Miljøministeriet
Naturstyrelsen

Afprøvning af in situ logning med MIHPT og MS

Kortlægning af forureningsfaner i grundvandsmagasiner

2014

Titel:

Afprøvning af in situ logning med MIHPT og MS

Redaktion:

Malene Front
Søren Jensen
Anders G. Christensen
Jacqueline Anne Falkenberg

Udgiver:

Naturstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø
www.nst.dk

Foto:

NIRAS A/S

År:

2014

ISBN nr.

978-87-92256-07-2

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord **4**

Sammenfatning og konklusion **5**

Summary and Conclusion **6**

1. Projektbeskrivelse **7**
- 1.1 Baggrund 7
- 1.2 Formål 8
- 1.3 Metodeudvikling 8
- 1.4 Feltlokalitet 8

2. Testlokalitet **9**
- 2.1 Historik 9
- 2.2 Forureningsforhold 9
- 2.3 Overordnet geologi og hydrogeologi 12

3. Projektaktiviteter og MIHPT-MS teknikken **15**
- 3.1 Feltaktiviteter 15
- 3.2 HPT-sonde (Hydraulic Profiling Tool®) 16
- 3.3 Ledningsevne-sonde (EC-Probe) 16
- 3.4 MIP–sonde (Membrane Interface Probe®) 16
- 3.5 Eksisterende muligheder for vurdering af stofsammensætning i MIP-bæregassen 17
- 3.6 Udviklingsprojekt vedr. in situ logning med MIHPT og MS 17

4. Resultater **24**
- 4.1 MIHPT-MS ved GB201-MS 24
  - 4.1.1 Geologien 24
  - 4.1.2 Forureningssammensætning 25
- 4.2 MIHPT-MS ved GB107-MS 25
  - 4.2.1 Geologien 26
  - 4.2.2 Forureningssammensætning 26
- 4.3 Sammenfatning 27

5. Perspektivering **28**

Referencer **29**

Ord- og forkortelsesliste **31**

BILAG

Bilag 1: Dybdeprofil for MIHPT GB201-MS **32**

Bilag 2: Dybdeprofil for MIHPT GB107-MS **34**

Forord

Kortlægning af forureningsfaner i grundvandsmagasiner er ofte en teknisk og økonomisk udfordring, idet strømningsvejen (retning) i forhold til forureningskilden samt afstanden og dybden i grundvandsmagasinet skal lokaliseres og dokumenteres. En kortlægning af en forureningsfane kræver derfor mange undersøgelsespunkter til stor dybde og er med traditionel boreteknik både tids- og ressourcekrævende.

Dette miljøprojekt omfatter afprøvning af en ny teknologi, som repræsenterer en videreudvikling af de af Geoprobe Systems® (USA) udviklede MIP og HPT in-situ undersøgelsesteknikker, der anvendes til kombineret kortlægning af forureningsfaner og geologiske forhold.

Ved anvendelse af en MIHPT-sonde med GeoProbe® udstyret kan der skabes en konceptuel model for forureningsspredning i såvel den umættede som den mættede zone (grundvandsmagasin). Normalt anvendes forskellige detektorer i kombination med en MIP-sonde til påvisning af forurening, men uden stofidentifikation.

I forbindelse med dette udviklingsprojekt er der anvendt en massespektrometrisk detektor (MS), hvorved en række forureningskomponenter kan identificeres, og der kan opnås et sammenhængende dybdeprofil, der giver en indikation af forureningssammensætningen, den (relative) forureningsstyrke og variationer heri over dybden.

Kombinationen af en MIHPT-sonde og en MS-detektor forventes at indebære mulighed for en hurtigere og mere omkostningseffektiv metode til kortlægning af forureningsfaner i grundvand.

Projektet er igangsat af Region Hovedstaden, og finansieret af Region Hovedstaden og Naturstyrelsens tilskudsordning til miljøeffektiv teknologi.

Sammenfatning og konklusion

I forbindelse med undersøgelse af jord- og grundvandsforureninger er der de senere år introduceret nye in situ undersøgelsesteknikker, hvor målesonden langsomt nedrammes i jorden (direct push), mens der løbende måles forskellige parametre i jordmatricen (in situ). Dette betyder, at der dannes vertikale profiler (logs) af de benyttede måleparameter med en meget stor datatæthed.

Dette projekt omhandler afprøvning af en ny måleteknik med grundlag i en MIHPT-sonde, som er en kombination af MIP- og HPT-systemerne udviklet af Geoprobe Systems®. HPT-sonden (Hydraulic Profiling Tool) anvendes til kortlægning af de geologiske forhold (permeabilitet), mens MIP-sonden (Membran Interface Probe) anvendes til kortlægning af forurening med flygtige organiske stoffer.

Det vertikale forureningsprofil genereres ved at jorden opvarmes af MIP-sonden, hvorved de flygtige organiske forureningskomponenter frigives fra jordmatricen (jord, poreluft og porevand) og diffunderer gennem MIP-membranen til bæregassen, der strømmer forbi membranen. Bæregassen transporteres videre til en detektor, som giver et signal (et udslag), såfremt der er forureningsstoffer i bæregassen.

Formålet med dette projekt er at afprøve muligheder for at vurdere forureningssammensætning og ændringer heraf ved analyse af bæregassen med en massespektrometrisk detektor (MS). Herved kan flere stoffer identificeres kvalitativt, og der kan opnås et sammenhængende dybdeprofil, som giver en indikation af forureningssammensætningen, den (relative) forureningsstyrke og variationer heri over dybden. Teknikken indebærer, at der ved hjælp af MS-detektoren kan identificere stoffer simultant med nedramning af MIHPT-sonden. Målingerne med MIHPT-MS sker i realtid under selve nedpresningen af sonden, mens traditionelle teknikker kræver væsentlig længere analysetider, og resultaterne foreligger først, når feltarbejdet er afsluttet.

Teknologien indebærer en kobling af en massespektrometrisk detektor (MS) (Varian Saturn 2000) direkte med MIP-systemet. Før afprøvningen af in situ logning med MIP og MS under feltforhold var det nødvendigt at udvikle en grænseflade (interface), der tilkobler MIP-bæregassen til både de traditionelle MIP-detektorer og MS-detektoren. Grænsefladen mellem MS-detektoren og bæregassen fra MIP-sonden omfatter en spalteventil, tilsætning af helium og en flowregulator (restrictor). Udstyret og tilkoblingen er afprøvet i NIRAS' laboratorium, og der er udarbejdet en opsætningsmetode for MS-detektoren (masse intervallet, ioniseringstid m.v.).

Til afprøvning af MIHPT-MS i felten er der udført 2 sonderinger på en V2-kortlagt lokalitet, hvor Region Hovedstaden i 2012 – 2014 udfører videregående undersøgelser. De 2 sonderinger er placeret i en kendt forureningsfane, hvorfra der i forvejen er indsamlet detaljerede forureningsdata og som blandt andet indeholder trichlorethylen (TCE) og oliekulbrinter.

Afprøvningen på testlokaliteten Hvedemarken 3-5 i Farum var vellykket. Det var muligt, at skelne mellem de chlorerede opløsningsmidler PCE og TCE samt identificere forurening med toluen og xylener. Afprøvningen har dermed vist, at det er muligt at anvende MS-detektoren i felten som en del af MIP-systemet. Der er dog behov for videreudvikling og afprøvning af teknikken ved forskellige forureningstyper og stofblandinger under feltforhold.

Anvendelse af teknikken ved feltundersøgelse vil kunne belyse, hvordan forurening opfører sig i komplicerede makrogeologiske systemer, idet de traditionelle teknikker ikke kan skelne mellem forureningskomponenter, uden at der udtages diskrete prøver af jord, poreluft eller vand.

Summary and Conclusion

In recent years, many new in situ investigation techniques have been introduced in connection with investigations of soil and groundwater contamination. In situ direct push techniques in which a probe is slowly pushed through the soil while various soil and contaminant parameters are continuously measured (in situ) providing vertical profiles (logs) with a high data density for the measured parameter with respect to depth in the contaminated soil.

This project concerns testing of a new measurement technique based on the MIHPT probe, which is a combination of MIP and HPT systems developed by Geoprobe Systems®. The HPT probe (Hydraulic Profiling Tool) is used to map the geological conditions (permeability), while the MIP probe is used to map soil contamination with volatile organic compounds.

The vertical pollution profile is generated by heating the soil around the MIP-probe, whereby the volatile organic contaminants are released from the soil matrix (soil, soil gas and soil water) and diffuse through the membrane to the MIP-carrier gas flowing past the membrane. The carrier gas is transported from the probe to a detector which provides a signal if there are contaminants in the carrier gas.

The purpose of this project is to modify the MIHPT technique in order to assess the contaminant composition and variation with depth by analysis of the MIP carrier gas with a mass spectrometric detector (MS). The mass spectra from the MS illustrate the vertical distribution of contaminants, and changes in the contaminant mixture with depth in the soil profile can be identified and assessed. Measurements with MIHPT-MS occur in real time simultaneously with direct push of the MIHPT probe, while traditional techniques require considerably longer analysis times and the results are only available after the field work is completed.

The technology development requires that the carrier gas from the MIP system is connected to the masse spectrometric detector (MS) (Varian Saturn 2000). Before testing of in-situ logging MIP and MS under field conditions, it was therefore necessary to develop an interface which connects the MIP carrier gas with both the traditional MIP detectors and the MS-detector. The interface between the MS detector and the carrier gas from the MIP probe comprises a slit valve, the addition of helium and a flow regulator (restrictor). The equipment and connections are tested in NIRAS's laboratory, and a setup method for MS detector (mass range, ionisation times etc.) was developed.

To test the MIHPT-MS technique in the field, 2 MIHPT-MS soundings have been carried out at a registered contaminated site (V2), where the Capital Region in 2012-2014 perform further studies. The MIHPT-MS soundings are placed downstream a pollution source in a well-documented groundwater plume of contamination including contamination with trichloroethylene (TCE) and oil hydrocarbons.

The field trial at the test site, Hvedemarken 3-5 in Farum, was successful, and it was possible to distinguish between the chlorinated solvents PCE and TCE and identify contamination with toluene and xylenes. The field trial has demonstrated that the MS-detector can be used in field investigations as an integral part of the in situ MIP-system., but further development and testing of the technique with respect to different contaminant mixtures under field conditions is required.

Application of the in situ technique for field investigations will shed light on how contaminants mixtures behave in complicated geological systems, since traditional techniques cannot distinguish contaminants without the taking of discrete samples of soil, soil gas or water.

1. Projektbeskrivelse

1.1 Baggrund

I forbindelse med undersøgelse af jord- og grundvandsforureninger er der de senere år introduceret nye in situ undersøgelsesteknikker, hvor målesonden langsomt nedrammes i jorden (direct push), mens der løbende måles forskellige parametre i jordmatricen (in situ). Dette betyder, at der dannes vertikale profiler (logs) af de benyttede måleparameter med en meget stor datatæthed (cm-skala). De nye in situ undersøgelsesteknikker kan supplere og i en vis udstrækning erstatte etablering af permanente traditionelle boringer med prøvetagning og efterfølgende analyse af prøve mv., især i de orienterende faser, hvor f.eks. en forureningsfane skal kortlægges.

Forskellige sonder er gennem årene udviklet af Geoprobe Systems® for at måle vertikale profiler for en række parametre, f.eks.:

- HPT profiler (Hydraulic Profiling Tool) for kortlægning af de geologiske forhold (permeabilitet)
- Elektrisk ledningsevne profiler (EC Probe) for kortlægning af de geologiske forhold (elektrisk ledningsevne er en indikator for jordtyper som sand, silt eller ler samt for grundvandets indhold af opløste ioner)
- MIP profiler (Membrane Interface Probe) for kortlægning af forurening med flygtige organiske stoffer (VOC´er)

Disse sonder og databehandlingsteknikker er udviklet af Geoprobe Systems® i USA /1/ og er i dag kombineret i en sonde kaldet en MIHPT-sonde, som er en kombination af MIP- og HPT-systemerne.

Det vertikale forureningsprofil genereres ved at jorden opvarmes af MIP-sonden, hvorved de flygtige organiske forureningskomponenter frigives fra jordmatricen (jord, poreluft og porevand) og diffunderer gennem MIP-membranen til bæregassen, der strømmer forbi membranen. Bæregassen transporteres videre til en detektor, som giver et signal (et udslag), såfremt der er forureningsstoffer i bæregassen. Signalets styrke indikerer koncentrationen af den samlede mængde af flygtige organiske stoffer. Ved at anvende detektorer med forskellige følsomhedsgrader for de forskellige stofgrupper kan forureningsarten til en vis grad vurderes. For eksempel kan der skelnes mellem en forurening med chlorerede stoffer og olieforbindelser.

Imidlertid kan den præcise stofsammensætning af en blandingsforurening bestående af chlorerede stoffer og olieforbindelser, eller ændringer i sammensætningen i dybden eller mellem en nærliggende sondering ikke vurderes ved anvendelse af de traditionelle MIP-detektorer.

Med henblik på udvikling af teknikker til kortlægning af forureningsfaner i grundvandet har NIRAS foreslået afprøvning af tre nye teknikker, som repræsenterer en videreudvikling af de af Geoprobe Systems® (USA) udviklede MIP og HPT in situ undersøgelsesteknikker, der anvendes til en kombineret kortlægning af forureningsfaner og geologiske forhold /2/.

De tre nye teknikker er som følger:

- LL-MIP (Low Level MIP, dvs. konstatering af forurening at meget lave koncentrationer)
- HPT-GWS (Ground Water Sampling - vandprøvetagning fra HPT-målesonde umiddelbart ved konstatering af vandførende horisonter).
- MIHPT-MS (konstatering af forureningssammensætning ved hjælp af en massespektrometrisk detektor - MS)

På vegne af Region Hovedstaden har NIRAS i samarbejde med eksperter fra Geoprobe Systems® (USA) afprøvet 2 af de 3 nye teknikker, henholdsvis LL-MIP og HPT-GWS.

Afprøvning af den sidste teknik (MIHPT-MS) ved anvendelse af en MS-detektor ved MIHPT sonderinger er beskrevet i nærværende udviklingsprojekt.

