

Resultat från pilot- och laboriестudier av riskreducerande åtgärdsmetoder för PFAS på Arlanda

Sweco på uppdrag av Swedavia

22 November 2022

Niklas Törneman, Sweco



Bakgrund

- ❑ Förekomst av PFAS i jord och grundvatten på Arlanda
- ❑ Alternativ till grävsanering utreds av följande skäl:
 - ✓ Praktiskt mycket svårt med grävsanering inom delar av Arlanda pga. av flygtrafik och närhet till landningsbanor
 - ✓ Komplex att rikta grävsanering mot "rätt" källförekomst av PFAS så att uttransport till dagvatten, ytvatten och grundvatten reduceras
 - ✓ Enbart grävsanering skulle vara mycket kostsamt
 - ✓ Ur ett hållbarhetsperspektiv bör alternativ till grävsanering beaktas om andra metoder leder till tillräcklig riskreduktion

Varför är åtgärder komplicerade för just PFAS

1. Många ämnen, och varierande riktvärden
2. Många ämnen med varierande egenskaper – alla tekniker fungerar inte lika bra för alla ämnen
3. Olämpliga egenskaper försvårar eller omöjliggör flertalet ”vanligare” tekniker
4. Beteende i miljön är okänd för de flesta, och dessutom platsspecifikt. T.ex. problemet med åtgärder i källa kontra plym

Vart skall åtgärder riktas?

Brandövning med skum



1. Viss andel PFAS "alltid" kvar i ytjord

2. Komplicerad urlakning från jord beroende bl.a. på

- pH
- Jonstyrka, ytladdning
- TOC

Omättad zon

$m_{\text{pfas-soil}}$

Grundvatten nivå

3. PFAS beteende i gränsszon kan vara viktig. Beroende bl.a. på fasytor olja-vatten, vatten-luft, vatten-olja

Grundvattenflöde

4. Vad styr plymutveckling i jordlager:

- Lakning från jord?
- Miljökemi i zon mellan mättad och omättad?
- Mängd som fastlagts i akvifären?

$m_{\text{pfas-gw}}$

→ Hur effektivt är det att avlägsna PFAS i jord för att minska spridning?

5. Transport i berg:

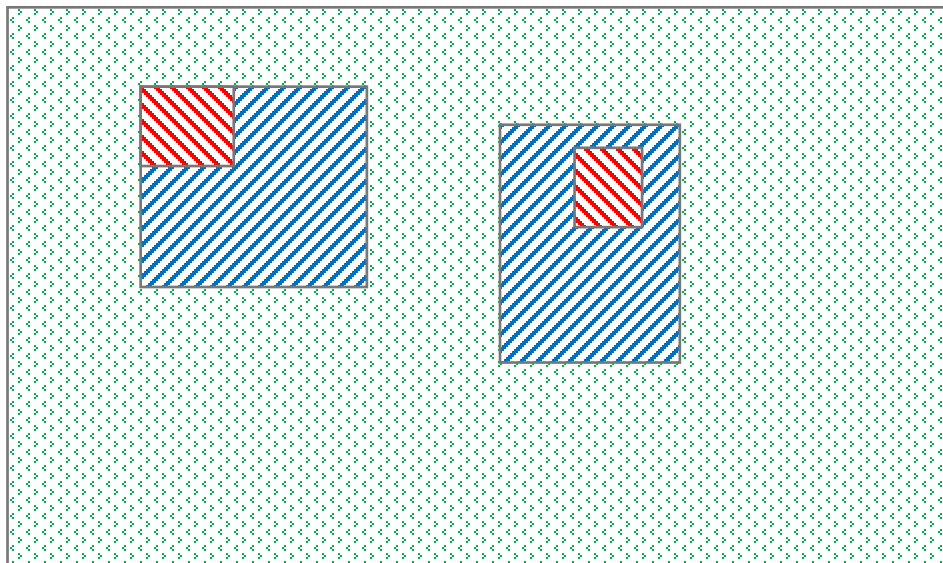
- Spricktransport
- Riktning kan vara annorlunda än i jord

Metoder som testas på Arlanda

- ✓ Immobilisering av PFAS i grundvatten = sorptionsbarriär – pilotförsök i fält
- ✓ Immobilisering av PFAS i ytjord – pilotförsök i fält
- ✓ Avancerad Jordtvätt – labförsök på samlingsprov av jord
- ✓ Termisk behandling – labförsök på samlingsprov av jord

In Situ metoder baserade på kemisk oxidation, reduktion samt mikrobiell reduktion har i nuläget uteslutits pga. av PFAS ämnesegenskaper

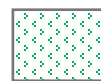
Strategi för kostnadseffektiv användning av olika metoder



Hög koncentration/hög risk



Lägre koncentration men fortfarande visst behov att åtgärda på plats



Låga koncentrationer, men signifikant mängd = källa till nedströms transport

Jordtvätt

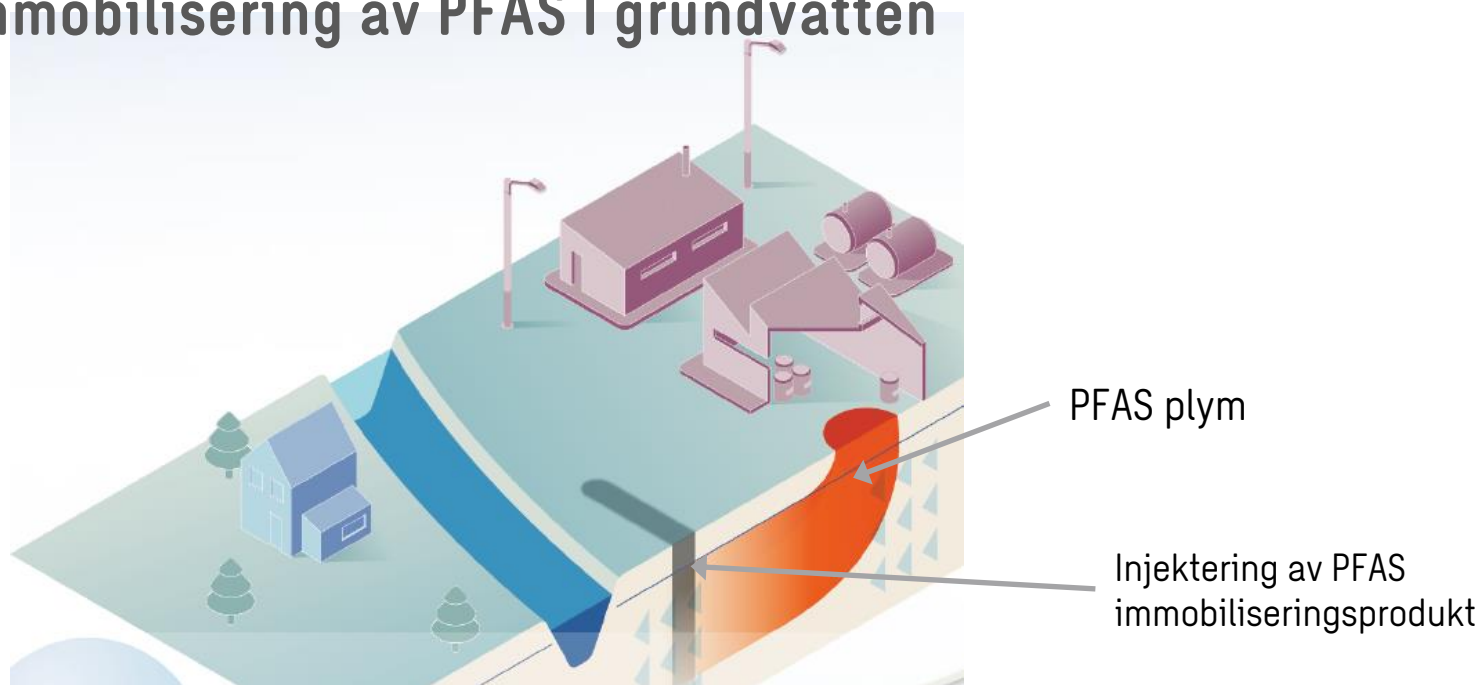
Termisk behandling

Gräva och deponera

Immobilisering ytjord

Sorptionsbarriär







Immobilisering av PFAS i grundvatten



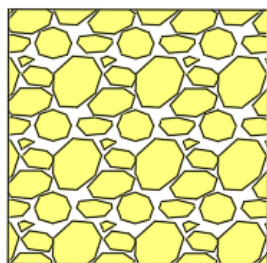
- Mycket kostnadseffektivt
- Har använts i full skala för andra ämnesgrupper
- Finns även (mindre) fullskaliga projekt för PFAS
- Mycket stora krav på geohydrologisk karaktärisering av akvifer samt labtester – viktig del av budgeten
- Långsiktig uppföljning krävs.



