

## 9. Udvekslingskoefficienter mellem makroporer og jordmatrix

Hubert de Jonge (DJF), Ole Hørbye Jacobsen (DJF) og Bo Vangsø Iversen (DJF)

### 9.1 Metode

I tabel 9.1 findes en oversigt over de kolonner der blev anvendt til tracer forsøg. I alt er der udført 14 kolonne-eksperimenter, hvoraf 10 kolonner er udtaget i pløjelaget og 4 kolonner i underjorden.

**Tabel 9.1.** Oversigt over kolonner anvendt i forsøgene.

Lokalitet	Dybde (cm)	Kolonne nummer
Gjorslev	5-25	104, 217, 227
Gjorslev	465-485	118, 181
Grundfør	5-25	245
Grundfør	350-370	151, 243
Højstrup	5-25	84, 159, 195
Mammen	5-25	16,101, 528

Efter konklusionen i dette bilag findes en beskrivelse af forsøgsprotokollen. I korte træk er der tilført tre tracerpulse til kolonnerne, den første ved en vandingsintensitet på 10 mm/time og sug i bunden af kolonnen på ca. 1 cm (i alt 300 mm), den anden ved en vandingsintensitet på 5 mm/time og et sug på 15 cm (150 mm), og til sidst en tredje puls ved en vandingsintensitet på 1 mm/time og et sug på 50 cm (i alt 172 mm). Desuden har der været to stop-flow perioder af 16 timer hver. Hvert forsøg har strakt sig over i alt 11 dage, og der er gennemført eksperimenter med tre parallelle kolonneopstillinger. Den tekniske opstilling med pulspumper, tracer puls tilsætning, og automatisk opsamling af prøverne har fungeret tilfredsstillende.

Som baggrundselektrolyt er der anvendt enten 0.01 M  $\text{CaCl}_2$  eller 0,01 M  $\text{CaSO}_4$ . Det har været nødvendigt eftersom jordstrukturen skulle bevares gennem hele eksperimentet, fordi der efter eksperimentet var planlagt hydrauliske målinger på kolonnerne. Som tracere er der anvendt diFluoroBenzosyre (2,6-DFBA), Pentafluorobenzosyre (PFBA), og bromid ( $\text{Ca-Br}_2$ ). Tracerne er analyseret med henholdsvis ionkromatograf (Br) og HPLC (2,6-DFBA og PFBA). Analysen af Br er ikke forløbet tilfredsstillende, da den blev påvirket af kloridbaggrundskoncentrationerne i effluentvand. Der er p.t. analyseret tracerkoncentrationer fra 8 kolonner, men det ikke har været muligt at måle bromid i de fleste af kolonnerne.