1.2 Formål

Formålet med dette projekt er at afprøve muligheder for at vurdere forureningssammensætningen og ændringer heraf ved analyse af bæregassen med MS, hvorved flere stoffer kan identificeres kvalitativt. Desuden kan stoffernes indbyrdes (relative) forureningsstyrke vurderes, dog ikke kvantitativt (dvs. ingen koncentrationsangivelse), ligesom der kan opnås et sammenhængende dybdeprofil, som giver en indikation af forureningssammensætning og variationer heri over dybden.

1.3 Metodeudvikling

Teknologien indebærer en kobling af NIRAS' MS (Varian Saturn 2000) direkte med MIP-systemet, hvorved sammensætningen af gasstrømmen kan specificeres semikvantitativt og kvalitativt. Metoden kan potentielt give et mere klart billede af forureningssammensætningen over dybden, hvilket ikke kan fås med det traditionelle system.

Tekniske beskrivelser for de anvendte teknikker er gennemgået i kapitel 3.

Før afprøvningen af in situ logning med MIHPT og MS under feltforhold var det nødvendigt at udvikle en fysisk grænseflade (interface), der tilkobler MIP-bæregassen til både de traditionelle MIP-detektorer og en MS-detektor. Da de traditionelle MIP-detektorer, henholdsvis XSD (halogen specifik detektor) og FID (flamme ionisations detektor), er destruktive (de flygtige kulbrinter destrueres), var det ikke muligt at anvende disse sammen med MS-detektoren. Ved feltafprøvningen var det således kun PID- og MS-detektorer som blev anvendt til detektering af forureningen.

1.4 Feltlokalitet

Til afprøvning af MIHPT-MS i felten er der udført 2 sonderinger på en V2-kortlagt lokalitet, hvor Region Hovedstaden i 2012 – 2014 udfører videregående undersøgelser /3/.

De 2 sonderinger er placeret i en kendt forureningsfane med blandt andet trichlorethylen (TCE) og oliekulbrinter, hvorfra der i forvejen er indsamlet detaljerede forureningsdata. Oplysningerne om testlokaliteten er gennemgået i kapitel 2.

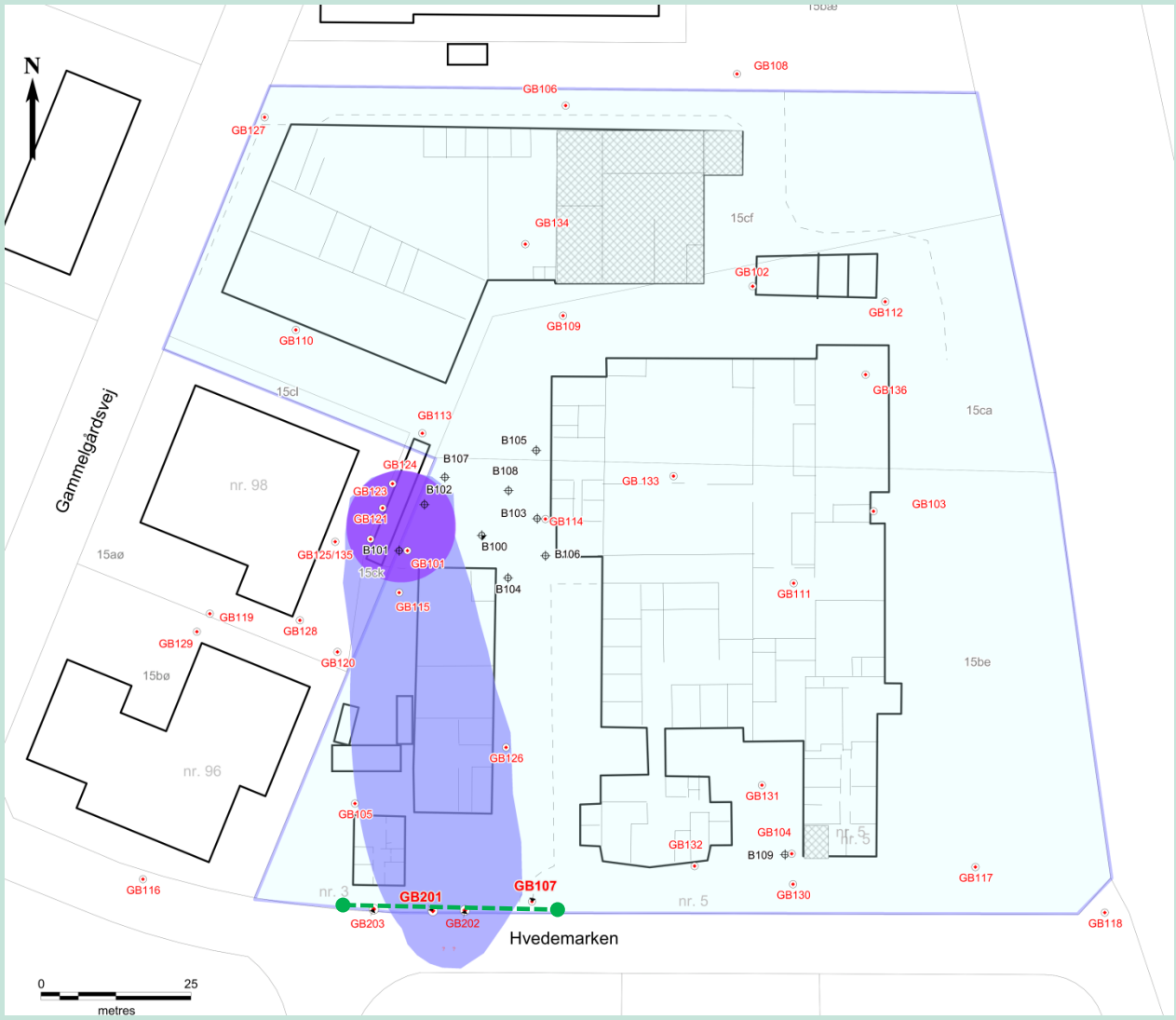
2. Testlokalitet

2.1 Historik

Testlokaliteten er Hvedemarken 3-5, 3520 Farum. På testlokaliteten har der fra 1959 og frem til 1989 ligget en emballage- og plasticfabrik, hvorefter en mere miljøvenlig virksomhed har overtaget ejendommen. På naboejendommen Gammelgårdsvej 98 har der været maskinindustri (1950-196?), fremstilling af plastvarer (1969-1972), vognmands-forretning (1975-1979) og en grossistvirksomhed med medicinske elektriske instrumenter (1979-1987) /3/. På lokaliteten har der desuden været et mindre forbrugeranlæg med benzin samt flere fyringsolietanke.

2.2 Forureningsforhold

Der er tidligere udført en registreringsundersøgelse og omfattende videregående undersøgelser på grunden /3, 4/. Ved undersøgelserne er der blandt andet konstateret forureningskilder med chlorerede opløsningsmidler (TCE), og dens nedbrydningsprodukter, freonforbindelser og polære opløsningsmidler samt med oliekulbrinter, herunder BTEXN (benzen, toluen, ethylbenzen, xylener og naphthalen). Forureningsfanen med TCE, nedbrydningsprodukter og olieprodukter er skitseret i Figur 2-1 /3/.



FIGUR 2-1
SKØNNET FANEUDBREDELSE FRA FORURENINGSKILDEN MED TCE OG OLIEKOMPONENTER /3/. MIHPT-SONDERINGER LANGS DET GRØNNE PROFILSNIT PÅ TVÆRS AF FANEN VED GB203, GB201, GB202 OG GB107 ER VIST I FIGUR 2-3 OG FIGUR 2-4.

Fokus for nærværende undersøgelse og afprøvning af den nye teknik med MIHPT-MS har været forureningsfanen med trichlorethylen og dens nedbrydningsprodukter samt forurening med BTEX. På lokaliteten er der således konstateret en blandingsforurening. Blandingsforureninger er et typisk problem på industrigrunde og medfører en række undersøgelsestekniske udfordringer. Lokaliteten er derfor velegnet til afprøvning af MIHPT-MS-teknikken.

De hidtil udførte supplerende undersøgelser er blandt andet baseret på niveauspecifik vandprøvetagning, hvor der er udtaget og analyseret vandprøver fra 2 til 3 diskrete dybdeintervaller i de enkelte Geoprobe sonderinger, dvs. der er tale om punktmålinger. Analysearbejdet er udført på et analyselaboratorium, og dette betyder, at forureningssammensætningen først kendes, når resultaterne foreligger og langt tid efter Geoprobe arbejdet er afsluttet. Resultaterne viser, at forureningsfanen har en udbredelse fra toppen af det primære grundvand (ca. 8-9 m u.t.) og ned til ca. 20 m u.t., men at sammensætningen i fanen varierer meget, både i forhold til dens position tværs over fanen og i dybden. Det er derfor ønskeligt, at der kan opnås en bedre beskrivelse af forureningssammensætning og med en meget stor datatæthed, mens arbejdet pågår i felten.

Ca. 70 meter nedstrøms kildeområdet og centralt i fanen er der i GB201 (jf. Figur 2-1) påvist et samlet indhold af TCE på op til ca. 7.100 µg/l (15-16 m u.t.) og af nedbrydningsprodukter heraf på mere end 10.000 µg/l. GB107 er vurderet til at ligge i udkanten af forureningsfanen med et TCE-indhold på 210 µg/l (14-15 m u.t.), men indholdet af

nedbrydningsprodukter på 20.500 µg/l er væsentlig højere end ved GB201. I GB201 og GB107 er der fundet et benzenindhold på henholdsvis 140 µg/l og 1.200 µg/l. Det er sandsynligt, at kilden til benzenforurening ikke er lokaliseret helt samme sted som kilden til TCE-forureningen, og at forureningssammensætningen i forureningsfanen nedstrøms for kilden påvirkes af nedbrydning. For eksempel at nedbrydningen af de lette nedbrydelige oliekulbrinter (TEXN og alkaner) skaber stærkt anaerobt forhold, som er gunstige for nedbrydning af TCE, men ikke for nedbrydning af benzen, som er konstateret i de nedstrøms vandprøver/3/. Fanen er ikke endeligt afgrænset mod syd, øst og vest.

Geoprobesonderinger er udført som midlertidige sonderinger, der sløjfes umiddelbart efter prøvetagningen. Vandprøverne fra GB203 og GB202 er udtaget i oktober 2013 med almindeligt Geoprobe vandprøvetagningsudstyr (SP16 - niveauspecifik vandprøvetagning) med et 0,5 m filter. Ved GB107 er der indledningsvis i juni 2013 udtaget vandprøver i 3 dybder med 1 m filtre, og i november 2013 er der udført en ny GB107 sondering med vandprøvetagning i yderligere 2 dybder (også med 1 m filtre). Endeligt er der i august 2013 udtaget vandprøver fra GB201 ved hjælp af en HPT-GWS sonde /7/. Ved vandprøvetagning med en HPT-GWS sonde opsamles et vandvolumen, som repræsenterer porevandet i et ca. 10 cm jordlag umiddelbart omkring HPT-porten. Udbyttet herved er ofte ringe. Ved almindeligt Geoprobe vandprøvetagningsudstyr (niveauspecifik vandprøvetagning) opsamles vand fra alle permeable lag langs filteret. HPT-GWS-vandprøverne er ikke direkte sammenlignelige med vandprøverne fra de lange filtre, idet de repræsenterer porevandet specifikt omkring HPT-porten og ikke et langt filterinterval.

I Tabel 2-1 er resultaterne for de tidligere vandprøver på tværs af forureningsfanen ved GB203, GB201, GB202 og GB107 opsummeret, se Figur 2-1 og Figur 3-1.

TABEL 2-1
OVERSIGT OVER FORURENINGSSAMMENSÆTNING I NIVEAUSPECIFIKKE VANDPRØVER NEDSTRØMS FORURENINGSKILDEN

Nr.	Dybde (m u.t)	Dato	TCE	1,1-DCE	t-1,2-DCE	c-1,2-DCE	1,2-DCA	1,1-DCA	VC	B	T	E	X	N	Tot kul
GB203	12,6-13,1	07-10-13	**2,2**	<	<	<	<	<	<	0,15	0,18	0,14	0,05	<	i.a.
	16,9-17,4	07-10-13	<	<	<	0,16	<	<	**0,38**	0,03	0,04	0,05	<	<	<
GB201 HPT-GWS	13,4#	27-08-13	**58**	i.a.	i.a.	<	<	<	**8**	1.a.	1.a.	1.a.	1.a.	1.a.	1.a.
	14,8	27-08-13	**8,9**	0,05	**2,2**	**22**	0,13	0,08	**10**	0,34	0,19	0,03	<	<	<
	15,7	27-08-13	**7.100**	**26**	**130**	**10.000**	**17**	**110**	**560**	**140**	0,95	1,7	0,03	<	**130**
GB202	15,3-15,8	07-10-13	**74**	**1,7**	**16**	**110**	<	**2,8**	**25**	**5,1**	0,13	0,09	0,03	<	<
	16,8-17,3	07-10-13	**12**	<	<	**17**	<	<	**1,4**	<	<	<	<	<	<
	20,1-20,6	07-10-13	**2,3**	<	<	**1,7**	<	<	<	<	0,17	<	<	<	<
GB107	9,0-10,0	11-06-13	**2,7**	<	0,05	**2,6**	0,24	<	0,024	0,11	0,16	0,09	0,02	0,02	<
	11,5-12,5	11-06-13	**260**	0,47	**2,2**	**220**	**8**	<	**1,1**	**6,1**	0,2	0,11	0,02	<	<
	14,0-15,0	11-06-13	**210**	**24**	**320**	**20.000**	<	<	**140**	**1.200**	**3,9**	**4,9**	0,06	<	<
	18,0-19,0	18-11-13	<	<	<	<	<	<	0,03	<	<	<	0,02	<	<
	23,0-24,0	18-11-13	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,02	<	<
Kvalitetskriterier /6/			**1***	**1***	**1***	**1***	**1***	**1***	**0,2***	**1**	**5****	**5****	**5****	**1**	**9**