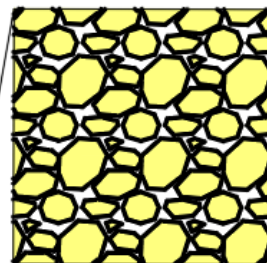
TECKENFÖRKLARING

	Intraplex
	Sand
	Lera
	Morän
	Vatten nivå
	Injektionspunkt

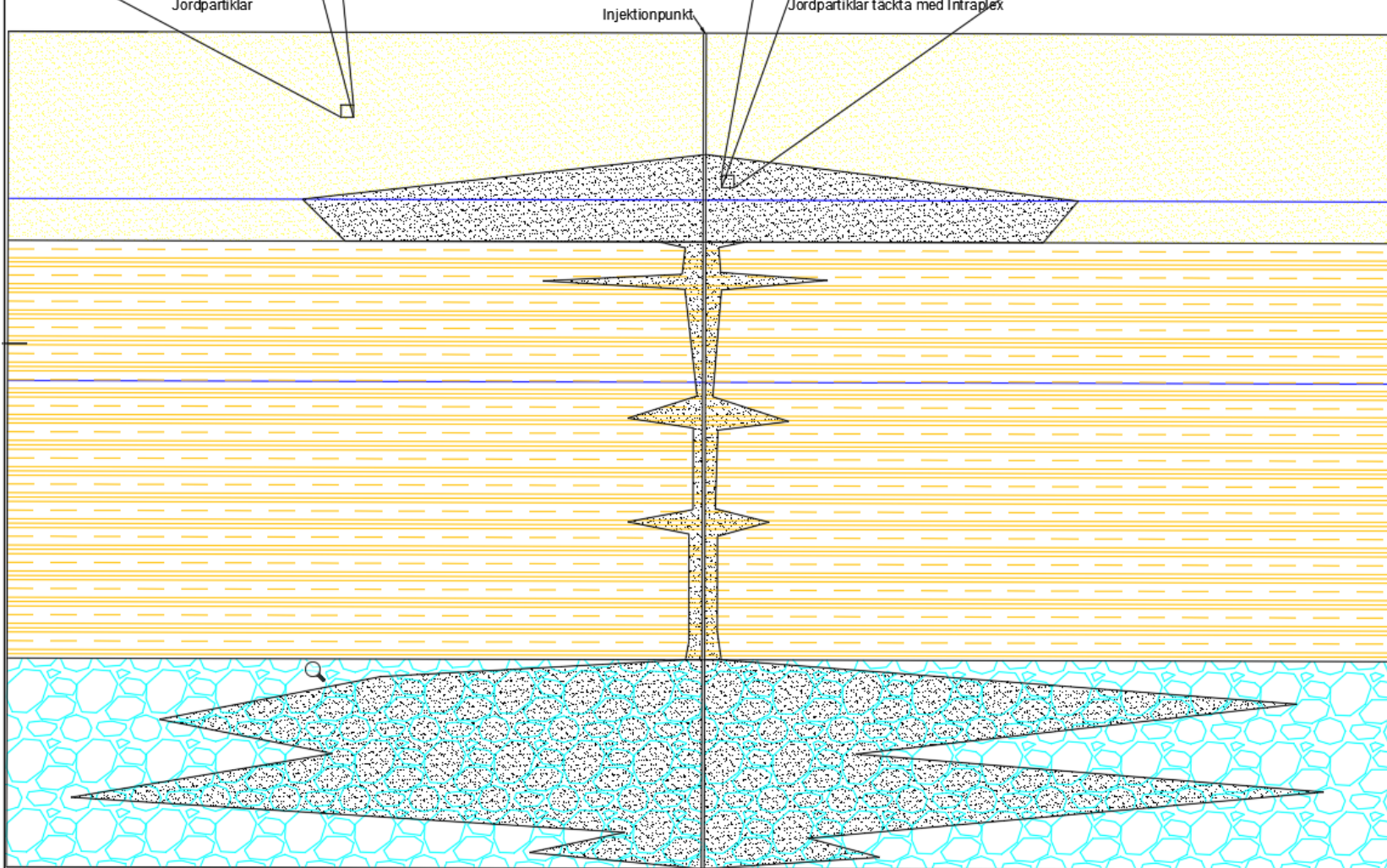
En borrhond används för att injektera Intraplex lösning. Sonden drivs först ned till bergöverytan och sedan lyfts sonden mot ytan samtidigt som Intraplex injekteras i jordlagren med hjälp av övertryck. Trycket driver Intraplex ut i formationen i högre grad i de mer permeabla lagren och de dominerande flödesvägarna. Lösningen fördelar ett tunt lager av aktivt kol som beläggning över jordpartiklarna utan att nämnvärt påverka permeabiliteten (genomströmning). Beläggningen fastlägger sedan PFAS när det passerar med grundvattnet genom den behandlade zonen.



Jordpartiklar



Jordpartiklar täckta med Intraplex



BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SKO	DATUM

Arlanda Flygplats

SWECO

SWECO Environment AB

Drottningtorget 14, 211 25 Malmö
Telefon: 040 16 70 00, Fax: 040 15 43 47

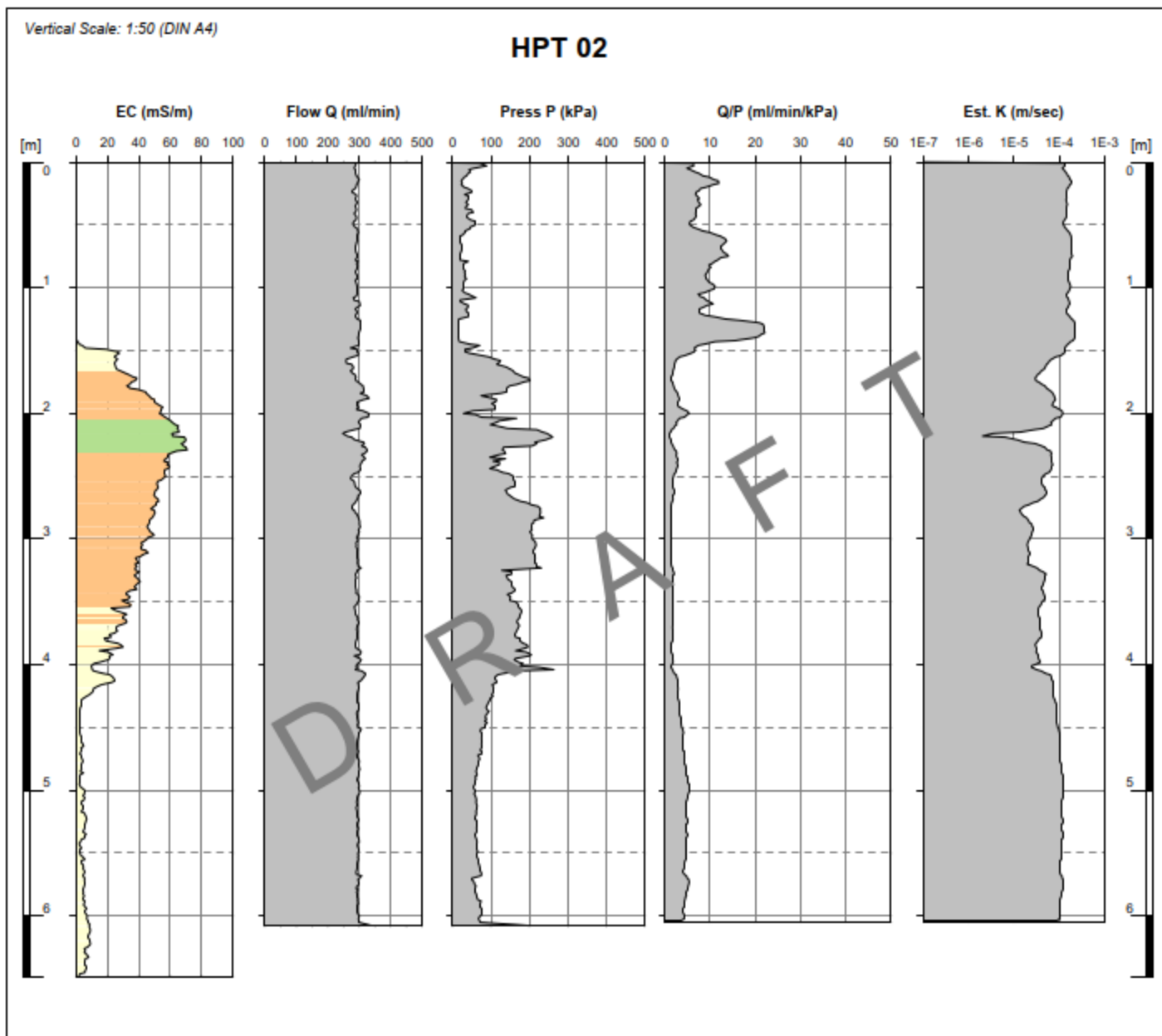


UPPDRAG NR 30008460	RITAD AV N Dixon	KONSTRUERAD 	GRANSKAD N Törneman
DATUM 210805	ANSVARIG N. Törneman		

