

# Notat

Etablissement: 828 Tankområde Guldager

Dato: 01.12.2022

---

## PFAS undersøgelse ved pumpehus

---

Der er i forbindelse med monitering af olieforurening på 828 Tankområde Guldager i juni 2022 /1/ udført en screening for indhold af PFAS-forbindelser i jorden ved pumpehus på etablissementet samt udtaget vandprøver i filtersatte borer nedstrøms området til analyse for PFAS. Dette er udført for at undersøge evt. PFAS forurening, der evt. kan stamme fra den årlige test af det stationære skumanlæg, hvorfor der kan være en risiko for, at evt. opsamlet skum kan være bortskaffet ud af åbninger (dør/vindue) i pumpehuset. Det stationære skumanlæg blev etableret i pumpehuset omkring 2007.

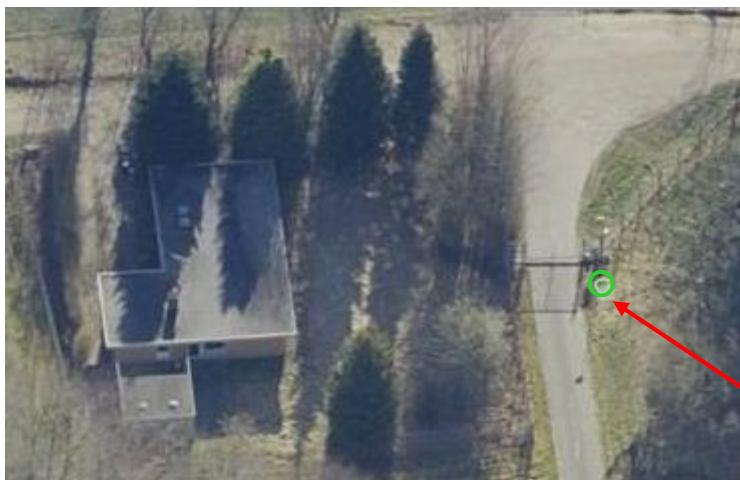
### **Historik ang. brandskum på TO Guldager**

På baggrund af mailkorrespondance /2/ fremgår det, at der i perioden ca. 2007-2009 på en del af Forsvarets tankområder blev etableret stationære skumanlæg (ARS-anlæg) i pumpehusene. Skumanlægget på TO Guldager er etableret som et af de første, dvs. omkring 2007. Der er dog tvivl om det præcise årstal for etablering, som kan være +/- 2 år. I tilknytning til det stationære skumanlæg findes der en skumtank indendørs i pumpehuset. Det stationære anlæg i pumpehuset testes årligt i forbindelse med service og evt. skumpåfyldning, som udføres af et eksternt firma. Det testes i selve pumpehuset. Den benyttede skumtype i 2022 hedder Petroseal 3% og er af typen FFFP (Film Forming Fluoroprotein Foam).

Der er ikke kendskab til, at der er udført øvelser med brandskum udendørs på etablissementet.

Desuden fremgår det af /2/, at der på Tankområde Guldager har været opbevaret brandskum i dunke a 25 L i et nedgravet depot umiddelbart inden for porten. Dækslet til depotet er markeret med grøn cirkel på figur 1. Skum-

met er placeret i depotet med henblik på anvendelse ved brand. Brandskummet fra det nedgravede depot har aldrig været anvendt. Depotet er ikke undersøgt nærmere ved nærværende undersøgelse.



Figur 1: Placering af nedgravet depot markeret med grøn cirkel

## Udførte undersøgelser

Der er udtaget 2 MIS-jordprøver samt 4 vandprøver til analyse.

### Jordprøver

Der er udtaget MIS-jordprøver til screening for indhold af PFAS-forbindelser på ubefæstede arealer stødende op til den østlige og sydlige side af pumpehuset. Placeringen er valgt ud fra hvor der findes vinduer/døre (alle sider bortset fra nordsiden). Vest for pumpehuset, i området mellem pumpehus og manifold, lå der tidligere tre tanke, som for ca. 10 år siden blev opgravet og erstattet med en dobbeltkammer tank. Endvidere er der i 2015 etableret afværgeboringer i området. Ved etablering af disse blev der forgravet en del steder for at kunne udføre boringerne. Derfor er jorden i området vest for pumpehuset omgravet, og der er muligvis udlagt nyt grus. På vestsiden er der derfor ikke udtaget jordprøver.

MIS (Mutiple Incremental Sampling) er en metode, der i forhold til en traditionel prøvetagningsmetode giver et mere repræsentativt estimat af den gennemsnitlige forureningskoncentration i et område. Konkret opdeles området, hvor der prøvetages, i små områder, og der udtages én stikprøve fra hver opdeling med henblik på at fastlægge den gennemsnitlige værdi for forureningsniveauet på hele arealet. Før kemisk analyse prøveforberedes prøverne i laboratoriet, hvor prøverne gennemgår tørring, nedknusning, sigting og repræsentativ neddeling. For nærmere beskrivelse se bilag 4.

Der er udtaget i alt to MIS-prøver (syd og øst for pumpehuset). Prøverne er udtaget i dybde 0-0,1 m u.t. med 50 nedstik. Prøverne er analyseret for PFAS (22 stk.) ved ALS. Placering af de udtagne jordprøver fremgår af bilag 2.1.

### Vandprøver

I stedet for jordprøverne vest for pumpehuset er der udtaget vandprøver til analyse for PFAS (22 stk.) fra fire nedstrøms beliggende borer B7 (filter 2,9-6,7 m u.t.), TF123-2 (filter 9-10 m u.t.), TF123-3 (6-7 m u.t.) og TF123-4 (filter 4-5 m u.t.). Prøverne er analyseret ved ALS.

Ved en fejltagelse har ALS overset, at prøven B7 skulle analyseres for PFAS. Der er derfor ikke modtaget resultater for PFAS for denne prøve.

## Resultater

Af tabel 1 fremgår udvalgte resultater for PFAS i de analyserede jordprøver.

Prøve-ID	Dybde m.u.t.	PFPeA	PFHpA	PFHxS	PFHxA	PFNA	PFOS	PFOA	6:2 FTS	PFUnDA	Σ4 PFAS <sup>2)</sup>	Σ 22 PFAS <sup>3)</sup>
MIS1	0-0,1	0,922	0,574	-	0,643	1,14	-	1,58	4,51	0,677	-	2,72
MIS2	0-0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I.p.
Jordkvalitets-kriterium <sup>1)</sup>		I.f.	I.f.	I.f.	10							
Detektionsgrænse		0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	2,5	0,5
Noter:												
- Under analyselaboratoriets detektionsgrænse												
I.p: Ikke påvist												
I.f: Ikke fastsat												
Fed angiver overskridelse af jordkvalitetskriterium												
<sup>1)</sup> Miljøstyrelsens kvalitetskriterier i relation til forurenset jord og drikkevand, opdateret juli 2021. Kriteriet for "sum PFAS" gælder for 22 stoffer												
<sup>2)</sup> Sum af 4 PFAS: PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS, beregnet												
<sup>3)</sup> Sum af 22 PFAS, angivet af laboratoriet												

Tabel 1: Analyseresultater for udvalgte PFAS-forbindelser (22 stk.) i MIS-jordprøver angivet i µg/kg TS

Der er i jordprøven MIS-1 påvist et indhold af PFAS Σ22 på 10 µg/kg TS. Indholdet af PFAS Σ4 er på 2,72 µg/kg TS. Begge de påviste indhold er under Miljøstyrelsens jordkvalitetskriterier. Der er ikke påvist indhold af PFAS i jordprøven MIS-2.

Indholdet af PFAS i jorden i området øst for pumpehuset (MIS-1) består primært af 6:2 FTS, PFOA og PFNA, men også af PFPeA, PFHpA, PFHxA og PFUnDA.

Af tabel 2 fremgår udvalgte resultater af PFAS i vandprøverne.

