

Forståelse og kortlægning af TeCE-spredning og mængde

- i forbindelse med ventilationsafværgelse på tidligere renseri på Fredericiagade 13 i Aalborg



Helene Winther
Afgangprojekt
Civilingeniøruddannelsen i miljøteknik
Aalborg Universitet
Juni 2009

Titel: **Forståelse og kortlægning af TeCE-spredning og mængde – i forbindelse med ventilationsafværge på tidligere renseri på Fredericiagade 13 i Aalborg**

Title: **Understanding and mapping of TeCE spreading and mass – regarding ventilation former dry cleaning Fredericiagade 13, Aalborg**

Semester: 10. semester, miljøteknik

Projektperiode: 1. februar – 10. juni 2009

Vejledere: Per Møldrup, Aalborg Universitet
Marianne L. Bjerring, NIRAS A/S

Udarbejdet af: Helene Winther

Oplagsantal: 5

Sideantal: 61

Bilagsantal: 6

Forord

Afgangsprojektet ” Forståelse og kortlægning af TeCE-spredning og mængde – i forbindelse med ventilationsafværge på tidligere renseri Fredericiagade 13 i Aalborg” er udarbejdet på 10. semester på uddannelsen til miljøingeniør ved Institut for Kemi, Miljø og Bioteknologi, Aalborg Universitet. Projektet er skrevet i samarbejde med den rådgivende ingeniørvirksomhed NIRAS A/S, og omhandler aktiv ventilation under gulve i kælder og krybekælder i forbindelse med en jordforurening med chlorerede opløsningsmidler.

Rapporten består af selve hovedrapporten, hvorefter bilagene findes. Enkelte figurer er i A3-format og placeret i rapporten som fold ud sider. Derforuden er der vedlagt en data-CD bagerst i rapporten, hvorpå der er måleresultater og beregninger.

Miljøafdelingens medarbejdere på NIRAS i Aalborg og Århus, skal have stor tak for deres opmuntring, resultater og hjælp til projektgennemførelsen, og for ikke mindst for at give mig muligheden for at kunne lave dette projekt, både med hensyn til lokaliteten og udstyr.

Beboerne på Fredericiagade 13 skal også have tak for deres interesse i målingerne og mit projekts fremgang.

Region Nordjylland skal ligeledes have tak for tilladelsen til, at jeg må være med på Fredericiagade 13.

Mine tidligere gruppekammerater skal have tak for støtte, hjælp og nogle gode år, som ikke ville have været det samme uden dem.

Til sidst også en hjertelig tak til min kæreste for støtte, figurtegning samt underholdning og hjælp ved udtagning og analyse af prøverne.

Aalborg, d. 10. juni 2009

Helene Winther

Resume

Dette projekt omhandler udvikling af en procedure til kortlægning af forureningsforekomster, i forbindelse med forurening af jord og grundvand med et relativt flygtigt stof, og ventilationsafværge af det kapillærbrydende lag. Proceduren er udviklet for, at kunne give et mere kvalificeret bud på mængde og udbredelse af en forurening, hvilket kan være med til at skræddersy fremtidige afværge teknologier præcis til det enkelte system og forurening. Modelsystemet for procedureudviklingen er et tidligere renseri, forurennet med primært tetrachlorethylen (TeCE), og som er beliggende på Fredericiagade 13 i Aalborg.

En forureningsudbredelse er udarbejdet med baggrund i 20 års målinger af TeCE i jord, grundvand og poreluft. Ud fra udbredelsen af forureningen i jord og grundvand, er en procedure til estimering af forureningsmængden opstillet, og der er blevet estimeret en totalmængde for TeCE på 1.142 kg i forureningen på Fredericiagade 13.

I forbindelse med opstart af aktiv ventilation af det kapillærbrydende lag på Fredericiagade 13, er der blevet monitoreret et tilbageslag og en ventilationstest med en pumpeydelse på 100 m³/t. Dette er blevet gjort i 13 målepunkter, ved hjælp af tre metoder til måling af TeCE og to metoder til prøveudtagning. Metoderne er blevet sammenlignet for, at vurdere om en hurtig og enkel metode kan benyttes til vurdering af forureningsniveauet, og resultatet blev, at en PID-måling direkte på afkastluften fra prøvetagningspumpen er tilfredsstillende, men med visse forbehold.

Ud fra monitoringsdataene fra tilbageslaget er der blevet tilpasset to modeller, en Langmuir type model og en lineær model, til beskrivelse af forureningsudviklingen i de 13 målepunkter. Ud fra modellerne er der fundet parametre som maksimumskoncentrationen, halveringstid for fuld mætning og raten for forureningstilvæksten. Disse værdier bruges til beskrivelse af forureningsudbredelsen af TeCE under og i umiddelbar nærhed af bygningen. På Fredericiagade 13 er der tegn på kildeområder ved østsiden af kælderens og under krybekælderen.

Ved hjælp af modelparametrene er afstanden fra målepunkterne til kanten af vakuumpumpernes influenszone estimeret, hvorved området som påvirkes af pumperne findes. På Fredericiagade 13 varierer denne afstand mellem 0 og 99 cm,

Ud fra tilbageslaget og ventilationstesten på 100 m³/t, er der udarbejdet et bud på en pumpestrategi for drift af vakuumpumperne ved en ydelse på 100 m³/t. Strategien består af en cyklus på seks dage, hvor der ventileres i tre dage og herefter tre dage med tilbageslag.

Abstract

This project concerns development a procedure for mapping of contamination occurrences in soil and groundwater of relatively volatile compounds, where ventilation is used as a treatment of the capillary braking layers. This procedure is developed in order to provide a qualified estimation of a contaminations quantity and spreading. The system for procedure development is a former dry cleaning facility at Fredericiagade 13 in Aalborg, primarily contaminated with tetrachloroethylene (TeCE).

There is made a pollution distribution supported by 20 years of TeCE measurements in soil, groundwater and soil air. From the spreading of the contamination in soil and groundwater, a procedure for pollution estimation developed. Furthermore the total quantity of the TeCE contamination at in Fredericiagade 13 is estimated to be 1142 kg.

A TeCE rebound was monitored in six weeks afterwards a ventilation test of 14 days with was a capillary braking layer ventilation flow of 100 m³/h was monitored. The TeCE concentration was monitored 13 places at Fredericia Street 13, in order to describe the rebound kinetics of volatile contamination. The samples from the 13 monitoring points were analyzed with three different methods. The three methods were compared to assess whether a fast and simple method could be approved to pollution quantity assessment and the results indicated that a PID measurements of the outlet air from the sampling pump was satisfying, although not accredited.

Two models were fitted to the TeCE backflow monitoring data, a linear and a Langmuir model. These models were used to describe the TeCE concentration development in the 13 monitoring points, which resulted in a maximum concentration, a half-life of full saturation and a rate of pollution increase. These values were used to describe the spreading of the TeCE contamination beneath and in the immediate vicinity of the building. At Fredericiagade 13, there were indications of contamination sources at the east side of the basement or beneath crawl space.

The parameters of the developed model were used to estimate the distance between the measuring points and edge of the vacuum pumps influence zone. This distance describes the area that is affect by the ventilation, which varies between 0 and 99 cm at Fredericiagade 13 in Aalborg.

The results of the rebound monitoring and the ventilation test, contributed to a pumping strategy for operating the vacuum pumps at a ventilation flow of 100 m³/h. The strategy consists of a six days cycle with three days of ventilation and then three days rebound.

1	INDLEDNING	11
2	MODELSYSTEMET FREDERICIAGADE 13	12
2.1	Forureningssituationen	12
2.2	Afværgeforanstaltninger	13
3	STRATEGI FOR SYSTEMANALYSE	16
4	KONCEPTUEL MODEL	17
4.1	Geologi og hydrogeologi	17
4.2	Forureningsudbredelse og forureningsniveau	18
4.2.1	Forureningssituation – jord	19
4.2.2	Forureningssituation – grundvand	20
4.2.3	Forureningssituation – poreluft	21
4.3	Opsamling	21
4.3.1	Generelt system	21
4.3.2	Fredericiagade 13	21
5	FÖRURENINGSGÖPÖRELSE	23
5.1	Opgörelse ud fra TeCE-koncentrationer fra jordpröver	24
5.2	Opgörelse af TeCE i grundvandet	25
5.3	Mængder	26
5.4	Opsamling	28
5.4.1	Generelt system	28
5.4.2	Fredericiagade 13	29
6	MÄLEPROGRAM	30
6.1	Ventilationstest	30
6.2	Monitering	31
6.3	Sammenligning af GC- og akkrediteret analyse	34
6.4	Mäleserier af tilbageslag og ventilation	35
6.5	Sammenligning af GC- og PID-mälinger	42
6.6	Opsamling	45
6.6.1	Generelt system	45
6.6.2	Fredericiagade 13	45
7	MODELLERING	46
7.1	Störrelse af influenszone	51
7.2	Ventilationsstrategi	55
7.3	Opsamling	56
7.3.1	Generelt system	56
7.3.2	Fredericiagade 13	56
8	SAMMENFATNING PÄ BAGGRUND AF NY VIDEN	57
8.1	Fredericiagade 13	57
9	KONKLUSION	59
10	LITTERATURLISTE	60

Bilagsliste

Bilag 1: Beregninger til forureningsopgørelse

Bilag 2: Beskrivelse af prøveudtagning

Bilag 3: Snit med filterplacering

Bilag 4: Monitoringsgrafer for felt-GC, PID i pose og Direkte PID

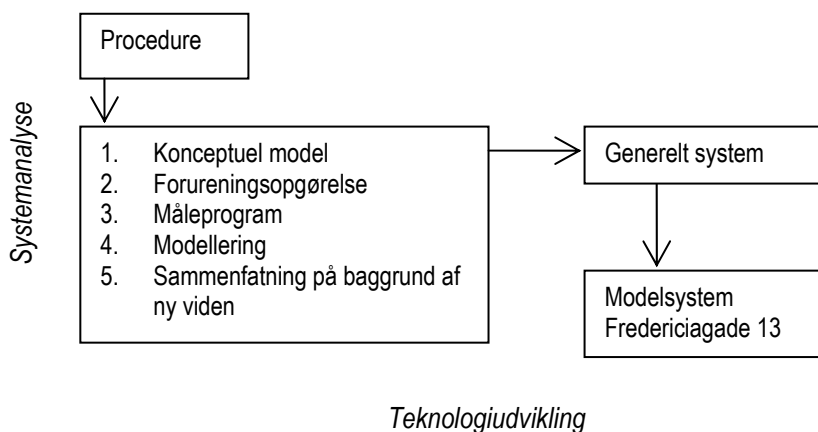
Bilag 5: Korrelationsplot mellem målepunkter

Bilag 6: Plot af modeltilpasning

1 Indledning

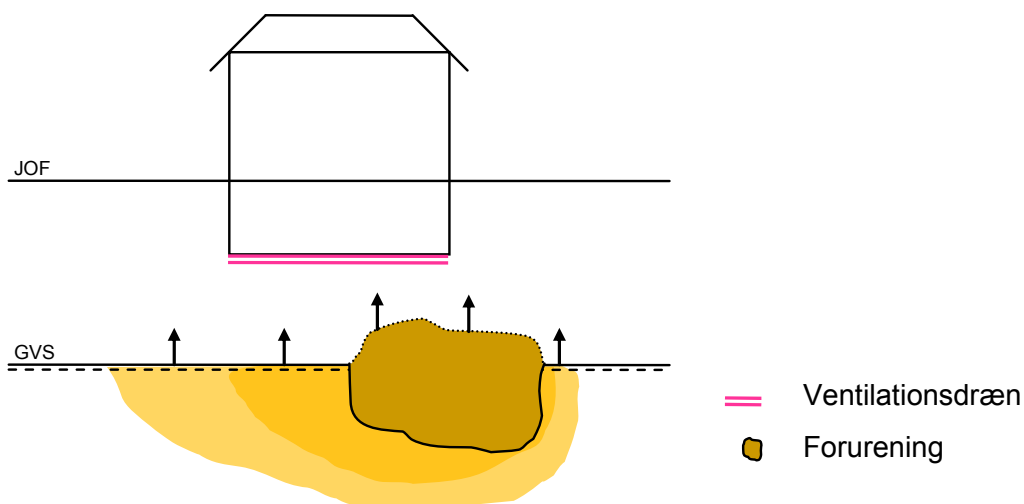
Forurening af jord og grundvand er problematisk, når det får følger for anvendelsen af området til fx beboelse. Teknologiuudvikling er målet med dette projekt, hvor en ny procedure for systemanalyse vil blive opsat. Denne kan bistå til afværgeforanstaltninger ud fra en mere velbegrunderet indgangs-vinkel, og herved mindske afværgeløsninger som udført efter "trial and error"-metoden.

