

Omfattende karakterisering af PFAS forurening og vandbalancens betydning for risikovurdering

ATV vintermøde 2025

Region Hovedstaden:

Ditte Lykkesborg Schrøder
Nina Tuxen

WSP:

Katerina Tsitonaki
Eskild Paamand



**Region
Hovedstaden**



201.1680 (juni 2024)
PFOA 0,34 ng/l

SUM22 0,34 ng/l
SUM4 0,34 ng/l

Indvindingsboringer

201.566 (juni 2024)

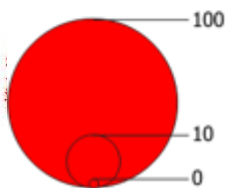
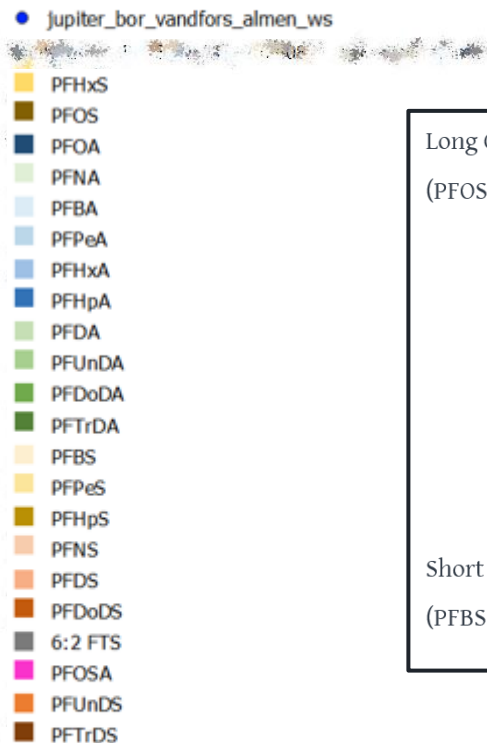
PFHxS 0,35 ng/l
PFOA 0,5 ng/l
PFPeA 1,3 ng/l

SUM22 2,2 ng/l
SUM4 0,85 ng/l



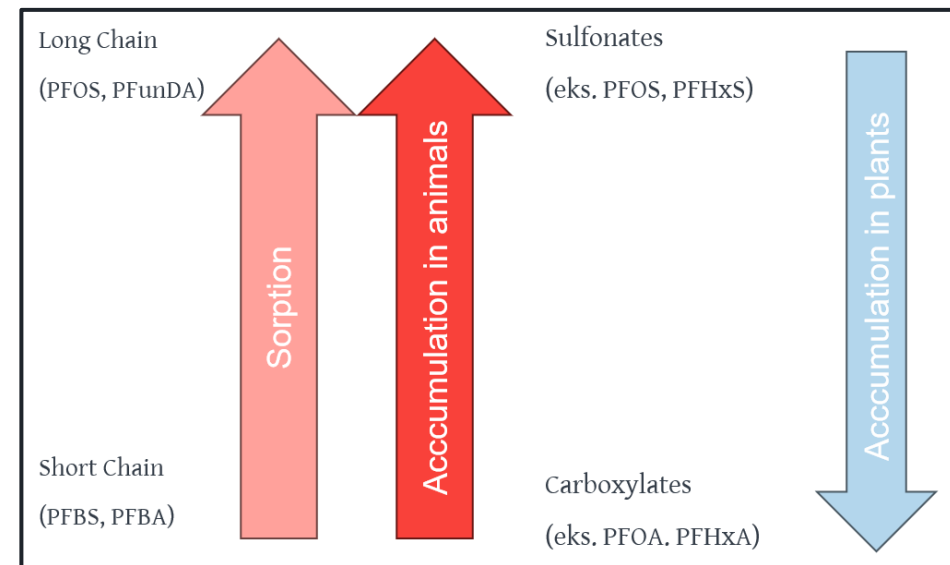
Kildegrund?

PFOS > 8.000 ng/l



Skalastyret størrelse

Max størrelse 50 - Alt derover har samme størrelse på kortet
Min størrelse 5 - alt derunder har samme størrelse på kortet



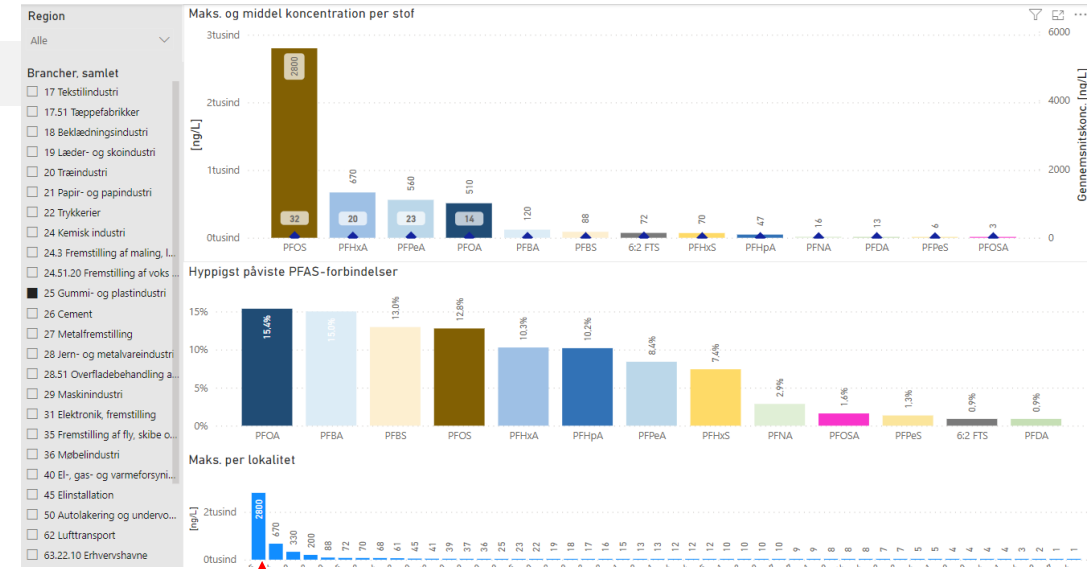
- De har umiddelbart ikke samme kemiske sammensætning
- Kunne det skyldes at de kortkædede PFAS-forbindelser er skyllet ud og transporteres til kildepladsen, mens de langkædede PFAS-forbindelser ligger tilbage på lokaliteten og er dem vi finder på kildegrunden?

Tidligere aktiviteter

- 1905-1963; Gardinfabrik
- 1963-1984; Plastvirksomhed
- 1984-d.d.; beboelse

Tidligere undersøgelser

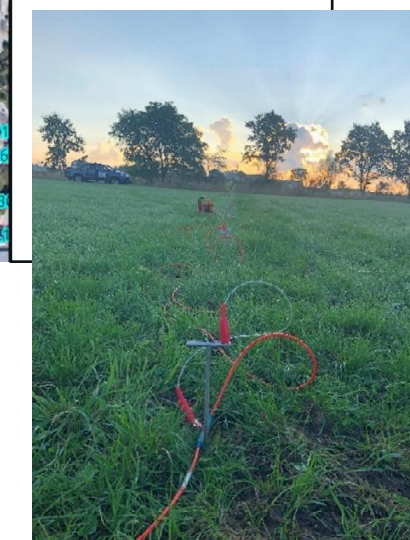
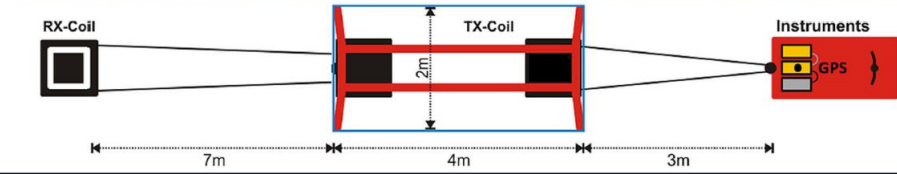
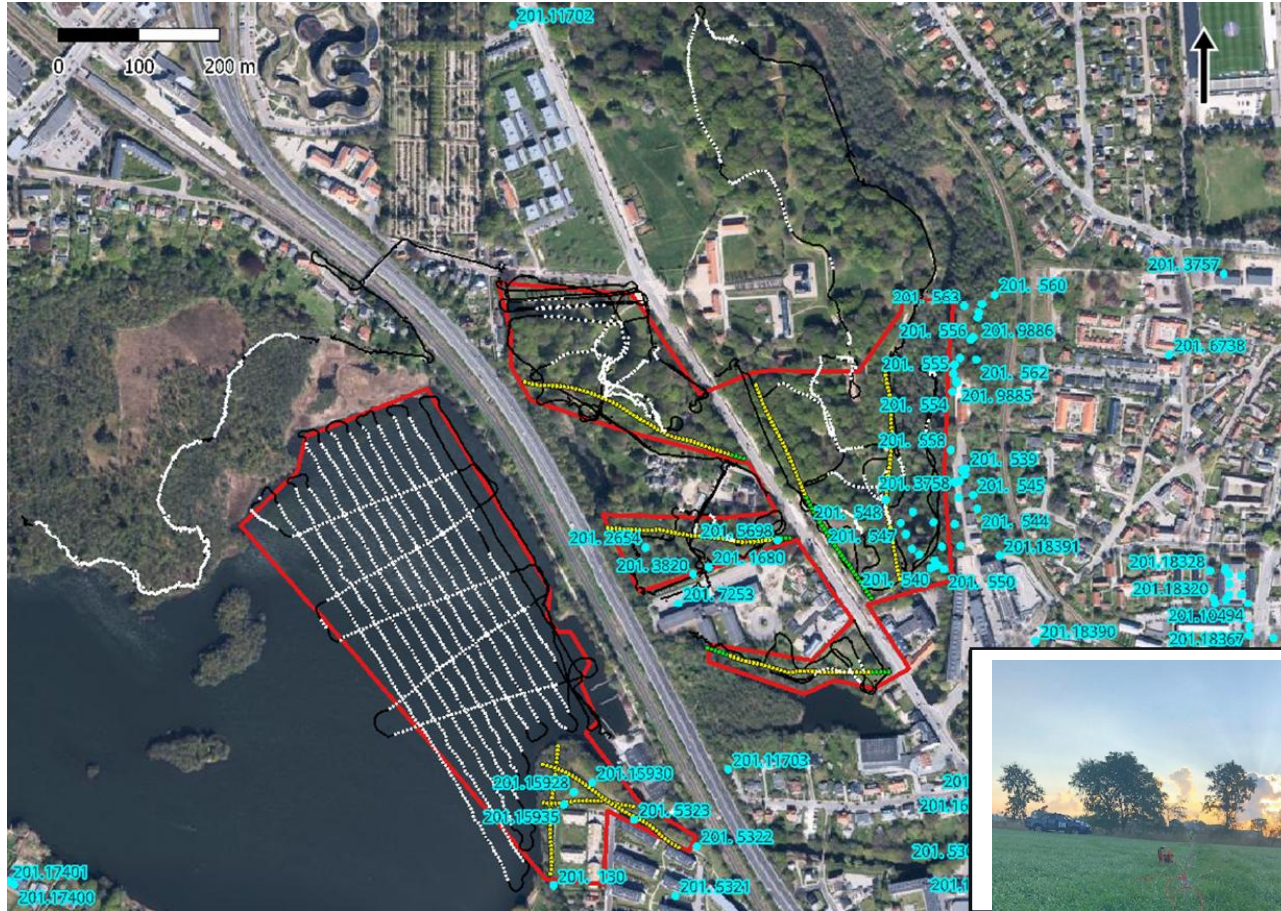
Årstal	Myndighed	Titel	Dato
2005	Amt	Historisk redegørelse	April 2005
2005	Amt	Indledende forureningsundersøgelse	Okt. 2005
2008	Region	Afgrænsende forureningsundersøgelse	Sept. 2008
2012	Region	Grundvandsmonitoring 2012	Aug. 2012
2022	Region	Forureningsundersøgelse af overfladevand	Jan. 2022



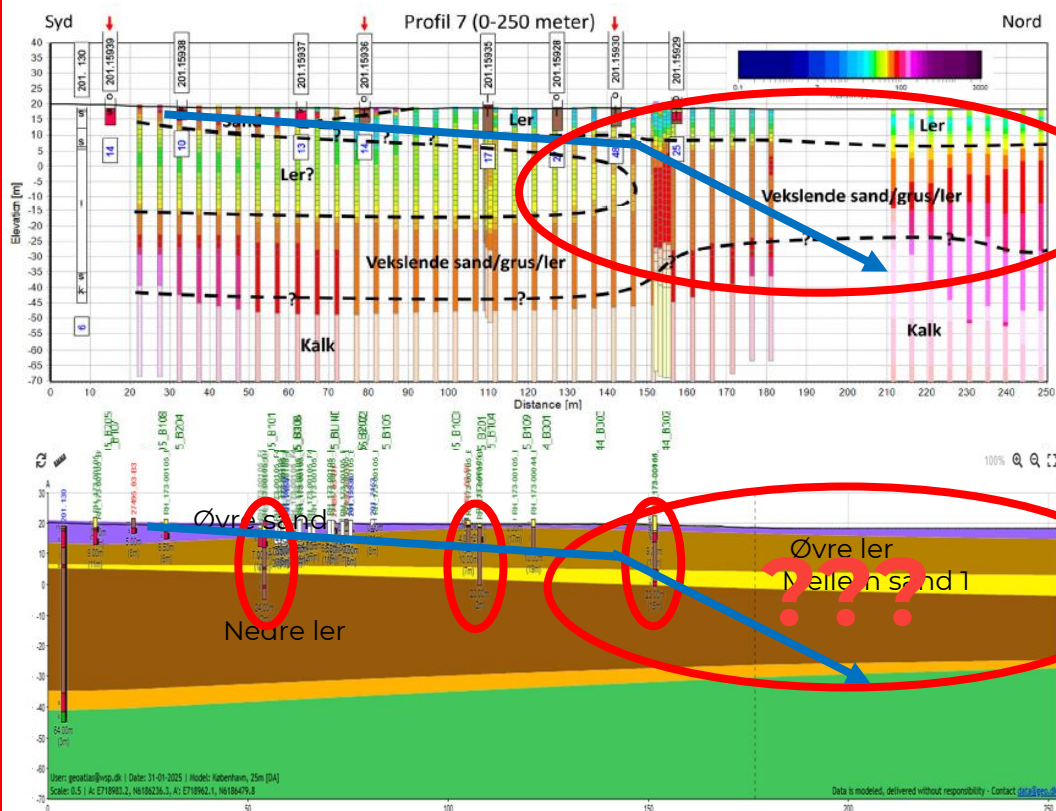
Kildestyrkemæssigt ligger lokaliteten i den høje ende i forhold til andre registrerede lokaliteter i branchen

Er den kilde til det vi ser i indvindingen? Eller er den bare en (stor) fisk i en endnu større sø?