Boring	PFOA	PFNA	PFOS	PFHxS	PFBA	PPPeA	PFHxA	PFHpA	6:2 FTS	$\Sigma 4\text{ PFAS}^2)$	$\Sigma 12/22\text{ PFAS}^3)$
TF123-2	0,166	0,034	-	-	0,419	1,440	0,541	0,300	-	0,200	2,900
TF123-3	0,185	-	-	-	0,681	3,640	1,360	0,542	8,460	0,185	14,900
TF123-4	0,0194	-	-	-	0,126	0,170	0,060	0,027	0,206	0,019	0,610
Detektionsgrænse	0,010	0,010	0,005	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010		
Grundvands-kvalitetskriterium <sup>1)</sup>	I.f.	I.f.	I.f.	I.f.	I.f.	I.f.	I.f.	I.f.	I.f.	0,002	0,100

Noter:

- Under analyselaboratoriets detektionsgrænse
- I.f.: Ikke fastsat

Fed angiver overskridelse af grundvandskvalitetskriterium

<sup>1)</sup> Miljostyrelsens kvalitetskriterier i relation til forurenset jord og drikkevand, opdateret juli 2021. Kriteriet for "sum PFAS" gælder for 22 stoffer

<sup>2)</sup> Sum af 4 PFAS: PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS, angivet af laboratoriet

<sup>3)</sup> Sum af 22 PFAS, angivet af laboratoriet

Tabel 2: Analyseresultater for udvalgte PFAS-forbindelser i vandprøver TO Guldager, µg/l

Der er i de analyserede grundvandsprøver påvist indhold af PFAS Σ22 på op til 14,9 µg/l (TF123-3) og af PFAS Σ 4 på op til 0,200 µg/l (TF123-2), svarende til indhold, der overskridet grundvandskvalitetskriteriet hhv. 149 og 100 gange.

Indholdet af PFAS i grundvandet består primært af 6:2 FTS, PPPeA og PFHxA, men også af PFOA, PFNA, PFBA og PFHpA.

PFBA, PPPeA og PFHxA kan være nedbrydningsprodukter af 6:2 FTS (fluorotelomer/precursor).

## FFFP skum

FFFP skum er en brandslukningsskum, som indeholder fluorotelomerer. I forbindelse med en tidligere undersøgelse udført af NIRAS for Forsvaret /3/, er der i en analyseret prøve af FFFP skum fundet forholdsvis høje indhold af primært PFAS-forbindelserne PFBA, PPPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, 6:2 FTS og 8:2 FTS, hvoraf de to sidstnævnte er de mest dominerende stoffer. PFOS er tidligere blevet udfaset og erstattet af andre produkter som 6:2 FTS (fluorotelomer/precursor). PFOA kan stamme fra nedbrydning af 8:2 FTS (fluorotelomer/precursor), ligesom PFBA, PPPeA og PFHxA kan være nedbrydningsprodukter af 6:2 FTS.

De påviste indhold af de specifikke PFAS-forbindelser i grundvandet stemmer godt overens med, at forureningen kan stamme fra anvendelsen FFFP skumvæske i skumanlægget. Der kan muligvis i starten været blevet benyttet en blanding af 8:2 og 6:2 fluorotelomerer.

## Konklusion og anbefalinger

Der er påvist indhold af PFAS i grundvandet og også målbare indhold i en enkelt jordprøve, som dog er under jordkvalitetskriterierne. Jordkvalitetskriteriet relaterer dog ikke til risikoen i forhold til grundvand. Indholdet af PFAS Σ22 og PFAS Σ4 i vandprøverne overskridt grundvandskvalitetskriterierne hhv. 149 og 100 gange.

Det vurderes, at de påviste indhold af PFAS overvejende stammer fra test af det stationære skumanlæg. Da området ligger uden for område med særlige drikkevandsinteresser og uden for indvindingsoplund til almen vandforsyning, vurderes forureningen ikke at udgøre en risiko for almene indvindingsboringer eller grundvand med særlige drikkevandsinteresser.

Det anbefales, at der udtages yderligere vandprøver til analyse for PFAS fra nogle af de filtersatte borer, der findes i området, og at vandprøven fra B7 gentages, da denne prøve ikke blev analyseret af laboratoriet som planlagt ved nærværende undersøgelse. Det anbefales således, at der i forbindelse med næste moniteringsrunde for kulbrinter udtages vandprøver fra B7, B20, B21, TF122, TF123 og TF124 til analyse for 22 PFAS-forbindelser suppleret med 8:2 FTS.

## Bilag

- Bilag 1 Situationsplaner
- Bilag 2 Feltnoter
- Bilag 3 Analyserapporter
- Bilag 4 Metodebeskrivelse MIS-prøvetagning

## Referencer

- /1/ Forsvarsministeriet. Ejendomsstyrelsen. 828 Tankområde Guldager. Notat vedr. monitering af masseafstrømning af oliestoffer fra kildeområde til faneområde efter oprensning. Monitering juni 2022. Rådgivningsafdelingen, *under udarbejdelse, okt. 2022*
- /2/ Svar på spørgsmål ang. brug af PFAS på TO Guldager i mailkorrespondance mellem Esbjerg Kommune og FES
- /3/ Forsvarsministeriets ejendomsstyrelse. Analyser og fingeraftryk af PFAS i brandslukningsskum. Rådgivningsafdelingen, februar 2018.

# **BILAG 1**

## Situationsplaner

Oversigtskort  
Boringsplacering

Bilag 1.1

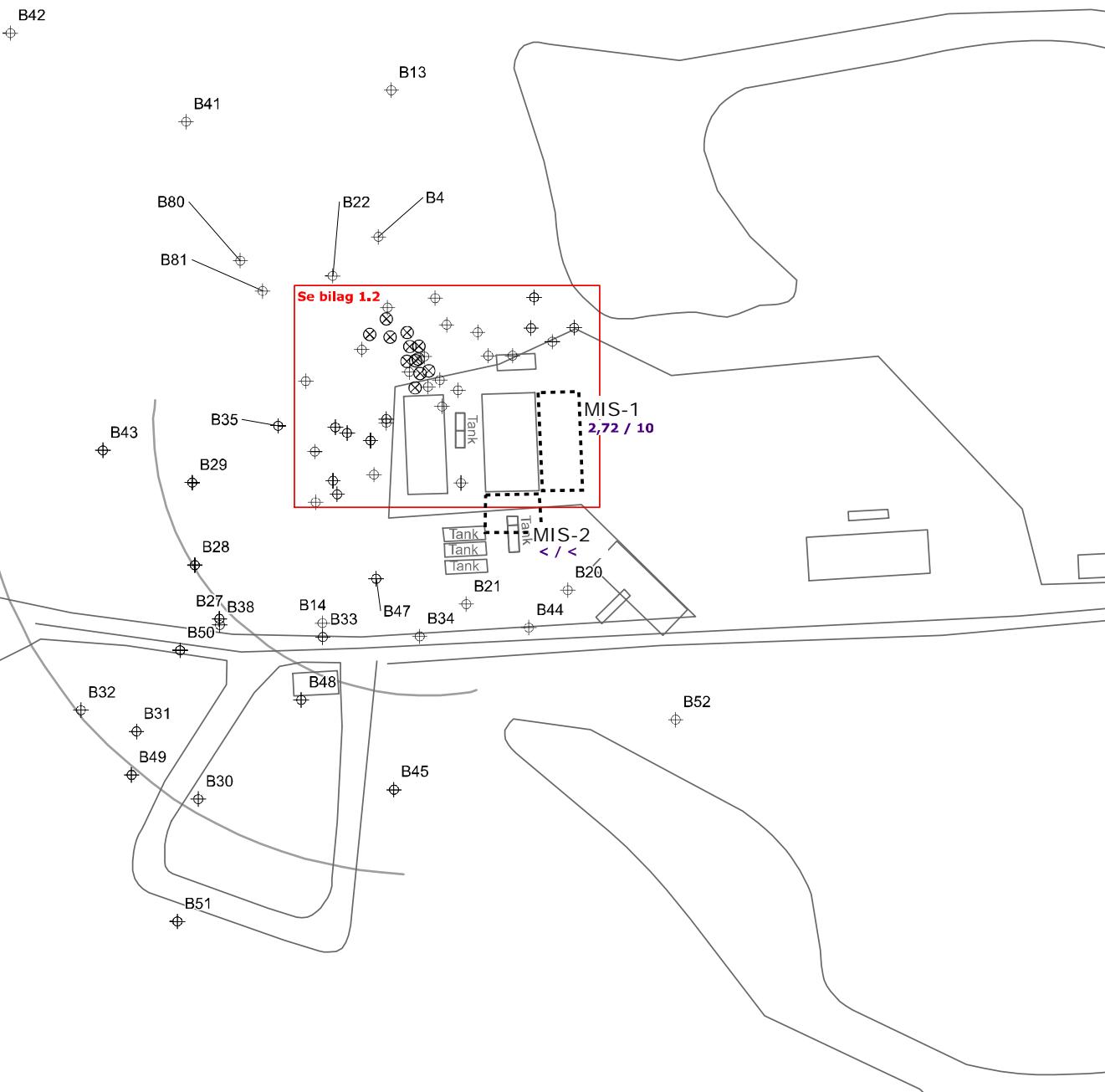


Tegnforklaring

- ⊕ Boring
- ⊖ Håndboring
- ◎ Pumpebrønd
- ⊗ Test- og observatons boring

Dashed box: Områder for MIS jordprøver

PFAS Sum 4/22 ( $\mu\text{g}/\text{kg TS}$ )