Draft

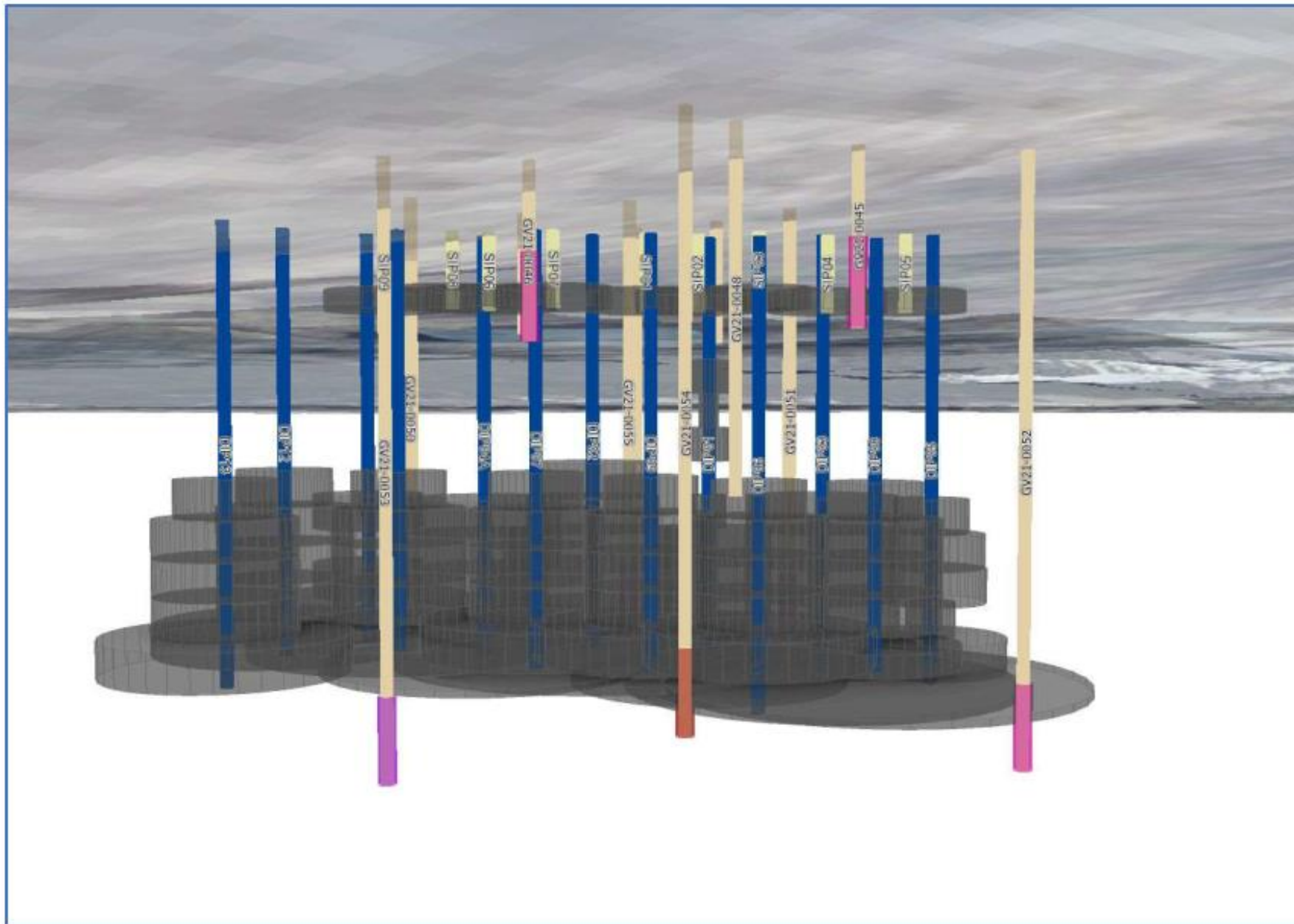
Injektion schematisk

SKALA Ej skalenlig	NUMMER 	I BET
-----------------------	------------	-----------



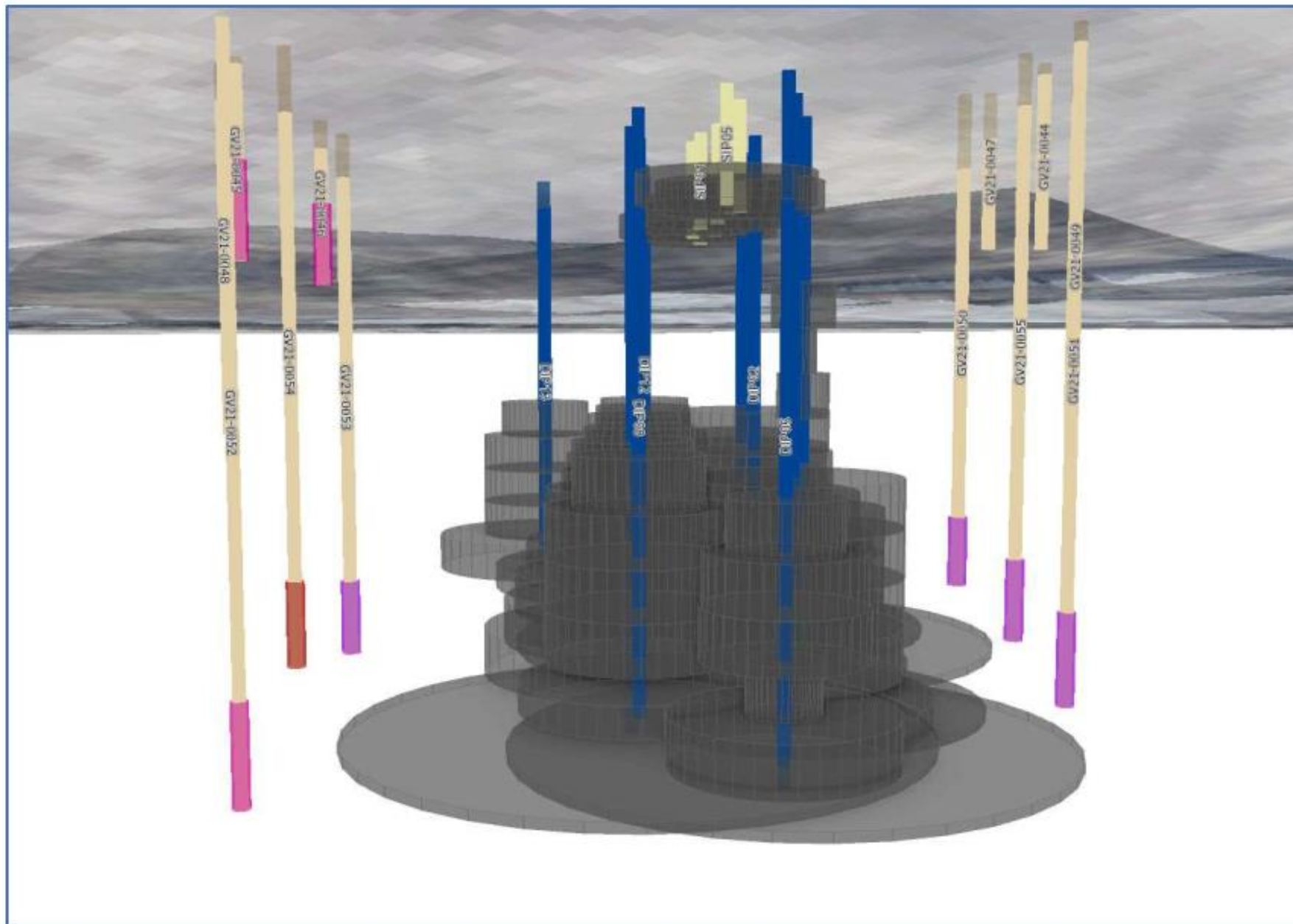
Geoprobe/HPT eller motsvarande är absolut nödvändiga metoder för att projektera en barriärlösning.

