

PFAS-forurening fra brandslukningsmidler  
– en kompleks suppe der kræver den  
store lup!

**Senior specialist Søren Rygaard Lenschow, NIRAS og  
Manager, Research and Development  
Peter Bondgaard Mortensen, Eurofins Miljø**

ATV Gå hjem møde – 3. december 2025

---

# Dagsorden

- Intro
- Baggrund
- Udførte undersøgelse og analyser
- Resultater
- Hvad kan vi bruge det til ?

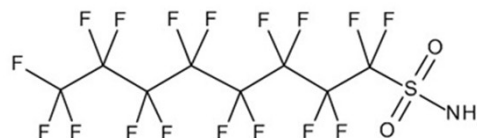


# Intro

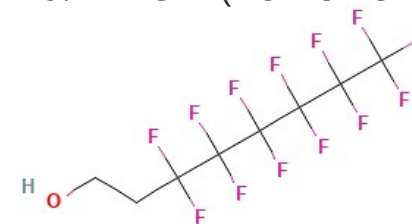
- Perfluorerede stoffer
- Polyfluorerede stoffer / precursors

## Precursors (eksempler)

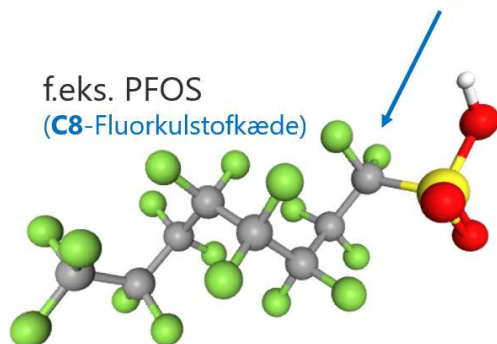
### PFOSA (kationisk)



### 6:2 FTOH (nonionisk)

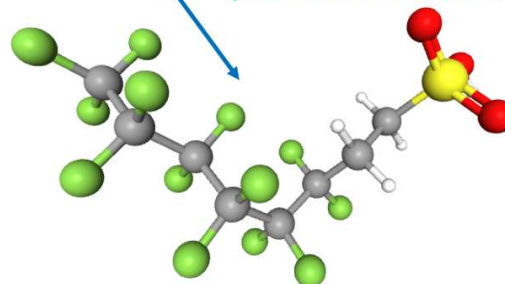


**PFAS** er en forkortelse for **PerFluorAlkylStoffer** og **PolyFluorAlkylStoffer**



Polyfluorerede – precursors  
Nedbrydes til perfluorerede

f.eks. 6:2 FTS  
(C6-Fluorkulstofkæde)

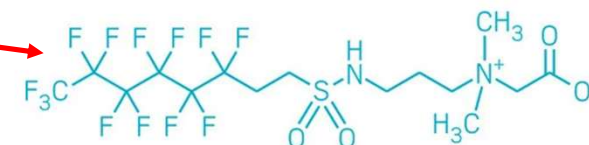
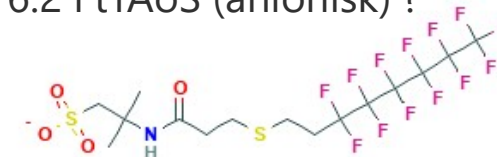


Perfluorerede – "dead ends"  
Persistente stoffer - evighedskemikalier

# Baggrund

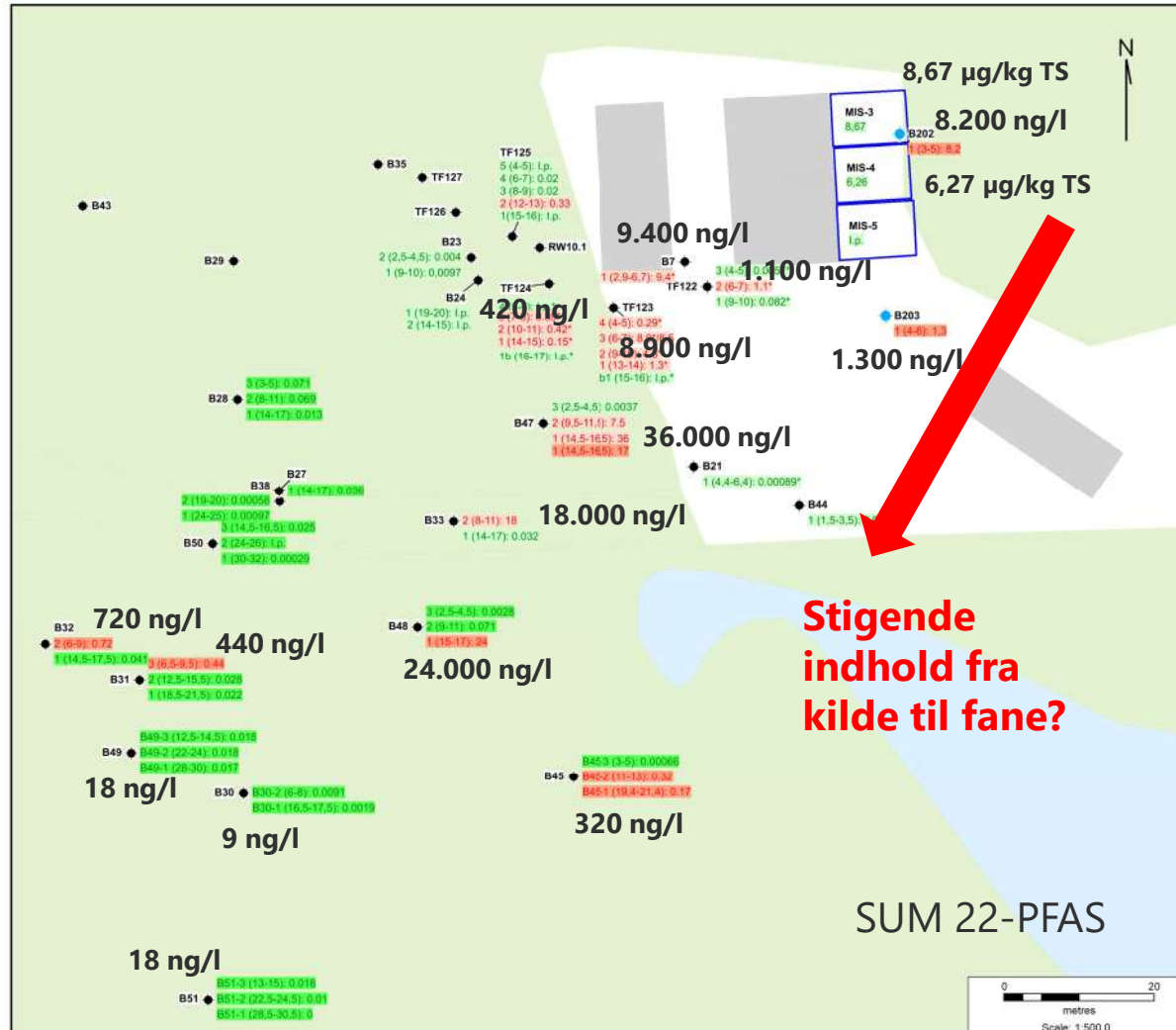
- Tankområde i Jylland
- Lokalitet med skumslukningsanlæg installeret i bygning 2007
- Test af anlæg (årligt), hvor skum blev sprøjtet ud af døren på område uden befæstelse
- Slukningsmidler – Film Forming Fluoroprotein Foam (FFFP)
- Slukningsmidler indeholder precursors: Fluorotelomerer
- - 8:2 eller 6:2 fluorotelomerer ?
- Ingen kendskab til brand eller tidligere brandøvelser
- Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse udfører frivillig undersøgelser 2022-2023:
  - Jordprøver (analyser for 22 PFAS)
  - Supplerende filtresatte boringer
  - Vandprøver fra nye/eksisterende filtre – 22 PFAS

6:2 FtTAoS (anionisk) ?



6:2 FTAB (zwitterionisk) ?