For forkortelserne: se ord- og forkortelsesliste
< mindre end detektionsgrænsen
* Kvalitetskriteriet for sum af flygtige organiske chlorforbindelser er 3 µg/l
# Prøven er analyseret på NIRAS laboratorium (ikke akkrediteret)
i.a. ikke analyseret
** Kvalitetskriteriet for sum af oliekulbrinter er 9 µg/l

2.3 Overordnet geologi og hydrogeologi

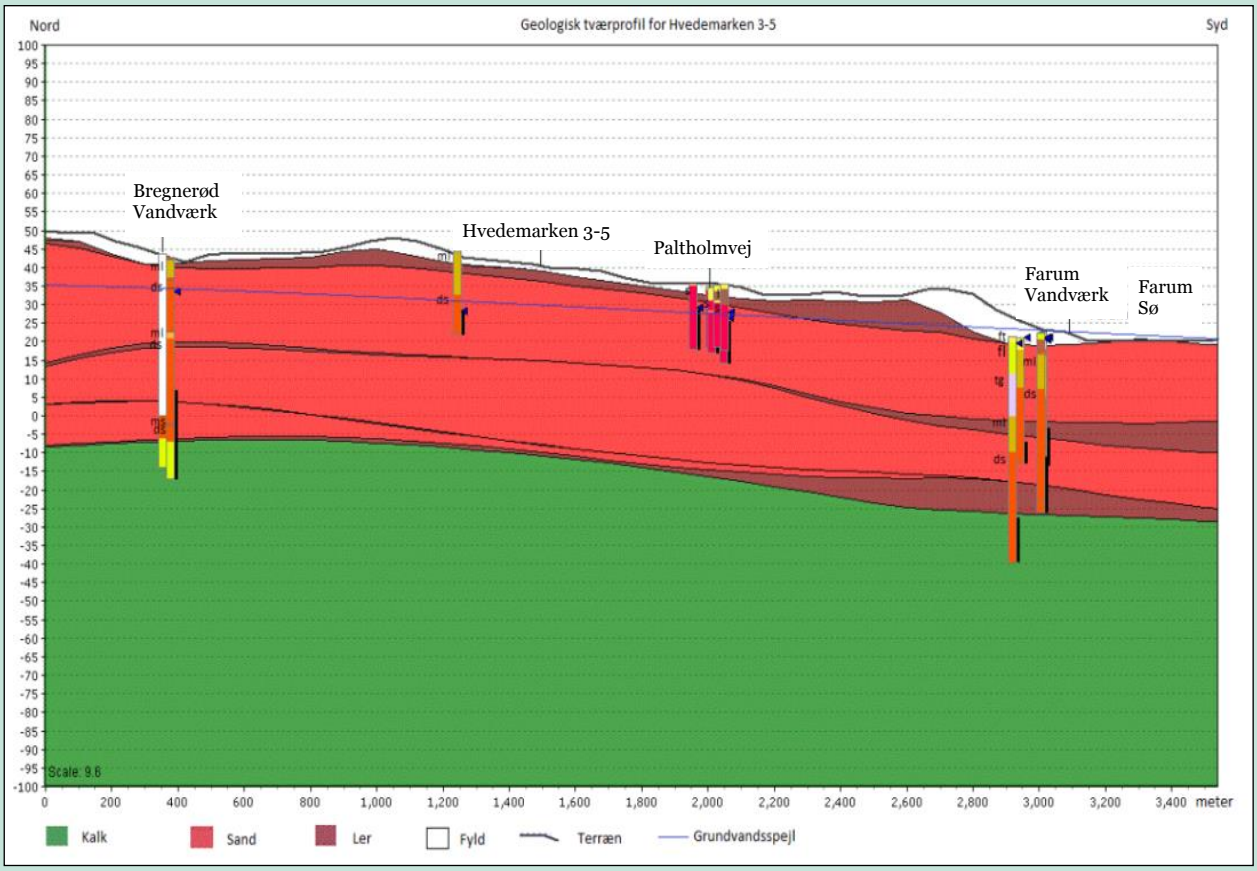
Terrænet på lokaliteten er beliggende omkring kote +38/+41 m DVR90 med faldende terræn mod syd.

Der er ved tidligere undersøgelser truffet et 1-3 meter tykt fyldlag på lokaliteten bestående af sandet, gruset, mørkebrunt/gråbrunt, siltet, tørt ler m. murbrokker. Under fyldlaget træffes sandet, gruset, gulbrunt/gråt, tørt moræneler m. kalkstykker og flintesten. Fra omkring 5-10 m u.t. er morænelerlaget stærkt siltet og let sandet. Under moræneleret træffes et mere permeabelt lag af morænesand og herunder smeltevandssand med en mægtighed på op til omkring 30 m. Smeltevandssandet vurderes inden for undersøgelsesområdet aflejret direkte oven på Danienkalken, der sammen med sandlaget udgør det primære grundvandsmagasin i området.

På baggrund af Region Hovedstadens potentialekort vurderes trykniveauet i grundvandsmagasinet at være beliggende omkring kote +29/+30 m DVR90, svarende til ca. 8-12 m u.t, hvilket er i god overensstemmelse med de målte vandspejl på lokaliteten.

Strømningsretningen vurderes at være i sydlig retning mod kildepladsen til Farum Vandværk.

I Figur 2.2 er vist et geologisk snit over den overordnede geologi i området.

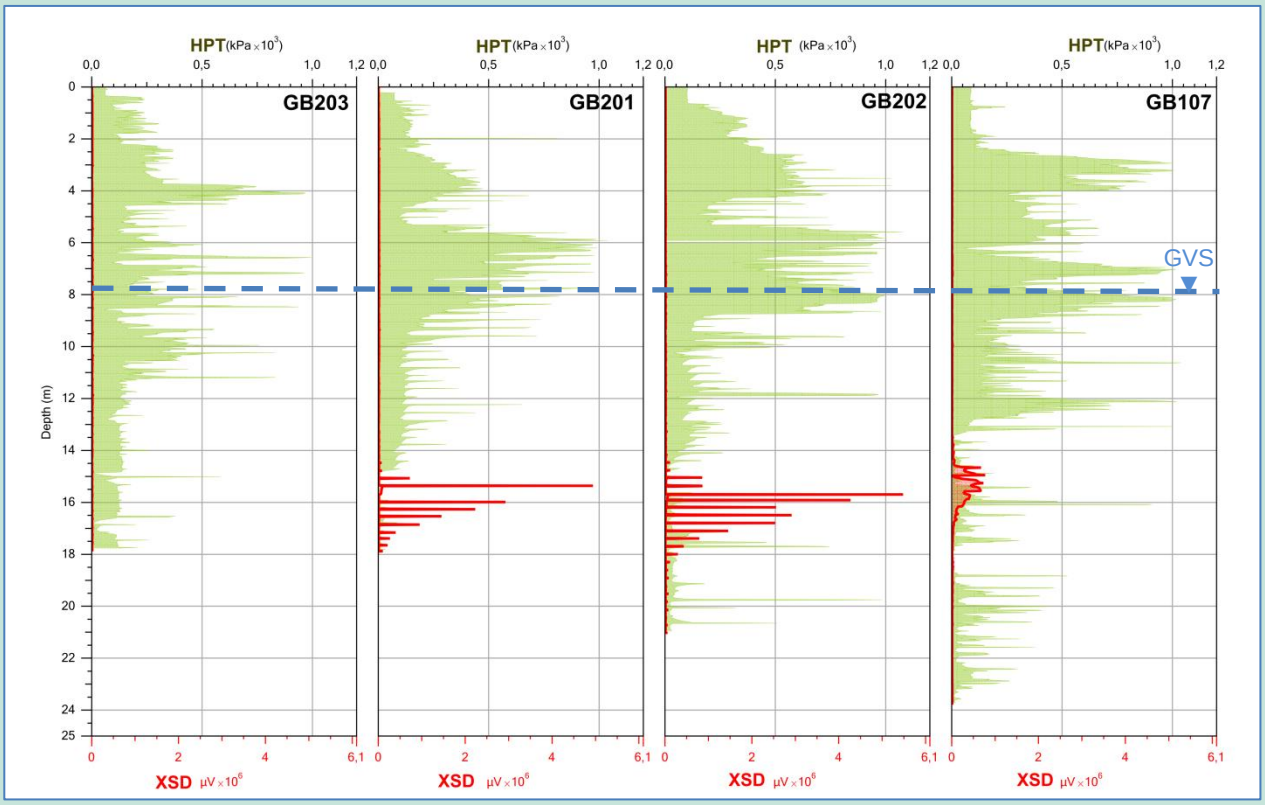


FIGUR 2-2
GEOLOGISK SNIT OVER OMRÅDET VED HVEDEMARKEN 3-5, FARUM /3/.

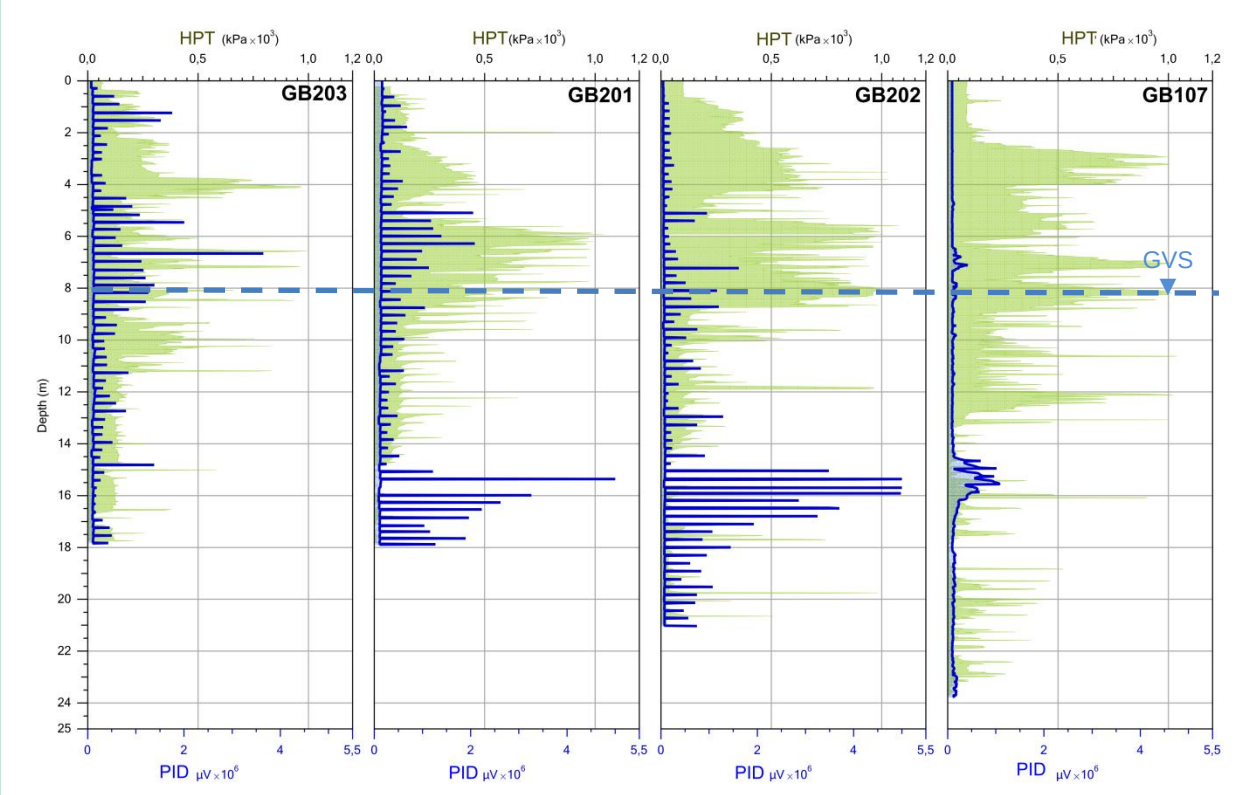
Ifølge Danmarks Miljøportal er lokaliteten beliggende i et område med særlige drikkevandsinteresser samt inden for kildepladszonen til Farum Vandværk, der er beliggende ca. 1,4 km syd og dermed nedstrøms for lokaliteten /5/. Ca. 1,2 km opstrøms for lokaliteten ligger Bregnerød Vandværk, som sammen med Lillevang Vandværk og Farum Vandværk udgør "Andelsselskabet Farum Vandværk". Farum Sø, der er beliggende ca. 1,4 km syd for lokaliteten, er den nærmeste målsatte recipient /5/.

I forbindelse med de tidligere undersøgelser på lokaliteten er der udført 4 MIHPT-sonderinger på tværs af fanen ved GB203, GB201, Gb202 og GB107, hvilket er vist ved det grønne snit på Figur 2-1.

I Figur 2-3 er vist dybdeprofilerne for HPT-responset og XSD-udslaget (dvs. for chlorerede forbindelser), mens Figur 2-4 viser dybdeprofilerne for HPT-responset og PID-udslaget (dvs. for både chlorerede forbindelser med dobbelt bindinger samt aromatiske og umættede oliekulbrinter, jf. afsnit 3.2). Sonderingerne ved GB201, GB202 og GB203 er udført ved en teknik, hvor der opnås en forbedret detektionsgrænse (LL-MIHPT), hvorfor responset og udseendet af dybdeprofilerne er anderledes end for den traditionelle MIHPT-sondering i GB107.



FIGUR 2-3
HPT-XSD DYBDEPROFILER PÅ TVÆRS AF FORURENINGSFANEN, JF. FIGUR 2-1.
DET HYDRAULISKE TRYK (HPT) ER VIST MED GRØNT OG VISUALISERER JORDENS PERMEABILITET, F.EKS. DE LAVESTE VÆRDIER INDIKERER SAND ELLER GRUS OG DE HØJESTE VÆRDIER INDIKERER MORÆNELER/LER.
XSD-UDSLAGET ER VIST MED RØDT OG INDIKERER EN FORURENING MED CHLORERED FORBINDELSER.