## 9.2 Resultater fra kolonneeksperimenter

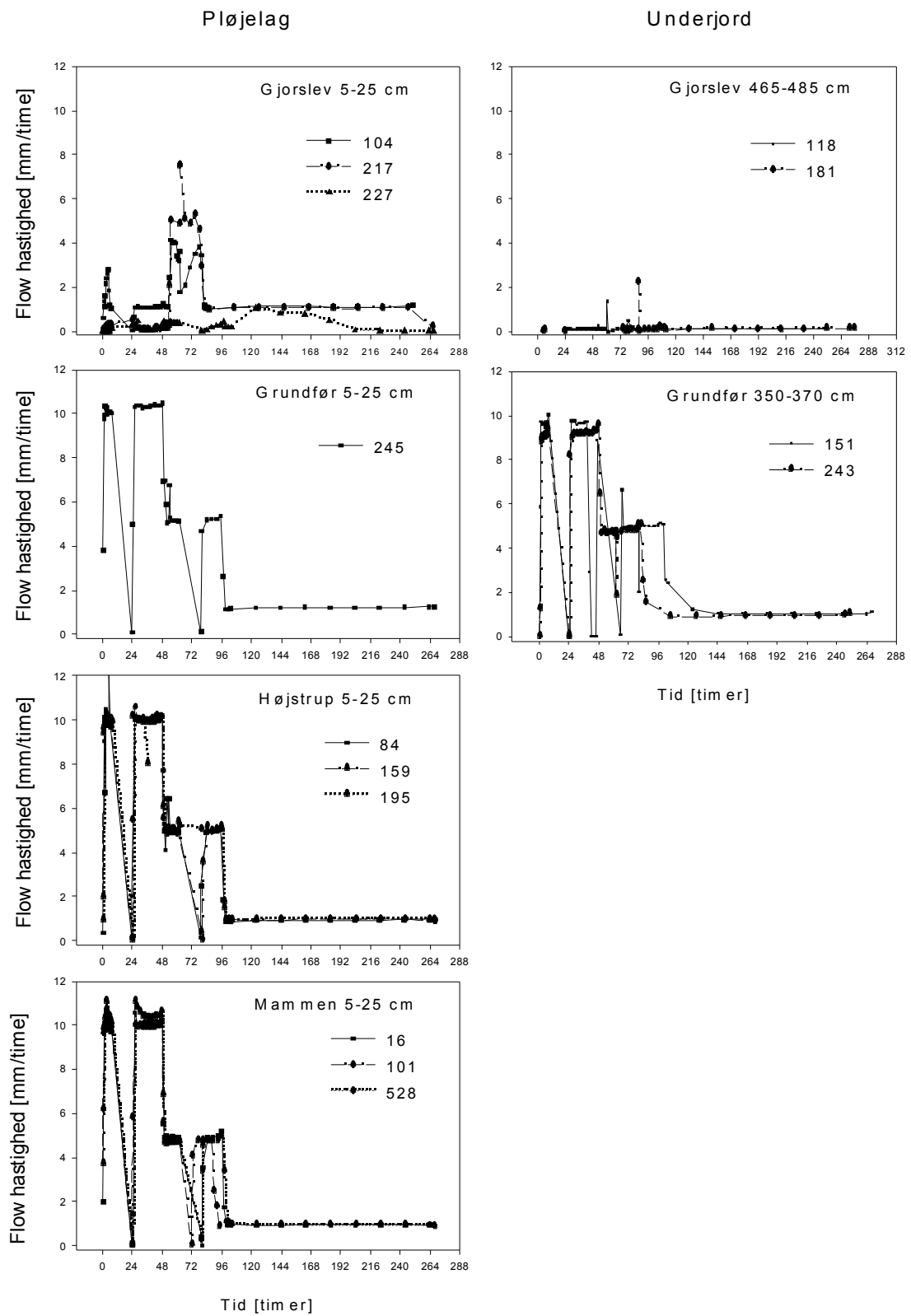
I figurene 9.1, 9.2 og 9.3 er der givet en oversigt over resultaterne fra kolonneeksperimenterne. Figur 9.1 viser effluent-afstrømningshastigheder fra kolonnerne. Vanding af kolonnerne fra Grundfør, Højstrup og Mammen blev gennemført som planlagt som beskrevet i protokollen. Der var hurtig respons på vanding og ændringer i vandingsintensitet, figur 9.1.

Infiltrationskapaciteten for Gjorslev kolonnerne var ikke tilstrækkeligt til at eksperimenterne kunne gennemføres i følge protokollen. Der opstod ponding på overfladen i starten af vandingen og eksperimenterne er udført ved konstant overfladeponding. Derfor svarer afstrømningshastigheden til den maksimale infiltrationskapacitet af kolonnerne. Denne afvigelse i forhold til andre jordtyper kan ikke forklares ud fra hverken tekstur eller vegetation på det tidspunkt hvor prøverne blev udtaget. Både Gjorslev og Højstrup er udviklet på Østdanske moræneaflejringer, og der var stubmarker på begge lokaliteter på prøveudtagningstidspunktet. Lerindholdet i Højstrup Ap jord er lidt højere (21.7%) end i Gjorslev Ap jord (16.9%). Gjorslev profilen er blevet klassificeret som veldrænet jord.