Mål: 1:1.000

Udført: ELD  
Kontrol: MOW  
Godkendt: KAO  
Sag nr.: 219 959

Dato: 15.08.2017  
Sti: Sti: 219\959\Project\  
02 NIRAS materiale\Afrapportering\  
Monitoring - 2016\ArcView\  
Bilag01\_oversigtskort1.mxd

Bilag 1.2  
Situationsplan  
828 Tankområde Guldager

1:250

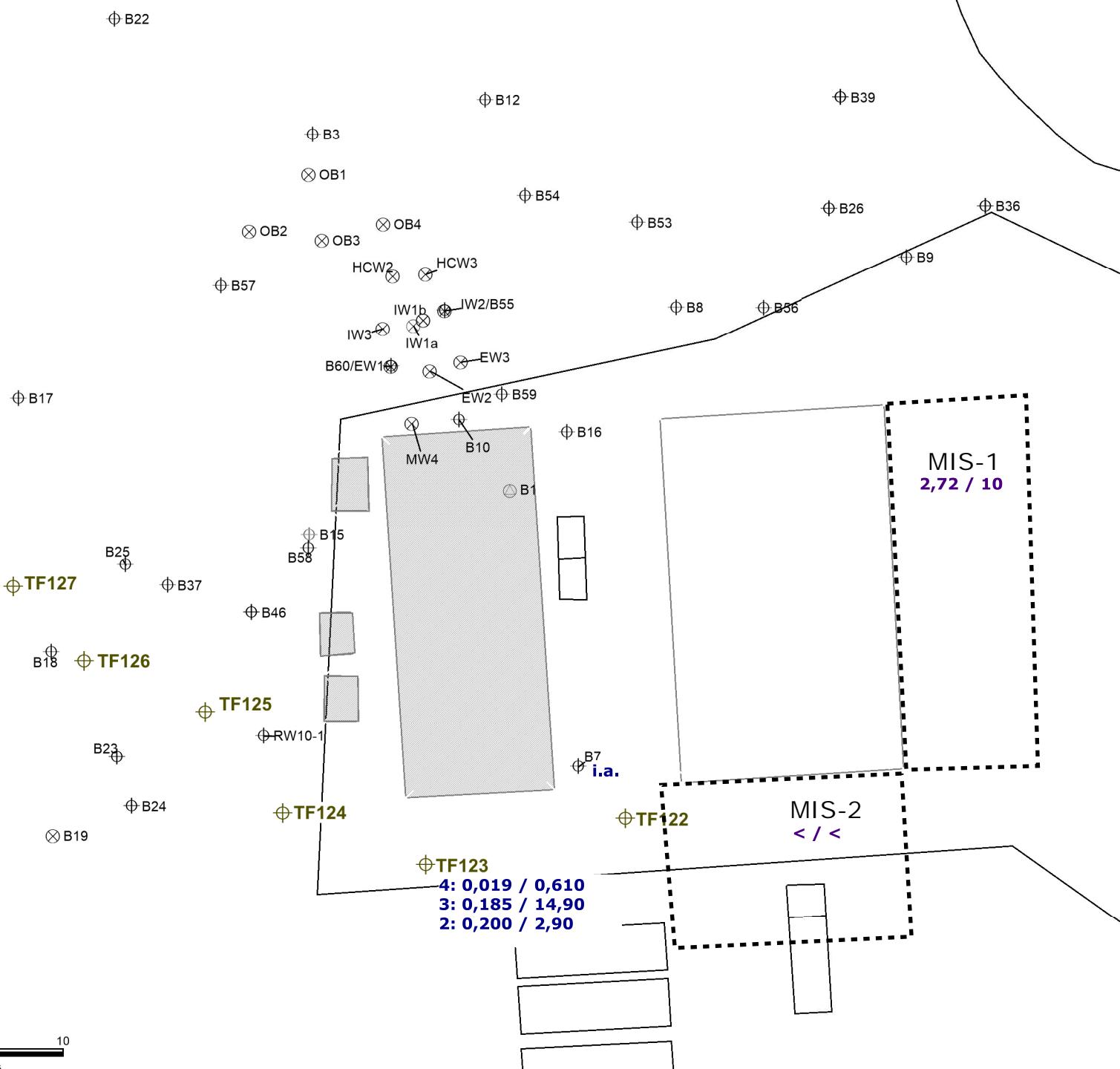
Juni 2022

Signaturforklaring

- ⊕ Boring
- ⊖ Håndboring
- Pumpebrønd
- ⊗ Test- og observationsboring
- ⊕ Geoprobe sondering, nov. 2014

Områder for MIS jordprøver:  
**PFAS Sum 4/22 ( $\mu\text{g}/\text{kg TS}$ )**

Indhold i grundvand:  
**Filter-nr: PFAS Sum 4/22 ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )**



**BILAG 2**

**Feltnoter**

**SAG**

Sagsnr:	10414611	Lok.nr./etab.nr.:		Sagsleder:	Srl
Lokalitet:	To guldager			Udført af:	LTL
Evt. adresse:				Dato:	13-06-2022

**UDSTYR**

Pejl inkl. udstyrsnr.:	Olie		
Pumpe inkl. evt. udstyrsnr.:	Inerti	Fast placeret i boring?	Ja
Slange:	PEHD 10/12 mm	Fast placeret i boring?	Ja
Bemærkninger:			

**PRØVETAGNING OG FELTMÅLINGER**

BORING		PEJLING		PRØVETAGNING				FELTMÅLINGER						OBSERVATIONER		BEMÆRKNINGER	
Boring	Dimension	Tid for pejling	Pejling	Bundpejling	Tid for pumpstart	Tid for VP	Tør-pumpninger	Ydelse	Tid for måling	Leidnings- evne	Temperatur	Redox	pH	ilt	Klarhed/ farve	Lugt	Filtrering, konservering, pumpeplacering, fri fase, afstand ml. pejlept. og terræn mm.
(ID)	(mm)	(t:min)	(m u.MP)	(m u.MP)	(t:min)	(t:min)	(stk)	(l/min.)	(t:min.)	µS/cm	(°C)	(mV)	(-) (mg/l)	-	-	-	-
Tf123-4					11:12				495	10,0	-59	8,36	2,68	Grå	Kemisk	Forpumpe 5L	
																	Pfas
																	SIDSTE MÅLING INDEN PRØVE

BORING		PEJLING		PRØVETAGNING				FELTMÅLINGER						OBSERVATIONER		BEMÆRKNINGER	
Boring	Dimension	Tid for pejling	Pejling	Bundpejling	Tid for pumpstart	Tid for VP	Tør-pumpninger	Ydelse	Tid for måling	Leidnings- evne	Temperatur	Redox	pH	ilt	Klarhed/ farve	Lugt	Filtrering, konservering, pumpeplacering, fri fase, afstand ml. pejlept. og terræn mm.
(ID)	(mm)	(t:min)	(m u.MP)	(m u.MP)	(t:min)	(t:min)	(stk)	(l/min.)	(t:min.)	µS/cm	(°C)	(mV)	(-) (mg/l)	-	-	-	-
Tf123-3					11:25				415	9,9	-96	8,4	0,91	Klar	Kemisk	Forpumpe 5L	
																	Pfas
																	SIDSTE MÅLING INDEN PRØVE

BORING		PEJLING		PRØVETAGNING				FELTMÅLINGER						OBSERVATIONER		BEMÆRKNINGER	
Boring	Dimension	Tid for pejling	Pejling	Bundpejling	Tid for pumpstart	Tid for VP	Tør-pumpninger	Ydelse	Tid for måling	Leidnings- evne	Temperatur	Redox	pH	ilt	Klarhed/ farve	Lugt	Filtrering, konservering, pumpeplacering, fri fase, afstand ml. pejlept. og terræn mm.
(ID)	(mm)	(t:min)	(m u.MP)	(m u.MP)	(t:min)	(t:min)	(stk)	(l/min.)	(t:min.)	µS/cm	(°C)	(mV)	(-) (mg/l)	-	-	-	-
Tf123-2					11:55	5			375	10,0	-42	8,67	5,49	Grå	Ingen	Pumper tør.	
																	Pfas
																	SIDSTE MÅLING INDEN PRØVE