# Undersøgelse 2023

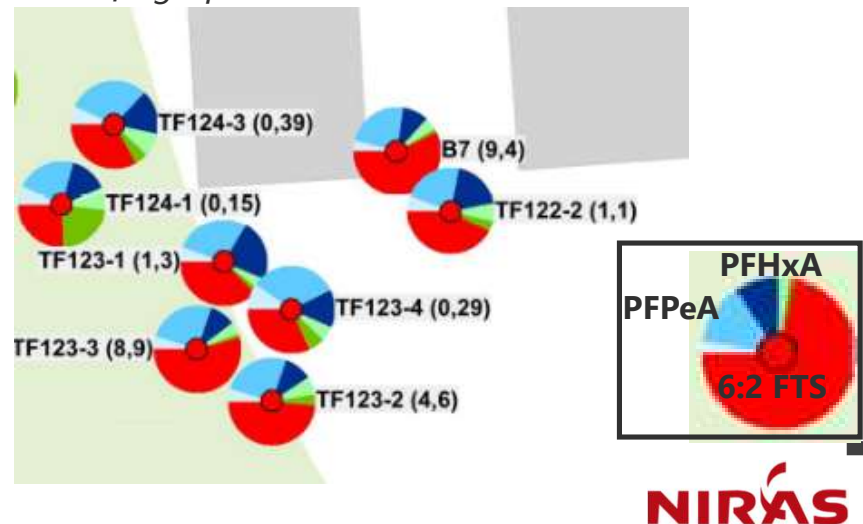


Indhold i jord er under grænseværdi  
(400 µg/kg TS)

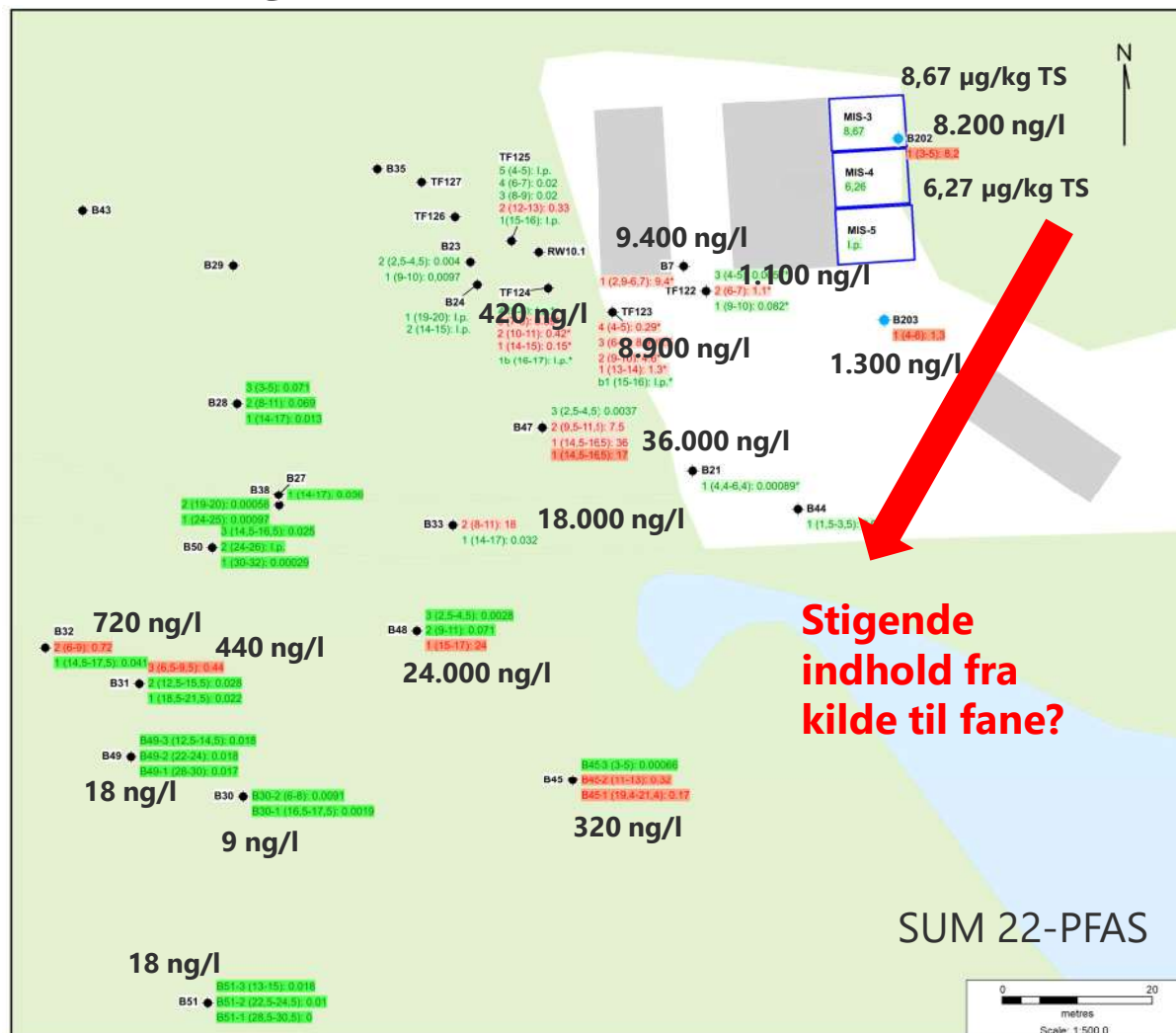
Mest dominerende PFAS forbindelser:  
6:2 FTS samt PFPeA og PFHxA  
(nedbrydning af fluorotelomerer)

Stigende indhold i fane i forhold til  
kildeområde ?

PFAS fingerprint:



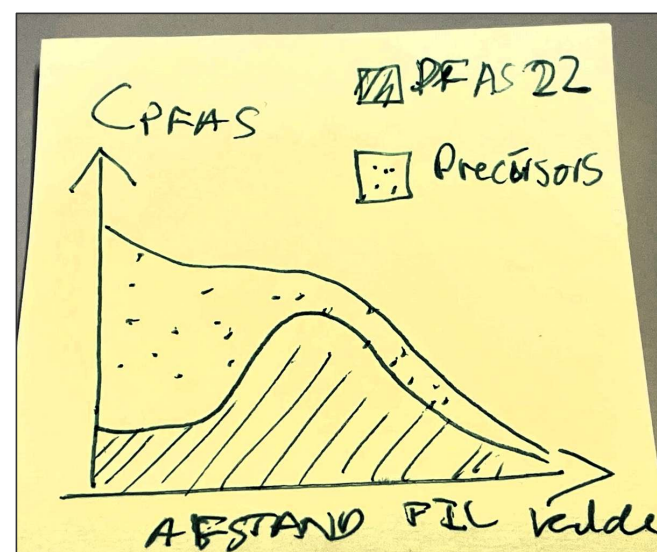
# Undersøgelse 2023



Indhold i jord er mindre en grænseværdi  
(400 µg/kg TS)

Mest dominerende PFAS forbindelser:  
6:2 FTS samt PFPeA og PFHxA  
(nedbrydning af fluorotelomerer)

Stigende indhold i fane i forhold til  
kildeområde ?



---

# Undersøgelse 2024

## Frivillig undersøgelse Forsvarets Ejendomsstyrelse

### Prøvetagning jord

- Supplerende MIS prøver til "afgrænsning af jordforurening
- Analyse for 22 PFAS

### Prøvetagning grundvand

- 15 vandprøver i nordøst-sydvestgående transekt langs fanen med PFAS-forurening.
- PFAS 33 (target analyse)
- PFAS Total Oxidisable Precursors (TOP) Assay
  - 30 target analyse
- Forsøgsvis udført Non Target Screening (NTS) ved HRMS på vandprøver fra borerne B7 og B202 i kildeområde.

### Total Oxidisable Precursors (TOP) Assay

- Metode, hvor prøven tilsættes oxidationsmiddel (persulfat), hvorved precursors (inkl. en række stoffer, der ikke indgår i target analyser) bliver oxideret og omsat til perfluorerede stoffer. Efterfølgende analyseres prøven ved target analyse for 30 PFAS forbinder

# Resultater

## Grundvand

### Generelt samme fund af stoffer ved 33 target i forhold til 22 PFAS:

- Fund af 4:2 FTS (lavere indhold end 6:2 FTS)
- Enklte lave fund af 8:2 FTS

### TOP Assay:

- Generelt samme indhold før/efter TOP
- Nogle boringer observeres et fald efter TOP analyse?
- Generelt:
  - Reduktion i 4:2 FTS og 6:2 FTS (viser vellykket oxidation)
  - Stigning i PFBA, PFPeA og PFHxA
- Omregningen til ækvivalenter ( $\mu\text{mol/l}$ )

### I kildeområde (B7)

Inden TOP – 4,0  $\mu\text{g/l}$  (Sum 33 PFAS)

Efter TOP - 5,8  $\mu\text{g/l}$  (Sum 30 PFAS)

- Tilvækst på 45%.