FIGUR 2-4
HPT-PID PROFILER PÅ TVÆRS AF FORURENINGSFANEN, JF. FIGUR 2-1.
DET HYDRAULISK TRYK (HPT) ER VIST MED GRØNT OG VISUALISERER JORDENS PERMEABILITET, F.EKS. DE LAVESTE VÆRDIER INDIKERER SAND ELLER GRUS OG DE HØJESTE VÆRDIER INDIKERER MORÆNELER/LER.
PID-UDSLAGET ER VIST MED BLÅT OG INDIKERER ORGANISKE FORURENING SOM KAN BESTÅ AF BÅDE DE CHLORERED FORBINDELSER MED DOBBELT BINDINGER OG AROMATISKE OG UMÆTTEDE OLIEKULBRINTER.

Det ses tydeligt af Figur 2-3, at der centralt i fanen ved GB201, GB202 og GB107 findes chlorerede forbindelser i 15-18 meters dybde i en mere permeabel og sandet sekvens. Derimod er der ingen tegn på forurening med chlorerede forbindelser i GB203, der er placeret ca. 10 m vest for GB201.

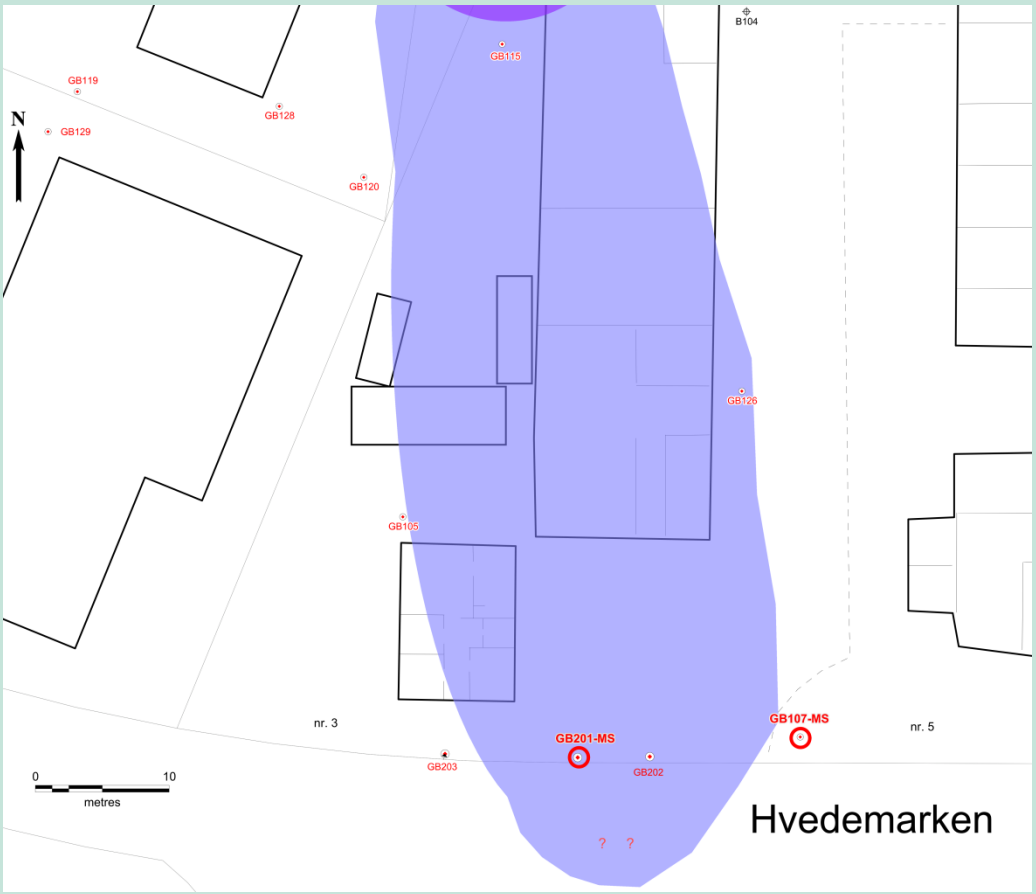
Sammenholdt med XSD-udslaget i Figur 2-3 indikerer PID-udslaget i Figur 2-4, at der specielt omkring 4,5-10 m u.t. dvs. i den umættede zone og i toppen af grundvandet, er en forurening med kulbrinter, som ikke kan relateres til forureningsfanen med chlorerede forbindelser. I 15-18 meters dybde, i den mere permeable zone, ses igen udslag i profilerne for GB201, GB202 og GB107 som svarer til XSD-udslaget for de chlorerede forbindelser, jf. Figur 2-3.

3. Projektaktiviteter og MIHPT-MS teknikken

3.1 Feltaktiviteter

Den 17. og 19. december 2013 er der på Hvedemarken 3-5, 3520 Farum udført 2 MIHPT-MS sonderinger med anvendelse af PID- og MS-detektorer til vurdering af forureningssammensætningen.

Sonderinger er udført ca. 0,5 m fra de tidligere sonderinger, hvor der er udtaget vandprøver i forskellige niveauer (dybder) ved GB201 og GB107. De nye sonderinger (GB201-MS og GB107-MS) er navngivet efter disse punkter, jf. Figur 3-1, og udført til 17 - 19 m u.t.



FIGUR 3-1
MIHPT-MS SONDERINGER VED GB201-MS OG GB107-MS NEDSTRØMS FORURENINGSKILDEN, JF. FIGUR 2-1.

I de følgende afsnit er principperne for de anvendte teknikker skitseret.

3.2 HPT-sonde (Hydraulic Profiling Tool®)

Under nedramning udpumpes en vandstråle fra HPT-sonden under samtidig måling af vandstrålens tryk og flow. Herved registreres variationer i jordens permeabilitet, hvorved vandførende lag og sandstriber ned til helt lille skala (~cm) kan identificeres. Mens det maksimale hydrauliske tryk (max. HPT-tryk) kan anvendes til visualisering af de permeable jordlag, er det også muligt at ud fra HPT-trykket at estimere den hydrauliske ledningsevne i jordlagene. Dette gøres ved udførelse af to eller flere "dissipation tests" i udvalgte jordlag, idet der holdes en pause i nedramningen og over et bestemt tidsinterval foretages en måling af trykopbygning og -udligning. Ved feltafprøvning af MIHPT-MS på Hvedemarken 3-5, Farum, er der dog ikke foretaget dissipation tests, idet disse tests er tidskrævende og ikke udgør en del af testproceduren for metodeudviklingen af MIP-MS teknikken.

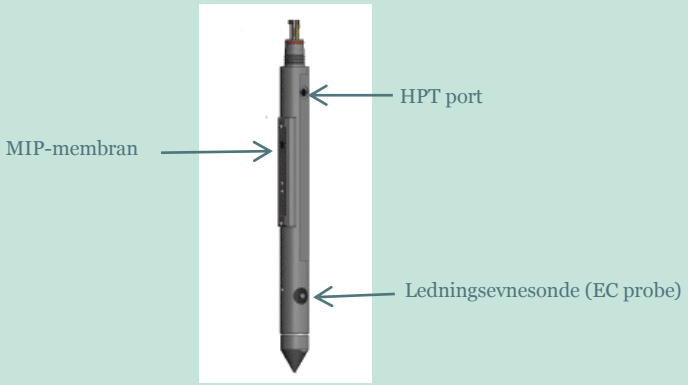
Ved anvendelse af HPT-sonden opnås et næsten kontinuert profil af variationen i den hydrauliske ledningsevne ned gennem formationen, som sammen med data fra ledningsevne-sonden (EC-probe) kan anvendes ved fortolkning af geologien.

3.3 Ledningsevne-sonde (EC-Probe)

På MIP-sonden er der også en ledningsevne-sonde (EC-probe), hvorved jordens elektriske ledningsevne måles under nedramning og der skabes et dybdeprofil, som kan give en indikation af jordtype og vandindhold.

3.4 MIP–sonde (Membrane Interface Probe®)

MIP-sonden rammes ned i jorden med Geoprobe boremaskinen. Fra sonden sendes via et kabel (trunkline) oplysninger til en MIP-kontrolenhed, en databoks og en PC, hvor man grafisk kan følge de forskellige registreringer, efterhånden som nedramningen sker. Sonden er forsynet med en 6,35 mm membran, der er i direkte kontakt med jorden. Membranen holdes elektrisk opvarmet til ca. 120 °C under nedramningen, og temperaturvariationerne registreres løbende, se Figur 3-2.



FIGUR 3-2
BILLEDE AF EN MIP-SONDE

Der rammes med en konstant hastighed, og for hver 0,3 m holdes en pause på 30 sekunder af hensyn til stabilisering af temperaturen i sonden. I det tilfælde, at sonden nedrammes i mættet zone, er det ikke muligt at opretholde en membrantemperatur på 120 °C. Således kan man via signalet til MIP-kontrolenheden registrere temperaturændringer, som kan bidrage til fortolkning om dybde til de umættede og mættede jordlag.

Gennem en fødeslange (trunkline) ledes en ren bæregas bestående af kvælstof (N_2) ned til sonden og forbi membranens inderside, hvorved der i tilfælde af forurening opstår en koncentrationsgradient fra jordmatricen gennem membranen og ind i bæregassen op til en detektor, som afgiver et signal (et udslag), såfremt der er forureningsstoffer i bæregassen. Signalets styrke indikerer, om der er tale om en forurening eller ej, hvorved der opnås et sammenhængende dybdeprofil, der giver en indikation af det relative forureningsindhold og dermed variationer heri over dybden.

Målingen af forureningsprofilerne udføres med XSD-, PID- og FID-detektorer.

XSD-detektoren er særlig følsom over for halogenerede kulbrinter (chlor-, fluor- og bromforbindelser), og er derfor velegnet til at måle indhold af de chlorerede opløsningsmidler (PCE, TCE, 1,1,1-TCA m.fl.).

PID-detektoren er særlig velegnet til at måle indhold af visse chlorforbindelser med dobbelt bindinger (f.eks. PCE og TCE) samt aromatiske og umættede kulbrinter (visse oliekulbrinter samt BTEXN). PID-detektoren er ikke følsom over for mættede forbindelser (dvs. ingen dobbelt bindinger) som 1,1,1-TCA, chloroform og tetrachlormethan samt oliealkaner.

FID-detektoren registrerer alle typer kulbrinter og måler således også det totale indhold af flygtige kulbrinter, herunder både halogenerede og andre typer kulbrinter (hvoraf kun nogle måles med XSD- og PID-detektorerne).

Ved at anvende detektorer med forskellige følsomhedsgrader for stofgrupperne kan forureningsarten vurderes. For eksempel kan der skelnes mellem en forurening med chlorerede stoffer og olieforbindelser.

3.5 Eksisterende muligheder for vurdering af stofsammensætning i MIP-bæregassen

Som supplement til traditionelle MIP-sonderinger er det muligt at udtage og analysere gasprøver fra MIP-systemets bæregas. Gasprøverne kan analyseres med NIRAS´ DSITMS-udstyr (Direct Sampling Ion Trap Mass Spectrometer - Saturn 2000) til vurdering af forureningssammensætningen.

DSITMS-metoden er baseret på EPA-Metode 8265, og er i dag en af de foretrukne analysemetoder i felten, da den kombinerer DSITMS apparatets høje følsomhed over for specifikke flygtige (VOC'er) og semiflygtige (SVOC'er) kulbrinter med en meget kort analysetid. Med metoden kan der udføres analyse af prøver fra alle medier (jord, luft og vand) og kvantificering af koncentrationer for bl.a. chlorerede opløsningsmidler som PCE og TCE samt deres nedbrydnings-produkter, typiske oliekomponenter som BTEX'er, additivet MTBE til benzin og industrielle opløsningsmidler som MEK og MIBK samt Freon-forbindelser. Udover kvantificering af koncentrationer for en række standardstoffer, kan metoden også anvendes kvalitativt til identifikation af ukendte stoffer ved hjælp af opslag i en omfattende database med masse-spektre (fingeraftryk) for stoffer.

Ulempen ved at udtage diskrete prøver af bæregassen er, at prøverne udtages som punktprøver og efterfølgende skal forberedes til en DSITMS-analyse. Resultaterne er dermed ikke tilgængelige under nedramning af sonden.

3.6 Udviklingsprojekt vedr. in situ logning med MIHPT og MS

Ved dette udviklingsprojekt er bæregassen fra MIP-sonden koblet direkte til den massespektrometriske detektor (MS), jf. Figur 3-3, hvorved en række forureningskomponenter kan identificeres og der kan opnås et sammenhængende dybde-profil, der giver en indikation af forureningssammensætning, den (relative) forureningsstyrke og variationer heri over dybden, dvs. ikke som punktmålinger.

