i 90'erne blev konstateret et ensartet niveau. I 2005 er koncentrationen aftaget. De øvrige udvalgte stoffer er der kun udført få analyser for. For 2,6-xylenol er niveauet tilsyneladende steget, mens det for thiophen og benzothiophen er omtrent det samme som sidst i 90'erne. Variationen i koncentrationer er for stor til at drage entydige konklusioner vedrørende ændring i tjæresammensætningen hen gennem perioden.

4. Transport og udbredelse af tjærestoffer i sandmagasinet

Beliggenheden af de i afsnittet omtalte boringer fremgår af figur 4.1 samt bilag 1.1.



Figur 4.1. Beliggenhed af boringer ved og nedstrøms RTA. De nye boringer (K1-9 og F1-5) er markeret med rød signatur. Samhørende boringsnummer og DGU nummer fremgår af bilag 1.3.

4.1 Tilbageholdelse ved sorption i sandmagasin

Sorptionen af tjærestofferne er beskrevet i /1/. De i /1/ estimerede sorptionskoefficienter og relative transporthastighed for tjærestofferne er gengivet i tabel 4.1.

Det ses at phenoler og nogle BTEX og NSO forbindelser strømmer med nær vandets hastighed (70%-90% af vandets hastighed), hvorimod andre BTEX og NSO'er samt naphthalener og specielt PAH'er tilbageholdes mere i forhold til vandets strømningshastighed.

Tabel 4.1: K_{ow} og beregnede K_d og V_s/V værdier for problemstoffer ved RTA, samt den rækkefølge stofferne vil nå frem til f.eks. vandværket på, hvis der ses bort fra nedbrydning. De i /1/ udpegede problemstoffer er markeret med fed.

Stofgruppe	Stof	$\log K_{ow}$	K_d (l/kg)	$V_s/V =$ 1/R	Rækkefølge
MAH	Benzen	2,13	0,05	0,80	6
	Toluen	2,69	0,18	0,53	10
	ethylbenzen og xylener	3,13-3,18	0,50-0,56	0,26-0,28	12
	C9-aromater	3,4-3,6	0,94-1,5	0,12-0,18	15
Phenoler	Phenol	1,46	0,01	0,95	3
	Cresoler	1,98	0,03	0,85	5
	Xylenoler	2,35	0,08	0,71	7
Naphthalener	Naphthalen	3,37	0,88	0,19	14
	methylnaphthalen ¹	3,87	2,81	0,07	18
PAH ³	Fluorene	4,18	5,78	0,03	19
	phenanthrene	4,57	14,31	0,01	20
	Pyren	5,22	64,89	0,00	22
NSO-forbindelser	methylquinolin ¹	2,59	0,14	0,58	8
	Benzofuran	2,67	0,17	0,54	9
	methylbenzofuraner	? (3,2)²	0,59	0,25	13
	dimethylbenzofuraner ¹	? (3,8) ²	2,39	0,08	17
	Thiophen	1,81	0,02	0,90	4
	benzothiophen	3,12	0,49	0,29	11
	Pyrrrol	0,75	0,00	0,99	1
	methylpyrroler	? (1,3) ²	0,01	0,97	2
	carbazol ¹	3,72	1,98	0,09	16
	dibenzofuran ¹	4,31	7,82	0,02	20
dibenzothiophen ¹	4,38	9,20	0,02	21	

Fed: problemstoffer udpeget i /1/. 1: kun potentielle problemstoffer ved fri fase tjære i sandlag under moræneler, idet de ellers tilbageholdes i moræneleren ved matrixdiffusion og sorption. 2: værdi baseret på værdi for stof uden/med færre alkylgrupper med addition af gruppe-bidrag for alkylgrupper (~0,55 per alkylgruppe).

4.2 Forureningsudbredelse i grundvandsmagasinet

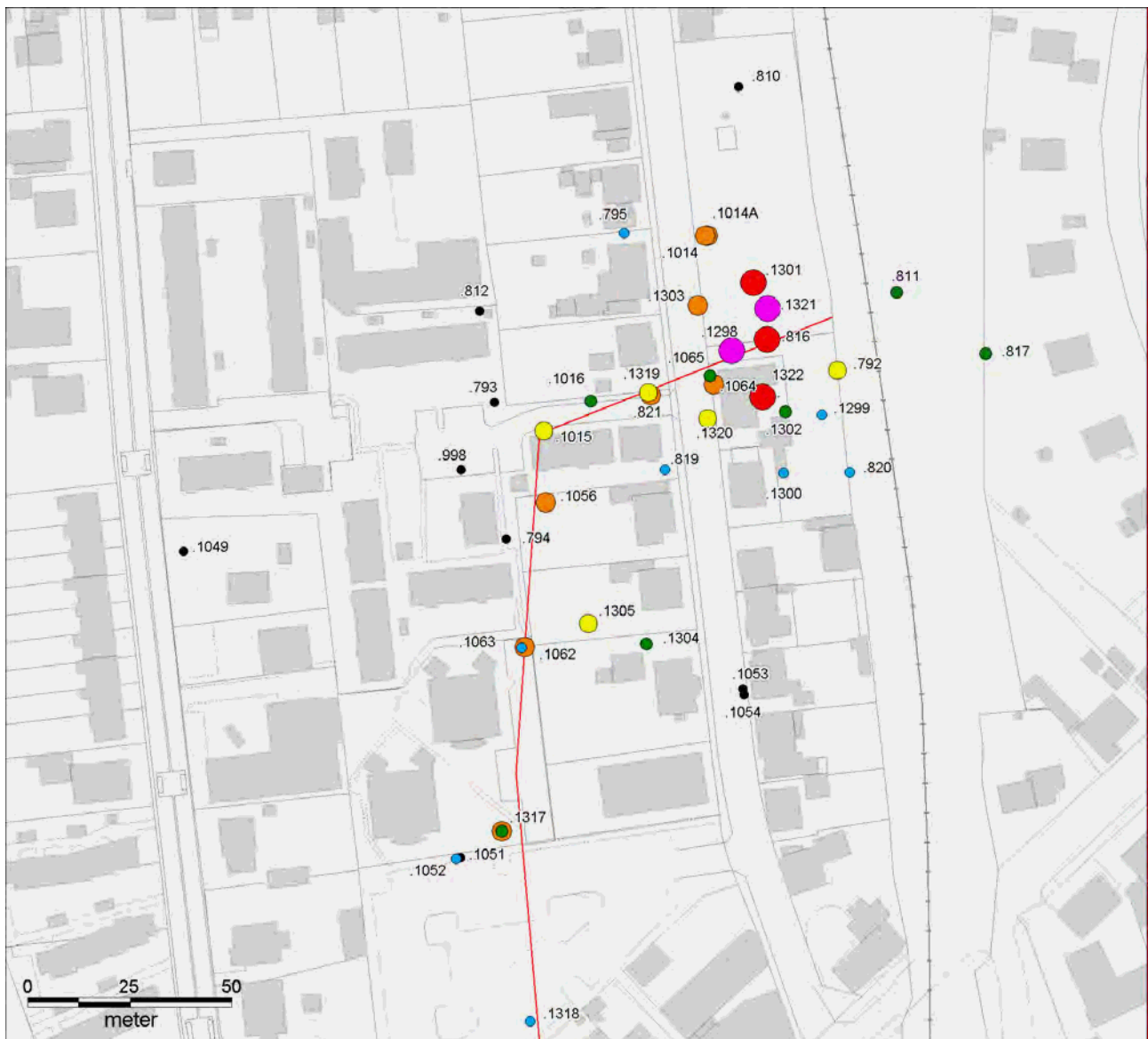
Koncentrationerne af hovedgrupperne og udvalgte problemstoffer i grundvandsprøver fra boringer udenfor kildeområdet, som ikke var medtaget i tabel 3.4, er givet i tabel 4.2 på næste side. For overskuelighedens skyld er værdierne afrundet. De kraftigst forurenede boringer i fanen er markeret med fed, foruden disse er F5 og 9912 i fanen tæt ved kilden kraftigt forurenede med tjærestoffer (tabel 3.4).

Samtlige resultater for analyser af grundvandsprøver for tjærestoffer fremgår af bilag 1.3.

Resultaterne er illustreret på lokalitetsplaner for sum af tjærestoffer, hver af hovedgrupperne samt udvalgte problemstoffer i bilag 1.4. Et udsnit af plantegningen for sum af tjærestoffer i grundvandet er gengivet i figur 4.2.

Tabel 4.2: Resultater af nye grundvandsanalyser ($\mu\text{g/l}$) for hovedgrupper og udvalgte problemstoffer udenfor kildeområdet (alle boringer, som ikke var medtaget i tabel 3.4). De kraftigst påvirkede filtre er markeret med **fed**.

Boring (DGU nr. 155.)	Filterinterval (m u.t.)		Benzen	BTEX'er	Naphthalener	2,6-Xylenol	Phenoler	Benzothiophen	Methyl- benzofuraner	NSO'er	Total (sum af målte tjærestoffer)
F1 (1304)	18,5	20,5	0,1	0,5	1,2	i.d.	0,9	0,04	0,02	0,4	3,0
F2-2 (1305)	21	25	2,7	4,1	2,2	2,8	3,4	0,99	0,88	2,0	12
F2-1 (1305)	35	39	0,3	0,5	0,05	21	23	0,04	0,03	0,2	23
F3-3 (1317)	22,5	25,5	0,07	0,2	0,1	5,7	6,6	0,03	0,02	0,09	7,1
F3-2(1317)	28	31	0,3	0,7	0,3	250	250	45	34	80	330
F3-1 (1317)	36,5	39,5	0,06	0,3	0,07	4,4	4,5	0,1	0,09	0,4	5,3
F4-3 (1318)	17,5	20,5	i.d.	i.d.	0,08	i.d.	0,1	i.d.	i.d.	0,05	0,2
F4-2 (1318)	28	33	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	0,8	i.d.	i.d.	i.d.	0,8
F4-1 (1318)	37	42	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	0,2	i.d.	i.d.	i.d.	0,2
1001 (819)	20	25,3	i.d.	0,04	i.d.	i.d.	i.d.	i.a.	i.a.	i.d.	0,04
1002 (792)	18,8	24,6	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	0,5	i.d.	3,4	29	30
1003 (793)	16,3	21,1	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.
1004 (794)	16,9	24,7	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.a.	i.a.	i.d.	i.d.
1005 (795)	16,7	24,3	0,2	0,2	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	0,02	0,04	0,2
1006 (810)	20,6	25,6	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.a.	i.a.	i.d.	i.d.
1007 (811ne)	17,2	20,2	0,8	1,6	1,3	0,1	0,8	i.d.	0,01	0,04	3,8
1009 (812)	14	20	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.
1011 (817)	23	24	0,07	0,09	1,1		i.d.	i.a.	3,4	i.d.	1,2
1017 (820)	17,4	19,4	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	0,05	i.a.	i.a.	i.d.	0,05
1021 (821)	17,1	22	27	30	1,4	26	30	5,5	i.a.	12	73
1100 (998)	18	25	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	4,9	i.d.	i.d.
9811 (1015)	26,8	29,8	2	3,4	0,2	16	16	2,1	2,3	4,6	24
9811A (1016)	15,8	20,8	1,3	1,3	i.d.	0,2	0,3	0,4	0,4	0,9	2,4
9911 (1062)	30,2	36,2	45	64	23	72	75	61	49	110	270
9911B (1063)	17	23	0,04	0,2	0,2	0,05	0,05	0,2	0,1	0,3	0,7
2000-2 (1051)	37,6	42,6	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.a.	i.a.	i.d.	i.d.
2000-2A dyb (1052)	32,2	34,2	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.a.	i.a.	i.d.	i.d.
2000-2A lav (1052)	20,3	24,3	i.d.	0,2	0,02	i.d.	i.d.	i.a.	i.a.	0	0,2
2000-3 (1053)	23,8	28,8	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.a.	i.a.	i.d.	i.d.
2000-3A dyb (1054)	35	37	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.a.	i.a.	i.d.	i.d.
2000-3A lav (1054)	19	21	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.a.	i.a.	i.d.	i.d.
Pumpeboring (1056)	26	42	69	88	3,8	49	51	17	17	37	180
2000-1 dyb (1049N)	32,6	35,6	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.a.	i.a.	i.d.	i.d.
2000-1 lav (1049Ø)	14,6	17,6	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.a.	i.a.	i.d.	i.d.
2000-1A (1050)	21,7	26,7	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.a.	i.a.	i.d.	i.d.



Figur 4.2: Sum af tjærestoffer i grundvand, plantegning. Rød linie angiver tværsnit vist i figur 4.3. De angivne numre er DGU nr. 155.xxxx, samhørende boringsnummer og DGU nummer fremgår af bilag 1.3.

For samtlige stoffer observeres en forureningsfane fra kildeområdet ved K1 (155.1295), K8 (155.1321) og K9 (155.1322) mod vest via 9912 (155.1064) og F5 (155.1319) og lidt syd om 9811 (155.1015), hvorefter den drejer mod syd via pumpeboring (155.1056), 9911 (155.1062/63) vest om F2 (155.1305) til F3 (155.1317). I F4 (155.1318) syd for F3 er detekteret enkelte tjærestoffer i lav

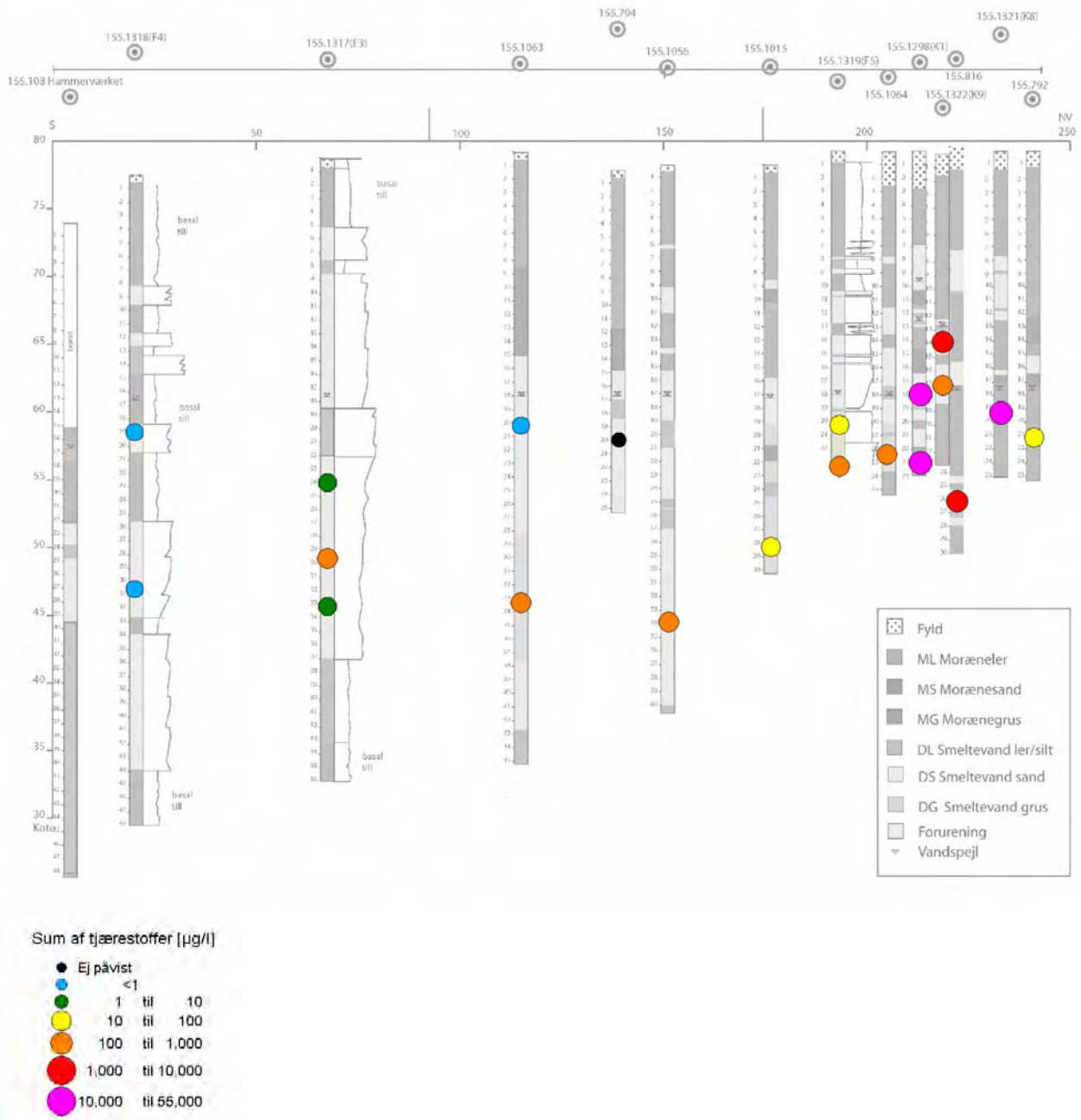
koncentration (<1 µg/l). Der er dog ikke tale om de enkeltstoffer, som er dominerende i fanen, hvorfor fanen vurderes ikke at træffes i F4. Der er tale om en smal fane med kraftig påvirkning med tjærestoffer. Dette er i god overensstemmelse med at fanen hidrører fra et kildeområde med tjære som NAPL under/ved vandspejlet. Fanen er >130 m lang og sandsynligvis ikke afgrænset i nedstrøms retning.

Koncentrationsniveauet for sum af tjærestoffer aftager mere end 2 størrelsesordener ud gennem fanen fra kildeområdet ca. 40.000 til F3 330 µg/l. Der er dog stor forskel på stofgrupperne. BTEX og naphthalener aftager mere end 4 størrelsesordener mens phenoler og NSO'er aftager <1-2 størrelsesordener. Det kan delvis forklares ved at phenolerne og nogle af NSO'erne er lettere opløselige og mere mobile end BTEX og naphthalener. Koncentrationerne af disse stoffer i kildeområdet (udvaskningen) har tidligere været højere end i dag, hvor der resterer en mindre fraktion af disse i tjæren (NAPL). Dermed ville koncentrationerne af stofferne længst fremme i fanen være højere end i kildeområdet, hvis der ikke skete nogen fortynding af fanen (eller nedbrydning deri). Effekten forstærkes af den hurtigere transport af phenoler og nogle NSO'er, som er blandt de mest mobile stoffer. Hvis forskellene mellem koncentrationsændringen mellem de forskellige stofgrupper alene var relateret til opløsning og fortynding ville resultaterne indikere en reduktion i udvaskning af phenol og NSO'er 2-3 størrelsesordener større end reduktionen i udvaskning af BTEX og naphthalener. Udviklingen i boring 9912 (155.1064) viser dog størst fald i naphthalener og ensartet fald i de øvrige (over seneste 6 års periode). Det indikerer, at nedbrydning af naphthalener og BTEX spiller en betydelig rolle.

Resultaterne er tillige illustreret på et vertikalt tværsnit ud gennem fanen for sum af tjærestoffer, hver af hovedgrupperne samt udvalgte problemstoffer i bilag 1.5. Tværsnit med sum af tjærestoffer i grundvand er gengivet i figur 4.3.

I kildeområdet træffes kraftig grundvandspåvirkning fra vandspejl (omkring kote +60) til minimum 5-10 m under dette, med de højeste koncentrationer nær vandspejlet. Mens de højeste koncentrationer ude i fanen typisk træffes mellem kote +40 og +50, altså 10-20 m dybere i magasinet. Fanen dykker under strømmingen mod vest inden den drejer mod syd. Densitetsforskellen mellem forurennet og uforurennet grundvand er beskeden. At fanen dykker er således overvejende hydrogeologisk betinget.

Der træffes overvejende stoffer fra hovedgrupperne phenoler, NSO'er og BTEX i fanen, hvilket er i overensstemmelse med den ringe tilbageholdelse af disse stofgrupper i sandmagasinet ved sorption. Det er imidlertid ikke generelt de mest mobile stoffer indenfor stofgrupperne som træffes i fronten af fanen. Det indikerer, at nogle af de mest mobile stoffer nedbrydes, se afsnit 5.



Figur 4.3: Sum af tjærestoffer i grundvand, tværsnit. Tværsnittets beliggenhed fremgår af figur 4.2.

5 Nedbrydning i grundvandsmagasin ved RTA

5.1 Redoxforhold i grundvandsmagasin ved RTA

For en betydelig del af lokaliteten træffes, frit vandspejl i sandmagasinet under moræneleraflejringer. Sandmagasinets naturlige redoxforhold varierer fra aerobe forhold i de øvre filtre til jernreducerende forhold i nogle nedre filtre. Der er udtaget vandprøver til redoxbestemmelse fra udvalgte filtre i såvel kildeområdet som fanen. Resultaterne af analyser for redoxparametre fra /3/ suppleret med enkelte eksisterende data er gengivet i tabel 5.1 og plan og tværsnit med illustration af dataene er vedlagt som bilag 1.6. I bilag 4 er på grundlag af nye såvel som tidligere data foretaget en skønsmæssig vurdering af redoxforholdene for hvert enkelt filter.

Der er et betydeligt indhold af ilt og nitrat i grundvandet i flere øvre filtre, men ingen ilt eller nitrat i dybe filtre i forureningsfanen. Grænsen mellem aerob-nitratreducerende og mangan-jern-reducerende forhold træffes ca. 5 m under vandspejlet eller ca. 22 m u.t. i kildeområdet og fanetraceet. Øst og vest for fane-traceet er konstateret mindre indhold af ilt og betydelige indehold af nitrat til betydeligt større dybde, ved 2000-1 (vest, 155.1049 og 155.1050) til ca. 30 m u.t. og ved 2000-3 (øst, 155.1053 og 155.1054) til > 37 m u.t.

I flere filtre optræder nitrat sammen med opløst jern og mangan – også i filtre uden væsentlig forurening. Det kan skyldes, at grundvand fra forskellige redoxzoner blandes i filtrene og/eller magasinet. I de filtre i fanen, hvor der ikke er truffet ilt, og nitrat er lav eller ikke tilstede, ses forhøjede indhold af mangan og jern. Også i F4 er der en del opløst jern i de dybere filtre. I F3 er jern overraskende højere i øvre filter med nitrat end i dybere filtre. I borerne 2000-1 og 2000-3 er ved tidligere analyser konstateret betydeligt indhold af opløst jern på trods af høje indhold af nitrat. Der er ikke udført analyser for redoxparametre i disse borer i 2005.

Der er betydeligt sulfatindhold i grundvandet i de fleste filtre. I nogle borer i/ved kildeområdet er sulfatkoncentrationerne lavere, mens de i andre er meget høje. I nogle af borerne med lavere sulfat er detekteret sulfid. Det indikerer, at nedbrydning af forureningskomponenter har bevirket en reduktion af miljøet til sulfatreducerende forhold. Påvirkningen af redoxforholdene indikerer, at der sker nedbrydning af tjæreforbindelser i grundvandsmagasinet under anaerobe såvel som aerobe forhold. De meget høje sulfatindhold i andre borer, bl.a. K1, i kildeområdet kan måske skyldes (spekulativt) en lokal påvirkning med svovlforbindelser oxideret til sulfat - kombineret med inhibering af nedbrydningen i de kraftigst forurenede borer.

Ved de tidligere undersøgelser er enkelte steder truffet mindre indhold af metan i grundvandet i nogle af de kraftigst forurenede borer i fanen. Da der næppe er tale om methanogene forhold omkring filtrene, kan metan indholdet være indikation på, at der i selve kildeområdet lokalt optræder methanogene forhold, hvorfra metan transporteres nedstrøms.

Forureningsfanen udbredes i en del af magasinet, hvor forholdene overvejende må beskrives som jernreducerende. Resultater fra de dybe borer vest og øst for fanen indikerer, at en del af magasinet er mere oxideret end traceet, som fanen følger. I nedstrøms retning kan ske en opblanding af vandtyperne resulterende i mindre reducerede forhold i fanen. Der er dog ikke i redoxdata grundlag til at placere en redoxgrænse i nedstrøms retning indenfor det undersøgte område, idet forholdene i F4s dybe filtre er jernreducerende.

Tabel 5.1: Nye data for redoxparametre for grundvandsmagasinet ved RTA, for enkelte eksisterende boringer suppleret med værdier fra tidligere undersøgelser.

Boring (DGU nr. 155.)	Filterinterval (m u.t.)		Ilt	Nitrat	Jern	Mangan	Sulfat	Sulfid-S	Redoxpotentiale
K1-2 (1298)	15,9	19,9	i.m.	<0,5	0,15	0,43	180	<0,02	i.m.
K2 (1299)	14	19	i.m.	<0,5	0,08	0,34	68	<0,02	26
K3 (1300)	13,5	15,5	i.m.	<0,5	0,08	0,26	130	<0,02	i.m.
K5 (1302)	15	19	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.
K6 (1303)	15	20	1,9	15	0,078	0,09	67	<0,02	198
K7-2 (1320)	16	20	i.m.	5,4	0,08	0,97	94	0,02	i.m.
K7-1 (1320)	20,9	23,9	1,06	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.	-92
K8-2 (1321)	12,5	14,5	0,14	<0,5	2,5	0,29	200	0,02	-239
K9-2 (1322)	12,7	14,7	i.m.	0,5	3,7	0,77	22	<0,02	i.m.
F1 (1304)	18,5	20,5	i.m.	6,7	2,2	0,12	44	0,05	i.m.
F2-2 (1305)	21	25	i.m.	<0,5	0,42	1,4	320	<0,02	i.m.
F2-1 (1305)	35	39	0,04	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.	-120
F3-3 (1317)	22,5	25,5	0,8	5,9	0,64	0,31	110	<0,02	-101
F3-2 (1317)	28	31	0,1	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.	-142
F3-1 (1317)	36,5	39,5	0,5	<0,5	2,5	0,52	110	0,03	-269
F4-3 (1318)	17,5	20,5	0,09	0,9	1,1	0,48	130	<0,02	-129
F4-2 (1318)	28	33	0,11	<0,5	0,53	0,95	88	<0,02	-27
F4-1 (1318)	37	42	1,2	<0,5	0,19	0,032	100	<0,02	-143
F5-2 (1319)	19	21	1,2	12	0,2	0,08	12	<0,02	-58
F5-1 (1319)	22,5	23,5	0,11	<0,5	1,6	0,6	120	<0,02	-150
1002 (792)	18,8	24,6	2,96	0,8	0,04	0,007	21	0,05	132
1003 (793)	16,3	21,1	1,44	2,8	0,02	<0,005	120	<0,02	32
1005 (795)	16,7	24,3	0,49	1,1	<0,01	0,043	90	<0,02	48
1007 (811ne)	17,2	20,2	1,2	<0,5	0,09	0,16	64	<0,02	246
1009 (812)	14	20	7,3	13	0,08	0,21	100	<0,02	75
1010 (816)	24	28	0,1	<0,5	3,8	0,35	25	0,42	-121
1021 (821)	17,1	22	0,51	<0,5	1,6	1,1	100	<0,02	-28
1100 (998)	18	25	0,16	0,7	0,41	0,44	120	<0,02	-37
9810A (1014A)	16,1	22,1	0,04	<0,5	6,7	0,86	99	0,08	-119
9810 (1014)	22,9	25,9	0,08	<0,5	7,2	0,63	110	<0,02	-117
9811 (1015)	26,8	29,8	0,3	<0,5	2,5	1,5	130	<0,02	-55
9811A-b (1015A)	15,8	20,8	4,98	12	0,06	0,41	92	<0,02	42
9911 (1062)	30,2	36,2	0,17	<0,5	5,2	1,2	110	<0,02	-72
9911B (1063)	17	23	8,6	46	0,01	<0,005	180	0,03	58
9912 (1064)	20,8	23,8	0,2	2,1	1,8	0,8	58	<0,02	82
9912A (1065)	16,5	19,5	1,56	8,7	0,08	0,073	75	<0,02	46
Pumpeb. (1056)	26	42	0,09	<0,5	7,5	1,3	120	<0,02	-99

5.2 Nedbrydningspotentiale for tjærestoffer

I /1/ er foretaget en vurdering af nedbrydeligheden af de mest vandopløselige og mobile tjærestoffer under forskellige redoxforhold på basis af litteratordata. De valgte stoffer var på grundlag af stoffer-

nes mobilitet vurderet at kunne udgøre problemstoffer for vandressourcen. En oversigtstabel herover fra /1/ er gengivet nedenfor i tabel 5.2.

Tabel 5.2: Nedbrydelighed af opløselige og mobile tjærestoffer.

Stofgruppe	Stof	Redoxforhold				
		Aerobe	Nitrat-reduc.	Jern-reduc.	Sulfat-reduc.	Methanogene
MAH	benzen	++/(-)	+/-	+/-	++/-	+/-
	toluene	+++	++	++	++	++
	ethylbenzen og xylener	+++	++	++	++	++
	C9-aromater	++	++	++	++	++
Phenoler	phenol	+++	+++	+++	+++	+++
	cresoler	+++	+++/-	+++/-	+++/-	+++/-
	xylener	+++/+	+++/-	+++/-	+/-	+/-
Naphthalener	naphthalen	++	++/-	++	++	++
NSO-forbindelser	methylquinolin	+++	-			
	benzofuran (I)	++	-		-	+
	methylbenzofuraner	++	-			
	thiophen (I)	+(C)/-	-		-	+
	benzothiophen (I)	+	-		+	+
	pyrrol (I)	-	-		-	+
	methylpyrroler (I)	-	-			

+++ , ++ , + : let, middel, tungt nedbrydeligt, - : persistent, (I) : inhiberer nedbrydning af andre tjærestoffer (benzen, toluen), (C) : co-metabolsk med f.eks. naphthalen som primær kulstofkilde /1/.

Det ses at benzen fra gruppen af MAH'er og nogle cresoler og xylener (specielt o-substituerede phenoler) kan være persistente (eller svært nedbrydelige) under nitrat- og jernreducerende forhold, som er fremherskende i grundvandsmagasinet ved RTA. Ligeledes er de omtalte NSO-forbindelser persistente under nitratreducerende forhold og der mangler viden vedrørende nedbrydning af NSO-forbindelserne under jernreducerende forhold. Ved analyser af vandprøver fra de 2 mest påvirkede eksisterende borer i foråret 2005 blev ikke detekteret methylquinolin, pyrrol eller methylpyrrol. De udgør således ikke et problem ved RTA, de er derfor ikke medtaget ved analyserne i efteråret 2005.

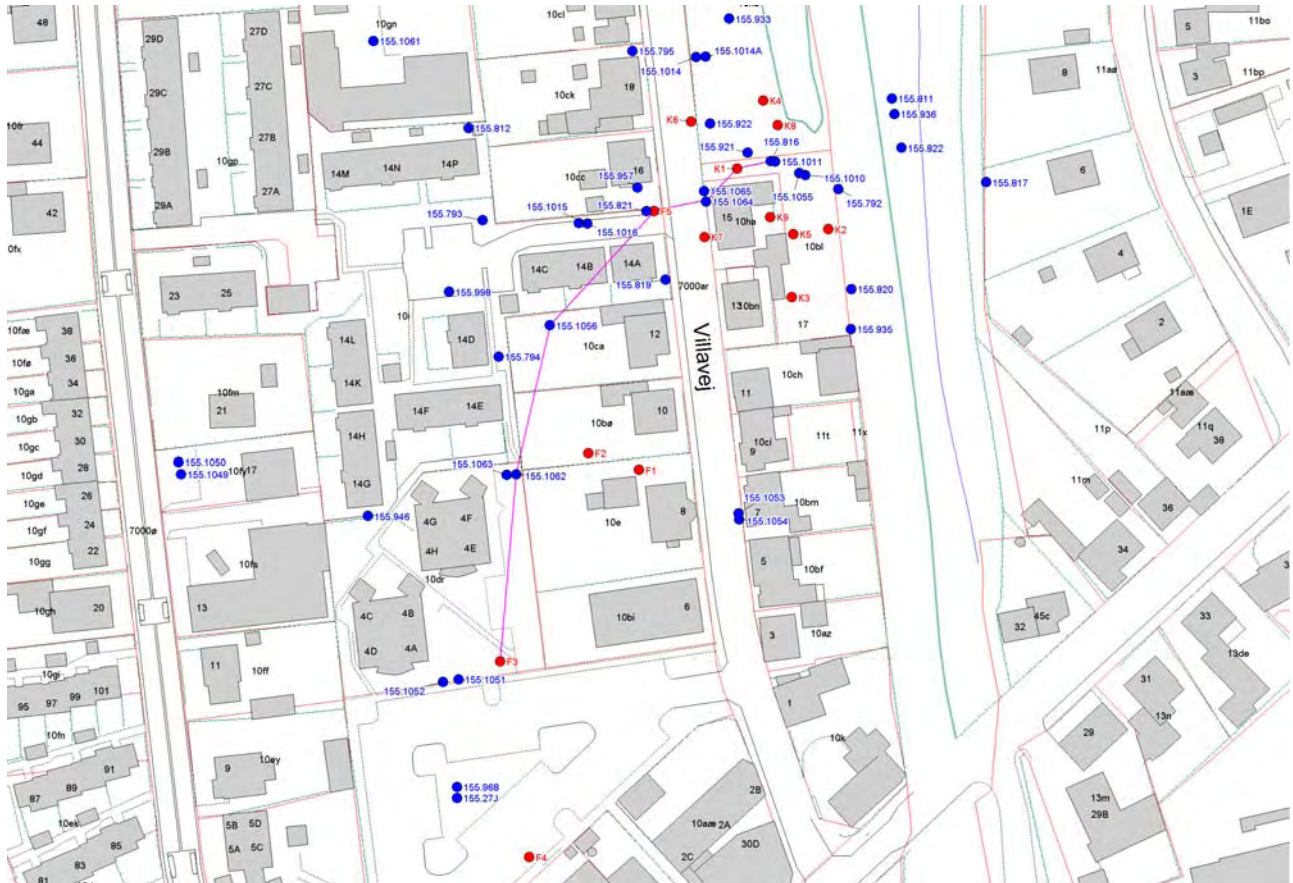
5.3 Belysning af nedbrydning i forureningsfanen ved ændringer i stofsammensætningen.