### Omregnes til ækvivalenter:

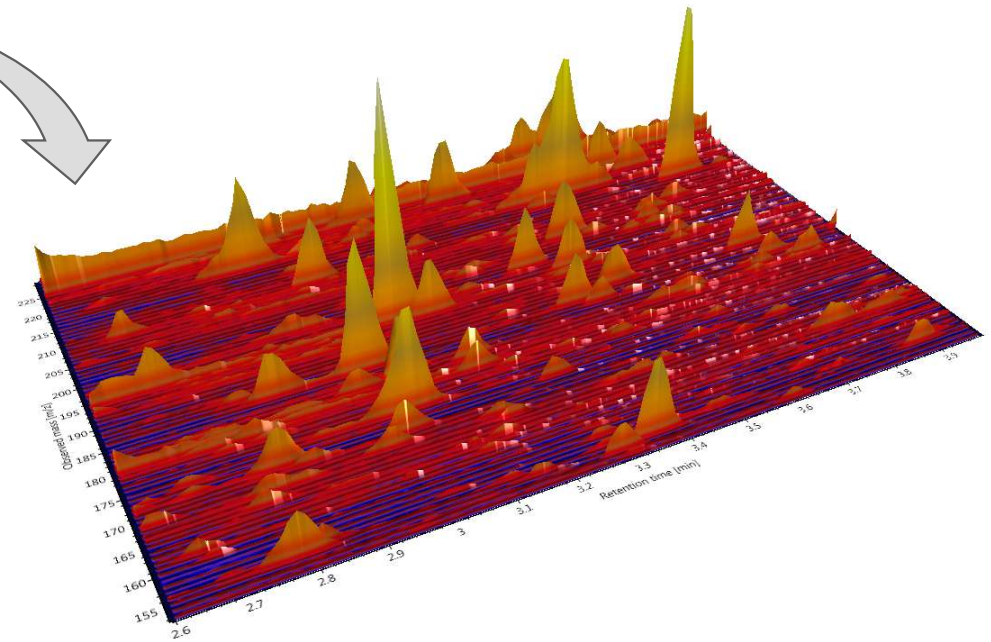
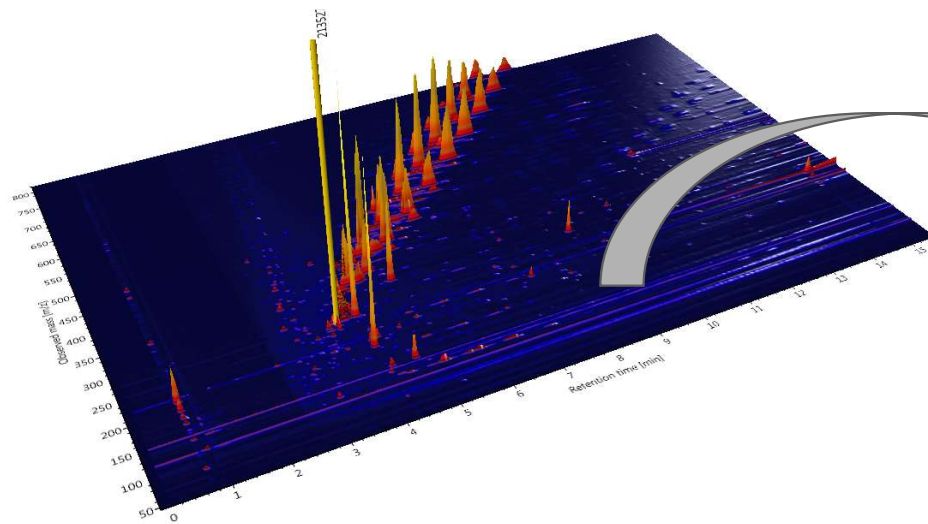
Omsætning af 6:2 FTS 0,005  $\mu\text{mol/l}$  (2,0  $\mu\text{g/l}$ )

Tilvækst af PFBA (0,9  $\mu\text{g/l}$ ), PFPeA (2,0  $\mu\text{g/l}$ ) og PFHxA (0,9  $\mu\text{g/l}$ ): 0,014  $\mu\text{mol/l}$

- Omsætningen stiger med 310 % i forhold til indholdet af 6:2 FTS
- Der er således andre precursors i prøven end 6:2 FTS, der oxideres ved TOP Assay