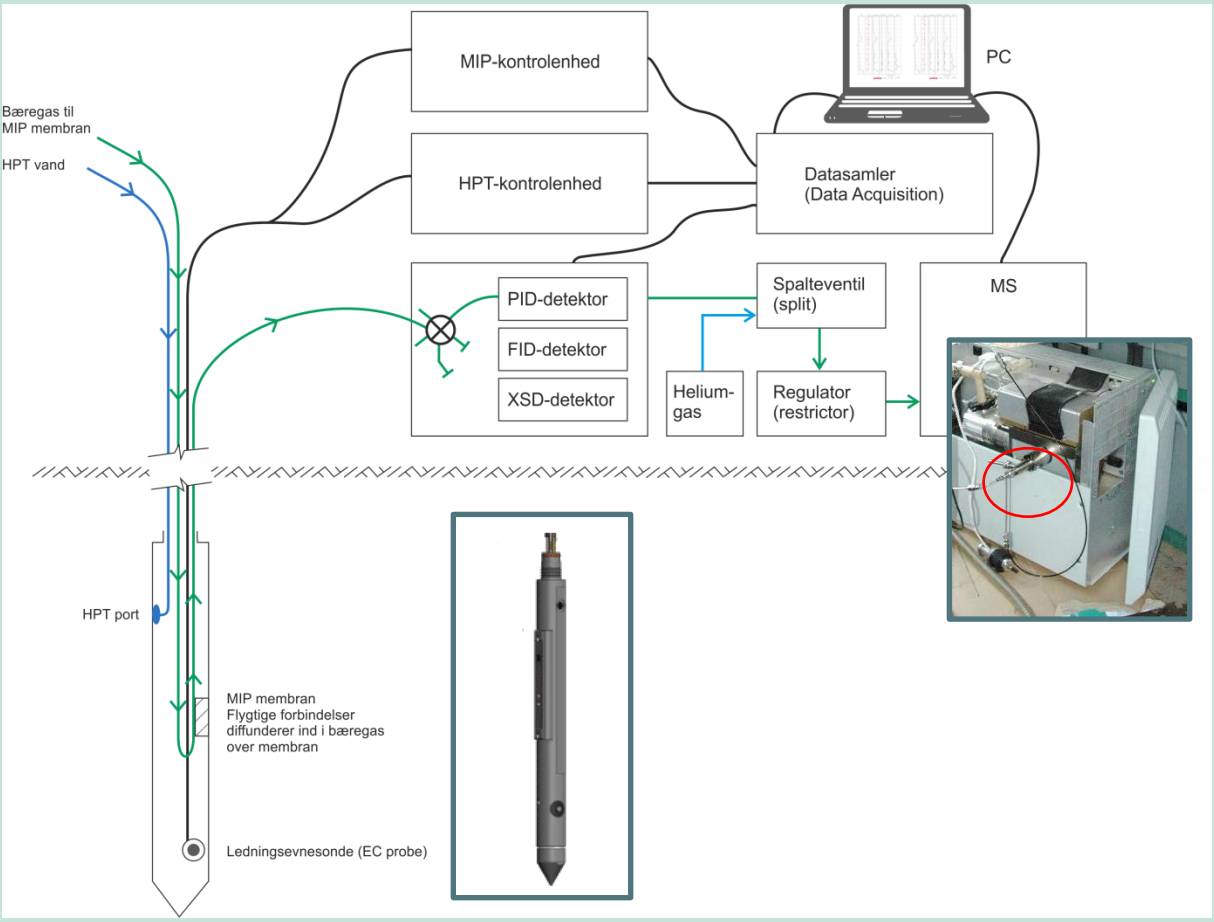
FIGUR 3-3
BILLEDE AF GRÆNSEFLADEN (INTERFACE) MELLEM MIP-BÆREGASSEN OG MS-DETEKTOREN.

Da målinger med MS-detektor sker i realtid, kan resultater ses under selve nedramningen af MIP-sonden. Dette betyder, at resultaterne vurderes, mens man er i felten, således at der løbende kan foretages beslutninger om eventuel justering af undersøgelsesstrategien.

Tilkobling af MIP-bæregassen til MS-detektoren kræver justering af gasflow med en spalteventil, tilsætning af helium (ioniseringsgas) og en regulator (restrictor) før injicering i MS, se Figur 3-3. Udstyret og tilkoblingen er afprøvet i NIRAS' laboratorium, og der er udarbejdet en opsætning for MS-detektoren (masse intervallet, ioniseringstid, m.v.). Herefter er der udført en kontroltest på laboratoriet med MIP-sonden og en standardopløsning før afprøvning på testlokaliteten.

De forskellige detektorer stiller forskellige krav til gasflow m.v., hvorfor bæregassen fra MIP-sonden skal spaltes til det fornødne flow til hver enkeltdetektor. Ikke alle kombinationer af detektorer kan anvendes samtidigt, og da 2 af de traditionelle MIP-detektorer, henholdsvis XSD og FID, er destruktive (de flygtige kulbrinter destrueres), var det ikke muligt at anvende disse sammen med MS-detektoren. Ved feltafprøvningen var det således kun PID- og MS-detektorer som blev anvendt til detektering af forureningen.

I Figur 3-4 er vist en principskitse for metoden. FID- og XSD-detektorer er frakoblet, og bæregassen (kvælstof) er tilsat helium før justering af flow og tryk (restrictor) inden injicering ind i massespektrometret (MS).



FIGUR 3-4
PRINCIPSKITSE OVER TILKOBING AF MIP-BÆREGASSEN TIL MS

Signalet fra massespektrometer (MS) indeholder tidsbestemte oplysninger om TIC (total ionstrøm), men også om alle ioner som er detekteret med MS og indgår i TIC. I forbindelse med opstart af nedramning af MIP-sonden parres signalet,

dybden og tiden, og data fra MIP-sonden opsamles som maksimum, minimum og gennemsnit over et måleinterval svarende til en effektiv måling/opløsning på ca. 1,5 cm.

Der kan defineres forskellige opsætninger for MS-detektor i forbindelse med MIHPT-MS sonderinger. Disse opsætninger kan tage højde for hvilke ioner, dvs. stoffer, der ønskes vist på en skærm under nedramning. Ved den aktuelle (fuld scan) opsætning er der ved MS skannet for ioner i masse interval 40 – 200 (se Tabel 3-1), og der er udført et MS-scan ca. hvert sekund. Tiden for bæregassens ankomst til detektoren er korrigeret/parret med sondens dybde i jorden.

Ved en MS-analyse bliver forureningsstofferne ioniseret, hvorved de spaltes i molekylefragmenter på en - for det enkelte stof - karakteristisk måde. Dette kaldes en fragmentering. Ioner accelereres op og føres ind i et magnetfelt og et elektrisk felt, som opdeler ionerne efter deres masse og ladningsforhold (*m/e*). Det resulterende massespektrum viser intensiteten af masserne for de forskellige ionfragmenter svarende til stoffets fragmentering.

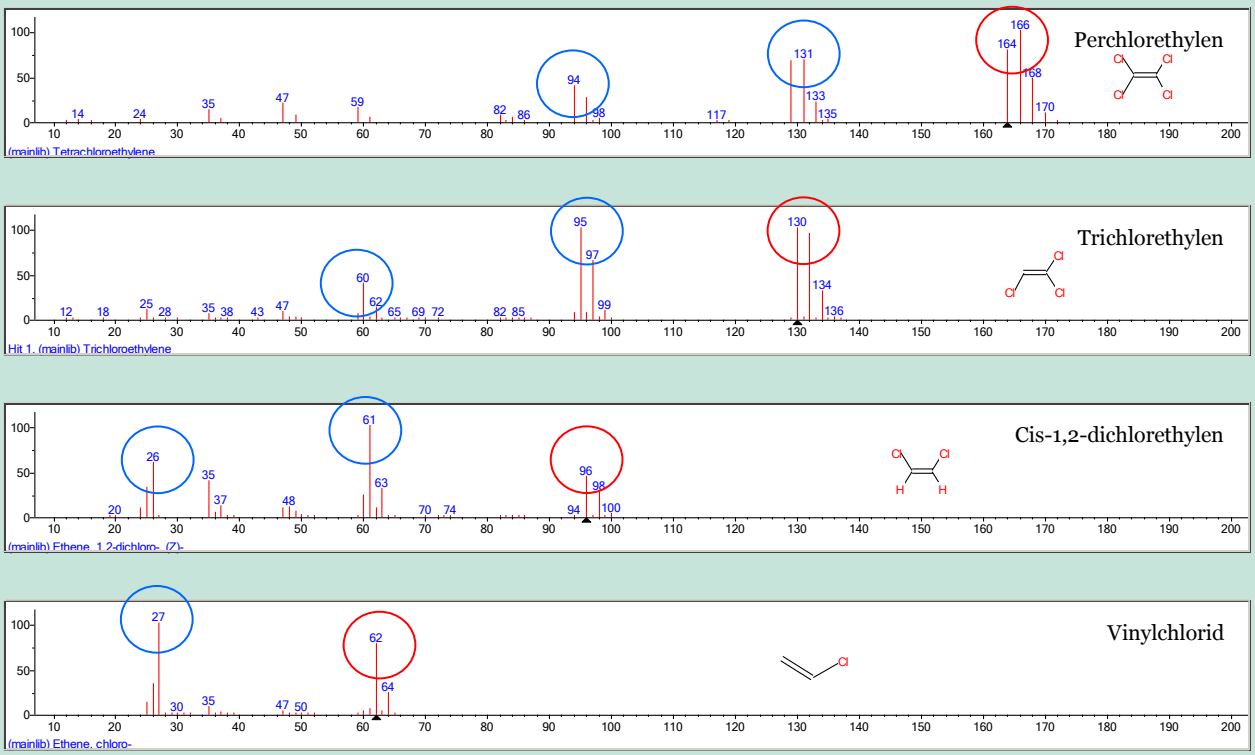
Når et stof spaltes i MS dannes molekylarionen, M^+ (moder ion), hvor der er mistet én elektron og en række ion-fragmenter (sekundære fragmenter). Ved stofidentifikation anvendes blandt andet den mest intense top i massespektret som kaldes "basepeak" eller "primær ion", hvilket kan være, men ikke nødvendigvis er, molekylarionen. Et sådant masse-spektrum kan anvendes til identifikation af stoffet baseret på identifikation af massen af den primære ion og ét eller flere sekundære ionfragmenter.

Ved analysen af bæregassen fra de to MIHPT-MS-sonderinger på Hvedemarken 3-5, Farum, er dybdeprofilet for TIC screenet under nedramning for ionfragmenterne vist i Tabel 3-1.

TABEL 3-1
DE PRIMÆRE IONFRAGMENTER ANVENDT VED STOFIDENTIFIKATION

Moderstof	Primære ionfragmenter
PERCHLORETHYLEN (PCE)	164+166
TRICHLORETHYLEN (TCE)	130+132
DICHLORETHYLENER (DCE)	96+98
VINYLCHLORID	62+64
FREON	151
OLIEKULBRINTER (BASERES PÅ IONFRAGMENTER FRA PENTAN)	43+56+57
BENZEN	78
TOLUEN	91+92
ETHYLBENZEN OG XYLENER	91+106

De ionfragmenter som karakteriser pentan anvendes til vurdering af oliekulbrinter, idet de langkædede alkaner i olieprodukter ioniseres til de samme ionfragmenter som pentan. Ionfragmenter fra pentan er desuden anbefalet af US-EPA som en sum parameter til bestemmelse af oliekulbrinter.



FIGUR 3-5
MASSESPEKTRENE FOR PERCHLORETHYLEN, TRICHLORETHYLEN, CIS-1,2-DICHLORETHYLEN OG VINYLCHLORID (NIST).
DE RØDE CIRKLER VISER DE PRIMÆRE IONER OG DE BLÅ CIRKLER DE SEKUNDÆRE IONFRAGMENTER

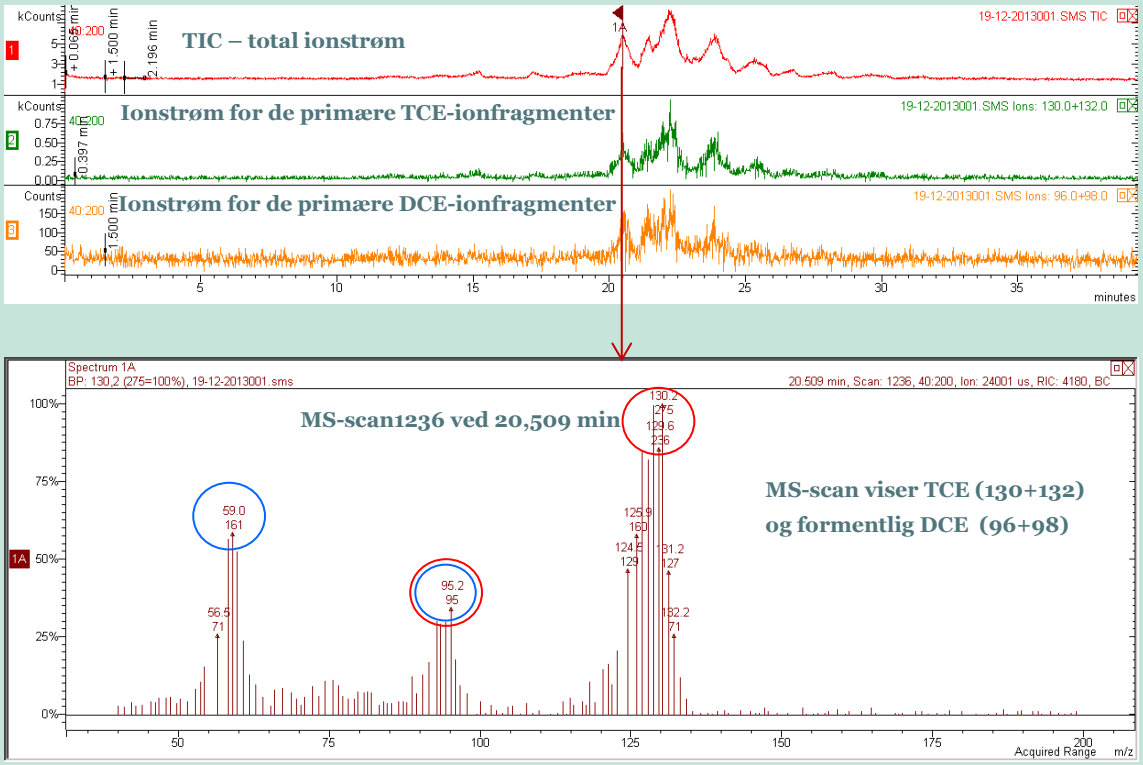
De karakteristiske massespektre for perchlorethylen (PCE), trichlorethylen (TCE), cis-1,2-dichlorethylen (DCE) og vinylchlorid (VC) er vist i Figur 3-5.

Såfremt der samtidigt ankommer både et organisk moderstof og nedbrydningsprodukter til ionkammet dannes identiske sekundære ionfragmenter, og det kan være svært at skelne nedbrydningsprodukter fra moderstoffer.

Som ses af Figur 3-5 dannes de samme sekundære ionfragmenter i alle 4 massespektre. For eksempel kan det være svært med den anvendte MS opsætning at bekræfte tilstedeværelse af DCE, såfremt der er TCE i bæregassen, idet TCE ioniseres til ionfragmenter svarende til DCE, jf. Figur 3-5.

Intensiteten af enkelte ioner/ionfragmenter kan ekstraheres fra hver MS-scan, jf. Figur 3-6, men den samlede intensitet for alle ioner i et massespektrum kan summeres som det samlede ionsignal (TIC) og vises som en funktion af dybden for MIHPT-sonden under nedramning.