Teknologiuudviklingen vil, som før nævnt, bestå i en systemanalyse, som kan overføres til et generelt system, men som er udarbejdet på et modelsystem, se Figur 1-1. Proceduren består af fem trin som kan gentages for at forøge indsigt i det pågældende system.



Figur 1-1. Skitse af teknologiuudviklingen som består af en procedure til analyse og beskrivelse af forurenede grunde.

Modelsystemet består af en grund der er forurenat med et relativt flygtigt stof, som er spredt til jord og grundvand. På grunden er en boligbebyggelse med kælder, eventuelt i et byområde, og med igangværende ventilationsafværge, som det er skitseret på nedenstående figur.



Figur 1-2. Principskitse på et generelt system, egnet til strategien for større indsigt i forureningen.

2 Modellsystemet Fredericiagade 13

Et af Aalborgs største renserier var beliggende på Fredericiagade 13-17 i 88 år fra 1897 til 1985. I forbindelse med renseridriften opstod der, som følge af spild med opløsningsmidler, en forurening af jord og grundvand. Forureningskomponenterne var hovedsageligt tetrachlorethylen (TeCE), hvor der i den sidste del af driftsperioden var et årsforbrug på ca. 56 ton [Nordjyllands Amt, 1995]. Foruden TeCE er der blevet registreret mindre koncentrationer af trichlorethylen (TCE) og olieprodukter, som formodes at udgøre ca. 5 % af den samlede forurening [Nordjyllands Amt, 1997]. Jordforureningen blev opdaget i 1987 i forbindelse med opstart af etape 2 og 3 af et boligbyggeri på i alt tre etaper på Fredericiagade 13-17 [Nordjyllands Amt, 1992].

Beboelsen på Fredericiagade 13 består af en bygning med 15 lejligheder fordelt på tre etager (stue-2. sal), desuden er der både kælder og krybekælder.



Figur 2-1. Luffoto af grunden Fredericiagade 13-17, hvor der i 88 år var renseri. I dag er der boliger på grunden, men forurening fra det daværende renseri har medført indeklimaproblemer på Fredericiagade 13 (3. etape af boligbyggeriet).

2.1 Forureningssituationen

I 1987 ved opstart af etape 2 og 3 af et nyt boligbyggeri på grunden, hvor renseriet havde lagt, blev der fundet tegn på forurening, idet jorden visse steder lugtede kraftigt. Der blev derfor udført en orienterende forureningsundersøgelse samme år, hvor der blev etableret 22 borer af forskellig dybde (2-15 m u.t.), hvorfra det blev sendt 76 jordprøver til analyse [Nordjyllands Amt, 1992]. Det viste sig, at forureningen hovedsageligt var beliggende på grundens østlige del, hvor bebyggelsen Fredericiagade 13 er placeret, se Figur 2-1.

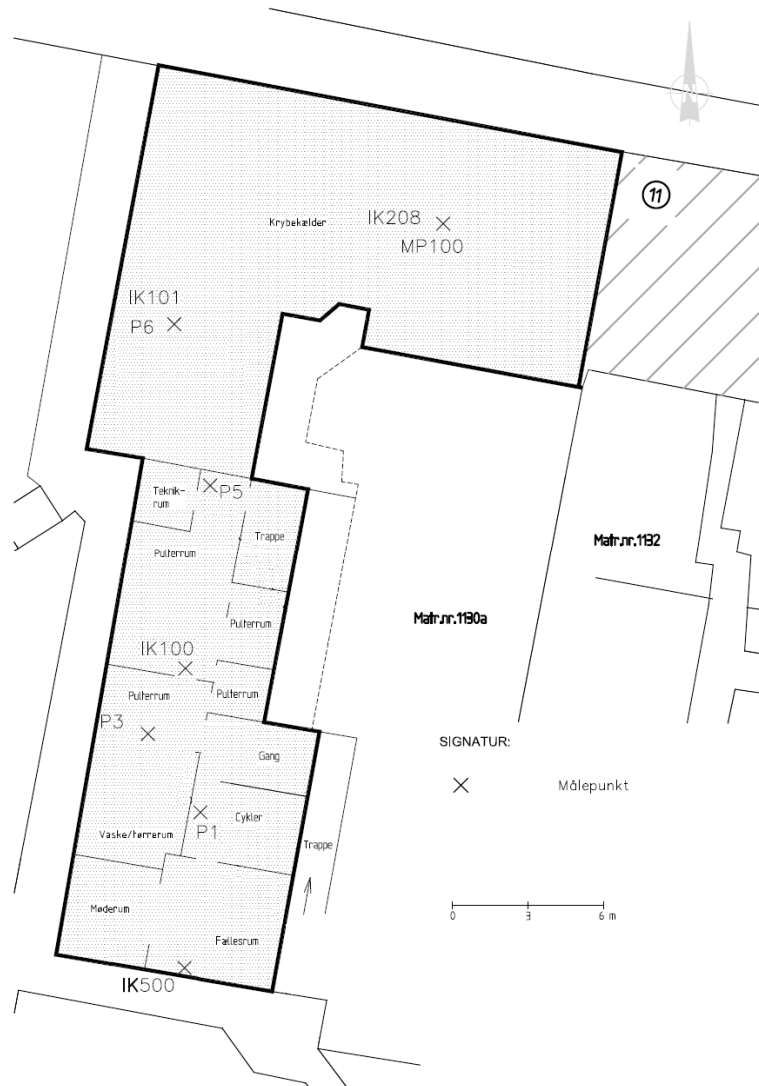
Der blev senere etableret yderligere en boring i 1992 (20 m.u.t), 10 i 2004 (4-5 m.u.t.) og en i 2005 (5 m u.t) på Fredericiagade 13 og i nærområdet. Der er desuden foretaget analyser af vand- og poreluftsprøver udtaget på Fredericiagade 13 og i det omkringliggende område. Forureningen forekommer i alle jordens faser, på partiklerne i jorden samt i poreluft og i vandet, og koncentrationerne af TeCE er så høje, at der vurderes sandsynlighed for tilstedeværelsen af fri- og residual fri fase TeCE.

2.2 Afværgeforanstaltninger

Der er siden forureningen blev opdaget udført flere afværgeforanstaltninger på området omkring Fredericiagade 13. En del af forureningen blev i 1987 opgravet, og der blev fyldt efter med rent sand og et lag topmuld på ca. 30 cm. Afgravningsarealet svarede ca. til området hvor bygningen Fredericiagade 13 og baghaven hertil i dag er beliggende. Der blev afgravet til grundvandsspejlet, hvilket befinder sig ca. 3 m u.t. Det tilkørte fyldmateriale bestod af fin- til mellemkornet sand, mens de intakte aflejringer under grundvandsspejlet består af fint sand [ISS Linnedservice, 1988]

For at forhindre forureningsfanen i yderligere spredning, blev der året efter etableret et sugespidsanlæg til grundvandsrensning. Dette anlæg var i til 1992, hvorefter der blev skiftet strategi, idet koncentrationen af TeCE i det oppumpede grundvand var faldet så meget, at rensning ikke længere var nødvendig. Der blev etableret en ny pumpeboring og oppumpningen fortsatte med forskellige pumpestrategier til 1996, hvorefter driften blev indstillet, da der i driftsperioderne blev observeret stigende koncentrationer af TeCE i henholdsvis poreluft og indeklima [Nordjyllands Amt, 2005 a].

På trods af at oppumpningen af grundvandet blev stoppet, har en risikovurdering vist, at afdampningen af TeCE medfører en risiko for anvendelsen af ejendommen til beboelse. Derfor har der siden 1996 været monitoringsrunder ca. hvert år indtil 2003, hvor forureningssituationens udvikling er blevet fulgt. I 2004/2005 blev de indledende undersøgelser til et nyt afværgeprojekt foretaget [Nordjyllands Amt, 2005 a], og der blev udarbejdet et katalog med forslag til nye afværgeforanstaltninger [Nordjyllands Amt, 2005 b]. Valget faldt på en metode afskærende afværge. Der blev udlagt en diffusionshæmmende membran i bygningens kælder og krybekælder, samt installeret ventilationsdræn under membranen. Desuden blev de direkte spredningsveje fra kælder og krybekælder og op i boligerne lukket [Nordjyllands Amt, 2005 b]. Afværgeforanstaltningerne blev udført sidst på sommeren 2005, men membranen i krybekælderen måtte ligges om, og var således først på plads i foråret 2007 [Region Nordjylland, 2007]. I kælderen er der under gulvet et kapillarbrydende lag bestående af singels, hvori ventilationsdræne er etableret. Gulvet i krybekælderen var indtil udlægning af den diffusionshæmmende membran bestående af sand, og først derefter blev der etableret betongulv. Ventilationsdræne er udlagt i render med singels, men det kapillarbrydende lag under betongulvet er stadig sand [Nordjyllands Amt, 2005 b]. En oversigt af kælder og krybekælder med målepunkter ses på Figur 2-2.



Figur 2-2. Oversigt over kælderne med placering af indeklimasonderne (IK) og målepunkterne under gulv (P og MP). Frit efter Region Nordjylland (2008).

Afværgeforanstaltningen bestående af diffusionshæmmende membran og ventilationssystem er lavet som en trinvis afværgete metode således at, hvis et trin ikke viser sig tilstrækkelig til at nedbringe indeklimaproblemerne, kan næste forberedte trin igangsættes. I alt er der tre trin: 1) Diffusionshæmmende membran 2) Passiv ventilation af dræn og 3) aktiv ventilation af dræn [Nordjyllands Amt, 2005 b].

Der er efterfølgende udført monitoringsrunder i 2007 og 2008, hvor der blev målt på indeklimakoncentrationen af chlorerede opløsningsmidler i indeklima og i poreluften under gulv. Koncentrationen af TeCE i poreluften under krybekælder er steget med en faktor 10, hvorfor membranen ikke var nok til at mindske indeklimaproblemerne på Fredericiagade 13. Ventilationssystemet, som var afproppet indtil april 2008, blev derfor åbnet for naturlig træk, således at poreluftkoncentrationerne under gulvet i kælder og krybekælder kunne mindskes. Åbningen af systemet havde ikke den ønskede effekt, hvorfor det blev besluttet at opstarte aktiv ventilation af drænsystemet med kapacitet på 200 m³/t. Dette blev påbegyndt i december 2008 og har fortsat ind til februar 2009. Herefter har en monitoringsrunde af indeklimaet i lejlighederne og i kælder og krybekælder vist, at det ved aktiv ventilation under gulv er muligt til at holde koncentrationen af TeCE under Miljøstyrelsens afdampningskriterium på 6 µg/m³, hvilket fremgår af Tabel 2-1. Det er ønsket fra Region Nordjylland at ventilationen skal fortsætte således, at påvirkningen af

indeklimaet holdes på et lavt niveau samtidig med at omkostninger til udstyr, drift og vedligehold af ventilationsudstyret holdes på et minimum [Region Nordjylland, 2009].

Tabel 2-1. Indeklimaresultater efter aktiv ventilation med 200 m³, udtaget i februar og marts 2009. Analyserapport er vedlagt på data-CD.