TEM-undersøgelse + MEP-linjer

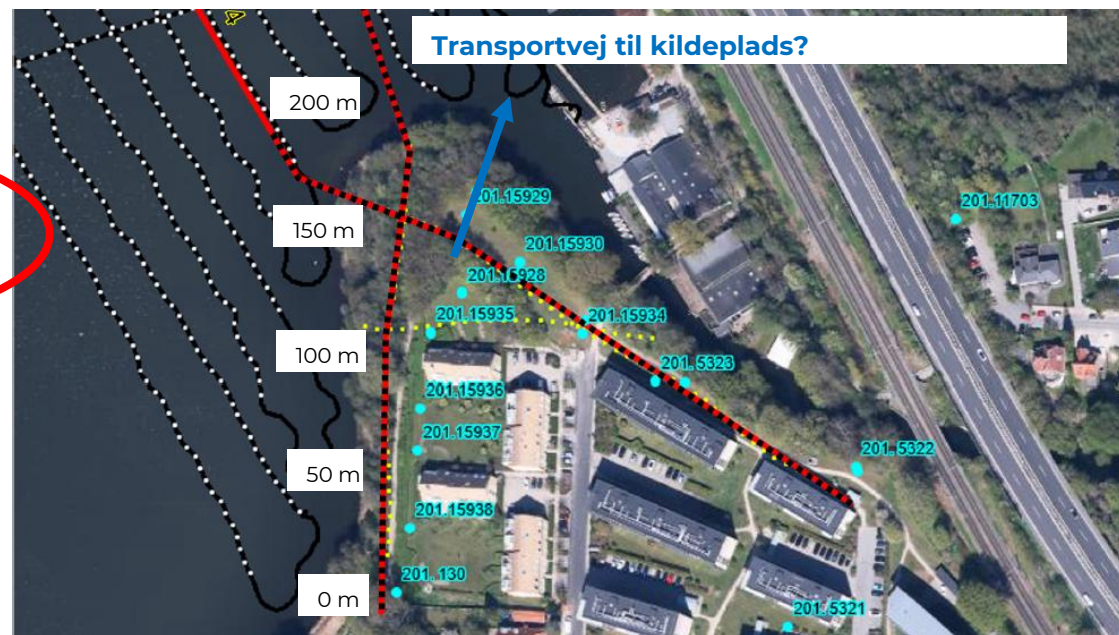


Tolkning - zoom



- Der er god overensstemmelse mellem tolkning af "øvre ler" sammenlignet med københavn-modellen i GeoAtlas. Samme gælder for "øvre sand"
- Der er mindre god overensstemmelse mellem tolkning af tykkelsen og forløbet af "nedre ler" sammenlignet med Københavns-modellen i GeoAtlas. Desuden ser "øvre sand" og "mellem sand 1" ud til at være sammenhængende i de geofysiske modeller.

Pejlerunde OVF undersøgelse 2021



➔ Strømningsretning i det primære grundvand

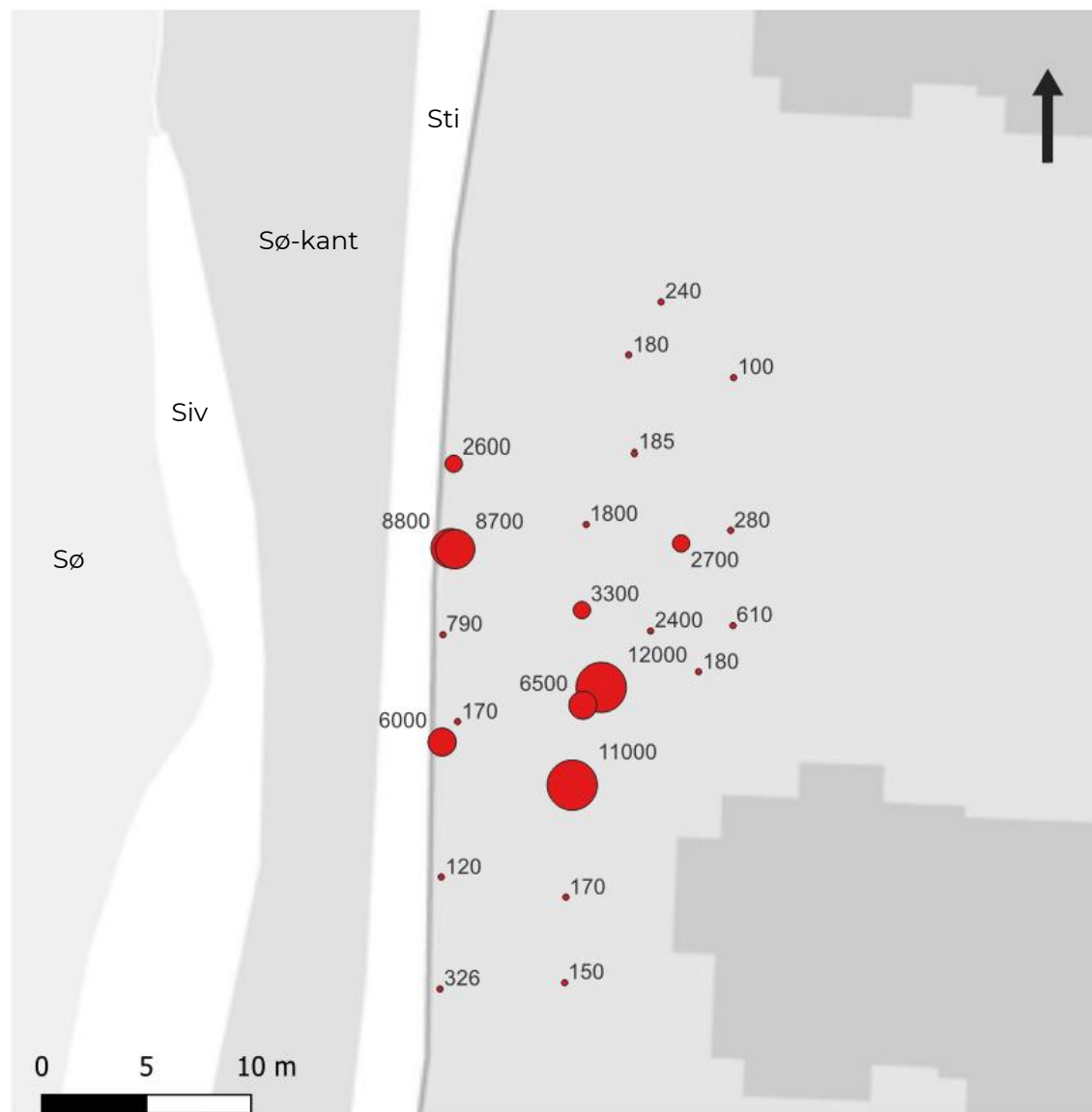
Karakterisering af hotspot

- 25 stk. sonderinger med GeoProbe til 107 niveauspecifikke vandprøver i 2 transekter
- Jordkerner udtaget med GeoProbe 3 udvalgte sonderinger med analyse af 74 jordprøver
- Sugeceller i 4 sonderinger med installation af sugehoved i 12 positioner
- 5 boringer til bekræftelse af den geologiske lagserie og opdatering af geologiske og hydrogeologiske forhold i den konceptuelle forståelsesmodel
- Synkronpejlerunde i 5 nye undersøgelsesboringer og 8 eksisterende boringer fra undersøgelserne i 2021

Hydrogeologisk forståelsesmodel

- Geofysisk kortlægning med T-TEM og MEP
- 13 stk. slugestits fra de 4 boringer fra OVF undersøgelsen og 5 boringer fra den videregående grundvandsundersøgelse
- Kornstørrelsesprøver fra 5 nye boringer fra den videregående grundvandsundersøgelse med hhv. 15 prøver med hydrometeranalyse og 9 prøver med kornstørrelsesanalyse i sandlag
- Loggerdata over en 2 måneders periode i 5 nye undersøgelsesboringer og 8 eksisterende boringer fra undersøgelserne i 2021 – **dataopsamling fortsat i gang.**

Geografisk placering af hotspots, PFAS22(MAX)



Enhed for sum af 22 PFAS forbindelser i ng/L

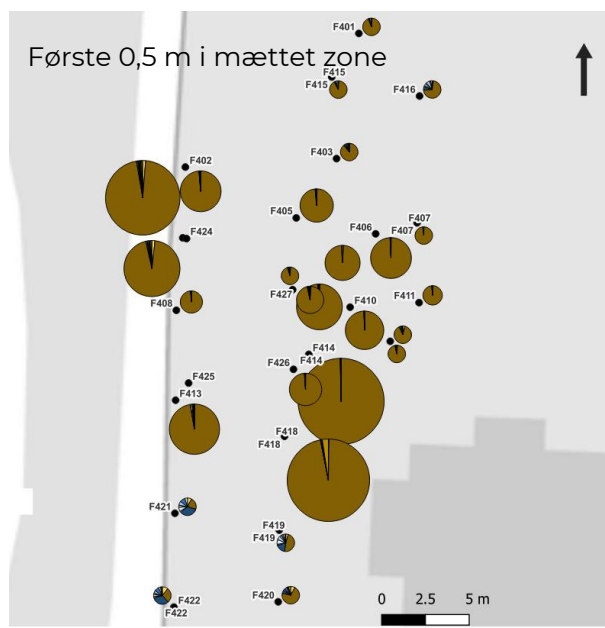
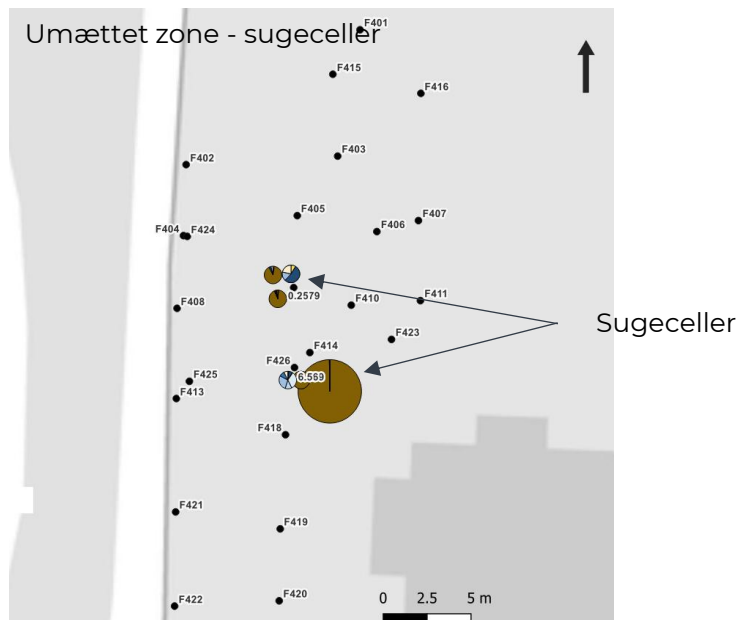
PFAS_cirkeldiagrammet