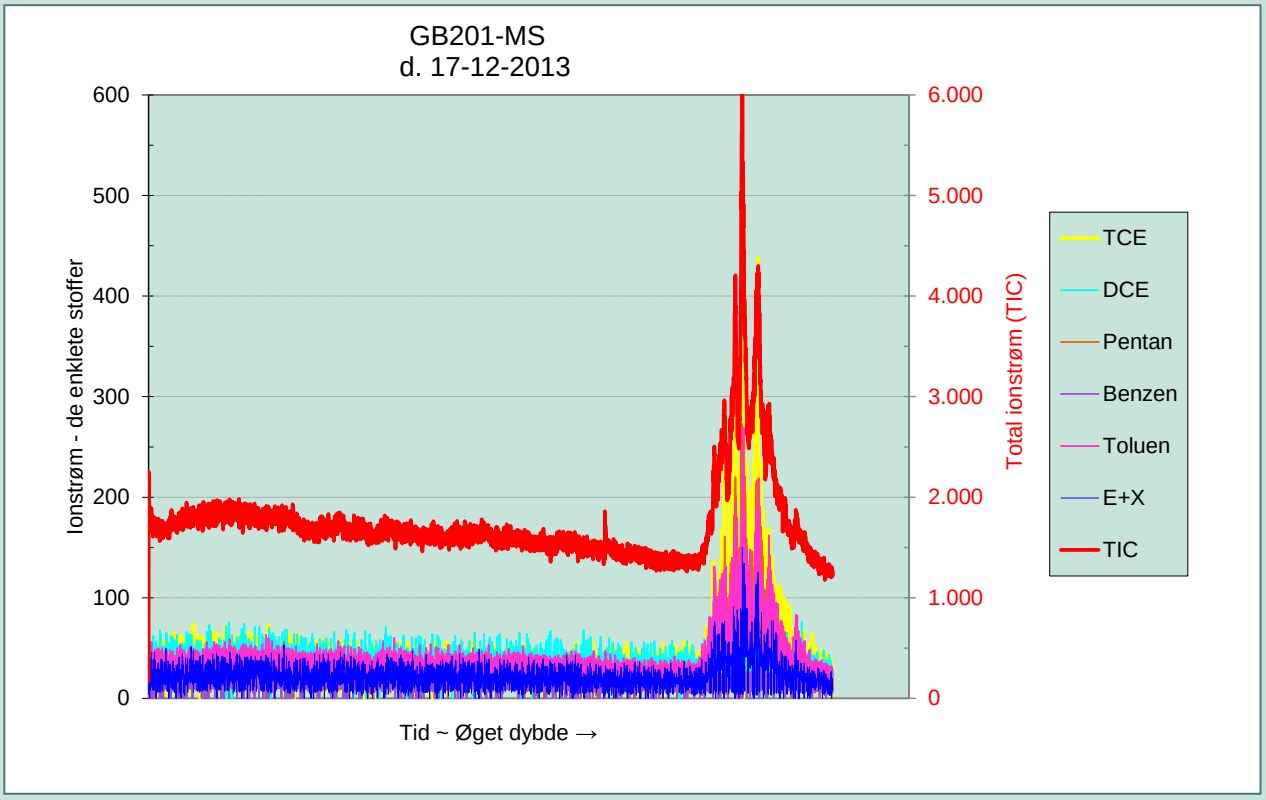
Under feltarbejdet kan udvikling i TIC eller udvalgte ionfragmenter følges løbende på PC skærmen simultant med nedramning af MIHPT-sonden jf. Figur 3-6. De enkelte MS-scan kan ligeledes ekstraheres og evalueres under nedramning eller efterfølgende efter behov.



FIGUR 3-6
VISNING PÅ PC-SKÆRM UNDER NEDRAMNING AF MIHPT-SONDE. PLOT AF TIC MED TIDEN ER DEN NORMALE VISNING, MEN IONSTRØM FOR UDVALGTE IONFRAGMENTER, F.EKS. 130+132 FOR TCE ELLER 96+98 FOR DCE KAN OGSÅ VISES LØBENDE. LIGELEDES KAN DE ENKELTE MS-SCAN (HER SCAN 1236 VED 20, 509 MIN) EKSTRAHERES OG VURDERES.

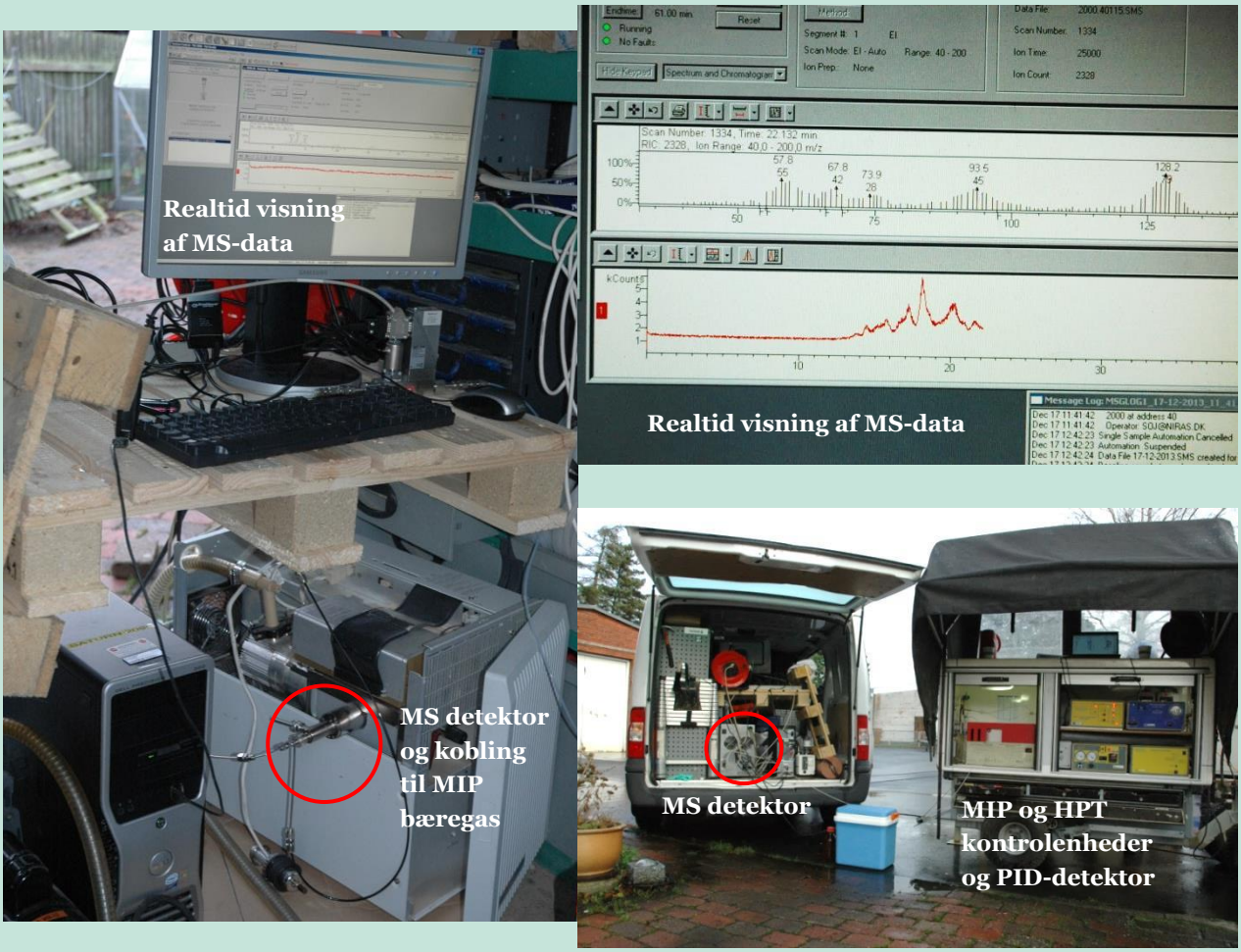
TIC-profilet kan for hvert dybdeinterval/måleinterval opdeles i en række ionfragmenter, som beskriver stofblandingen. Dette betyder, at der kan tegnes dybdeprofiler for de udvalgte stoffer, jf. Figur 3-7. Desuden kan TIC kontrolleres for andre ionfragmenter. Specielt ved konstatering af en ionintensitet i TIC, som ikke kan forklares ved de i Tabel 3-1 udvalgte ionfragmenter, kan der foretages en søgning i den omfattende database med massespektre (fingeraftryk) for stoffer enten i felten eller efterfølgende.

Den gennemsnitlige ionintensitet for TIC og udvalgte ioner i de MS-spektre optaget i et måleinterval svarende til en nedramningsdybde på ca. 1,5 cm er plottet sammen med andre data fra MIHPT-sonden i Bilag 1 og 2 samt Figur 4-1 og Figur 4-2.



FIGUR 3-7
PLOT AF RÅDATA AF IONINTENSITETEN FOR DE PRIMÆRE IONFRAGMENTER I FORHOLD TIL TIC (TOTAL IONSTRØM). X AKSEN VISER TIDEN SOM KAN OMREGNES TIL NEDRAMNINGSDYBDEN FOR MIP-SONDEN.

I Figur 3-8 er vist billeder fra feltarbejde



FIGUR 3-8
BILLEDER FRA FELTARBEJDE DEN 17. DECEMBER 2013

4. Resultater

Der er designet og udviklet en ny grænseflade mellem en MS-detektor og bæregassen fra en MIP-sonde som omfatter en spalteventil, tilsætning af helium og en flowregulator (restrictor). Udstyret og tilkoblingen er afprøvet i NIRAS' laboratorium, og der er udarbejdet en opsætningsmetode for MS-detektoren (masseintervallet, ioniseringstid m.v.). Efter indkøring i NIRAS' laboratorium er der udført en vellykket afprøvning af in situ logning med to MIHPT-MS sonderinger på testlokalitet Hvedemarken 3-5 i Farum.

Ved dannelse af de samlede dybdeprofiler vist i Bilag 1 og 2 samt Figur 4-1 og Figur 4-2 er den gennemsnitlige ionintensitet i de MS-spektre optaget i måleintervallet svarende til en vertikal opløsning på 1,5 cm dybde plottet sammen med de andre data fra MIP-sonden.

4.1 MIHPT-MS ved GB201-MS

Den 17. december 2013 er GB201-MS udført til 17 m u.t. Der er tidligere udført både vandprøvetagning og LL-MIHPT sonderinger i den nærliggende GB201 samt naboboringerne GB203 og GB202 i august 2013 /7/. Vandprøverne fra GB201 er udtaget som punktmålinger med HPT-GWS, mens vandprøverne fra GB203 og GB202 er med almindeligt Geoprobe vandprøvetagningsudstyr (niveauspecifik vandprøvetagning) med et 0,5 m filter, se afsnit 2.2. Vandanalyserne fremgår af Tabel 2-1.

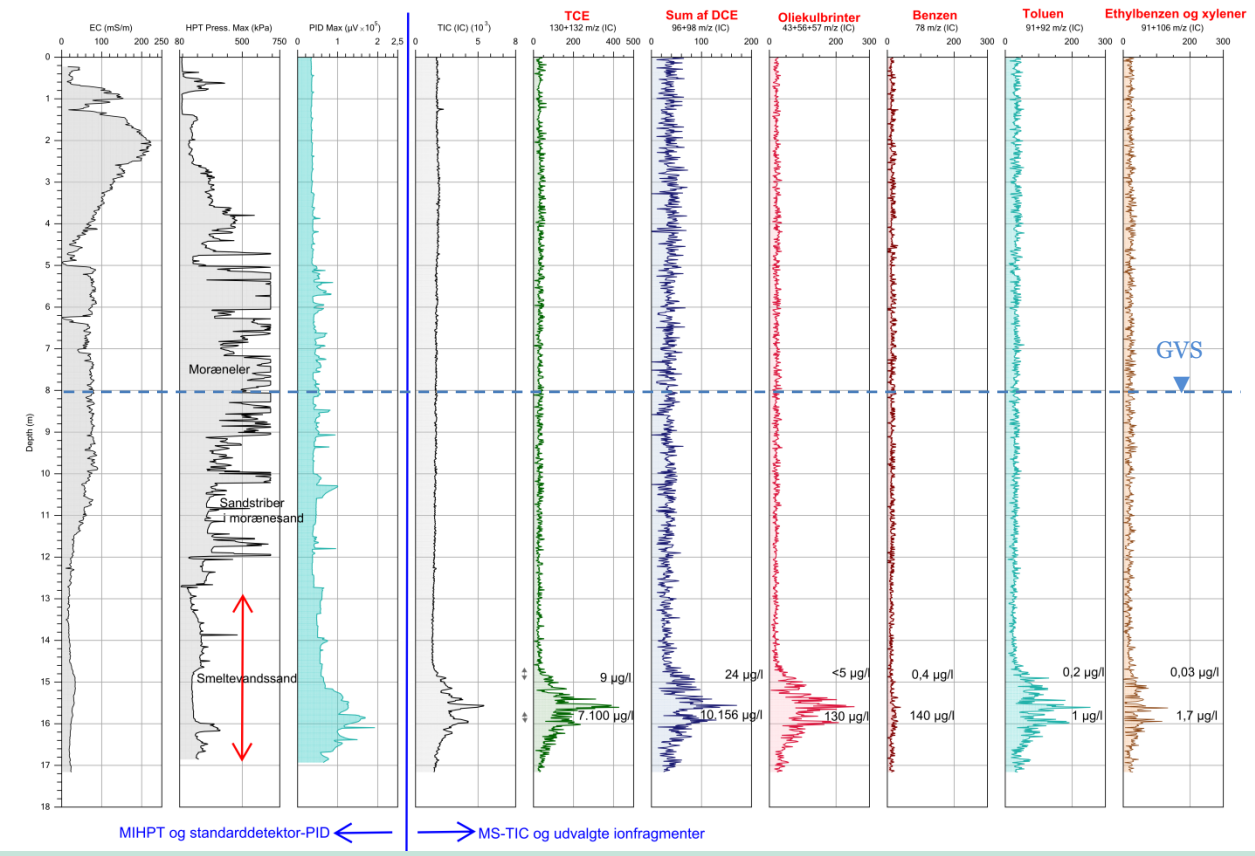
I Figur 4-1 og Bilag 1 er dybdeprofilet for de forskellige måleparametre gengivet sammen med de tidligere fundne koncentrationer i vandprøver fra den nærliggende GB201, jf. Tabel 2-1.