Har man inte högupplöst kunskap om jordlager och genomsläpplighet är det stor risk att misslyckas



Volumes 3D:

Baserat på
injektionsloggar samt
mängd injicerad
produkt

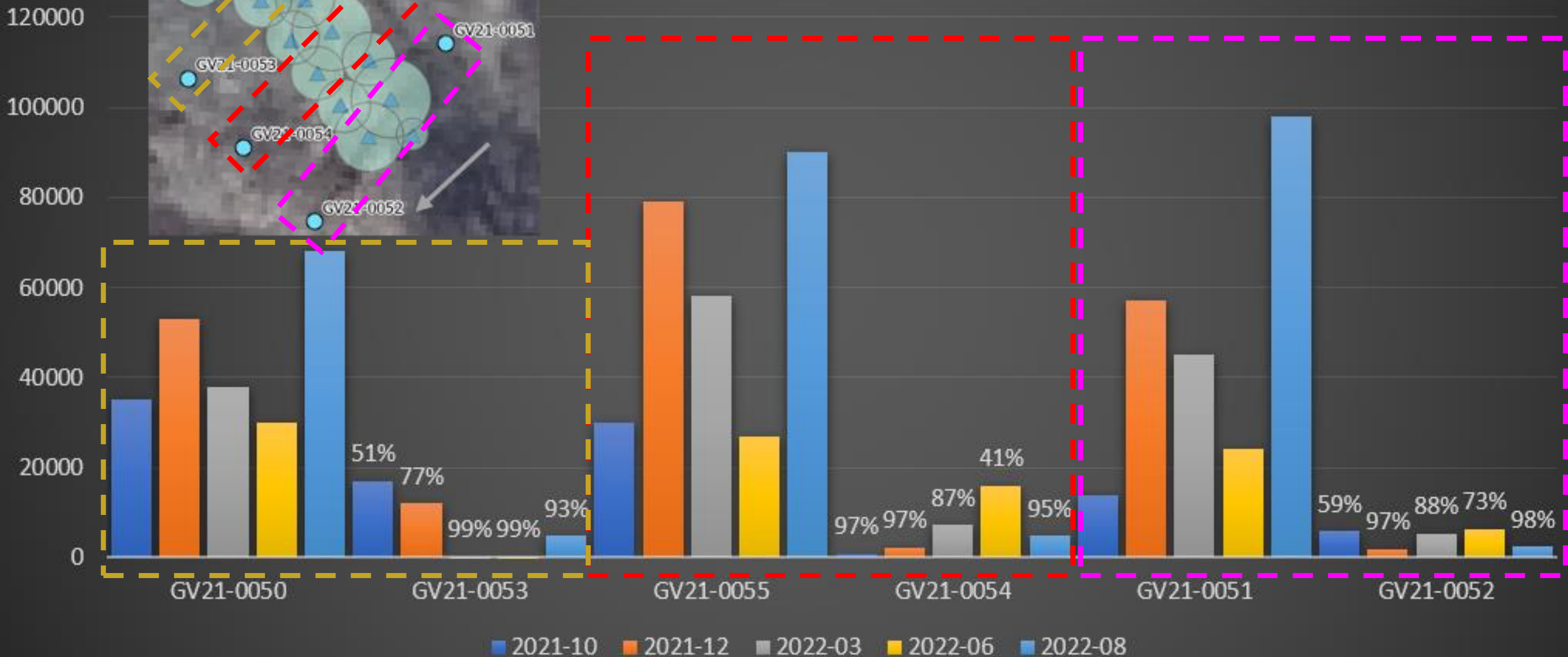


Volumes 3D:

Baserat på
injektionsloggar samt
mängd injicerad
produkt

Morän

PFAS Summa 11 ng/L



Dec-21			
Ämne	GV21-0055	GV21-0054	% change
Summa 11	79049	2187	97%
PFBA	850	650	24%
PFPeA	2400	850	65%
PFHxA	4200	160	96%
PFHpA	930	21	98%
PFOA	4100	32	99%
PFNA	64	0,63	99%
PFDA	<10	<0,3	97%
PFBS	3000	100	97%
PFHxS	20000	110	99%
PFOS	40000	230	99%
6:2 FTS	3500	33	99%

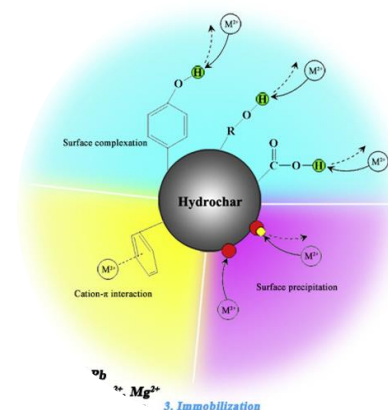
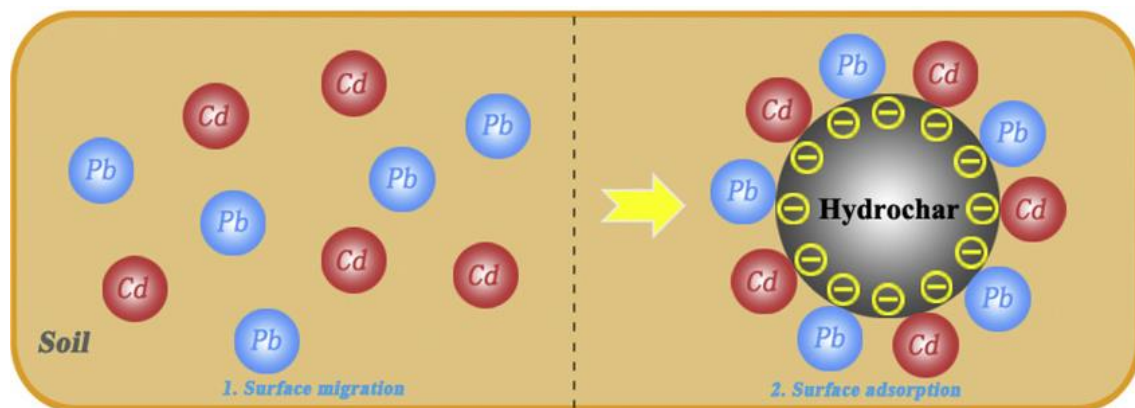
Jun-22			
Ämne	GV21-0055	GV21-0054	% change
Summa 11	16000	27000	41%
PFBA	670	480	-40%
PFPeA	2700	2000	-35%
PFHxA	1800	2000	10%
PFHpA	470	660	29%
PFOA	760	1500	49%
PFNA	28	31	10%
PFDA	<10	<10	-
PFBS	700	760	8%
PFHxS	2400	5300	55%
PFOS	5700	13000	56%
6:2 FTS	920	1100	16%

	Position längs med barriären	PFAS-halt uppströms (norr) (ng/l)	PFAS-halt nedströms (Syd) (ng/l)	PFAS-Reduktion (%)
Okt 2021	Väst	35112	17070	51%
	Mitten	29759	851	97%
	Öst	13500	5830	57%
Dec 2021	Väst	53163	11893	78%
	Mitten	79049	2187	97%
	Öst	56669	1935	97%
Mars 2022	Väst	38295	261	99%
	Mitten	57600	7280	87%
	Öst	44683	5330	88%
Juni 2022	Väst	2100	11	99%
	Mitten	27000	16000	41%
	Öst	24000	6400	73%
Aug 2022	Väst	68000	4900	93%
	Mitten	90000	5100	95%
	Öst	98000	2400	98%

Immobilisering av PFAS i yttlig jord ovanför grundvatten

- Ett material tillsätts jorden som gör att PFAS inte lakar ut till grundvatten eller ytvatten
- Tillsättning sker vanligen ovan jord efter att jorden grävts upp
- Kan användas på olika sätt:
 1. Den "PFAS immobiliserade" jorden förs till deponi till betydligt lägre mottagningskostnader eftersom urlakningen av PFAS är reducerad
 2. Den "PFAS immobiliserade" jorden läggs tillbaka.
 3. Kombinerar med exempelvis jordtvätt där den fraktion som återförs immobiliserar som ett extra säkerhetssteg.