	Kælder	Krybekælder	Stueetage	1. sal	2. sal
TeCE-koncentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	3,3	0,72-0,75	U.D.-1,9	U.D.-0,32	U.D.-0,22
U.D. under detektionsgrænse					

Ventilation af det kapillarbrydende lag er ikke en afværgeforanstaltning til oprensning af kildeforureningen, men en metode til at forbedre indeklimaet. Derfor vil det være nødvendigt at ventilere under bygningen så længe forureningskilden forekommer [Jeppesen, 2003]. Kilden hovedsageligt består af TeCE, som betegnes som en DNAPL (Dense Non Aqueous Phase Liquid). TeCE er en DNAPL, fordi stoffet er tungere end vand, og at stoffet ikke er synderligt vandopløseligt eller har stor tendens til fordampning. Overstående egenskaber betyder ikke, at TeCE ikke vil fordampe eller opløses i vand, men blot at det går langsomt, hvorfor en total opløsning af fri fase og residual fri fase kan tage mange år [Pankow og Cherry, 1996]. Omkostningerne ved monitorering, drift og vedligehold af pumpe og systemet vil over derfor årene medføre en konstant omkostning, hvorfor en afværge i form af kildeoprensning kan være økonomisk mere fordelagtigt.

I afværgekataloget, hvorfra afværgeløsningen med membran og ventilationssystemet stammer fra, er der blevet peget på termisk oprensning med dampinjektion, som den bedste løsning til at fjerne kildeområdet [Nordjyllands Amt, 2005 b]. Før en sådan afværgeforanstaltning kan sættes i værk, skal der være forståelse for og styr på den konceptuelle model. Herunder geologi, hydrologi og ikke mindst placering og spredningen af forureningen. Placeringen af kilden er vigtig, da ufuldstændig oprensning af kildeområdet medfører at afværgeforanstaltningen ikke har den tilsigtede effekt.

Arbejdet med at beskrive forureningen og området, som er berørt af den, har stået på siden forureningen blev opdaget. I 1997, blev der udarbejdet en opgørelse over mængden af TeCE, som på daværende tidspunkt, menes at forekomme på grunden ved Fredericiagade 13 [Nordjyllands Amt, 1997], og i 2004 og 2005 blev der udarbejdet en samlet opsummering over forureningssituationen for Fredericiagade 13 og de andre berørte ejendomme i området [Nordjyllands Amt 2005 a]. I den forbindelse blev der udtaget poreluftsprøver og prøver af grundvandet fra de filtersatte borer i området. Der er også tidligere udarbejdet en konceptuelmodel for spredningen af forureningen fra kilden og ind i bygningen på Fredericiagade 13.

3 Strategi for systemanalyse

Forudsætningen for al afværgelse er kendskab til det pågældende system. Et grundlæggende kendskab til kan opnås ved en undersøgelse omkring geologi og forureningsudbredelse for at kunne opsætte en konceptuel model for spredningen af forureningen. Når den konceptuelle model er udarbejdet, er det muligt at udvide den med et estimat af mængden af forurening, i dette tilfælde TeCE.

Problemstilling 1: Hvor stor et område er berørt af TeCE-forureningen?

Problemstilling 2: Hvor meget TeCE formodes forureningen at indeholde?

Vurdering af forureningen vil blive fortaget på baggrund af en tidsserie for alle målinger i jord, grundvand og poreluft fra de seneste 20 år. Med baggrund i udbredelsen af forureningen vil mængden af TeCE i denne blive beregnet.

Aktiv ventilation af det kapillarbrydende lag har, på Fredericiagade 13, vist sig effektivt til at nedbringe koncentrationen af TeCE i indeklimaet. I forbindelse med driften af vakuumpumperne er det ønsket fra Region Nordjylland, at de økonomiske, drift- og miljømæssige omkostninger skal holdes på et minimum, dog uden at det skal få konsekvenser for beboerne på Fredericiagade 13.

Problemstilling 3: Er der muligt at nedsætte pumpekapaciteten, samtidig med at afdampningskriteriet kan overholdes?

Pumperne har hidtil suget i ventilationssystemet med en kapacitet på 200 m³/t, og derved har afdampningskriteriet fra Miljøstyrelsen været overholdt. Testen af en lavere sugekapacitet bliver ved et sug på 50 % af den maksimale kapacitet, hvilket vil sige et sug på 100 m³/t. Før denne sugestyrke afprøves vil der være en tilbageslagstid for at hæve koncentrationen af TeCE i systemet.

Tilbageslaget og ventilationstesten monitoreres, da det er nødvendigt med en tidserie for, at vurdere muligheden for at reducere pumpeydelsen. Dette gøres i 13 målepunkter ved hjælp af analyser på gaschromatograf (GC) og med et fintfølede PID-apparat, hvor disse vil blive sammenlignet for, at vurdere om en enkel og hurtig måling (PID) er tilstrækkelig til vurdering af ændringer i TeCE-koncentrationen over tid, i forhold til mere krævende og udstyrstung måling (GC).

Problemstilling 4: Er den simpleste PID-måling brugbar til vurdering af tidlige ændringer i TeCE-koncentrationerne som en avanceret måling med GC?

Foruden monitoring med GC og PID-måler udtages poreluftsprøver på kulrør som analyseres akkrediteret ved tilbageslagets start og slutning.

Ud fra forureningens udvikling under tilbageslaget, er det muligt at tilpasse modeller for systemet og herved få et endnu større indblik i systemets kompleksitet. Modellerne bidrager til at beregne systemets respons, som kan bruges til undersøgelse af kildeområder under bygningen og til beregning af vakuumpumpernes influenszone. Endvidere medvirker responsen til at opsætte en pumpestrategi for intervaldrift af ventilationspumperne, hvorved der kan spares penge og energi på drift af pumperne.

Problemstilling 5: Er der anledning til kildeområder under bygningen?

Problemstilling 6: Hvor stor er influenszonen for ventilationssystemet under gulvet på Fredericiagade 13?

Problemstilling 7: Hvilken intervaldrift er tilfredsstillende som pumpestrategi for ventilation af det kapillarbrydende lag?

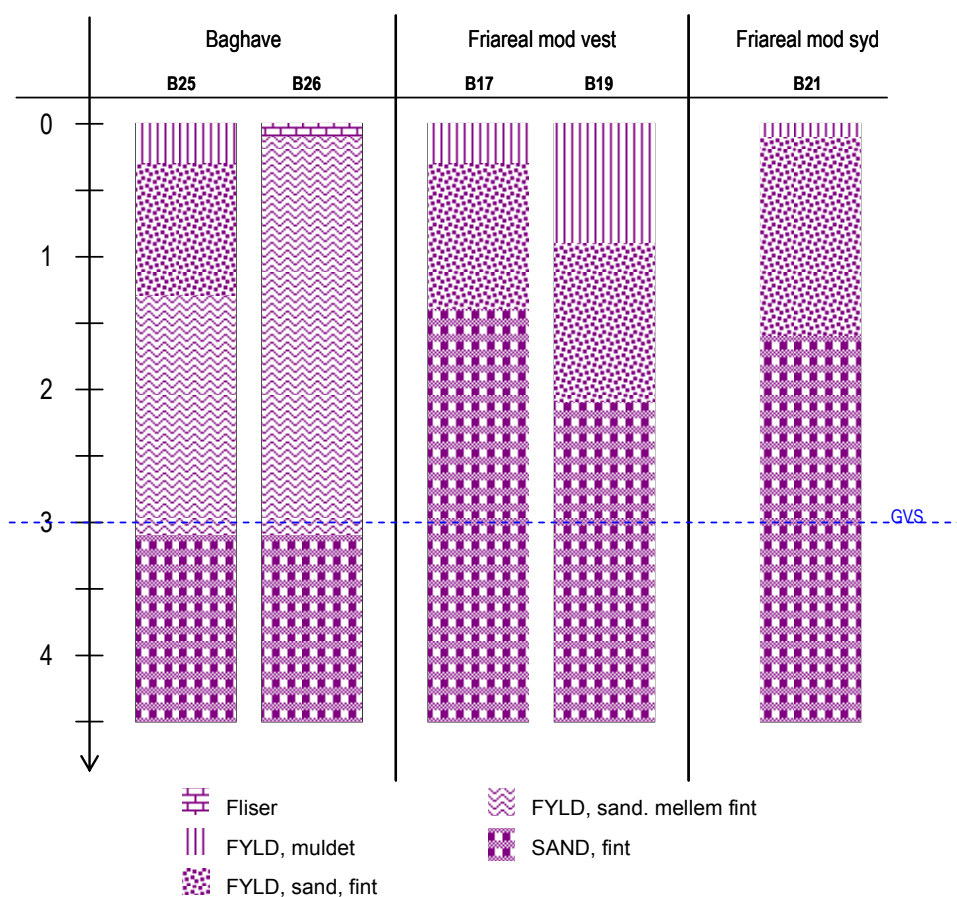
De nødvendige data monitoreres over en seks uger lang periode med tilbageslag og en ventilationstest på to uger ved et sug på 100 m³/t.

4 Konceptuel model

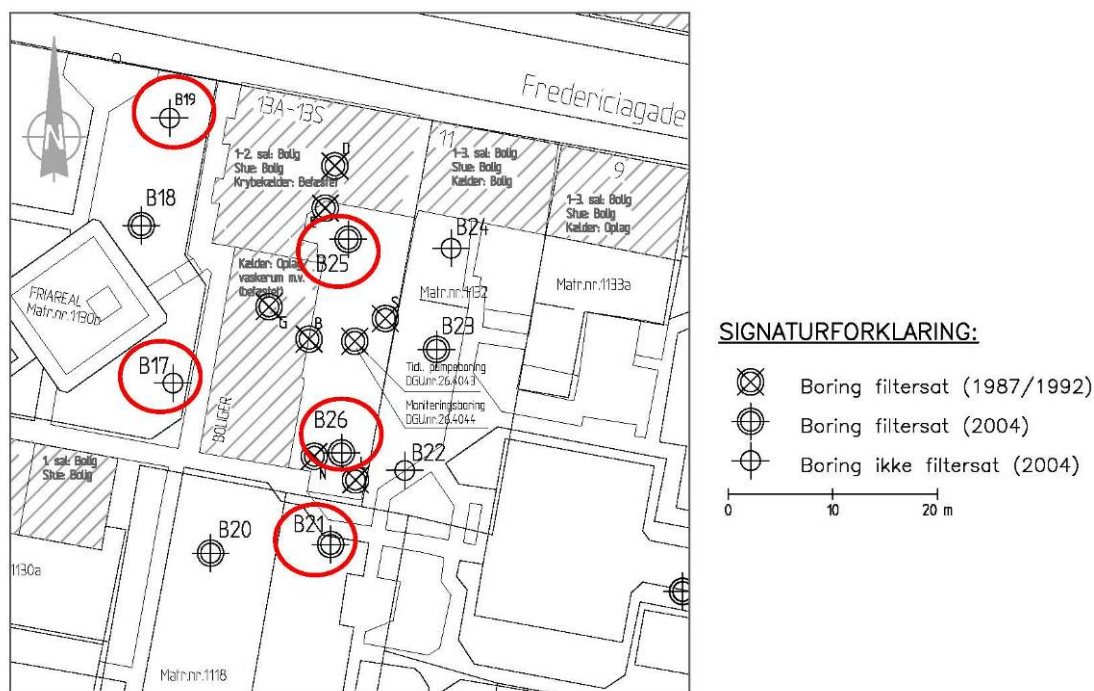
For at få et overblik over forureningen og de forhold der betydning herfor er en konceptuel model nyttig. Denne er opstillet med udgangspunkt i modellsystemet Fredericiagade 13.

4.1 Geologi og hydrogeologi

Efter afgravningen af Fredericiagade 13 i 1987, hvor den umættede zone, blev udskiftet med rent jord, består denne i dag af fyld som udpræget bestå af sand, hvorpå der er lagt et ca. 30 cm muldjord. I området udenom beboelsen er fyldlaget ca. 1,5 m tykt og herunder de originale intakte aflejringer [Nordjyllands Amt, 2005 a]. På nedenstående figur er karakteristikken af jorden for området vist.



Figur 4-1. Karakteristik af jorden på og omkring Fredericiagade 13. Frit efter Nordjyllands Amt (2005). Boringernes placering fremgår af Figur 4-2.



Figur 4-2. Boringer i området ved Fredericiagade 13. Boringer med rød ring er borer brugt i Figur 4-1.