4.1.1 Geologien

På Figur 4-1 er vist dybdeprofiler for ledningsevne (EC) og HPT-trykket.

På grundlag af de tidligere HPT dybdeprofiler for GB201 og GB202 blev det i /7/ vurderet, at geologien i området på den sydvestlige del af lokaliteten ved Hvedemarken består af knap 3 meter fyld, som er underlejret af et relativt impermeabelt lerlag fra ca. 3 m u.t. til ca. 9 m u.t. Omkring 4-5,5 m u.t. er der et mere permeabelt lag. Det lavere HPT-tryk i ca. 9 m u.t. til ca. 15 m u.t., jf. Figur 2-4, tyder på, at der her er en mere permeabel og sandet sekvens af morænesand. Fra ca. 15 m u.t. træffes et mere permeabelt smeltevandssandlag. Grundvandspotentialet blev vurderet til at være beliggende omkring 7,5-8,5 m u.t.

I den nye sondering GB201-MS (Figur 4-1) viser HPT-trykket overordnet set det samme billede som Figur 2-4, men det permeable sandlag træffes først fra ca. 13 meters dybde.



FIGUR 4-1
DYBDEPROFIL FOR MIHPT SONDERING VED GB201-MS MED PID- OG MS-DETEKTORER. RESULTATERNE FOR VANDPRØVER UDTAGET VED DEN NÆRLIGGENDE GB201-HPT-GWS (CA. 0,5 METERS AFSTAND) ER VIST PÅ FIGUREN.

4.1.2 Forureningssammensætning

PID- og MS-TIC-dybdeprofilerne indikerer en tydelig forurening i 15 – 17 meters dybde i smeltevandssandlaget under grundvandspejlet, hvilket som tyder på en grundvandstransporteret forurening. Forureningssammensætningen er samstemmende med resultaterne for vandprøver udtaget fra filtre i den nærliggende sondering GB201, idet der ses både TCE og DCE, men ingen PCE eller Freon 113. PCE og Freon 113 er ikke vist i Figur 4-1, men er vurderet og kontrolleret under nedramning.

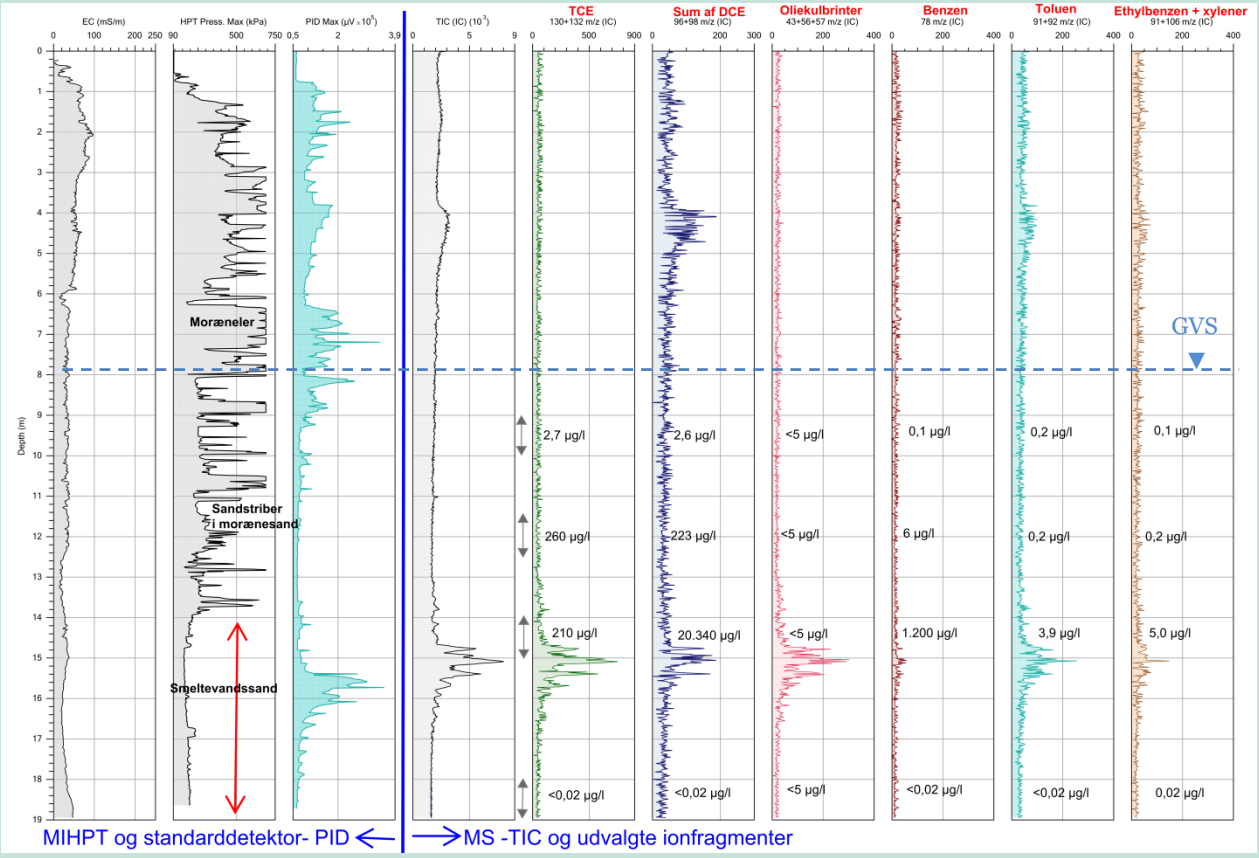
I GB201-MS er der dog også konstateret oliekulbrinter, toluen og xylener, men ingen tydelig tegn på benzen. Der er tidligere fundet benzen i vandprøver, jf. Tabel 2-1, men kun spor af toluen og xylen.

Den lille forskel i sammensætning for benzen, toluen og xylener i henholdsvis vandprøverne fra GB201 udtaget som punktmålinger med HPT-GWS og resultater målt med GB201-MS kan ikke umiddelbart forklares, men bør undersøges nærmere under den videre udvikling af MIHPT-MS teknikken. Det kan ikke afvises, at forskellen kan henføres til en rumlig variation for benzenindholdet i forureningsfanen.

4.2 MIHPT-MS ved GB107-MS

Den 19. december 2013 er GB107-MS udført til 19 m u.t. Vandspejlet findes i ca. 8 meters dybde. Der er tidligere udført en MIHPT sondering ved GB107 i oktober 2013, og der er udtaget vandprøver med almindeligt Geoprobe vandprøvetagningsudstyr (niveauspecifik vandprøvetagning) med et 0,5 m filter i 3 niveauer i juni 2013 og i 2 dybere niveauer i november 2013 jf. Tabel 2-1 og afsnit 2.2. GB107-MS ligger henholdsvis ca. 11 og 17 m øst for GB202 og GB201-MS, jf. Figur 3-1.

I Figur 4-2 og Bilag 2 er dybdeprofilet for de forskellige måleparametre gengivet, og de tidligere fundne koncentrationer i vandprøver fra den nærliggende GB107 er vist på figuren.



FIGUR 4-2
DYBDEPROFIL FOR MIHPT SONDERING VED GB107-MS MED PID- OG MS-DETEKTORER. RESULTATERNE FOR VANDPRØVER UDTAGET VED DEN NÆRLIGGENDE GB107 (CA. 0,5 METERS AFSTAND) ER VIST PÅ FIGUREN.

4.2.1 Geologien

Til venstre på Figur 4-2 er vist dybdeprofiler for ledningsevnen (EC) og HPT-trykket.

På grundlag af det tidligere HPT dybdeprofil for GB107, jf. Figur 2-4, er det vurderet, at geologien i området på den sydvestlige del af lokaliteten ved Hvedemarken består af knap 3 meter fyld, som er underlejret af et relativt impermeabelt lerlag fra ca. 3 m u.t. til ca. 9 m u.t. Det lavere HPT-tryk i ca. 9 m u.t. til ca. 14 m u.t. i Figur 2-3 tyder på, at der her er en mere permeabel og sandet sekvens af morænesand. Fra ca. 15 m u.t. træffes et mere permeabelt smeltevandssandlag. Grundvandspotentialet blev vurderet at være beliggende omkring 7,5-8,5 m u.t.

I den nye sondering GB107-MS viser HPT trykket overordnet set det samme billede som ved den tidlige sondering ved GB107 i oktober 2013 (jf. Figur 2-4) og ved GB201-MS, jf. afsnit 4.1.1.

4.2.2 Forureningssammensætning

PID- og MS-TIC-dybdeprofiler indikerer tydelig forurening i 15 – 17 meters dybde i smeltevandssandlaget under grundvandspejlet som tyder på en grundvandstransporteret forurening. Desuden ses et PID-udslag i 6,5 – 9 meters dybde, hvor der ikke ses udslag i TIC. Derimod er der i 4 - 5 meters dybde et udslag i PID- og MS-TIC, som skyldes ionfragmenter for DCE. Da der ikke ses udslag for TCE, som også ioniseres til DCE, vurderes det, at der er tale om forekomst af DCE i 4 - 5 meters dybde.

Forureningssammensætningen er samstemmende med resultaterne for vandprøver udtaget fra filtre i den nærliggende sondering GB107, idet der ses både TCE og DCE, men ingen PCE eller Freon 113. PCE og Freon 113 er ikke vist i Figur 4-2, men er vurderet og kontrolleret under nedramning.

I GB107-MS er der dog også konstateret oliekulbrinter og toluen, men ingen tydelig tegn på benzen. Der er tidligere fundet benzen i vandprøver, men kun spor af toluen og xylen.

Den lille forskel i sammensætning for benzen, toluen og xylener i henholdsvis vandprøverne fra GB107 og jordlaget i GB107-MS kan ikke umiddelbart forklares og er desuden observeret ved MIHPT-MS-sondering ved GB201-MS, hvorfor respons for især benzen bør undersøges under den videre udvikling af MIHPT-MS teknikken. Det kan ikke afvises, at forskellen kan henføres til en rumlig variation for benzenindholdet i forureningsfanen.

4.3 Sammenfatning

Ved Hvedemarken 3-5, Farum er der udført to MIHPT-MS sonderinger, hvor det har været muligt at skelne mellem de chlorerede opløsningsmidler som PCE og TCE samt identificere forurening med toluen og xylener. Afprøvningen har dermed vist, at det er muligt at anvende MS-detektoren i felten som en del af MIP-systemet.

Videreudvikling og afprøvning under feltforhold vil meget detaljeret kunne belyse, hvordan forureninger opfører sig i jorden, idet de traditionelle teknikker ikke kan skelne mellem forureningskomponenter uden, at der udtages mange diskrete prøver af jord, poreluft eller vand, hvilket er meget ressourcekrævende.

5. Perspektivering

Forsøget på testlokaliteten viser, at MS-detektoren i kombination med MIP-sonden tydeligt kan lokalisere en forureningsfane med en blandingsforurening (chlorerede opløsningsmidler og olieforbindelser), og at den rumlige stoffordeling og -sammensætning i dybden i grundvandsmagasinet er i overensstemmelse med resultaterne fra de tidligere undersøgelser.

Ved den vellykkede afprøvning af en ny-udviklet in situ undersøgelsesteknik, hvor der kombineres en MIHPT-sonde med en MS-detektor til stofidentifikation, kan den rumlige variation i stofsammensætningen i forureningsfaner belyses med en vertikal opløsning på 1-2 cm. Da disse oplysninger kan genereres, mens feltarbejde pågår, betyder det, at undersøgelsesstrategien løbende kan justeres og udvides i felten, hvorved undersøgelsen optimeres og der spares både tid og penge.

Da teknikken baseres på anvendelse af en MS-detektor, kan stoffer identificeres simultant under nedramning af MIHPT-sonden. Målingerne med MIHPT-MS sker således i realtid under selve nedpresningen af sonden, mens traditionelle teknikker kræver væsentlig længere analysetider, og resultaterne foreligger først efter feltarbejdet er afsluttet.

MS-detektoren kan identificere stoffer og stofblanding på grundlag af den relative intensitet af de enkelte stoffers primære ioner (baseion) og ionfragmenter ved fragmentering. MS-analysen kan desuden optimeres for forskellige forureningstyper.

Kombination af MIHPT-MS betyder, at der fås et samlet billede af forureningssammensætning og de geologiske forhold i dybden i målepunktet, og da der kan udføres flere MIHPT-sonderinger i løbet af en arbejdsdag, kan teknikken anvendes til en hurtig kortlægning af en forureningsfane. Samtidigt forbedres løbende detaljeringsgrad for den konceptuelle forureningsmodel.

Afprøvningen har dermed vist, at det er muligt at anvende MS-detektoren i felten som en del af MIP-systemet, men der er behov for videreudvikling og afprøvning af teknikken ved forskellige forureningstyper og stofblandinger under feltforhold.

Referencer

/1/ Geoprobe Systems, www.geoprobe.com.

/2/ Region Hovedstaden, Koncern Miljø. Udviklingsprojekt vedrørende fanekortlægning, oplæg. NIRAS A/S, 24. maj 2013.

/3/ Region Hovedstaden, Hvedemarken 3-5 Farum. Videregående undersøgelse, Hvedemarken 3-5 / Gammelgårdsvej 102, Farum. NIRAS A/S på vegne af Region Hovedstaden, under udarbejdelse.

/4/ Industrikortlægning, Farum Kommune. Registreringsundersøgelse på plastindustri, Hvedemarken 3-5. Krüger A/S på vegne af Frederiksborg Amt. Januar 1995.