# Resultater

## Non-targeted screening (NTS)



ca. 1 Gb  
data per  
prøve

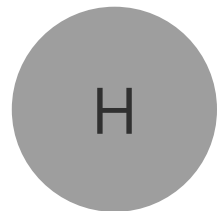
# Resultater

## Non-targeted screening (NTS)

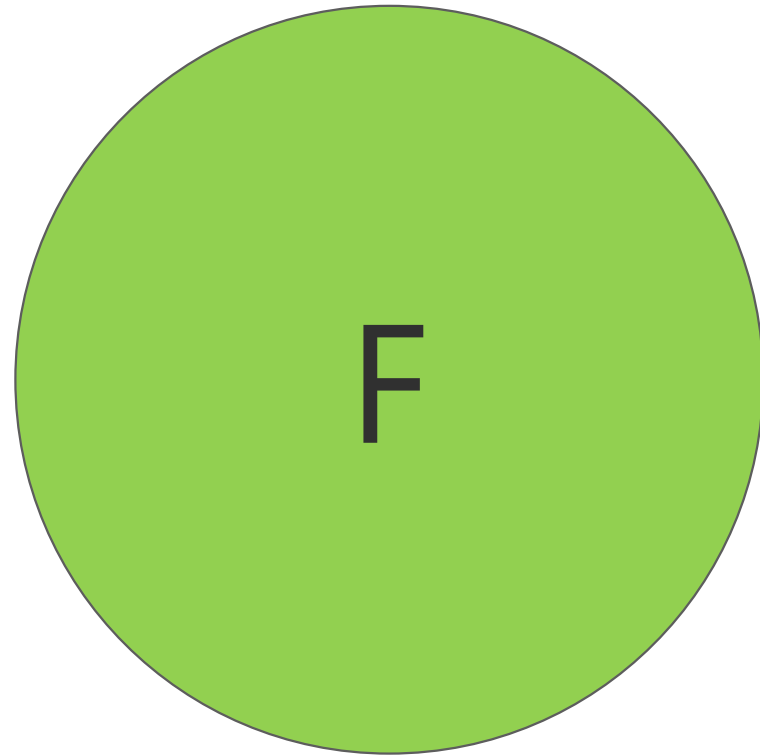


12,00000 u

**QTOF:** 5 ppm masseusikkerhed  
(5 / 1 000 000)  
100 m/z +/- 0,0005u



1,00784 u

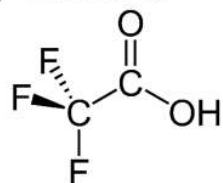


19 u

18,99840 u

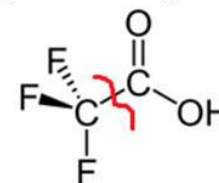
## Molvægt – et eksempel

TFA  
[M]<sup>-</sup> 112.9845

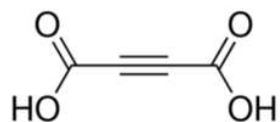


Fragmentering  
→

Fragment vægt: 68.9947

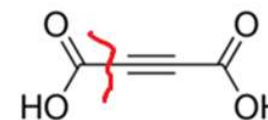


Acetylenedicarboxylic acid  
[M]<sup>-</sup> 112.9869



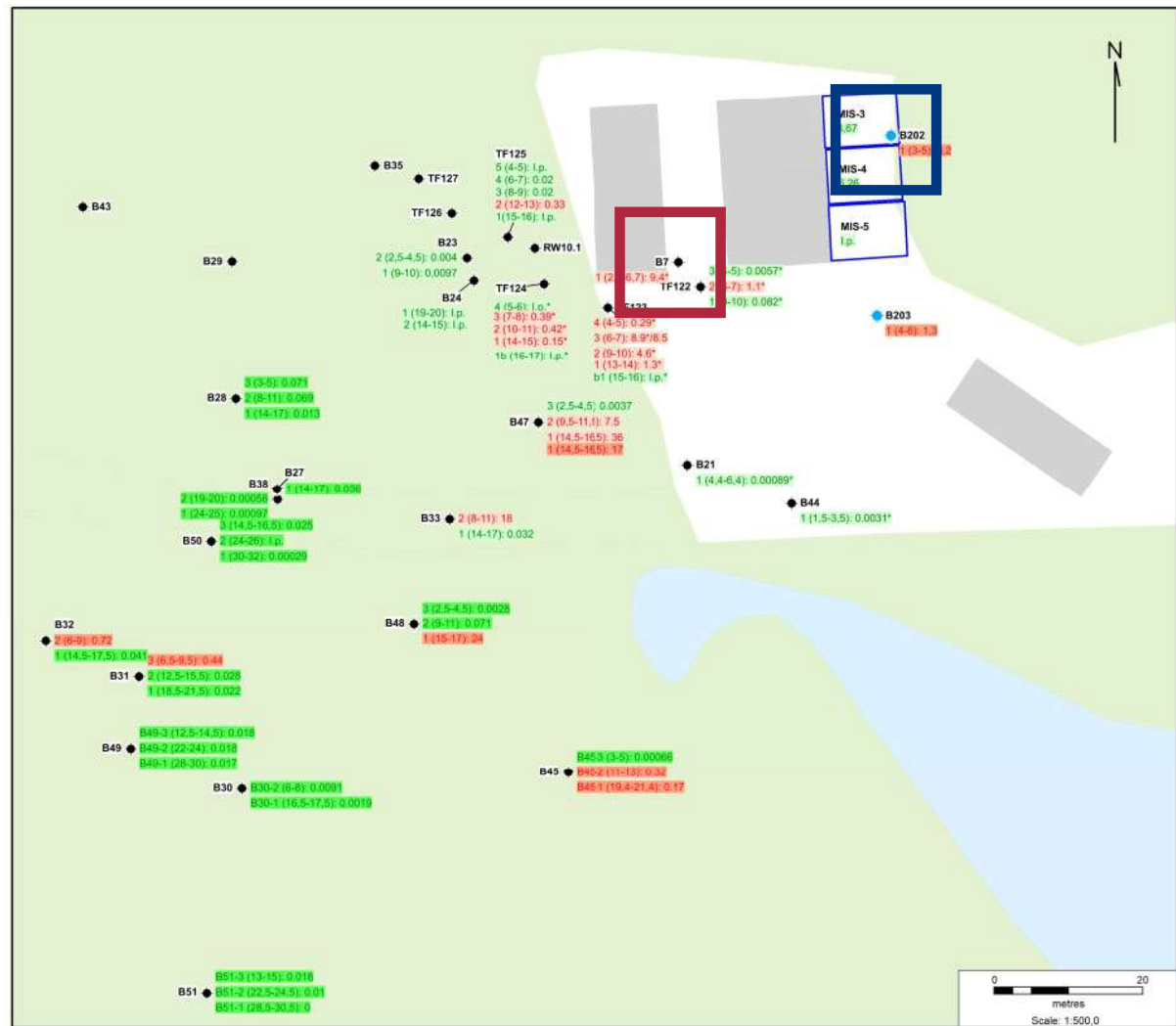
Fragmentering  
→

Fragment vægt: 68.9971



# Resultater

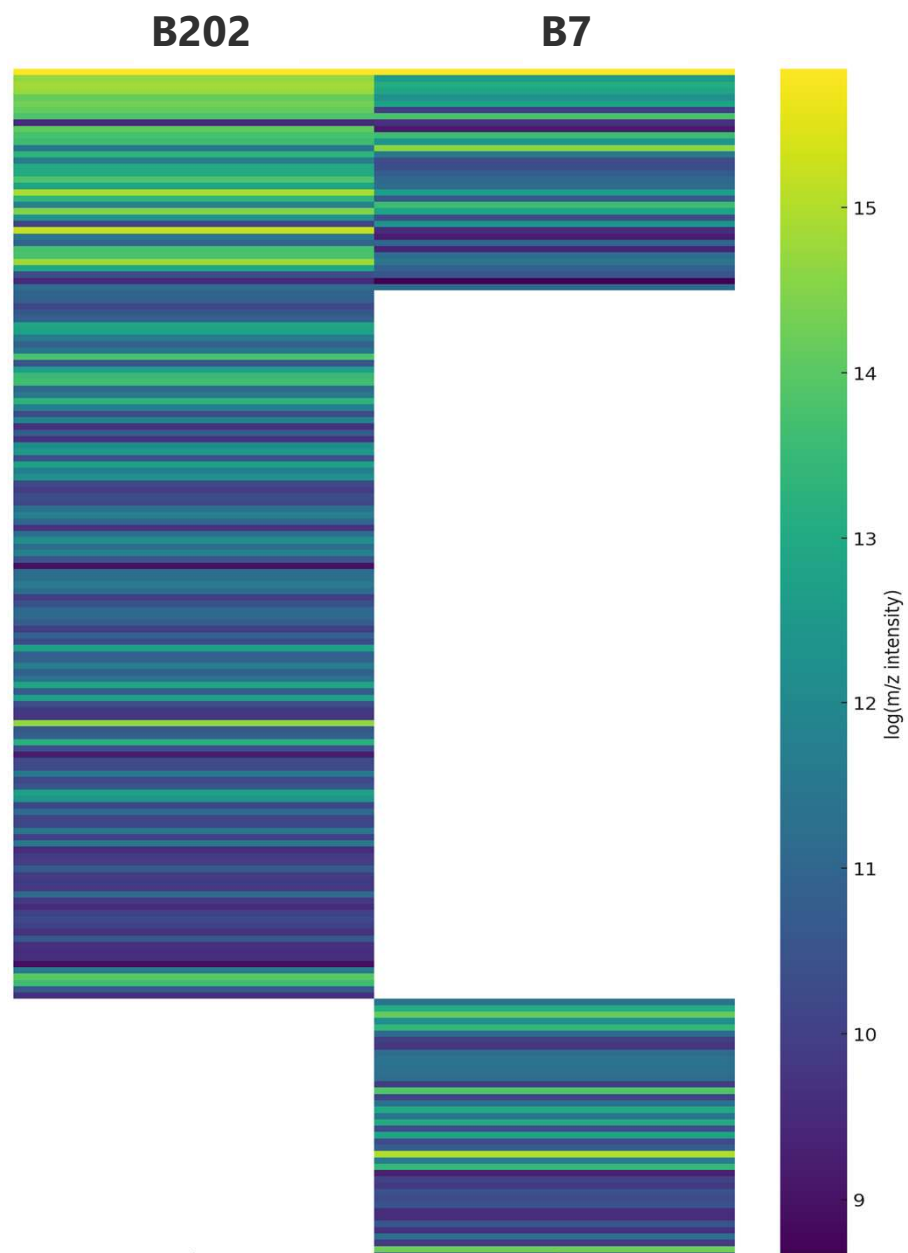
## Non-targeted screening (NTS)



Kilder: Niras Intern kort

Resultater

## Non-targeted screening (NTS)



# Resultater

## Non-targeted screening (NTS)

114 forbindelser

B202

B7

Totalt: 192 forskellige PFAS forbindelser

37 forbindelser

41 forbindelser

NIRAS

# Resultater

## Non-targeted screening (NTS)

114 forbindelser

B202

B7

Totalt: 192 forskellige PFAS forbindelser

37 forbindelser

Af de 37 forbindelser:

28 stærkest i B202

9 stærkest i B7

41 forbindelser

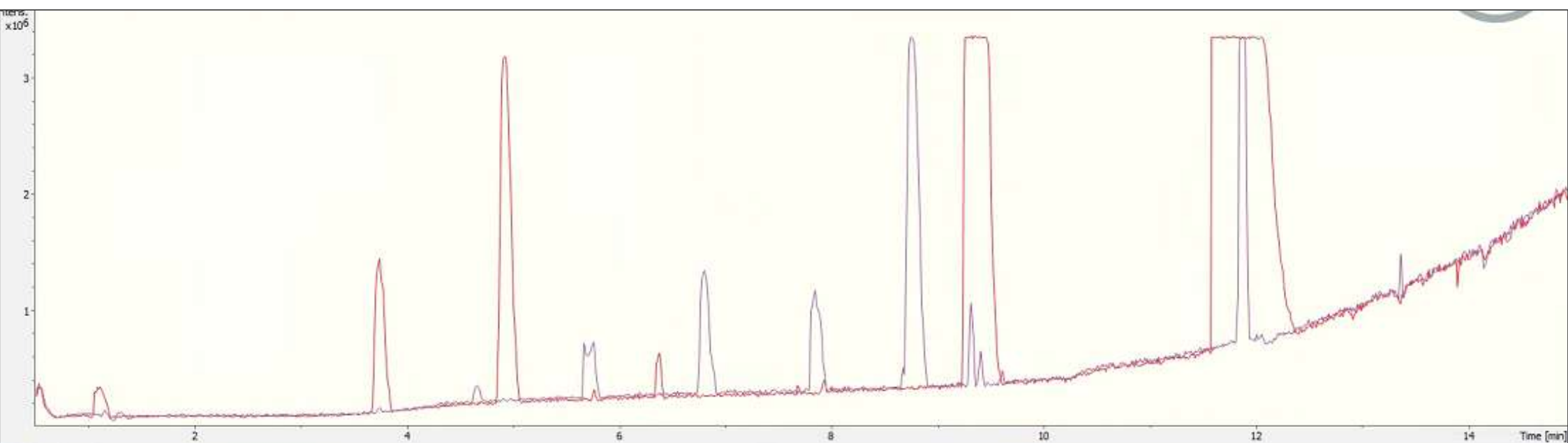
NIRAS

# Resultater

## Non-targeted screening (NTS)

**B202 (blå)**

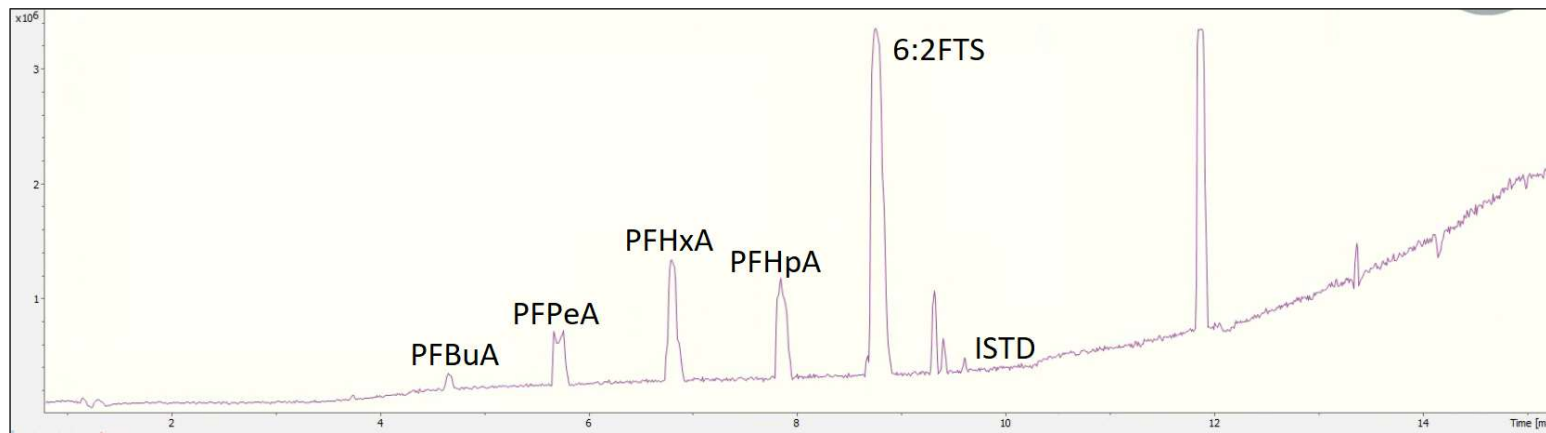
**B7 (rød)**



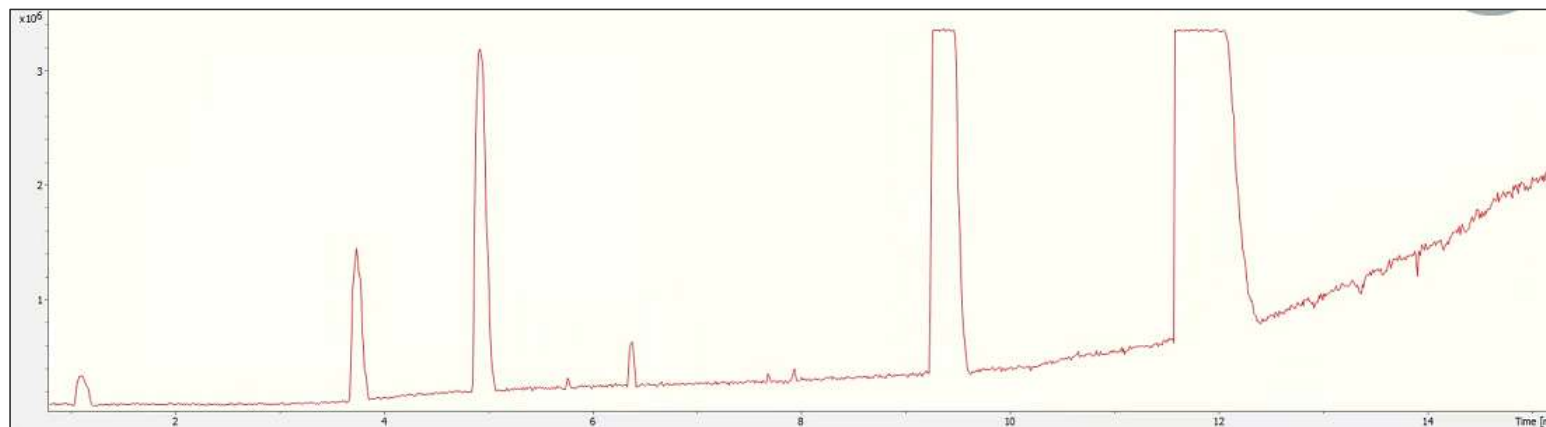
# Resultater

## Non-targeted screening (NTS)

B202



B7



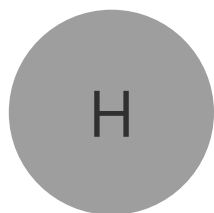
Højeste toppe  
PFAS?

NIRAS

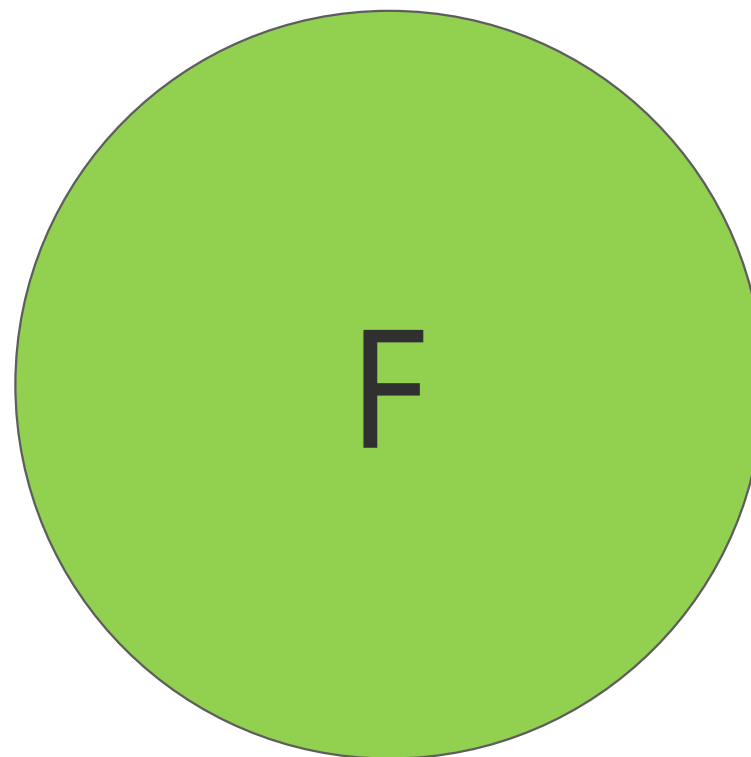


12,00000 u

**QTOF:** 5 ppm masseusikkerhed  
(5 / 1 000 000)  
100 m/z +/- 0,0005u



1,00784 u



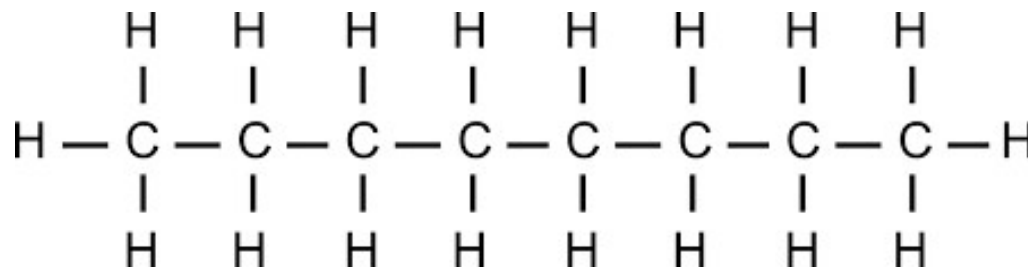
19 u

18,99840 u

## Resultater

### Non-targeted screening (NTS)

Octan (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>)



$\frac{\text{Masse}}{\text{\# C-atomer}}$

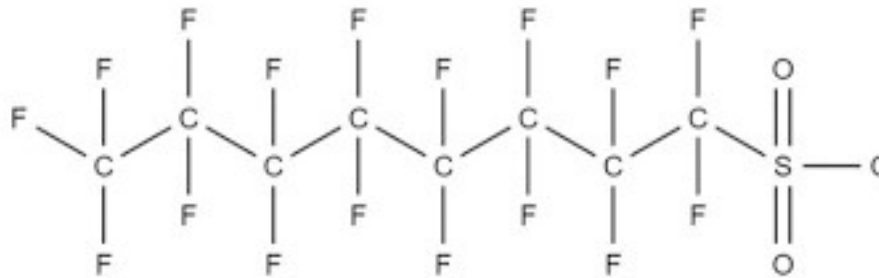
$$\longrightarrow \frac{114.23}{8} \longrightarrow 14$$

Ikke PFAS

# Resultater

## Non-targeted screening (NTS)

PFOS (C<sub>8</sub>F<sub>17</sub>SO<sub>3</sub>H)