Ændringer i sammensætningen af tjærekompontener forårsaget af retardation ved sorption og af nedbrydning bør afspejles i forholdet mellem stofferne fra kildeområdet ud gennem fanen. Der er dog jf. /1/ en række forhold, som kan gøre situationen mere kompleks, f.eks. a) inhibering fra høje koncentrationer centralt i fanen, b) redoxforskelle over dybden i fanen, c) forurening fra andre områder på grunden, hvor kilden er helt/delvist fjernet eller udvasket, d) ændrede strømningsforhold i løbet af perioden, e) variation i potentialeforhold (VS-niveau) i løbet af perioden.

Den andel af det totale indhold af tjærestoffer, der udgøres af de enkelte stofgrupper, er illustreret på plan og tværsnit i bilag 1.7, og den andel af det totale indhold af hver stofgruppe, der udgøres af de enkelte stoffer i gruppen, er illustreret på plan og tværsnit i bilag 1.8.

Boringerne (DGU nr. 155.) 1010 (816), K1-2 (1298), 9912 (1064), F5-1 (1319), Pumpeboring (1056), 9911 (1062) og F3-2 (1317) ligger rimeligt centralt i kildeområde eller fane og repræsenterer, det nærmeste vi kommer, en række borer/filtre nogenlunde på strømningslinie fra kilden

ud gennem forureningsfanen. Boringernes beliggenhed fremgår af figur 5.1 og bilag 1.1. Boring 1010, K1-2 og 9912 ligger i kildeområdet, kraftigst forurening med fri fase tjære under/ved vand-spejlet er observeret i K1-2. Boring 1010 ligger lidt opstrøms, men i kildeområdet, mens boring 9912 ligger lidt nedstrøms K1-2. For disse boringer er ovennævnte andele gengivet i tabeller og/eller figurer i dette afsnit.

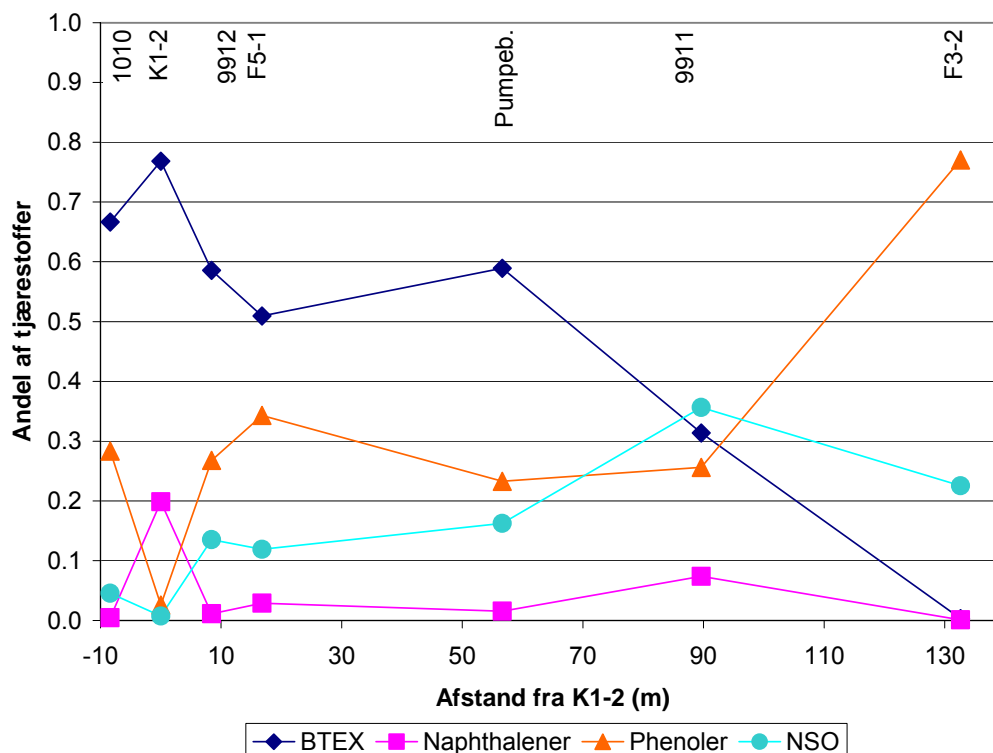


Figur 5.1: Boringer der repræsenterer, det nærmeste vi kommer, en strømlinie fra kilden ud gennem forureningsfanen er markeret ved en linie (pink) gennem boringerne. Samhørende boringsnummer og DGU nummer fremgår af tabel 5.1 og bilag 1.3.

Indledningsvis ses på ændringer af den andel af det totale indhold af tjærestoffer, der udgøres af de enkelte stofgrupper, for ovennævnte boringer givet i tabel 5.3 og illustreret i figur 5.2.

Tabel 5.3: Andel af totale indhold af tjærestoffer, der udgøres af de enkelte stofgrupper.

Stofgruppe	Boring (DGU nr. 155.)						
	1010 (816)	K1-2 (1298)	9912 (1064)	F5-1 (1319)	Pumpeb. (1056)	9911 (1062)	F3-2 (1317)
Afstand fra K1-2 (m)	-8,4	0	8,4	16,8	56,6	89,6	132,6
Phenoler	0,28	0,03	0,27	0,34	0,23	0,26	0,77
MAH'er	0,67	0,77	0,59	0,51	0,59	0,31	0,003
Naphthalener	0,005	0,20	0,01	0,03	0,02	0,07	0,001
NSO'er	0,05	0,007	0,14	0,12	0,16	0,36	0,23



Figur 5.2: Andel af totale indhold af tjærestoffer, der udgøres af de enkelte stofgrupper. DGU nr. for borerne fremgår af tabel 5.3.

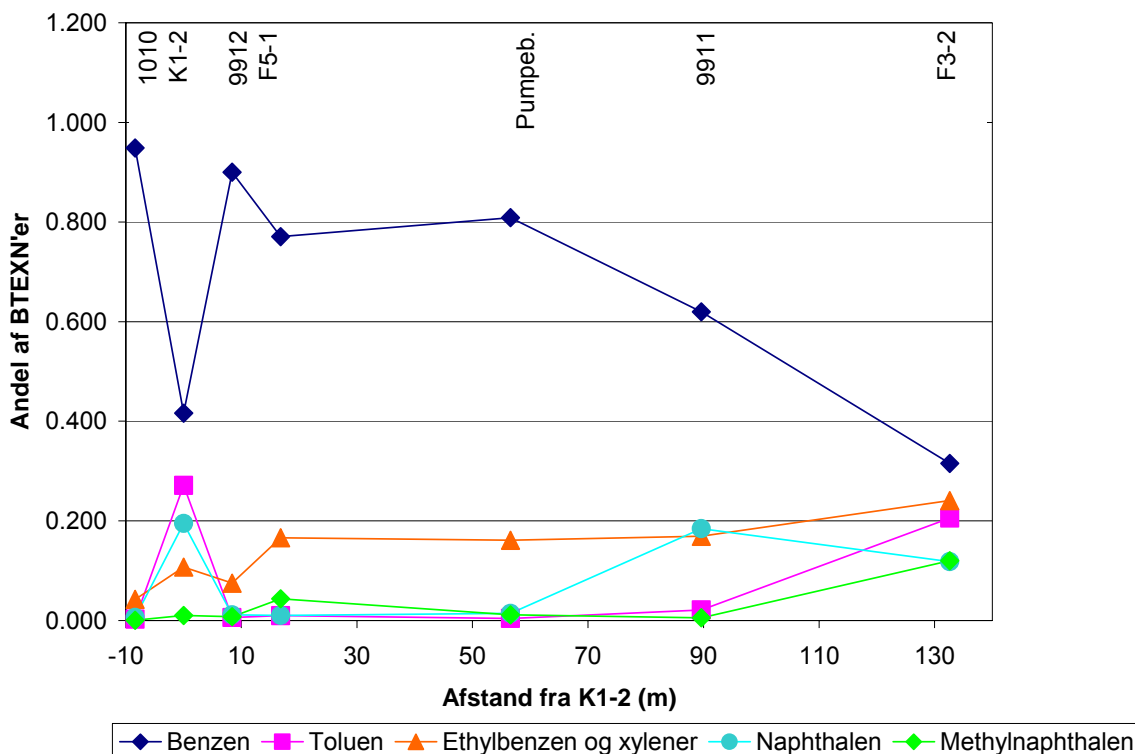
Allerede indenfor kildeområdet observeres forandring i sammensætningen af stofgrupper i forhold til boring K1-2 med tjærefase. Andelen af BTEX og naphthalener aftager mens andelen af phenoler og NSO'er stiger. Ud gennem den første del af fanen (til ca. 70 m) forbliver sammensætningen ret ensartet. Derefter aftager andelen af BTEX dramatisk, mens andelen af NSO'er og siden phenoler stiger. Nogle phenoler og NSO'er er mere opløselige og mobile end BTEX og naphthalener, hvilket kunne betyde at disse stofgrupper også uden nedbrydning kunne dominere i fronten af fanen. Det er imidlertid ikke de mest opløselige og mobile af phenolerne og NSO'erne som træffes i fanen. Hovedårsagen til den øgede andel af disse grupper af stoffer vurderes således at være et resultat af nedbrydning af nogle af stofferne i de andre stofgrupper (BTEX og Naphthalener).

Af tværsnittet for fordelingen af stofgrupperne, bilag 1.7, ses for borer i kildeområdet med 2 filtre en øget andel af phenoler og NSO'er og lavere andel af naphthalener og BTEX'er i de nedre end i de øvre filtre, hvilket indikerer at der også ved forureningsudbredelse i dybden sker nedbrydning af nogle naphthalener og BTEX'er.

Tilsvarende ses på ændringer i andelen af de enkelte stoffer indenfor hver stofgruppe, for ovennævnte borer givet i tabel 5.4 til tabel 5.6 og illustreret i figur 5.3 til 5.5. Da naphthalenerne næsten udelukkende udgøres af naphthalen er gruppen slået sammen med gruppen af BTEX'er.

I kildeområdet ses dramatisk stigning i andelen af benzen og aftagende andel af toluen og naphthalen i forhold til K1-2 med tjærefase, figur 5.3 og tabel 5.4. Også ethylbenzen og xylener samt methylnaphthalen aftager noget i kildeområdet. Dette indikerer at benzen er persistent eller nedbrydes betydeligt langsommere end de øvrige BTEXN'er. I den første del af fanen er andelen af

toluen og naphthalen fortsat meget små, derimod ses tilsyneladende en stigning ethylbenzen og xylener samt methylnaphthalen og et lille fald i benzen, som dog fortsat er meget dominerende. Det er lidt overraskende, men kan skyldes en øget nedbrydning i kildeområdet over tid eller hurtigere reduktion af andelen af andre BTEXN'er end benzen i kilden på grund af en øget koncentrationsgradient forårsaget af hurtig nedbrydning.



Figur 5.3: Andel af enkeltstoffer i gruppen af BTEX og naphthalener. DGU nr. for borerne fremgår af tabel 5.4.

Tabel 5.4 Andel af enkeltstoffer i gruppen af BTEX og naphthalener.

Stof	Boring (DGU nr. 155.)						
	1010 (816)	K1-2 (1298)	9912 (1064)	F5-1 (1319)	Pumpeb. (1056)	9911 (1062)	F3-2 * (1317)
Afstand fra K1-2 (m)	-8,4	0	8,4	16,8	56,6	89,6	132,6
Benzen	0,95	0,42	0,90	0,77	0,81	0,62	0,32
Toluen	0,002	0,27	0,006	0,01	0,004	0,02	0,21
Ethylbenzen og xylener	0,04	0,11	0,08	0,17	0,16	0,17	0,24
Naphthalen	0,007	0,20	0,01	0,01	0,01	0,19	0,12
Methylnaphthalen	0	0,01	0,008	0,04	0,01	0,006	0,12

*: Koncentrationen af alle BTEXN'er er lav (< 10·detektionsgrænse), se tekst.

I den sidste del af fanen aftager benzenkoncentrationerne betydeligt, hvilket er årsag til, at BTEX'ernes andel af tjærestofferne aftager. Det indikerer, at der foregår nedbrydning af benzen. At det tilsyneladende resulterer i aftagende andel af benzen i BTEXN'er er imidlertid overraskende, idet

de øvrige af stofferne er lettere nedbrydelige under anaerobe forhold. Specielt er det overraskende, at toluen tilsyneladende udgør en væsentlig andel længst ude i fanen.

Af tværsnittet for fordelingen af enkeltstofferne i BTEXN'er, bilag 1.8, ses for boringer i kildeområdet med 2 filtre en øget andel af benzen og lavere andel af de øvrige stoffer i de nedre end i de øvre filtre, hvilket indikerer, at der også ved forureningsudbredelse i dybden sker nedbrydning af en del af de øvrige BTEXN'er.

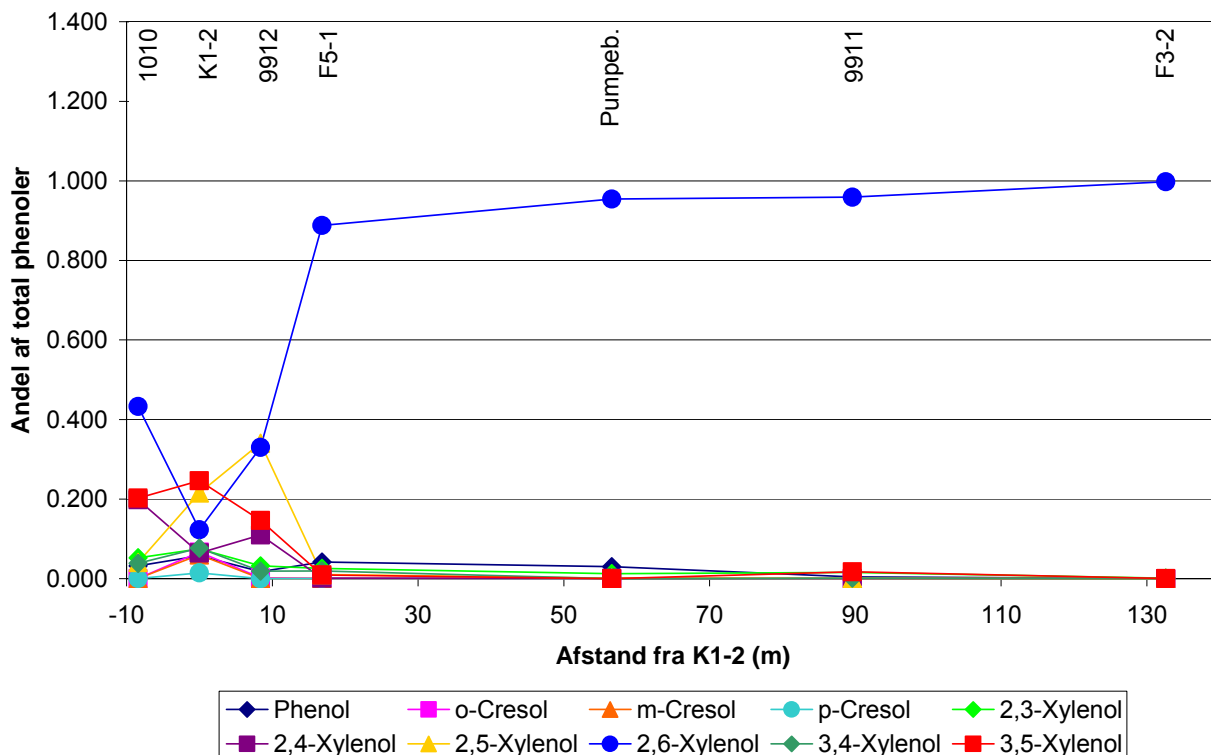
I kildeområdet tiltager andelene af 2,4-, 2,5- og 2,6-xylenol i forhold til andelene i K1-2 med tjærefase, figur 5.4 og tabel 5.5. Det indikerer, at de øvrige phenoler nedbrydes. Dette er i god overensstemmelse med at de ortho-substituerede (2- og 6- substituerede) xylenoler er sværest nedbrydelige /1/. 2,6-Xylenol udgør almindeligvis kun en meget lille andel af phenolerne (og af xylenolerne) i frisk tjære og er mindre opløselig end phenol og cresoler. 2,6-Xylenol udgør imidlertid en betydelig del af phenolerne i både jord- og grundvand vand fra K1 (18 m u.t. og filter 2). Det indikerer, at der er sket en betydelig udvaskning af phenol og cresoler fra tjæren. 2,6-Xylenol udgør imidlertid også en betydelig del af xylenolerne i både jord og grundvand fra K1 18 m u.t og filter 2). Da opløselighederne af xylenolerne er sammenlignelige, kan det være indikation på at nedbrydning af andre xylenoler (såvel som af phenol og cresoler) i kildeområdet har medvirket til udvaskningen af disse fra tjærefasen ved forøgelse af koncentrationsgradienten.

Umiddelbart nedstrøms kildeområdet aftager andelene af alle andre phenoler end 2,6-xylenol, og andelen af 2,6-xylenol stiger dramatisk. Ud gennem fanen stiger andelen af 2,6-xylenol til nær 1. Alle andre phenoler nedbrydes således, mens 2,6-xylenol tilsyneladende er persistent. Stigningen i andelen phenoler i forhold til andelene af de andre stofgrupper er relateret til stigningen i andelen af 2,6-xylenol. Det kan indikere, at alle andre resterende tjærestoffer i grundvandet nedbrydes længst ude i fanen. Dette belyses nærmere sidst i dette afsnit.

Af tværsnittet for fordelingen af enkeltstofferne i phenolerne, bilag 1.8, ses for boringer i kildeområdet med 2 filtre en øget andel af specielt 2,6-xylenol og lavere andel af de øvrige stoffer i de nedre end i de øvre filtre, hvilket indikerer at der også ved forureningsudbredelse i dybden sker nedbrydning af en del af de øvrige phenoler.

Tabel 5.5: Andel af gruppen af phenoler der består af de enkelte stoffer.

Stof	Boring (DGU nr. 155.)						
	1010 (816)	K1-2 (1298)	9912 (1064)	F5-1 (1319)	Pumpeb. (1056)	9911 (1062)	F3-2 (1317)
Afstand fra K1-2 (m)	-8,4	0	8,4	16,8	56,6	89,6	132,6
Phenol	0,03	0,06	0,02	0,04	0,03	0,005	0,001
o-Cresol	0	0,07	0,002	0,001	0	0	0
m-Cresol	0,001	0,06	0	0,001	0	0	0
p-Cresol	0	0,02	0	0,001	0	0	0
2,3-Xylenol	0,05	0,08	0,03	0,03	0,01	0,02	0,001
2,4-Xylenol	0,20	0,07	0,11	0,001	0,001	0,001	0
2,5-Xylenol	0,04	0,22	0,34	0,01	0,001	0,001	0
2,6-Xylenol	0,43	0,12	0,33	0,89	0,95	0,96	1,00
3,4-Xylenol	0,04	0,08	0,02	0,02	0	0,002	0
3,5-Xylenol	0,2	0,25	0,15	0,01	0	0,02	0



Figur 5.4: Andel af phenolerne som består af de enkelte stoffer. DGU nr. for borerne fremgår af tabel 5.5.

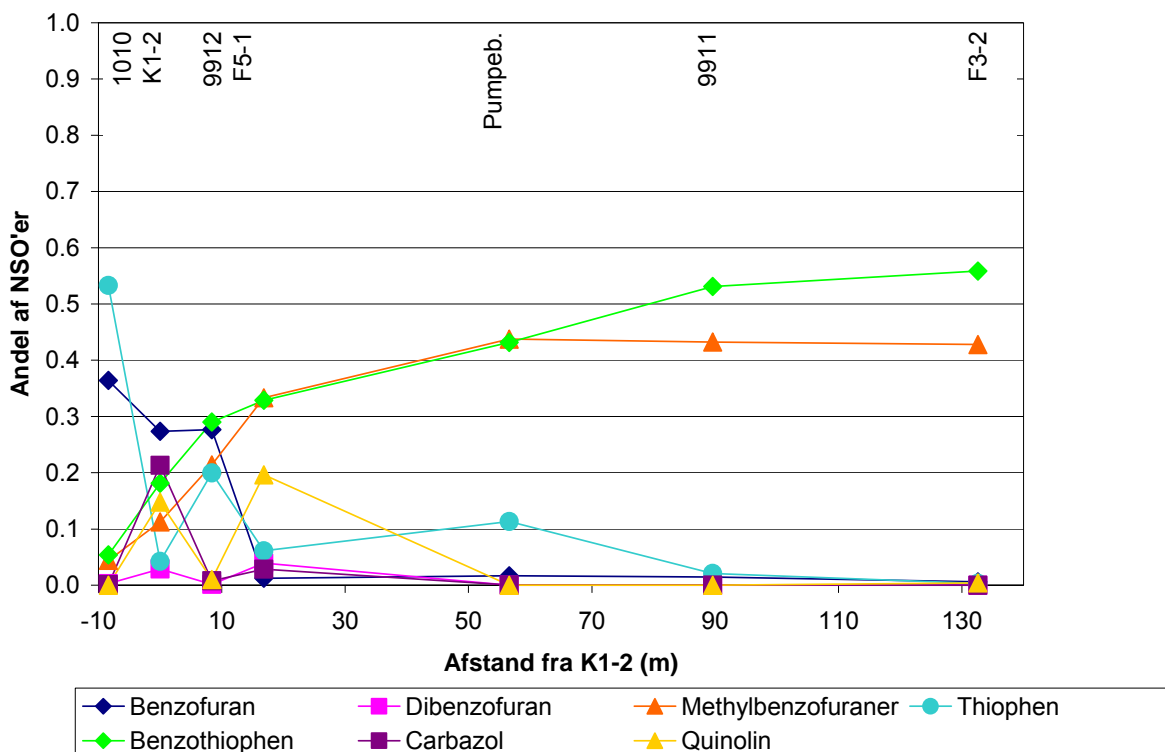
Dibenzofuran, carbazol og quinolin andelene aftager mens andelene af de øvrige NSO-forbindelser stiger i kildeområdet sammenholdt med K1-2 med tjærefase, se figur 5.5 og tabel 5.6. For de 2 førstnævnte stoffer kan den aftagende andel skyldes en betydelig tilbageholdelse ved sorption såvel som nedbrydning. Den aftagende andel af quinolin formodes at skyldes nedbrydning, idet quinolin har en høj mobilitet og er forholdvis let nedbrydelig også under anaerobe forhold.

Tabel 5.6: Andel af gruppen af NSO'er som udgøres af de enkelte stoffer.

Stof	Boring (DGU nr. 155.)						
	1010 (816)	K1-2 (1298)	9912 (1064)	F5-1 (1319)	Pumpeb. (1056)	9911 (1062)	F3-2 (1317)
Afstand fra K1-2 (m)	-8,4	0	8,4	16,8	56,6	89,6	132,6
Benzofuran	0,36	0,27	0,28	0,01	0,02	0,02	0,006
Dibenzofuran	0,003	0,03	0,001	0,04	0	0	0
Methylbenzofuraner	0,04	0,11	0,21	0,33	0,44	0,43	0,43
Thiophen	0,53	0,04	0,2	0,06	0,11	0,02	0,004
Benzothiophen	0,05	0,18	0,29	0,33	0,43	0,53	0,56
Carbazol	0,001	0,21	0,008	0,03	0	0	0
Quinolin	0	0,15	0,01	0,20	0	0	0,004

I starten af fanen aftager andelen af benzofuran og thiophen, hvilket dog til dels skyldes, at der overraskende atter træffes quinolin. Andelen af benzofuran forbliver lav / aftager yderligere sam-

tidig med at quinolin atter aftager i fanen, andelen af thiophen stiger derimod igen, for først at aftage yderst i fanen. Andelene af benzothiophen og methylbenzofuraner stiger ud gennem fanen, længst ude i fanen er der muligvis en tendens til at det alene er andelen af benzothiophen som stiger lidt. Dette indikerer, at alle andre NSO'er end benzothiophen og methylbenzofuran(er) nedbrydes i kilden og eller fanen.



Figur 5.5: Andel af gruppen af NSO'er som udgøres af de enkelte stoffer. DGU nr. for borerne fremgår af tabel 5.6.

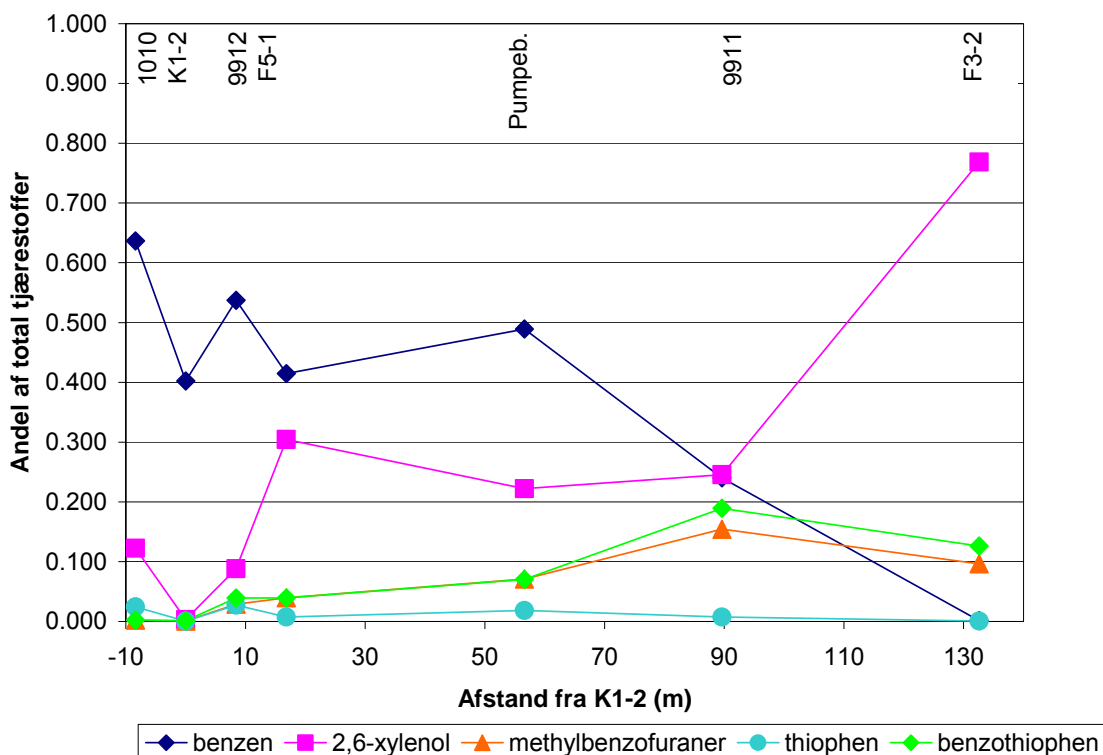
Af tværsnittet for fordelingen af enkeltstofferne i NSO'erne, bilag 1.8, ses for borer i kildeområdet med 2 filtre en øget andel af specielt thiophen og/eller benzothiophen og methylbenzofuraner i de nedre filtre end i de øvre filtre, hvilket indikerer at der også ved forureningsudbredelse i dybden sker tilbageholdelse og/eller nedbrydning af en del af de øvrige NSO'er.

For BTEXN'er benzen dominerende, og for phenoler er 2,6-xylenol at være dominerende, i god overensstemmelse med at de også i /1/ er udpeget som problemstofferne i de 2 grupper. Blandt NSO'erne dominerer benzothiophen og methylbenzofuraner. De var sammen med thiophen, som tilsyneladende nedbrydes forholdsvis langt ude i fanen, udpeget som potentielle problemstoffer i /1/. For at se nærmere på den indbyrdes betydning af de 5 ovennævnte problemstoffer er andelen af disse i forhold til det totale indhold af tjærestoffer givet i tabel 5.7 og illustreret i figur 5.5.

Det observeres tydeligt, at andelene af benzen og thiophen aftager i de 2 yderste borer i fanen, mens andelen af de 3 andre problemstoffer stiger. Da opløseligheden og mobiliteten af benzen og thiophen er højere end for de 3 andre problemstoffer kan dette ikke forklares derved. Det er således en stærk indikation på nedbrydning af thiophen og benzen yderst i fanen.

Tabel 5.7: Andel af totale indhold af tjærestoffer i grundvandet, som består af de udpegede problemstoffer.

Stof	Boring (DGU nr. 155.)						
	1010 (816)	K1-2 (1298)	9912 (1064)	F5-1 (1319)	Pumpeb. (1056)	9911 (1062)	F3-2 (1317)
Afstand fra K1-2 (m)	-8,4	0	8,4	16,8	56,6	89,6	132,6
Benzen	0,64	0,40	0,54	0,42	0,49	0,24	0,001
2,6-Xylenol	0,12	0,003	0,09	0,30	0,22	0,25	0,77
Methylbenzofuraner	0,002	0,001	0,03	0,04	0,07	0,15	0,10
Thiophen	0,02	0	0,03	0,007	0,02	0,007	0,001
Benzothiophen	0,002	0,001	0,04	0,04	0,07	0,19	0,13



Figur 5.5: Andel af totale indhold af tjærestoffer i grundvandet, som består af de udpegede problemstoffer. DGU nr. for borerne fremgår af tabel 5.7.

I den sidste boring i fanen, aftager andelene af benzothiophen og methylbenzofuraner mens andelen af 2,6-xylenol stiger. 2,6-Xylenol har imidlertid en langt højere opløselighed og større mobilitet end benzothiophen og methylbenzofuraner. Ændringen i de andele stofferne udgør kan således skyldes en større initial udvaskning og hurtigere spredning af 2,6-xylenol end af de to NSO-forbindelser. Dette bekræftes af, at der ses lidt højere koncentration af 2,6-xylenol yderst i fanen end i kildeområdet, mens de 2 NSO-forbindelser optræder i lavere eller sammenlignelig koncentration yderst i fa-

nen som i kildeområdet. Det kan således ikke udelukkes at 2,6-xylenol, benzothiophen og methylbenzofuraner er persistente i grundvandsmagasinet.

5.4 Belysning af nedbrydning i forureningsfanen ved specifikke nedbrydningsprodukter

Resultaterne af analyserne for specifikke anaerobe nedbrydningsprodukter af toluen, ethylbenzen, xylen og methylnaphthalen er givet i tabel 5.8 og illustreret for boringsrækken fra kilden ud gennem fanen i figur 5.6.

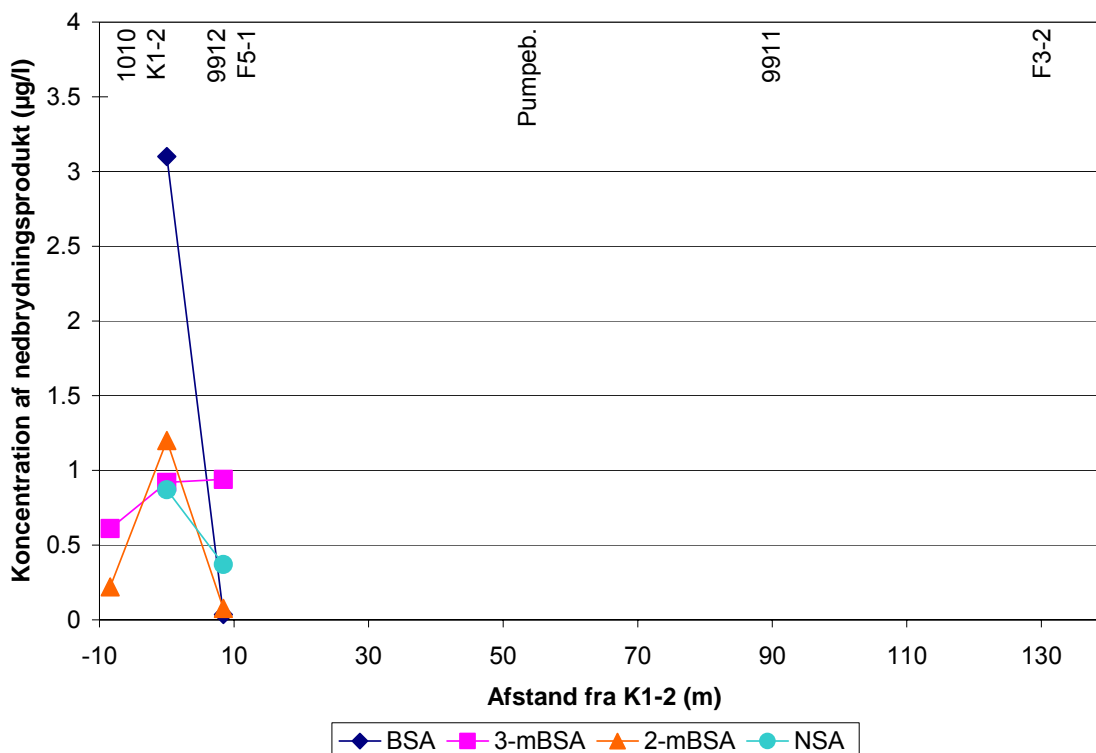
Tabel 5.8: Koncentration (µg/l) af specifikke anaerobe nedbrydningsprodukter af toluen, ethylbenzen, xylen og methylnaphthalen i grundvandsmagasinet ved RTA.

Boring (DGU 155.)	Nedbrydningsprodukt (Moderstof)						
	BSA (Toluen)	α-mBSA (Ethylbenzen)	2-mBSA (o-Xylen)	3-BSA (m-Xylen)	4-BSA (p-Xylen)	NSA (2-methylnaphthalen)	NIA (2-methylnaphthalen)
K1-2 (1298)	3,1	<0,2	0,92	1,2	<0,05	0,87	<0,1
K1-1 (1298)	13	<0,3	4,2	10	<0,05	<0,05	<0,05
K7-2 (1299)	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
K7-1 (1320)	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
K9-1 (1322)	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
F2-2 (1305)	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
F3-2 (1317)	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
F5-1 (1319)	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1010 (816)	<0,05	<0,2	0,61	0,22	<0,05	<0,05	<0,05
1021 (821)	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
9911 (1062)	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
9912 (1064)	0,036	<0,1	0,94	0,077	<0,05	0,37	<0,04
9912A (1065)	<0,02	<0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,04
Pumpeb. (1056)	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Der er i kildeområdet konstateret specifikke anaerobe nedbrydningsprodukter af toluen, o- og m-xylen samt 2-methylnaphthalen. Dette er dokumentation for, at der foregår anaerob nedbrydning af stofferne i kildeområdet. Koncentrationerne af nedbrydningsprodukterne er meget lave sammenholdt med moderprodukterne, men det er ikke uventet, idet nedbrydningsprodukterne er transiente og nedbrydes videre.