/5/ Danmarks Miljøportal, www.kort.arealinfo.dk

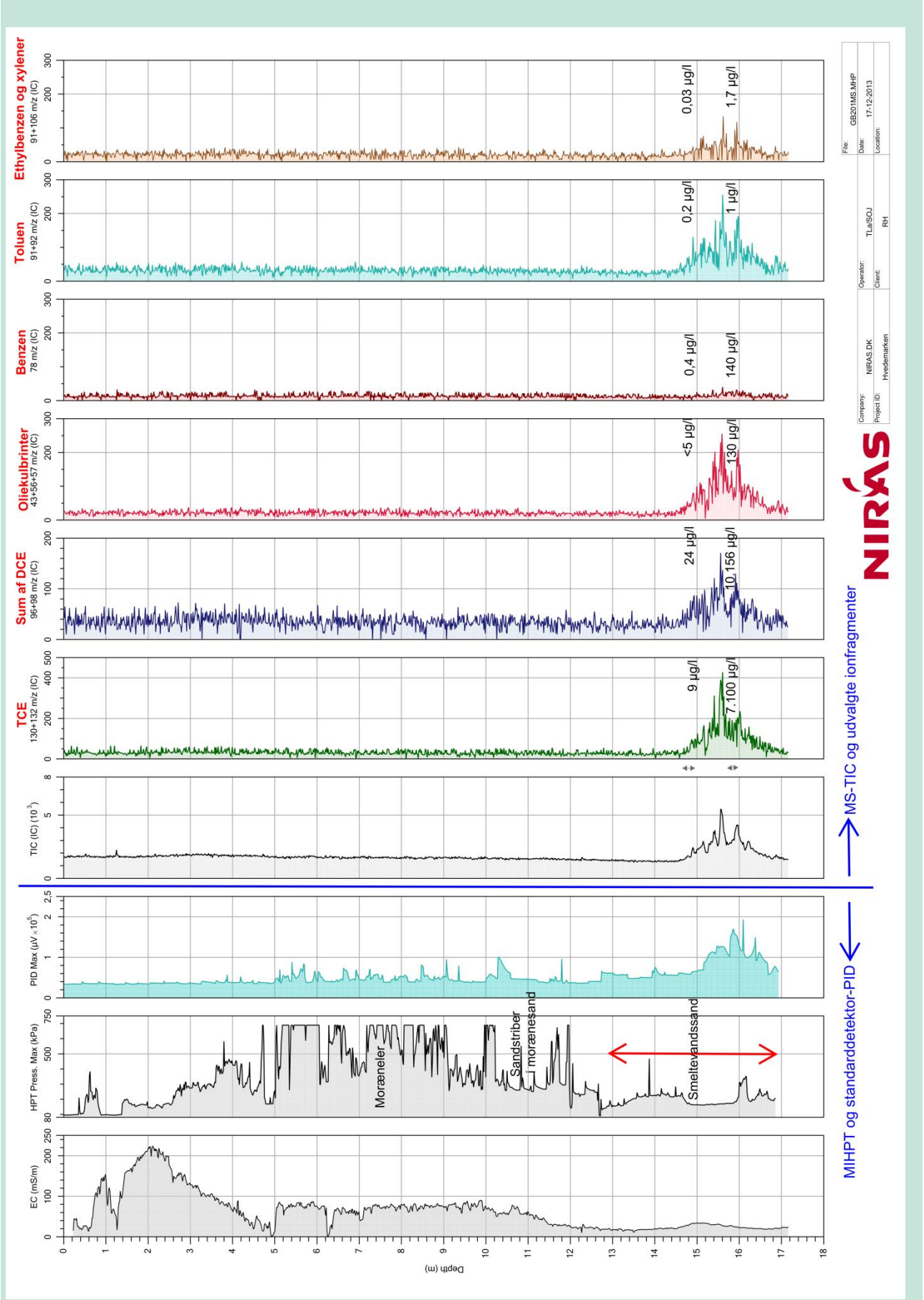
/6/ Miljøstyrelsen. Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenet jord og kvalitetskriterier for drikkevand. Juni og juli 2010. www.mst.dk

/7/ Region Hovedstaden, Hvedemarken 3-5 Farum. Fanekortlægning ved brug af LL-MIHPT og HPT-GWS. Datarapport. Januar 2014.

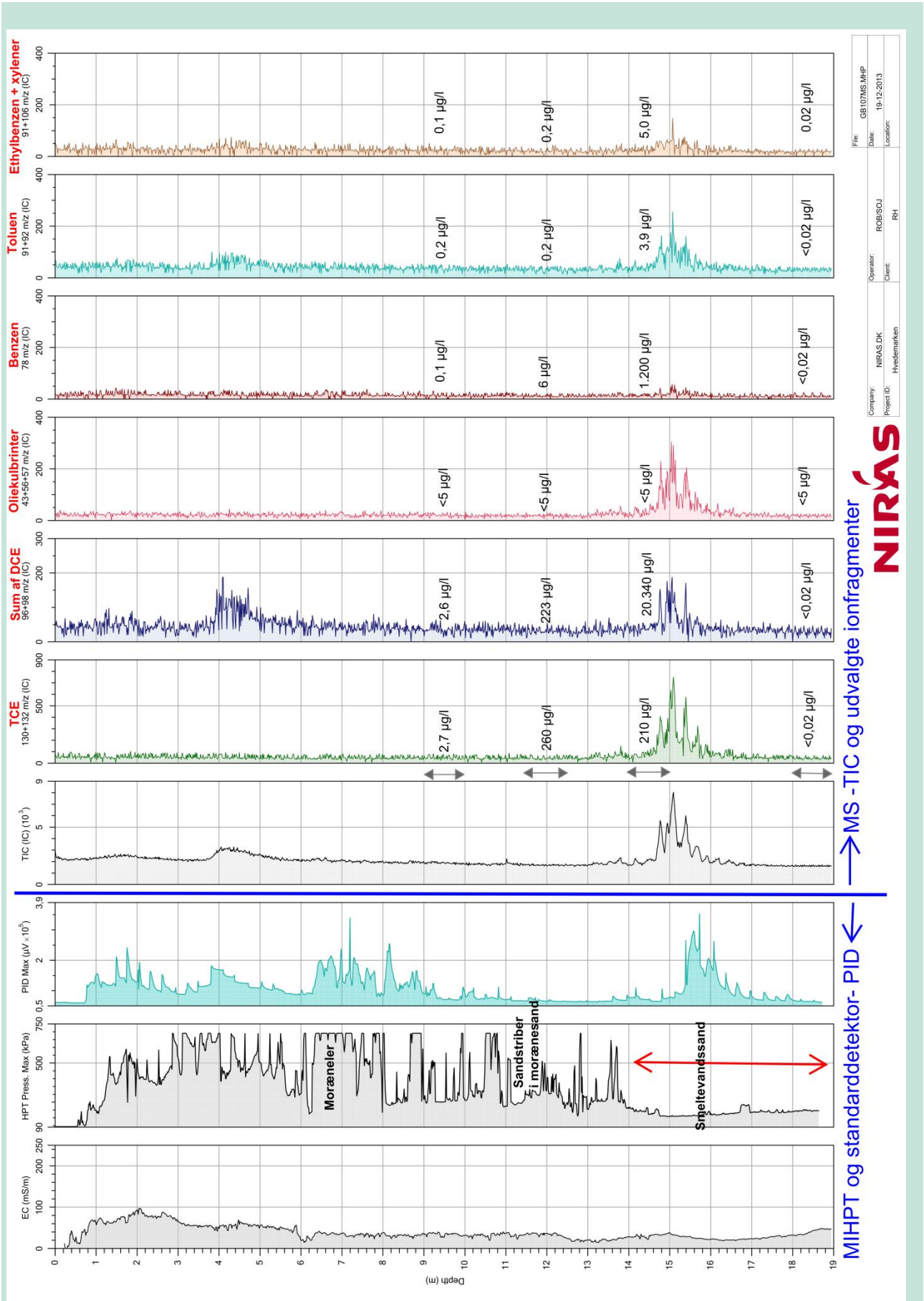
Ord- og forkortelsesliste

Ord/forkortelse	Forklaring
1,1-DCA	1,1-dichlorethan
1,1-DCE	1,1-dichlorethylen
1,2-DBM	1,2-dibromethan
1,2-DCA	1,2-dichlorethan
1,1,1-TCA	1,1,1-trichlorethan
B	Benzen
BTEXN	Benzen, toluen, ethylbenzen, xylener og naphthalen
c-1,2-DCE	Cis-1,2-dichlorethylen
CAS nr.	Et Chemical Abstracts Service nummer er et entydigt stofregistreringsnummer
Chlorerede nedbrydningsprodukter	Typisk 1,1-dichlorethylen (11-DCE), cis-1,2-dichlorethylen (c-12-DCE), trans-1,2-dichlorethylen (t-12-DCE), vinylchlorid (VC), 1,2-dibromethan (12-DBM), 1,2-dichlorethan (12-DCA), 1,1-dichlorethan (11-DCA)
Chlorerede opløsningsmidler	Typisk perchlorethylen (PCE), trichlorethylen (TCE), Chloroform (TCM), 1,1,1-trichlorethan (111-TCA) og tetrachlormethan (TeCM)
DCE	Dichlorethylener som c-12-DCE, t-12-DCE og 11-DCE
DSITMS	Direct Sampling Ion Trap Masse Spectrometer
E	Ethylbenzen
FID	Flamme ionisations detektor
Freon	ChlorFluorkulbrinter, som indeholder kulstof, brint, chlor og fluor. F.eks. Freon 113 er 1,1,2-trichlor-1,2,2-trifluorethan
GeoProbe® udstyr	Udstyr til nedramning af målesonder (Direct push technique)
HPT	Hydraulic Profiling Tool
HPT-GWS	HPT-Ground Water Sampling, dvs. vandprøvetagning fra HPT-målesonde
In situ	Aktiviteten foregår på stedet, f.eks. der måles i jord uden at der udtages prøver
LL-MIP	Low Level MIP, dvs. konstatering af forurening ved lave koncentrationer
MEK	Methylethylketon
MIBK	Methyl-*iso*-butylketon
MIP	Membrane Interface probe
MS	Masse spektrometri
MTBE	Methyl-*tert*-butylether
N	Naphthalen
PCE	Perchlorethylen (tetrachlorethylen-TeCE)
T	Toluen
t-1,2-DCE	Trans-1,2-dichlorethylen
TCE	Trichlorethylen
TIC	Total Ion Current - total ionstrøm
Total kul.	Total kulbrinter (sum af alle kulbrinter)
VC	Vinylchlorid
VOC	Flygtige organiske kulbrinter (Volatile Organic compounds)
X	Xylener (o-, m- og p-xylen)
XSD (halogen specifik detektor)	XSD - halogen specifik detektor, dvs. fluor-, chlor- og bromforbindelser

Bilag 1: Dybdeprofil for MIHPT GB201-MS


Ethylbenzen og xylener
91+106 m/z (IC)
Toluen
91+92 m/z (IC)
Benzen
78 m/z (IC)
Oliekulbrinter
43+56+57 m/z (IC)
Sum af DCE
96+98 m/z (IC)
TCE
130+132 m/z (IC)
TIC (IC) (10^3)
PID Max (µV x 10^5)
HPT Press. Max (kPa)
EC (mS/m)
Depth (m)
0,03 µg/l
1,7 µg/l
0,2 µg/l
1 µg/l
0,4 µg/l
140 µg/l
<5 µg/l
130 µg/l
24 µg/l
10.156 µg/l
9 µg/l
7.100 µg/l
Moræneler
Sandstriber i morænesand
Smeltevandssand
MIHPT og standarddetektor-PID
MS-TIC og udvalgte ionfragmenter
NIRAS
File: GB201MS.MHP
Date: 17-12-2013
Location:
Operator: TLa/SOJ
Client: RH
Company: NIRAS.DK
Project ID: Hvedemarken

Bilag 2: Dybdeprofil for MIHPT GB107-MS


Ethylbenzen + xylener
91+106 m/z (IC)
Toluen
91+92 m/z (IC)
Benzen
78 m/z (IC)
Oliekulbrinter
43+56+57 m/z (IC)
Sum af DCE
96+98 m/z (IC)
TCE
130+132 m/z (IC)
TIC (IC) (10^3)
PID Max (µV ×10^5)
HPT Press. Max (kPa)
EC (mS/m)
Depth (m)
0,1 µg/l
0,2 µg/l
5,0 µg/l
0,02 µg/l
0,2 µg/l
0,2 µg/l
3,9 µg/l
<0,02 µg/l
0,1 µg/l
6 µg/l
1.200 µg/l
<0,02 µg/l
<5 µg/l
<5 µg/l
<5 µg/l
<5 µg/l
2,6 µg/l
223 µg/l
20.340 µg/l
<0,02 µg/l
2,7 µg/l
260 µg/l
210 µg/l
<0,02 µg/l
Moræneler
Sandstriber i morænesand
Smeltevandssand
MS -TIC og udvalgte ionfragmenter
MIHPT og standarddetektor- PID
NIRAS
File: GB107MS.MHP
Date: 19-12-2013
Location:
Operator: ROB/SOJ
Client: RH
Company: NIRAS.DK
Project ID: Hvedemarken

Afprøvning af in-situ logning med MIP og MS

Kortlægning af forureningsfaner i grundvandsmagasiner er ofte en teknisk og økonomisk udfordring, idet strømningsvejen (retning) i forhold til forureningskilden samt afstanden og dybden i grundvandsmagasinet skal lokaliseres og dokumenteres. En kortlægning af en forureningsfane kræver derfor mange undersøgelsespunkter til stor dybde og er med traditionel boreteknik både tids- og ressourcekrævende.

Dette miljøprojekt omfatter afprøvning af en ny teknologi, som repræsenterer en videreudvikling af de af Geoprobe Systems (USA) udviklede MIP® og HPT® in situ undersøgelsesteknikker, der anvendes til kombineret kortlægning af forureningsfaner og geologiske forhold. Ved anvendelse af en MIHPT-sonde med GeoProbe® udstyret kan der skabes en konceptuel model for forureningsspredning i såvel den umættede som den mættede zone (grundvandsmagasin). Mens der normalt anvendes forskellige detektorer i kombination med en MIP-sonde til påvisning af forurening, dog uden stofidentifikation, er der ved dette udviklingsprojekt anvendt en massespektrometrisk detektor (MS), hvorved en række forureningskomponenter kan identificeres i felten, mens borearbejdet pågår.

Naturstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø
Tlf.: (+45) 72 54 30 00

www. nst.dk