Befæstningsgraden i området er betydelig for hvordan infiltration af nedbør foregår. Herved har befæstningsgraden betydning for spredningen af forurening i poreluften, idet der kræves sammenhæng mellem porerne. Haven og friarealerne er ubefæstede og tillader derved næsten fuld infiltration af nedbør, med tilsvarende lav porelufttransport under vandmættede forhold. Området hvor bygningen er beliggende er impermeabelt, mens flisegangene rundt langs bygningen og på friarealerne vest og syd for bygningen er semipermeable. Mellem bygningens nord side og kørebanen er der et flisebelagt fortov med chaussesten inderst langs bygningen.

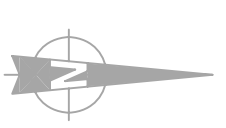
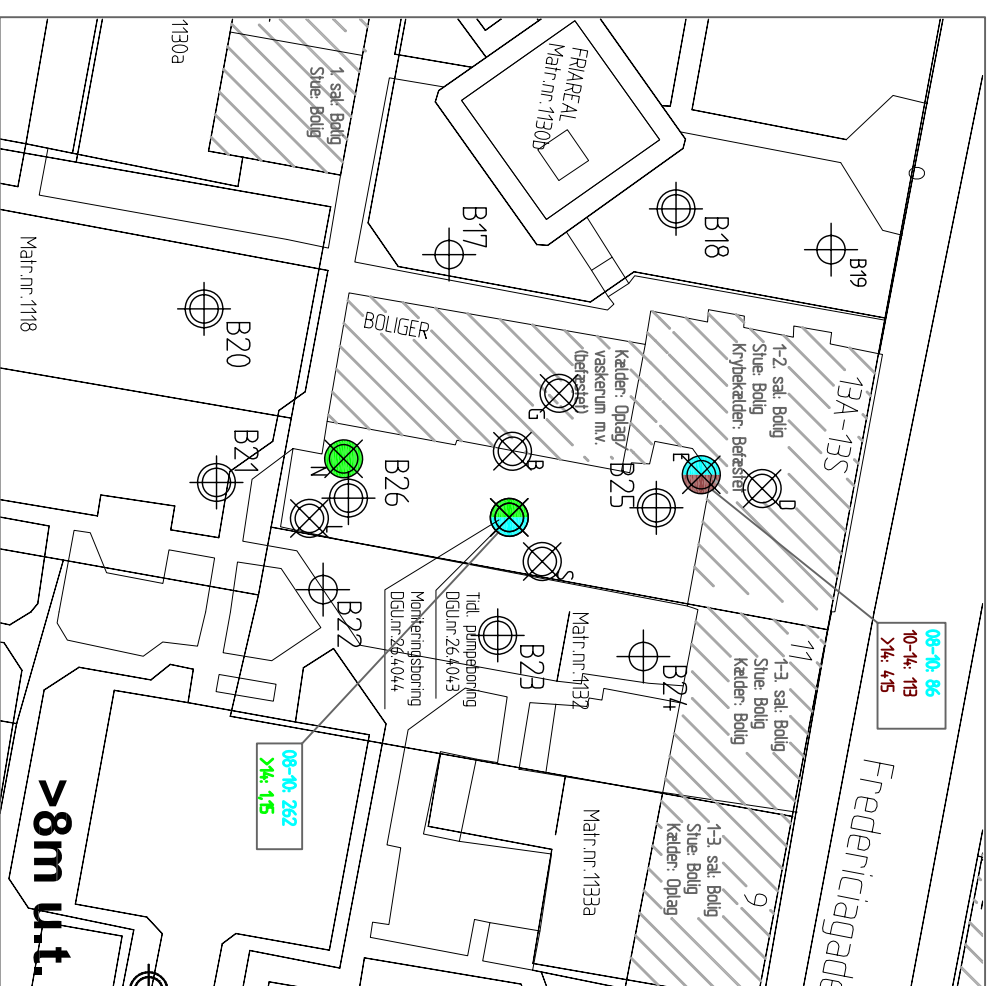
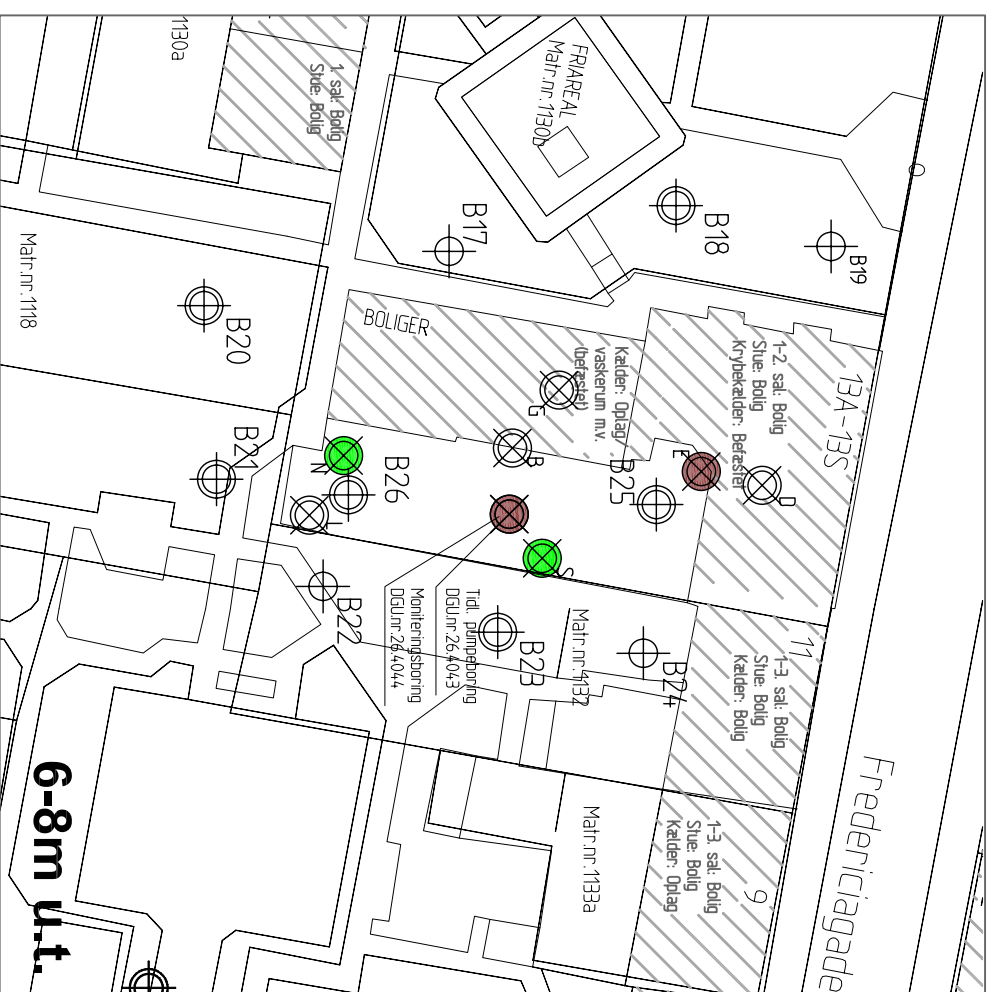
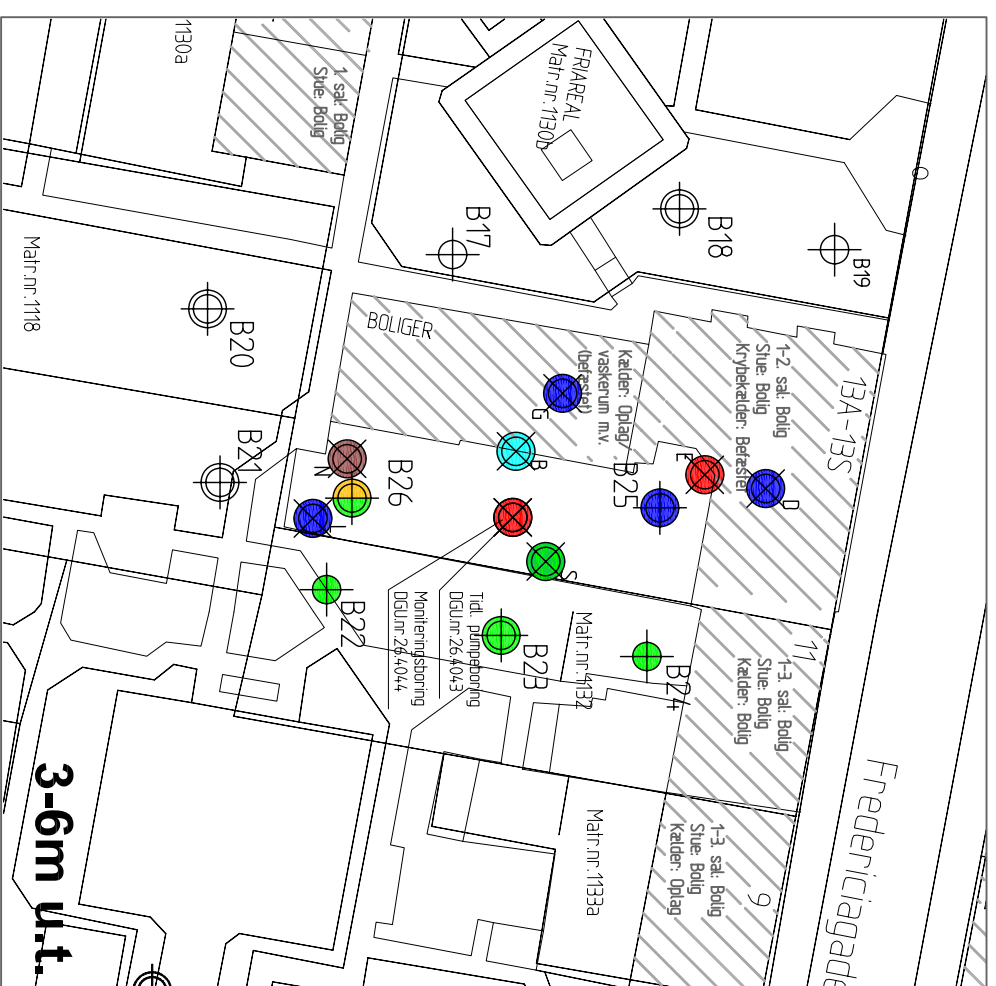
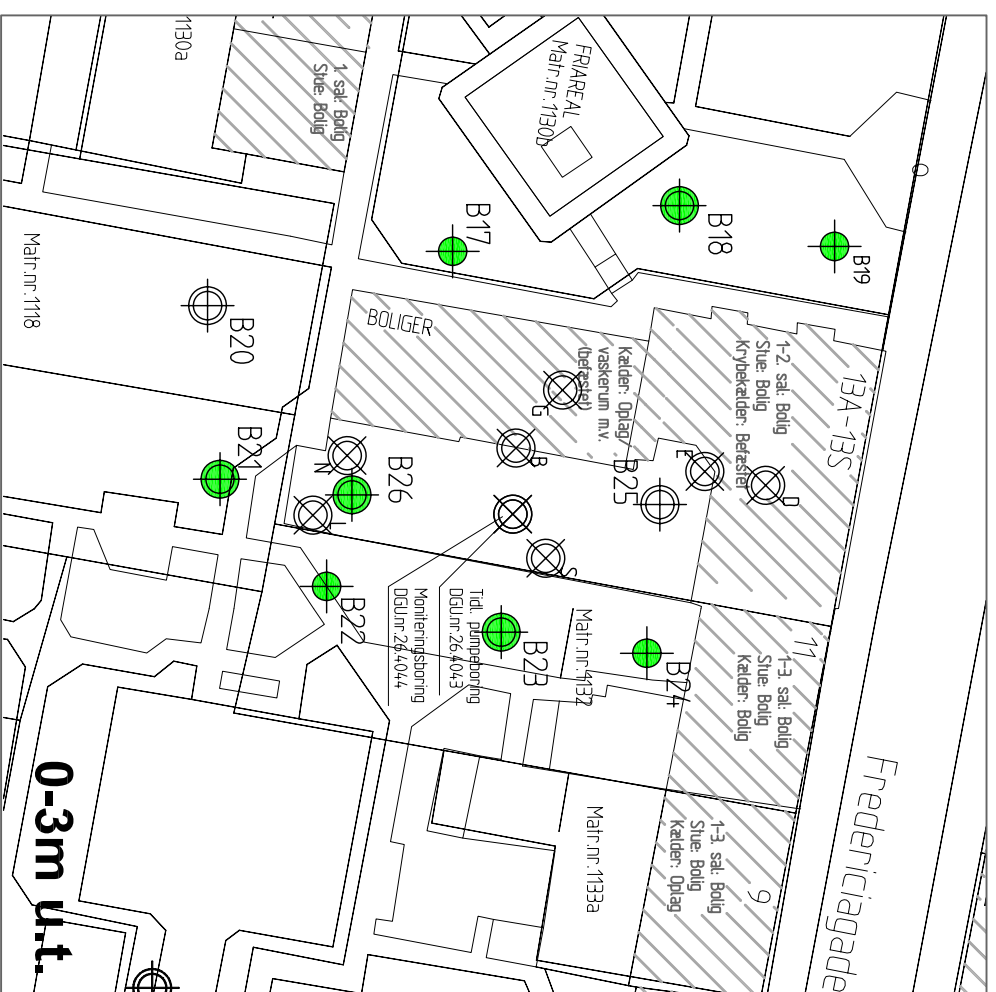
Ca. 3 m u.t. er grundvandet beliggende, i form af et åbent grundvandsmagasin med en strømningsretning mod nord nordøst ud mod Limfjorden, med en hastighed på ca. 35 m/år [Nordjyllands Amt, 1992].