BORING		PEJLING		PRØVETAGNING				FELTMÅLINGER						OBSERVATIONER		BEMÆRKNINGER	
Boring	Dimension	Tid for pejling	Pejling	Bundpejling	Tid for pumpstart	Tid for VP	Tør-pumpninger	Ydelse	Tid for måling	Leidnings- evne	Temperatur	Redox	pH	ilt	Klarhed/ farve	Lugt	Filtrering, konservering, pumpeplacering, fri fase, afstand ml. pejlept. og terræn mm.
(ID)	(mm)	(t:min)	(m u.MP)	(m u.MP)	(t:min)	(t:min)	(stk)	(l/min.)	(t:min.)	µS/cm	(°C)	(mV)	(-) (mg/l)	-	-	-	-
Tf123-1					11:35				439	10,4	-42	7,97	0,99	Grå	Ingen	Forpumpe 5L	
																	Pfas
																	SIDSTE MÅLING INDEN PRØVE

BORING		PEJLING		PRØVETAGNING				FELTMÅLINGER						OBSERVATIONER		BEMÆRKNINGER	
Boring	Dimension	Tid for pejling	Pejling	Bundpejling	Tid for pumpstart	Tid for VP	Tør-pumpninger	Ydelse	Tid for måling	Leidnings- evne	Temperatur	Redox	pH	ilt	Klarhed/ farve	Lugt	Filtrering, konservering, pumpeplacering, fri fase, afstand ml. pejlept. og terræn mm.
(ID)	(mm)	(t:min)	(m u.MP)	(m u.MP)	(t:min)	(t:min)	(stk)	(l/min.)	(t:min.)	µS/cm	(°C)	(mV)	(-) (mg/l)	-	-	-	-
Tf123b-1					12:05				367	10,8	21	8,44	2,04	Grå	Ingen	Forpumpe 5L	
																	Pfas
																	SIDSTE MÅLING INDEN PRØVE

## VANDPRØVETAGNING

SAG

Sagsnr.:	10414611	Lok.nr./etab.nr.:		Sagsleder:	Srl
Lokalitet:	TO Guldager			Udført af:	LTL
Evt. adresse:				Dato:	14-06-2022

Boring	Dimension	Tid for pejling	Pejling	Bundpejling	Tid for pumpestart	Tid for VP	Tid for VP	Tør-pumpningar	Ydelse	Tid for måling	LEDnings- evne	Temperatur	Redox	pH	ilt	Klarhed/ fanve	Lugt	Filtrering, konservering, pumpeplacering, fri fase, afstand m/ pejlept. og terræn mm.
(ID)	(mm)	(t:min)	(m u.MP)	(m u.MP)	(t:min)	(t:min)	(t:min)	(stk)	(l/min.)	(l/min.)	µS/cm	(°C)	(mV)	(-)	(mg/l)	-	-	-
Tf127-1						10:05				873	9,7	-57	8,46	2,13	Klar	Ingen	Forpumpt 5L	
																		SIDSTE MÅLING INDEN PRØVE

# OVERFLADEPRØVER

## SAG

Sagsnr.:	10414611	Sagsleder:	Srl
Lokalitet:	To guldager	Udført af:	LTL
Lok.nr.		Dato:	16-06-2022

## PRØVETAGNING

Prøvenr.	Lag [m u.t.]		Jordartsbeskrivelse		Prøvetagnings-dybde [m u.t.]	Antal nedstik
	Top	Bund	Hovedbestanddel	Øvrig beskrivelse		
Mis 1	0,0	0,1	FYLD: SAND	Sten, muld, gruset, 50 nedstik		
Mis 2	0,0	0,1	FYLD: SAND	Sten, muld, gruset, 50 nedstik		
OBL						
OBL						
OBL	0,0					
OBL	0,0					
OBL	0,0					
OBL	0,0					

**BILAG 3**

**Analyserapporter**



## ANALYSERAPPORT

NIRAS A/S  
Ceres Allé 3  
8000 Aarhus C  
Att.: NIRAS A/S

**Sagsnavn:** 219959  
**Lokalitet:** 828 Tankområde Guldager  
**Udtaget:** 13-06-2022  
**Prøvetype:** Råvand  
**Prøvetager:** NIRAS/LTL  
**Kunde:** NIRAS A/S, Ceres Allé 3, 8000 Aarhus C, Att. Maria Louise Gregersen,  
PersonRef. mlt@niras.dk

**Udskrevet:** 13-07-2022  
**Version:** 1  
**Modtaget:** 13-06-2022  
**Analyseperiode:** 13-06-2022 -  
12-07-2022  
**Ordrenr.:** 724187

side 1 af 4

Laboratoriet er akkrediteret af DANAK. Analyseresultaterne gælder kun for de(n) analyserede prøve(r).  
Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, medmindre skriftlig godkendelse forligger  
Oplysninger om måleusikkerhed findes på [www.alsglobal.dk](http://www.alsglobal.dk)

**Tegnforklaring:**  
#: Ikke akkrediteret    i.p.: Ikke påvist  
<: mindre end              >: Større end



## ANALYSERAPPORT

Prøvenr.:	138735/22	138736/22	138737/22	138738/22	138739/22		
Prøvested:	TF123-4-4	TF123-3-3	TF123-2-2	TF123-1-1	TF123b-1-1		
Kommentar	*6	*5	*3	*2	*1	Enhed	Metode
Parameter							
<b>HS BTEXN</b>							
Benzen	<0.020	0.090	<0.020	0.029	<0.020	µg/l	DS/EN ISO 10301:2000
Toluen	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	µg/l	DS/EN ISO 10301:2000
Ethylbenzen	<0.020	0.16	0.048	<0.020	<0.020	µg/l	DS/EN ISO 10301:2000
Xylenes (o,-m- og p-xylen)	0.14	0.38	0.43	<0.040	<0.040	µg/l	DS/EN ISO 10301:2000
Naphtalen	0.31	1.3	2.9	<0.020	<0.020	µg/l	DS/EN ISO 10301:2000
<b>Kulbrinter i vand</b>							
Kulbrinter n-C6 - n-C10	#	54	<5.0	84	<5.0	<5.0	µg/l AK61 - GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C10 - n-C15	#	520	11	270	11	<5.0	µg/l AK61 - GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C15 - n-C20	#	<5.0	<5.0	14	<5.0	<5.0	µg/l AK61 - GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C20 - n-C35	#	140	<5.0	72	<5.0	<5.0	µg/l AK61 - GC/FID/pentan
Total kulbrinter (C6-C35)		710	11	440	11	<5.0	µg/l AK61 - GC/FID/pentan
<b>PFAS 22 i grundvand</b>							
PFHxS, Perfluorhexansulfonsyre	*8	<10	<10	<10		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFOS, Perfluoroctansulfonsyre	*8	<5.0	<5.0	<5.0		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFOA, Perfluoroctansyre	*8	19.4	185	166		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFNA, Perflournonansyre	*8	<10	<10	34		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFBA, Perfluorbutansyre	*8	126	681	419		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFPeA, Perfluorpentansyre	*8	170	3640	1440		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFHxA, Perfluorhexansyre	*8	60	1360	541		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFHpA, Perfluorheptansyre	*8	27	542	300		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFDA, Perfluordecansyre	*8	<10	<10	<10		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFUnDA, Perfluorundecansyre	*8	<10	<10	<10		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFDoDA, Perfluordodecansyre	*8	<10	<10	<10		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFTrDA, Perfluortridecansyre	*8	<10	<10	<10		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFBS, Perfluorbutansulfonsyre	*8	<10	<10	<10		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFPeS, Perfluorpentansulfonsyre	*8	<10	<10	<10		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFHpS, Perfluorheptansulfonsyre	*8	<10	<10	<10		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFNS, Perflournonansulfonsyre	*8	<10	<10	<10		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFDS, Perfluordecansulfonsyre	*8	<10	<10	<10		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFDoDS, Perfluordodecansulfonsyre	*8	<10	<10	<10		ng/l	CEN/TS 15968:2010
6:2 FTS, 1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfonsyre	*8	206	8460	<10		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFOSA, Perfluoroctansulfonamid	*8	<10	<10	<10		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFUnDS, Perfluorundecansulfonsyre	*8	<10	<10	<10		ng/l	CEN/TS 15968:2010
PFTrS, Perfluortridecansulfonsyre	*8	<20	<20	<20		ng/l	CEN/TS 15968:2010
Sum af PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS	*7	19	185	200		ng/l	CEN/TS 15968:2010
Sum af PFAS, 22 stoffer	*7	610	14900	2900		ng/l	CEN/TS 15968:2010

side 2 af 4

Laboratoriet er akkrediteret af DANAK. Analyseresultaterne gælder kun for de(n) analyserede prøve(r). Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, medmindre skriftlig godkendelse forligger Oplysninger om måleusikkerhed findes på [www.alsglobal.dk](http://www.alsglobal.dk)