Alternativ 2 eller 3 är det mest attraktiva för Arlanda



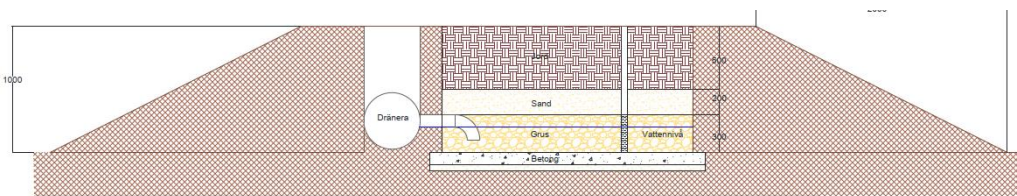
Pilotstudie



1
6

..delas upp i olika delvolymmer till vilka produkter tillsätts

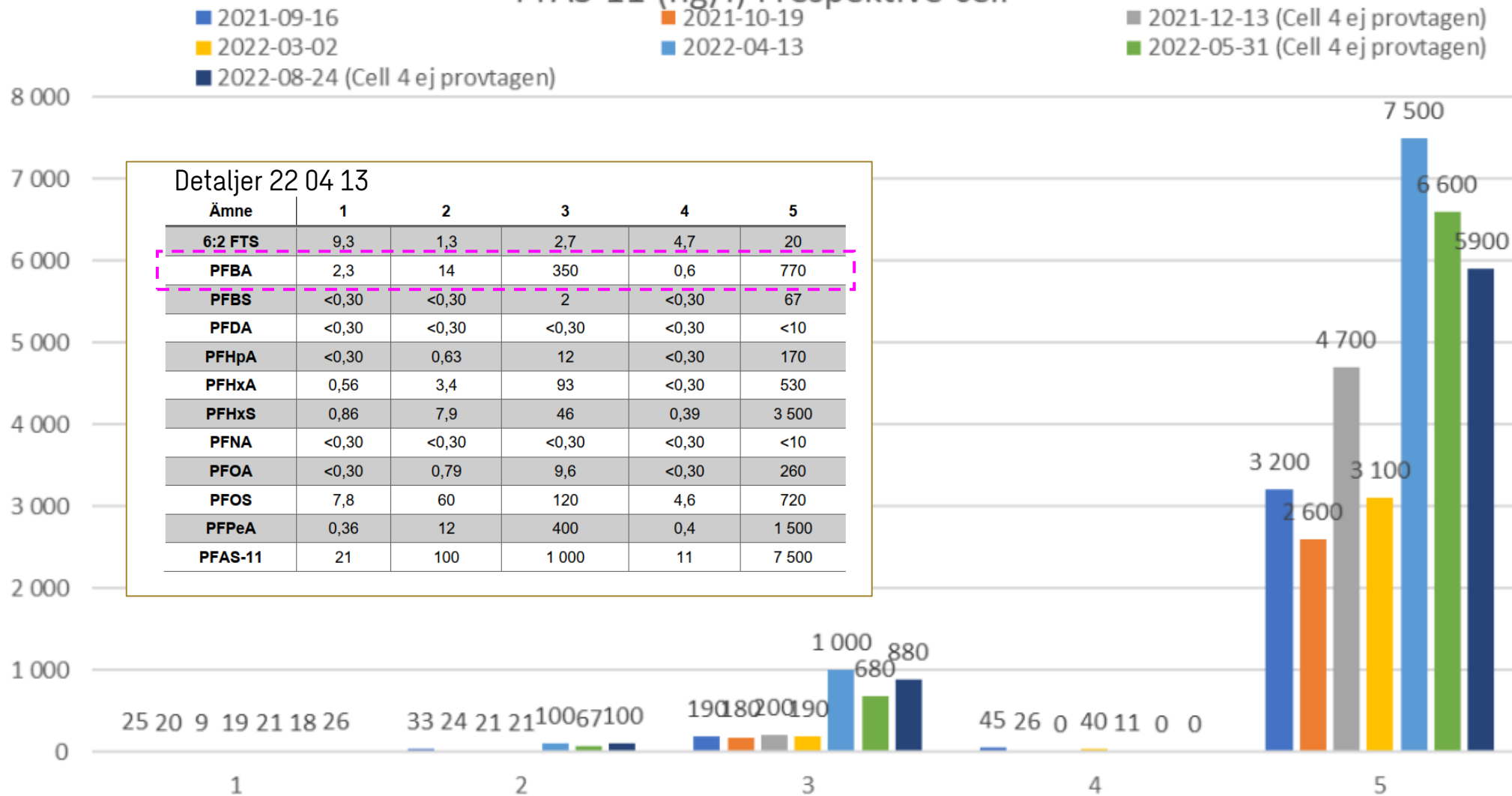




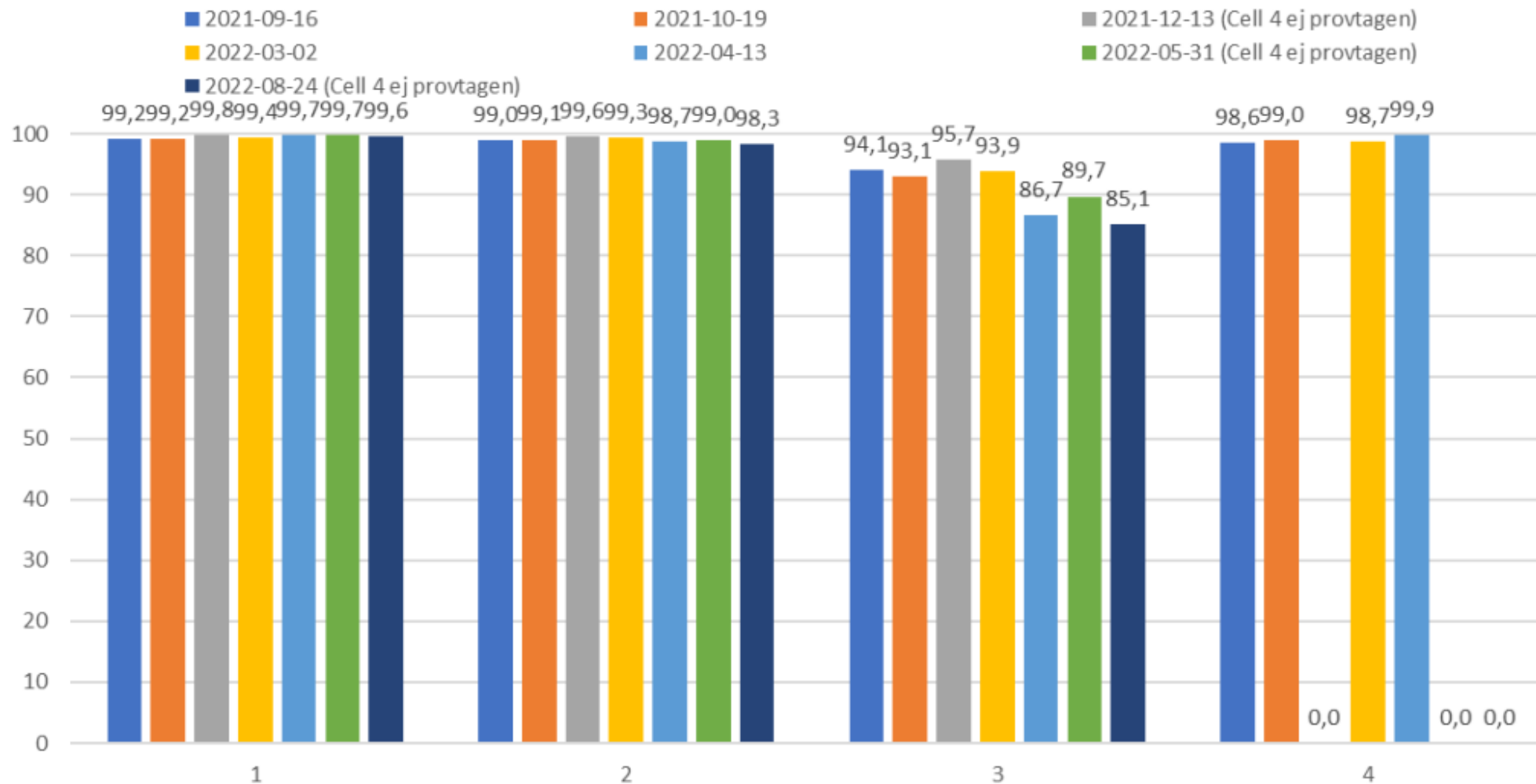
PFOS dominerar i jord (>90%) men ej i utlakat vatten



PFAS-11 (ng/l) i respektive cell

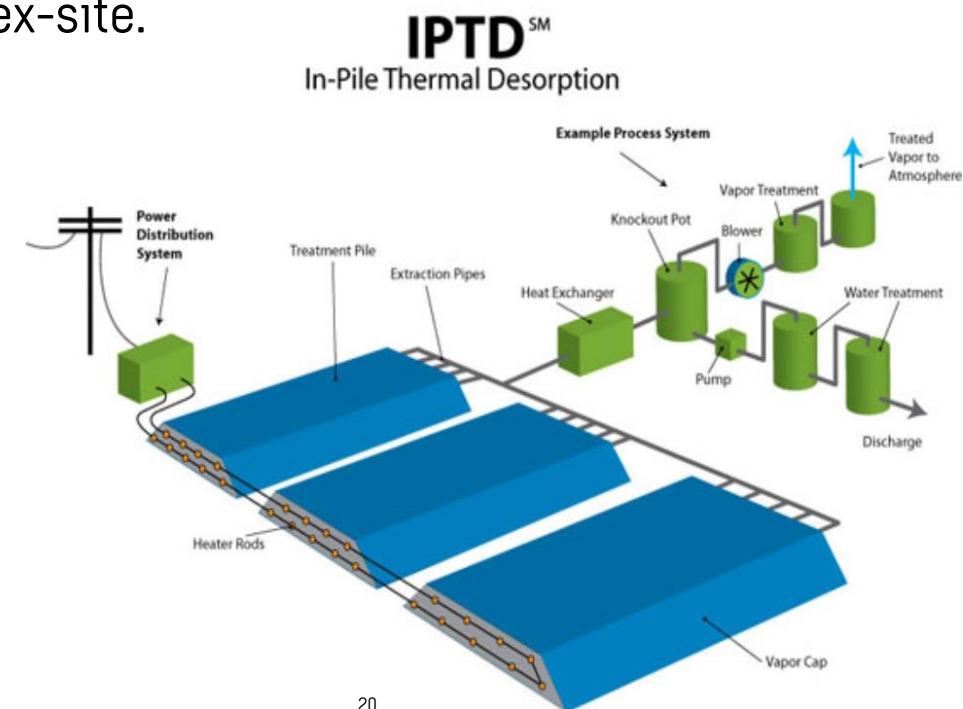
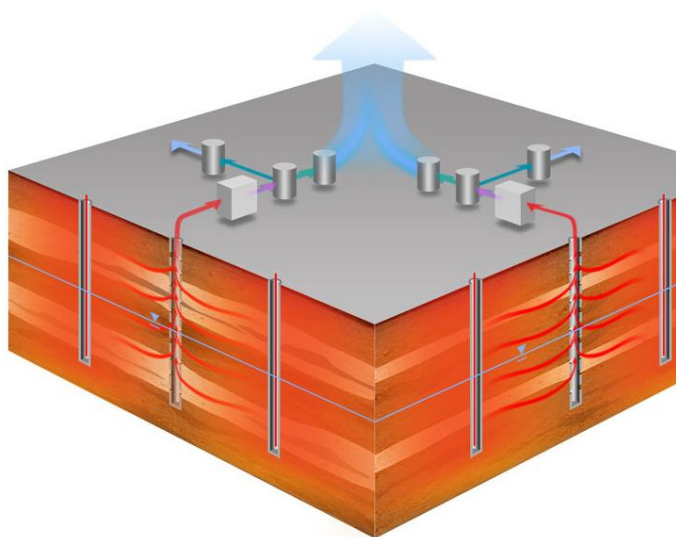