$\frac{\text{Masse}}{\text{\# C-atomer}}$



$\frac{500.13}{8}$



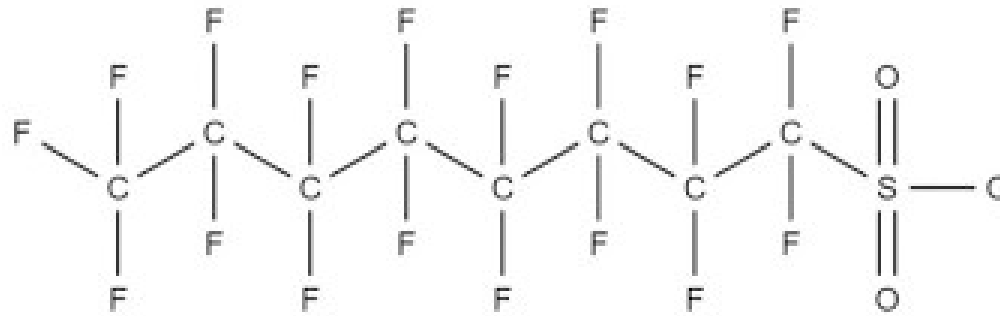
63

PFAS

Resultater

**Non-targeted screening (NTS)**

**PFOS (C<sub>8</sub>F<sub>17</sub>SO<sub>3</sub>H)**



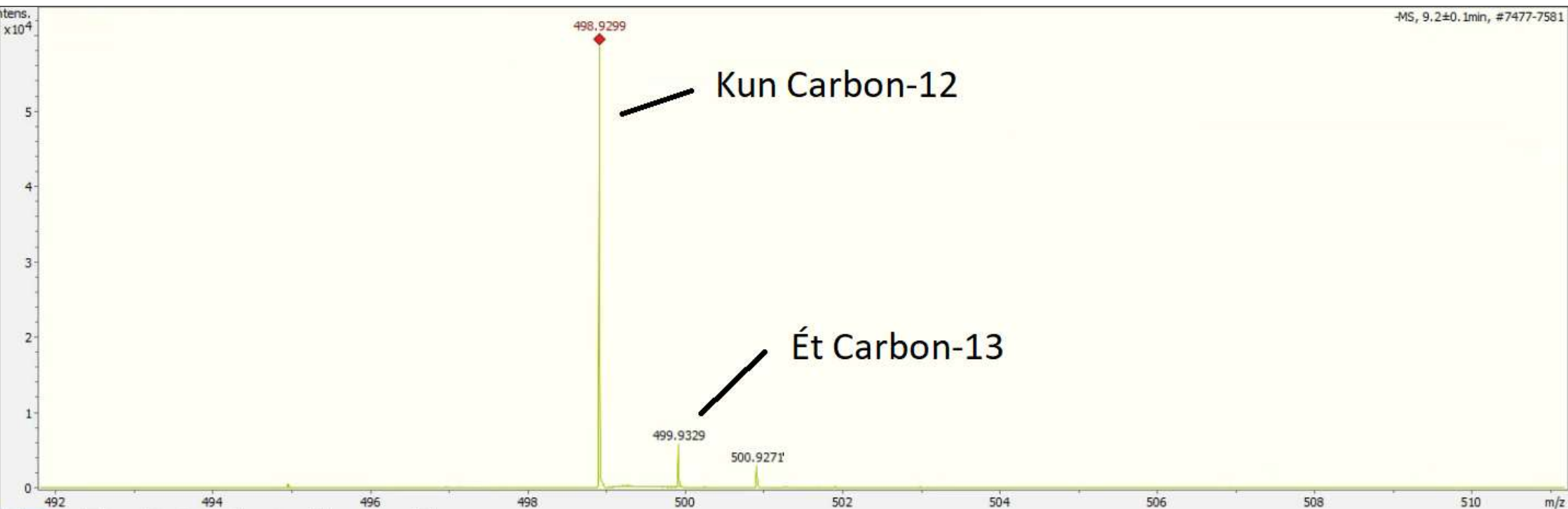
PFAS hvis  
 $30 < \text{Massetal}/\#C < 90$

## Resultater

### Non-targeted screening (NTS)

**PFOS ( $\text{C}_8\text{F}_{17}\text{SO}_3\text{H}$ ): 8,8% C-13)**

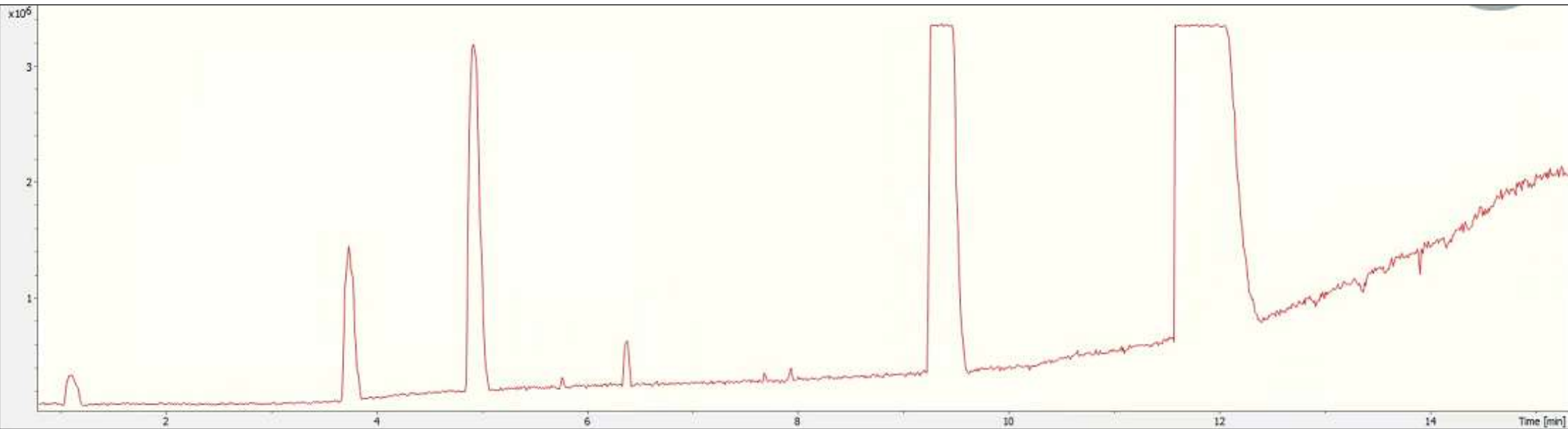
**Antal C:** aflæses af antal molekyler med C13



Resultater

**Non-targeted screening (NTS)**

Ikke PFAS



**B7**

20

13

19

20

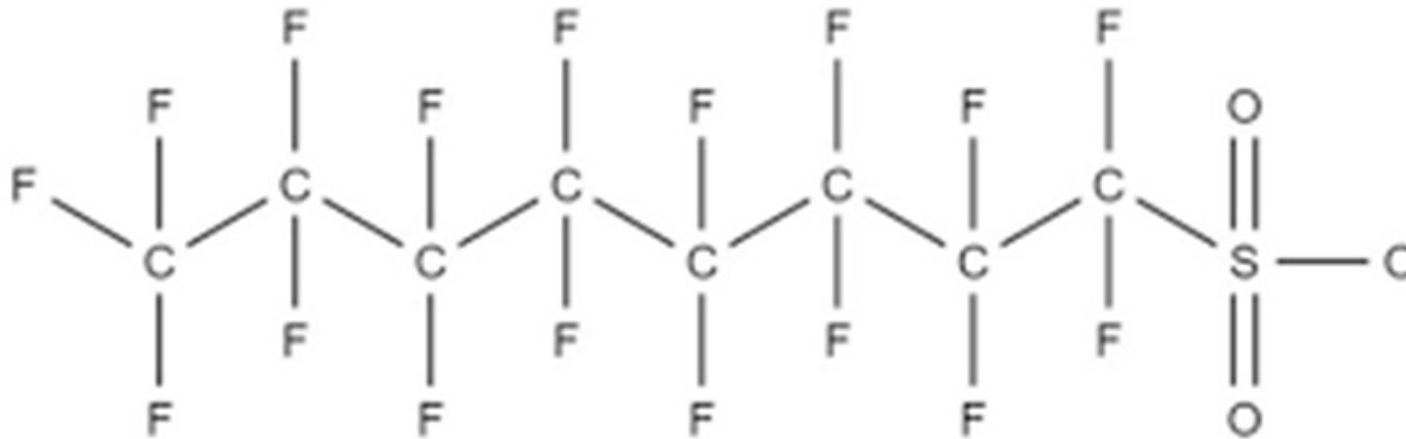
17

Masse  
# C-atomer

## Resultater

### Non-targeted screening (NTS)

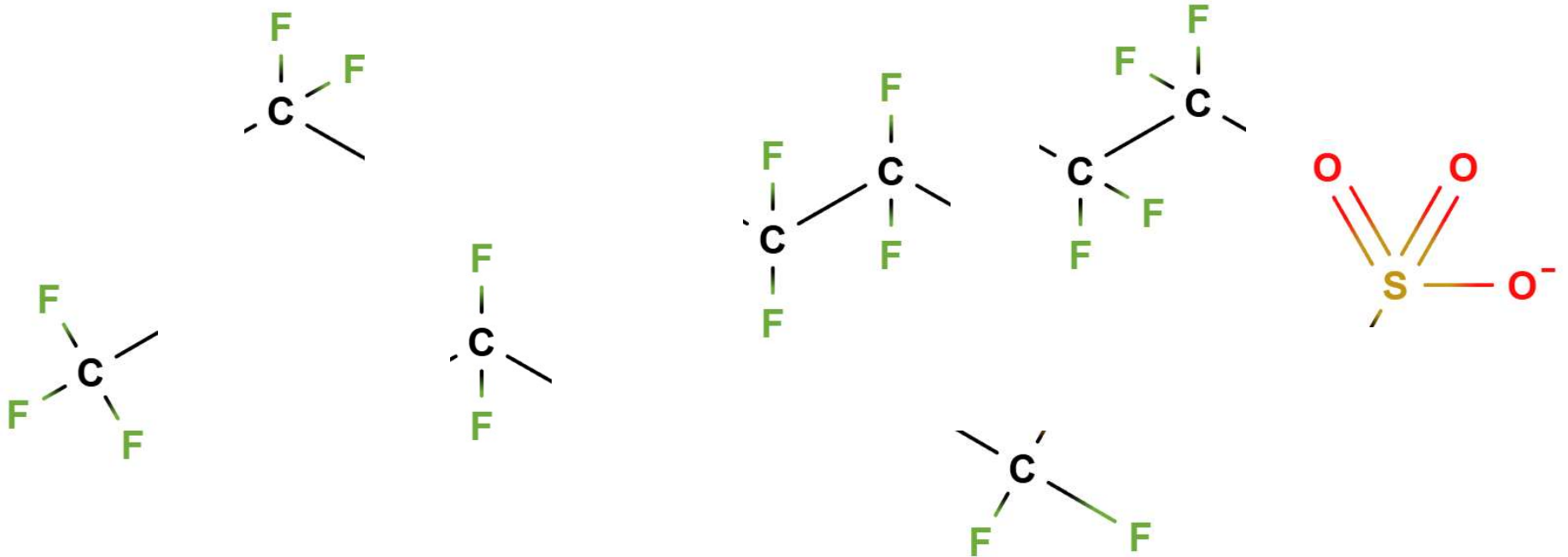
### PFOS (C<sub>8</sub>F<sub>17</sub>SO<sub>3</sub>H)