Analyseværdi PFAS_PIVOT_MAX

- 100 - 2480
- 2480 - 4860
- 4860 - 7240
- 7240 - 9620
- 9620 - 12000

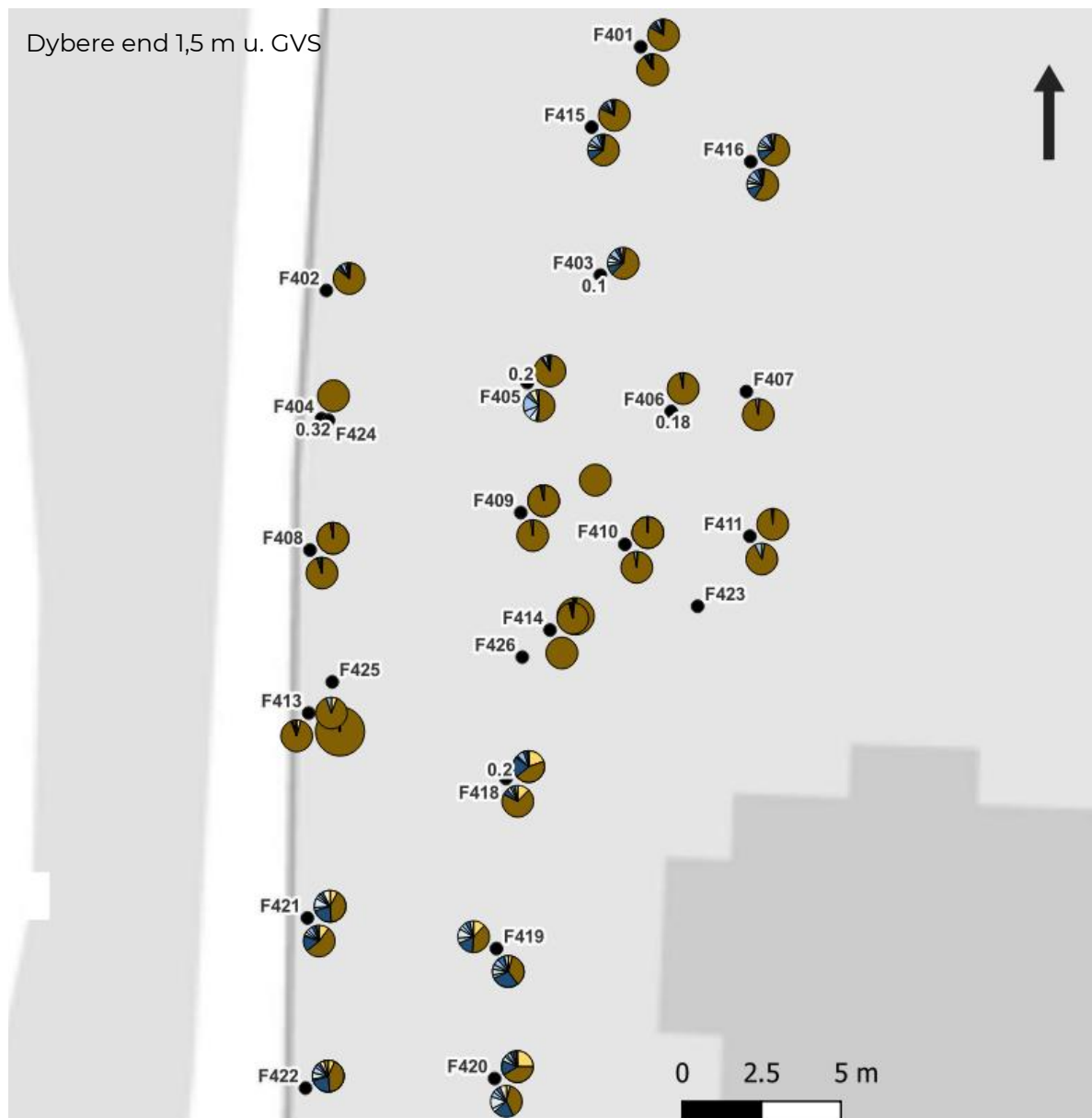
PFAS fordeling i dybdeintervaller

- PFAS fordelingen i grænsefladen mellem mættet/umættet zone er mere fordelt på forskellige komponenter end i toppen af grundvandszonen (1. vandprøve i mættet zone).



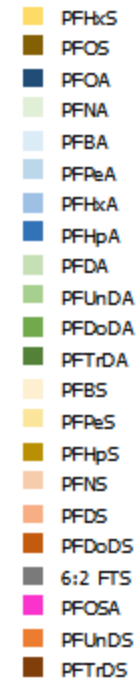
- Koncentration er højere i første 0,5 meter af mættet zone.
- Herfra aftager koncentrationen i grundvandet generelt med dybden men med stort set uændret sammensætning ned til ca. 1,5 m nede i magasinet.

PFAS fordeling i dybdeintervaller



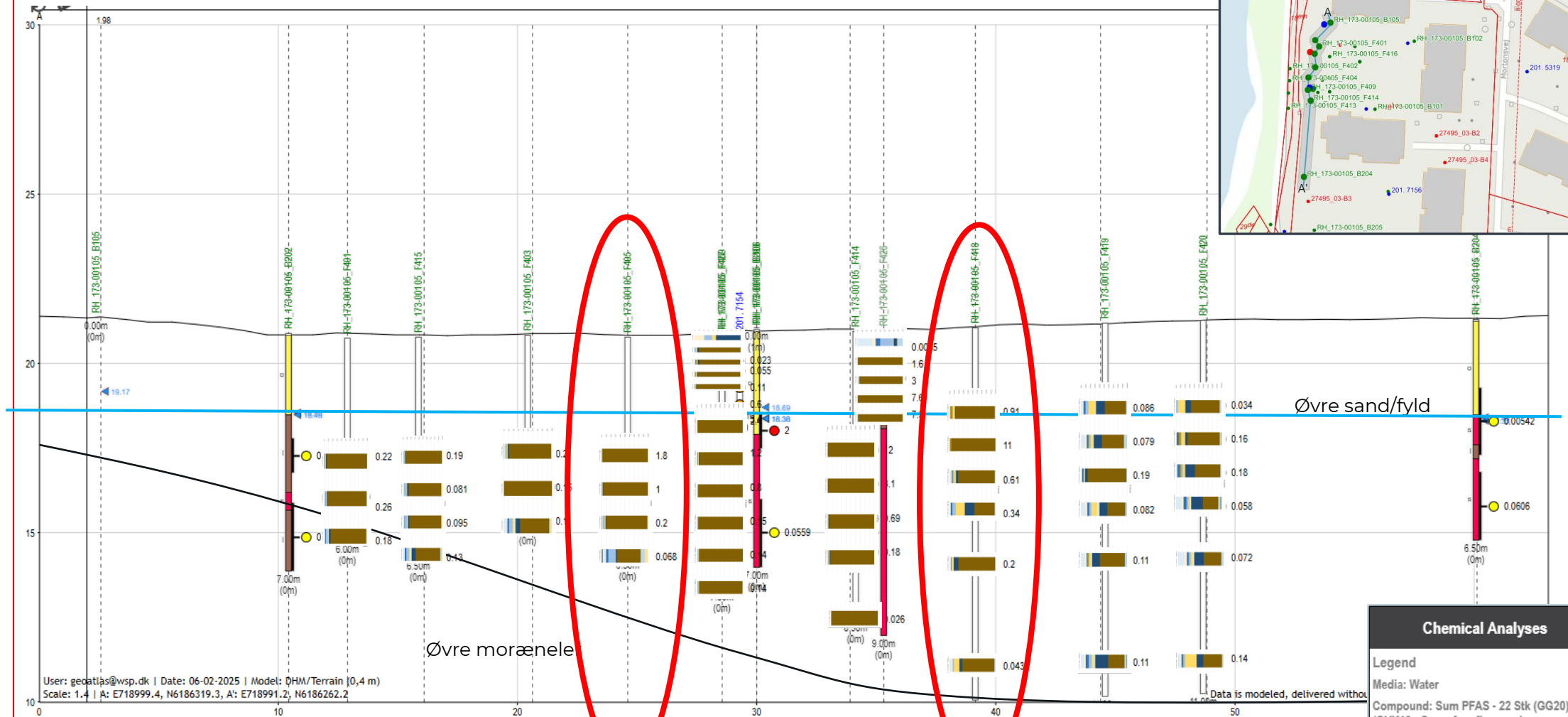
- Koncentrationerne aftager men kompleksiteten i stofsammensætningen stiger

- Tendensen er mere tydelig hvis vi kikker på et profilsnit



PFAS fordeling i profilsnit - kilde

Koncentrationsprofil



User: geotias@wsp.dk | Date: 06-02-2025 | Model: DHM/Terrain [0,4 m]
Scale: 1:4 | A: E718999.4, N6186319.3, A: E718991.2, N6186262.2

Data is modeled, delivered without

**PFAS22
GRUNDVAND**

- 6:2 FTS
- PFBA
- PFBS
- PFDA
- PFDaDA
- PFDaDS
- PFDS
- PFHpA
- PFHpS
- PFHxA
- PFHxS
- PFNA
- PFNS
- PFOA
- PFOS
- PFOSA
- PFPeA
- PFPeS
- PFTrDA
- PFTrDS
- PFUnDA
- PFUnDS

Chemical Analyses

Legend

Media: Water

Compound: Sum PFAS - 22 Stk (GG20) (GVK16 - Sum af perfluorede alkylsyrereforbindelser (22 PFAS)) (µg/l)

Threshold: 0.1 µg/l

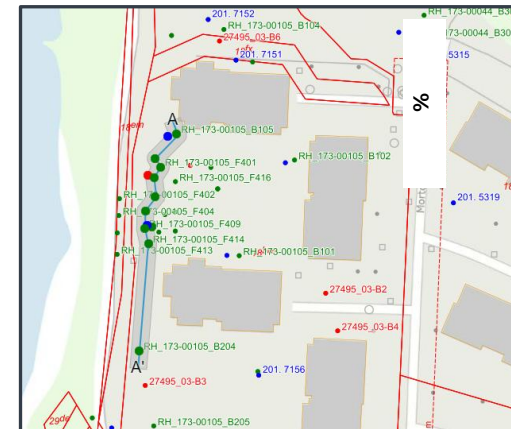
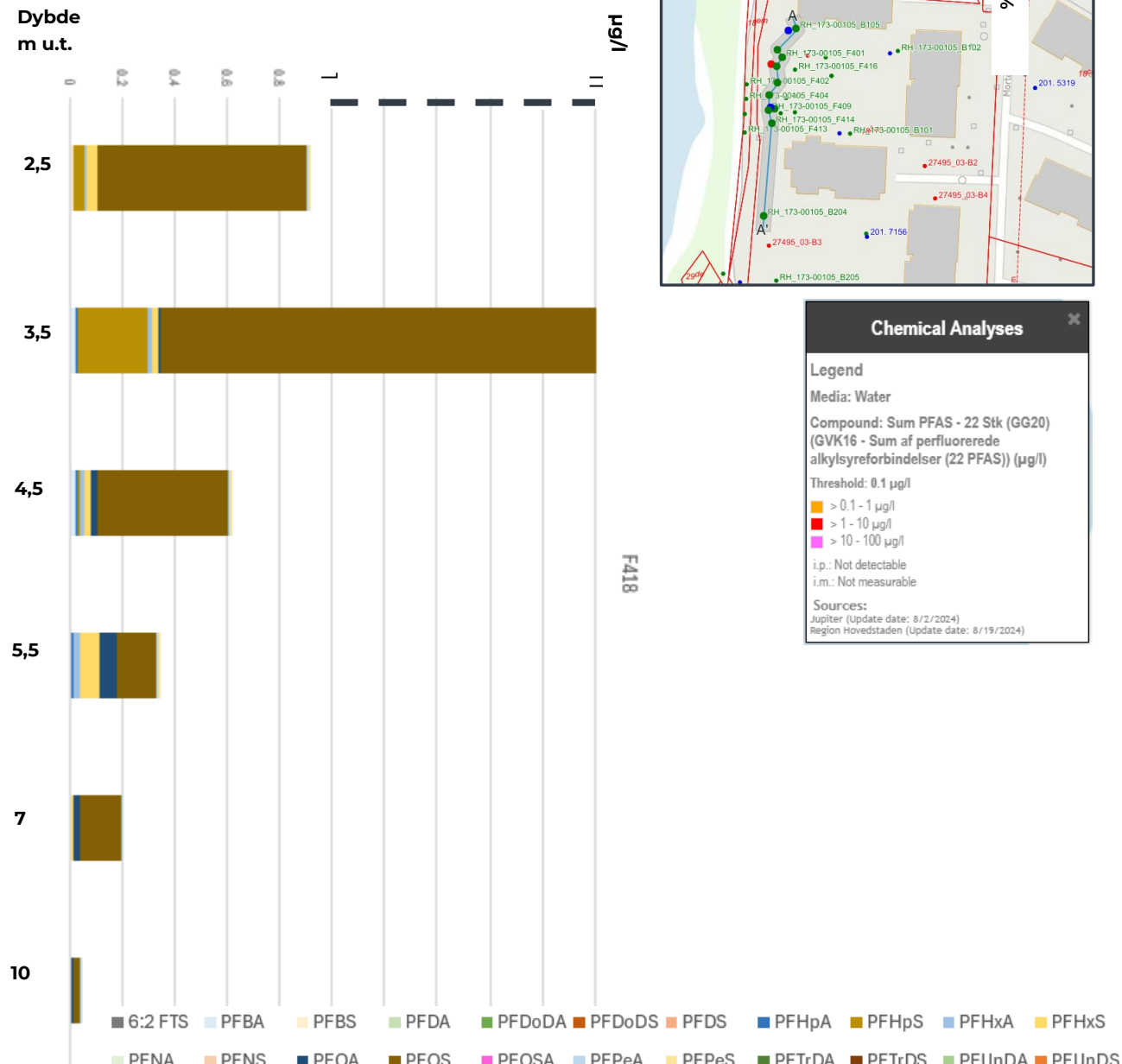
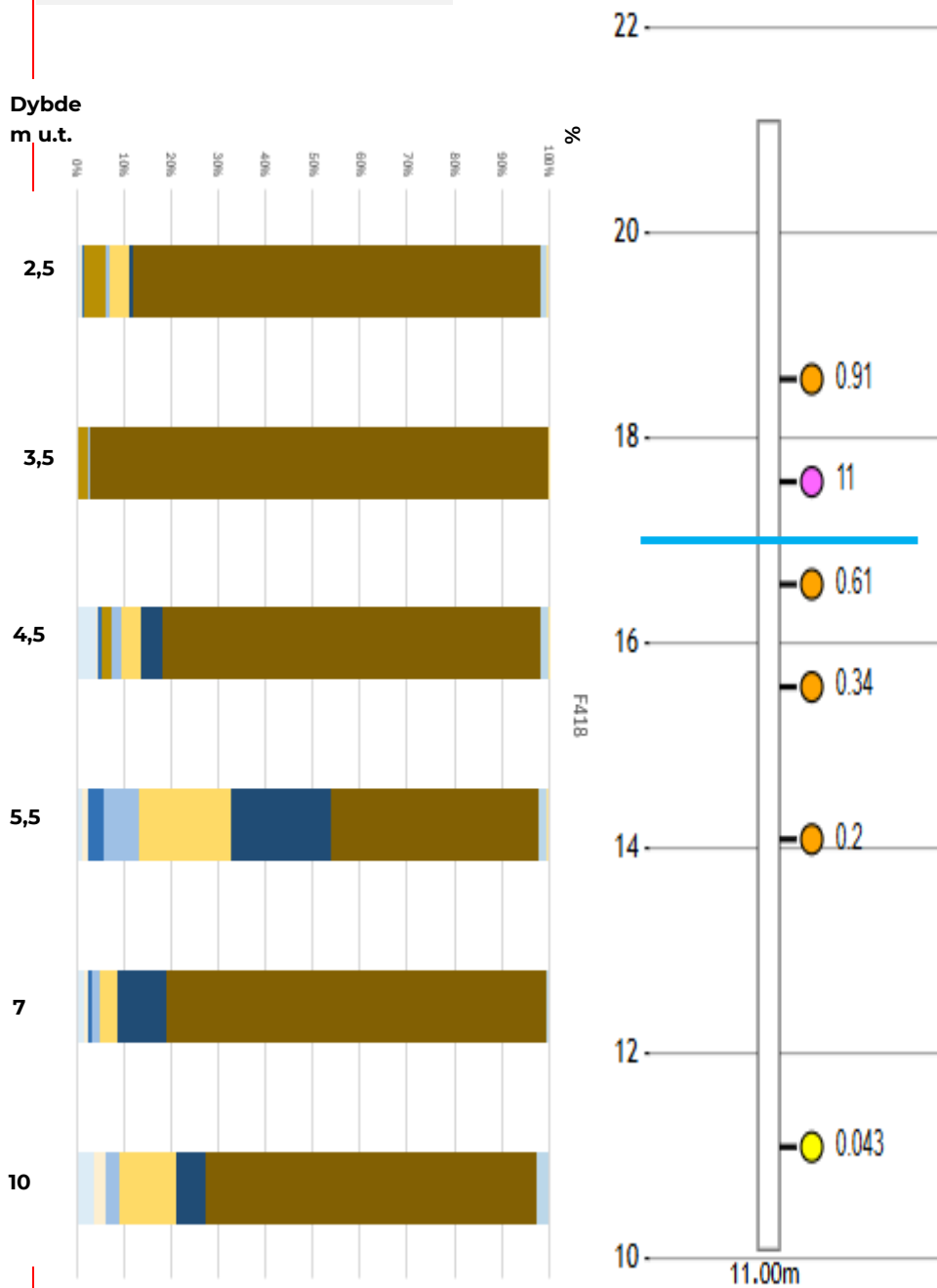
- > 0.1 - 1 µg/l
- > 1 - 10 µg/l
- > 10 - 100 µg/l