PFAS-11, procentuell reduktion för cell 1-4 relativt kontrollcell



Termisk avdrivning

- Termisk behandling innebär att den förorenade matrisen (jord, berg etc.) värms upp till en så hög temperatur att föroreningar avgår från det fasta materialet till (por)luft varefter föroreningar i luftfas samlas upp vid markytan och koncentreras/destrueras.
- Viss destruktion sker redan i marken av värmen.
- Termisk behandling kan antingen ske in-situ eller on-site eller ex-site.



Termisk avdrivning

- 2 samlingsprov som representerar ca 50 m² ytjord per prov har skickats för test hos specialistentreprenör (Kruger)
- Test-temperatur sattes till 400 grader, eftersom tidigare studier visat att man vid denna temperatur säkerställer att PFAS avgår från fast fas till luftfas
- Uppvärmning och uppsamling av luft sker i 14 dagar

Termisk avdrivning

Metod för provtagning är samma som vid fullskalig åtgärd

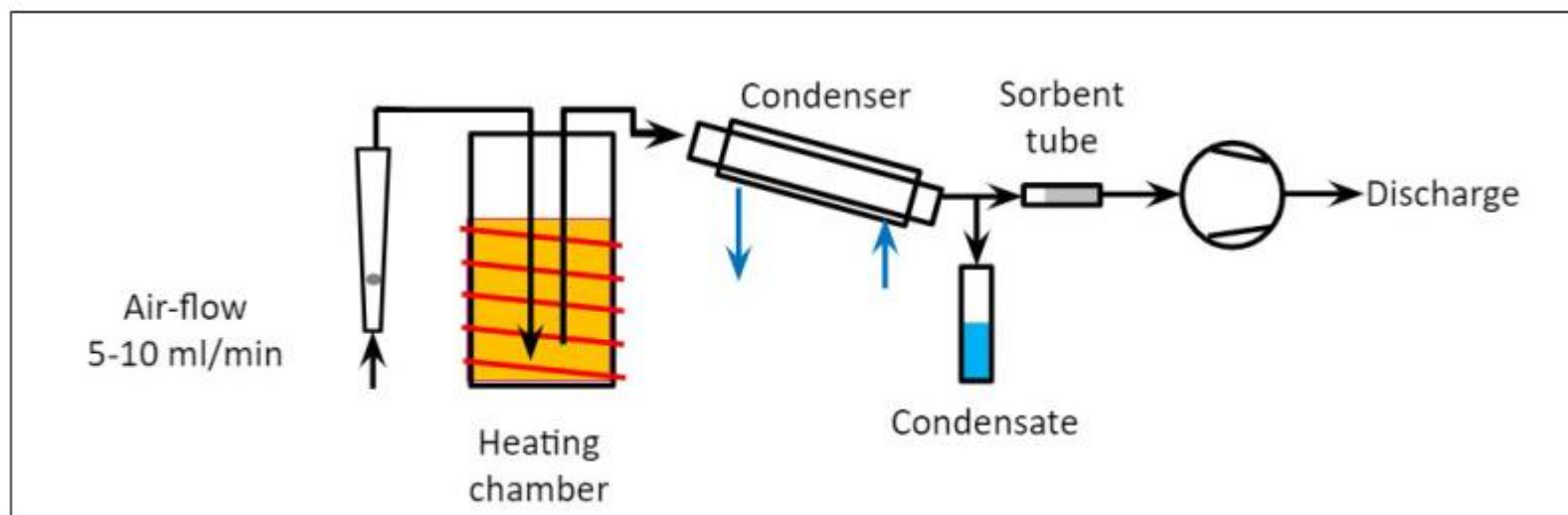
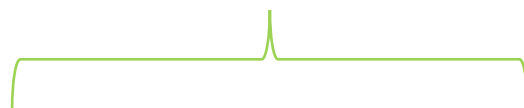


Figure 1: Experimental set-up for thermal soil remediation. The detailed list of equipment is shown in Appendix 9.1



Figure 2: a) Condensate during dry out; b) Condensate at the end of the heat treatment; c) Treated soil sample; d) Comparison of untreated and treated samples: top (untreated) bottom (treated)

Termisk avdrivning

Pre & Post treatment concentrations of soil sample "Area 1"		
	Untreated Soil [µg/kg ts]	Treated soil [µg/kg ts]
PFHxS	100	0.10
PFOS	8100	0.58
Sum PFAS	9100	<2.6*
Sum PFAS(TOP)	7300	< 83**

Pre & Post concentrations of soil sample "Area 3"		
	Untreated Soil [µg/kg ts]	Treated soil [µg/kg ts]
PFHxS	1.2	0.13
PFOS	30	1.0
Sum PFAS	44	<3
Sum PFAS(TOP)	120	< 83

*all other PFAS than PFHxS and PFOS are below detection limits.

** all precursors are below detection limits.

Sammanfattning resultat

- Sum PFAS = PFAS30
- Resultaten visar på mycket låga nivåer i de behandlade proven.
- Robust metod som är oberoende av ingående halter (inom det testade intervallet och typ av material).
- God potential in-situ, så till vida att 400 grader kan uppnås.
- Metoden kan även användas on-site genom att limpor med jord läggs upp ovan jord och behandlas på plats. Betydligt mer kostnadseffektivt.

Jordtvätt

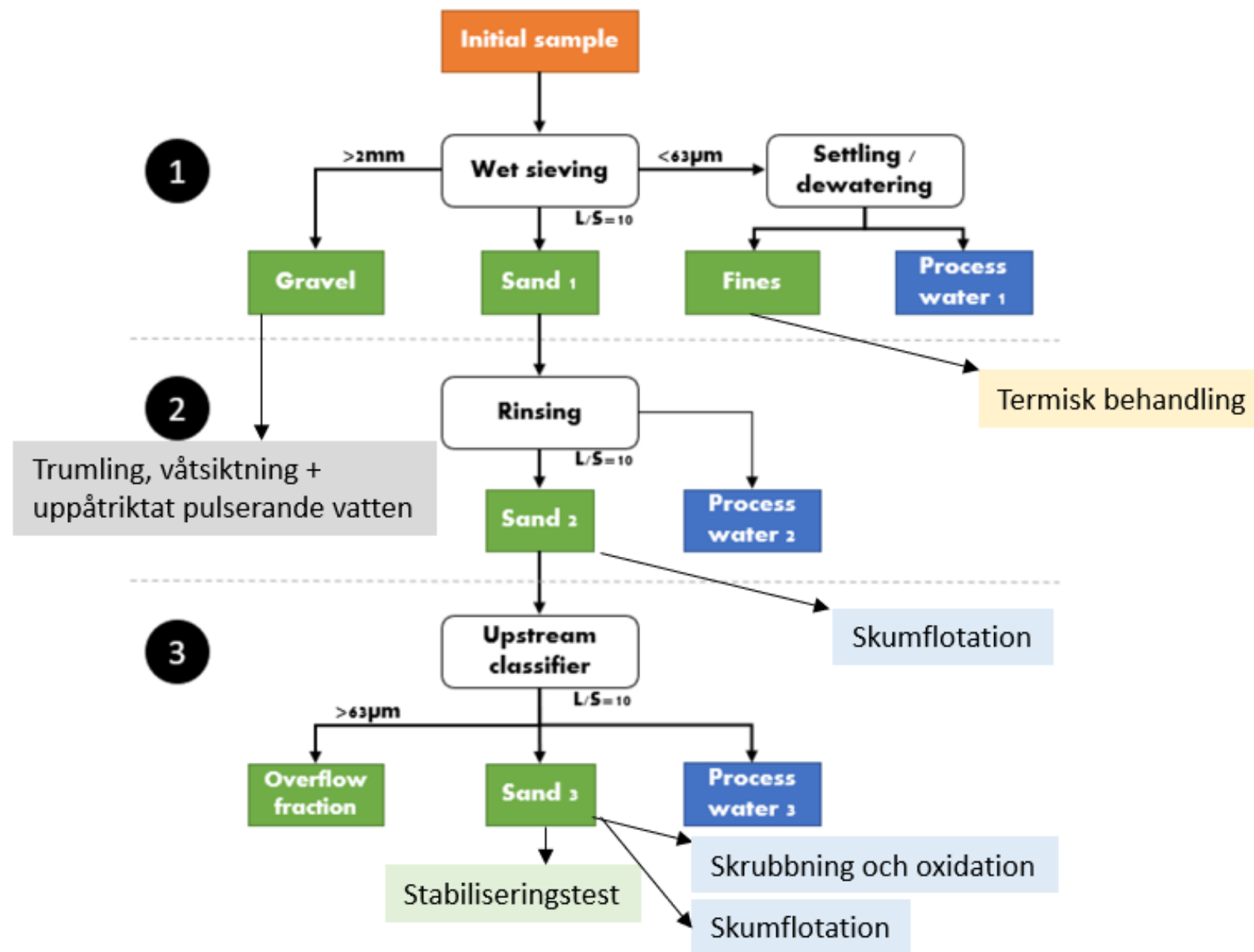
- Föroreningar tenderar att binda till finkornigt material. Jordtvätt separerar de mer förorenade fina partiklarna från det grövre materialet med hjälp av vätska, i detta fall endast vatten.
- Vid jordtvätt uppstår olika fraktioner med olika kornstorlek:
 - ✓ Den grövre fraktionen (vanligen grus och sand) kan återanvändas.
 - ✓ Finfraktionen (benämns ofta slam) behöver deponeras/behandlas
 - ✓ Tvättvatten behöver behandlas på plats
- Jordtvätt kräver att massorna schaktas upp. Behandlingen kan sedan ske på plats eller på annan plats beroende på mängden massor och kostnadseffektiviteten.