Tegnforklaring:  
#: Ikke akkrediteret    i.p.: Ikke påvist  
<: mindre end            >: Større end



## ANALYSERAPPORT

<b>Prøvenr.:</b>	138740/22	138741/22	138742/22	138743/22	138744/22		
<b>Prøvested:</b>	TF124-4-4	TF124-3-3	TF124-2-2	TF124-1-1	TF125-4-4		
<b>Kommentar</b>	*2	*2	*2	*2	*2		
Parameter						Enhed	Metode
<b>HS BTEXN</b>						-	DS/EN ISO 10301:2000
Benzen	<0.020	0.28	0.064	0.069	0.032	µg/l	DS/EN ISO 10301:2000
Toluen	0.13	24	0.54	<0.020	0.48	µg/l	DS/EN ISO 10301:2000
Ethylbenzen	0.60	71	9.9	0.53	15	µg/l	DS/EN ISO 10301:2000
Xylenes (o-,m- og p-xylen)	3.3	280	14	0.051	91	µg/l	DS/EN ISO 10301:2000
Naphtalen	2.7	51	12	<0.020	22	µg/l	DS/EN ISO 10301:2000
<b>Kulbrinter i vand</b>						-	AK61 - GC/FID/pentan
Kulbrinter n-C6 - n-C10	#	24	990	120	24	µg/l	AK61 - GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C10 - n-C15	#	72	650	220	62	µg/l	AK61 - GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C15 - n-C20	#	<5.0	16	23	<5.0	µg/l	AK61 - GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C20 - n-C35	#	18	45	130	81	µg/l	AK61 - GC/FID/pentan
Total kulbrinter (C6-C35)	110	1700	490	170	960	µg/l	AK61 - GC/FID/pentan
<b>Prøvenr.:</b>	138745/22	138746/22	138747/22	138748/22			
<b>Prøvested:</b>	TF125-3-3	TF125-2-2	TF125-1-1	TF126-3-3			
<b>Kommentar</b>	*2	*2	*4	*2			
Parameter						Enhed	Metode
<b>HS BTEXN</b>						-	DS/EN ISO 10301:2000
Benzen	0.091	0.036	<0.020	0.13		µg/l	DS/EN ISO 10301:2000
Toluen	5.1	<0.020	<0.020	2.1		µg/l	DS/EN ISO 10301:2000
Ethylbenzen	36	0.52	<0.020	71		µg/l	DS/EN ISO 10301:2000
Xylenes (o-,m- og p-xylen)	170	0.060	<0.040	230		µg/l	DS/EN ISO 10301:2000
Naphtalen	55	<0.020	<0.020	110		µg/l	DS/EN ISO 10301:2000
<b>Kulbrinter i vand</b>						-	AK61 - GC/FID/pentan
Kulbrinter n-C6 - n-C10	#	470	47	<5.0	770	µg/l	AK61 - GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C10 - n-C15	#	440	180	18	890	µg/l	AK61 - GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C15 - n-C20	#	18	9.3	<5.0	27	µg/l	AK61 - GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C20 - n-C35	#	23	9.3	<5.0	84	µg/l	AK61 - GC/FID/pentan
Total kulbrinter (C6-C35)	950	250	18	1800		µg/l	AK61 - GC/FID/pentan

### Kommentar

- \*1 Ingen kommentar
- \*2 De påviste kulbrinter svarer ikke til et normalt kulbrinteprodukt. De påviste stoffer kan komme ved udvaskning af enten delvist nedbrudt benzin eller diesel/fyringsgasolie.
- \*3 De påviste kulbrinter svarer ikke til et normalt kulbrinteprodukt. De påviste stoffer kan komme ved udvaskning af enten delvist nedbrudt benzin eller diesel/fyringsgasolie.  
Detektionsgrænsen for en eller flere PFAS-forbindelser er forhøjet grundet højt indhold af påviste PFAS-forbindelser.
- \*4 Prøven har et indhold af kulbrinter, der ikke umiddelbart kan sammenlignes med et kendt olie- eller tjæreprodukt.  
Kogepunktsintervallet for de påviste kulbrinter ligger på ca. 175 - 250 °C.
- \*5 Prøven har et indhold af kulbrinter, der ikke umiddelbart kan sammenlignes med et kendt olie- eller tjæreprodukt.  
Kogepunktsintervallet for de påviste kulbrinter ligger på ca. 175 - 250 °C.  
Detektionsgrænsen for en eller flere PFAS-forbindelser er forhøjet grundet højt indhold af påviste PFAS-forbindelser.
- \*6 Prøven har et indhold af kulbrinter, der ikke umiddelbart kan sammenlignes med et kendt olie- eller tjæreprodukt.  
Kogepunktsintervallet for de påviste kulbrinter ligger på ca. 75 - 500 °C.  
Detektionsgrænsen for en eller flere PFAS-forbindelser er forhøjet grundet højt indhold af påviste PFAS-forbindelser.
- \*7 # Underleverandør: ALS Czech Republic s.r.o, CAI L1163

side 3 af 4



**ANALYSERAPPORT**

\*8 Underleverandør: ALS Czech Republic s.r.o, CAI L1163

Sofie Askjær Hass

side 4 af 4

Laboratoriet er akkrediteret af DANAK. Analyseresultaterne gælder kun for de(n) analyserede prøve(r).  
Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, medmindre skriftlig godkendelse forligger  
Oplysninger om måleusikkerhed findes på [www.alsglobal.dk](http://www.alsglobal.dk)

Tegnforklaring:  
#: Ikke akkrediteret    i.p.: Ikke påvist  
<: mindre end              >: Større end



ALS Denmark A/S  
Bakkegårdsvej 406 A  
DK-3050 Humlebæk  
Telefon: +45 4925 0770  
www.alsglobal.dk

## ANALYSERAPPORT

NIRAS A/S  
Ceres Allé 3  
8000 Aarhus C  
Att.: Maria Louise Gregersen, PersonRef. mlt@niras.dk

Udskrevet: 26-07-2022  
Version: 1  
Modtaget: 16-06-2022  
Analyseperiode: 16-06-2022 -  
26-07-2022  
Ordrenr.: 724922

Sagsnavn 219959  
Lokalitet: 828 Tankområde Guldager  
Prøvested: 828 TO Guldager  
Prøve ID: MIS1  
Udtaget: 16.06.2022 kl. 00:00:00  
Prøvetype: Jord - PFAS 22 stoffer, Jord + MIS Forbehandling UDEN metaller + Enkelparametre +  
Prøvetager: Niras/LTL  
Kunde: NIRAS A/S, Ceres Allé 3, 8000 Aarhus C, Att. Maria Louise Gregersen, PersonRef. mlt@niras.dk

Prøvenr.:	141768/22				Metode	Urel (%)		
Dybde:	0 - 0.1 m u.t							
Parameter	Resultat	Enhed	DL					
Tørstofindhold (MIS)	93.5	%			MIS forbehandling 24 t			
Prøvemængde MIS forbehandling	1991	gram			-			
MIS-forbehandling	se vedhæftede		-		-			
Tørstof	*1	99.2	%	0.10	CSN ISO 11465	15		
<b>PFAS 22 i jord</b>					DIN 38414-14:2011			
PFHxA, Perfluorhexansyre	*1	0.643	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFHpA, Perfluorheptansyre	*1	0.574	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFOA, Perfluoroctansyre	*1	1.58	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFNA, Perflurononansyre	*1	1.14	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFBS, Perfluorbutansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFHxS, Perfluorhexansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFOS, Perfluoroctansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFDS, Perfluordecansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFOSA, Perfluoroctansulfonamid	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFBA, Perfluorbutansyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PPPeA, Perfluorpentansyre	*1	0.922	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFUnDA, Perfluorundecansyre	*1	0.677	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFDoDA, Perfluordecodansyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFDA, Perfluordecansyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
6:2 FTS, 1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfonsyre	*1	4.51	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFDoDS, Perfluordecodansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFHpS, Perfluorheptansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFNS, Perflurononansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PPPeS, Perfluorpentansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFTrDA, Perfluortridecansyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFTrS, Perfluortridecansulfonsyre	*2	<2.50	µg/kg TS	2.5	DIN 38414-14:2011	40		
PFUnDS, Perfluorundecansulfonsyre	*2	<2.50	µg/kg TS	2.5	DIN 38414-14:2011	40		
Sum af PFAS, 22 stoffer	*2	10.0	µg/kg TS	40	DIN 38414-14:2011	40		

### Kommentar

Ingen kommentar

### Underleverandør

\*1 ALS Czech Republic s.r.o., CAI L1163

\*2 # ALS Czech Republic s.r.o., CAI L1163

side 1 af 2

Laboratoriet er akkrediteret af DAKK. Analyseresultaterne gælder kun for den analyserede prøve.  
Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, medmindre skriftlig godkendelse foreligger.