De højeste koncentrationer træffes i K1 centralt i kildeområdet, hvor koncentrationerne af moderstofferne er betydelig. Maksimalkoncentrationer ses dog i det nedre filter frem for det øvre mere forurenede filter. Dette kan have flere årsager, bl.a. større anaerob nedbrydning ved nedre filter på grund af inhibering fra højere koncentrationer af inhiberende stoffer ved øvre filter, eller mere gunstige forhold for anaerobe nedbrydning ved nedre end øvre filter.

Ikke overraskende, overstiger koncentrationerne af nedbrydningsprodukterne ikke detektionsgrænsen i forureningsfanen, hvor koncentrationerne af moderprodukterne er lave, idet hovedparten af stofmængden for disse stoffer er omsat i kildeområdet.



Figur 5.6: Specifikke anaerobe nedbrydningsprodukter. DGU nr. for borerne fremgår af tabel 5.8.

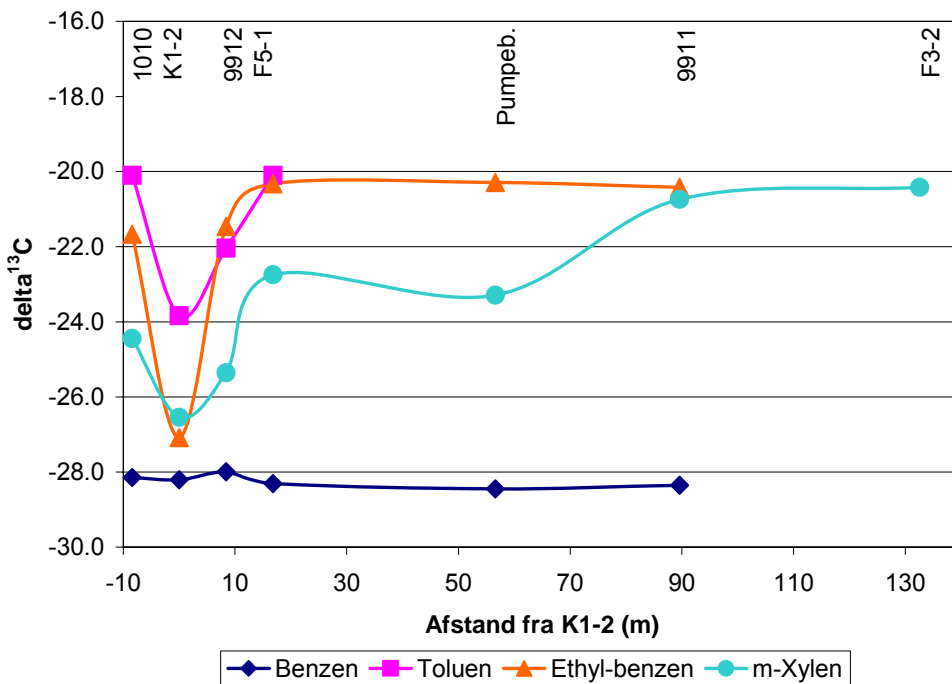
5.5 Belysning af nedbrydning i forureningsfanen ved isotopfraktionering

Resultaterne af analyserne for isotopfraktionering af BTEX'er er givet i tabel 5.9 og illustreret for boringsrækken fra kilden ud gennem fanen i figur 5.7. Et komplet resultatskema fra University of Neuchatel er vedlagt som bilag 5.

Tabel 5.9: Resultater for isotopfraktionering for BTEX'er ($\delta^{13}C$).

Boring (DGU 155.)	Isotopfraktionering			
	Benzen	Toluen	Ethylbenzen	<i>m</i> -Xylen
K1-2 (1298)	-28,2	-23,8	-27,1	-26,5
K2 (1299)	n.d.	n.d.	n.d.	-26,8
K7-1 (1320)	n.d.	n.d.	n.d.	-26,9
K8-2 (1321)	-28,3	-24,0	-23,0	-23,9
F2-2 (1305)	-28,2	-23,1	-21,2	-25,0
F3-2 (1317)	n.d.	n.d.	n.d.	-20,4
F4-3(1318)	n.d.	n.d.	n.d.	-26,5
F5-1 (1319)	-28,3	-20,1	-20,3	-22,7
1010 (816)	-28,1	-20,1	-21,7	-24,4
9810A (1014A)	-27,9	-18,7	n.d.	-26,1
9911 (1062)	-28,4	n.d.	-20,4	-20,7
9912 (1064)	-28,0	-22,0	-21,5	-25,4
Pumpeb. (1056)	-28,5	n.d.	-20,3	-23,3

n.d.: koncentrationsniveauet af ^{13}C utilstrækkeligt for bestemmelse af isotopfraktioneringen. 9810A: Petroleumsforurening, isotopsammensætning i frisk produkt kan meget vel være anderledes end i tjære.



Figur 5.7: Isotopfraktionering for BTEX'er fra kildeområdet ud gennem fanen. DGU nr. for borerne fremgår af tabel 5.9.

Ved nedbrydning af BTEX og andre organiske stoffer vil, som nævnt ofte ske en berigelse i den naturlige isotop ^{13}C , idet ^{12}C - ^{12}C bindinger er lettere at nedbryde end ^{12}C - ^{13}C bindinger. $\delta^{13}\text{C}$ er et udtryk for andelen af ^{13}C , en stigning i $\delta^{13}\text{C}$ (dvs. en mindre negativ værdi) er udtryk for ^{13}C berigelse af stoffet og dermed for nedbrydning af stoffet. Berigelsen kan ske ved nedbrydning under aerob såvel som anaerob nedbrydning, men er ikke nødvendigvis af samme størrelse.

For benzen ses et meget ensartet niveau af $\delta^{13}\text{C}$ i de analyserede prøver, og der ikke tegn på nogen berigelse ude i fanen sammenholdt med i kildeområdet (nærmest modsat). Der findes ikke tilstrækkelig viden om $\delta^{13}\text{C}$ i frisk tjære til at vurdere niveauet i forhold hertil, sammenholdt med litteraturværdier for $\delta^{13}\text{C}$ i frisk benzin /5/ er det målte niveau forholdsvis lavt. Det observerede fald i andelen af benzen af totale indhold af tjærestoffer i grundvandet mellem pumpeboringen, boring 9911 og F3, som tidligere er antaget at indikere nedbrydning af benzen, kan således ikke bekræftes af isotopfraktioneringsdataene. I F3 er koncentrationen af benzen imidlertid for lav til at bestemme $\delta^{13}\text{C}$, hvorfor det ikke er muligt på basis af isotopfraktioneringen at vurdere, om der sker nedbrydning af benzen længst ude i fanen.

Det bør her også bemærkes at forureningen ved 9810A er petroleum (ikke tjære), og således ikke kan forventes at have samme $\delta^{13}\text{C}$ før nedbrydning.

I allerbedste fald ses en forskel i $\delta^{13}\text{C}$ i kildeområdet på +0,5‰ med standardafvigelse i samme størrelsesorden. Det skal sammenholdes med den forventede berigelse ved nedbrydning af benzen.

Berigelsesfaktoren ϵ defineres ved:

$$\epsilon = (k_{13}/k_{12} - 1) \cdot 1000$$

hvor k_{13} og k_{12} er nedbrydningshastigheden for henholdsvis stof med ^{12}C - ^{13}C binding henholdsvis med ^{12}C - ^{12}C binding.

Ændringen i $\delta^{13}\text{C}$ er ved første ordens nedbrydning:

$$\delta^{13}\text{C} - \delta^{13}\text{C}_0 = \epsilon \cdot \ln(C/C_0)$$

hvor C og C_0 er koncentration hhv. initial koncentration.

Berigelsesfaktoren forventes for benzen at være af størrelseordenen -1,5‰ til -3,6‰ /5/, hvilket ved 99% omsætning af benzen svarer til en ændring i $\delta^{13}\text{C}$ på +7‰ til +17‰. En ændring i $\delta^{13}\text{C}$ på +0,5‰ svarer ved omregning af ovenstående til 13-28% nedbrydning af benzen med en tilsvarende standardafvigelse. Det kan ikke siges at være dokumentation for nedbrydning af benzen i kildeområdet.

Den laveste målte værdi for ethylbenzen og xylen ligger indenfor intervallet for stofferne i frisk benzin, mens den laveste værdi for benzen er højere end intervallet for stoffet i frisk benzin. Det indikerer, at der også centralt i kildeområdet sker nedbrydning af toluen. Hvilket er i overensstemmelse med indhold af nedbrydningsproduktet af toluen centralt i kildeområdet.

For toluen, *m*-xylen (formodentlig reelt *m*- + *p*-xylen, da disse to xylener ikke kan adskilles ved gaschromatografi) og ethylbenzen observeres en betydelig stigning i $\delta^{13}\text{C}$ i kildeområdet og starten af fanen i forhold til K1-2, hvor der blev truffet tjærefase. Det er i god overensstemmelse med at der er konstateret specifikke nedbrydningsprodukter af toluen og *m*-xylen i kildeområdet.

Berigelsesfaktorerne forventes under anaerobe forhold at ligge i følgende intervaller for toluen -0,8 til -2,2, ethylbenzen -2,2 til -3,7 og for *m*-xylen omkring -1,8 /5/.

Stigningen for ethylbenzen på ca. +7‰ kan være udtryk for nær komplet (85-96%) nedbrydning i kildeområdet og starten af fanen. Den manglende detektion af det for ethylbenzen specifikke anaerobe nedbrydningsprodukt kan skyldes, at nedbrydningsproduktet nedbrydes hurtigere end moderstoffet.

For toluen er $\delta^{13}\text{C}$ i K1-2, som nævnt, forholdsvis høj, hvilket kan være indikation på, at der allerede centralt i kildeområdet sker betydelig nedbrydning af toluen, hvilket er i overensstemmelse med, at koncentrationen af det specifikke nedbrydningsprodukt fra toluen er særligt højt i K1. $\delta^{13}\text{C}$ for toluen stiger til samme niveau som $\delta^{13}\text{C}$ for ethylbenzen i kilden og starten af fanen. Koncentrationsniveauet for toluen aftager til under detektionsniveau for bestemmelse af isotopfraktionering i starten af fanen. Samlet set indikerer det komplet omsætning af toluen indenfor kildeområdet og starten af fanen.

$\delta^{13}\text{C}$ for *m*-xylen (eller *m*- og *p*-xylen) stiger ligeledes betydeligt i kildeområdet og starten af fanen men ikke ligeså meget eller til tilsvarende niveau, som de 2 andre stoffer. Til gengæld stiger $\delta^{13}\text{C}$ for *m*-xylen (eller *m*- og *p*-xylen) igen i den yderste del af fanen og ender på niveau med de to andre stoffer. Stigningen i kildeområdet og starten af fanen er på ca. +4‰ og den samlede stigning i kilde-

område og fane er på ca. +6-7%. Det kan være udtryk for omkring 90% nedbrydning i kildeområde og starten af fanen og omtrent komplet nedbrydning (omkring 98%) ud gennem fanen.

Koncentrationsfald på 4 størrelsesordener for toluen og ca. 2 størrelsesordener for ethylbenzen og xylen mod 1-2 størrelsesordener for benzen i kilde-området bekræfter betydningen af nedbrydning i kildeområdet (og starten af fanen) for toluen specielt samt ethylbenzen og xylener.

Den yderligere nedbrydning af xylen længst ude i fanen kan sammen med de lavere fraktioner af thiophen og benzen måske være indicier for bedre nedbrydningsmuligheder længst ude i fanen end i den kraftigst forurenede del af fanen.

Det relativt høje $\delta^{13}\text{C}$ for xylen i F4-3 bekræfter at påvirkningen her næppe stammer fra forureningsfanen fra RTA men fra en anden (mere nærliggende) forureningskilde.

6 Samlet vurdering af fordeling, transport og naturlig nedbrydning af tjærekomponenter i grundvandsmagasinet

Undersøgelserne har bekræftet, at der i kildeområdet er trængt tjære som NAPL ned under vandspejlet. Denne tjærefase medfører en kraftig lokal påvirkning af grundvandet med opløste tjærestoffer. Hvilket resulterer i udbredelse af en smal fane med høje koncentrationer af tjærestoffer i grundvandsmagasinet.

Ved sammenligning med sammensætningen af frisk tjære, observeres sammensætningen af tjærestoffer i jordprøve fra K1, hvor der er konstateret tjærefase, at have relativt lave indhold af phenoler og NSO-forbindelser. Dette kan skyldes, at der allerede er sket en væsentlig udvaskning af de lettest opløselige stoffer. Sammensætningen af tjærestoffer i de øvrige jordprøver fra kildeområdet svarer generelt til sammensætning i frisk tjære men repræsenterer snarere en sammenblanding af forvitret (delvist nedbrudt) tjære og stoffer opløst fra tjære og diffunderet ind i morænelermatrix.

Vandprøver fra boringer filtersat i grundvand i direkte kontakt med de kraftigst forurenede jordprøver i kildeområdet har højere eller sammenlignelige koncentrationer med de på grundlag af sammensætningen i jordprøverne estimerede effektive opløseligheder for stofferne. Dette bekræfter, at der optræder tjærefase under/ved vandspejlet. Samtidig er den på basis af sammensætningen af tjærestoffer i jordprøverne estimerede sammensætning i vandfasen i god overensstemmelse med den i grundvandsprøverne observerede.

Phenoler, BTEXN'er og NSO'er udgør som ventet de dominerende stofgrupper i grundvandet ved RTA. Længst ude i fanen bliver phenoler og NSO-forbindelser dominerende.

Centralt i kildeområdet optræder samtlige stoffer fra disse stofgrupper i betydelige koncentrationer og i andele som afspejler sammensætningen i tjærefasen. Men allerede indenfor kildeområdet sker der betydelige ændringer i sammensætningen. Således øges andelen af benzen blandt BTEXN'erne, 2,4-, 2,5- og 2,6-xylenol blandt phenolerne og thiophen, benzothiophen og methylbenzofuraner blandt NSO'erne, mens andelen af andre stoffer i de respektive grupper aftager. I starten af fanen forstærkes udviklingen, og 2,6-xylenol bliver helt dominerende blandt phenolerne. Derefter er der meget lille ændring i fanen indtil den yderste del heraf, hvor andelen af thiophen og benzen i forhold til indholdet af total tjærestoffer i grundvandet aftager, og 2,6-xylenol, benzothiophen og methylbenzofuraner bliver de helt dominerende stoffer.

Der ses tendens til stigende andel af 2,6-xylenol og aftagende andel af benzothiophen og methylbenzofuraner alleryderst i fanen, men dette kan være forårsaget af større mobilitet af 2,6-xylenol end de 2 andre stoffer og er således ikke indikation på nedbrydning af NSO'erne.

Ændringerne i stofsammensætningen er i fin overensstemmelse med, at de under anaerobe forhold tungest nedbrydelige (eller persistente) stoffer stiger i andel, når de andre stoffer nedbrydes.

Resultaterne indikerer betydelig nedbrydning af en stor del af tjærestofferne allerede i selve kildeområdet og starten af fanen. Denne nedbrydning i kildeområdet kan have medvirket til øget opløsning af de lettest nedbrydelige stoffer fra tjærefasen.

Dette bekræftes af forekomsten af specifikke nedbrydningsprodukter af TEX og m-N i kildeområdet, også centralt heri. Ligeledes ses betydelig isotopfraktionering for TEX i kildeområdet og starten af fanen. Hvorimod der ikke ses væsentlig isotopfraktionering af benzen.

Længst ude i fanen ses yderligere isotopfraktionering af xylen sideløbende med aftagende andel af thiophen og benzen. Der ses imidlertid ikke isotopfraktionering af benzen yderst i fanen, hvilket indikerer, at der for benzens vedkommende ikke er tale om nedbrydning mellem pumpeboringen og boring 9911. I F3 var det kun koncentrationen af m-xylen, der var tilstrækkelig høj til bestemmelse af isotopfraktionering.

Sammenfattende tyder resultaterne af feltundersøgelserne på at problemstofferne 2,6-xylenol, benzothiophen og methylbenzofuraner er persistente (eller meget tungt nedbrydelige) i det stærkt jernreducerende område i grundvandsmagasinet og ned strøms herfor (ud til nær F3). Der er indikationer på at problemstofferne thiophen og benzen nedbrydes længst ude i fanen, dvs. nedstrøms det stærkt jernreducerende område. Men det er ikke bekræftet af isotopfraktionering for benzen, idet koncentrationen af benzen i F3 er for lav til bestemmelse af isotopfraktioneringen. Der bør foretages yderligere monitoring i de yderste boringer i fanen for nærmere afklaring mht. naturlig nedbrydning af benzen og thiophen. Fanen er ikke truffet i F4. Det er uvist, om dette skyldes, at boringen ikke ligger på en strømlinie for fanen, at der sker betydelig fortynding af forureningen, eller at stofferne nedbrydes.

Koncentrationerne af problemstofferne i kildeområdet vil med tiden aftage efterhånden som de er udvasket fra tjærefasen. Det vil på sigt føre til faldende koncentrationer i fanen. Udviklingen ses allerede idet koncentrationsniveauet af 2,6-xylenol yderst i fanen er højere end i kildeområdet og koncentrationsniveauerne af benzothiophen og methylbenzofuraner er sammenlignelige med dem i kildeområdet på trods af formodet fortynding i fanen. De få monitoringsdata fra B9912 bekræfter for enkelte stoffer også denne udvikling. Jævnlig monitoring i kildeområdet og fanen over en længere periode kan sandsynligvis i sammenhæng med modelleringsresultater for fortynding og strømningshastighed bidrage til vurdering af, hvor hurtigt koncentrationsniveauet kan forventes at aftage. Monitoringsdata må forventes at vise betydelig variation som følge af bl.a. vandspejlsfluktuationer.

8 Referencer

- /1/ Broholm, M.M., 2005. Fyns Amt, Ringe Tjære- og Asfaltfabrik. Litteraturstudie for tjærestoffer og vurdering af grundvandsrisiko fra Ringe Tjære- og Asfaltfabrik. Miljø og Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet.
- /2/ Orbicon, 2005. Fyns Amt, Ringe Tjære- og Asfaltfabrik. Konceptuel model.
- /3/ Orbicon, 2006. Fyns Amt. Ringe Tjære- og Asfaltfabrik. Supplerende undersøgelse af forurening i kildeområde og forureningsfane.
- /4/ Bouchard, D., Hunkeler, D., Höhener, P., Aravena, R., Broholm, M., Kjeldsen, P., (2005). Use of stable isotope analysis to assess biodegradation of petroleum hydrocarbons in the unsaturated zone. Laboratory studies, field studies and mathematical simulations. In Nützmann, G., Viotti, P., Aagaard, P. (Eds). Reactive Transport in in Soil and Groundwater. Processes and Models. Springer. Berlin, 2005, 17-38.
- /5/Reitzel, L.A., 2005. Quantification of natural attenuation using analytical-chemical tools. Ph.D.-thesis. Environment and Resources. Technical University of Denmark. ISBN 87-89220-81-1.

Bilagsoversigt

Bilag 1: Resultater fra /3/ for analyser af jord og grundvand

1.1: Situationsplan med boringsplaceringer

1.2: Analyseresultater for jordprøver

1.3: Analyseresultater for vandprøver

1.4: Lokaltetsplaner med data for sum og hovedgrupper af tjærestoffer og udvalgte problemstoffer i grundvand

1.5: Tværsnit gennem fanen med data for sum og hovedgrupper af tjærestoffer og udvalgte problemstoffer i grundvand

1.6: Plan og tværsnit med data for redoxparametre i grundvand

1.7: Plan og tværsnit med fordeling af hovedgrupperne i sum af tjærestoffer

1.8: Plan og tværsnit med fordeling af enkeltstoffer i hovedgrupperne

Bilag 2: Rapporter fra Eurofins

2.1: Udvikling af metode for specifikke nedbrydningsprodukter

2.2: Analyserapport

Bilag 3: Vægt-fraktioner i jordprøver og estimation af sammensætning i vandfase.

3.1: Vægt-fraktion af enkeltkomponenter og hovedgrupper i totaltjære

3.2: Estimerede koncentrationer i porevand (effektive opløseligheder) ved tilstedeværelse af tjære som NAPL.

3.3: Estimerede fraktioner af enkeltkomponenter i hovedgrupperne i vand i kontakt med tjære (NAPL)

3.4: Fraktioner af enkeltkomponenter i hovedgrupperne i grundvandsprøver

Bilag 4: Vurderede redoxforhold for de enkelte filtre.

Bilag 5: Isotopfraktioneringsdata. Komplet resultatskema fra University of Neuchatel.

Bilag 1

Resultater fra /3/ for analyser af jord og grundvand

Bilag 1.1

Situationsplan med boringsplaceringer




Projekt
Fyns Amt
 Ringe tjære- og Asfaltfabrik, Ringe
 Supplerende undersøgelse af grundvands-
 forurening i kildeområde og forureningsfane

Titel
Situationsplan, udførte undersøgelser
 Bilag: 1

Signaturforklaring

- Udført boring
- Tidl. udført boring

 Miljø og Energi as Jord og Grundvand		
Klostermarken 12 8800 Viborg		
Telefon 87 28 10 00 Telefax 87 28 10 01 me-vib@hedeselskabet.dk		
Sagsnr. 22405401	Målforskel 1 : 1000	Kotesystem DNN
Udarbejdet JON	Kontrol	Dato 18.04.2006

HEDELSKABET

Bilag 1.2

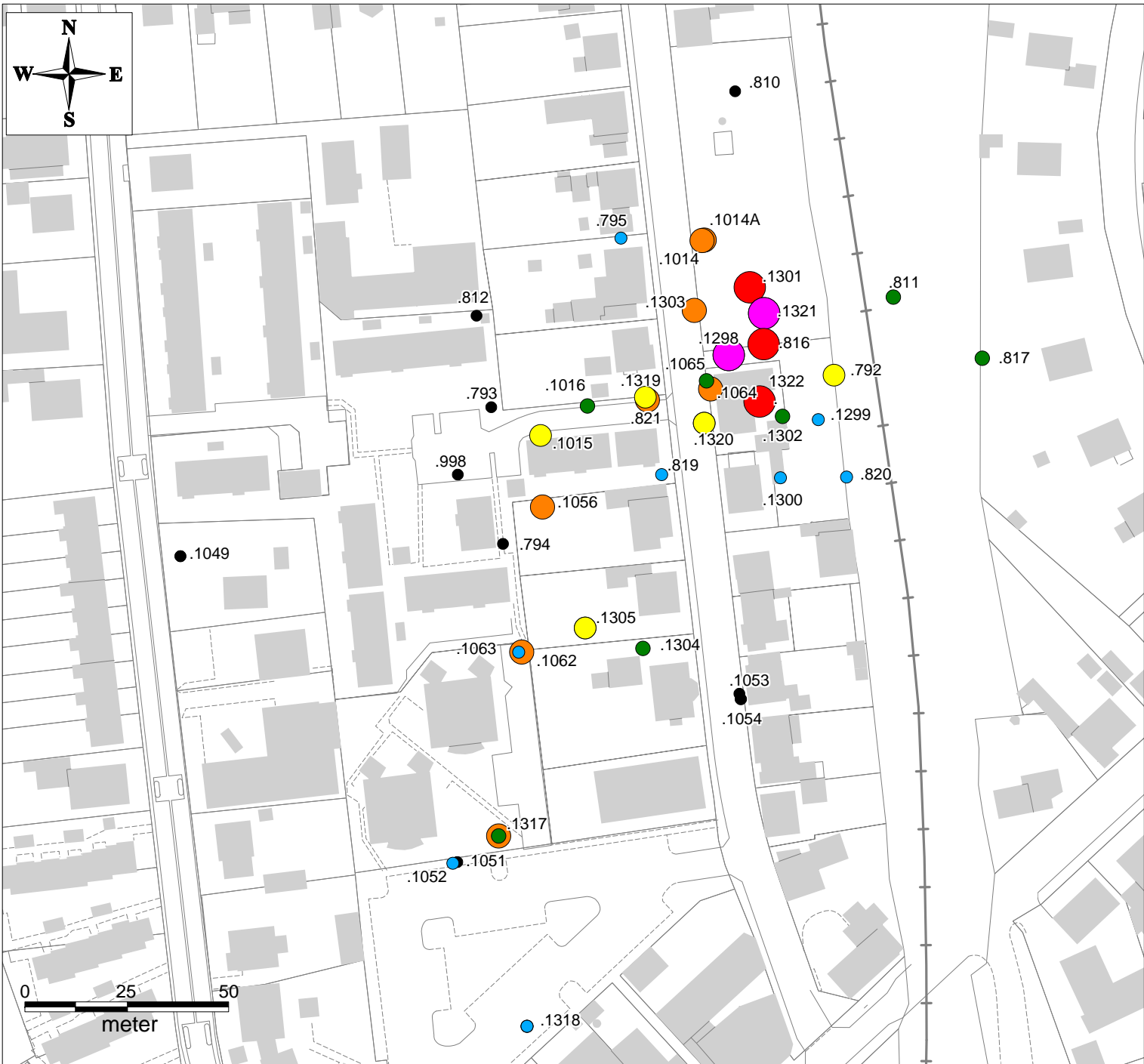
Analyseresultater for jordprøver

Bilag 1.3

Analyseresultater for vandprøver

Bilag 1.4

Lokalitetsplaner med data for sum og hovedgrupper af tjærestoffer og udvalgte problemstoffer i grundvand



Projekt:



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

Sum af tjærestoffer [µg/l]

- Ej påvist
- <1
- 1 til 10
- 10 til 100
- 100 til 1.000
- 1.000 til 10.000
- 10.000 til 55.000

Tjærestoffer = BTEX + Naphthalener
+ Phenoler + NSO'er

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 14.A:
Udbredelse af tjærestoffer

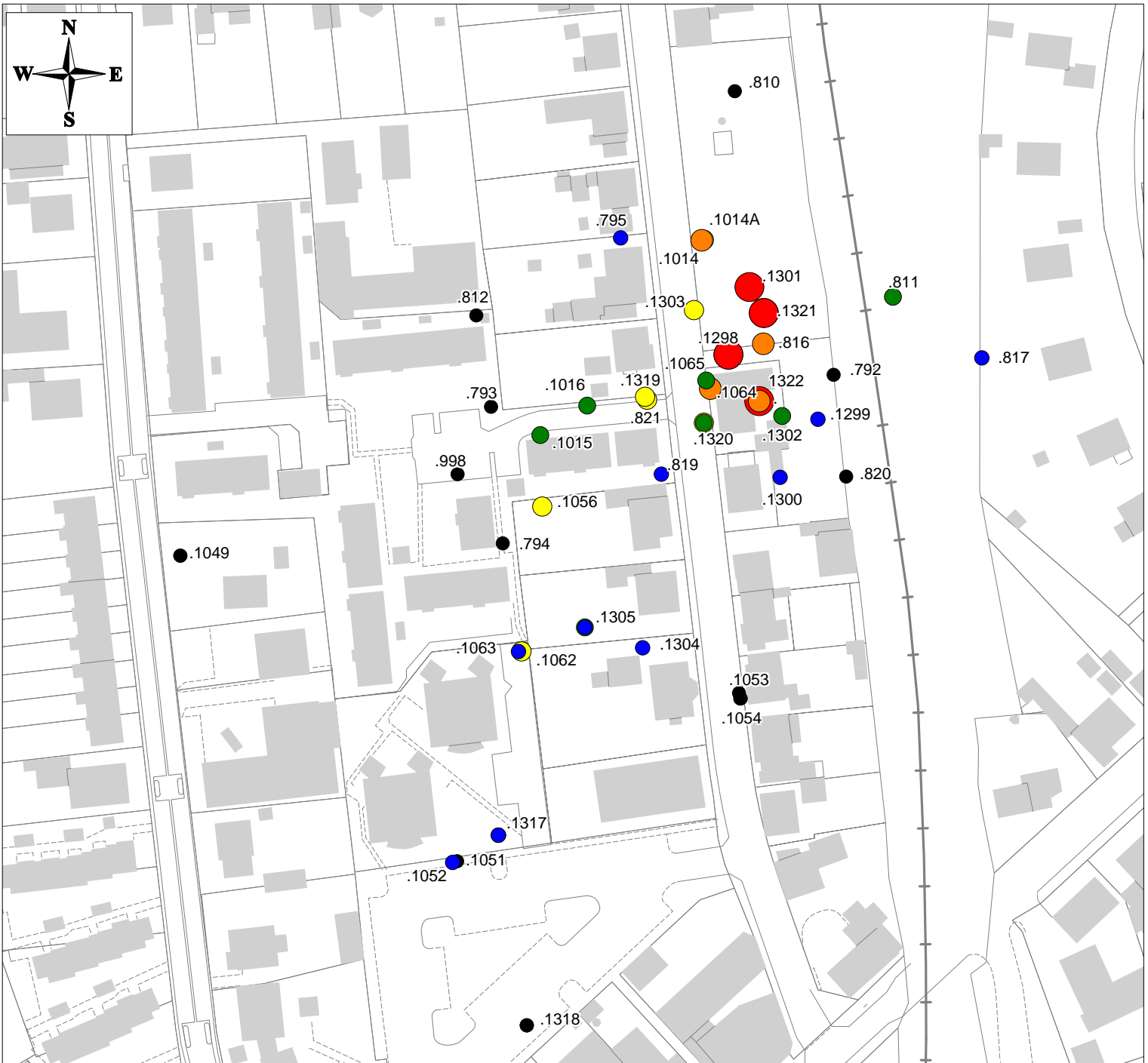
Udført af:



Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Side: 224-05401	Målestok: 1:1.400	Konvention: DNN
Tegner: JSD	Kontrol: BRO	Dato: Juli 2006
		Rev: 1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Projekt:



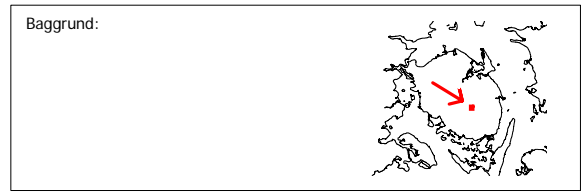
Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

Sum af BTEX [$\mu\text{g/l}$]

- Ej påvist
- <1
- 1 til 10
- 10 til 100
- 100 til 1.000
- 1.000 til 30.000

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK



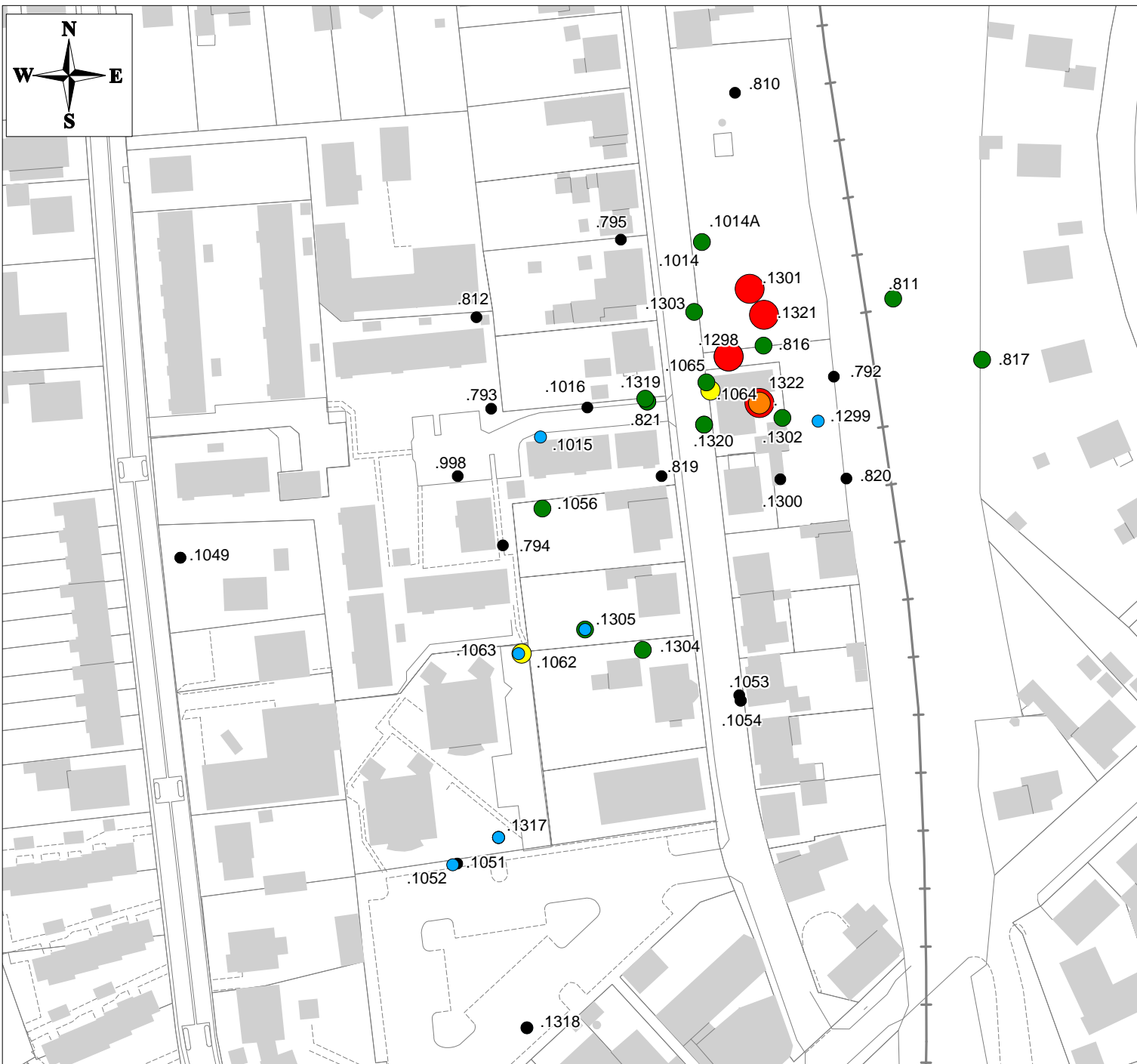
Titel:

Bilag 10.A:
Udbredelse af sum af BTEX

Udført af:



Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik		Afd. for Vandressourcer	
Støtte: 224-05401	Målestok: 1:1.400	Konvention: DNN	Ringstedvej 20
Forfatter: JSD	Kontrol: BRO	Dato: Juli 2006	4000 Roskilde
		Rev.: 1	Telefon 46 30 03 10
			Telefax 46 30 03 11



Projekt:



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

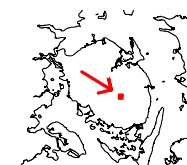
Tegnforklaring:

Sum af naphthalener [$\mu\text{g/l}$]



Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 11.A: Udbredelse af sum af naphthalener

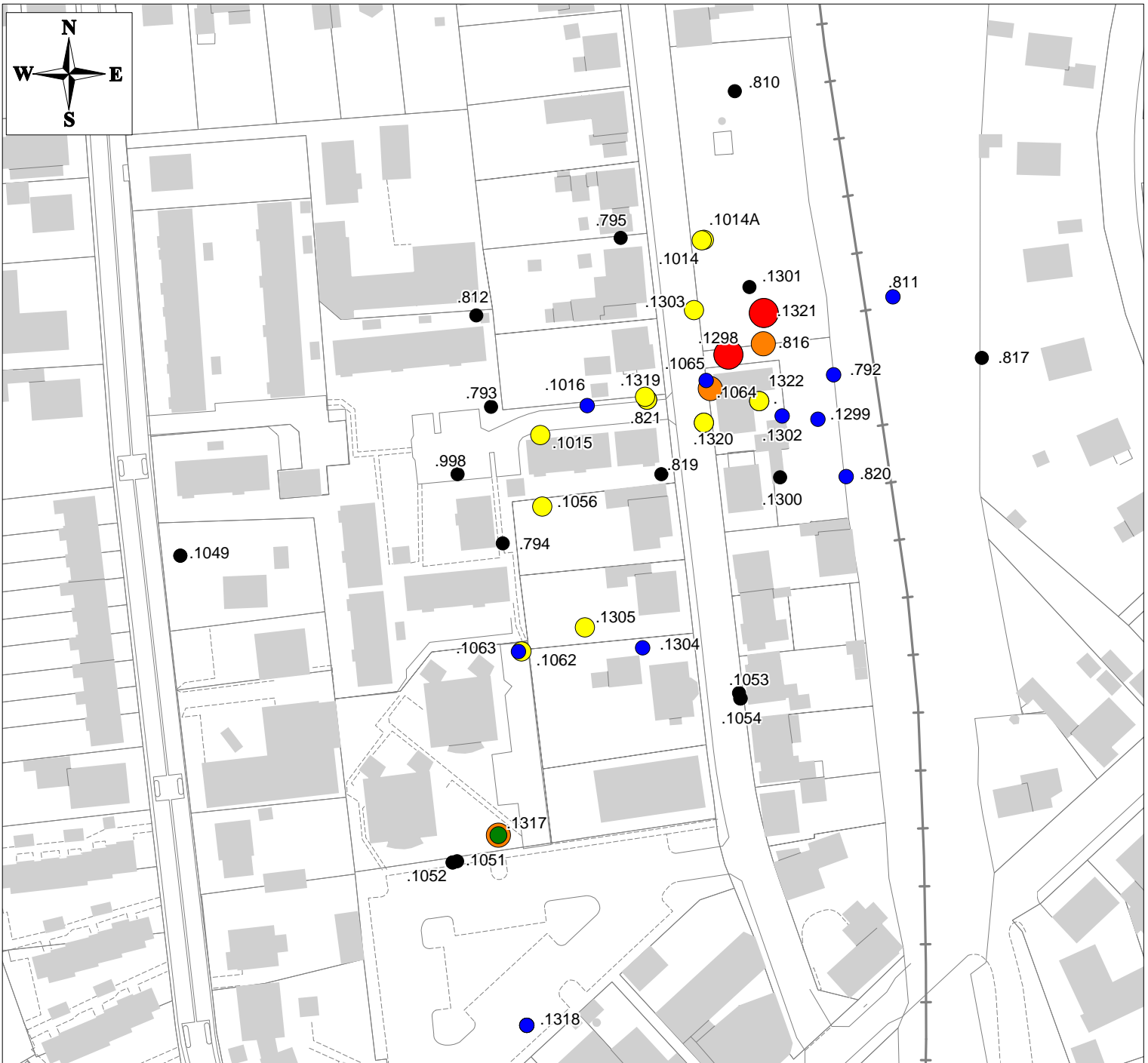
Udført af:

Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik



Side: 224-05401	Målestok: 1:1.400	Konvention: DNN
Tegner: JSD	Kontor: BRO	Dato: Juli 2006
		Rev: 1

Afd. for Vandsourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Projekt:



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

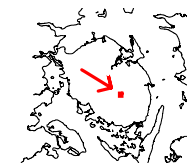
Tegnforklaring:

Sum af phenoler [$\mu\text{g/l}$]

- Ej påvist
- <1
- 1 til 10
- 10 til 100
- 100 til 1.000
- 1.000 til 50.000

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 12.A:
Udbredelse af sum af phenoler

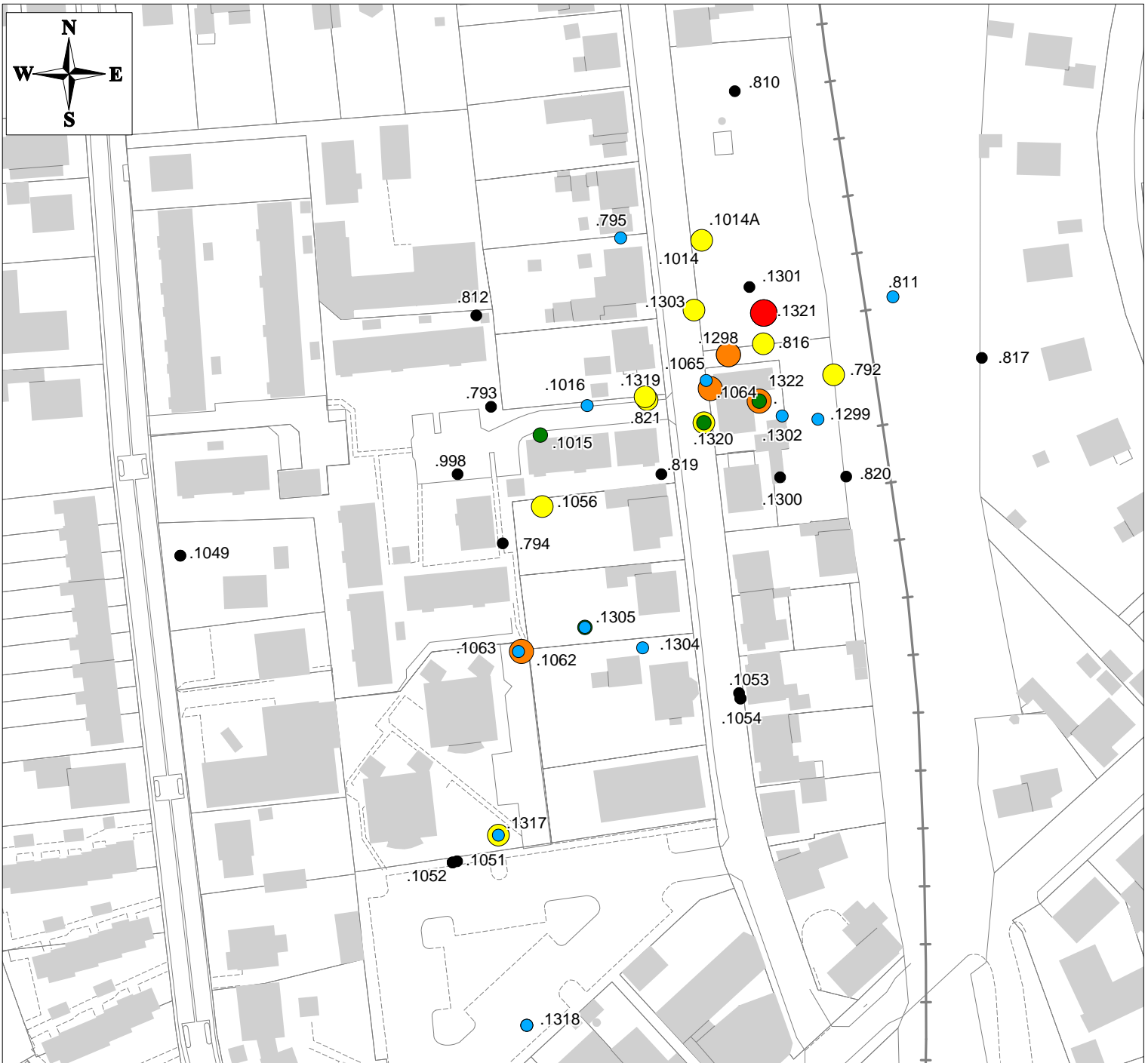
Udført af:



Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Sløjfe: 224-05401	Målestok: 1:1.400	Kommune: DNN
Tegner: JSD	Kontor: BRO	Dato: Juli 2006
		Rev: 1

Afd. for Vandsourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Projekt:



Ringes Tjære- og Asfaltfabrik

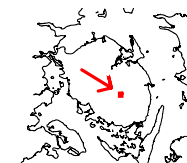
Tegnforklaring:

Sum af NSO'er [µg/l]

- Ej påvist
- <1
- 1 til 10
- 10 til 100
- 100 til 1.000
- 1.000 til 5.000

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 13.A:
Udbredelse af sum af NSO'er

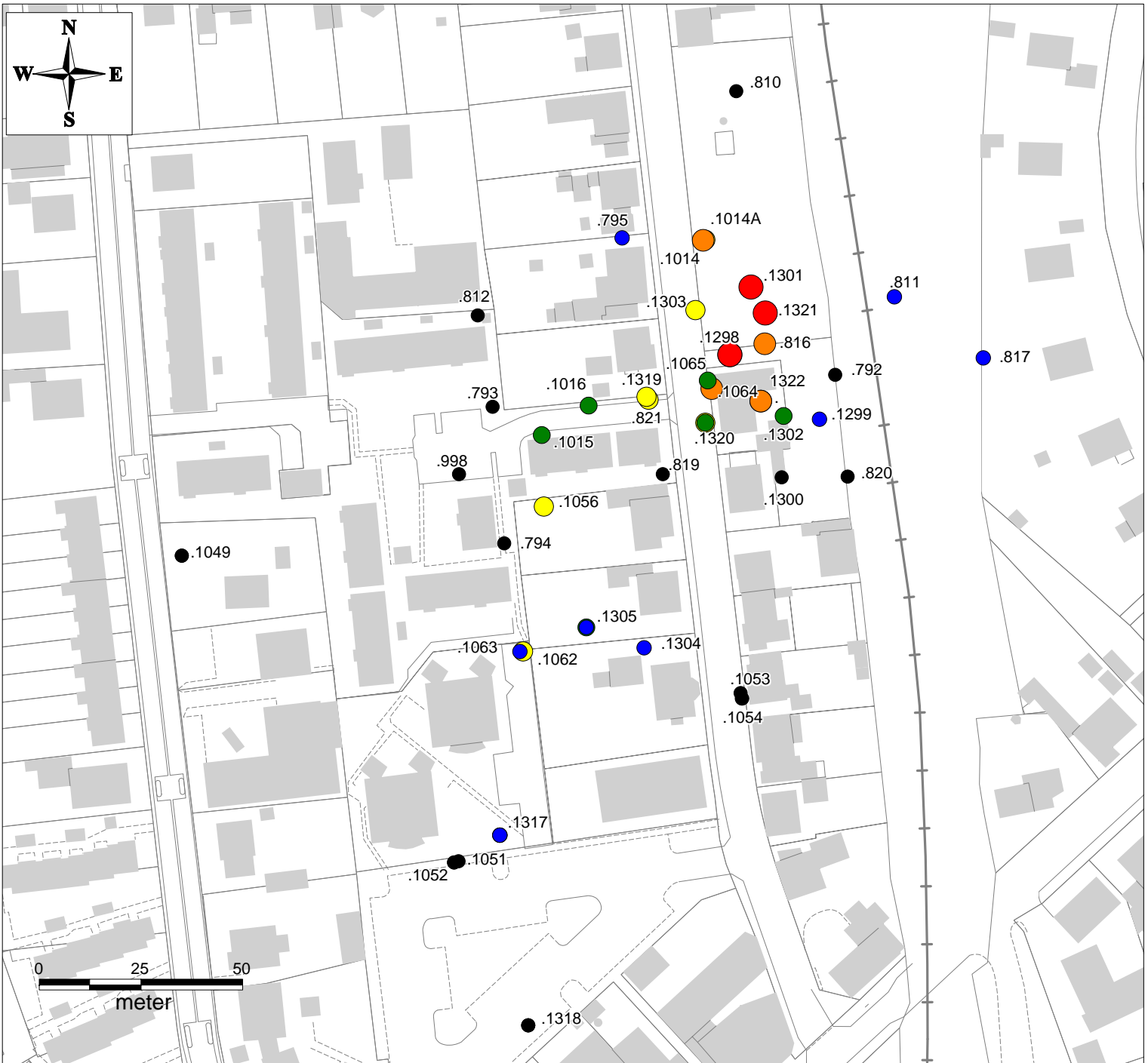
Udført af:

Projekt: Ringes Tjære- og Asfaltfabrik



Side: 224-05401	Målestok: 1:1.400	Revision: DNN
Tegner: JSD	Kontor: BRO	Dato: Juli 2006
		Rev: 1

Afd. for Vandsourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Projekt:



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

Benzen [$\mu\text{g/l}$]

- Ej påvist
- <1
- 1 til 10
- 10 til 100
- 100 til 1,000
- 1,000 til 15,000

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 9.A:
Udbredelse af benzen

Udført af:



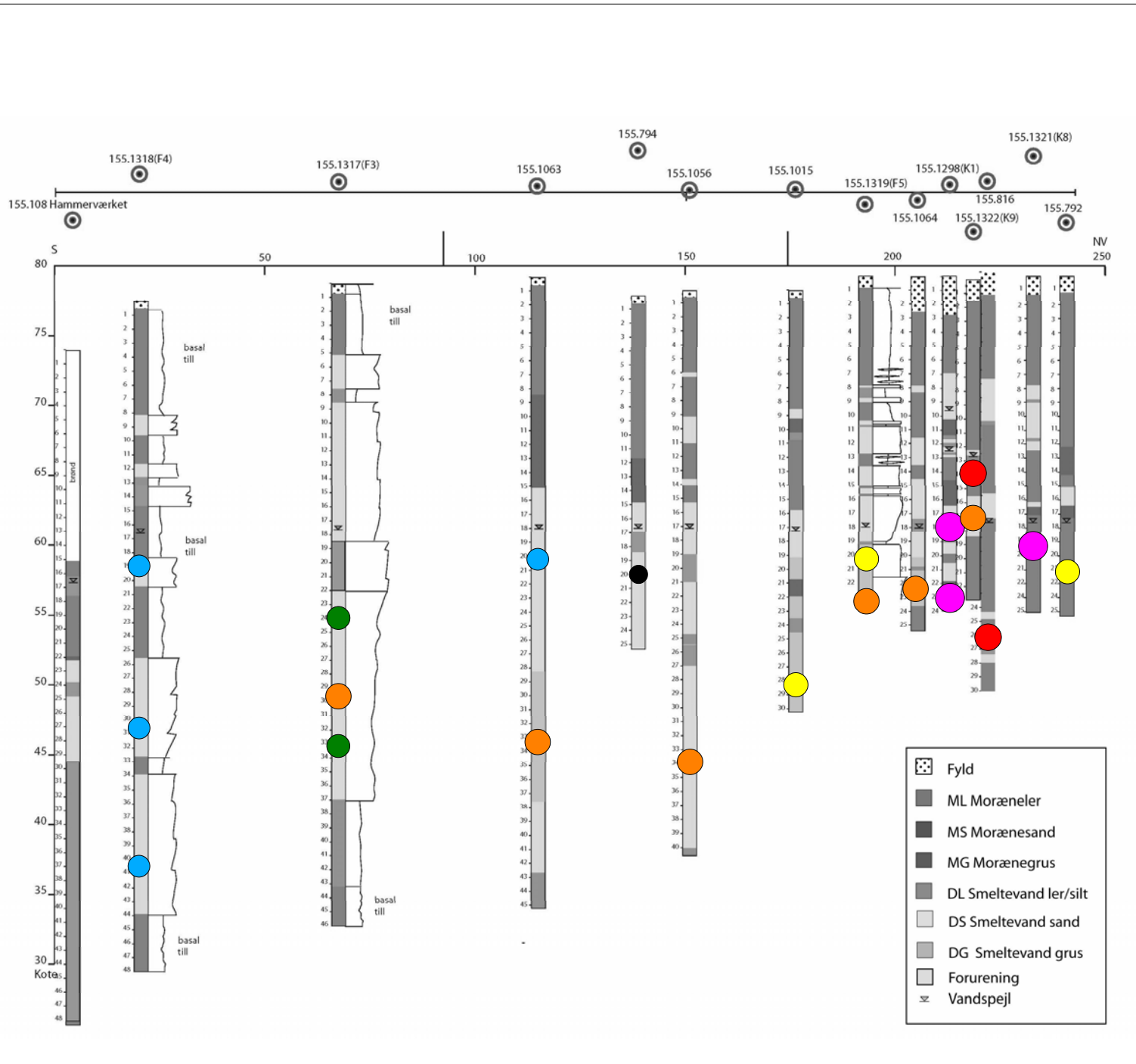
Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Slipnr:	224-05401	Målestok:	1:1.400	Revision:	DNN
Tegner:	JSD	Kontor:	BRO	Dato:	Juli 2006
				Rev.:	1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11

Bilag 1.5

Tværsnit gennem fanen med data for sum og hovedgrupper af tjærestoffer og udvalgte problemstoffer i grundvand



Projekt:



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

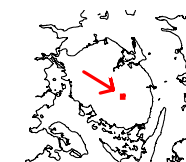
Sum af tjærestoffer [µg/l]

- Ej påvist
- <1
- 1 til 10
- 10 til 100
- 100 til 1.000
- 1.000 til 10.000
- 10.000 til 55.000

Tjærestoffer = BTEX + Napthalener + Phenoler + NSO'er

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 14.C:
Profilsnit af sum af tjærestoffer

Udført af:

Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik



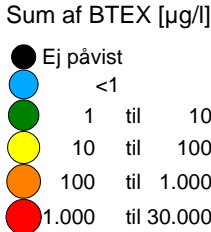
Supernr:	224-05401	Måleperiode:	-	Konsekvensnr.:	DNN
Tegnr:	JSD	Kompl:	BRO	Dato:	Juli 2006
				Rev.:	1

Afd. for Vandrressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11

Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Projekt:

Tegnforklaring:



Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



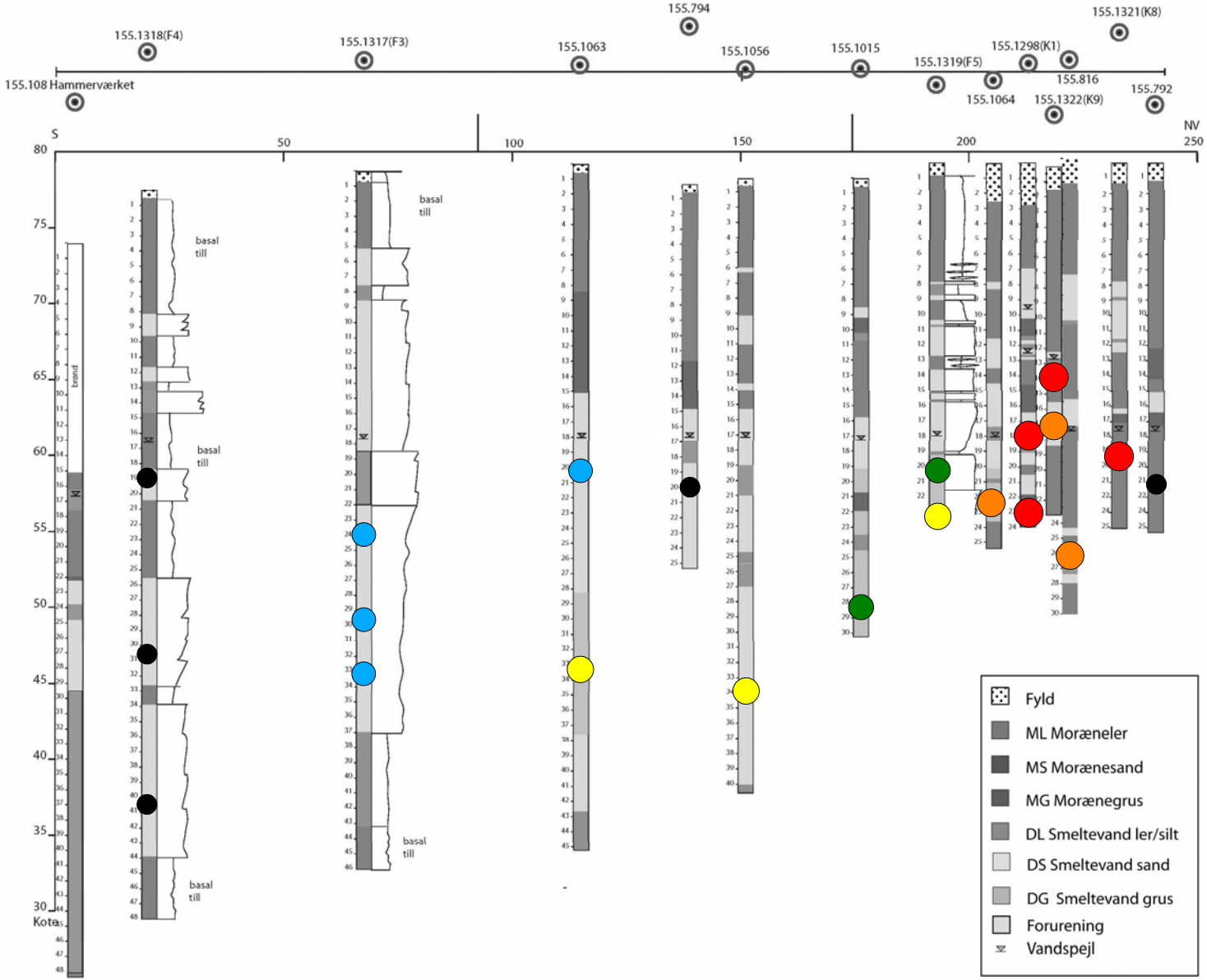
Titel:
Bilag 10.C:
Profilsnit af sum af BTEX

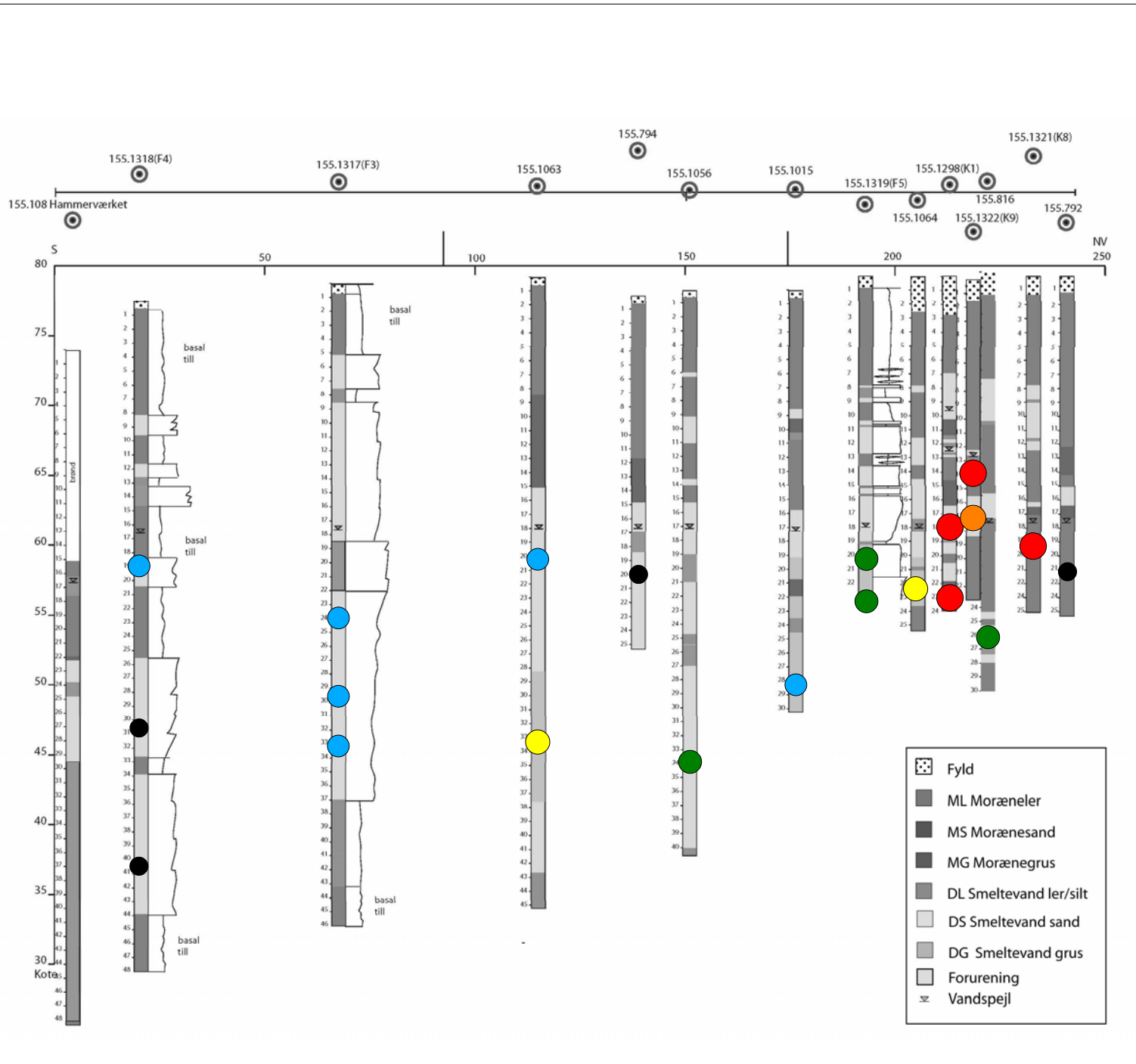
Udført af:
Ringe Tjære- og Asfaltfabrik



Projektnummer: 224-05401	Målestadi: -	Kontrakt: DNN
Tegner: JSD	Kontor: BRO	Dato: Juli 2006
		Rev: 1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11





Projekt:



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

Sum af naphalener [$\mu\text{g/l}$]

- Ej påvist
- <1
- 1 til 10
- 10 til 100
- 100 til 1.000
- 1.000 til 15.000

Naphalener = Naphthalen + 1-methyl-naphthalen

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 11.C:
Profilsnit af sum af naphalener

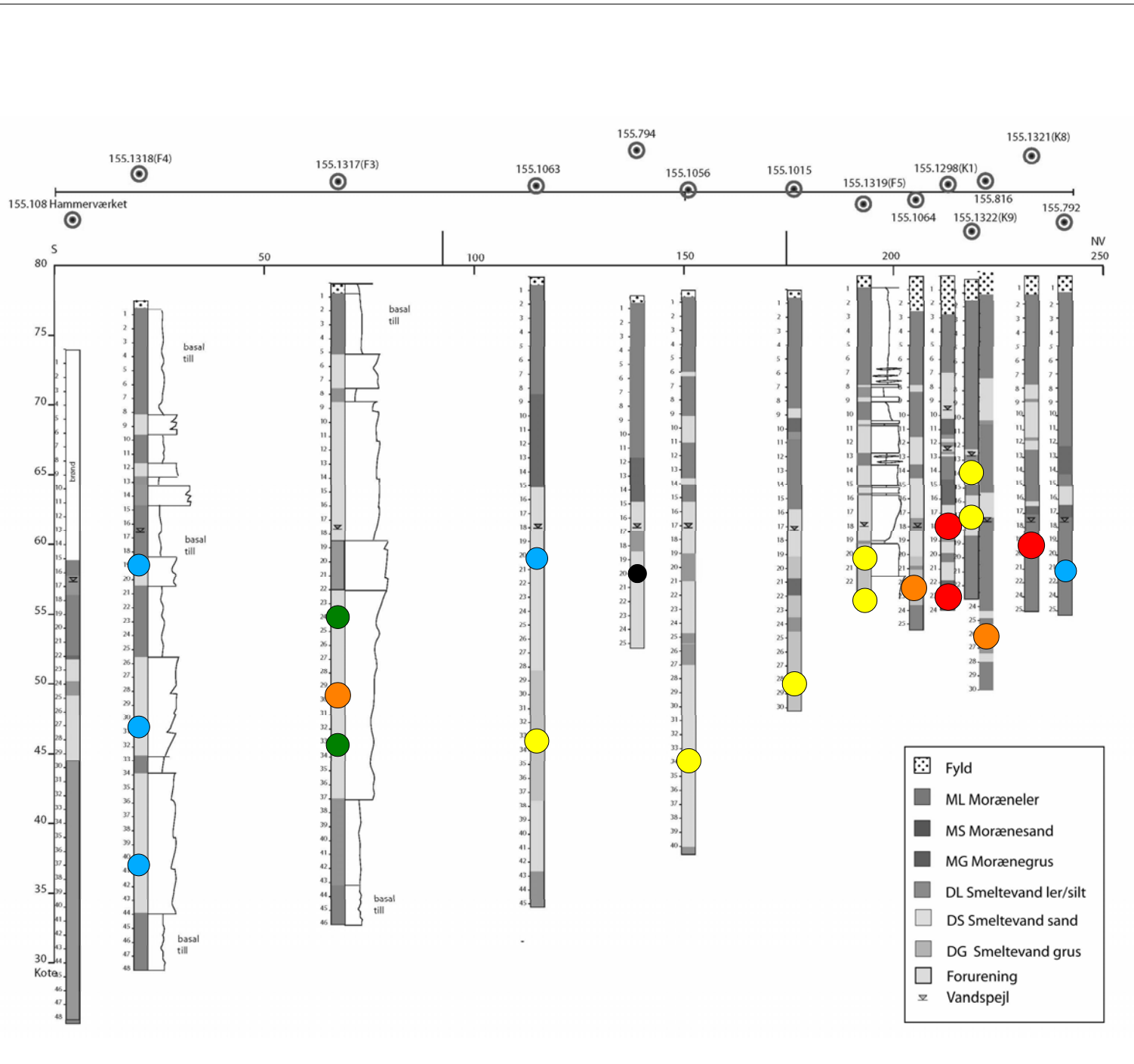
Udført af:



Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Supernr:	224-05401	Målestidspunkt:	-	Kommission:	DNN
Tegner:	JSD	Kontor:	BRO	Dato:	Juli 2006
				Rev.:	1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Projekt:



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

Sum af phenoler [$\mu\text{g/l}$]

- Ej påvist
- <1
- 1 til 10
- 10 til 100
- 100 til 1.000
- 1.000 til 50.000

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 12.C:
Profilsnit af sum af phenoler

Udført af:



Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Supernr:	224-05401	Målestation:	-	Kommune:	DNN
Tegnr:	JSD	Kontor:	BRO	Dato:	Juli 006
				Rev.:	1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11

Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Projekt:

Tegnforklaring:

Sum af NSO'er [µg/l]

- Ej påvist
- <1
- 1 til 10
- 10 til 100
- 100 til 1.000
- 1.000 til 5.000

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 13.C:
Profilsnit af sum af NSO'er

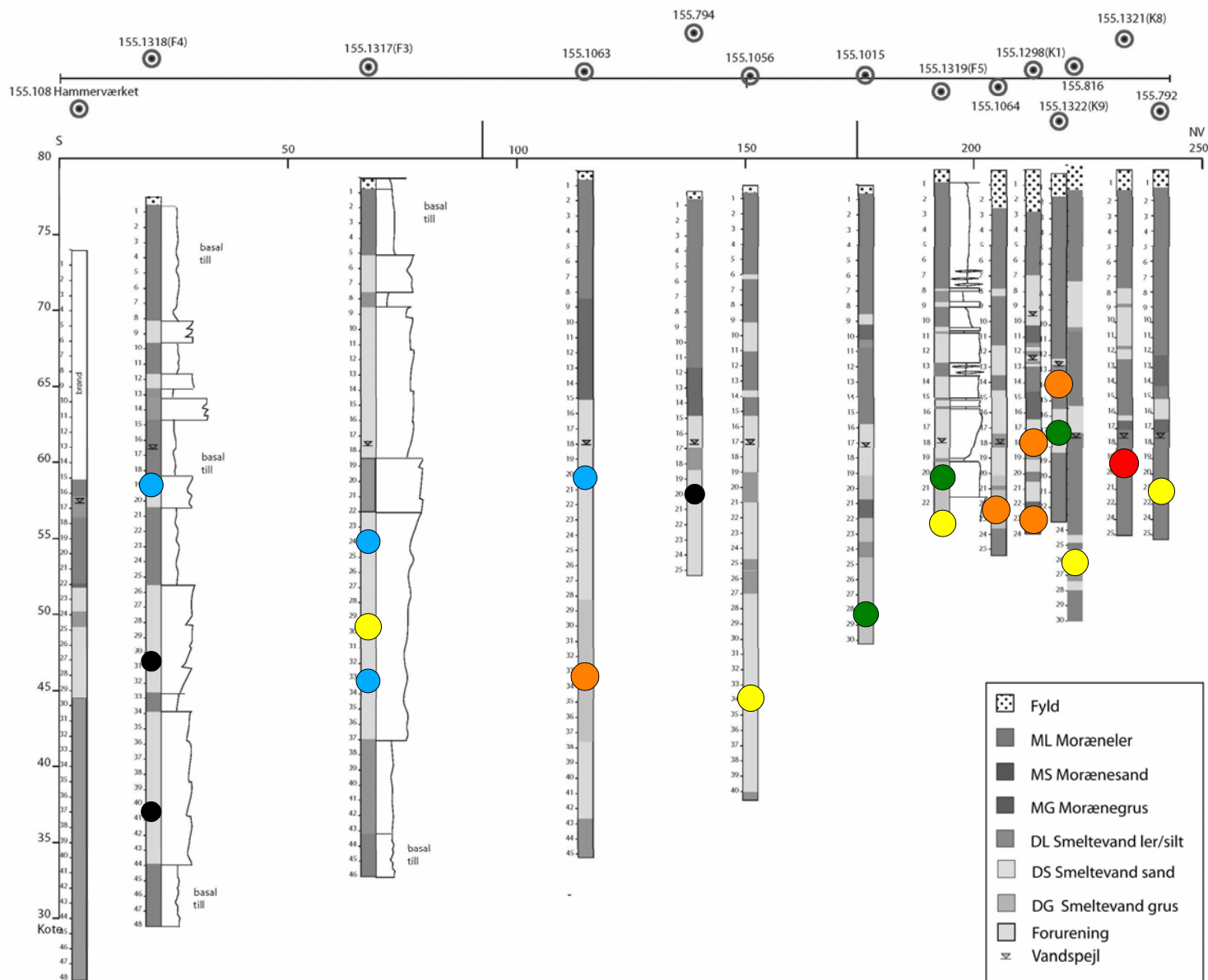
Udført af:



Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Supernr:	224-05401	Målestation:	-	Kommune:	DNN
Tegner:	JSD	Kontor:	BRO	Dato:	Juli 2006
				Rev.:	1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11





Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Projekt:

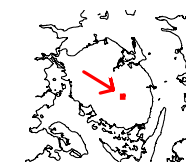
Tegnforklaring:

Benzen [$\mu\text{g/l}$]

- Ej påvist
- <1
- 1 til 10
- 10 til 100
- 100 til 1.000
- 1.000 til 15.000

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 9.B:
Profilsnit af benzen

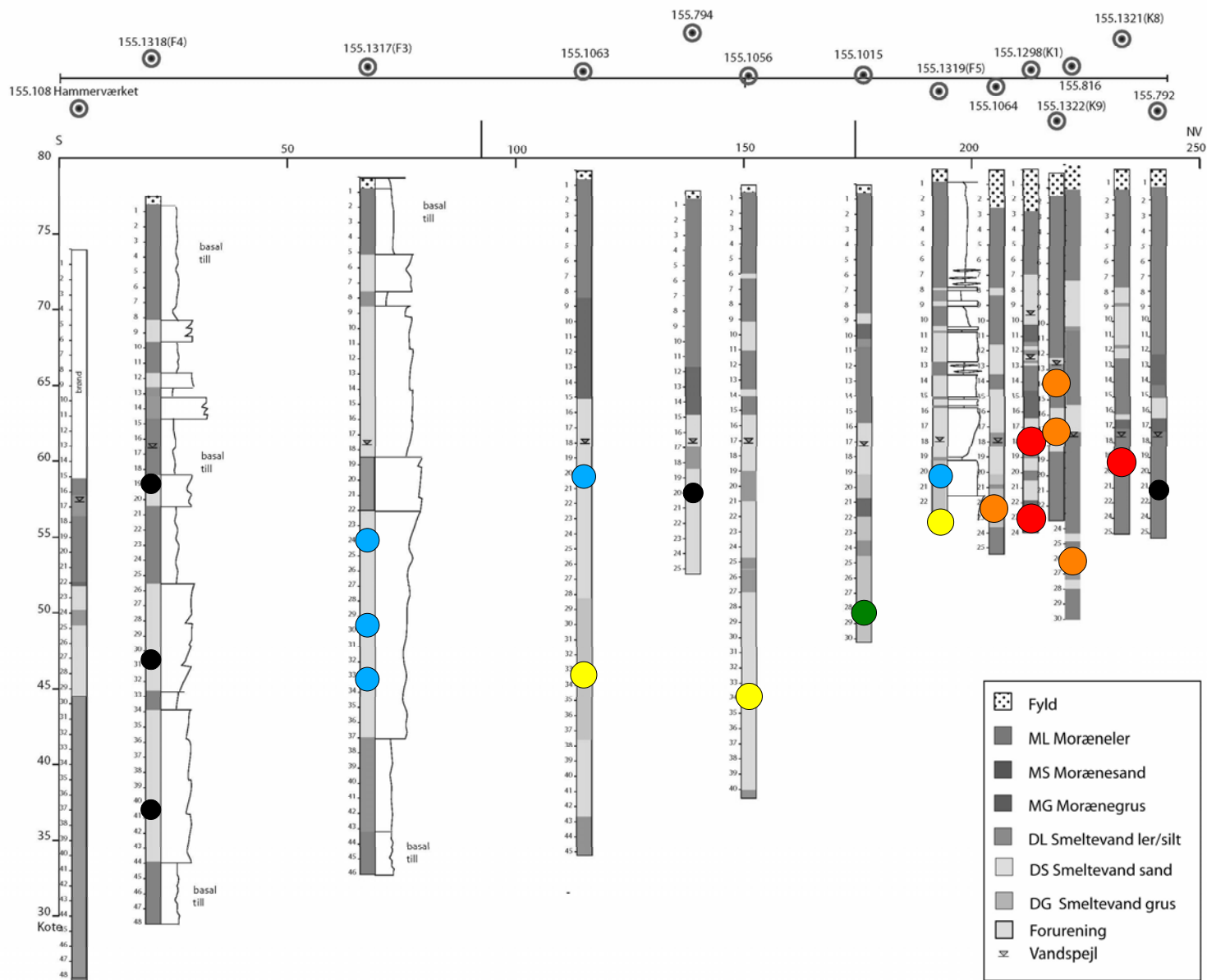
Udført af:



Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

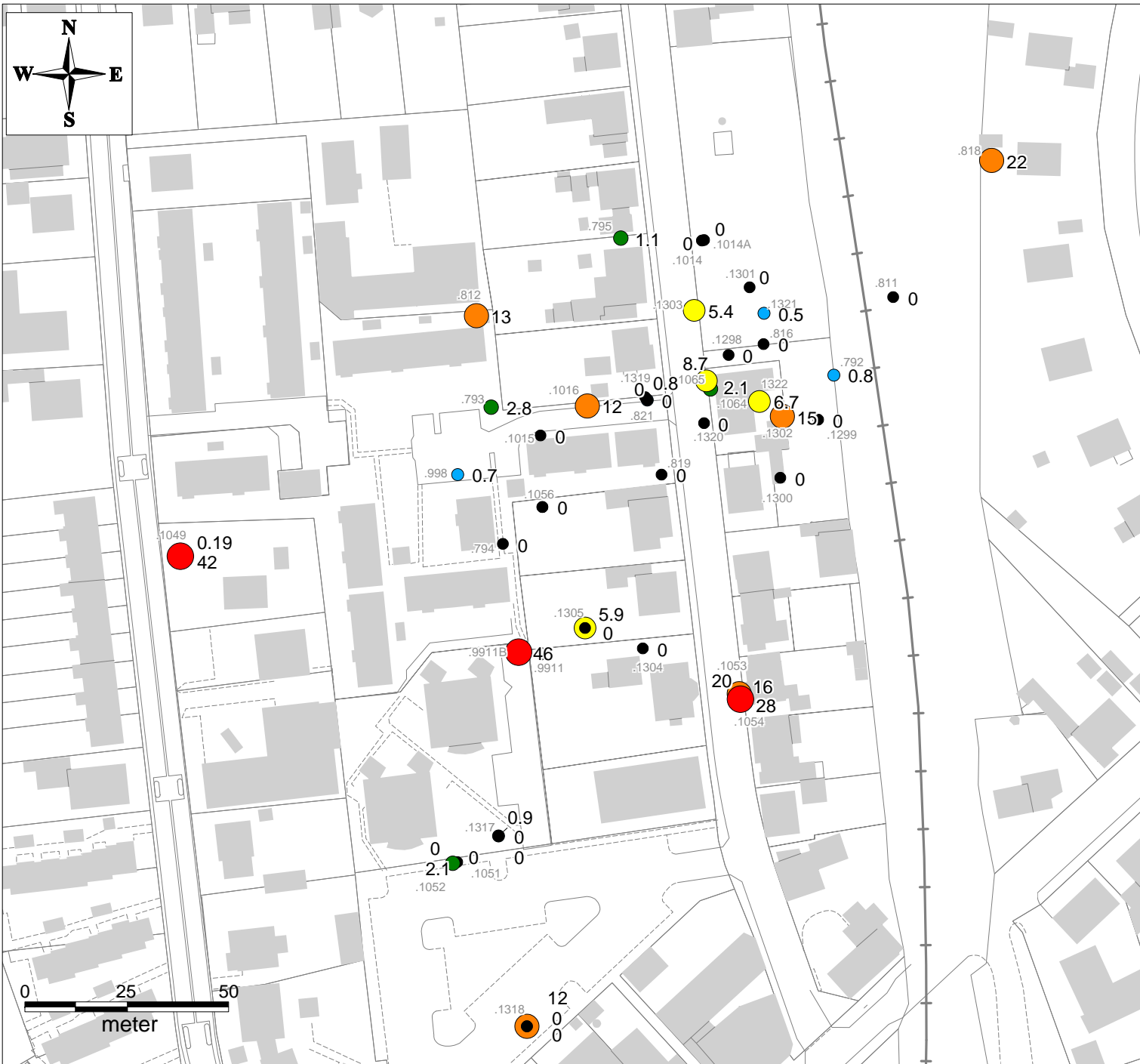
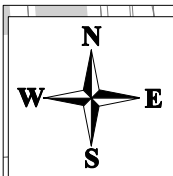
Supernr:	224-05401	Målestation:	-	Kommune:	DNN
Tegnr:	JSD	Kontor:	BRO	Dato:	Juli 2006
				Rev.:	1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Bilag 1.6

Plan og tværsnit med data for redoxparametre i grundvand



Projekt:



Ringø Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

- Nitrat [mg/l]
- Ej påvist
 - <1
 - 1 til 5
 - 5 til 10
 - 10 til 25
 - 25 til 50

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 15.A: Udbredelse af nitrat

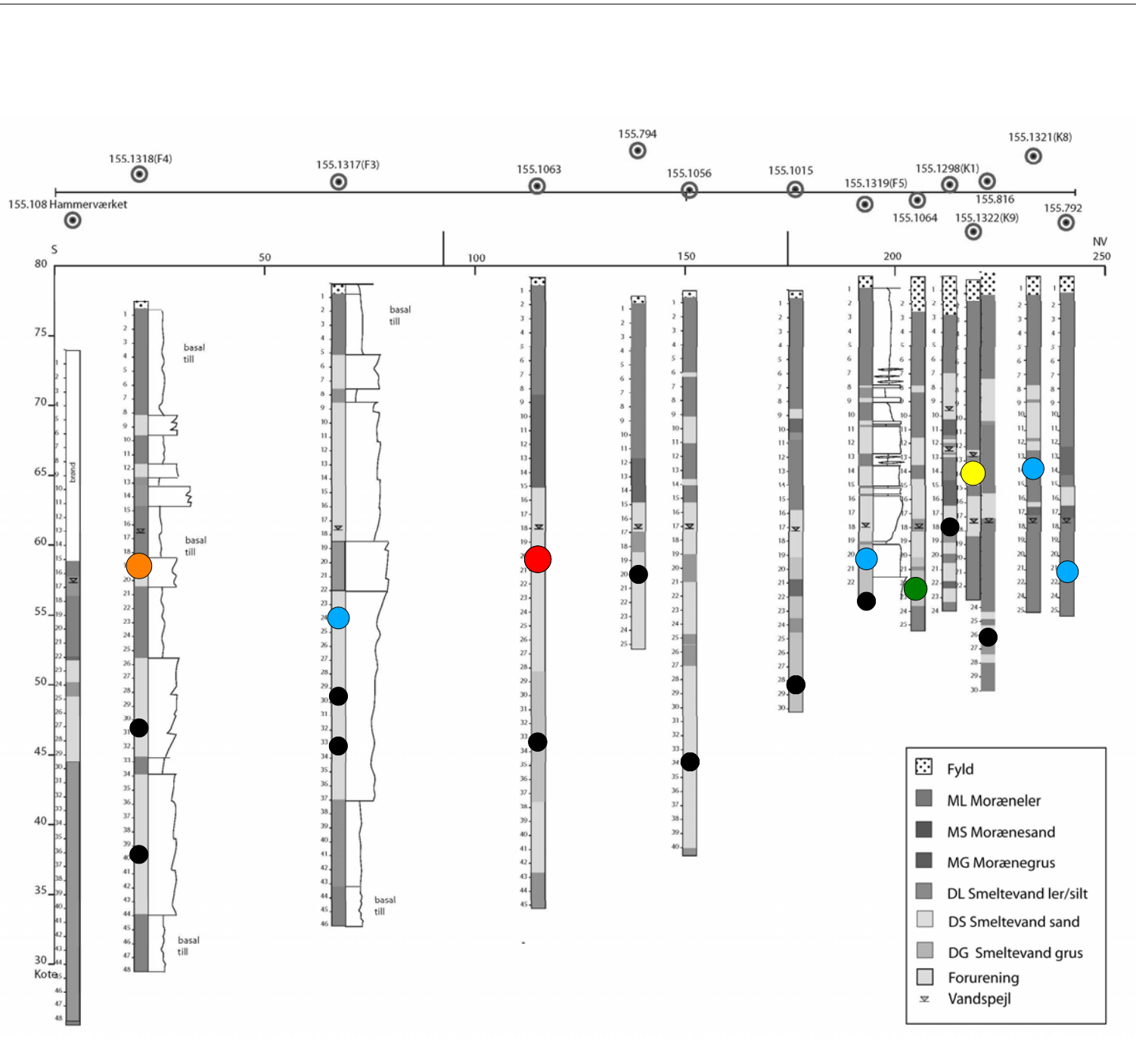
Udført af:

Projekt: Ringø Tjære- og Asfaltfabrik

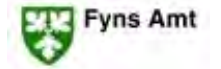


Side:	Skala:	Udgave:
224-05401	1:1.400	DNN
Forfatter:	Dato:	Rev.:
JSD	BRO	Juli 2006
		1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Projekt:



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

Nitrat [mg/l]

- Ej påvist
- <1
- 1 til 5
- 5 til 10
- 10 til 25
- 25 til 50

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 15.B:
Profilsnit af nitrat

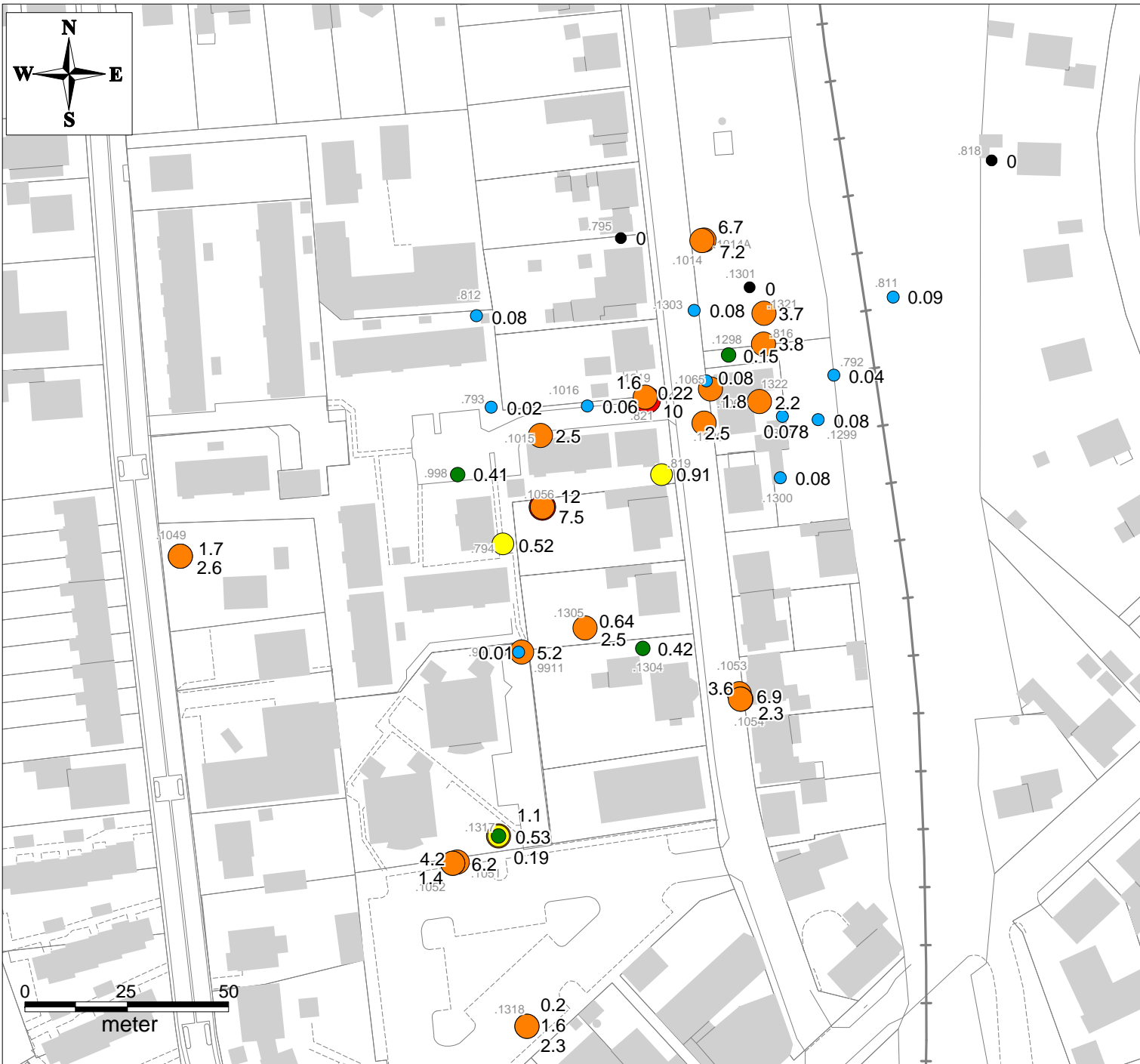
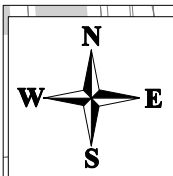
Udført af:



Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Supernr:	224-05401	Målestation:	-	Kommune:	DNN
Tegner:	JSD	Kontor:	BRO	Dato:	Juli 2006
				Rev.:	1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Projekt:



Ringede Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

- Jern [mg/l]**
- Ej påvist
 - <0.1
 - 0.1 til 0.5
 - 0.5 til 1
 - 1 til 10
 - 10 til 25

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 16.A: Udbredelse af jern

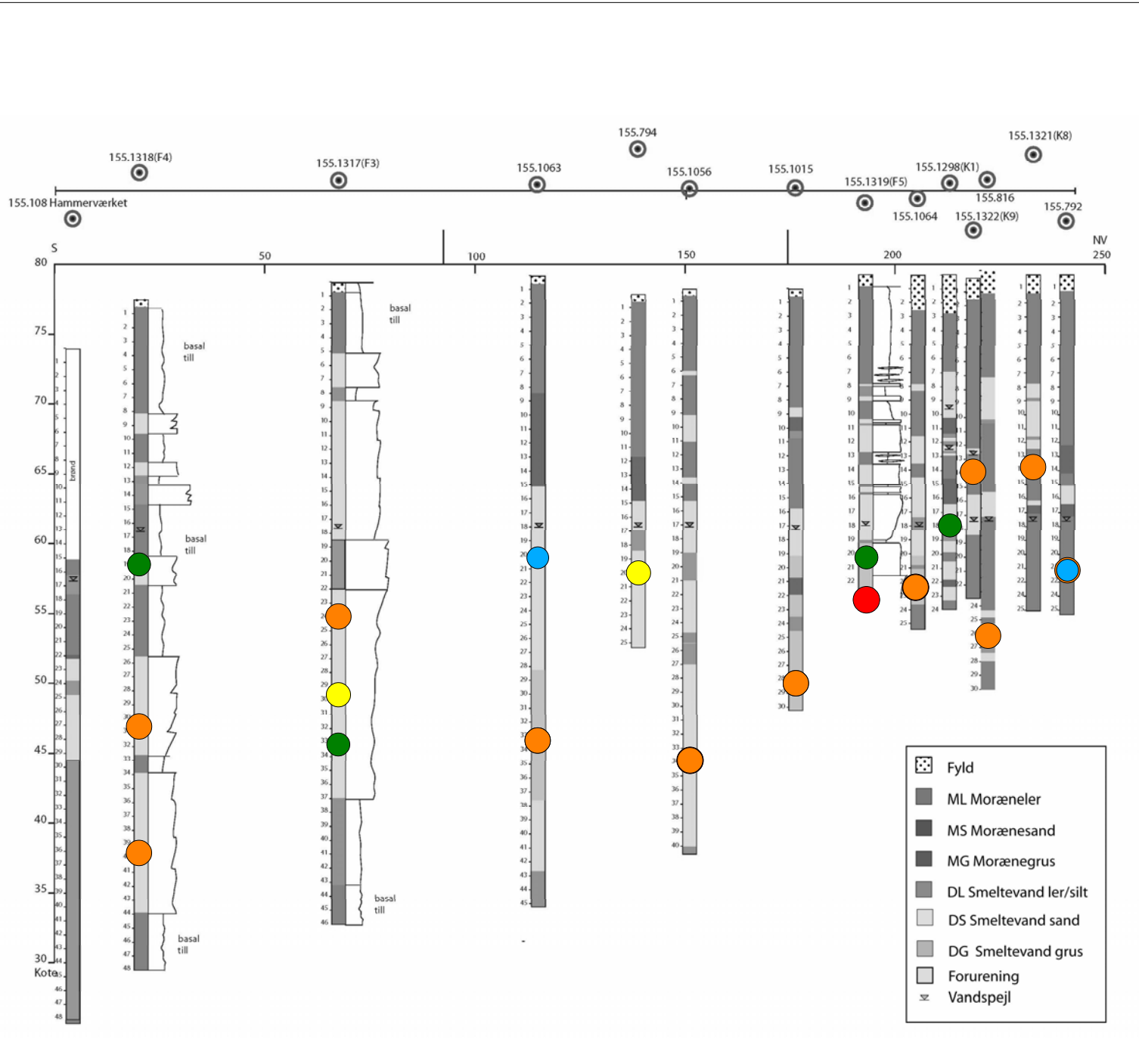
Udført af:



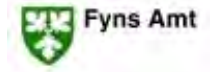
Projekt: Ringede Tjære- og Asfaltfabrik

Signatur	Mappekode	Skala	Revision
224-05401	1:1.400	DNN	
JSD	BRO	Juli 2006	1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Projekt:



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

- Jern [mg/l]
- Ej påvist
 - < 0,1
 - 0,1 til 0,5
 - 0,5 til 1
 - 1 til 10
 - 10 til 25

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 16.B:
Profilsnit af jern

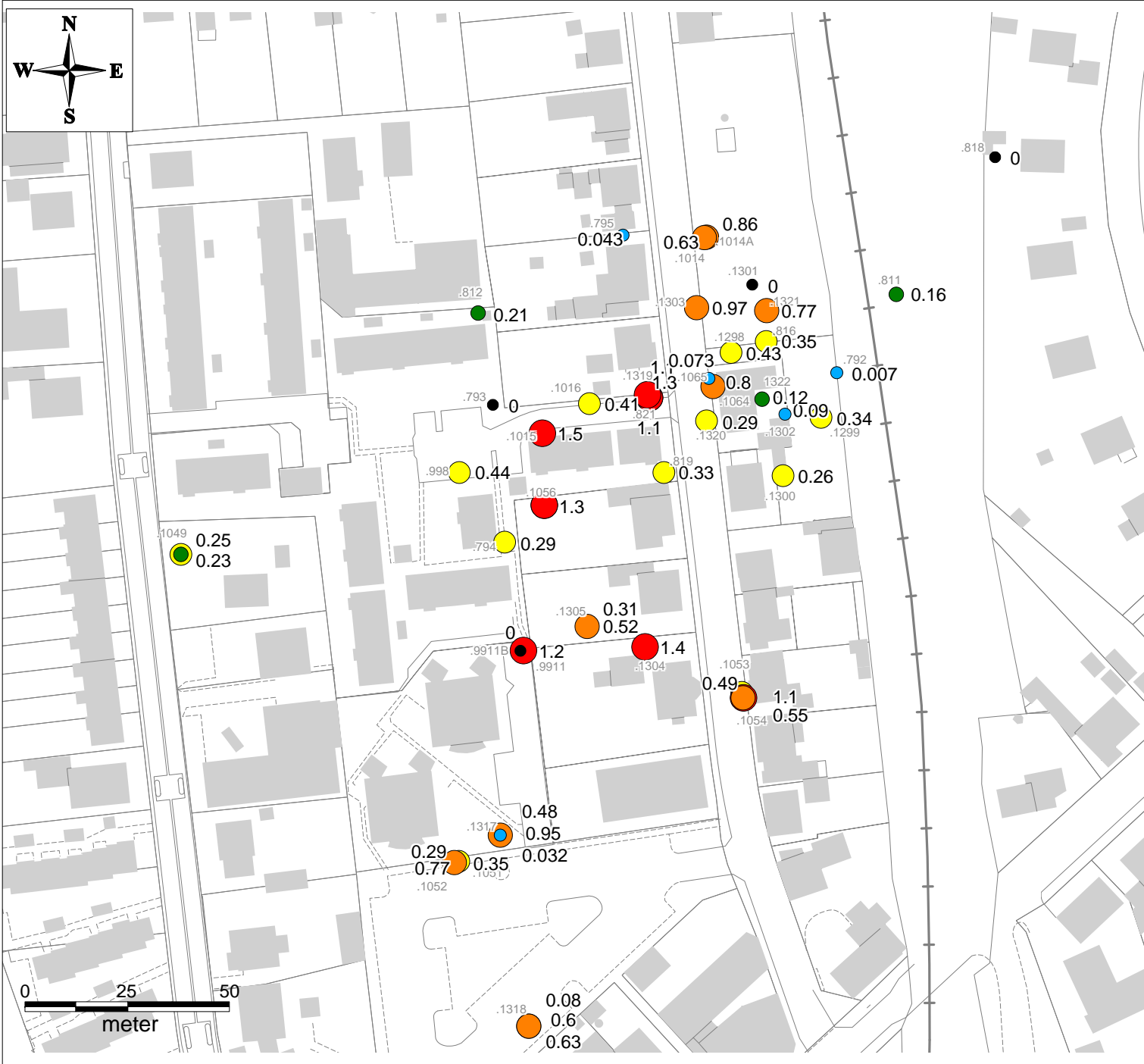
Udført af:

Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik



Supernr.	224-05401	Markenr.	-	Kommunenummer	DNN
Tegnr.	JSD	Kompl.	BRO	Dato	Juli 2006
				Rev.	1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Projekt:



Ringede Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

- Mangan [mg/l]**
- Ej påvist
 - <0.1
 - 0.1 til 0.25
 - 0.25 til 0.5
 - 0.5 til 1
 - 1 til 10

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 17.A: Udbredelse af mangan

Udført af:



Projekt: Ringede Tjære- og Asfaltfabrik

Sløjfe: 224-05401	Målestok: 1:1.400	Konvention: DNN
Tegner: JSD	Kontor: BRO	Dato: Juli 2006
		Rev: 1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11

Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Projekt:

Tegnforklaring:

Mangan [mg/l]

- Ej påvist
- < 0,1
- 0.1 til 0.25
- 0.25 til 0.5
- 0.5 til 1
- 1 til 10

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 17.B:
Profilsnit af mangan

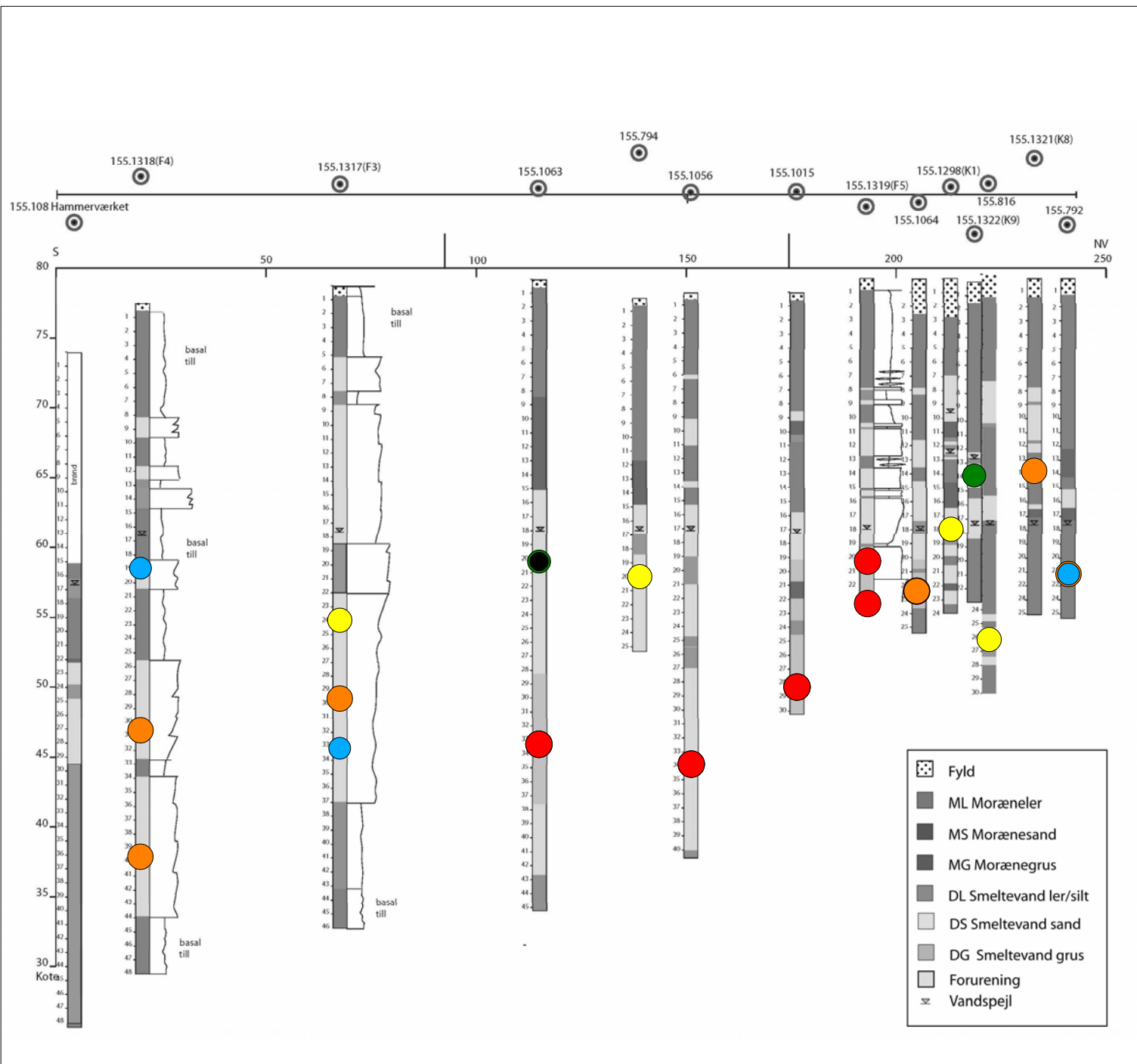
Udført af:

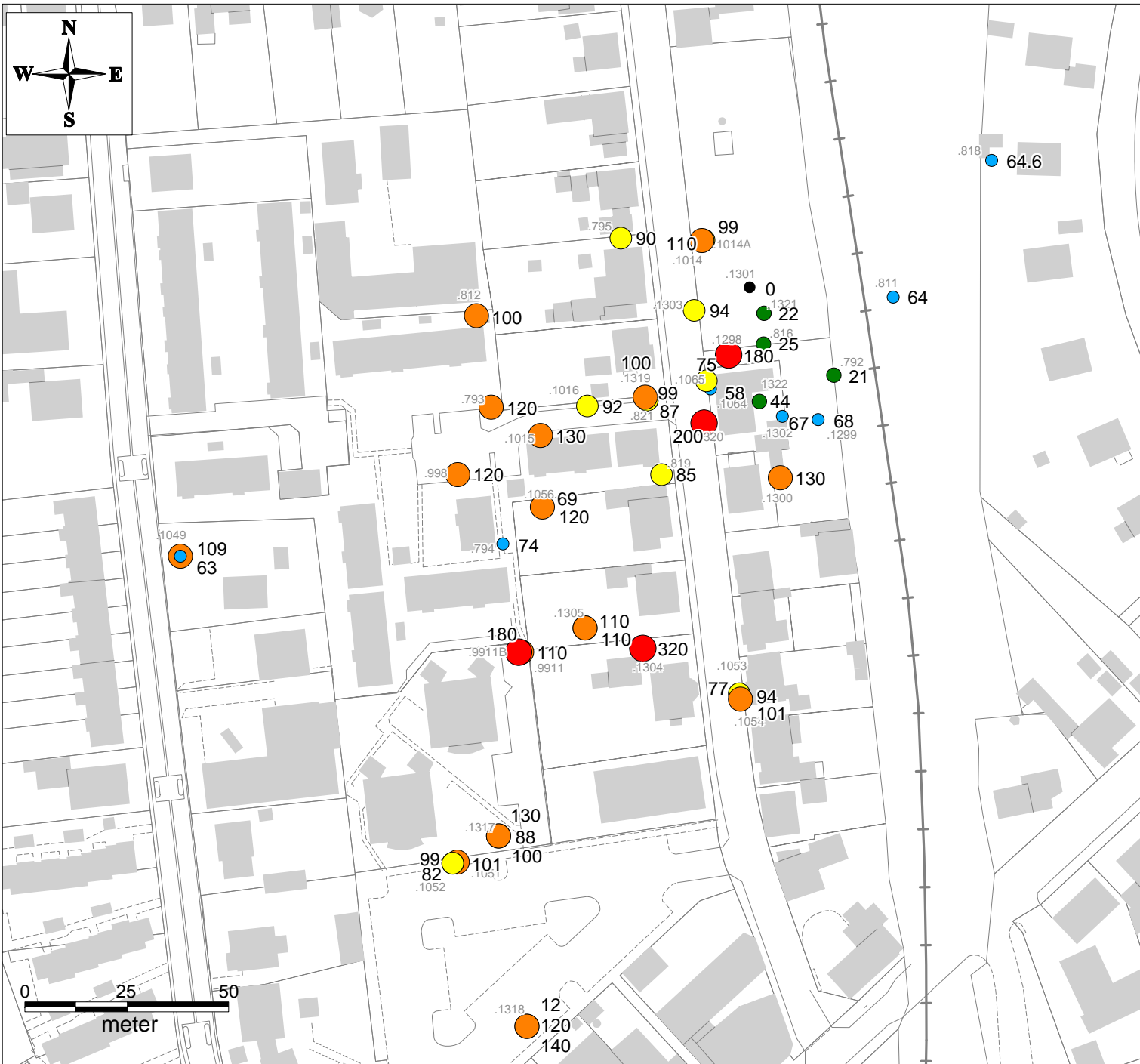
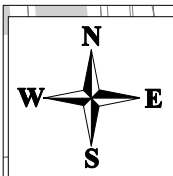


Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Supernr:	224-05401	Målestation:	-	Kommune:	DNN
Tegner:	JSD	Kontor:	BRO	Dato:	Juli 2006
				Rev.:	1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11





Projekt:



Ringte Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

Sulfat [mg/l]

- Ej påvist
- 10 til 50
- 50 til 75
- 75 til 100
- 100 til 150
- 150 til 400

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 18.A: Udbredelse af sulfat

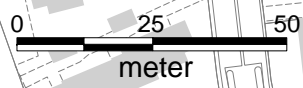
Udført af:

Projekt: Ringte Tjære- og Asfaltfabrik



Signatør	224-05401	Målestok	1:1.400	Konvention	DNN
Tegner	JSD	Kontor	BRO	Dato	Juli 2006
				Rev.	1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11

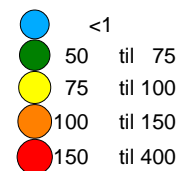


Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Projekt:

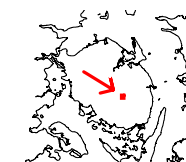
Tegnforklaring:

Sulfat [mg/l]



Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 18.B:
Profilsnit af sulfat

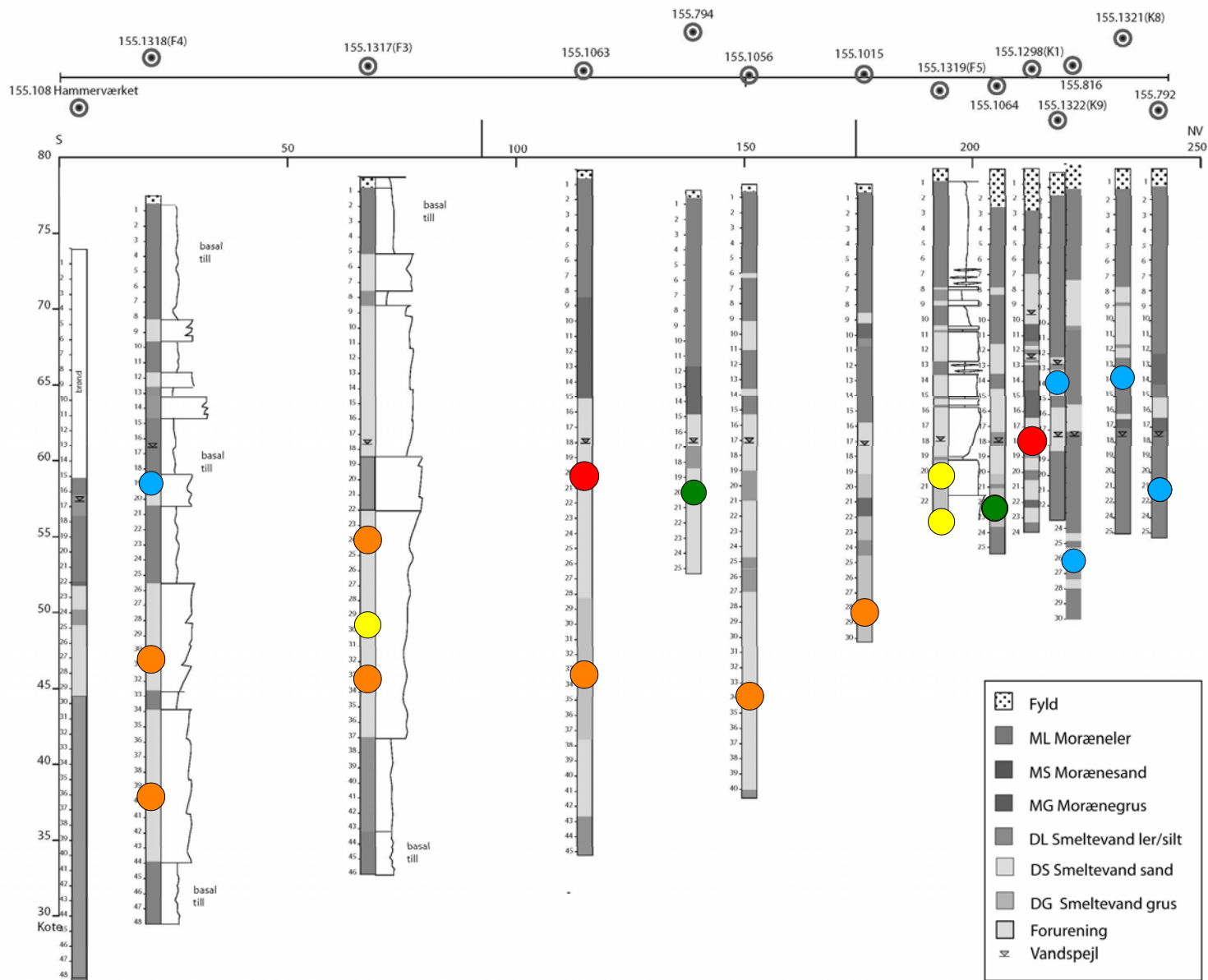
Udført af:

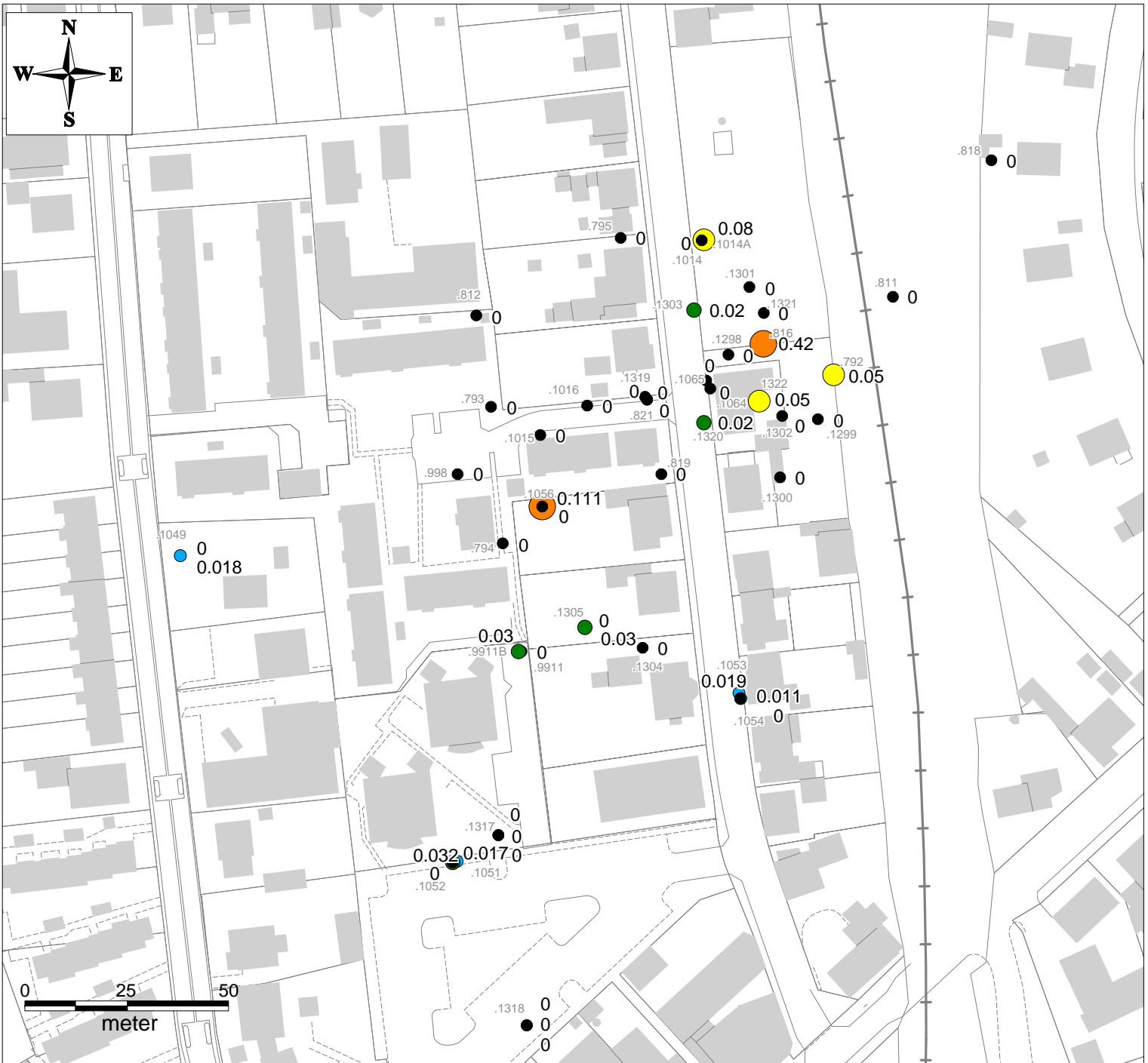


Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Supernr:	224-05401	Målestidspunkt:	-	Kommunikationsnr.:	DNN
Tegner:	JSD	Kontor:	BRO	Dato:	Juli 2006
				Rev.:	1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11





Projekt:



Ringes Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

Sulfid [mg/l]

- Ej påvist
- <0.02
- 0.02 til 0.05
- 0.05 til 0.1
- 0.1 til 0.5

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 19.A: Udbredelse af sulfid

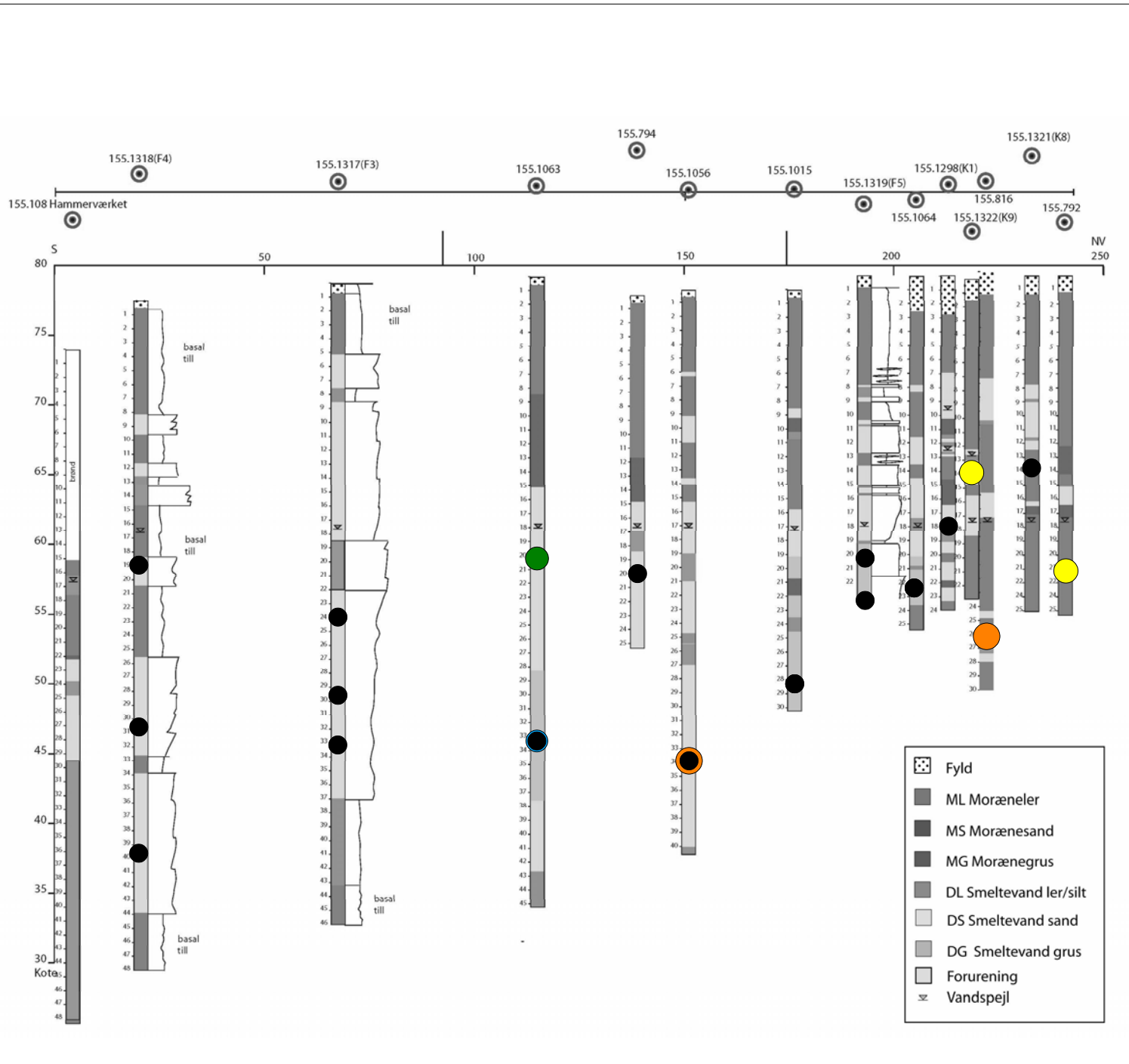
Udført af:

Projekt: Ringes Tjære- og Asfaltfabrik



Side: 224-05401	Målestok: 1:1.400	Revision: DNN
Tegner: JSD	Kontor: BRO	Dato: Juli 2006
		Rev.: 1

Afd. for Vandsourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Projekt:

Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

Sulfid [mg/l]

- Ej påvist
- <0.02
- 0.02 til 0.05
- 0.05 til 0.1
- 0.1 til 0.5

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:

Titel:

Bilag 19.B:
Profilsnit af sulfid

Udført af:

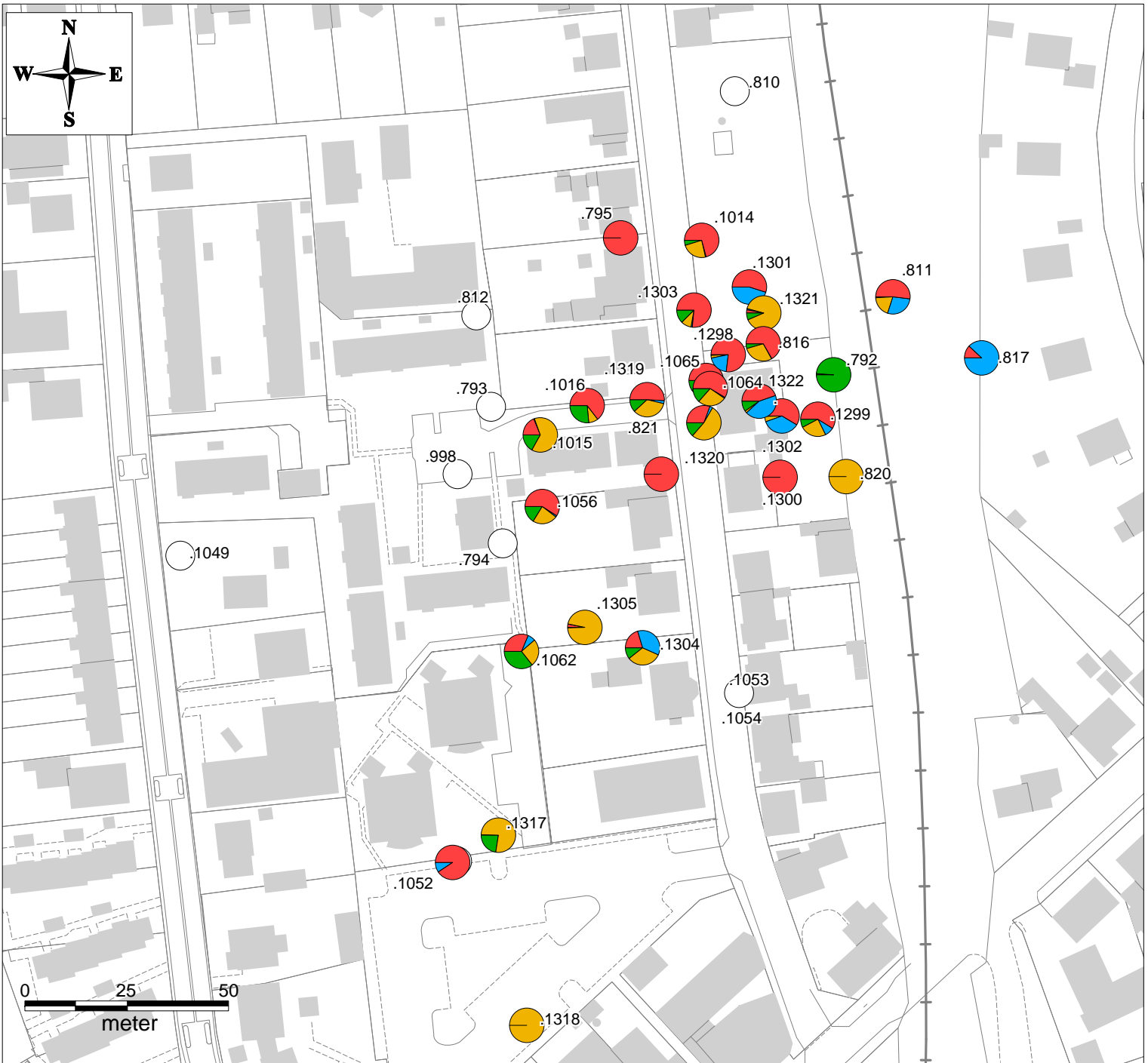
Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Supernr:	224-05401	Målestation:	-	Kommunenummer:	DNN
Forfatter:	JSD	Kontrol:	BRO	Dato:	Juli 2006
				Rev.:	1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11

Bilag 1.7

Plan og tværsnit med fordeling af hovedgrupperne i sum af tjærestoffer



Projekt:



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

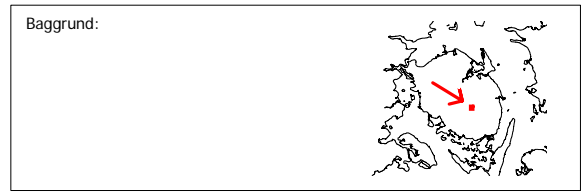
Tegnforklaring:

Fordeling af tjærestoffer

- BTEX
- Napthalener
- Phenoler
- NSO'er

○ Ingen stoffer påvist

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK



Titel:

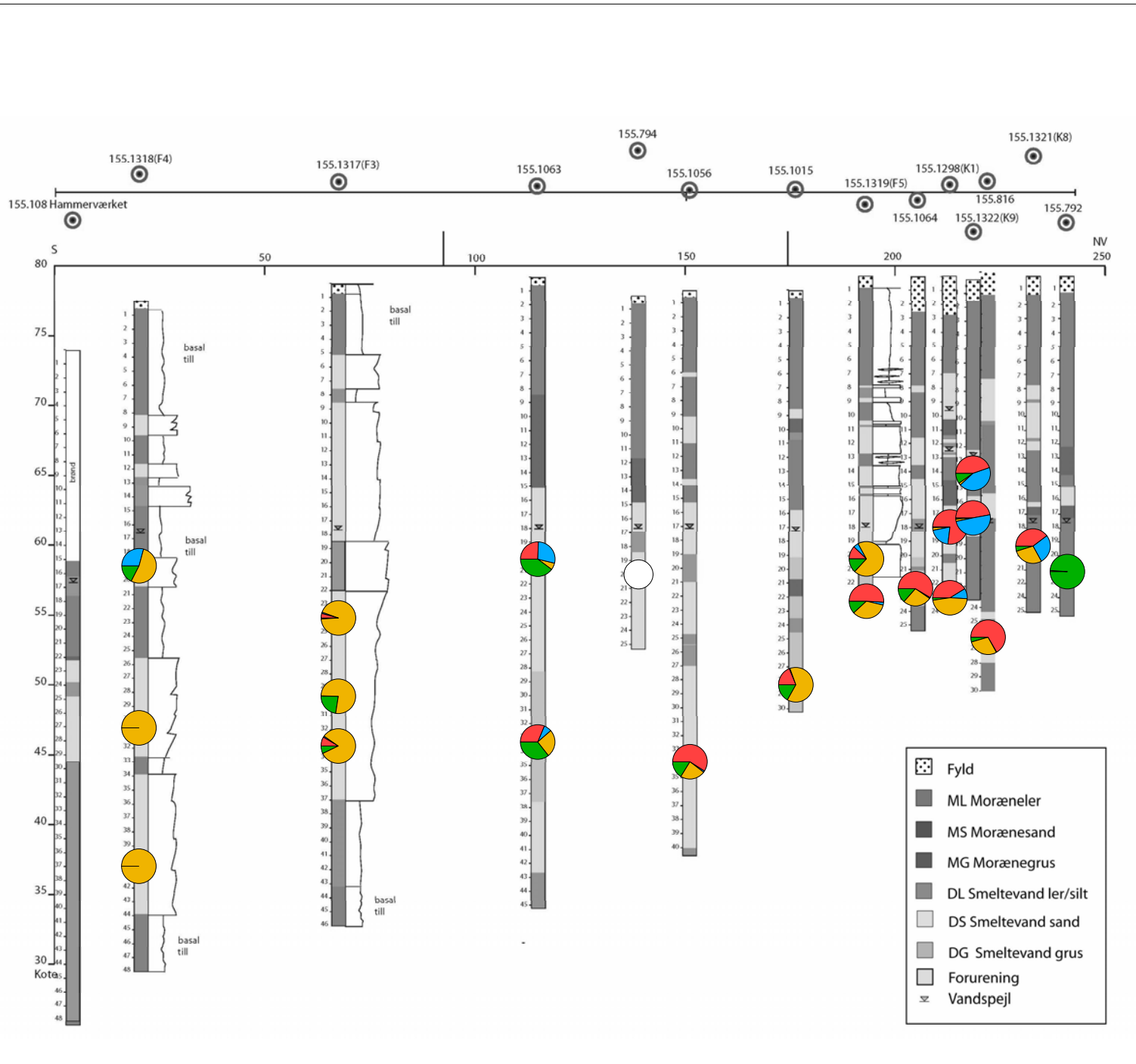
Bilag 14.B:
Fordeling af tjærestoffer

Udført af:

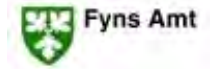


Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik			
Signat: 224-05401	Målestok: 1:1.400	Kommune: DNN	
Tegner: JSD	Kontor: BRO	Dato: Juli 2006	Rev.: 1

Afd. for Vandsressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Projekt:



Ring Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

Andele af stofgrupper

- BTEX
- Napthalener
- Phenoler
- NSO'er

○ Ingen stoffer påvist

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 14.D:
Profilsnit af fordeling af tjærestoffer

Udført af:



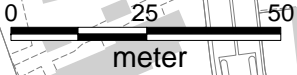
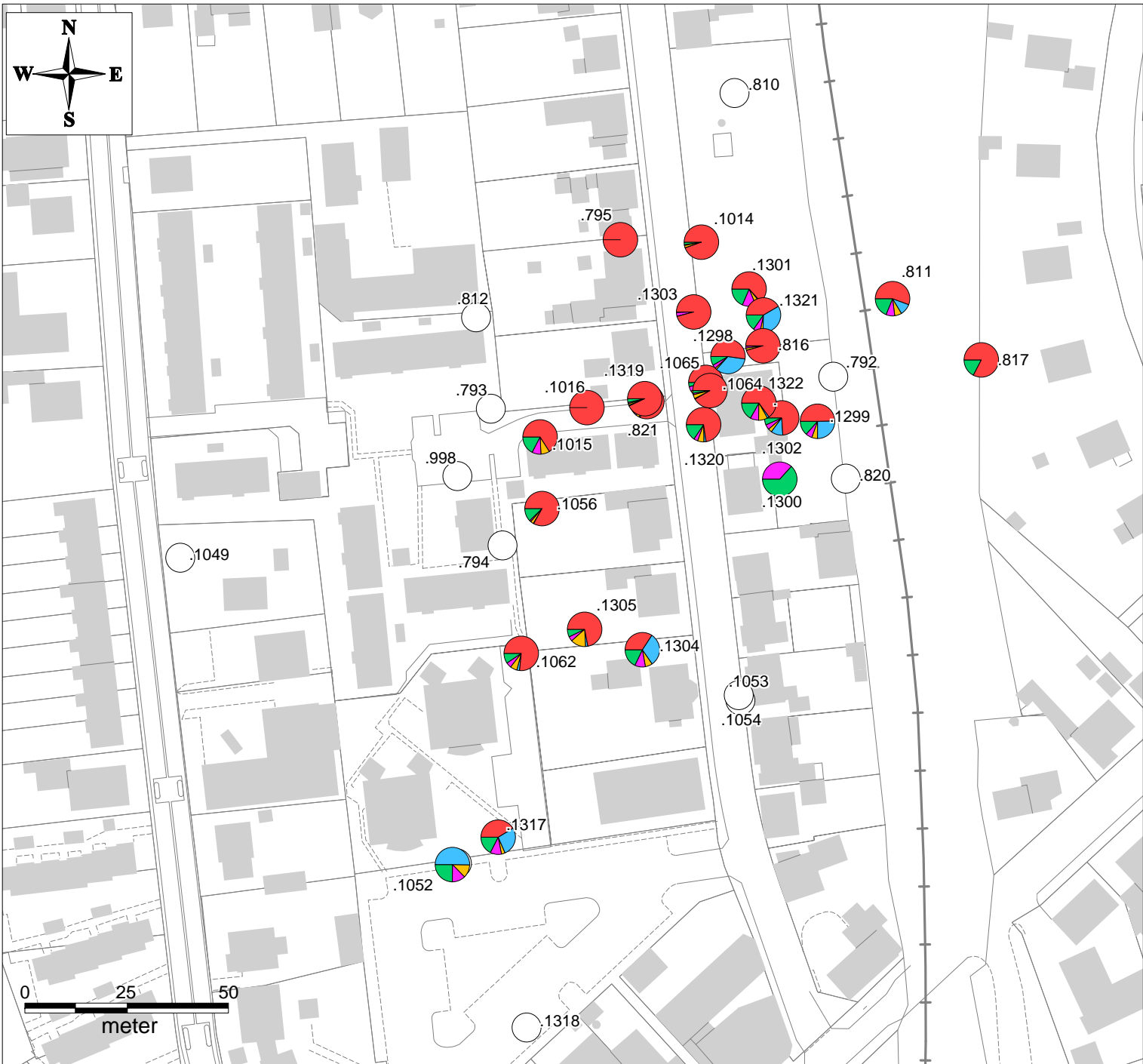
Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Supernr.	224-05401	Målestok	-	Komponent	DNN
Tegner	JSD	Kontor	BRO	Dato	Juli 2006
				Rev.	1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11

Bilag 1.8

Plan og tværsnit med fordeling af enkeltstoffer i hovedgrupperne



Projekt:



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

Fordeling af BTEX

- Benzen
- Toluen
- Ethylbenzen
- o-Xylen
- m+p-Xylen

BTEX ikke påvist

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 10.B: Fordeling af BTEX

Udført af:

Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik



Signat:	224-05401	Målestok:	1:1.400	Revision:	DNN
Tegnet:	JSD	Kortet:	BRO	Dato:	Juli 2006
				Rev.:	1

Afd. for Vandsourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11

Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Projekt:

Tegnforklaring:

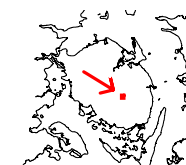
Fordeling af BTEX

- Benzen
- Toluen
- Ethylbenzen
- o-Xylen
- m+p-Xylen

BTEX ikke påvist

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 10.D:
Profilsnit af fordeling af BTEX

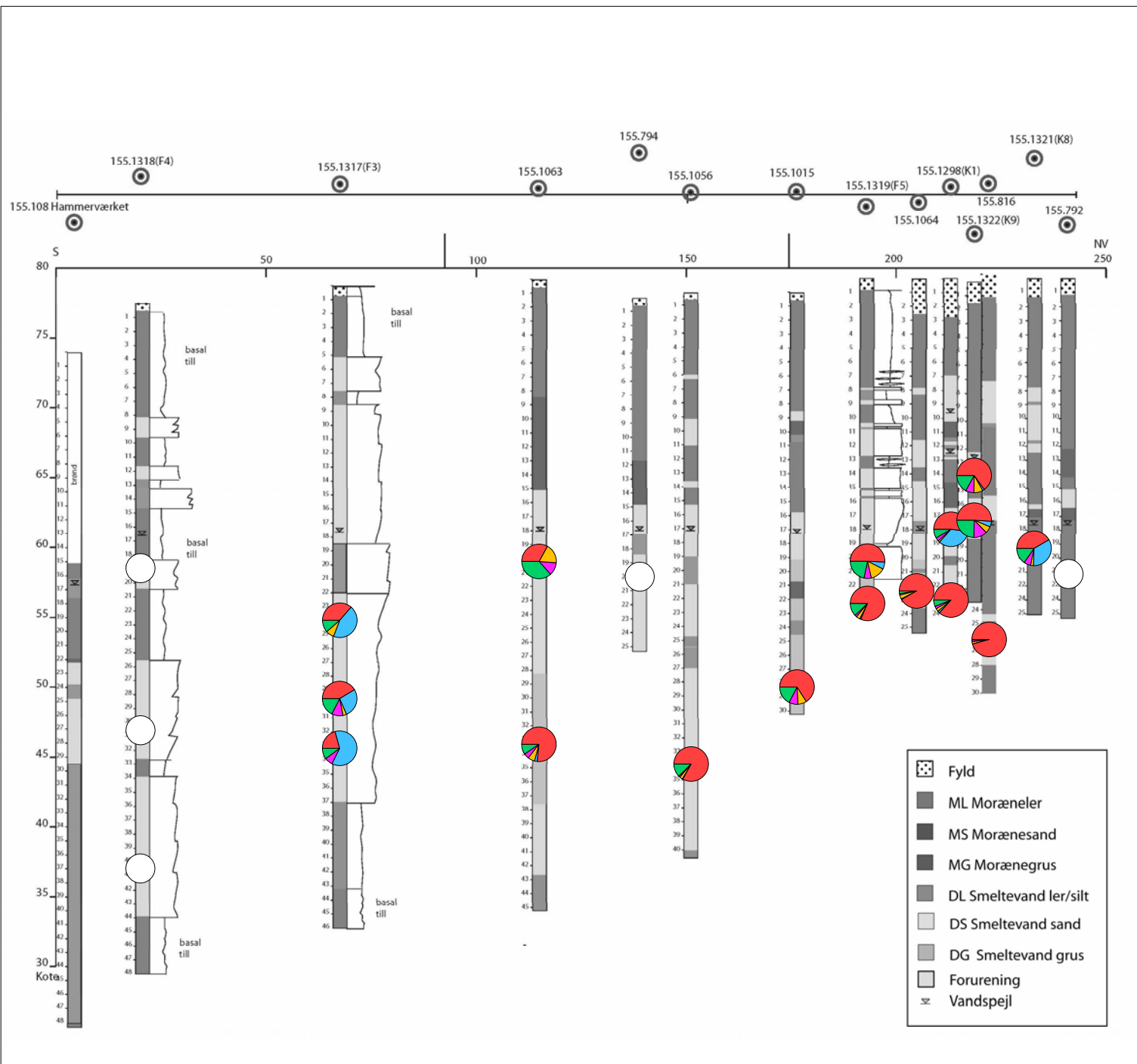
Udført af:

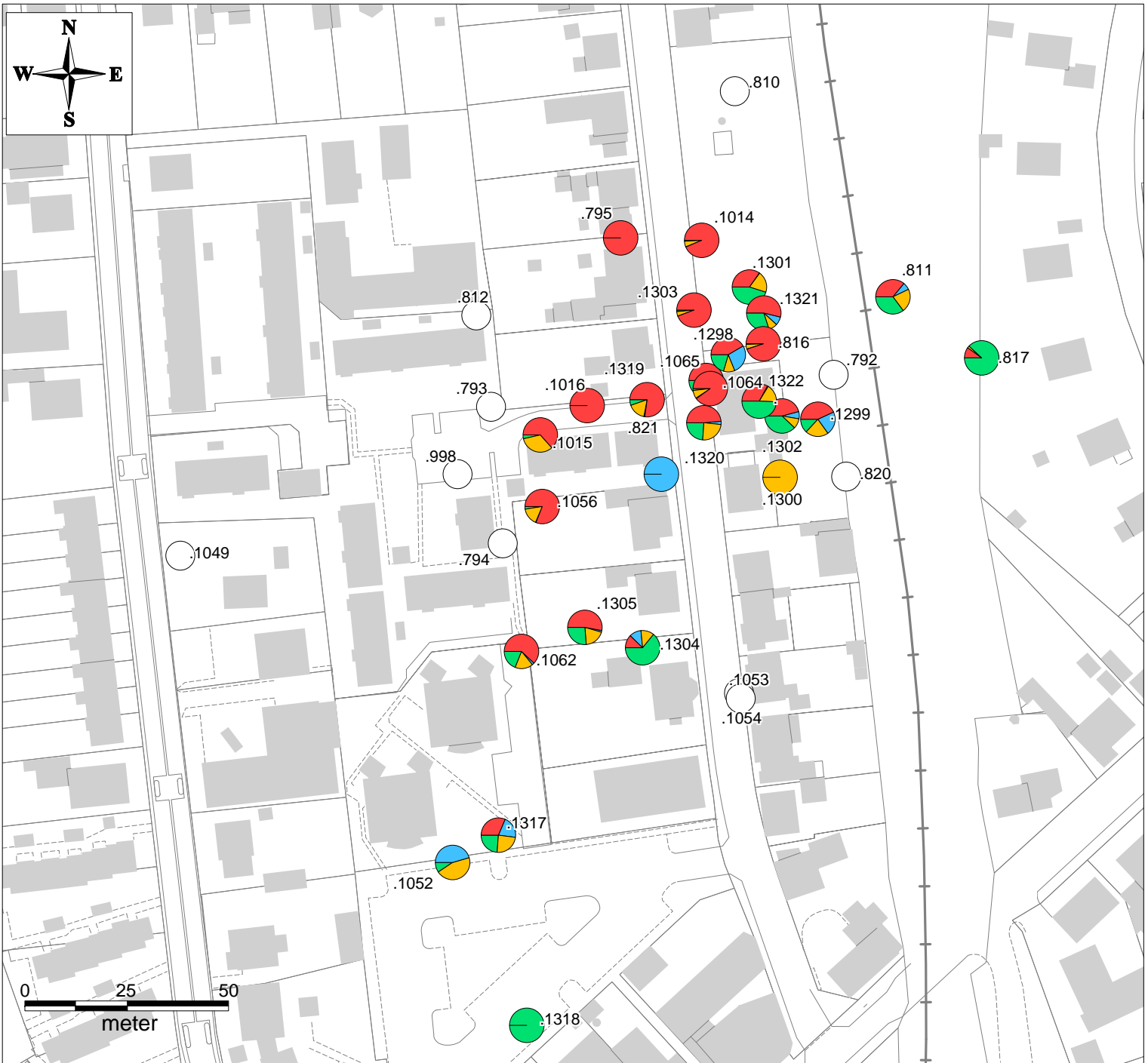


Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Supernr: 224-05401	Målestok: -	Komplekst: DNN
Tegner: JSD	Kontor: BRO	Dato: Juli 2006
		Rev: 1