Jordtvätt

Flera olika metoder har testats för separation

- Fraktionering genom våtsiktning och genomsköljning med uppåtgående flöde.
- Kompletterande test på sandfraktion
 - ✓ Skrubbing av sand och kemisk oxidation med syra för att krossa organiskt material och oxidera det.
 - ✓ Skumflotation med tillsatt tensid för att avskilja organiskt material.
- Kompletterande test på grusfraktion.
 - ✓ Trumling
 - ✓ Genomsköljning med uppåtgående flöde för att skölja ur organiskt material.
- I projektet testas även termisk avdrivning på finfraktionen - som alternativ till deponering.
- I projektet testas även metoder för att minska urlakning från finfraktion - för att sänka kostnader för deponering

Process för olika test



Fördelning av PFAS efter kornstorlek

Fördelning av PFAS efter kornstorlek (grus, sand och finfraktion), genom våtsiktning och genomsköljning med uppåtgående flöde.

- Testet gav kraftig reduktion av halten PFAS i sand och grus.
- Reduktionen var inte tillräcklig i de prov där halten ursprungligen var hög.
- Sannolikt är orsaken till att haltreduktionen inte var lika stor som förväntat innehållet av organiskt material som binder föroreningen.

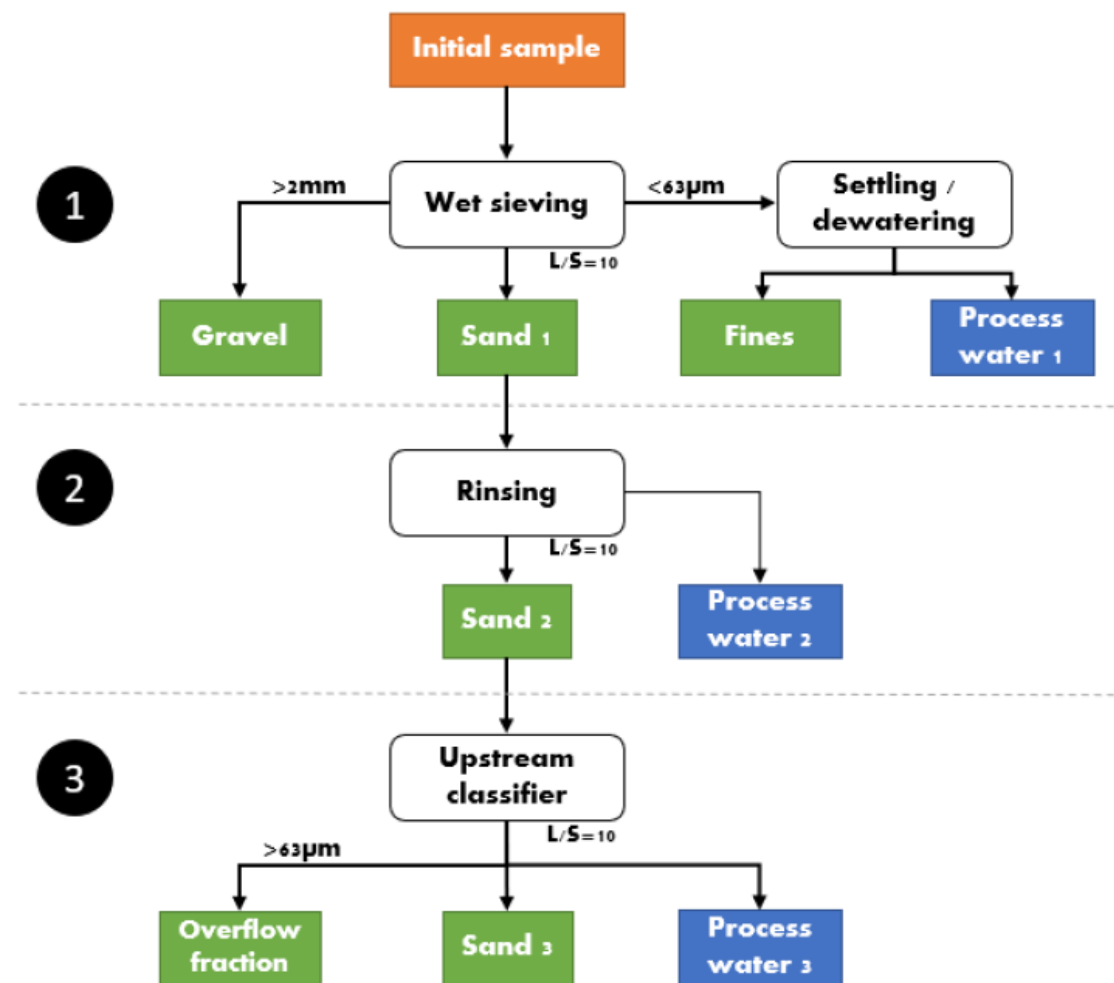


Figure 1: Schematic overview of soil wash trial setup

Tabell 7 Resultat samt reningsgrad för test på jordprov OMR1. Summahalten är för PFAS18. Enhet µg/kg / TS.

Prov	Våtsiktning	Uppåtriktat vattenflöde	Skrubbing	Oxidation	Skumflotation	Trumling grus	Pulserande vatten (Jigging)	Mängd vatten (liquid/solid)	PFOS µg/kg	% reningsgrad	PFAS total	% reningsgrad
Ursprungligt jordprov OMR1								/	1700		2478	
Sand 1	x							10	980	42%	1248	50%
Sand 2	x							10	870	49%	1074	57%
Sand 3	x	x						10	250	85%	318	87%
Sand 3	x	x						>>	190	89%	243	90%
Sand 3*	x	x						>>	280	84%	360	85%
Sand	x	x	x					>>	110	94%	144	94%
Sand	x	x	x	x				>>	120	93%	157	94%
Sand	x	x			x			>>	78	95%	102	96%
Sand	x				x			>>	160	91%	192	92%
Grus	x							10	370	78%	475	81%
Grus	x	x						>>	180	89%	227	91%
Grus	x							>>	210	88%	275	89%
Grus	x					x	x	>>	44	97%	53	98%
Finfraktion	x							10	3900	-129%	5910	-139%

*: Ett nytt prov behandlades på samma sätt som för att ha tillräckligt med material för fortsatta test på fraktionen Sand 3.

<<: stor mängd vatten vars volym inte mättes.