i.p.: Not detectable
i.m.: Not measurable

Sources:
Jupiter (Update date: 8/2/2024)
Region Hovedstaden (Update date: 8/19/2024)

PFAS fordeling i profilsnit - kilde

Koncentrationsprofil



Chemical Analyses

Legend

Media: Water

Compound: Sum PFAS - 22 Stk (GG20) (GVK16 - Sum af perfluorerede alkylsyreforbindelser (22 PFAS)) (µg/l)

Threshold: 0.1 µg/l

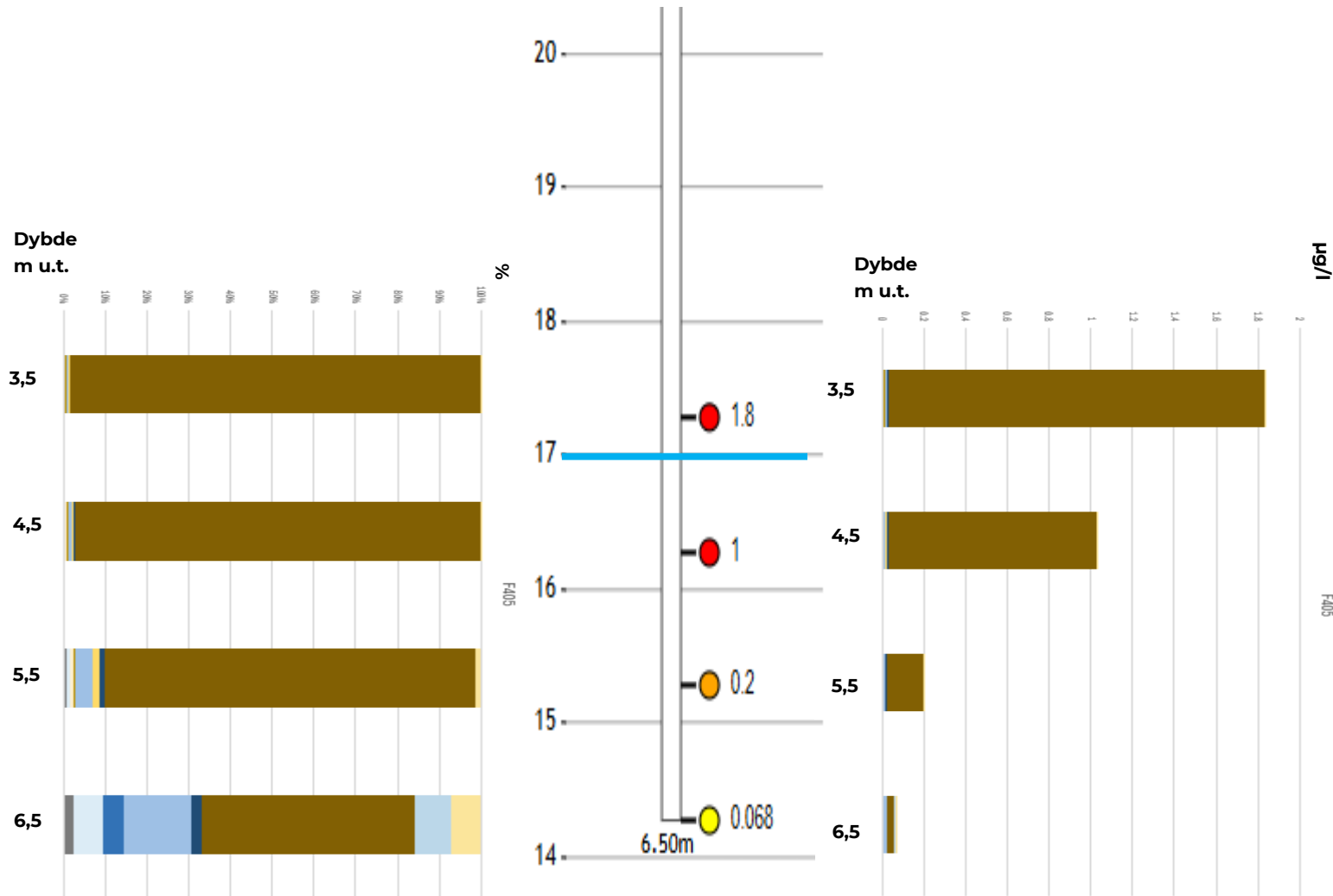
- > 0.1 - 1 µg/l
- > 1 - 10 µg/l
- > 10 - 100 µg/l

i.p.: Not detectable
i.m.: Not measurable

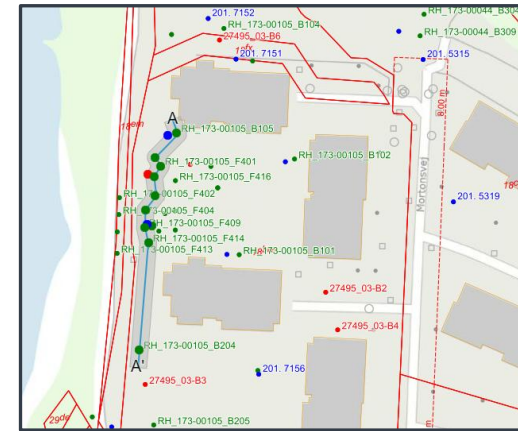
Sources:
Jupiter (Update date: 8/2/2024)
Region Hovedstaden (Update date: 8/19/2024)

PFAS22
GRUNDVAND

PFAS fordeling i profilsnit - kilde



Koncentrationsprofil



Chemical Analyses

Legend

Media: Water

Compound: Sum PFAS - 22 Stk (GG20) (GVK16 - Sum af perfluorede alkylyforbindelser (22 PFAS)) (µg/l)

Threshold: 0.1 µg/l

- > 0.1 - 1 µg/l
- > 1 - 10 µg/l
- > 10 - 100 µg/l

i.p.: Not detectable
i.m.: Not measurable

Sources:
Jupiter (Update date: 8/2/2024)
Region Hovedstaden (Update date: 8/19/2024)

PFAS22
GRUNDVAND

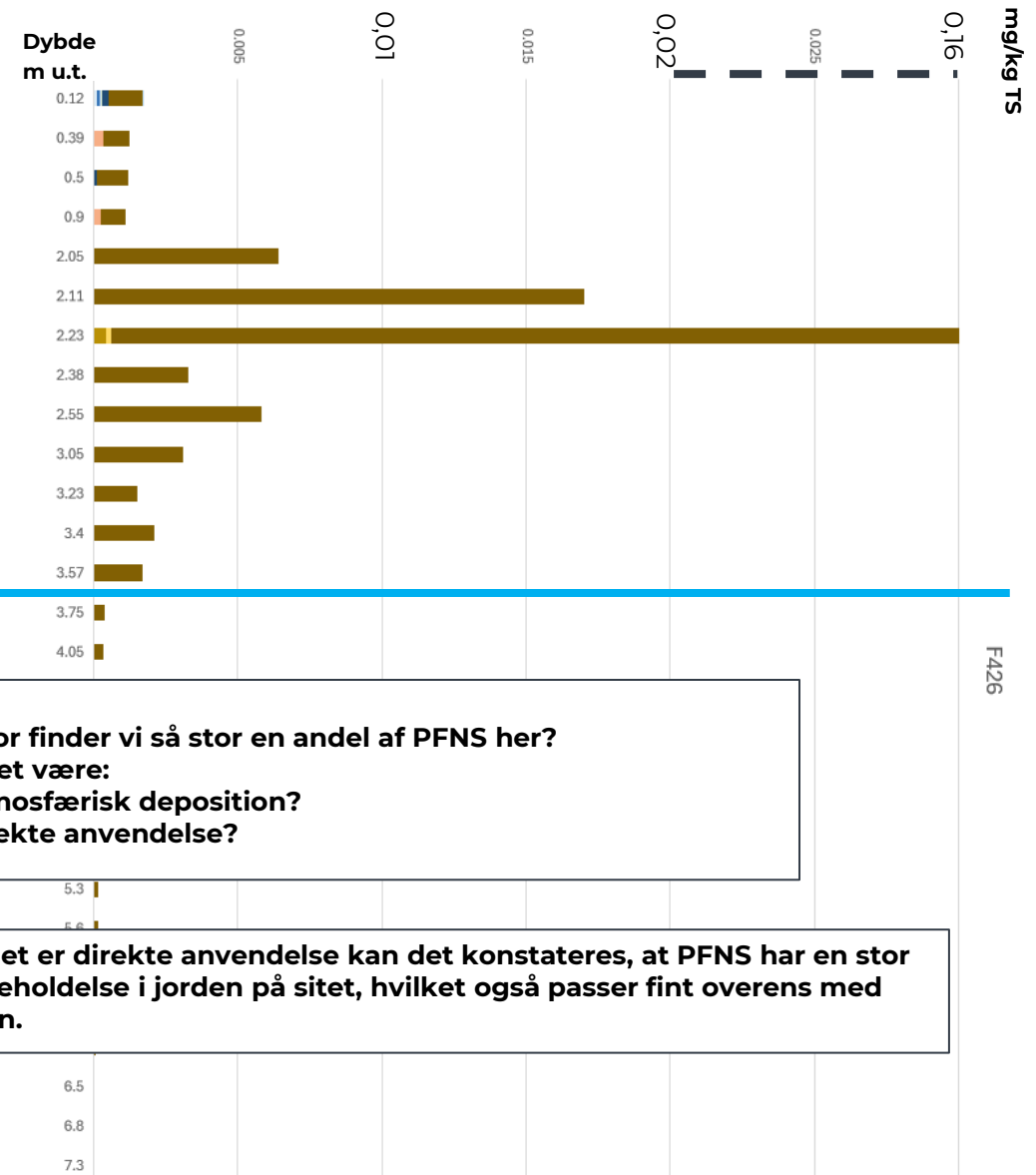
- 6:2 FTS
- PFBA
- PFBS
- PFDA
- PFDaDA
- PFDaDS
- PFDS
- PFHpA
- PFHpS
- PFHxA
- PFHxS
- PFNA
- PFNS
- PFOA
- PFOS
- PFOSA
- PFPeA
- PFPeS
- PFTTrDA
- PFTTrDS
- PFUnDA
- PFUnDS

- Langkædede PFAS tilbageholdes i luft-vand grænsefladen, hvor koncentrationerne derfor er størst
- PFAS-koncentrationen aftager ellers med dybden
- Komplexiteten i PFAS-sammensætningen stiger med dybden og afstand til kilden
- De stoffer som findes i større andele (ud over PFOS) i de dybere prøver er hovedsageligt kortkædede PFAS-forbindelser
- Andelen af PFOS er langt den største, men falder fra et indhold i størrelsen 85% til 95% af prøvens indhold i toppen af aquiferen ned til 65% til 75% af prøvens indhold i den nedre del af aquiferen.