Tegnforklaring:  
<: Mindre end  
i.p.: Ikke Påvist

>: Større end



---

ALS Denmark A/S  
Bakkegårdsvej 406 A  
DK-3050 Humlebæk  
Telefon: +45 4925 0770  
[www.alsglobal.dk](http://www.alsglobal.dk)

**ANALYSERAPPORT**

A handwritten signature in black ink.

---

Sofie Askjær Hass

side 2 af 2

Laboratoriet er akkrediteret af DANAQ. Analyseresultaterne gælder kun for den analyserede prøve.  
Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, medmindre skriftlig godkendelse foreligger.

Tegnforklaring:  
<: Mindre end  
i.p.: Ikke Påvist

>: Større end



ALS Denmark A/S  
Bakkegårdsvej 406 A  
DK-3050 Humlebæk  
Telefon: +45 4925 0770  
www.alsglobal.dk

## ANALYSERAPPORT

NIRAS A/S  
Ceres Allé 3  
8000 Aarhus C  
Att.: Maria Louise Gregersen, PersonRef. mlt@niras.dk

Udskrevet: 26-07-2022  
Version: 1  
Modtaget: 16-06-2022  
Analyseperiode: 16-06-2022 -  
26-07-2022  
Ordrenr.: 724922

Sagsnavn 219959  
Lokalitet: 828 Tankområde Guldager  
Prøvested: 828 TO Guldager  
Prøve ID: MIS2  
Udtaget: 16.06.2022 kl. 00:00:00  
Prøvetype: Jord - PFAS 22 stoffer, Jord + MIS Forbehandling UDEN metaller + Enkelparametre +  
Prøvetager: Niras/LTL  
Kunde: NIRAS A/S, Ceres Allé 3, 8000 Aarhus C, Att. Maria Louise Gregersen, PersonRef. mlt@niras.dk

Prøvenr.:	141769/22				Metode	Urel (%)		
Dybde:	0 - 0.1 m u.t							
Parameter	Resultat	Enhed	DL					
Tørstofindhold (MIS)	90.8	%			MIS forbehandling 24 t			
Prøvemængde MIS forbehandling	1821	gram			-			
MIS-forbehandling	se vedhæftede		-		-			
Tørstof	*1	99.0	%	0.10	CSN ISO 11465	15		
<b>PFAS 22 i jord</b>					DIN 38414-14:2011			
PFHxA, Perfluorhexansyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFHpA, Perfluorheptansyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFOA, Perfluoroctansyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFNA, Perflurononansyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFBS, Perfluorbutansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFHxS, Perfluorhexansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFOS, Perfluoroctansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFDS, Perfluordecansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFOSA, Perfluoroctansulfonamid	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFBA, Perfluorbutansyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PPPeA, Perfluorpentansyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFUnDA, Perfluorundecansyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFDoDA, Perfluordecodansyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFDA, Perfluordecansyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
6:2 FTS, 1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFDoDS, Perfluordecodansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFHpS, Perfluorheptansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFNS, Perflurononansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PPPeS, Perfluorpentansulfonsyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFTrDA, Perfluortridecansyre	*1	<0.500	µg/kg TS	0.5	DIN 38414-14:2011	30		
PFTrS, Perfluortridecansulfonsyre	*2	<2.50	µg/kg TS	2.5	DIN 38414-14:2011	40		
PFUnDS, Perfluorundecansulfonsyre	*2	<2.50	µg/kg TS	2.5	DIN 38414-14:2011	40		
Sum af PFAS, 22 stoffer	*2	<7.50	µg/kg TS	40	DIN 38414-14:2011	40		

### Kommentar

Ingen kommentar

### Underleverandør

\*1 ALS Czech Republic s.r.o., CAI L1163

\*2 # ALS Czech Republic s.r.o., CAI L1163

side 1 af 2

Laboratoriet er akkrediteret af DAKK. Analyseresultaterne gælder kun for den analyserede prøve.  
Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, medmindre skriftlig godkendelse foreligger.

Tegnforklaring:  
<: Mindre end  
i.p.: Ikke Påvist

>: Større end



---

ALS Denmark A/S  
Bakkegårdsvej 406 A  
DK-3050 Humlebæk  
Telefon: +45 4925 0770  
[www.alsglobal.dk](http://www.alsglobal.dk)

**ANALYSERAPPORT**

A handwritten signature in black ink.

---

Sofie Askjær Hass

side 2 af 2

Laboratoriet er akkrediteret af DANAQ. Analyseresultaterne gælder kun for den analyserede prøve.  
Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, medmindre skriftlig godkendelse foreligger.

Tegnforklaring:  
<: Mindre end  
i.p.: Ikke Påvist

>: Større end

## **BILAG 4**

**Metodebeskrivelse MIS prøvetagning**

## METODEBESKRIVELSE 2.1

Jordprøvetagning med **Multiple Incremental Sampling**

---

27. august 2019

### Formål

Multiple Incremental Sampling (forkortet MIS) er en prøvetagningsmetode, som er designet til statistisk at forbedre repræsentativiteten for prøver udtaget i områder med et inhomogent forureningsmønster.

MIS metoden finder primært anvendelse ved prøvetagning af overfladejord, udgravnninger og oplagrede jordpartier.

### Princip

Teorien "Theory of sampling" (forkortet TOS), som ligger til grund for Multiple Incremental Sampling, er udviklet af Pierre Gy /ref. 1/. En dansk standard (DS 3077), der implementerer TOS, er netop udarbejdet /ref. 2/.

I forhold til en traditionel prøvetagningsmetode (diskret prøvetagning) giver Multiple Incremental Sampling et mere repræsentativt og dermed mere reproducerbart estimat af den gennemsnitlige forureningskoncentration i et udvalgt område af interesse, som betegnes en decision unit (forkortet DU).

### Fokus på at reducere fejlkilder

Multi Incremental Sampling er en metodik med fokus på planlægning af arbejdet, udtagning af delprøver (increments) i felten og neddeling af blandingsprøver (multi-increment prøver) i laboratoriet. Metoden har fokus på at reducere fejlkilder forbundet med den samlede prøvetagningsaktivitet. Den samlede prøvetagningsaktivitet omfatter såvel prøvetagning i felten som prøveforberedelse i laboratoriet. Typer af fejlkilder er beskrevet fx i /ref. 3/.

---

I forbindelse med prøvetagning og kvantificering af et forureningsindhold vil resultatet være påvirket af flere forskellige fejlkilder, herunder:

- Prøvetagning i felten, primær prøvetagning (op til 1.000%)
- Prøveforberedelse i analyselaboratoriet, sekundær og tertiær prøvetagning (100-300%)
- Den kemiske laboratorieanalyse (2-20%)

Størrelsen af de enkelte fejlkilder kan anslås som anført i parenteserne ovenfor /ref. 5/, og "den samlede fejl" bestemmes ved følgende formel:

$$\Sigma \text{Fejl} = \sqrt{(\text{Fejl1}^2 + \text{Fejl2}^2 + \text{Fejl3}^2 + \dots)}$$

**Formel 1:** Bestemmelse af størrelsen af den samlede fejl ved påvirking fra flere samtidige fejlkilder.

Et eksempel på formlens anvendelse ( $\text{Fejl1}=1.000\%$ ;  $\text{Fejl2}=300\%$ ;  $\text{Fejl3}=20\% \rightarrow \Sigma \text{Fejl}=1.044\%$ ) viser, at den største fejl dominerer opgørelsen af "den samlede fejl". Af denne årsag forekommer det relevant at fokusere indsatsen på især at minimere den største fejl, svarende til prøvetagningen i felten (den primære prøvetagning). Ud fra formlen ses det også, at en reduktion af fejl forbundet med laboratorieanalySEN normalt ikke har betydning for den samlede fejl. Anvendelse af metoden Multi Incremental Sampling har fokus på såvel prøvetagning i felten som prøveforberedelse i laboratoriet.

### Gennemsnitlig forureningskoncentration (en forudsætning)

MIS metoden er baseret på en forudsætning om, at det er korrekt, rimeligt og forsvarligt at træffe beslutninger for en given decision unit på baggrund af en gennemsnitlig bestemmelse af forureningsniveauet /ref. 7/. Ved metodens anvendelse er det maksimale forureningsniveau således uden interesse, idet beslutninger, herunder risikovurderinger, forudsættes truffet på baggrund en gennemsnitlig forureningskoncentration.