4.2 Forureningsudbredelse og forureningsniveau

Miljøstyrelsen har opsat kriterier for forekomsten af TeCE-koncentrationer i henholdsvis jord, grundvand og luft, se Tabel 4-1. Forureningsudbredelse er udarbejdet med udgangspunkt i disse kriterier og er illustreret i Figur A3-1 – A3-3. I de efterfølgende afsnit 4.2.1, 4.2.2 og 4.2.3 er forureningsudbredelsen beskrevet.

Tabel 4-1. Miljøstyrelsens kriterier for TeCE i jord, vand og luft [MST, 2008 a]

	Jordkvalitets- kriterium	Grundvands- kvalitetskriterium	Afdampnings- kriterium
	[mg/kg TS]	[µg/l]	[µg/m ³]
Tetrachlorethylen	5	1	6

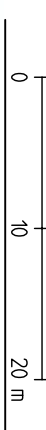


FARVEKODE:

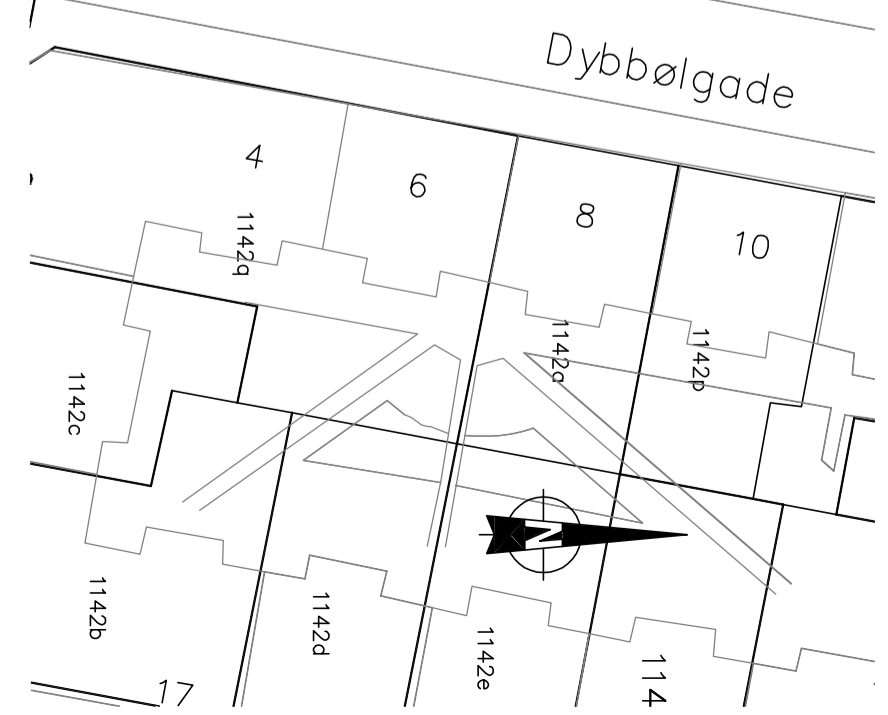
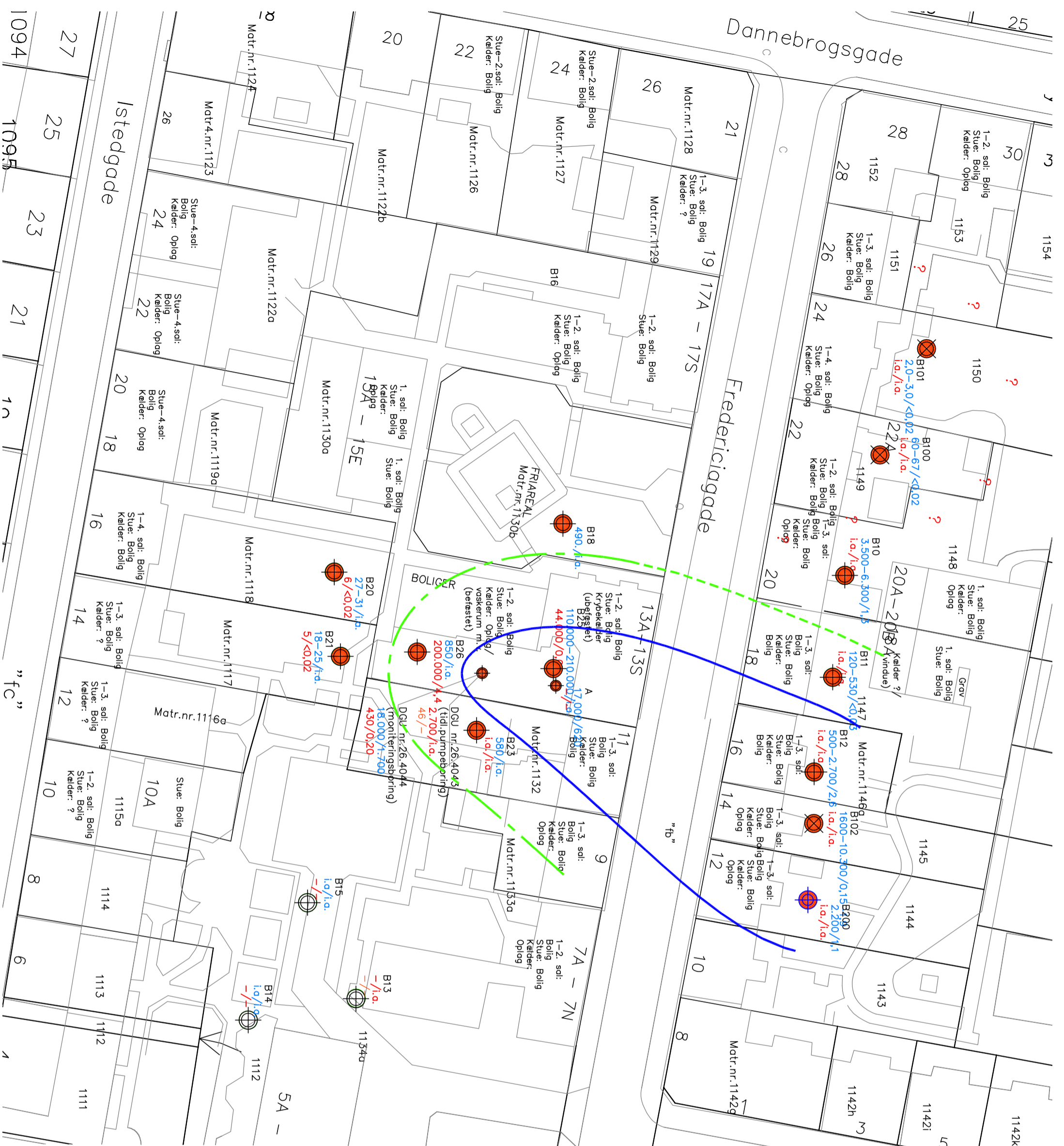
- Ikke analyseret
- < 5mg TeCE/kgTS
- 5<50mg TeCE/kgTS
- 50<100mg TeCE/kgTS
- 100<1000mg TeCE/kgTS
- >1000mg TeCE/kgTS

SIGNATURFORKLARING:

- ⊗ Boring filtersat (1987/1992)
- ⊕ Boring filtersat (2004)
- ⊖ Boring ikke filtersat (2004)



Figur A3-1.
Forureningsniveauer

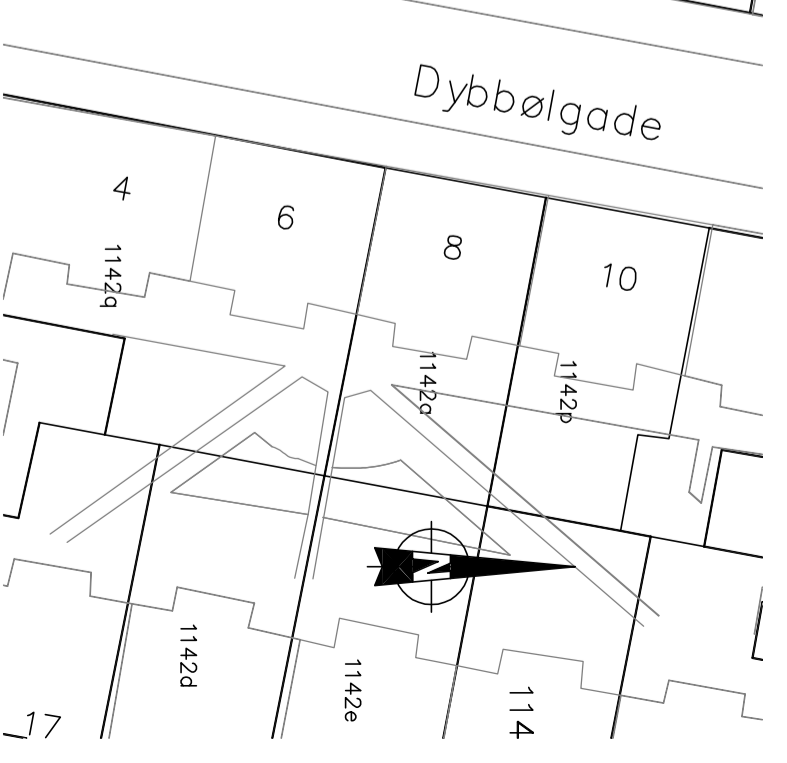
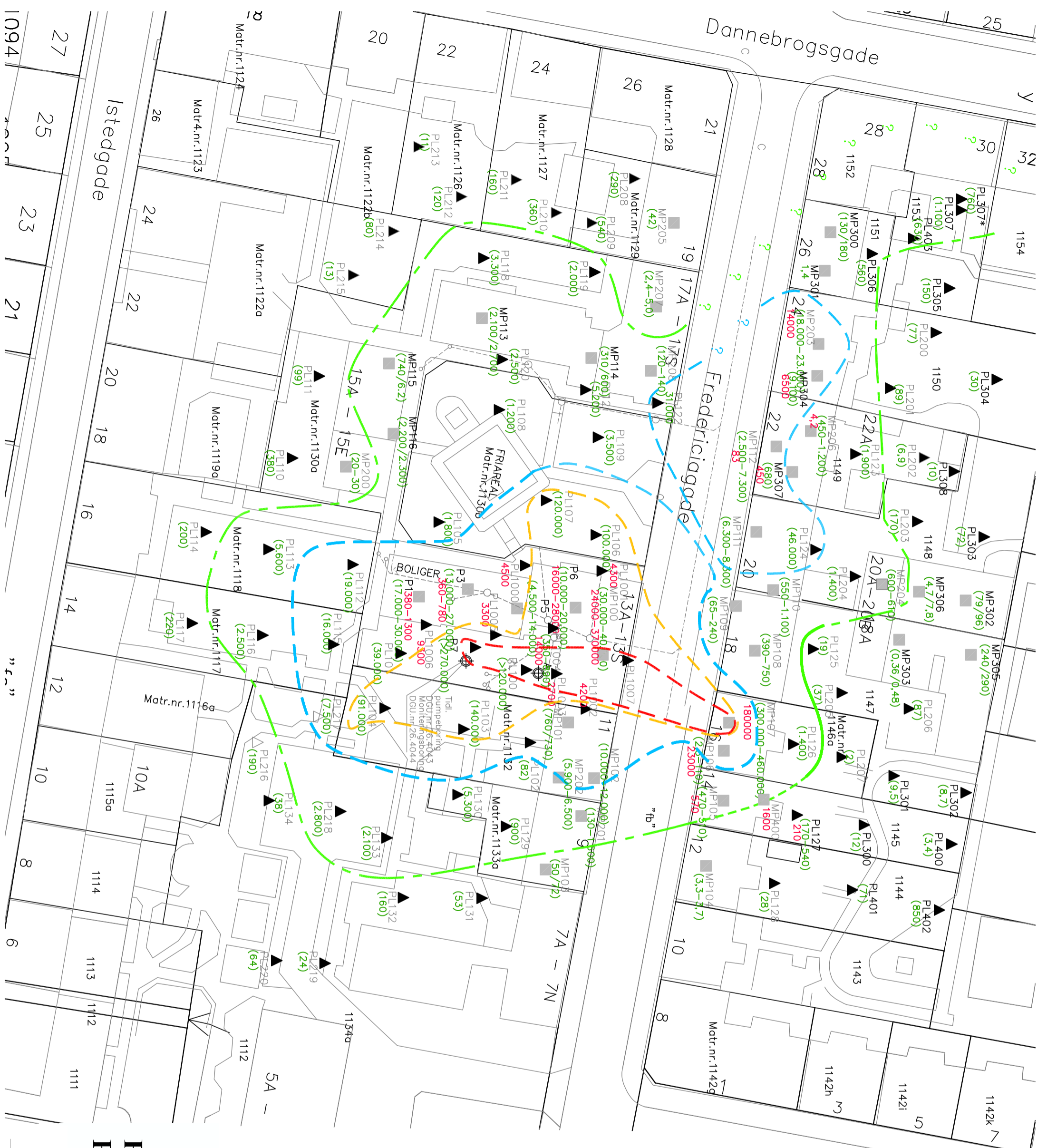