Resultaterne supporter bl.a. konklusioner fra modellering i et netop udgivede miljøprojekt nr. 2292

- I studiet er anvendt Daisy modellen til at lave beregninger for PFAS-udvaskning
- PFAS-transport simulering er udført for forskellige jorde i danske klimazoner
- Den tidsmæssige udvikling efter en årrække viser, at de langkædede PFAS-forbindelser tilbageholdes væsentligt mere end de kortkædede PFAS-forbindelser.
- De kortkædede PFAS-forbindelser har allerede forladt topjorden efter 5 år i sandjorde
- Både kort- og langkædede stoffer ses først efter 20 til 30 år på lerjord med tørt dansk vejr, svarende til at transporthastigheden i lerjorden er væsentligt reduceret ift. sandjord.

PFAS fordeling i profilsnit - kilde



Hvorfor finder vi så stor en andel af PFNS her?
 Kan det være:

- Atmosfærisk deposition?
- Direkte anvendelse?

Hvis det er direkte anvendelse kan det konstateres, at PFNS har en stor tilbageholdelse i jorden på sitet, hvilket også passer fint overens med teorien.

PFAS fordeling i profilsnit - kilde



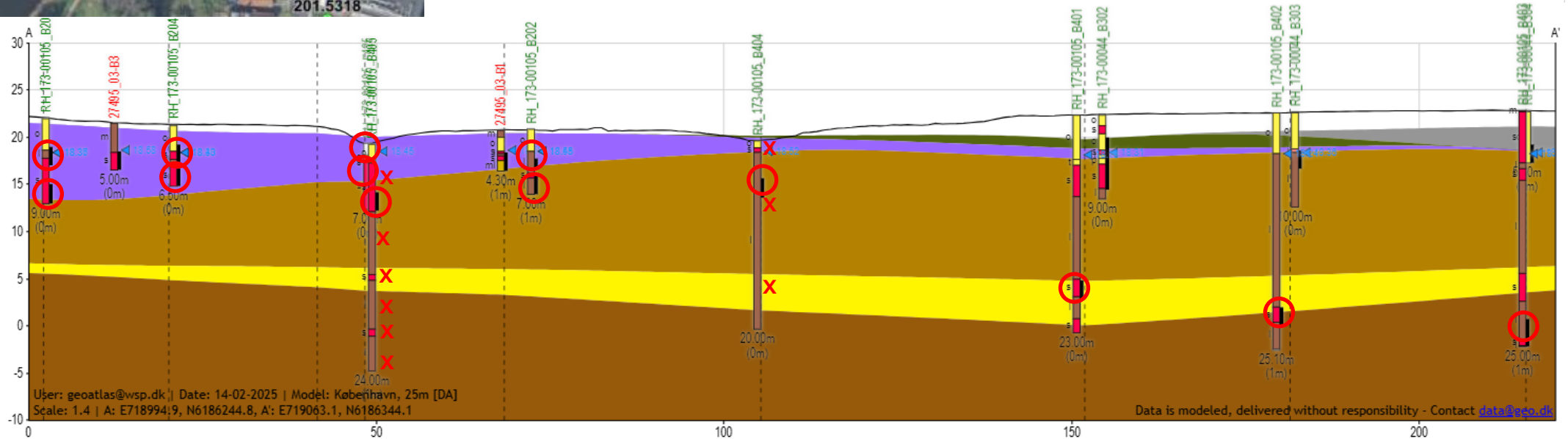
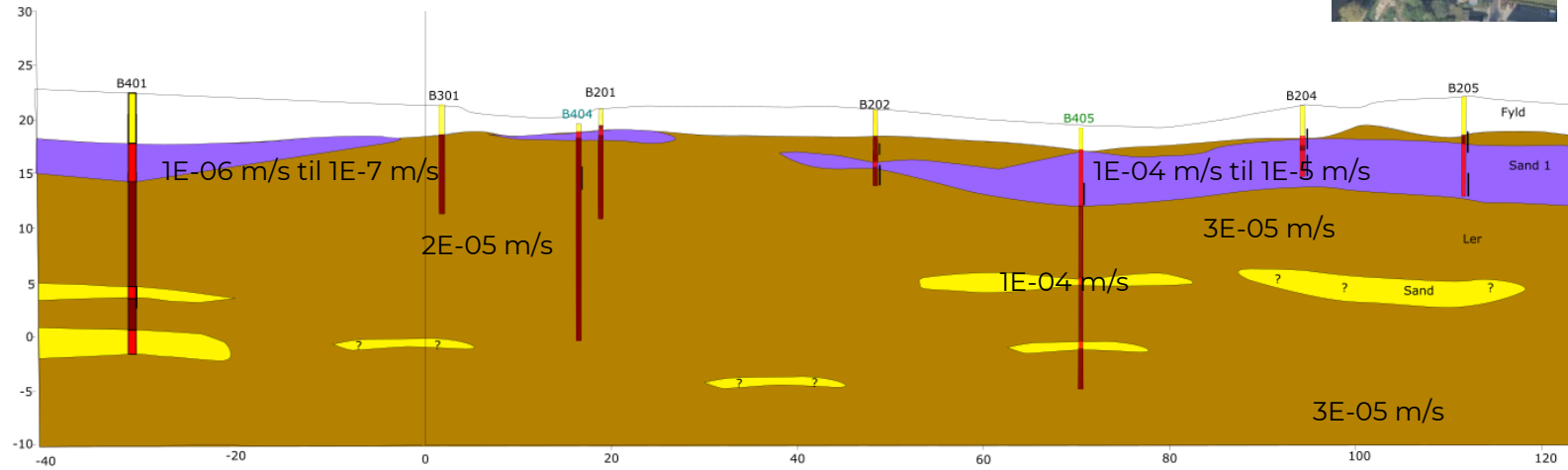
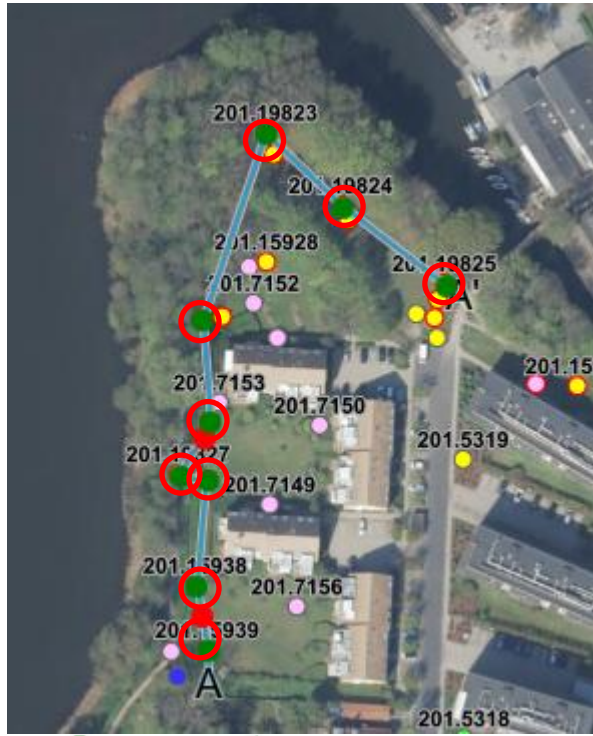
Omkring 4% af den samlede PFAS mængde anvendt i DK frem til 2016 blev udgjort af PFNS



Men PFNS blev ikke fundet i diffust forurenede jorde ud af 92 analyserede jordprøver.

Resultater

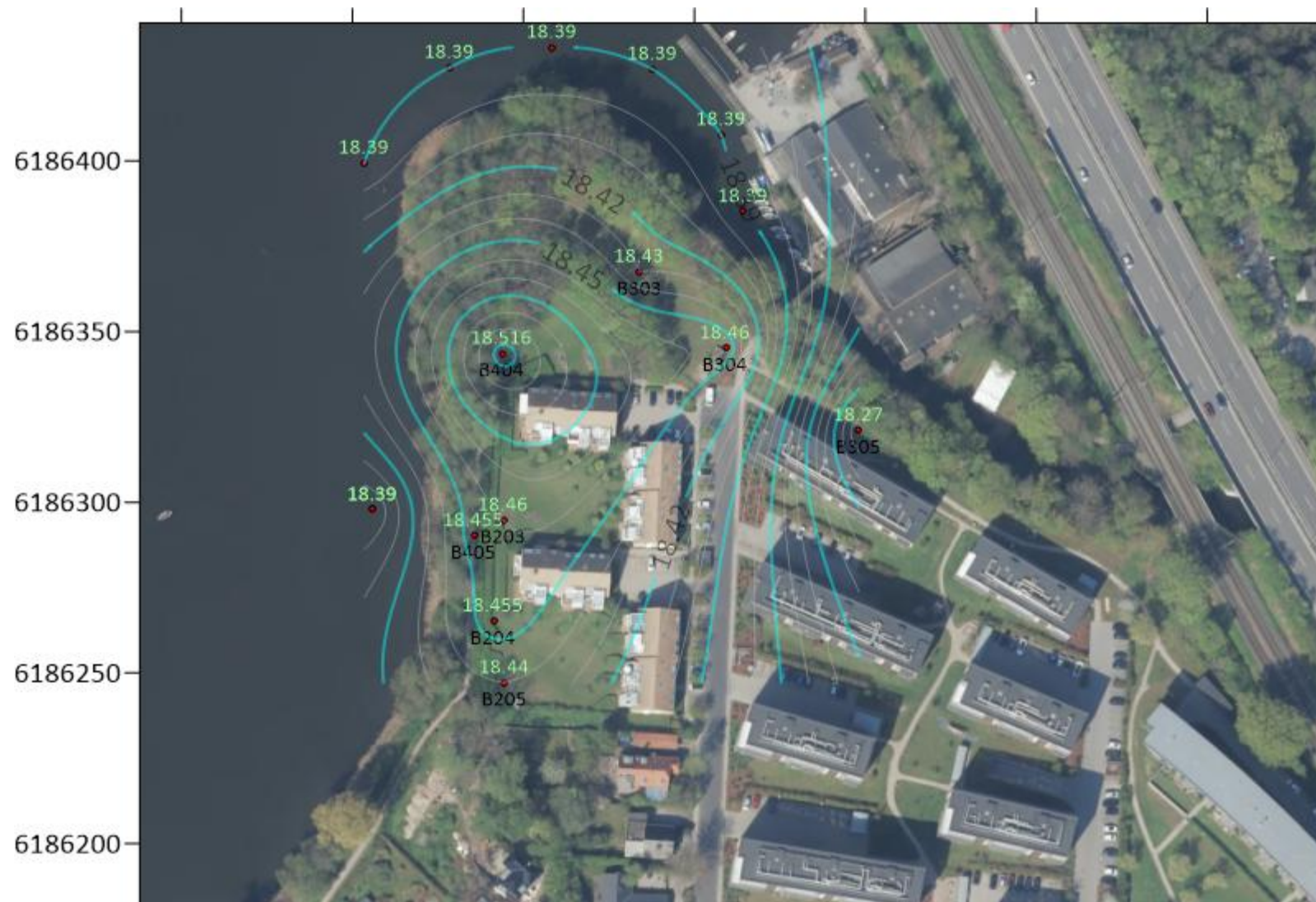
- PFOS retarderes i den umættede zone, hvor de højeste koncentrationer findes i overgangen mellem porevandet i umættet zone og grundvandsmagasin
- I den øverste meter af hotspot træffes koncentrationer af PFAS i jorden over JK for PFAS4, primært PFOS.
- Målbare niveauer af PFAS aftager med dybden.