Afd. for Vandsourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11





Projekt:



Ringes Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

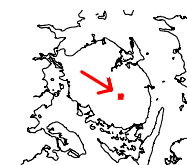
Fordeling af BTEXN

- Benzen
- Toluen
- Ethylbenzen + Xylen
- Naphtalen

BTEXN ikke påvist

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 11.B: Fordeling af BTEXN

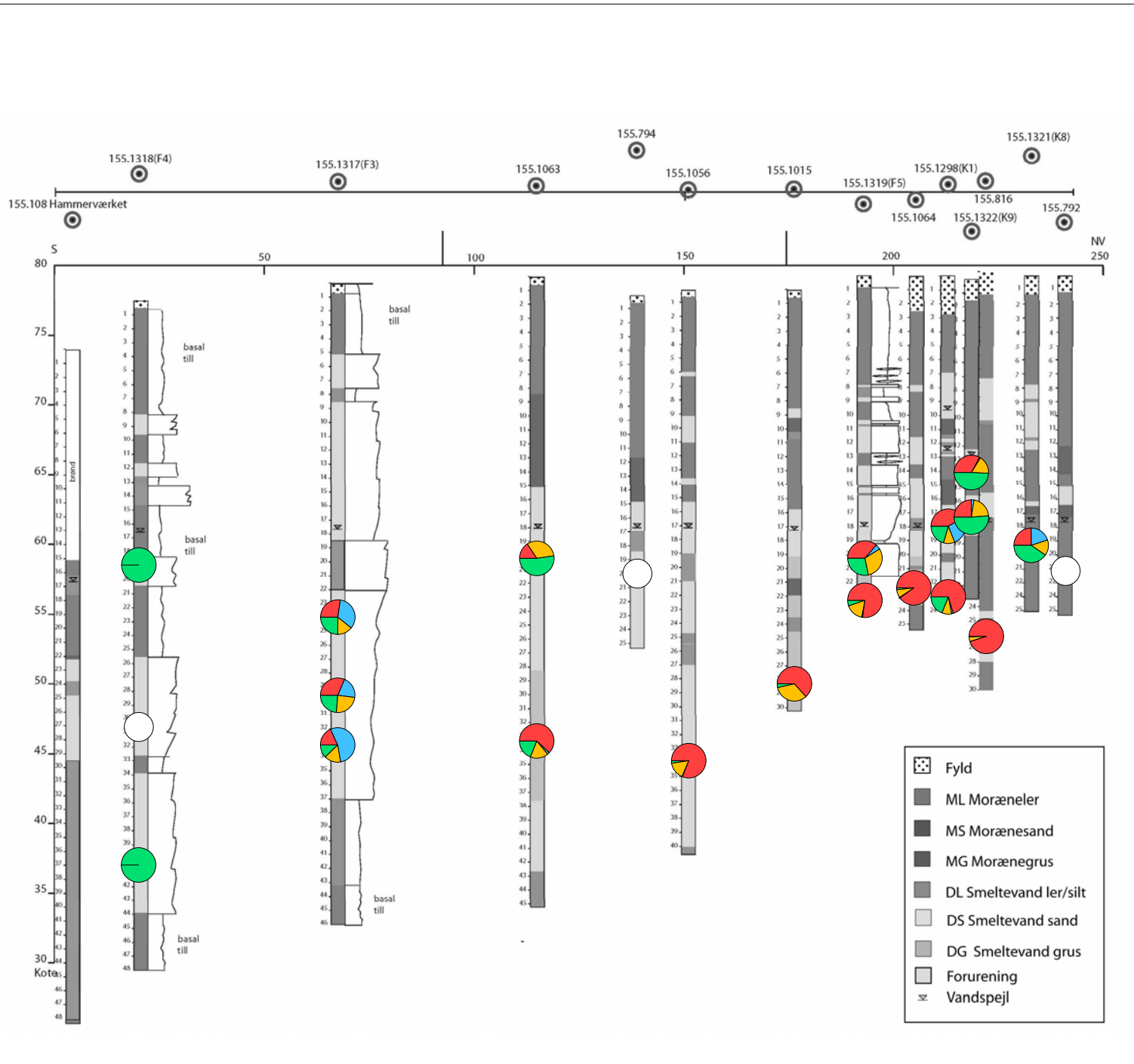
Udført af:



Projekt: Ringes Tjære- og Asfaltfabrik

Signat: 224-05401	Målestok: 1:1.400	Konvention: DNN
Tegner: JSD	Kontor: BRO	Rev: 1

Afd. for Vandsourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Projekt:



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

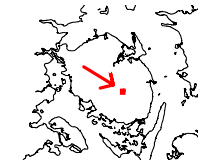
Fordeling af BTEXN

- Benzen
- Toluen
- Ethylbenzen + Xylen
- Naphtalen

BTEXN ikke påvist

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



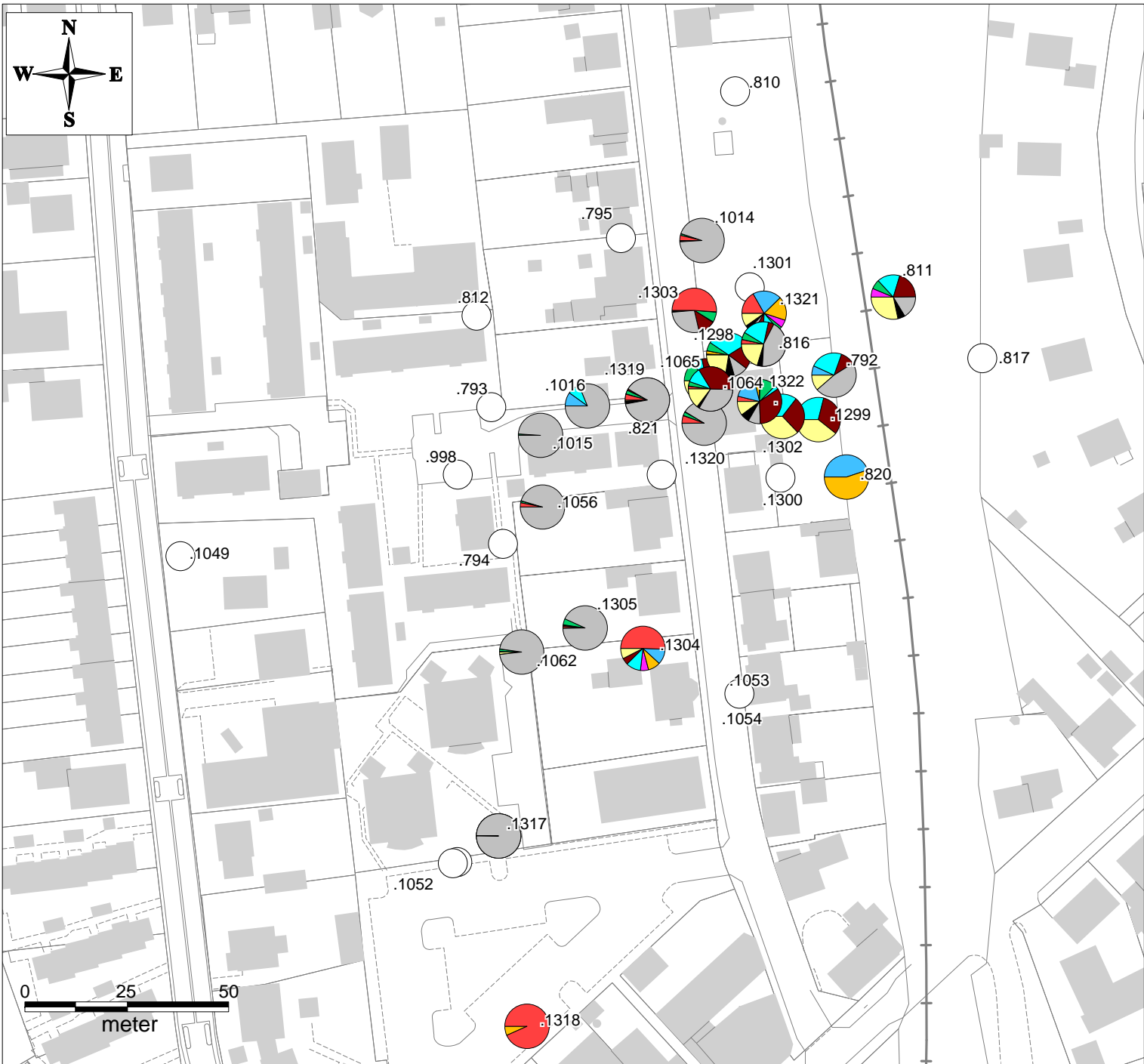
Titel:

Bilag 11.D: Profilsnit af fordeling af BTEXN

Udført af:



Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik			
Supernr: 224-05401	Målestok: -	Kommune: DNN	Afd. for Vandressourcer Ringstedvej 20 4000 Roskilde
Tegner: JSD	Kontor: BRO	Dato: Juli 2006	Rev: 1 Telefon 46 30 03 10 Telefax 46 30 03 11



Projekt:



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

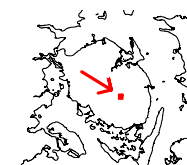
Fordeling af phenoler

- Phenol
- 2-Methyl-phenol
- 3-Methyl-phenol
- 4-methyl-phenol
- 2,3-Dimethyl-phenol
- 2,4-Dimethyl-phenol
- 2,5-Dimethyl-phenol
- 2,6-Dimethyl-phenol
- 3,4-Dimethyl-phenol
- 3,5-Dimethyl-phenol

Phenoler ikke påvist

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 12.B: Fordeling af phenoler

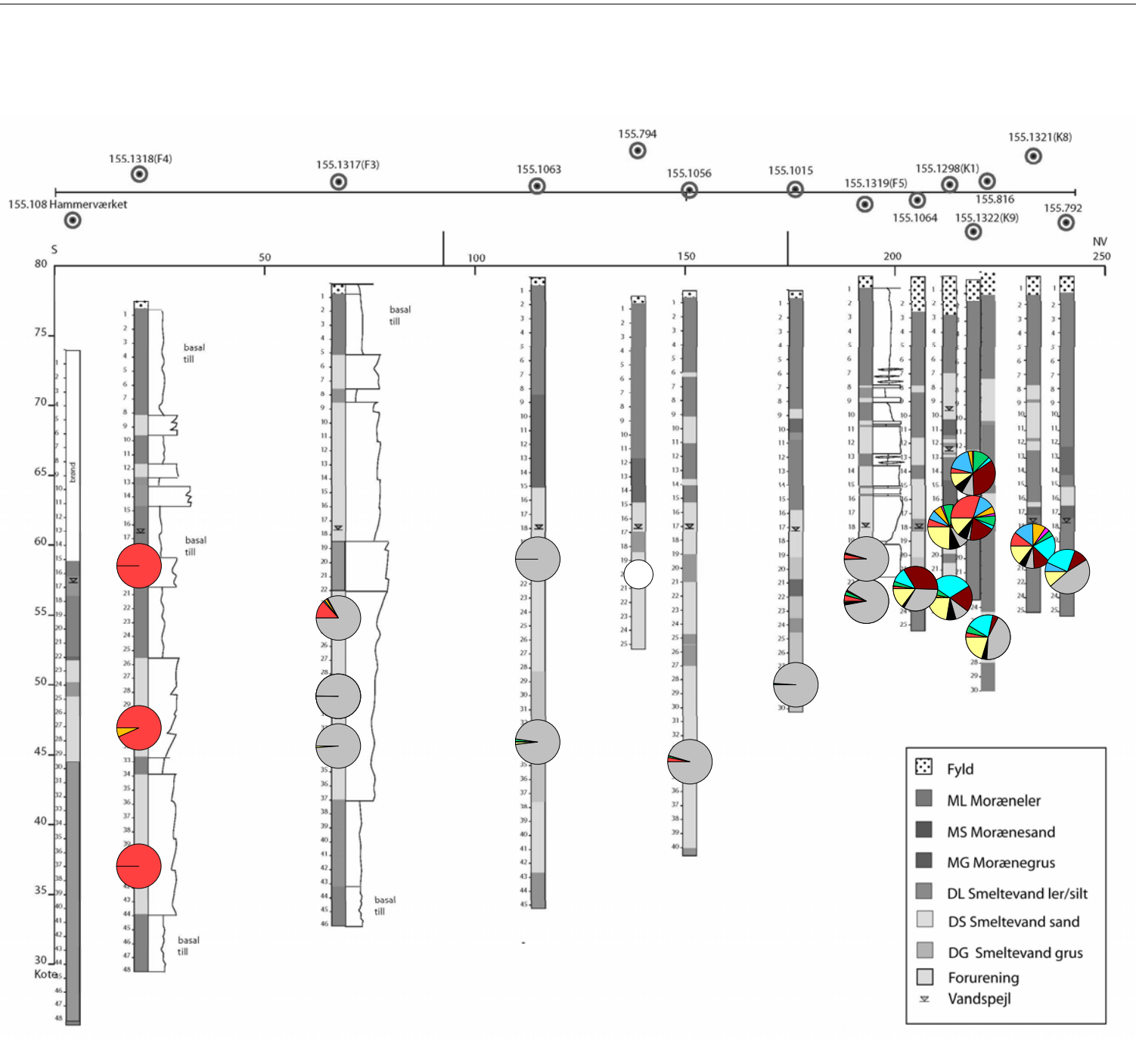
Udført af:

Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

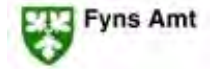


Side: 224-05401	Målestok: 1:1.400	Konvention: DNN
Tegner: JSD	Kontor: BRO	Dato: Juli 2006
		Rev: 1

Afd. for Vandsourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Projekt:



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

Fordeling af phenoler

- Phenol
- 2-Methyl-phenol
- 3-Methyl-phenol
- 4-methyl-phenol
- 2,3-Dimethylphenol
- 2,4-Dimethyl-phenol
- 2,5-Dimethyl-phenol
- 2,6-Dimethyl-phenol
- 3,4-Dimethyl-phenol
- 3,5-Dimethyl-phenol

Phenoler ikke påvist

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 12.D: Profilsnit af fordeling af phenoler

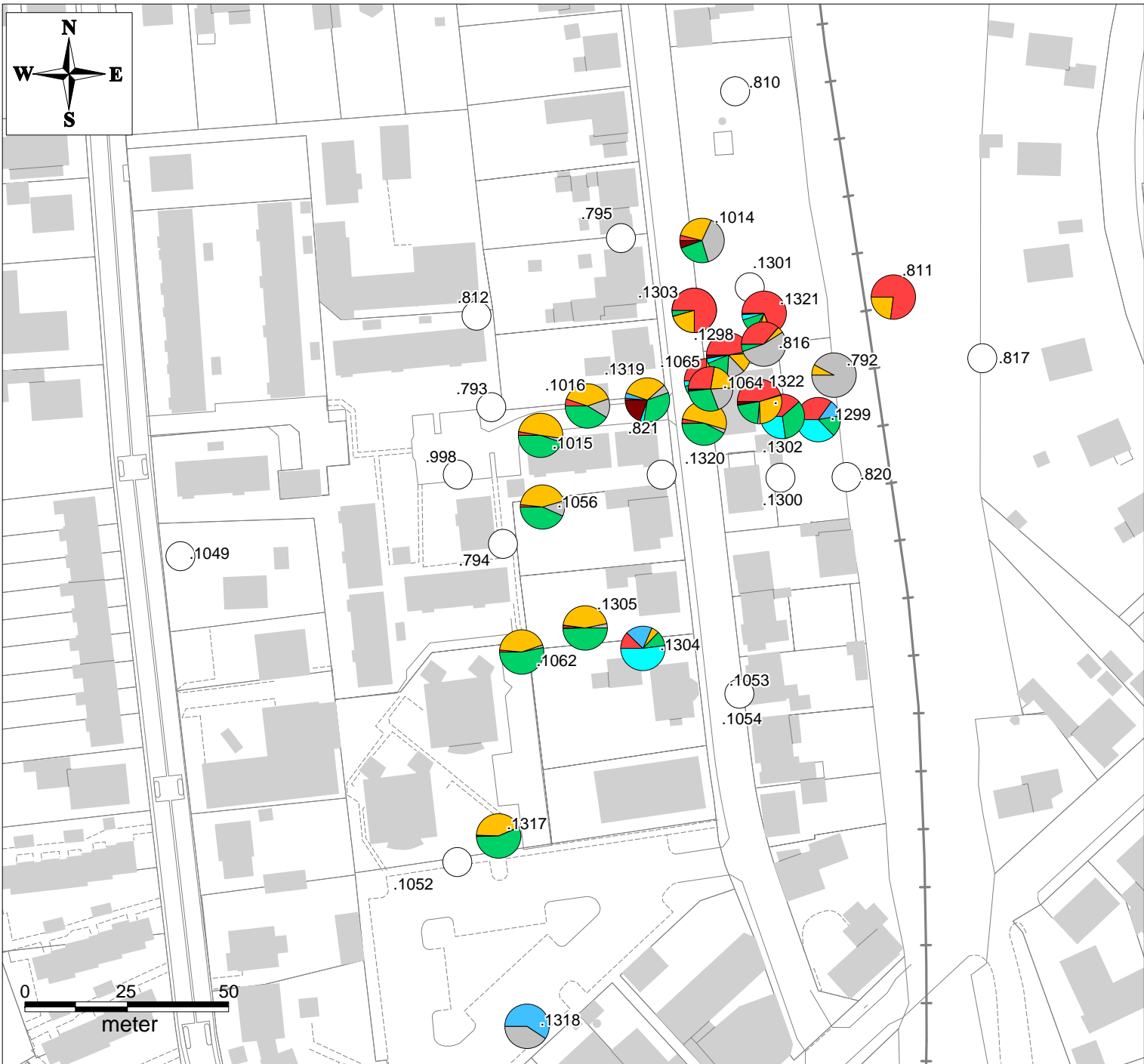
Udført af:



Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Supernr:	224-05401	Målestid:	-	Konvention:	DNN
Tegner:	JSD	Kontor:	BRO	Dato:	Juli 2006
				Rev.:	1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Projekt:



Ringe Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

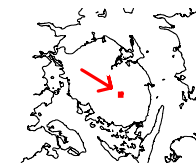
Fordeling af NSO'er

- Benzo-furan
- Dibenzo-furan
- Methyl-benzo-furan
- Thio-phen
- Benzo-thiophen
- Carbazol
- Quinolin

NSO'er ikke påvist

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 13.B:
Fordeling af NSO'er

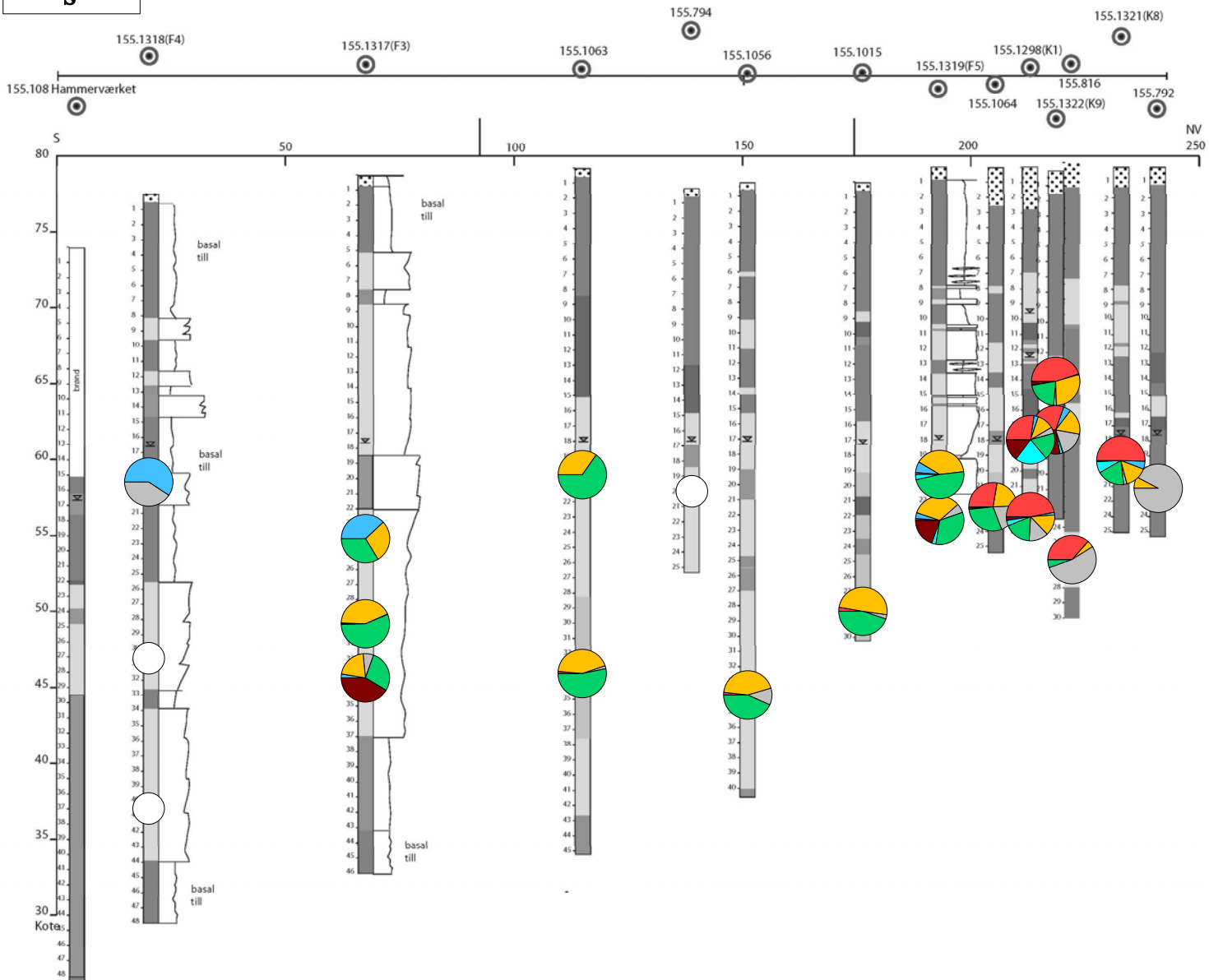
Udført af:

Projekt: Ringe Tjære- og Asfaltfabrik



Side: 224-05401	Målestok: 1:1.400	Revision: DNN
Tegner: JSD	Kontor: BRO	Dato: Juli 2006
		Rev: 1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11



Projekt:



Ringø Tjære- og Asfaltfabrik

Tegnforklaring:

Fordeling af NSO'er

- Benzo-furan
- Dibenzo-furan
- Methyl-benzo-furan
- Thio-phen
- Benzo-thiophen
- Carbazol
- Quinolin

NSO'er ikke påvist

Kortgrundlag:
HME, GEUS og Top10DK

Baggrund:



Titel:

Bilag 13.D:
Profilsnit af fordeling af NSO'er

Udført af:

Projekt: Ringø Tjære- og Asfaltfabrik



Supernr.	224-05401	Markenr.	-	Kommunenummer	DNN
Tegner	JSD	Kontor	BRO	Dato	Juli 2006
				Rev.	1

Afd. for Vandressourcer
Ringstedvej 20
4000 Roskilde
Telefon 46 30 03 10
Telefax 46 30 03 11

Bilag 2

Rapporter fra Eurofins

Bilag 2.1

Udvikling af metode for specifikke nedbrydningsprodukter

Analyserapport

Grundvand

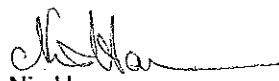
Ringø Tjære- og Asfaltfabrik

Nedbrydningsprodukter

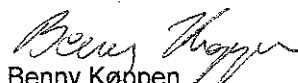
Rekvirent: Hedelskabet Miljø & Energi A/S
Mette M. Broholm
Ringstedvej 20
40 Roskilde

Dato: 23. december 2005

Udført af: Eurofins A/S
Strandesplanaden 110, DK-2665 Vallensbæk



Nis Hansen
civilingeniør



Benny Køppen
kemiker, lic.pharm.

Undersøgelsen er rekvireret af Hedeselskabet Miljø & Energi A/S ved Mette M. Broholm.

Prøvemateriale

Laboratoriet har d. 8. november 2005 modtaget 2 vandprøver.

Prøverne var mærket:

- Boring 9912
- Boring 9912 A

Prøverne er modtaget i glødede glasflasker. Prøverne er ved modtagelsen konserveret ved syretilsætning til pH 2 og opbevaret ved 4°C indtil analyse.

Prøverne er analyseret for nedbrydningsprodukter fra TEXN (ravsyreforbindelser).

Analyserne er udført i perioden 15.11.2005 – 18.11.2005.

Analysemetode

MK-2277 Mod. Nedbrydningsprodukter fra TEXN (ravsyreforbindelser) i vand

Princip: Vandprøven ekstraheres ved fastfaseekstraktion, ekstraktet metyleres med bor-trifluorid/methanol og der analyseres ved GC-MS. Ved analysen bestemmes følgende 7 stoffer, alle nedbrydningsprodukter fra toluen, xylener, ethylbenzen eller 2-methylnaphthalen: benzylravsyre, alfa-methylbenzylravsyre, 3-methylbenzylravsyre, 2-methylbenzylravsyre, 4-methylbenzylravsyre, naphthyl-2-methylravsyre og naphthylitaconsyre.

Beregningen er udført i forhold til standarder af de enkelte stoffer. Renheden af disse standarder er ikke kendt. Stoffet 2-methylbenzylravsyre haves ikke som standard, i stedet er dette stof beregnet i forhold til et gennemsnit af 3-methylbenzylravsyre og 4-methylbenzylravsyre.

Detektionsgrænsen varierer fra 0,02 µg/l til 0,04 µg/l for de 7 stoffer.

Analyseusikkerhed: Er foreløbig estimeret til ca. 15% målt som RSD.

Resultater

Enhed: µg/l Komponent	Forkortelse	Prøvemærkning		Det. grænse
		Boring 9912	Boring 9912 A	
Benzylravsyre	BSA	0,036	-	0,02
Alfa-methylbenzylravsyre	alfa-mBSA	< 0,1 *	-	0,04
3-methylbenzylravsyre	3-mBSA	0,94	-	0,02
2-methylbenzylravsyre	2-mBSA	0,077	-	0,02
4-methylbenzylravsyre	4-mBSA	< 0,05 *	-	0,02
Naphthyl-2-methylravsyre	NSA	0,37	-	0,02
Naphthylitaconsyre	NIA	-	-	0,04

- Mindre end den anførte detektionsgrænse.
- * Forhøjet detektionsgrænse pga. interferens.

Bilag 2.2
Analyserapport

KOPI

Analyserapport

Grundvand

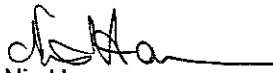
RTA Nedbrydningsprodukter


Marts 2006

Rekvirent: Hedeseelskabet Miljø & Energi A/S
Claus Westergaard
Klostermarken 12
8800 Viborg

Dato: 31. marts 2006

Udført af: Eurofins A/S
Strandesplanaden 110, DK-2665 Vallensbæk


Nis Hansen
civilingeniør


Benny Køpper
kemiker, lic.pharm.

Undersøgelsen er rekvireret af Hedeselskabet Miljø & Energi A/S ved Mette M. Broholm.

Prøvemateriale

Laboratoriet har d. 14. og 15. marts 2006 modtaget i alt 12 vandprøver.

Prøverne var mærket:

• F3-2	Modtaget 14.03.06
• 9911	Modtaget 14.03.06
• 155.1056	Modtaget 14.03.06
• F2-2	Modtaget 14.03.06
• 155.821	Modtaget 14.03.06
• F5-1	Modtaget 14.03.06
• K1-1	Modtaget 14.03.06
• 155.813	Modtaget 15.03.06
• K9-1	Modtaget 15.03.06
• K7-1	Modtaget 15.03.06
• K7-2	Modtaget 15.03.06
• K1-2	Modtaget 15.03.06

Prøverne er modtaget i glødede glasflasker. Prøverne er ved modtagelsen konserveret ved syretilsætning til pH 2 og opbevaret ved 4°C indtil analyse.

Prøverne er analyseret for nedbrydningsprodukter fra TEXN (ravsyreforbindelser).

Analyserne er udført i perioden 29.03.2006 –30.03 2006.

Analysemetode

MK-2277 Mod. Nedbrydningsprodukter fra TEXN (ravsyreforbindelser) i vand

Princip:

Vandprøven ekstraheres ved fastfaseekstraktion, ekstraktet metyleres med bor-trifluorid/methanol og der analyseres ved GC-MS. Ved analysen bestemmes følgende 7 stoffer, alle nedbrydningsprodukter fra toluen, xylener, ethylbenzen eller 2-methylnaphthalen: benzylravsyre, alfa-methylbenzylravsyre, 3-methylbenzylravsyre, 2-methylbenzylravsyre, 4-methylbenzylravsyre, naphthyl-2-methylravsyre og naphthylitaconsyre.

Beregningen er udført i forhold til standarder af de enkelte stoffer. Renheden af disse standarder er ikke kendt. Stoffet 2-methylbenzylravsyre haves ikke som standard, i stedet er dette stof beregnet i forhold til et gennemsnit af 3-methylbenzylravsyre og 4-methylbenzylravsyre.

Detektionsgrænsen varierer fra 0,05 µg/l til 0,1 µg/l for de 7 stoffer.

Analyseusikkerhed: Er foreløbig estimeret til ca. 15% målt som RSD.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(n).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Resultater

Enhed: µg/l Komponent	Forkortelse	Prøvemærkning			Det. grænse
		F3-2	9911	155.1056	
Benzyravsyre	BSA	-	-	-	0,05
Alfa-methylbenzyravsyre	alfa-mBSA	-	-	-	0,1
3-methylbenzyravsyre	3-mBSA	-	-	-	0,05
2-methylbenzyravsyre	2-mBSA	-	-	-	0,05
4-methylbenzyravsyre	4-mBSA	-	-	-	0,05
Naphthyl-2-methylravsyre	NSA	-	-	-	0,05
Naphthylitaconsyre	NIA	-	-	-	0,05

- Mindre end den anførte detektionsgrænse.

Enhed: µg/l Komponent	Forkortelse	Prøvemærkning			Det. grænse
		F2-2	155.821	F5-1	
Benzyravsyre	BSA	-	-	-	0,05
Alfa-methylbenzyravsyre	alfa-mBSA	-	-	-	0,1
3-methylbenzyravsyre	3-mBSA	-	-	-	0,05
2-methylbenzyravsyre	2-mBSA	-	-	-	0,05
4-methylbenzyravsyre	4-mBSA	-	-	-	0,05
Naphthyl-2-methylravsyre	NSA	-	-	-	0,05
Naphthylitaconsyre	NIA	-	-	-	0,05

- Mindre end den anførte detektionsgrænse.

Resultater - fortsat

Enhed: µg/l	Komponent	Forkortelse	Prøvemærkning			Det. grænse
			K1-1	155.813	K9-1	
	Benzyravsyre	BSA	13	-	-	0,05
	Alfa-methylbenzyravsyre	alfa-mBSA	< 0,3 *	< 0,2 *	-	0,1
	3-methylbenzyravsyre	3-mBSA	4,2	0,61	-	0,05
	2-methylbenzyravsyre	2-mBSA	10	0,22	-	0,05
	4-methylbenzyravsyre	4-mBSA	-	-	-	0,05
	Naphthyl-2-methylravsyre	NSA	-	-	-	0,05
	Naphthylitaconsyre	NIA	< 0,2 *	-	-	0,05

- Mindre end den anførte detektionsgrænse.

* Forhøjet detektionsgrænse pga. interferens.

Enhed: µg/l	Komponent	Forkortelse	Prøvemærkning			Det. grænse
			K7-1	K7-2	K1-2	
	Benzyravsyre	BSA	-	-	3,1	0,05
	Alfa-methylbenzyravsyre	alfa-mBSA	-	-	< 0,2 *	0,1
	3-methylbenzyravsyre	3-mBSA	-	-	0,92	0,05
	2-methylbenzyravsyre	2-mBSA	-	-	1,2	0,05
	4-methylbenzyravsyre	4-mBSA	-	-	-	0,05
	Naphthyl-2-methylravsyre	NSA	-	-	0,87	0,05
	Naphthylitaconsyre	NIA	-	-	< 0,1 *	0,05

- Mindre end den anførte detektionsgrænse.

* Forhøjet detektionsgrænse pga. interferens.

Bilag 3

Vægt-fraktioner i jordprøver og estimering af sammensætning i vandfase.