# Resultater

## Non-targeted screening (NTS)

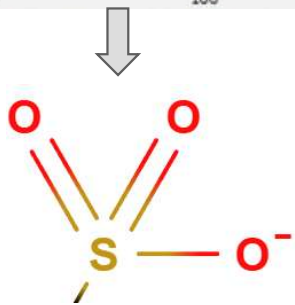
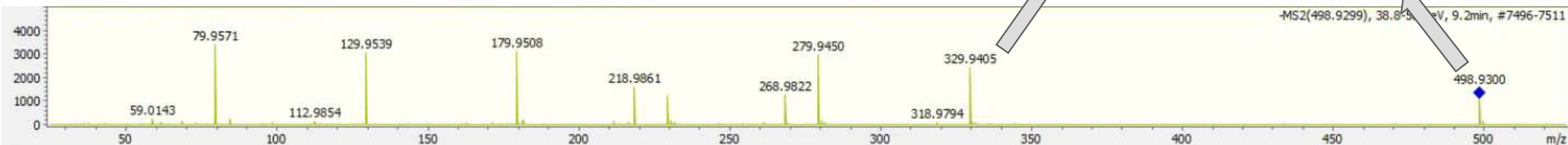
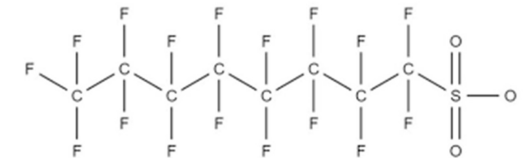
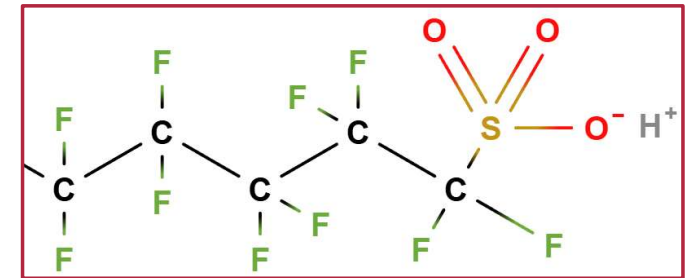
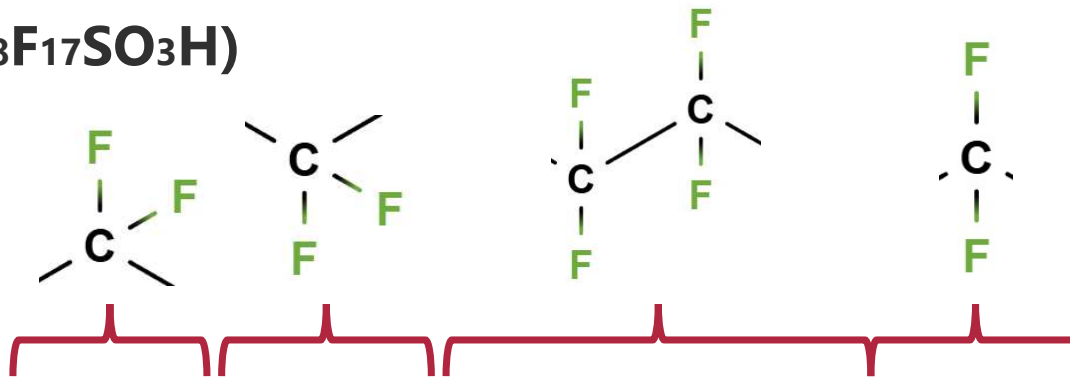
## PFOS (C<sub>8</sub>F<sub>17</sub>SO<sub>3</sub>H)



# Resultater

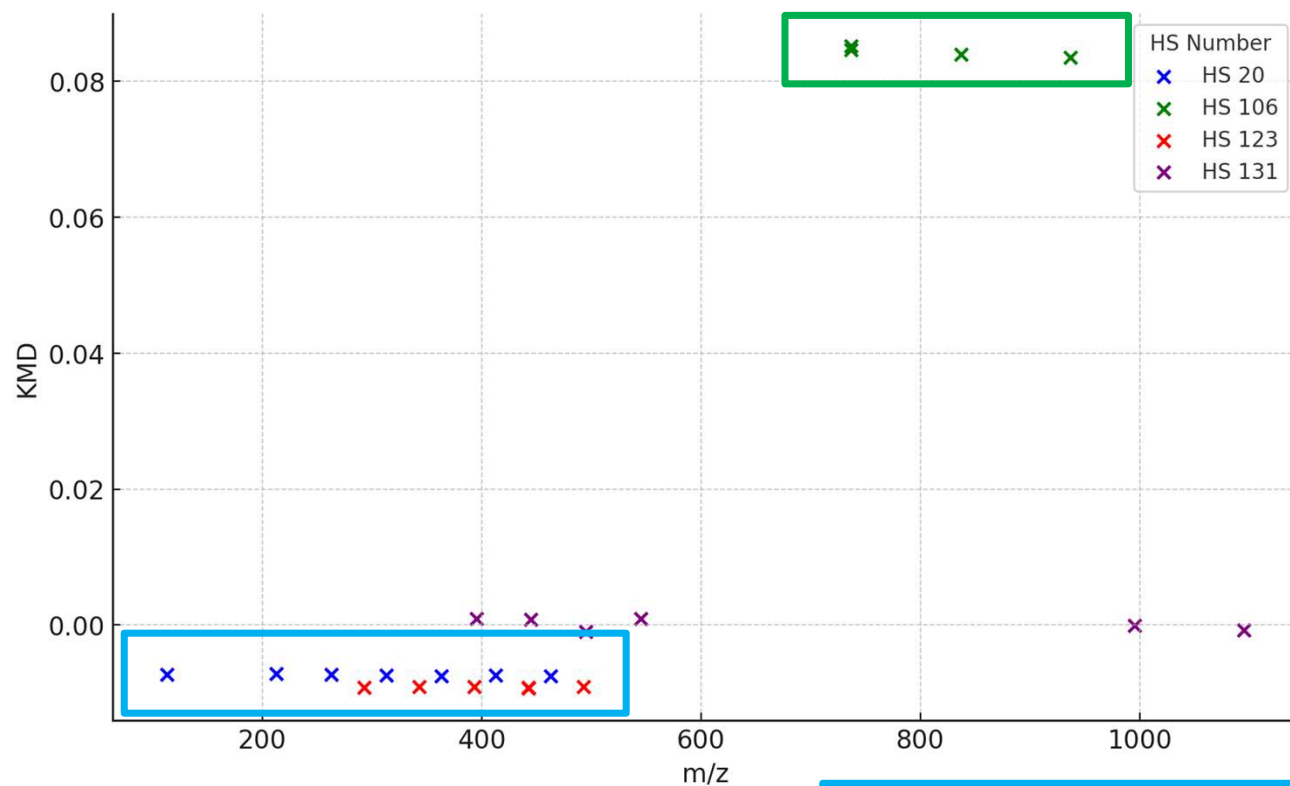
## Non-targeted screening (NTS)