**MIS-metodens anvendelse**

MIS metoden finder primært anvendelse ved prøvetagning af overfladejord, udgravninger og oplagrede jordpartier. Anvendelse af MIS metoden stiller væsentligt større krav til planlægning, forarbejde mv., når prøvetagning foretages af vanskeligt tilgængelige jordlag, fx under belægninger eller fra dybe jordlag.

De nuværende danske erfaringer knytter sig til prøvetagning af forureningskomponenter, som i beskeden omfang er flygtige og mobile i jordmiljøet, herunder tungmetaller, tjærestoffer (PAH'er), eksplosiver og totalkulbrinter (ekskl. BTEX'er).

Metoden kan dog også anvendes til prøvetagning af flygtige forureningskomponenter, hvilket imidlertid stiller mere omfangsrige krav til prøvetagning og prøvekonservering (ekstraktion) i felten (se /ref. 4/ og /ref. 8/).

**MIS-metodens forslag til forøgelse af repræsentativitet ved prøvetagningen**

Årsagerne til en begrænset repræsentativitet (fejlkilder) ved prøvetagningen skyldes i stor udstrækning inhomogenitet, også kaldet heterogenitet, i den decision unit, som prøvetages. Heterogenitet kan være knyttet til sammensætningen af jordpartiklerne (compositional heterogeneity) i en decision unit samt fordelingen af jordpartiklerne i en decision unit (distributional heterogeneity).

Idet hver partikeltype kan have et specifikt forureningsindhold, er det væsentligt, at prøvetagningen repræsenterer alle partikeltyper. Fejl som følge af en underrepræsentation af nogle partikeltyper betegnes fundamental error (forkortet FE). Jf. /ref. 4/ kan denne fejl minimeres - til en foreslægt værdi på 15% - ved brug af følgende formel til bestemmelse af massen for den prøve, som analyseres:

$$\text{Masste af prøve (til analyse)} = \frac{20 \times d^3}{FE^2}$$

**Formel 2:** Bestemmelse af masse for prøve til analyse [gram] på baggrund af diameter ( $d$ ) for den største partikel i prøven

---

[cm] og en foreslået maksimal værdi for fundamental error på 0,15.

Et eksempel på formlens anvendelse angiver massen af en prøve til analyse til 7 gram, forudsat at der er foretaget en prøveforberedelse med sigtning af prøven til en maksimal partikelstørrelse på maksimalt 2 mm. Hermed er den gængse laboratoriepraksis for tungmetalanalyser med udtagning af en prøvemængde på 1-2 g problematisk.

Idet partiklerne kan have en forskellig gruppering/fordeling/lagdeling, er det også væsentligt, at prøvetagningen repræsenterer hele den pågældende decision unit og den rumlige variation, som er heri. Fejl som følge af en overrepræsentation af nogle grupperede partikler betegnes grouping and segregation error (forkortet GSE).

Jf. /ref. 4/ kan denne fejl (GSE) minimeres - til en foreslået værdi på 15% - ved brug af følgende formel til bestemmelse af det nødvendige antal increments ved udtagning af den samlede prøve (multi increment prøve):

$$\text{Antal af increments (multi increment prøve)} = \left( \frac{1}{GSE} \right)^2$$

**Formel 3:** Bestemmelse af antallet af increments i en multi increment prøve på baggrund af en foreslået maksimal værdi for grouping and segregation error på 0,15.

Anvendelse af formlen angiver antallet af increments til minimum 44, hvilket stemmer fint overens med den generelle anbefaling for udtagning af 50-100 increments til hver multi increment prøve.

## Prøvetagning

### 1. Fastlæggelse af Data Quality Objectives

Ved metodens anvendelse fastlægges indledningsvis formål med og krav til prøvetagningen, herunder hvilke spørgsmål der skal besvares, hvilke prøver der skal udtages, hvilke sammenligningskriterier der skal anvendes, hvilken størrelse af fejl der kan accepteres osv. Dette indledende arbejde betegnes som

---

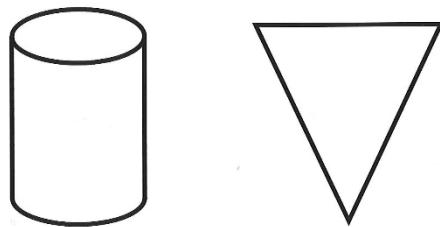
fastlæggelse af Data Quality Objectives, (forkortet DQO) og er nærmere beskrevet i /ref. 6/ og /ref. 7/.

## **2. Afgrænsning af decision unit**

Efterfølgende afgrænses prøvetagningsområdet, svarende til den jordmængde (område og tilhørende volumen), for hvilken der skal tages en beslutning. Denne jordmængde betegnes som en decision unit (forkortet DU).

## **3. Valg af prøvetagningsudstyr**

Det anbefales at vælge prøvetagningsudstyr, således at hele det ønskede jordprofil prøvetages og dermed repræsenteres i prøven. Udtag fx cylinderformet prøve frem for kegleformet prøve, idet sidstnævnte medfører mangelfuld repræsentation af den dybeste del af jordprofilet (se figur 1).



**Figur 1:** Illustration af jordprofil. Cylinderform giver den mest repræsentative prøvetagning.

Aktuelt foreligger danske erfaringer med brugen af golfbane-prøvetager (se figur 2) og håndboreudstyr. Inspiration til valg af prøvetagningsudstyr kan søges i /ref. 4/.



**Figur 2:** Foto af golfbaneprøvetager (tv.) til udtagning af cylinderformede increments (th.), increment-størrelse 10 cm, ø25 mm, svarende til ca. 80 gram jord.

I forbindelse med prøvetagningen anbefales det, af hensyn til analyselaboratoriet, at forsøge at minimere vægten af den samlede multi-increment prøve. Denne anbefaling skyldes, at laboratoriet - ved den efterfølgende prøveforberedelse - vil have udfordringer med at håndtere den store prøvestørrelse, fx i forbindelse med tørring. Aktuelt foreligger danske erfaringer, hvor analyselaboratorierne er i stand til at håndtere prøver på op til ca. 6 kg.

#### **4. Udtagning af increments**

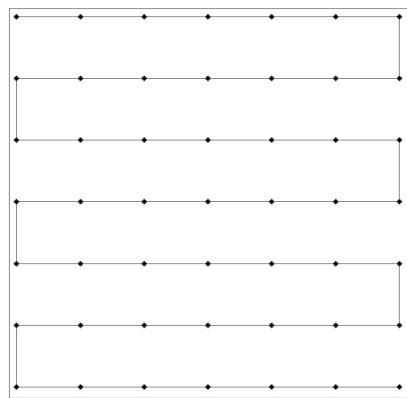
Når MIS metoden anvendes, opdeles et forurenset område i decision units, og der udtages en række delprøver (increments) fra hver unit - ofte 50-100 stk. pr. DU - med henblik på at fastlægge den gennemsnitlige værdi for forureningsniveauet i denne jordmængde.

Ved udtagningen af de mange increments er det væsentligt at udføre en prøvetagning, som sikrer, at hele den pågældende decision unit repræsenteres, og det er væsentligt at sikre, at prøvetagningen foregår således, at alle punkter har den samme mulighed for at blive prøvetaget. Et eksempel på en situation, hvor dette fundationale prøvetagningsprincip ikke er opfyldt, er ved udtagning af prøver fra en jordmile. Hvis en trapezfor-

---

met jordmile er 2,5 m høj og 5 m bred, og der udtages increments med et håndbor på 1 m, har jorden nederst i midten af milen ingen mulighed for at komme med i prøven.

En **repræsentativ prøvetagning** ved terrænnær prøvetagning kan tilstræbes ved at udtage de 50-100 increments i et struktureret net, som omfatter hele den pågældende DU (se figur 3).



**Figur 3:** Illustration af prøvetagningsnet, som repræsenterer en kvadratisk decision unit på  $1.000 \text{ m}^2$  og 49 increments.

Den indbyrdes afstand mellem de enkelte increments kan bestemmes ved følgende formel /ref. 4/:

$$\text{Increment afstand} = \sqrt{\frac{\text{DU_Areal}}{(\sqrt{\text{Antal_increments}} - 1)^2}}$$

$$\text{Increment afstand (50 increments)} = \sqrt{\text{DU_Areal}/37}$$

**Formel 4:** Bestemmelse af afstand mellem enkelte increments i DU.

Eksempler på formlens anvendelse angiver afstanden mellem de enkelte increments (50 increments prøve) hhv. for et areal

---

på 1.000 m<sup>2</sup> til 5 meter (illustreret i figur 3) og for et areal på 200 m<sup>2</sup> til 2,3 meter.