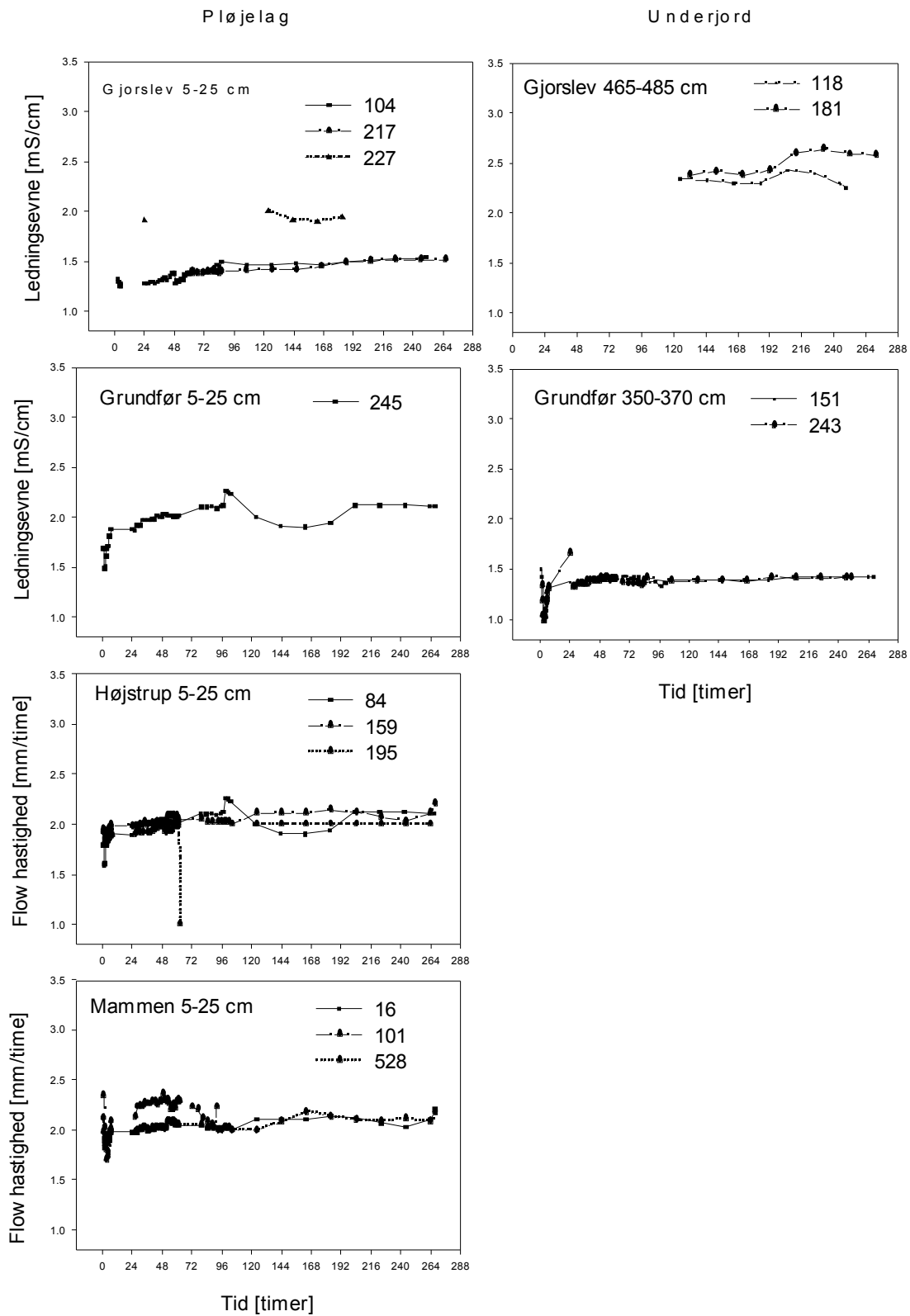
Ledningsevnen i effluenten fra Grundfør, Højstrup og Mammen kolonnerne viser en meget kortvarig nedgang, hvorefter den hurtigt stiger til et konstant niveau, figur 9.2. Dette afspejler transport igennem gennemgående makroporer i kolonnerne. Det samme "dyk" i ledningsevne ses ikke i effluenten fra Gjorslev kolonnerne.

Figur 9.3 viser gennembrudskurverne for tracerne (i alt 8 kolonner). Koncentrationsniveauer og formen af gennembrudskurver for de forskellige tracere afspejler vandets bevægelse gennem jordsøjlerne. Gennembrudskurven for Højstrup kolonner nr. 195 viser et meget hurtigt gennembrud for både tracer 1 og 2, hvilket afspejler hurtig transport gennem makroporer både ved vandingsintensiteter på 5 og 10 mm/time. Koncentrationerne af tracer 3 er lavere som følge af øget kontakt mellem makroporer og jordmatrice. Lignende gennembrudskurver for tracer 1 og 2 ses for prøven fra pløjelaget ved Mammen og underjorden fra Grundfør.