SIGNATURER:

- Boring filtersat
- Boring ikke filtersat
- Boring filtersat, udført efteråret 2004
- Boring filtersat, udført foråret 2005
- $10.300 / <0,07 \text{ TeCE} / \text{VC } \mu\text{g/l}$
- $44.000 / 0,07 \text{ Total kulbrinter/Benzen } \mu\text{g/l}$
- Under detektionsgrænsen
- i.a. Ikke analyseret
- $<$ kvalitetskriteriet TeCE
- $>$ kvalitetskriteriet TeCE
- 2000 x grundvandskvalitetskriterium T.
- 500 x grundvandskvalitetskriterium Te

Mål 1:500 Sog nr. 03.210.10 12. februar 2009

Figur A3-2.
Grundvandsforurening



- SIGNATURER:
- Porelutsunde under gulv
 - ▲ Porelutsunde
 - (6.500) Koncentration af TeCE før 2005 µg
 - (9.300) Koncentration af TeCE efter 2005 µg
 - 100 x afdampningskriteriet: 3600 µg
 - 1000 x afdampningskriteriet: 6.000
 - 10.000 x afdampningskriteriet: 60.0
 - 150.000 x afdampningskriteriet: 500
 - - - Tidligere kloak (1960)

0 10 20 m

Mål 1:500 Sog nr. 03.210.10 11. februar 2009

Figur A3-3.
Porelutsforurening

4.2.1 Forureningssituation – jord

Til vurdering af jordforureningens udbredelse er brugbare boringer blevet udvalgt, og forureningssituationen er vurderet på baggrund af dybden og koncentrationen af TeCE. I alt er 19 boringer valgt. Boringerne er beliggende i området som i 1987 blev afgravet, på friarealet vest og syd for bygningen samt på grunden ved Fredericiagade 11, placeringen fremgår af Figur 4-2. Navn og koncentrationer på de udvalgte boringer fremgår af følgende tabel. Jordprøverne er udtaget under boring af de respektive boringer. Inddelingen af dybdeintervallerne er valgt på baggrund af dybderne hvorfra jordprøverne er udtaget.

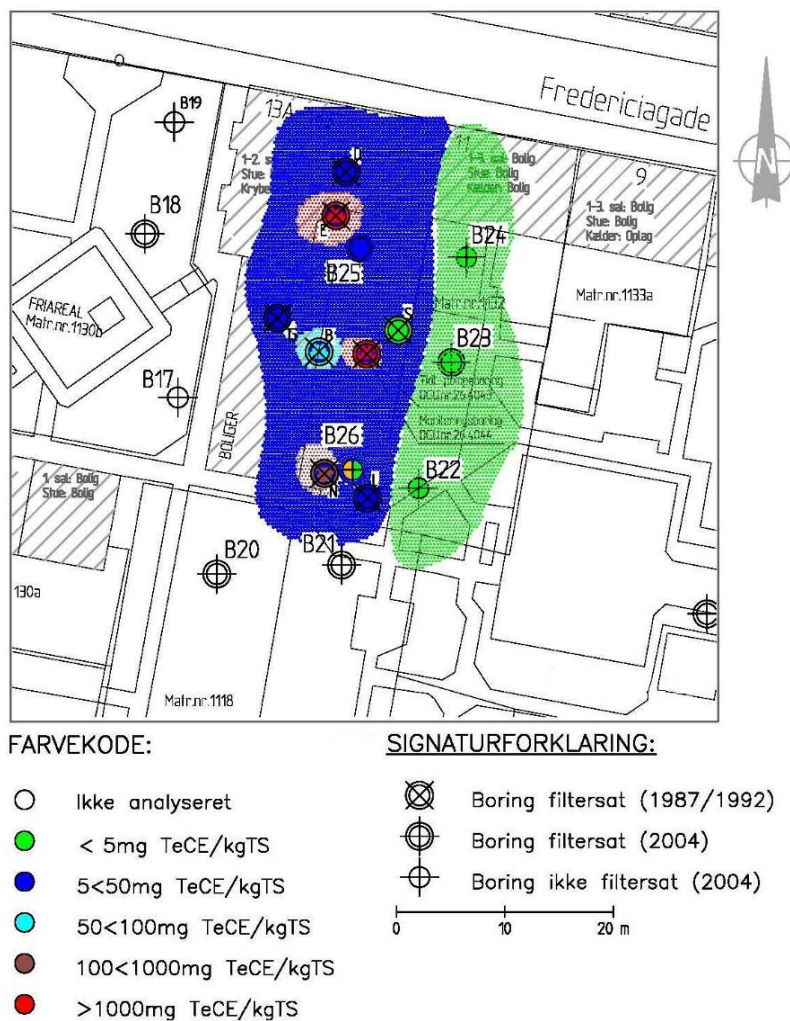
Tabel 4-2. Udvalgte boringer og indhold af TeCE i forskellige dybdeintervaller i mg/kg. Er der intet angivet ved en boring med et givent interval er der ikke udtaget prøver til analyse. Data er fra Nordjyllands Amt (2005 a) og Nordjyllands Amt (1997).

	Boring (m u.t.)	Dybdeintervaller [m]					
		0-3	3-6	6-8	8-10	10-14	14-
		TeCE koncentration [mg/kg]					
Under Fredericiagade 13 og i baghave	B (4)	*	55,7				
	C (4)	*	7,29				
	D (4)	*	5,9				
	E (15)	*	1.768	707	86	113	415
	G (4)	*	5,28				
	L (4)	*	23,6				
	N (15)	*	829	0,15	1,13	1,14	0,06
	S (15)	*	18	0,35	0,59	0,037	
	26.4043 (20)			1.560	246	262	1,15
	B25 (5)			29			
B26 (5)		0,46	0,045				
Friareal mod vest	B17 (4,5)		0,032				
	B18 (5)		0,26	0			
	B19 (4,5)		0,15	0			
Friareal i mod syd	B20 (4,5)		0,53				
	B21 (4,5)		0,73				
Fredericia- gade 11	B22 (4,5)		0,25	0,022			
	B23 (4,5)		0,54	0,091			
	B24 (4,5)		0,28	0,5			

* Jord er blevet bortgravet efter boringer er udført

Ud fra Tabel 4-2 er der blevet udarbejdet fire kort i forskellige dybder, hvor forureningssituationen kan fremgås. Kortene kan ses i Figur A3-1.

Ud fra boringsdata i Figur A3-1 er de formodede hotspot-områder optegnet som det fremgår på Figur 4-3



Figur 4-3. Oversigt over hotspots-områder 3-6 m u.t. ud fra Figur A3-1 og Tabel 4-2.

Som det ses af ovenstående figur er områderne omkring boring, E, B, 26.4043, N og L udpeget som områder med særlig høj koncentration. Resten af området omkring disse borer under bygningen og i baghaven er vurderet til, at have en koncentration af TeCE over 5 mg/kg TS, men under 50 mg/kg TS. Det er dog ikke usandsynligt, at der kan være andre hotspot-områder end de udpegede fem, men disse er ikke blevet fundet, på grund af boringstætheden på Fredericiagade 13. Boringstætheden skal dog være meget stor for, at alle hotspot-områder kan lokaliseres, idet chlorerede opløsningsmidler trænger ned gennem jorden i kanaler [Pankow og Cherry, 1996].

4.2.2 Forureningssituation – grundvand

Spredningen af TeCE i grundvandet må formodes større i grundvandet end i jorden, hvilket skyldes, at TeCE kan opløses i grundvandet, og dermed føres med grundvandets strømningsretning. Grundvandsforurening kan yderligere spredes, da der i infiltreret nedbør kan opløses luftformig forurening, som bringes med til grundvandet [Pankow og Cherry, 1996].

Der er flere filtersatte borer i området omkring Fredericiagade 13, hvorfra der senest blev udtaget vandprøver i 2004 [Nordjyllands Amt, 2005 a], hvorfor koncentrationerne i de enkelte borer kan være anderledes i dag. Figur A3-2 består af et kort over området, hvor de respektive borer og niveauet af TeCE og vinylchlorid (VC) samt

totalkulbrinter og benzen er vist. Der er desuden indtegnet isokurver over forureningsfanen på 500 og 2.000 gange grundvandskriteriet på 1 µg TeCE/l.

De højeste koncentrationer følger grundvandets strømningsretning, og fanen strømmer som forventet mod nord nordøst. Isokurverne er ikke lukket i grundvandets strømningsretning fordi fanen ikke er afgrænset.

Der er tre boreri vest for de optegnede isokurver, hvor det er målt forholdsvis høje TeCE-koncentrationer, men falder udenfor grundvandets strømningsretning (B10, B100 og B101) ved Fredericiagade 20-24. De tre boreri kan tyde på, at der er et mindre kildeområde vest for Fredericiagade 13. Tidligere medarbejdere på renseri har fortalt, at TeCE ikke blev genbrugt, men blot blev slynget fra det rensede tøj og løb ud i kloakken [Pers Komm. Lars Boye Mortensen, 2009], hvorfor dette mindre forureningsområde kunne stamme fra en utæt kloak. Kloaksystemet er beliggende under vejen, og på kortet over poreluftforurening, Figur A3-3 er kloaksystemet, som det så ud i 1960, indtegnet.

4.2.3 Forureningssituation – poreluft

Der er målt TeCE i jordens poreluft i hele omtådet omkring Fredericiagade 13. Dette er foregået som målinger under gulv og med poreluftssonder i græsplæner og bede mm. Poreluftsprøverne er udtaget over flere omgange fra 2004 til 2009. I Figur A3-3 er målepunkterne og koncentrationen af TeCE i de enkelte målepunkter angivet. Der er indlagt isokurver for at synliggøre områder med høje koncentrationer. Isokurverne er i størrelsesordenen 100, 1.000, 10.000, 150.000 gange afdampningskriteriet, hvilket vil sige isokurver på 600, 6.000, 60.000 og 90.000 µg TeCE/m³.