En **repræsentativ prøvetagning** af en jordmile kan optimalt foretages ved flytning af jordmilen og løbende udtagning af 50-100 increments i takt med, at milen flyttes, og jorden håndtes. Alternativt kan repræsentativ prøvetagning af en jordmile foretages ved udtagning af 50-100 increments, som ligeligt repræsenterer de forskellige ”dybder” i milen.

## 5. Prøveforberedelse i laboratoriet

Efter udtagning af jordprøverne og inden gennemførelse af akkrediteret kemisk analyse gennemgår jordprøverne en meget grundig prøveforberedelse, der kan omfatte tørring, nedknusning, sigtning og repræsentativ neddeling. Denne prøveforberedelse, som udføres i laboratoriet, foretages med henblik på at reducere fejlkilder ved kvantificeringen af forureningsindholdet. Prøveforberedelsen udføres som beskrevet i beskrivelsen for MIS-prøveforberedelse ved analyselaboratorier /ref. 9/.

Processen med **nedknusning og sigtning** har til formål at reducere den maksimale partikelstørrelse, der indgår i den prøve, som skal analyseres. Ved at reducere den maksimale partikelstørrelse reduceres den prøvemængde, det er nødvendigt at analysere for at minimere en af de væsentlige fejlkilder, fundamental error, ved prøvetagningen (jf. formel 2). Tørring er nødvendig for, at prøven efterfølgende kan nedknuses og sigtes.

Den **repræsentative neddeling** kan foretages ved hjælp af en rotordeler, en spalteneddeler eller ved manuel neddeling. Neddelingen har til formål at frembringe en repræsentativ delprøve i en mængde, som kan anvendes i den tilgængelige analysemetode.

Erfaringerne fra de gennemførte danske projekter viser, at det er væsentligt med en præcis instruktion til og samtale med laboratoriet, idet prøveforberedelsen knyttet til MIS-metoden er ny og således ikke standard hos laboratoriet.

---

## Kvalitetskontrol til vurdering af præcision og reproducérbarhed

I forbindelse med metodens anvendelse er det hensigtsmæssigt at udføre kvalitetskontrol til at vurdere, hvor godt (præcist) en given foreureningskoncentration er bestemt, og hvor reproducerbart resultatet er.

Kvalitetssikringen udføres ved i en eller flere udvalgte decision units at udtagte **tre eller flere** principielt identiske **replikatprøver** (multi increment prøver). Der udtages således først en multi increment prøve fra den pågældende decision unit, bestående af 50-100 increments, og efterfølgende foretages minimum to tilsvarende - men individuelle - multi increment prøver. Alle de udtagne replikatprøver prøveforberedes og analyseres efter samme fremgangsmåde.

Det er væsentligt, at replikatprøverne udtages efter samme principper om vilkårighed i prøvetagningen og repræsentation af hele decision unitten, som er anført under "Fremgangsmåde (MIS prøvetagning)", punkt 4.

Når resultatet af replikatprøverne foreligger, beregnes den relative standardafvigelse for disse. Den relative standardafvigelse, RSD, beregnes efter følgende formel:

$$\text{Relativ standardafvigelse (RSD)} = \left( \frac{\text{Standardafvigelse}}{\text{Middelværdi}} \right) \times 100$$

**Formel 5:** Bestemmelse af relativ standardafvigelse, RSD.

Den relative standardafvigelse anvendes til at vurdere, hvor god (præcis) prøvetagningen har været, svarende til et relativt mål for den samlede fejl ved prøvetagningen.

Til vurdering af prøvetagningen kan anvendes følgende skala /ref. 4/ og /ref. 7/. Dog er den acceptable RSD noget, der bør fastlægges i planlægningsfasen i forbindelse med Data Quality Objectives.

**RSD < 35%**

Præcis bestemmelse af forureningsniveau (stor reproducerbarhed). De tre eller flere bestemte værdier for forureningsniveauet (replikatprøver) kan betragtes som normalfordelte.

**35% < RSD < 50%**

Acceptabel bestemmelse af forureningsniveau (rimelig reproducerbarhed). De tre eller flere bestemte værdier for forureningsniveauet (replikatprøver) kan betragtes som skævt normalfordelte.

**50% < RSD < 75%**

Kritisk bestemmelse af forureningsniveau (usikker reproducerbarhed). Anvendelsen af de bestemte værdier for forureningsniveauet bør vurderes i forhold til, hvor tæt på det relevante kvalitetskriterium værdierne er (fx jordkvalitets- eller afskæringskriterium).

Eksempelvis vil et gennemsnitligt forureningsniveau på 90 mg kobber/kg TS og en RSD-værdi på 75% (~157 mg kobber/kg TS) ikke give anledning til en mere forsiktig dataanvendelse (jordkvalitetskriterium 500 mg kobber/kg TS). Modsat vil et gennemsnitligt forureningsniveau på 90 mg totalkulbrinter/kg TS og en RSD-værdi på 75% (~157 mg totalkulbrinter /kg TS) medføre en mere forsiktig dataanvendelse. Det skyldes, at den gennemsnitlige forureningskoncentration, inkl. standardafvigelsen, i totalkulbrinte- eksemplet overskrider det gældende jordkvalitetskriterium (se tabel 1).

Forurenings-kompon-ent	Gennemsnitligt forureningsniveau (middel-værdi) [mg/kg]	Standardafvigelse [mg/kg]	Relativ standart-afvigelse [%]	Forurenings-niveau, inkl. standard-afvigelse [mg/kg]	Jordkvali-tetskriterium [mg/kg]
<b>Kobber</b>	70	21	30%	91	100
	90	63	70%	153	500
	400	220	55%	620	500
<b>Total-kulbrinter</b>	70	21	30%	91	100
	90	63	70%	153	100
	400	220	55%	620	500

**Tabel 1:** Eksempler til illustration af, hvornår RSD-værdier bør medføre en mere forsiktig dataanvendelse (grå felter → forsiktig dataanvendelse).

#### RSD > 100%

Ikke acceptabel bestemmelse af forureningsniveau (ringe reproducerbarhed). Ny og forbedret prøvetagning bør overvejes.

Det skal understreges, at RSD > 100% ikke er et udtryk for dårligt udført arbejde, men simpelthen kan være et udtryk for, at forureningsmønstret i pågældende decision unit er MEGET inhomogen og dermed resulterer i en stor variabilitet. En sådan inhomogenitet kan "håndteres" via uddeling af et større antal increments ved en gentagen prøvetagning.

#### Metodens udbredelse

Metoden Multi Incremental Sampling har opnået en væsentlig udbredelse (anwendung) gennem de senere år - særligt i USA, hvor to amerikanske stater (Hawaii og Alaska) specifikt foreskriver metoden som deres foretrukne prøvetagningsstrategi /ref. 4/ og /ref. 8/.

#### REFERENCER

/ref. 1/ Pierre Gy, Sampling for Analytical Purposes, Wiley, 1998.

- 
- 
- /ref 2/ Dansk standard, 2013. Repræsentativ prøvetagning - Horizontal standard, DS 3077, 2. Udgave.
  - /ref 3/ Petersen, L, P. Minkkinen & K. Esbensen, 2005. Representative sampling for reliable data analysis: Theory of Sampling. *Chemometrics and Intelligent laboratory systems*, 77, s. 261-277.
  - /ref. 4/ Technical Guidance Manual for the Implementation of the Hawaii State Contingency Plan. June 21, 2009. Department of Health, State of Hawaii (<http://www.hawaiidoh.org>).
  - /ref. 5/ Rasemann, W., 2000. Industrial Waste Dumps, Sampling and Analysis, Encyclopedia of Analytical Chemistry.
  - /ref. 6/ Guidance for the Data Quality Objectives Process, EPA QA/G-4. United States Environmental Protection Agency. August 2000.
  - /ref. 7/ Kursus: Sampling for defensible environmental decisions (Multi Incremental Sampling). ENVIROSTAT, København, 21.-24. oktober 2013
  - /ref. 8/ Draft Guidance on Multi Incremental Soil Sampling. March, 2009. Department of Environmental Conservation, State of Alaska.
  - /ref. 9/ Multiple Incremental Sampling (MIS), Beskrivelse for MIS-prøveforberedelse ved analyselaboratorium, Udarbejdet for Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse af NIRAS A/S, marts 2015.