### PFOS (C<sub>8</sub>F<sub>17</sub>SO<sub>3</sub>H)



# Resultater

## Non-targeted screening (NTS)



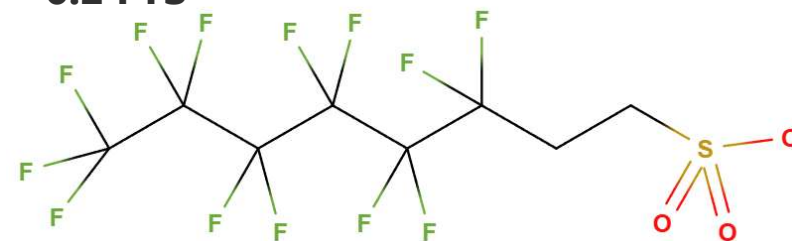
PFCA

F

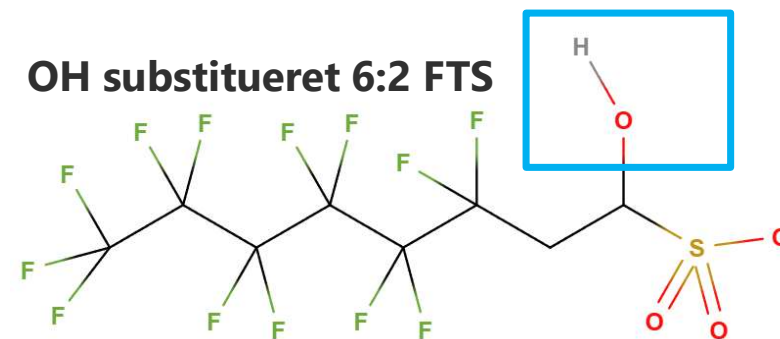
19 u

18,99840 u

6:2 FTS



OH substitueret 6:2 FTS



OH-substitueret FTS

NIRAS

# Resultater

## Non-targeted screening (NTS) / Suspect screening:

| Navn                                                   | B202     | B7      | B202/B7 |
|--------------------------------------------------------|----------|---------|---------|
| 4:2 FTS                                                | 1100000  | 5000    | 210     |
| 6:2 fluorotelomer sulfonic acid (6:2 FTS) (*Overload*) | 57000000 | 7800000 | 7,4     |
| 8:2 FTS                                                | 39000    | 480000  | 0,082   |
| Heptadecafluorooctanesulfonic acid (PFOS)              | 880000   | 220000  | 3,9     |
| HFPO-DA (GenX)                                         | 260000   | ND      | -       |
| Pentadecafluorooctanoic acid (PFOA)                    | 3300000  | 960000  | 3,5     |
| Perfluorobutane sulfonic acid (PFBS)                   | 47000    | 43000   | 1,1     |
| Perfluorobutanoic acid (PFBuA)                         | 2500000  | 140000  | 17      |
| Perfluorodecanoic acid (PFDA)                          | ND       | 16000   | -       |
| Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)                        | 14000000 | 280000  | 50      |
| Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS)                  | 46000    | 24000   | 1,9     |
| Perfluorohexanoic acid (PFHxA)                         | 14000000 | 1500000 | 8,9     |
| Perfluorononanoic acid (PFNA)                          | 1900000  | 330000  | 5,8     |
| Perfluoropentanoic acid (PFPeA)                        | 9500000  | 1300000 | 7,0     |
| Perfluoropropionic acid (PFPrA)                        | 150000   | 7000    | 20      |

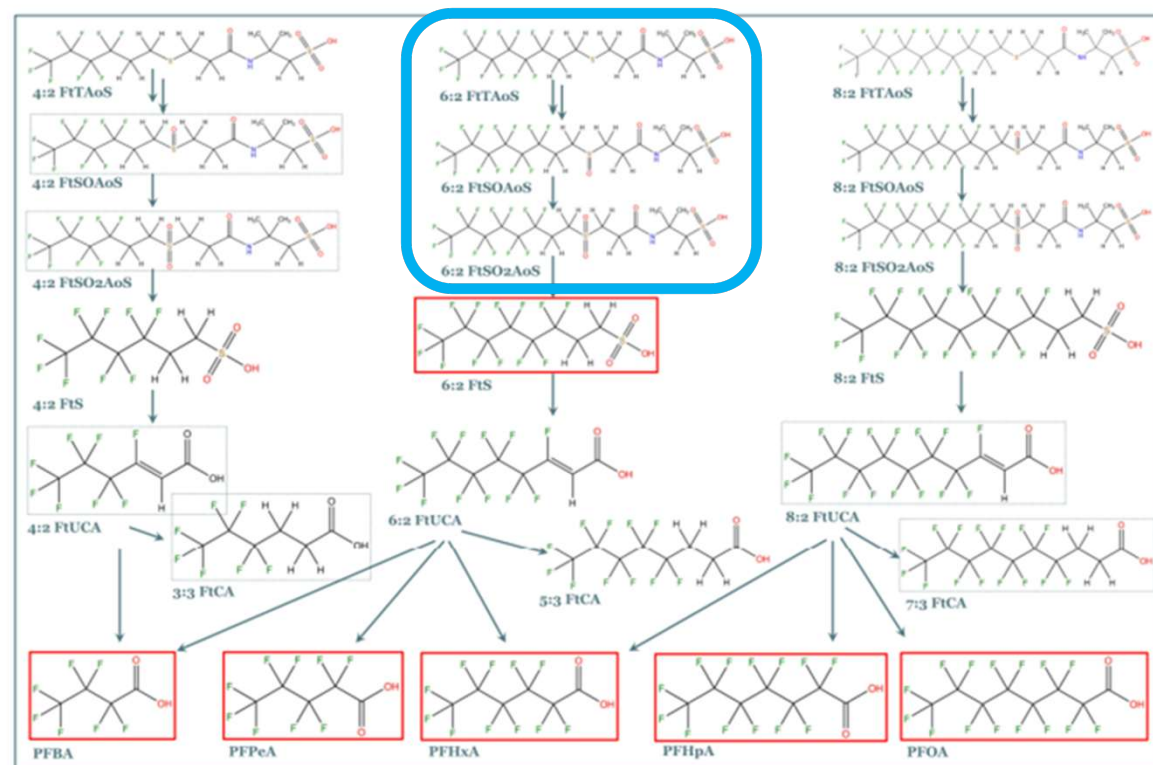
# Resultater

## Non-targeted screening (NTS) / Precurs

### Forbindelse

B7

|             |         |
|-------------|---------|
| 6:2 FtTAoS  | 260.000 |
| 6:2 FtSOaoS | 20.000  |
| FtSO2AoS    | 790.000 |



FIGUR 3-4 MULIGE AEROBE NEDBRYDNINGSVJE FOR 4:2 FTAoS, 6:2 FTAoS, 8:2 FTAoS I JORD  
 PFAS-FORBINDELSER SOM INDGÅR I SUMVÆRDIEN FOR DET DANSKE KVALITETSKRITERIUM ER  
 MARKERET MED RØDT  
 BASERET PÅ (HARDING-MARJANOVIC ET AL. 2015)  
 (DOBBELT PIL INDIKERER, AT REAKTIONEN KAN SKE BÅDE BIOTISK OG ABIOTISK. STOFFER I DE STIPLEDE  
 BOKSE ER FORSLAG TIL METABOLITTER, MEN IKKE KONSTATERET I MIKROCOSMER.)

# Resultater

## Grundvand NTS

- Der er påvist 35 PFAS-forbindelser, som er til stede i begge borer
- Der er påvist 41 unikke PFAS-forbindelser i boring B7
- Der er påvist 114 unikke PFAS-forbindelser i B202
- I B202 kan de fleste større toppe forklares ved de kendte PFAS-forbindelser: PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA og 6:2 FTS.
- PFAS-forbindelserne PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA og 6:2 FTS er også påvist i boring B7.
- Den primære kendte PFAS-forbindelse i B7 er 6:2 FTS
- Der er primært i B202 påvist en række mulige hydroxylsubstituerede PFAS-forbindelser – muligvis nedbrydningsprodukter af 4:2 FTS og 6:2 FTS (kan være et mellemstadium inden nedbrydning til PFCA'er).
- I B7 er der signaler fra PFAS-forbindelser, som kunne være **6:2 FtTAoS** og **6:2 FtSOaoS**. Signalet fra disse toppe har højere intensitet end signalet fra 6:2 FTS. Disse stoffer er fluorotelomerer, som har været anvendt som anioniske fluorosurfactants i FFFP-skum.

---

## Hvad kan vi bruge det til

- Jordkvalitetskriterier kan ikke bruges ift. grundvandsrisiko.
- TOP-analyser kan ikke alene vurdere 1:1 på baggrund målte indhold
- Ændringer ved TOP analyser skal omregnes til ækvivalenter
- NTS kan udskille PFAS stoffer fra øvrige stoffer i grundvandet
- NTS kan bruges til vurdere indhold og sammensætning af PFAS stoffer grundvand
- NTS kan identificere precursors, som giver anledning til stigning i indhold nedstrøms kildeområde
- NTS kan bruges til karakterisering og forståelse af kildestyrke – her ved 2 boringer dvs. NTS behøver man ikke udføre på alle vandprøver!

# Spørgsmål?

---

Senior specialist Søren Rygaard Lenschow,  
NIRAS - [srl@niras.dk](mailto:srl@niras.dk)

Manager, Research and Development Peter  
Bondgaard Mortensen, Eurofins Miljø  
[Peterbondgaard.mortensen@etn.eurofins.com](mailto:Peterbondgaard.mortensen@etn.eurofins.com)



FORSVARSMINISTERIET  
EJENDOMSSTYRELSEN

TAK TIL

Forsvarrets Etablissement og  
Terrænkommmando

Bjørn Peder Maarupgaard

Eurofins Miljø

Kristoffer Kilpinen og Eirik Aes

NIRAS

Maria Louise Thomsen

Pernille Lærke Kranz Trant

Lau Toftemark Lomborg