De højeste koncentrationer ses at befinde sig omkring Fredericiagade 13 og området nordvest herfor i grundvandsstrømningsretningen. Denne placering følger herved områderne med de højeste koncentrationer i jorden og i grundvandet.

Der er dog et lille område vest for Fredericiagade 13, ved Fredericiagade 20-24, med poreluftskoncentrationer på mere end 1.000 gange afdampningskriteriet. Dette lille område stemmer overens med de tre boreri, hvori der var fundet TeCE i grundvandet, som er beliggende i de respektive boligernes baghaver.

Det ses, at TeCE i poreluften er spredt langt ud over Fredericiagade 13 og dækker et areal, der er endnu større end grundvandsforureningen, hvilket skyldes at TeCE fordamper fra residual fri fase og fra grundvandet. Spredningen sker derefter ved diffusion og advektion, blandt andet forårsaget af trykforskelle i atmosfæren og nedbør [Pankow og Cherry, 1996]. Topjorden på Fredericiagade 13 er desuden relativt lukket, hvorfor horisontal spredning fremmes [Kristensen, 2005].

4.3 Opsamling

4.3.1 Generelt system

Ved at udarbejde en konceptuel model er der dannet grundlag for en forståelse for spredningen af forureningen i flere faser. Ligeledes er der et overblik over udbredelsen af forureningen.

4.3.2 Fredericiagade 13

Som forventet er udbredelsen af TeCE i både grundvand og poreluft betydeligt større end i jorden. Umiddelbart er placeringen af jordforurening på Fredericiagade 13 beliggende i baghaven, men der er også boreri placeret under

bygningen, der ligeledes har et højt indhold af TeCE. Det er uvist hvor stort et areal de forskellige boringer repræsenterer, hvorfor de enkelte hotspots kan udgøre et større eller mindre volumen forurenede jord. Der kan desuden også være områder med høje koncentrationer af TeCE som ikke er fundet.

Forureningsfanen følger grundvandets strømningsretning i nord nordøstlig retning mod Limfjorden med TeCE-koncentrationer på mere end 2.000 gange grundvandskriteriet. Der er tre boringer vest for faneområdet som også har høje koncentrationer, hvilket kan tyde på at det er, et mindre kildeområde, måske i forbindelse med et gammelt kloaktracé.

Poreluftens indhold af TeCE er meget højt omkring Fredericiagade 13, og falder gradvist med afstanden til nummer 13. Ligesom med forureningen af grundvandet, er der fundet høje koncentrationer i et mindre område vest for det forventede kildeområde. Det tyder på et mindre kildeområde omkring Fredericiagade 20-24. På grund af topjordens impermeabilitet når den er våd er der mulighed for større horisontal spredning og øget transport i områder med større befæstningsgrad

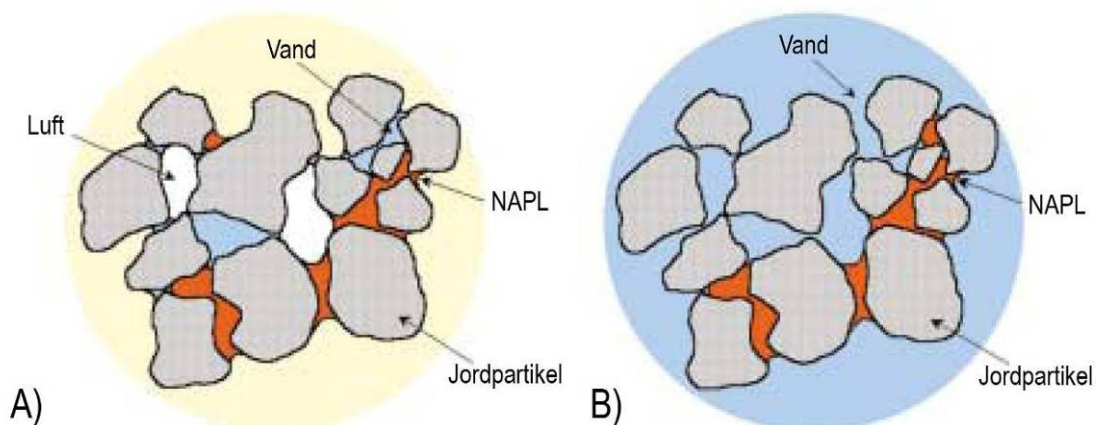
5 Forureningsopgørelse

Ud fra forureningsudbredelsen i afsnit 4.2 er der udarbejdet en opgørelsen for TeCE mængden, som formodes at forekomme i forbindelse med forureningen fra det tidligere renseri. Opgørelsen vil være et overslag beregnet ud fra de tilgængelige data.

Den umættede zone består som udgangspunkt af tre faser; partikler, luft og vand. I alle tre faser kan TeCE være til stede enten adsorberet til partiklerne, opløst i porevandet eller på dampform i poreluften. I den mættede zone er der ligeledes TeCE i partikelfasen og vandfasen, men luftfasen er ikke tilstedeværende, da den mættede zone, per definition er den del af jorden, hvor porevolumenet er vandfyldt. Det betyder at TeCE kun forekommer i enten vandfasen eller som adsorberet til partiklerne [Loll og Moldrup, 2000].

Hvis de enkelte faser er fuldt mættet med TeCE, er der mulighed forekomst af fri fase DNAPL. Denne vil indgå som en fjerde fase i den umættede zone og som en tredje fase i den mættede zone. Udfylder den fri fase ikke alle hulrum i jorden, men kun en vis andel, vil denne tilstedeværelse af fri fase kaldes for residual fri fase [Pankow og Cherry, 1996].

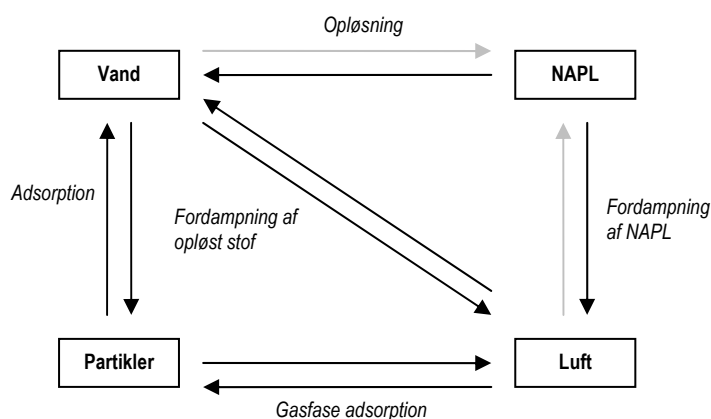
Ved et større spild med fri fase, vil transporten af fri fase TeCE ske via de luftfyldte porer. Ned gennem umættet zone vil der afsættes dråber af fri fase i porene (residual fri fase), og er spildet stort nok til at overvinde vandets kappilærkræfter i kappilærzonen, vil afsættelse af residual fri fase fortsætte ned i den mættede zone, se Figur 5-1 [Keuper *et al.*, 2003].



Figur 5-1. Fase fordeling med tilstedeværelsen af residual fri fase i henholdsvis umættet og mættet zone. A) er umættet zone og B) er mættet zone. Redigeret ud fra Keuper *et al.* (2003).

Da TeCE kan opløses i vand, vil der efterhånden opløses stof fra den fri fase og den residuale fri fase, hvorved jordens porevand og infiltrerende regnvand omkring forureningen vil blive forurennet. TeCE der befinder sig på fri fase, som residual fri fase og opløst i pore- og grundvandet vil fordampe til den omgivende poreluft, og vil herved også optræde som en poreluftsforurening [Pankow og Cherry, 1996].

Transporten mellem de forskellige faser er kort opsummeret i Figur 5-2. På grund af de mange spredningsmuligheder fra en fase til en anden, kan forureningen spredes vidt omkring langt fra kildeområdet.



Figur 5-2. Fasetransportens muligheder. Enkelte pile er lysegrå, hvilket skal symbolisere, at reaktionerne ikke sker i praksis. Frit efter Loll og Moldrup (2000).

5.1 Opgørelse ud fra TeCE-koncentrationer fra jordprøver

Beregningerne af forureningen i de forskellige faser, som er beskrevet i foregående, vil forgå efter fugacitetsprincippet, som også bruges i Miljøstyrelsens JAGG-model. Det antages her, at der er ligevægt af TeCE faserne i mellem uanset koncentration samt, at der er stationære forhold. Øvrige antagelser er, at TeCE opløst i vandfasen opfører sig som en ideal fortyndet opløsning, og at TeCE på gasform ligeledes har samme opførsel som en ideal gas [MST, 1998].

Ud fra jordprøver udtaget i umættet og mættet zone, er der blevet beregnet indholdet af TeCE i følgende faser:

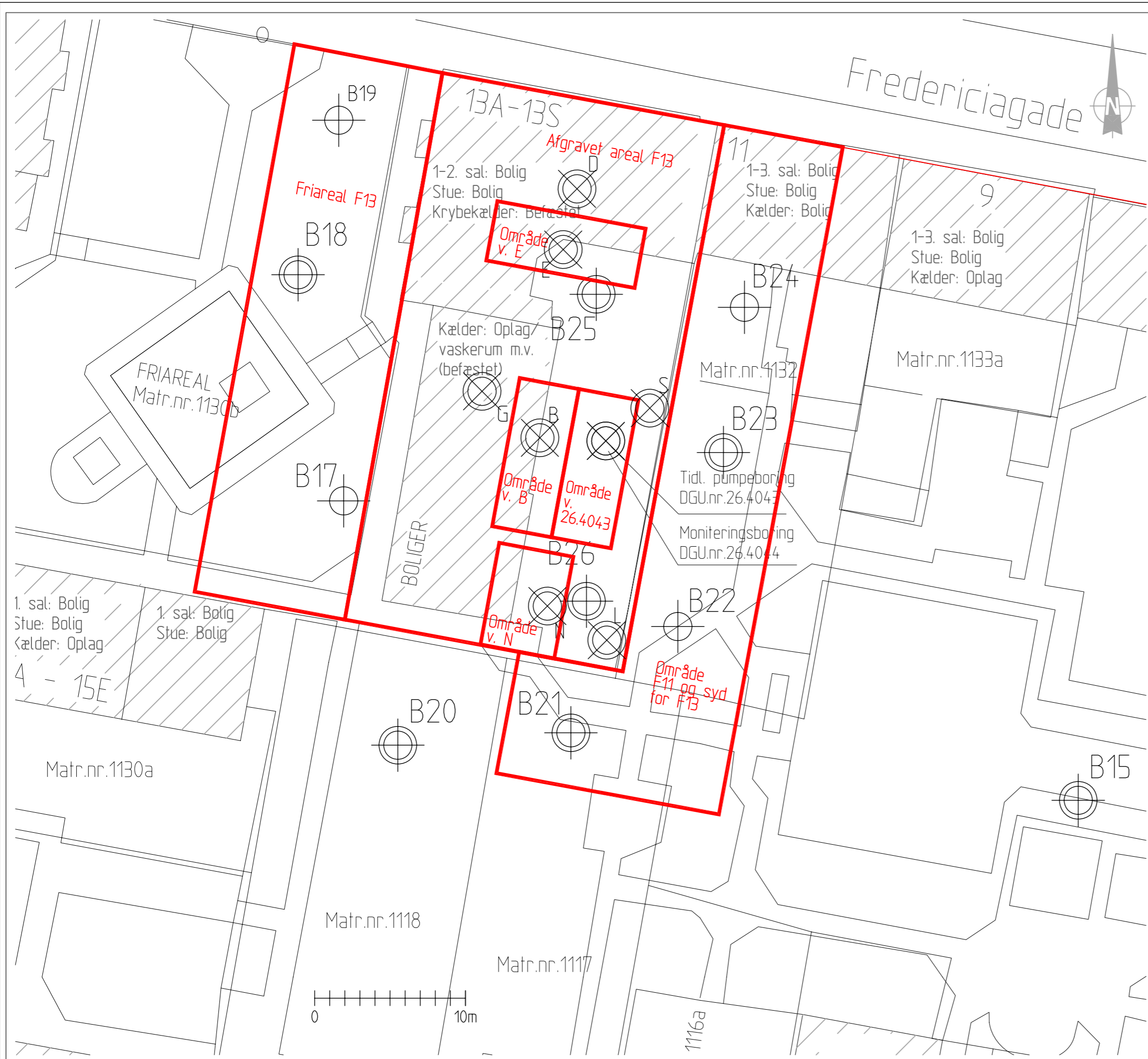
Tabel 5-1. Jordens faser til beregning af TeCE-mængden.