Bilag 3.1

Vægt-fraktion af enkeltkomponenter og hovedgrupper i totaltjære

Vægtandel ($\mu\text{g}/\text{mg} = \text{‰}$) af totalkulbrinter

Boring		Prøve	Dybde (m u.t.)	PID	MAH'er								
	DGU#				Benzen	Toluen	Ethyl- benzen	o-Xylen	m-, p- Xylen	Total BTEX	Naph- thalen	1-methyl- naph- thalen	Total Naph- thalener
K1	155.1298	18006339	12,5 (13)	15 (86)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	440,0	100,0	540,0
K1	155.1298	18006340	18	880	0,6	1,9	0,1	3,3	5,9	11,8	82,1	9,5	91,5
K1	155.1298	18006341	19,9	280	2,5	0,0	1,1	1,5	2,5	7,7	136,4	20,0	156,4
K2	155.1299	18006342	6,5	>2000									
K2	155.1299	18006343	7	>2000									
K2	155.1299	18006344	7,5	>2000	0,0	0,3	14,0	0,4	8,7	23,3	633,3	30,7	664,0
K2	155.1299	18006345	14,5	450	0,0	0,0	0,0	2,2	5,3	7,5	281,3	25,0	306,3
K2	155.1299	18006346	15,5	180									
K2	155.1299	18006347	16	170									
K4	155.1301	18007567	18,5	329	1,3	0,3	1,4	2,3	4,5	9,8	52,0	9,9	61,9
K5	155.1302	18005995	7	>2000	4,8	18,1	1,6	16,7	33,8	74,9	214,3	24,8	239,0
K5	155.1302	18005996	14	141	0,0	0,0	3,2	7,5	6,7	17,3	492,1	5,4	497,5
K8	155.1321	18006928	11,5		0,2	8,5	2,1	4,5	12,1	27,5	184,8	11,5	196,4
K8	155.1321	18006929	13		0,3	1,1	5,9	15,3	36,5	59,0	241,2	9,4	250,6
K8	155.1321	18006930	15		3,5	7,2	1,1	8,0	4,0	23,8	120,0	8,8	128,8
K8	155.1321	18006931	19		22,3	17,3	0,0	11,4	11,4	62,3	172,7	9,5	182,3
K9	155.1322	18006927	8		0,0	1,1	3,6	28,2	11,8	44,7	554,5	20,9	575,5
K9	155.1322	18299659	14,5		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	700,0	4,0	704,0
F5	155.1319	18299507	23		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,3	33,9	54,2

Vægtandel ($\mu\text{g}/\text{mg} = \text{‰}$)

Boring		Prøve	Kulbrintefraktionering / Totaltjære (ekstraherbart)					PAH-forbindelser (MST)					
	DGU#		Total MAH+N	Benzen-C10	C10-C25	C25-C35	Benzen-C35	type	Fluoranten	Benz-(b+j+k)-fluoranten	Benzo(a)-pyren	Indeno-(1,2,3-cd)-pyren	Dibenzo-(a,h)-anthracen
K1	155.1298	18006339	540,0	0,0	0,0	0,0	1000,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K1	155.1298	18006340	103,4	28,2	717,9	282,1	1000,0		20,8	8,7	5,1	2,3	0,6
K1	155.1298	18006341	164,1	0,0	672,7	263,6	1000,0		20,0	6,9	4,3	1,9	0,5
K2	155.1299	18006342											
K2	155.1299	18006343											
K2	155.1299	18006344	687,3	83,3	900,0	31,0	1000,0		5,0	0,8	0,4	0,2	0,1
K2	155.1299	18006345	313,8	62,5	921,9	0,0	1000,0		6,7	0,9	0,5	0,3	0,0
K2	155.1299	18006346											
K2	155.1299	18006347											
K4	155.1301	18007567	71,7	39,0	690,0	300,0	1000,0		36,0	17,0	10,0	4,9	1,7
K5	155.1302	18005995	314,0	161,9	857,1	0,0	1000,0		1,3	0,1	0,1	0,0	0,0
K5	155.1302	18005996	514,8	54,0	746,0	0,0	1000,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K8	155.1321	18006928	223,9	57,6	697,0	245,5	1000,0		27,0	10,6	6,4	2,9	0,7
K8	155.1321	18006929	309,6	164,7	764,7	82,4	1000,0		8,2	3,4	2,1	0,9	0,2
K8	155.1321	18006930	152,6	45,0	710,0	250,0	1000,0		27,0	12,0	6,9	3,1	0,7
K8	155.1321	18006931	244,5	118,2	772,7	0,0	1000,0		23,2	15,9	10,5	4,5	1,2
K9	155.1322	18006927	620,2	181,8	727,3	75,5	1000,0		8,2	2,4	1,4	0,7	0,2
K9	155.1322	18299659	704,0	0,0	0,0	0,0	1000,0		0,0	2,6	1,2	1,8	1,8
F5	155.1319	18299507	54,2	0,0	1000,0	0,0	1000,0		1,2	2,2	1,2	0,0	0,0

Vægtandel ($\mu\text{g}/\text{mg} = \text{‰}$)

Boring		Prøve	PAH-forbindelse (øvrige EPA)										
	DGU#		Sum (5 MST)	Naph- thalen	Acenaph- thylen	Acenaph- then	Fluoren	Phenan- thren	Anthra- cen	Pyren	Benzo(a)- anthra- cen	Chrysen/ Triphe- nylen	Benzo- (g,h,i)- perylene
K1	155.1298	18006339	0,0										
K1	155.1298	18006340	38,5										
K1	155.1298	18006341	33,6										
K2	155.1299	18006342											
K2	155.1299	18006343											
K2	155.1299	18006344	6,3										
K2	155.1299	18006345	8,4										
K2	155.1299	18006346											
K2	155.1299	18006347											
K4	155.1301	18007567	69,0										
K5	155.1302	18005995	1,6										
K5	155.1302	18005996	0,0										
K8	155.1321	18006928	47,5	184,8	16,4	6,7	14,5	48,5	13,3	17,6	9,4	7,3	3,0
K8	155.1321	18006929	14,9	241,2	5,5	3,7	5,9	12,9	5,0	6,5	3,1	2,4	1,0
K8	155.1321	18006930	49,7	120,0	18,0	5,4	14,0	42,0	15,0	21,0	9,9	8,1	3,3
K8	155.1321	18006931	55,3	172,7	11,4	7,3	11,8	37,3	11,4	18,6	14,1	10,5	5,0
K9	155.1322	18006927	12,8	554,5	1,1	4,9	6,7	16,4	5,0	5,8	2,2	1,8	0,7
K9	155.1322	18299659	7,4	700,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0
F5	155.1319	18299507	4,6	20,3	18,6	30,5	7,6	8,3	8,3	1,0	1,2	1,2	1,2

Vægtandel ($\mu\text{g}/\text{mg} = \text{‰}$)

Boring		Prøve		Phenoler									
	DGU#		Sum (16 EPA)	Phenol	2-Methyl-phenol	3-Methyl-phenol	4-Methyl-phenol	2,3-Dimethyl-phenol	2,4-Dimethyl-phenol	2,5-Dimethyl-phenol	2,6-Dimethyl-phenol	3,4-Dimethyl-phenol	3,5-Dimethyl-phenol
K1	155.1298	18006339		6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0
K1	155.1298	18006340		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
K1	155.1298	18006341											
K2	155.1299	18006342											
K2	155.1299	18006343		1,3	0,8	1,0	0,4	1,0	4,7	2,6	0,8	1,3	3,3
K2	155.1299	18006344											
K2	155.1299	18006345											
K2	155.1299	18006346											
K2	155.1299	18006347		0,3	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2
K4	155.1301	18007567		0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,4	0,2	0,1	0,4
K5	155.1302	18005995		14,8	7,1	8,6	5,2	1,0	3,7	2,5	0,6	1,4	4,1
K5	155.1302	18005996		0,3	0,0	0,1	0,0	0,2	0,3	0,5	0,2	0,2	0,8
K8	155.1321	18006928	363,6	0,2	0,6	0,4	0,2	0,2	0,7	0,5	0,2	0,2	0,5
K8	155.1321	18006929	305,9	0,5	0,5	0,4	0,2	0,1	0,6	0,3	0,1	0,2	0,4
K8	155.1321	18006930	310,0	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	0,2
K8	155.1321	18006931	359,1	1,2	0,6	0,7	0,5	9,1	50,0	32,7	4,3	10,5	42,3
K9	155.1322	18006927	609,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
K9	155.1322	18299659	720,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	1,4	0,6	0,0	1,2
F5	155.1319	18299507	105,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0

Vægtandel ($\mu\text{g}/\text{mg} = \text{‰}$)

Boring		Prøve	NSO-forbindelser								
	DGU#		Total phenoler	Quinolin	Carbazol	Benzo-furan	Methyl-benzo-furaner	Dibenzo-furan	Thio-phen	Benzo-thiophen	Total NSO
K1	155.1298	18006339	8,6	0,0	16,0	0,0	13,0	110,0	0,0	17,0	156,0
K1	155.1298	18006340	0,4	0,2	2,2	0,4	1,1	5,1	0,0	1,6	10,5
K1	155.1298	18006341									
K2	155.1299	18006342		4,3	0,3	1,5	1,0	1,1	0,0	2,5	10,8
K2	155.1299	18006343	17,2								
K2	155.1299	18006344									
K2	155.1299	18006345									
K2	155.1299	18006346		0,0	0,2	0,0	0,4	5,5	0,0	1,5	7,5
K2	155.1299	18006347	0,9								
K4	155.1301	18007567	1,6	0,0	0,0	0,4	1,2	2,4	0,0	1,6	5,6
K5	155.1302	18005995	49,0	0,0	0,8	10,5	16,7	13,8	0,0	20,0	61,8
K5	155.1302	18005996	2,6	0,0	0,0	3,3	10,5	0,0	0,0	15,9	29,7
K8	155.1321	18006928	3,8	3,0	8,2	4,5	4,5	0,0	0,0	3,0	23,3
K8	155.1321	18006929	3,3	0,2	1,2	0,9	1,4	0,2	0,0	0,3	4,0
K8	155.1321	18006930	1,9	1,1	3,9	1,8	1,8	0,3	0,0	1,1	10,0
K8	155.1321	18006931	151,8	8,2	6,4	5,5	2,3	0,0	0,0	3,1	25,4
K9	155.1322	18006927	0,5	2,5	1,7	8,4	0,0	0,0	0,0	9,1	21,6
K9	155.1322	18299659	3,8	9,2	0,0	24,0	0,0	0,0	0,0	16,6	49,8
F5	155.1319	18299507	1,9	0,0	16,3	6,3	0,0	0,0	0,0	6,4	29,0

Bilag 3.2

Estimerede koncentrationer i porevand (effektive opløseligheder) ved tilstedeværelse af tjære som NAPL.

Opløselighed (mg/l)

1800

515,2

148,6

220

212

110,08

28,4

Raoult's law estimat for porevandskonc. ($\mu\text{g/L}$)

Boring		Prøve	Dybde (m u.t.)	PID	MAH'er								
	DGU#				Benzen	Toluen	Ethyl- benzen	o-Xylen	m-, p- Xylen	Total BTEX	Naph- thalen	1-methyl- naph- thalen	Total Naph- thalener
K1	155.1298	18006339	12,5 (13)	15 (86)	0	0	0	0	0	0	48435	2840	51275
K1	155.1298	18006340	18	880	1108	964	18	733	1250	4074	9032	269	9302
K1	155.1298	18006341	19,9	280	4582	0	162	340	540	5624	15011	568	15579
K2	155.1299	18006342	6,5	>2000									
K2	155.1299	18006343	7	>2000									
K2	155.1299	18006344	7,5	>2000	0	156	2080	81	1837	4155	69717	871	70588
K2	155.1299	18006345	14,5	450	0	0	0	481	1126	1608	30960	710	31670
K2	155.1299	18006346	15,5	180									
K2	155.1299	18006347	16	170									
K4	155.1301	18007567	18,5	329	2340	139	208	506	954	4147	5724	281	6005
K5	155.1302	18005995	7	>2000	8571	9323	234	3667	7168	28962	23589	703	24292
K5	155.1302	18005996	14	141	0	0	472	1641	1413	3526	54166	153	54320
K8	155.1321	18006928	11,5		409	4371	315	1000	2570	8665	20348	327	20675
K8	155.1321	18006929	13		476	546	874	3365	7732	12993	26549	267	26816
K8	155.1321	18006930	15		6300	3709	163	1760	848	12781	13210	250	13460
K8	155.1321	18006931	19		40091	8899	0	2500	2409	53899	19014	271	19285
K9	155.1322	18006927	8		0	562	540	6200	2505	9808	61044	594	61638
K9	155.1322	18299659	14,5		0	0	0	0	0	0	77056	114	77170
F5	155.1319	18299507	23		0	0	0	0	0	0	2239	963	3202

Opløselighed (mg/l)
Raoult's law estimat for p

0,21 0,0015 0,0038 0,062 0,0005

Boring		Prøve	Kulbrintefraktioner / Totaltjære (ekstraherbart)					PAH-forbindelser (MST)					
	DGU#		Total MAH+N	Benzen-C10	C10-C25	C25-C35	Benzen-C35	type	Fluoranthen	Benz-(b+j+k)-fluoranthen	Benzo(a)-pyren	Indeno-(1,2,3-cd)-pyren	Dibenzo-(a,h)-anthracen
K1	155.1298	18006339	51275						0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
K1	155.1298	18006340	13376						4,36	0,01	0,02	0,14	0,000
K1	155.1298	18006341	21202						4,20	0,01	0,02	0,12	0,000
K2	155.1299	18006342											
K2	155.1299	18006343											
K2	155.1299	18006344	74743						1,05	0,00	0,00	0,01	0,000
K2	155.1299	18006345	33278						1,41	0,00	0,00	0,02	0,000
K2	155.1299	18006346											
K2	155.1299	18006347											
K4	155.1301	18007567	10152						7,56	0,03	0,04	0,30	0,001
K5	155.1302	18005995	53254						0,28	0,00	0,00	0,00	0,000
K5	155.1302	18005996	57846						0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
K8	155.1321	18006928	29341						5,66	0,02	0,02	0,18	0,000
K8	155.1321	18006929	39809						1,73	0,01	0,01	0,06	0,000
K8	155.1321	18006930	26240						5,67	0,02	0,03	0,19	0,000
K8	155.1321	18006931	73184						4,87	0,02	0,04	0,28	0,001
K9	155.1322	18006927	71446						1,72	0,00	0,01	0,04	0,000
K9	155.1322	18299659	77170						0,00	0,00	0,00	0,11	0,001
F5	155.1319	18299507	3202						0,25	0,00	0,00	0,00	0,000

Opløselighed (mg/l)

110,08 3,93 3,42 1,98 1,2 0,041 0,14 0,014 0,002 0,00026

Raoult's law estimat for p

Boring		Prøve		PAH-forbindelse (øvrige EPA)									
	DGU#		Sum (5 MST)	Naph- thalen	Acenaph- thylen	Acenaph- then	Fluoren	Phenan- thren	Anthra- cen	Pyren	Benzo(a)- anthra- cen	Chrysen/ Triphe- nylen	Benzo- (g,h,i)- perylene
K1	155.1298	18006339	0										
K1	155.1298	18006340	5										
K1	155.1298	18006341	4										
K2	155.1299	18006342											
K2	155.1299	18006343											
K2	155.1299	18006344	1										
K2	155.1299	18006345	1										
K2	155.1299	18006346											
K2	155.1299	18006347											
K4	155.1301	18007567	8										
K5	155.1302	18005995	0										
K5	155.1302	18005996	0										
K8	155.1321	18006928	6	20348	64	23	29	58	0,55	2,46	0,13	0,015	0,001
K8	155.1321	18006929	2	26549	21	13	12	16	0,21	0,91	0,04	0,005	0,000
K8	155.1321	18006930	6	13210	71	18	28	50	0,62	2,94	0,14	0,016	0,001
K8	155.1321	18006931	5	19014	45	25	23	45	0,47	2,61	0,20	0,021	0,001
K9	155.1322	18006927	2	61044	4	17	13	20	0,21	0,81	0,03	0,004	0,000
K9	155.1322	18299659	0	77056	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,000	0,001
F5	155.1319	18299507	0	2239	73	104	15	10	0,34	0,14	0,02	0,002	0,000

Opløselighed (mg/l)

80000

30240

24000

10000

10000

9150

10000

10000

14640

15000

Raoult's law estimat for p

Boring		Prøve		Phenoler									
	DGU#		Sum (16 EPA)	Phenol	2-Methyl-phenol	3-Methyl-phenol	4-Methyl-phenol	2,3-Dimethyl-phenol	2,4-Dimethyl-phenol	2,5-Dimethyl-phenol	2,6-Dimethyl-phenol	3,4-Dimethyl-phenol	3,5-Dimethyl-phenol
K1	155.1298	18006339	0	528000	0	0	0	0	0	0	20000	0	0
K1	155.1298	18006340	5	390	217	43	15	308	493	1026	590	105	1923
K1	155.1298	18006341	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2	155.1299	18006342											
K2	155.1299	18006343		101333	25200	23200	3667	10000	42700	26000	8333	19032	50000
K2	155.1299	18006344	1										
K2	155.1299	18006345	1										
K2	155.1299	18006346											
K2	155.1299	18006347		25000	1890	3750	0	0	572	0	469	0	3281
K4	155.1301	18007567	8	1520	1058	72	60	1500	2471	4000	1900	878	6300
K5	155.1302	18005995	0	1180952	216000	205714	52381	9524	33986	24762	6190	20914	62143
K5	155.1302	18005996	0	21587	1440	1524	476	1746	3195	4603	1746	3021	12143
K8	155.1321	18006928	20531	19152	18327	10182	1515	1909	6655	4848	2121	3150	8182
K8	155.1321	18006929	26613	36706	16009	10306	1882	1353	5382	3176	1000	2411	5647
K8	155.1321	18006930	13387	21600	6653	5040	780	840	3660	2200	1100	1303	3450
K8	155.1321	18006931	19160	94545	17869	17455	5000	90909	457500	327273	42727	153055	634091
K9	155.1322	18006927	61101	6618	0	436	0	245	2662	382	0	519	355
K9	155.1322	18299659	77056	0	0	0	0	6000	0	14000	6000	0	18000
F5	155.1319	18299507	2442	0	0	0	0	0	0	0	18644	0	0

Opløselighed (mg/l)

6708,0

267,2

230

57

11,76

3000

147,6

gættede væ

Raoult's law estimat for p

165

Boring		Prøve	NSO-forbindelser								
	DGU#		Total phenoler	Quinolin	Carbazol	Benzo-furan	Methyl-benzo-furaner	Dibenzo-furan	Thio-phen	Benzo-thiophen	Total NSO
K1	155.1298	18006339	548000	0	4275	0	741	1294	0	2509	8819
K1	155.1298	18006340	5109	1256	582	88	60	60	0	231	2278
K1	155.1298	18006341	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2	155.1299	18006342	309465	29068	89	353	55	13	46	369	29993
K2	155.1299	18006343									
K2	155.1299	18006344									
K2	155.1299	18006345									
K2	155.1299	18006346			0	50	0	22	64	0	219
K2	155.1299	18006347	34962								
K4	155.1301	18007567	19759	0	11	90	68	28	0	236	434
K5	155.1302	18005995	1812567	0	216	2410	950	162	0	2952	6690
K5	155.1302	18005996	51482	0	0	767	597	0	0	2343	3707
K8	155.1321	18006928	76041	20327	2186	1045	259	0	0	447	24265
K8	155.1321	18006929	83874	1026	314	203	77	2	0	47	1669
K8	155.1321	18006930	46626	7379	1042	414	103	3	42	162	9145
K8	155.1321	18006931	1840424	54884	1700	1255	130	0	0	463	58431
K9	155.1322	18006927	11217	16465	462	1924	0	0	0	1342	20192
K9	155.1322	18299659	44000	61714	0	5520	0	0	0	2450	69684
F5	155.1319	18299507	18644	0	4348	1442	0	0	0	951	6741

Opløselighed (mg/l) værdier

Raoult's law estimat for p

Boring		Prøve
	DGU#	
K1	155.1298	18006339
K1	155.1298	18006340
K1	155.1298	18006341
K2	155.1299	18006342
K2	155.1299	18006343
K2	155.1299	18006344
K2	155.1299	18006345
K2	155.1299	18006346
K2	155.1299	18006347
K4	155.1301	18007567
K5	155.1302	18005995
K5	155.1302	18005996
K8	155.1321	18006928
K8	155.1321	18006929
K8	155.1321	18006930
K8	155.1321	18006931
K9	155.1322	18006927
K9	155.1322	18299659
F5	155.1319	18299507

Bilag 3.3

Estimerede fraktioner af enkeltkomponenter i hovedgrupperne i vand i kontakt med tjære (NAPL)

Forventet andel af enkeltkomponenterne indenfor gruppen i porevand

Boring		Prøve	Dybde (m u.t.)	PID	MAH'er								
	DGU#				Benzen	Toluen	Ethyl- benzen	o-Xylen	m-, p- Xylen	Total BTEX	Naph- thalen	1-methyl- naph- thalen	Total Naph- thalener
K1	155.1298	18006339	12,5 (13)	15 (86)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94	0,06	1,00
K1	155.1298	18006340	18	880	0,08	0,07	0,00	0,05	0,09	0,30	0,68	0,02	0,70
K1	155.1298	18006341	19,9	280	0,22	0,00	0,01	0,02	0,03	0,27	0,71	0,03	0,73
K2	155.1299	18006342	6,5	>2000									
K2	155.1299	18006343	7	>2000									
K2	155.1299	18006344	7,5	>2000	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,06	0,93	0,01	0,94
K2	155.1299	18006345	14,5	450	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,93	0,02	0,95
K2	155.1299	18006346	15,5	180									
K2	155.1299	18006347	16	170									
K4	155.1301	18007567	18,5	329	0,23	0,01	0,02	0,05	0,09	0,41	0,56	0,03	0,59
K5	155.1302	18005995	7	>2000	0,16	0,18	0,00	0,07	0,13	0,54	0,44	0,01	0,46
K5	155.1302	18005996	14	141	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,06	0,94	0,00	0,94
K8	155.1321	18006928	11,5		0,01	0,15	0,01	0,03	0,09	0,30	0,69	0,01	0,70
K8	155.1321	18006929	13		0,01	0,01	0,02	0,08	0,19	0,33	0,67	0,01	0,67
K8	155.1321	18006930	15		0,24	0,14	0,01	0,07	0,03	0,49	0,50	0,01	0,51
K8	155.1321	18006931	19		0,55	0,12	0,00	0,03	0,03	0,74	0,26	0,00	0,26
K9	155.1322	18006927	8		0,00	0,01	0,01	0,09	0,04	0,14	0,85	0,01	0,86
K9	155.1322	18299659	14,5		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00
F5	155.1319	18299507	23		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,30	1,00

Forventet andel af enkelt

Boring		Prøve	Kulbrintefraktioner / Totaltjære (ekstraherbart)						PAH-forbindelser (MST)				
	DGU#		Total MAH+N	Benzen-C10	C10-C25	C25-C35	Benzen-C35	type	Fluoranthen	Benz-(b+j+k)-fluoranthen	Benzo(a)-pyren	Indeno-(1,2,3-cd)-pyren	Dibenzo-(a,h)-anthracen
K1	155.1298	18006339							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K1	155.1298	18006340							0,96	0,00	0,00	0,03	0,00
K1	155.1298	18006341							0,97	0,00	0,00	0,03	0,00
K2	155.1299	18006342											
K2	155.1299	18006343											
K2	155.1299	18006344							0,99	0,00	0,00	0,01	0,00
K2	155.1299	18006345							0,99	0,00	0,00	0,01	0,00
K2	155.1299	18006346											
K2	155.1299	18006347											
K4	155.1301	18007567							0,95	0,00	0,00	0,04	0,00
K5	155.1302	18005995							0,99	0,00	0,00	0,01	0,00
K5	155.1302	18005996							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K8	155.1321	18006928							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K8	155.1321	18006929							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K8	155.1321	18006930							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K8	155.1321	18006931							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K9	155.1322	18006927							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K9	155.1322	18299659							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F5	155.1319	18299507							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Forventet andel af enkelt

Boring		Prøve		Phenoler									
	DGU#		Sum (16 EPA)	Phenol	2-Methyl-phenol	3-Methyl-phenol	4-Methyl-phenol	2,3-Dimethyl-phenol	2,4-Dimethyl-phenol	2,5-Dimethyl-phenol	2,6-Dimethyl-phenol	3,4-Dimethyl-phenol	3,5-Dimethyl-phenol
K1	155.1298	18006339		0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
K1	155.1298	18006340		0,08	0,04	0,01	0,00	0,06	0,10	0,20	0,12	0,02	0,38
K1	155.1298	18006341											
K2	155.1299	18006342											
K2	155.1299	18006343		0,33	0,08	0,07	0,01	0,03	0,14	0,08	0,03	0,06	0,16
K2	155.1299	18006344											
K2	155.1299	18006345											
K2	155.1299	18006346											
K2	155.1299	18006347		0,72	0,05	0,11	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,09
K4	155.1301	18007567		0,08	0,05	0,00	0,00	0,08	0,13	0,20	0,10	0,04	0,32
K5	155.1302	18005995		0,65	0,12	0,11	0,03	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,03
K5	155.1302	18005996		0,42	0,03	0,03	0,01	0,03	0,06	0,09	0,03	0,06	0,24
K8	155.1321	18006928		0,25	0,24	0,13	0,02	0,03	0,09	0,06	0,03	0,04	0,11
K8	155.1321	18006929		0,44	0,19	0,12	0,02	0,02	0,06	0,04	0,01	0,03	0,07
K8	155.1321	18006930		0,46	0,14	0,11	0,02	0,02	0,08	0,05	0,02	0,03	0,07
K8	155.1321	18006931		0,05	0,01	0,01	0,00	0,05	0,25	0,18	0,02	0,08	0,34
K9	155.1322	18006927		0,59	0,00	0,04	0,00	0,02	0,24	0,03	0,00	0,05	0,03
K9	155.1322	18299659		0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,32	0,14	0,00	0,41
F5	155.1319	18299507		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00

Forventet andel af enkelt

Boring		Prøve	NSO-forbindelser								
	DGU#		Total phenoler	Quinolin	Carbazol	Benzo-furan	Methyl-benzo-furaner	Dibenzo-furan	Thio-phen	Benzo-thiophen	Total NSO
K1	155.1298	18006339		0,00	0,48	0,00	0,08	0,15	0,00	0,28	
K1	155.1298	18006340		0,55	0,26	0,04	0,03	0,03	0,00	0,10	
K1	155.1298	18006341									
K2	155.1299	18006342		0,97	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	
K2	155.1299	18006343									
K2	155.1299	18006344									
K2	155.1299	18006345									
K2	155.1299	18006346		0,00	0,14	0,00	0,06	0,18	0,00	0,62	
K2	155.1299	18006347									
K4	155.1301	18007567		0,00	0,03	0,21	0,16	0,07	0,00	0,54	
K5	155.1302	18005995		0,00	0,03	0,36	0,14	0,02	0,00	0,44	
K5	155.1302	18005996		0,00	0,00	0,21	0,16	0,00	0,00	0,63	
K8	155.1321	18006928		0,84	0,09	0,04	0,01	0,00	0,00	0,02	
K8	155.1321	18006929		0,61	0,19	0,12	0,05	0,00	0,00	0,03	
K8	155.1321	18006930		0,81	0,11	0,05	0,01	0,00	0,00	0,02	
K8	155.1321	18006931		0,94	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	
K9	155.1322	18006927		0,82	0,02	0,10	0,00	0,00	0,00	0,07	
K9	155.1322	18299659		0,89	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,04	
F5	155.1319	18299507		0,00	0,64	0,21	0,00	0,00	0,00	0,14	

Bilag 3.4

Fraktioner af enkeltkomponenter i hovedgrupperne i grundvandsprøver

Bilag 4

Vurderede redoxforhold for de enkelte filtre.

Redoxforhold RTA

Boring		Redox-zone
	DGU#	
K1-2	155.1298	Fe-red.
K2	155.1299	Mn-red
K3	155.1300	Mn-red
K4	155.1301	
K5	155.1302	aerob-nitratred.
K6	155.1303	nitratred.
K7-2	155.1320	(gæt Fe-Mn-red.)
K7-1	155.1320	sulfat-Fe-red.
K8-2	155.1321	Fe-Mn-nitrat-red.
K9-2	155.1322	Fe-Mn-nitrat-red.
F1	155.1304	Mn-red
F2-2	155.1305	(gæt Fe-Mn-red.)
F2-2	155.1305	nitratred.
F2-1	155.1305	(gæt Fe-Mn-red.)
F2-1	155.1305	sulfat-Fe-red.
F3-3	155.1317	Fe-Mn-nitrat-red.
F3-2	155.1317	Mn-red
F3-1	155.1317	Mn-red
F4-3	155.1318	nitratred.
F4-2	155.1318	Fe-red.
F4-1	155.1318	Fe-red.
F5-2	155.1319	nitrat-Mn-red.
F5-1	155.1319	Fe-red.
1002	155.792	aerob-nitratred.
1003	155.793	aerob-nitratred.
1004	155.794	aerob
1005	155.795	nitratred.
1006	155.810	aerob
1007	155.811ne	Fe-Mn-sulfat-red
1009	155.812	aerob
1010	155.816	sulfat-Fe-red.
1011	155.817	(gæt Fe-red.)
1017	155.820	aerob
1021	155.821	Fe-Mn-red
1100	155.998	nitratred.
9810A	155. 1014A	Fe-Mn-red
9810	155. 1014	Fe-Mn-red
9811	155. 1015	Fe-Mn-red
9811A-bund	155. 1016	nitrat-Mn-red.
9911	155.1062	Fe-Mn-red
9911B	155.1063	aerob
9912	155.1064	Fe-Mn-nitrat-red.
9912A	155.1065	aerob-nitratred.
2000-2	155.1051	(gæt Fe-Mn-red.)
2000-2A dyb filter	155.1052	(gæt Fe-Mn-red.)
2000-2A lav filter	155.1052	(gæt Fe-Mn-red.)
2000-3	155.1053	aerob
2000-3A dyb filter	155.1054	(aerob-nitrat-red.)
2000-3A lav filter	155.1054	aerob
Pumpeb., Villavej 12	155,1056	Fe-Mn-red
2000-1 dyb filter	155.1049N	(nitrat-red.)
2000-1 lav filter	155.1049Ø	aerob
2000-1A	155.1050	aerob

Bilag 5

Isotopfraktioneringsdata. Komplet resultatskema fra
University of Neuchatel.

Resultater for isotopfraktionering fra Neuchatel

Name	Benzene			Toluene			Ethylbenzene			m-Xylene		
	conc [ug, delta	ampl		conc [ug/l delta	ampl		conc [ug/l delta	ampl		conc [ug/l delta	ampl	
155.1014A	84	-28,0	2266	0,1	-19,3	2120	0,43	-25,2	659	0,32	-26,7	1830
155.1014A		-27,7	901		-18,2	2042					-26,2	843
155.1014A		-27,4	805		-18,9	6412					-25,5	659
155.1014A		-28,2	1537		-18,5	669						
155.1014A		-28,3	1944		-18,4	1271						
155.1014A	5	-27,9	0,35	5	-18,7	0,45				3	-26,1	0,59
9911	45	-28,3	1368	1,8			5,1	-19,9	3206	7,6	-19,8	2952
9911		-28,4	2155					-20,6	1022		-21,2	1220
9911								-20,3	1279		-20,1	2249
9911								-20,3	826		-19,7	2379
9911								-21,1	542		-21,0	826
9911											-22,6	912
9911	2	-28,4	0,06				5	-20,4	0,46	6	-20,7	1,11
9912	2,4	-27,8	1381	0,1	-22,0	5171	0,13	-21,5	1334	0,16	-27,0	733
9912		-27,9	2334					-21,4	1285		-26,6	566
9912	730	-27,9	1970	?			?			?	-24,0	1544
9912		-28,4	2872								-23,8	1406
9912	4	-28,0	0,27		-22,0		2	-21,5	0,03	4	-25,4	1,68
F5-1	74	-28,3	1286	1,1	-19,4	1342	4,2	-20,1	3980	15	-22,4	9870
F5-1					-20,5	7357		-20,3	4038		-23,1	3393
F5-1					-19,7	840		-20,8	1110			
F5-1					-20,3	6427		-20,2	3592			
F5-1					-20,7	6572		-20,3	3849			
F5-1		-28,3		5	-20,1	0,56	5	-20,3	0,27	2	-22,7	0,47
F4-3	<0.04			<0.04			<0.02			<0.02	-26,5	531
F3-2	0,26			0,2			0,03			0,15	-20,4	1077
F2-2	2,7	-28,2	1061	0,1	-23,1	963	0,73	-21,4	539	0,37	-25,2	668
F2 2								-21,0	539		-24,7	639
F2-2		-28,2			-23,1		2	-21,2	0,27	2	-25,0	0,39
K2	<0.14			0,08			0,02			0,05	-26,8	539
K7-I	4,1			0,26			0,94			1,2	-26,9	515
K8 II	810	-29,4	1831	140	-24,0	8050	26	-23,0	997	92	-23,9	4358
K8 II		-27,8	1870		-23,9	9932		-23,2	816		-24,0	3701
K8 II		-28,3	715					-22,9	779		-24,0	3376
K8 II		-28,2	2524					-23,0	718		-24,0	3122
K8 II		-28,0	1731								-23,6	1698
K8 II		-28,2	2167									
K8 II	6	-28,3	0,56	2	-24,0	0,04	4	-23,0	0,14	5	-23,9	0,16
K1 II	13000	-28,0	2626	1000	-23,8	892	550	-27,1	1223	2800	-26,7	541
K1 II		-28,2	2732		-23,9	797					-26,1	511
K1 II		-27,9	1803								-26,9	3739
K1 II		-28,4	2448									
K1 II		-28,6	2177									
K1 II	5	-28,2	0,27		-23,8			-27,1		3	-26,5	0,44
155,1056	69	-28,5	1246	0,44			3	-20,4	1930	14	-22,7	7009
155,1056								-20,2	3652		-23,9	6394
155,1056								-20,3	1993			
155,1056		-28,5					3	-20,3	0,09	2	-23,3	0,80
155,816	??	-28,4	2971		-20,1	686		-23,2	757		-25,7	683
155,816		-28,5	2292					-20,1	1982		-23,2	735
155,816		-27,6	1633									
155,816	3	-28,1	0,44		-20,1		2	-21,7	2,20	2	-24,4	1,77