Immobilisering

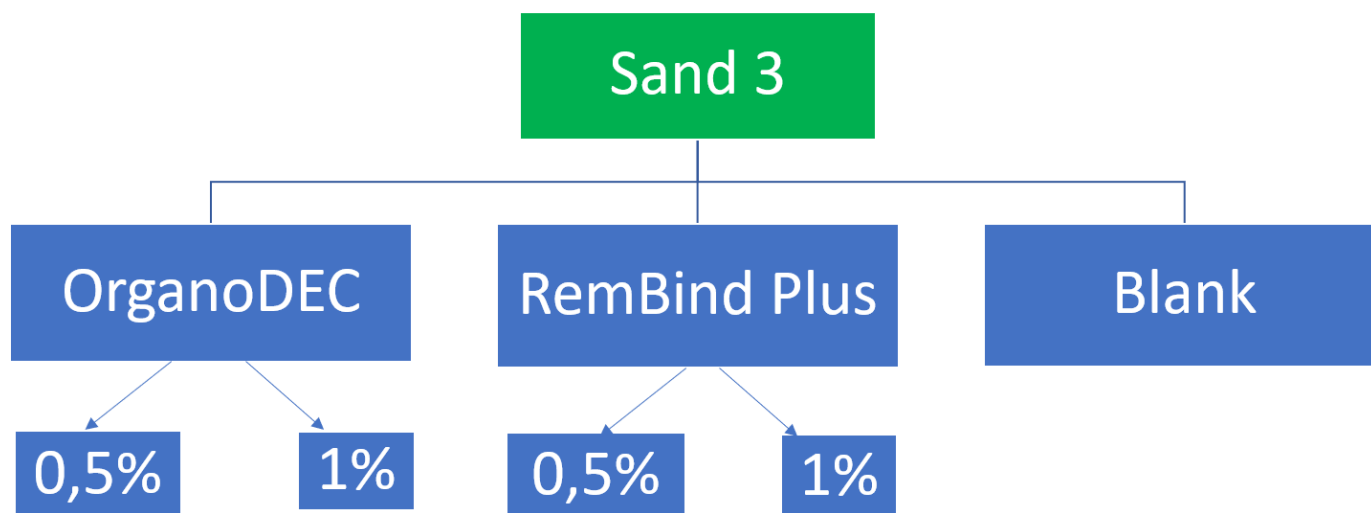
Syftet är att testa om urlakningen av PFAS kan sänkas så att material med högre halter kan accepteras att återanvändas.

Immobilisering med hjälp av kolbaserade produkter.

- Laktest har utförts på sand med och utan tillsats. L/S 10.
- Resultaten visar att lakningen reduceras kraftigt.

Tabell 4 Resultat för lakvatten från lakförsök på tvättad sand, sand 3. Med och utan tillsats av produkt med aktivt kol. Summahalt PFAS18. Enhet µg/l.

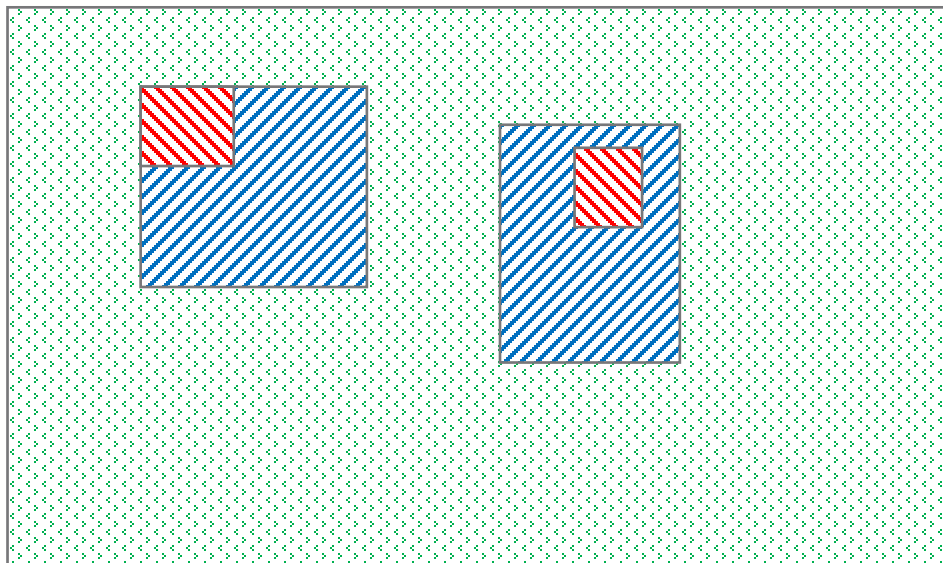
Provpunkt/ Fraktion (µg/l)	Blank	OrganoDEC		RemBind Plus	
		0,5%	1%	0,5%	1%
OMR1	14	0,45	0,66	0,87	0,36
OMR3	0,089	<	<	<	<



Slutsatser

- Jordtvätt kan användas som metod för efterbehandling av jordmassor förorenade med PFAS.
- Jordmassor med höga halter PFAS eller med hög andel organiskt material behöver ytterligare hantering än enbart den "vanliga" tvätten
- De grovkorniga tvättade jordmassorna kan troligen återanvändas, beroende på vilka krav som ställs efter fördjupad riskbedömning och åtgärdsutredning
- För att reducera utlakningen av PFAS i som den restfraktion som är tänkt att återanvändas kan produkter med kol tillsättas för immobilisering.
- Den termiska behandlingen av finfraktionen resulterar i mycket låga resthalter

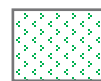
Strategi för kostnadseffektiv användning av olika metoder



Hög koncentration/hög risk



Lägre koncentration men fortfarande visst behov att åtgärda på plats



Låga koncentrationer, men signifikant mängd = källa till nedströms transport

Jordtvätt

Termisk behandling

Gräva och deponera

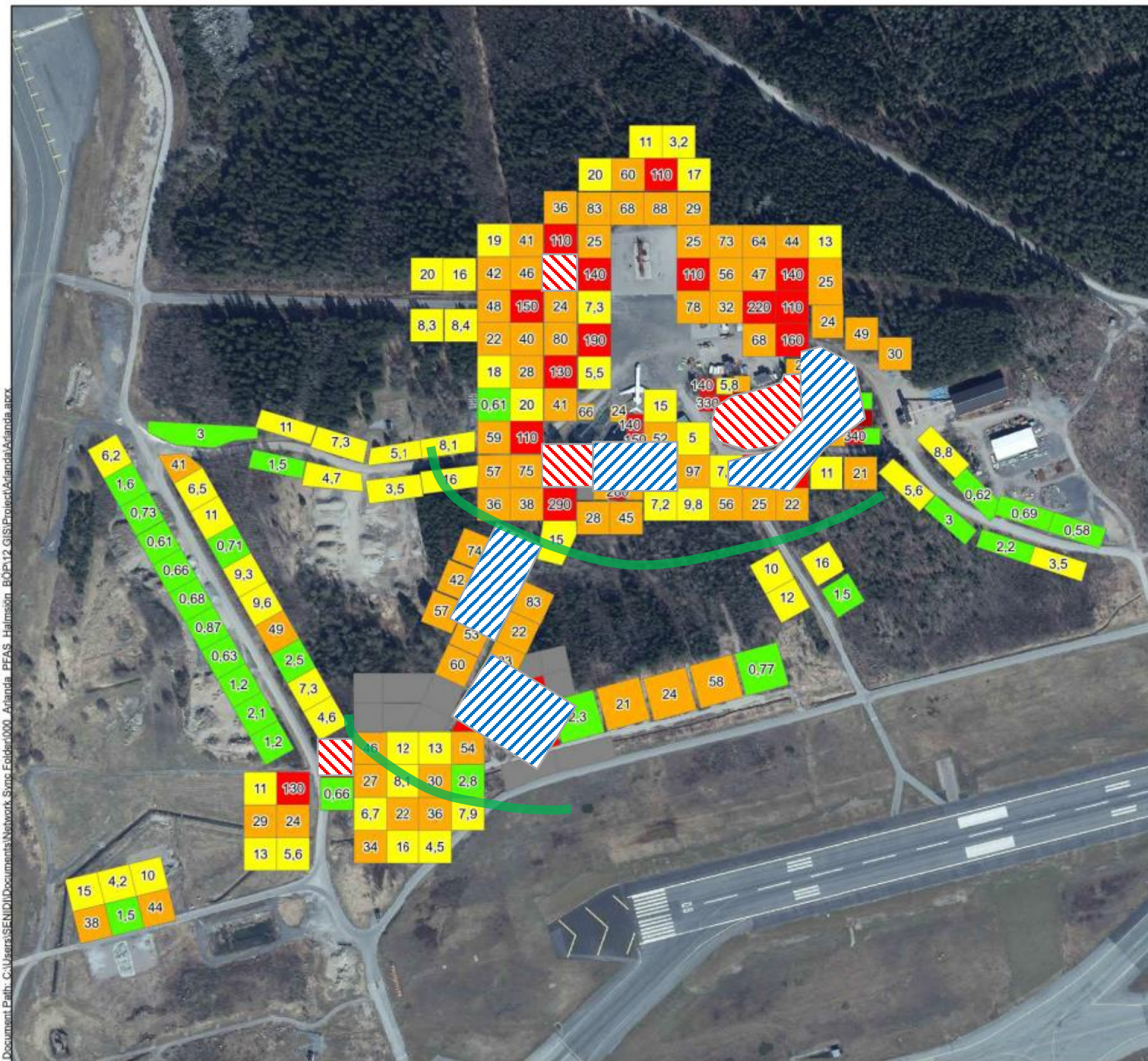
Immobilisering ytjord

Sorptionsbarriär

ARLANDA AIRPORT
Omr 1807 - Brandövningsplatsen

PFAS Summa 11 (ug/kg)

Inväntar resultat



UPPDRAGSGIVARE

Swedavia

UPPDRAG NR

13007600-001

DATUM

2021-10-24

KOORDINATSYSTEM

SWEREF99 18 00

RITAD AV

Nik Dixon

GRANSKAD

Niklas Törneman

UPPDRAGSLEDARE

Niklas Törneman

FORMAT

A3