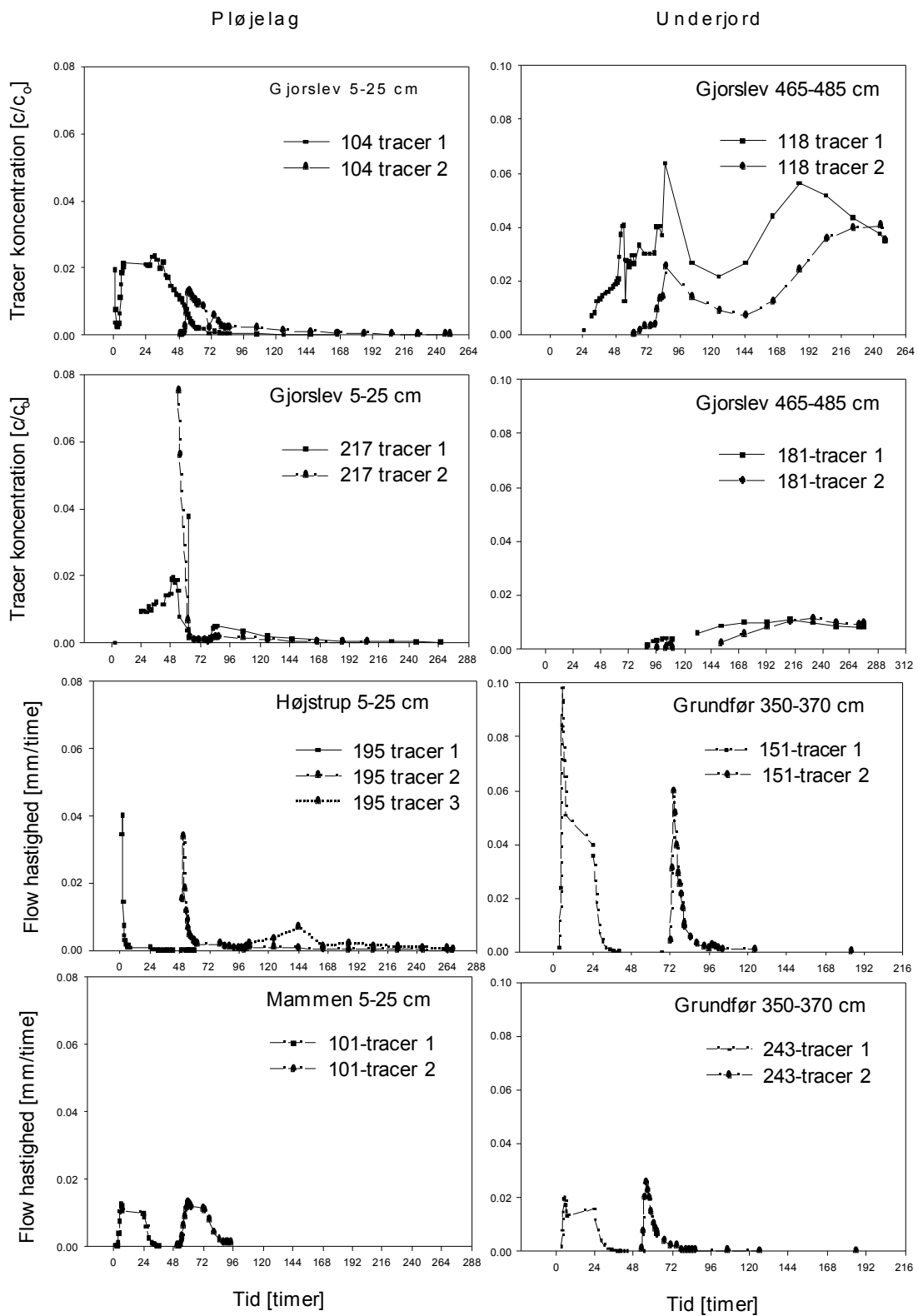
Gjorslev gennembrudskurver afviger fra de andre jordtypers, hvilket må forventes som følge af den lave infiltrationshastighed og mangel på hydraulisk ligevægt. De højeste effluent koncentrationer ses fra ca. 30 timer op til 72 timer, hvilket afspejler længere opholdstid af vandet i disse kolonner. Der ses også bimodale gennembrudskurver, som formodes at være forårsaget af vandtransport både i makroporer og i jordmatricen. Disse oplysninger giver høj informationsværdi i forhold til udvekslingskoefficienter af vandet mellem makroporer og jordmatricen.