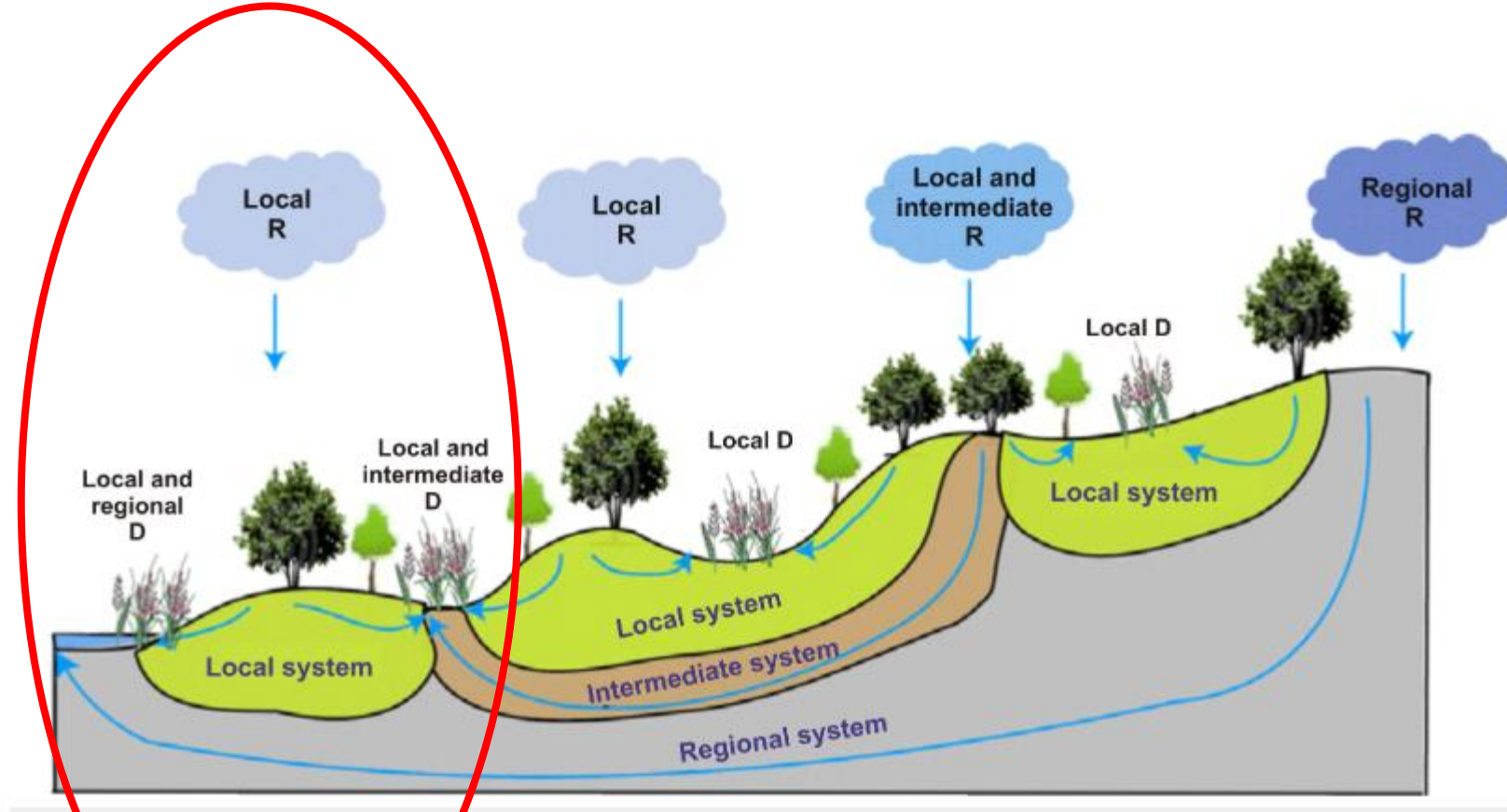


Uøer: geotlas@wsp.dk | Date: 14-02-2025 | Model: København, 25m [DA]
 Scale: 1.4 | A: E718994.9, N6186244.8, A': E719063.1, N6186344.1

Data is modeled, delivered without responsibility - Contact data@wsp.dk

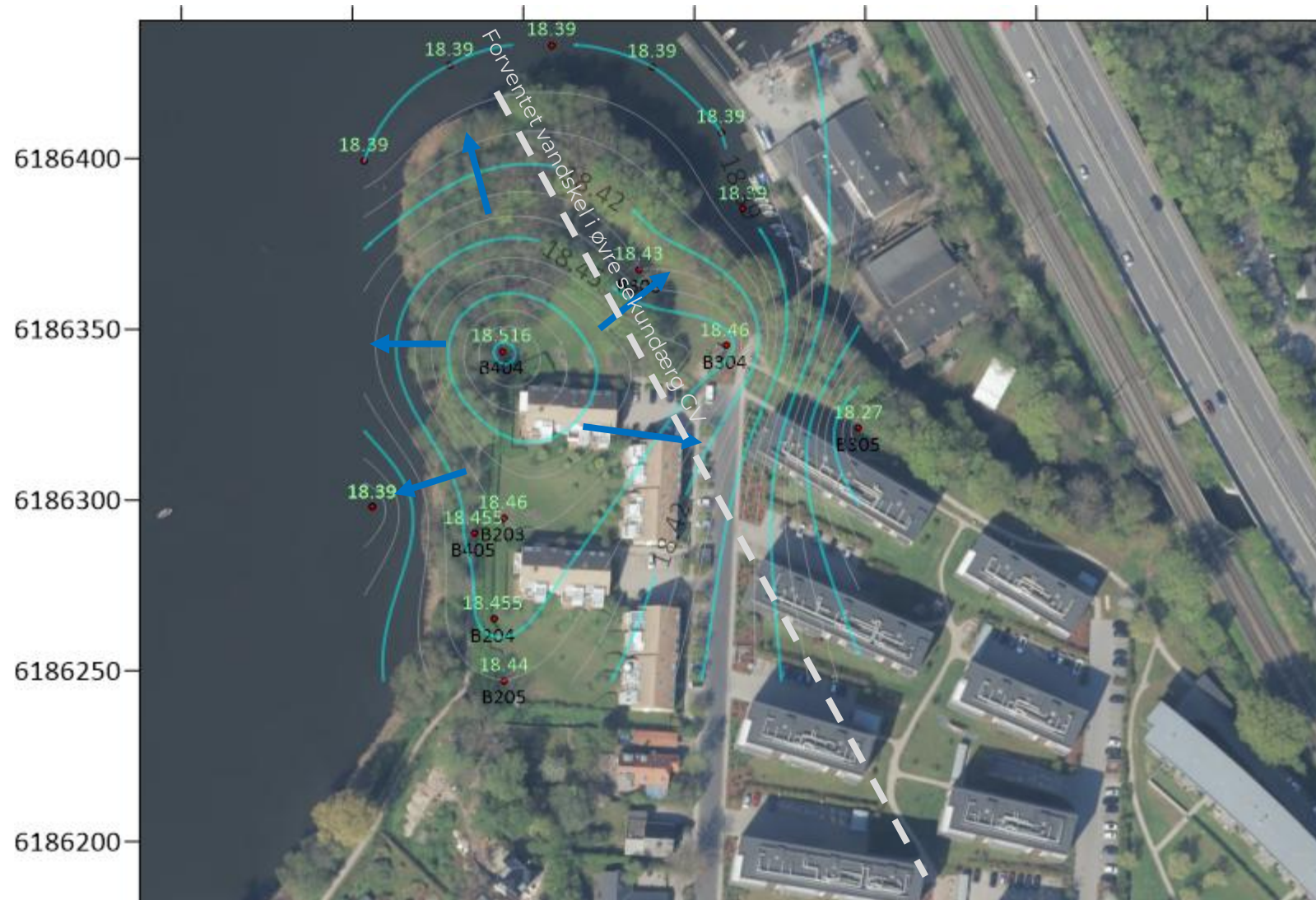
Potentialekort øvre sand (øvre terrænnært grundvand)



Potentialekort øvre sand (øvre terrænnært grundvand)

Groundwater and biodiversity conservation (after Brown et al., 2007)

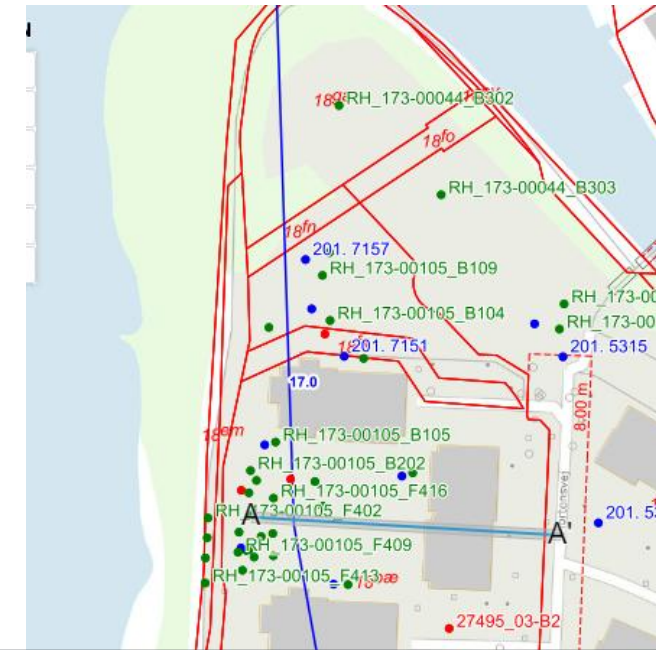
Potentialekort øvre sand (øvre terrænnært grundvand)



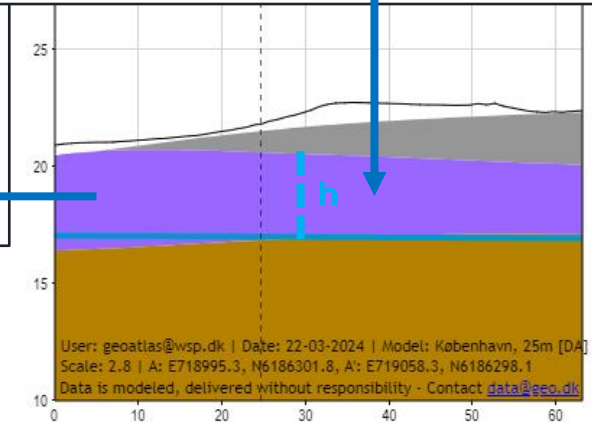
Vandbalance i øvre sekundært grundvand



Udledning igennem transekt i øvre sand:
 $K * i * h * 1 = [m^3/år/transektmeter]$
Ca. 9,5 m³/år/transektmeter

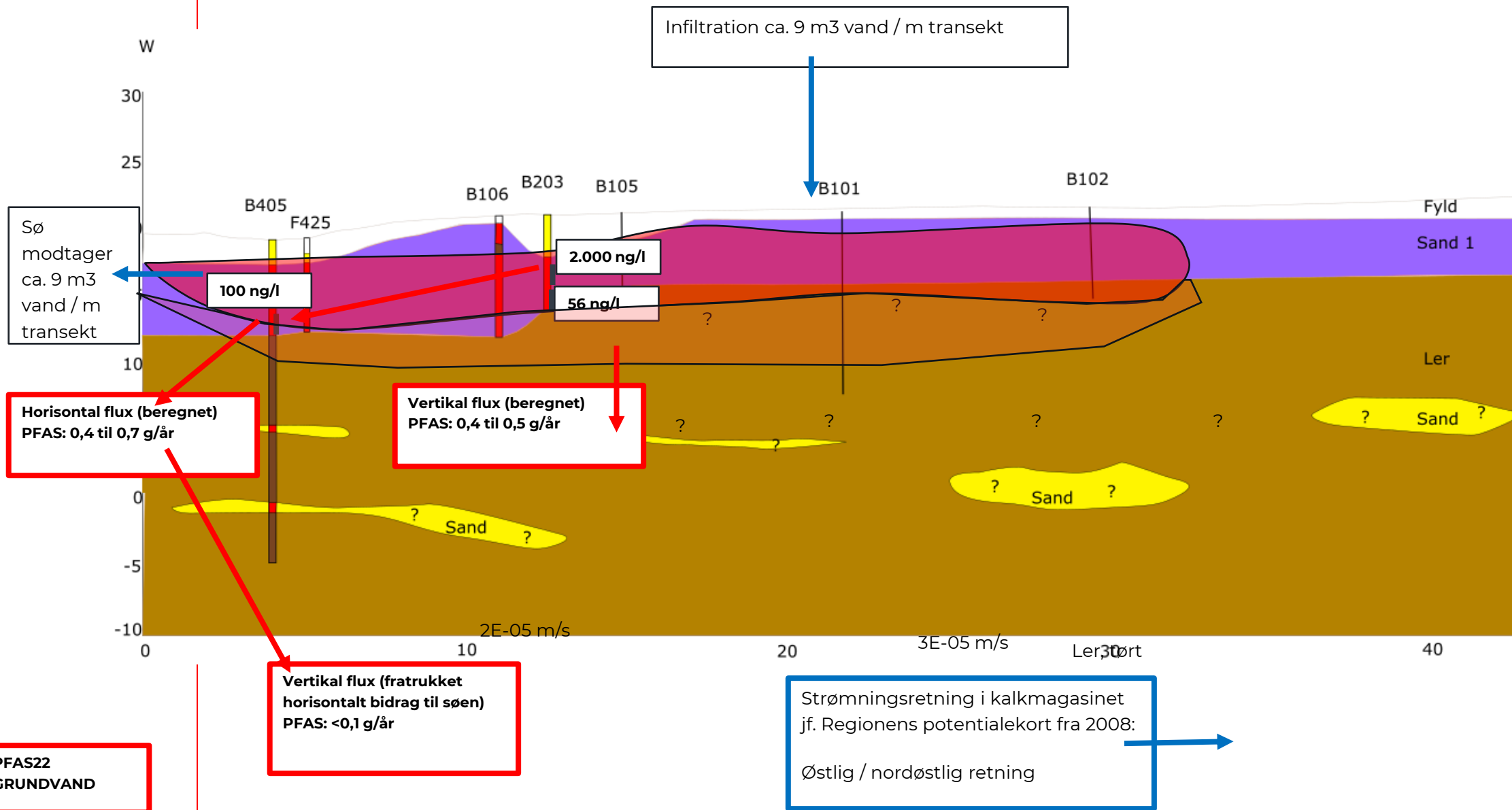


Infiltration i lokalområdet:
 $1 * L * i = [m^3/år/transektmeter]$
Ca. 9 m³/år/transektmeter



Fordeling mellem hvad der ryger til søen og hvad der infiltrerer vertikalt vil være drivende for risikoen overfor indvindingen

Konceptuel model – Vest-Øst



Hydrogeologisk forståelsesmodel – betydning for risikovurderingen

Resultater

- PFAS retarderes væsentligt selv i tynde umættede zoner og ændrer PFAS sammensætningen over afstand til kilden.
- Derfor kan man ikke skelne mellem kilder ved udelukkende at sammenligne deres kemiske sammensætning, da dette kan føre til fejlbehæftede konklusioner.
- Ved at lave en grundig karakterisering af de hydrogeologiske forhold ser det ud til på denne lokalitet, at der er meget usandsynligt, at der vil løbe en flux fra kildegrunden til vandværket som er større end risikofluxen.
- Fordeling mellem hvad der ryger til søen og hvad der infiltrerer vertikalt vil være drivende for risikoen overfor indvindingen.