**Figur 9.1.** Flowhastighed i kolonneforsøgene.



Figur 9.2. Flowhastighed og ledningsevne i kolonneforsøgene.



Figur 9.3. Flowhastighed og tracerkoncentration i kolonneforsøgene.

### 9.3 Modellering med *MACRO*

Formålet med denne del af projekt var at identificere udvekslingskoefficienter mellem makroporer og jordmatricen for forskellige typer lerjorde ved invers modellering. Idéen var at anvende den informationsværdi som ligger i gennemførelse af multipel-tracer forsøg. Hver tracer bliver tilført til kolonnen ved forskellige randbetingelser og "ser" derfor forskellige dele af jordstrukturen. I *MACRO* modellen er der imidlertid ingen muligheder for at simulere mere end ét stof per simuleringshændelse. Medio 2003 var det heller ikke muligt at opsætte modellen med dynamiske nedre randbetingelser, en begrænsning som der i slutningen af 2003 blev rettet op på.

På grund af ovenstående begrænsninger blev *MACRO* modellen opstillet til at simulere kolonne eksperimenter med tre efterfølgende tracer puls input af det samme stof. Men fordi der stadig er tracer tilbage i jorden ved den efterfølgende tracerpuls, kunne det ikke lade sig gøre at foretage invers modellering af udvekslingskoefficienter af de multiple tracerforsøg. Når *MACRO* eventuelt kan tilpasses til simulering af flere stoffer samtidigt, forventes modellen, som er koblet med *SUFI* modulen til invers modellering, at være et brugbart simuleringsværktøj til bestemmelse af udvekslingskoefficienter.

### 9.4 Konklusion

De beskrevne kolonneforsøg med multiple tracere og skiftende hydrauliske betingelser er velegnede til at give information om dynamikken af stoftransporten i makroporøs lerjord. Desværre findes der ikke for nærværende en velegnet model til at beregne udvekslingskoefficienterne.

# Forsøgsprotokol

## Bestemmelse af udvekslingskoefficient mellem matrix og makroporer

20x20 cm kolonne opfugtes langsomt og afdrænes til –20 cm i midten af prøven

Generelt bruges der 0.01 M CaSO<sub>4</sub> som vandingsvand for at bevare jordstrukturen.

### 1. runde

- ◆ Forsøget startes mandag morgen klokken 8.
- ◆ Prøven placeres på den porøse plade som er sat til et undertryk på 1 cm vandsøjle (eller det der er nødvendig for lige at få vand til at afdræne)
- ◆ Pumpen sættes på 10 mm i timen
- ◆ Prøvekarusellen sættes til at opsamle 150 ml (ca. en prøve pr halve time)
- ◆ Efter 1 time tilsættes 25 ml 0.02 M 2,6 diFluoroBenzosyre (0.316 g 2,6-DFBA i 100 mL demineraliseret vand)
- ◆ Ved klokken 15 slukkes for pumpen
- ◆ Næste morgen tirsdag klokken 8 genoptages med 10 mm i timen
- ◆ Den første prøve opsamles i separat glas
- ◆ Derefter opsamles for hver 600 ml

### 2.runde

- ◆ Næste dag onsdag klokken 8 skiftes til 5 mm i timen og der sættes 15 cm sug på
- ◆ Prøvekarusellen sættes til at opsamle 150 ml (ca. en prøve pr time)
- ◆ Efter 1 time tilsættes 25 ml 0.02 M PentaFluoroBenzosyre (0.424 g PFBAi 100 mL demineraliseret vand)
- ◆ Ved aftenstid klokken 22 slukkes for pumpen
- ◆ Næste dag torsdag klokken 16 genoptages med 5 mm i timen
- ◆ Den første prøve opsamles i separat glas
- ◆ Derefter opsamles for hver 600 ml

### 3.runde

- ◆ Næste dag fredag om morgenen skiftes til 1 mm i timen og der sættes 50 cm sug på
- ◆ Prøvekarusellen sættes til at opsamle 60 ml for de første prøver og herefter 600 ml.
- ◆ Efter 2 timer tilsættes 25 ml 0.01 M bromidtracer (0.9995 g CaBr<sub>2</sub> i 500 mL demineraliseret vand).
- ◆ Den køres en uge til næste fredag klokken 12.

Generelt måles der EC og tracers på prøverne.