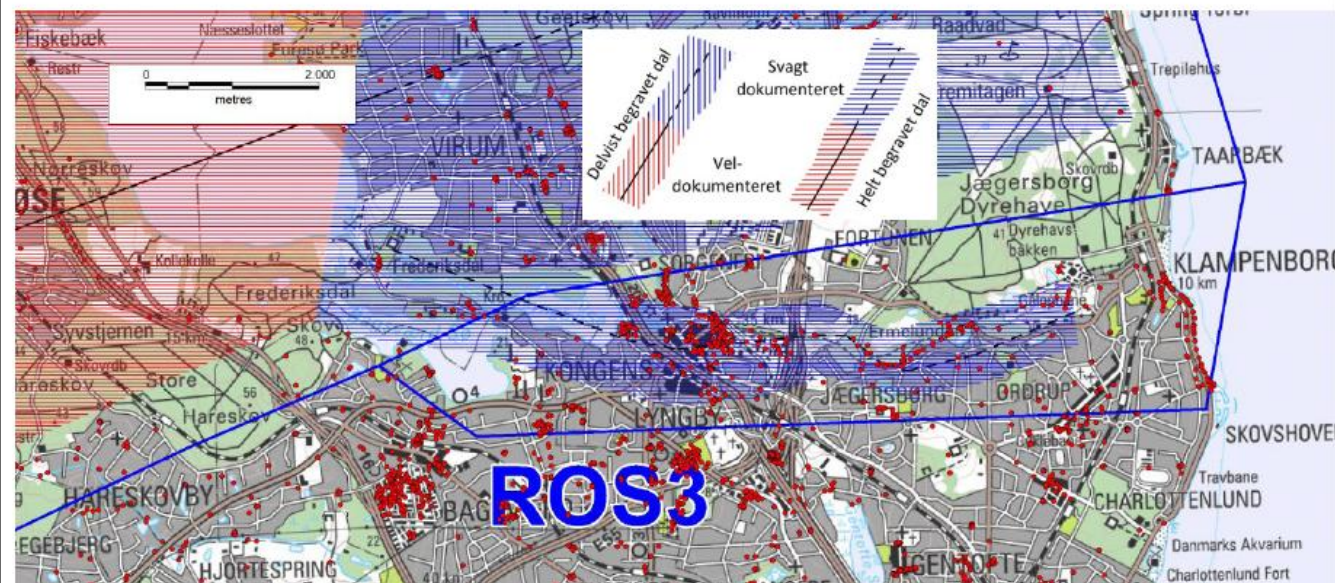
Thank you



wsp.com

Tolkning – Begravet dal ?

Oversigtskort:



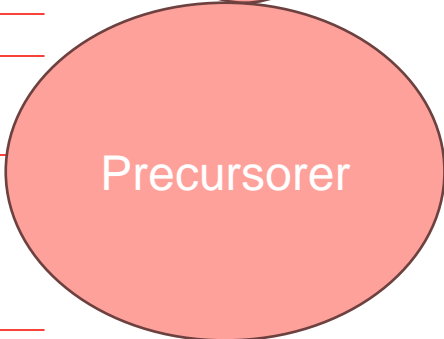
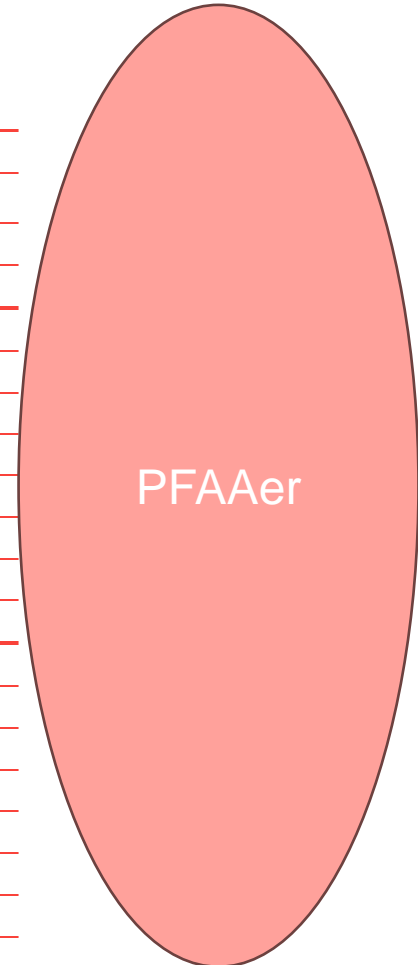
Geologisk beskrivelse:

Mellem Lyngby og Klampenborg kan der på baggrund af boredata /1, 2/ optegnes en *helt begravet dal* i kalkoverfladen. Denne dal står mod vest i forbindelse med Sønderødalen (ROS2). Forlængelsen mod øst er usikker, idet den enten stopper brat ved Klampenborg galopbane eller slår et kraftigt knæk her. Dalen kan følges over en afstand på 7 km og den er mellem 0,7 og 1 km bred. Dalen er nederoderet i Danien kalk og når stedvist ned til omkring kote -50 m (se eksempelvis boring DGU nr. 201.1722 og 201.5075). Den slår tilsyneladende også et par kraftige knæk omkring Jægersborg.

Dalen er fyldt ud med glaciale lag, som primært består af en vekslen mellem moræneler og smeltevandssand /1/. Generelt ser boringsdata ud til overvejende at vise moræneler i den øvre del af lagserien, mens der i mange borer typisk er beskrevet smeltevandssand ovenpå kalken. Dette er tilfældet ved indvindingsboringerne til Ermelundværket, se f.eks. DGU nr. 201.3771 og 201.3773. Her beskrives fra ca. kote -30 m til ca. kote -45 m smeltevandssand, hvorunder der træffes Danien kalksandskalk /1/. Boring DGU nr. 201.10754, som ligger ude mod den sydlige dalflanke ved Ordrup, viser 34 m ler over kalk /1/, hvilket kunne pege på, at der kun findes sand over kalken i de dybeste dele af dalen. Stedvist i dalen er der borer, hvor lerandelen af dalfyldet er begrænset; f.eks. DGU nr. 201.12507 i Jægersborg, hvor kun 15 m af boringens i alt 50 m udgøres af ler. Denne boring er afsluttet i kote -32 i sand. Dalens fortsættelse mod øst kendes ikke.

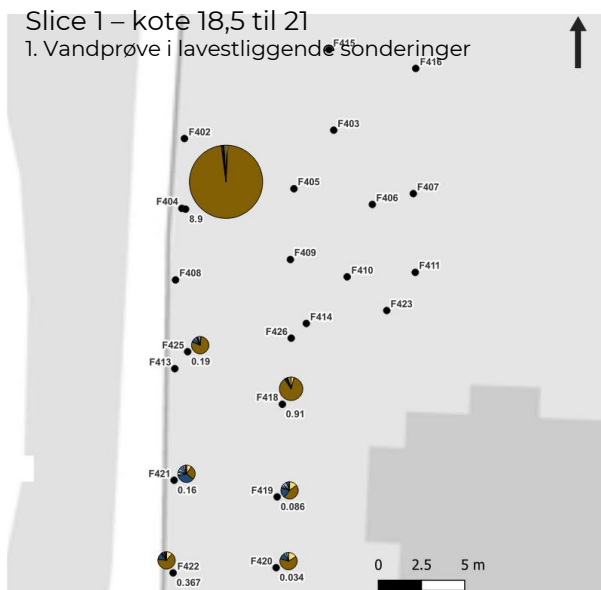
PFAS 22

	KÆDE	FORKORTE- LSE	CAS NR	FORMEL	NAVN, med markering af navngivende bogstaver	Antal C i alt	Antal C i C-F kæden	Molvægt
PFCA' er Perfluoralkylcarboxylsyre	Kort	PFBA	375-22-4	C ₃ F ₇ •COOH	PerFluorButansyre	4	3	214,0
		PFPeA	2706-90-3	C ₄ F ₉ •COOH	PerFluorPentansyre	5	4	264,1
		PFHxA	307-24-4	C ₅ F ₁₁ •COOH	PerFluorHexansyre	6	5	314,1
		PFHpA	375-85-9	C ₆ F ₁₃ •COOH	PerfluorHeptansyre	7	6	364,1
	Lang	PFOA	335-67-1	C ₇ F ₁₅ •COOH	PerfluorOktansyre	8	7	414,1
		PFNA	375-95-1	C ₈ F ₁₇ •COOH	PerFluorNonansyre	9	8	464,1
		PFDA	335-76-2	C ₉ F ₁₉ •COOH	PerFluorDecansyre	10	9	514,1
		PFUnDA	2058-94-8	C ₁₀ F ₂₁ •COOH	PerFluorUndecansyre	11	10	564,1
		PFDoDA	307-55-1	C ₁₁ F ₂₃ •COOH	PerFluorDoDecansyre	12	11	614,1
		PFTTrDA	72629-94-8	C ₁₂ F ₂₅ •COOH	PerFluorTridecansyre	13	12	664,1
PFSA' er Perfluoralkylsulfonsyre	Kort	PFBS	375-73-5	C ₄ F ₉ •SO ₃ H	PerFluorButansulfonsyre	4	4	300,1
		PFPeS	2706-91-4	C ₅ F ₁₁ •SO ₃ H	PerFluorPentansulfonsyre	5	5	350,1
	Lang	PFHxS	307-55-1	C ₆ F ₁₃ •SO ₃ H	PerFluorHexansulfonsyre	6	6	400,1
		PFHpS	375-92-8	C ₇ F ₁₅ •SO ₃ H	PerFluorHeptansulfonsyre	7	7	450,1
		PFOS	1 763-23-1	C ₈ F ₁₇ •SO ₃ H	PerFluoroktansulfonsyre	8	8	500,1
		PFNS	68259-12-1	C ₉ F ₁₉ •SO ₃ H	PerFluorNonansulfonsyre	9	9	550,1
		PFDS	335-77-3	C ₁₀ F ₂₁ •SO ₃ H	PerFluorDecansulfonsyre	10	10	600,1
		PFUnDS	749786-16-1	C ₁₁ F ₂₃ •SO ₃ H	PerFluorUndecansulfonsyre	11	11	650,2
		PFDoDS	79780-39-5	C ₁₂ F ₂₅ •SO ₃ H	PerFluorDoDecansulfonsyre	12	12	700,2
		PFTTrDS	791563-89-8	C ₁₃ F ₂₇ •SO ₃ H	PerFluortridecansulfonsyre	13	13	750,2
Precursorer	Lang	PFOSA	754-91-6	C ₈ F ₁₇ •SO ₂ •NH ₂	PerFluoroktansulfonamid	8	8	499,1
		6 :2 FTS (6 :2 FTSA)	27619-97-2	C ₆ F ₁₃ •C ₂ H ₄ •SO ₃ H	6:2 FluorTelomerSulfonat (1H,1H,2H,2H- Perfluoroktansulfonsyre)	8	6	428,2

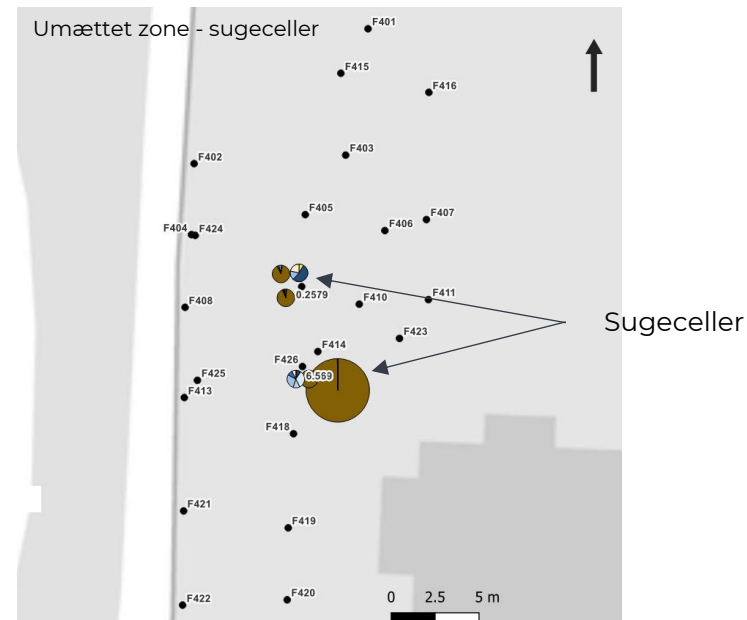


Antal C- atomer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Præfix	Meth-	Eth-	Prop-	But-	Pent-	Hex-	Hept-	Okta-	Non-	Dek-	Undek-	Dodek-	Tridek-

PFAS fordeling i dybdeintervaller

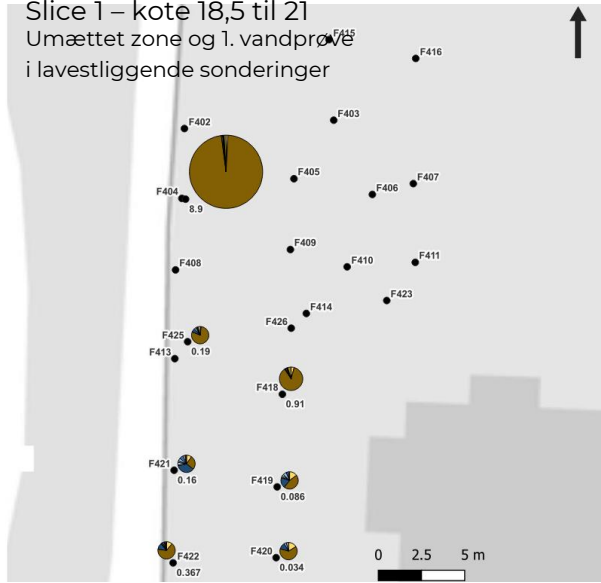


- PFAS fordelingen i grænsefladen mellem mættet/umættet zone er mere fordelt på forskellige komponenter end i toppen af grundvandszonen (1. vandprøve i mættet zone).



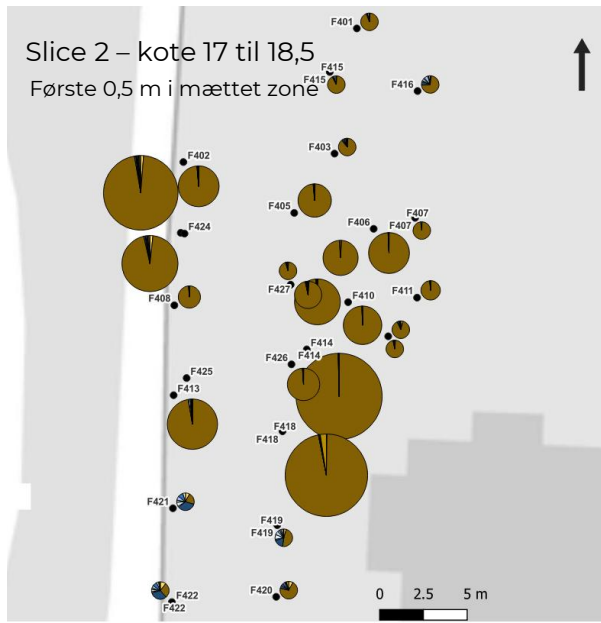
PFAS fordeling i dybdeintervaller

Slice 1 – kote 18,5 til 21
Umættet zone og 1. vandprøve
i lavestliggende sonderinger

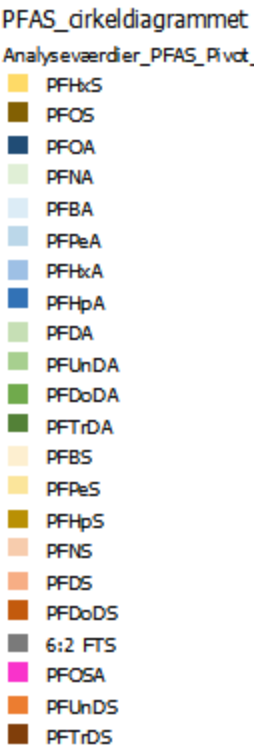


- PFAS fordelingen i grænsefladen mellem mættet/umættet zone er mere fordelt på forskellige komponenter end i toppen af grundvandszonen (1. vandprøve i mættet zone).

Slice 2 – kote 17 til 18,5
Første 0,5 m i mættet zone

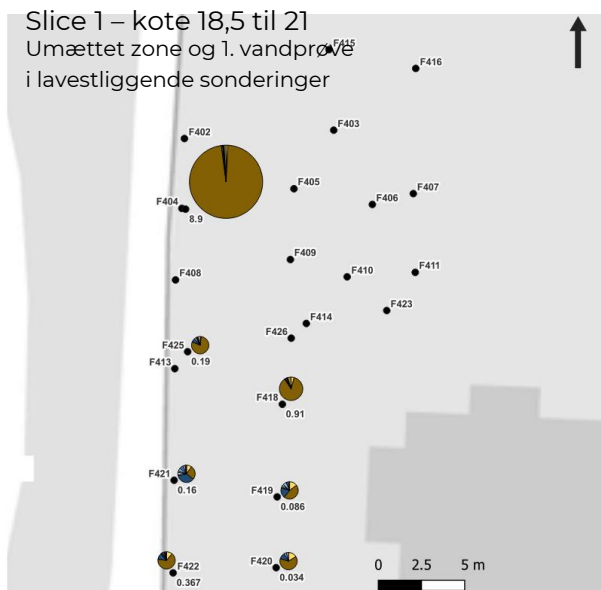


- Koncentration er højere i niveau 2, indenfor første 0,5 meter af mættet zone end helt i toppen af magasinet og grænsen mellem mættet/umættet zone

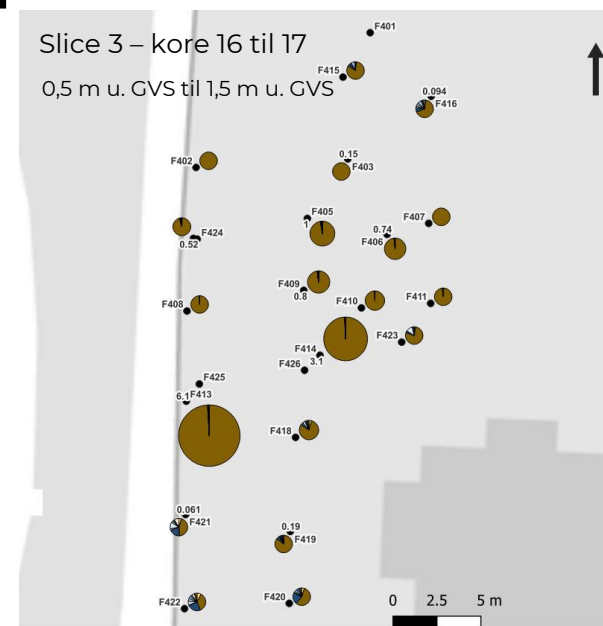


PFAS fordeling i dybdeintervaller

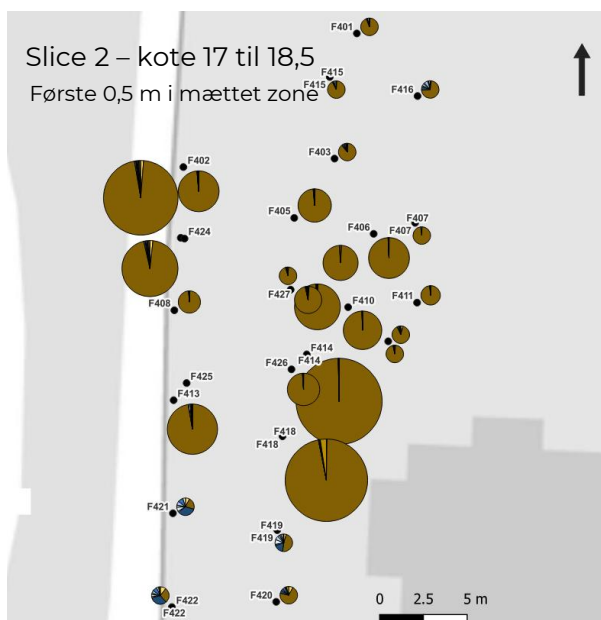
- Koncentrationerne aftager men kromatograferingen forbliver den samme



- PFAS fordelingen i grænsefladen mellem mættet/umættet zone er mere fordelt på forskellige komponenter end i toppen af grundvandszonen (1. vandprøve i mættet zone).

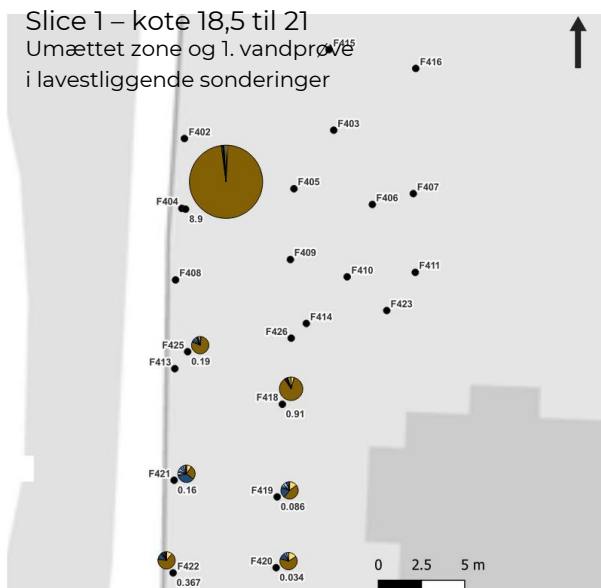


- Koncentration er højere i niveau 2, indenfor første 0,5 meter af mættet zone end helt i toppen af magasinet og grænsen mellem mættet/umættet zone

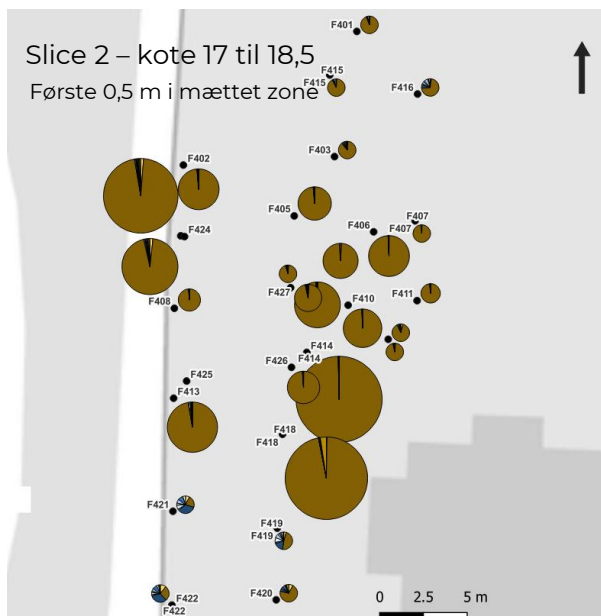
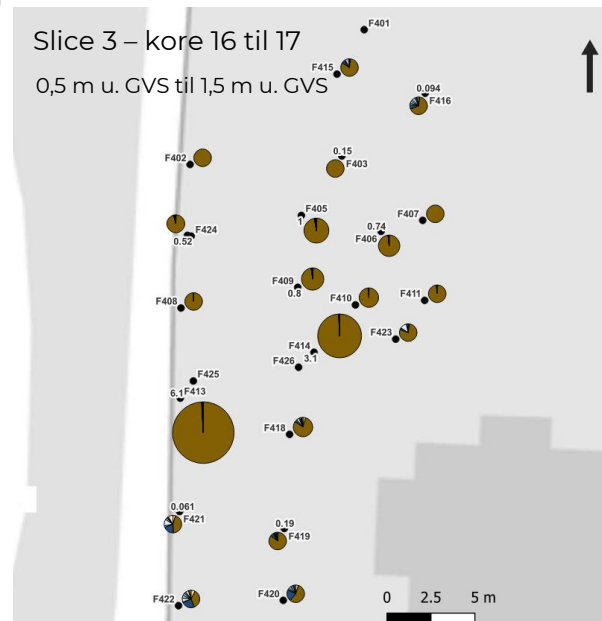


PFAS fordeling i dybdeintervaller

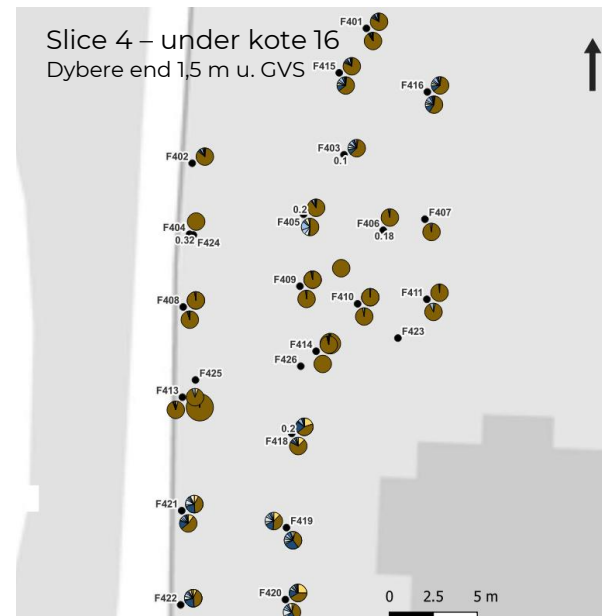
- Koncentrationerne aftager men kromatograferingen forbliver den samme



- PFAS fordelingen i grænsefladen mellem mættet/umættet zone er mere fordelt på forskellige komponenter end i toppen af grundvandszonen (1. vandprøve i mættet zone).



- Koncentration er højere i niveau 2, indenfor første 0,5 meter af mættet zone end helt i toppen af magasinet og grænsen mellem mættet/umættet zone



- I slice 4 (efter 2. meter af grundvandszonen) kunne det tyde på, at PFAS sammensætningen igen bliver mere fordelt på forskellige komponenter, end i toppen af grundvandszonen
- Tendensen er mere tydelig hvis vi kigger på et profilsnit