	Umættet zone	Mættet zone
Poreluften	X	
Porevandet/grundvandet	X	X
Partiklerne	X	X




For at kunne beregne mængden af TeCE ud fra de tilgængelige data, er området omkring Fredericiagade 13 blevet opdelt i zoner således, at koncentrationsdataene er vurderet til at repræsentere forureningsniveauet for et givent område.

Som beskrevet i afsnit 4.2.1 er der konstateret høje niveauer af TeCE i jordprøver udtaget fra borerer på Fredericiagade 13. På baggrund af disse koncentrationsniveauer er området blevet opdelt. Hvert zone omkring en hotspot-boring (>50 mg TeCE/kg TS), se Figur 4-3, er blevet afgrænset i forhold til de resterende borerer, og er således tilskrevet et areal. Borerer og derved områder, som ikke er karakteriseret ved høj TeCE-koncentration, er slået sammen med andre lignende koncentrationer, og er således også tilskrevet et areal.

Alt i alt er området omkring Fredericiagade 13 blevet opdelt i syv zone til beregningen af TeCE-mængden. Yderligere er grunden også opdelt i dybder, på baggrund af Tabel 4-2 for at dække variationen i dybden. I Figur A3-4 findes kort over opdelingen af grunden. Arealerne af de syv felter ses i tabellen nedenfor.



SIGNATURFORKLARING:

- Områdeafgrænsninger, TeCE
 -  Boring filtersat (1987/1992)
 -  Boring filtersat (2004)
 -  Boring ikke filtersat (2004)
- 0 5 10 m

**Figur A3-4.
Zoneinddeling**

Tabel 5-2. Arealer på beregningsområderne fra Figur A3-4. Områdenavnet kommer af navnet på de pågældende boringer hvori TeCE-koncentrationerne er målt

	Område v. E	Område v. B	Område v. 26.4043	Område v. N	Afgravet areal F13	Friareal v. F13	F11 og syd for F13
Areal [m ²]	40	40	40	34	541	371	417

Den fulde fremgangsmetode med formler til beregningen af TeCE-mængden kan ses i Bilag 1, imens hovedprincipperne kort opsummeres her.

Som udgangspunkt er opgørelsen af TeCE-mængderne i jord, vand og luft udført når jordens kapacitet er opnået, det vil sige at når partiklerne og det organiske materiale ikke kan adsorbere mere TeCE, og når porevand og -luft er fuldt mættet. Når fordelingen mellem faserne kendes ved fuld kapacitet er det muligt, at beregne fordelingen af TeCE i faserne ved en lavere totalconcentration. Efter en mætningskoncentration er opnået, vil der være mulighed for forekomst af fri fase. Andelen af fri fase er da forskellen mellem den aktuelle jordkoncentration og koncentrationen for fuld mætning, såfremt denne er positiv.

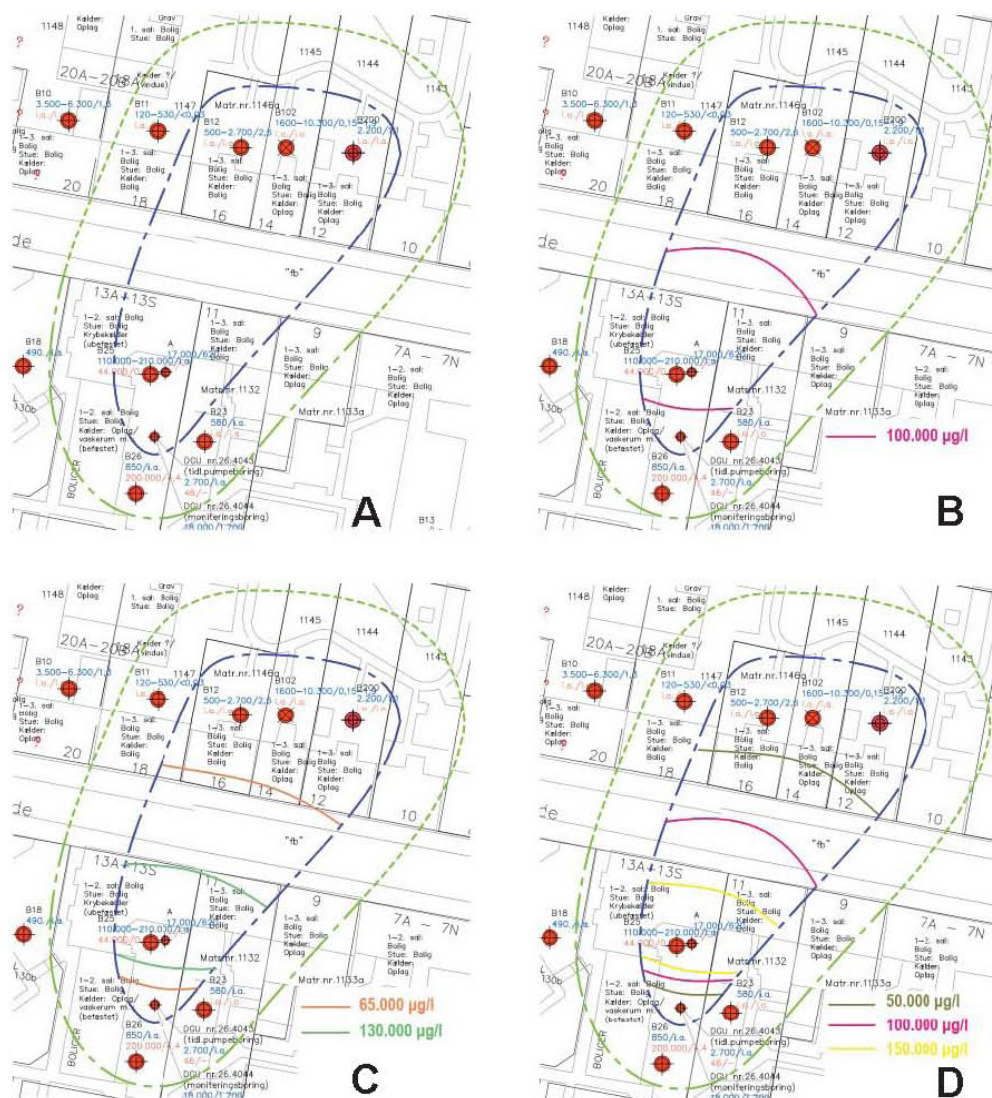
5.2 Opgørelse af TeCE i grundvandet

Til beregning af TeCE-mængden i grundvandsfanen benyttes de målte grundvandskoncentrationer, som er at finde i Figur A3-2.

Beregningen af selve TeCE-mængden er udarbejdet ved, at en given koncentration af TeCE målt i en boring, er tilskrevet et givent volumen, efter samme princip som ved beregningen af forureningsfordelingen i jorden. Det er antaget, at det opløste TeCE befinder sig i de øverste 2 m. Valget af en dybde på 2 m er fremkommet efter gennemgang af filterplaceringen i de forskellige boringer i forureningsfanens retning, se evt. Bilag 3.

Arealopdelingen af TeCE-fanen er fundet ved, at opdele fanen i forskelle inddelinger, og lave en følsomhedsanalyse på mængdeberegningen ud fra de givne arealer. Den mest reelle inddeling af fanen fås når mængdeberegningen for forskellige arealopdelinger er nogenlunde konstant. I alt vil der blive beregnet på fire forskellige opdelinger af fanen, hvilket fremgår af nedenstående figur.

Den fulde beregningsmetode fremgår af i Bilag 1.



Figur 5-3. Opdeling af forureningsfanen i grundvandet. A) er en opdeling i to områder ud fra koncentrationen af TeCE målt i grundvandet. B) er en opdeling i tre koncentrationszoner. C) er fire og D) er i fem områder. Den grønne streg er en koncentration på 2.500 µg/l, mens den blå streg er 10.000 µg/l.

5.3 Mængder

Der er blevet udarbejdet en forureningsopgørelse af TeCE-mængden, som vurderes at forekomme i forbindelse med forureningen fra det tidligere renseri. Alle beregninger er at finde på data-CD'en. Opgørelsen er opsat ud fra de målte koncentrationer af TeCE i henholdsvis jorden og i grundvandet. Der er ikke udarbejdet en opgørelse af TeCE i jordens poreluft for området, der er berørt af for høje afdampningskoncentrationer. Dette skyldes, at der i forbindelse med beregningen af fordelingen af TeCE mellem faserne, ved hjælp af fugacitetsprincippet blev fundet, at kun 1 % af TeCE-forureningen i umættet zone vil befinde sig på gasform, se evt. data-CD. Desuden er forureningen i poreluften ikke stationær sammenlignet med TeCE bundet til jorden eller opløst, idet jorden ventileres, hvorved der er forholdsvis stor udskiftning af forureningen. Således vil en tidsserie over flere år ikke kunne anvendes til vurdering af mængder.

Resultaterne er af TeCE-opgørelsen, opgjort på baggrund af jordkoncentrationer, er præsenteret i Tabel 5-3. Den øverste halvdel af tabellen er resultaterne for den umættede zone, mens den nederste er resultaterne for den mættede zone. Nederst i tabellen er total mængderne for de enkelte faser givet. For kort se Figur A3-4.

Tabel 5-3. Resultater for forureningsopgørelsen udarbejdet på baggrund af jordkoncentrationer. Alle tal er i kg og afrundet. Tallene i parentes er dybden for beregningen [m u.t.]. F13 = Fredericiagade 13 og F11 = Fredericiagade 11. For oversigt over beregningszonerne se Figur A3-4

	Luft	Vand	Jord	Fri fase	Sum for	
			[kg]			
Umættet zone	Område v. E (0-3)	0	0	0	0	
	Område v. B (0-3)	0	0	0	0	
	Område v. 26.4043 (0-3)	0	0	0	0	
	Område v. N (0-3)	0	0	0	0	
	Afgravet areal F13 (0-3)	0,02	0,1	1	0	1,12
	Friareal v. F13 (0-3)	0	0,02	0,15	0	0,17
	F11 og syd for F13 (0-3)	0,01	0,05	0,5	0	0,56
	Sum for faser	0,04	0,17	1,65	0	1,86
Mættet zone	Område v. E (3-18)	-	37,15	274,46	232,11	543,72
	Område v. B (3-6)	-	1,2	8,89	0	10,09
	Område v. 26.4043 (3-18)	-	19,77	146,07	178,48	344,32
	Område v. N (3-14)	-	10,6	78,33	39,12	128,05
	Afgravet areal F13 (3-8)	-	4,09	30,22	0	34,31
	Friareal v. F13 (0)	-	*	*	*	*
	F11 og syd for F13 (3-6)	-	0,05	0,33	0	0,378
	Sum for faser	-	72,86	538,31	488,82	1.099,98
Total	0,04	73,03	539,96	488,82	1.101,84	

- Luftfase ikke til stede

* Ingen boreriger under grundvandsspejlet

Den umættede zone indeholder som forventet ikke meget TeCE, når det er beregnet ud fra jordkoncentrationer, ide størstedelen af den daværende umættede zone blev bortgarvet og efterfølgende fyldt op med rene materialer. Samlet har beregningerne vist, at den umættede zone på Fredericiagade 13 indeholder ca. 1 ‰ af den samlede forureningsmængde, 44 % af totalforureningen er bestående af fri fase TeCE, mens ca. 7 % forekommer opløst i grundvandet.

De tre dybe boreriger, hvor der er fundet høje koncentrationer af TeCE (E, 26.4043 og N), har alle tre forekomst af fri fase og har stor betydning for totalmængden. Disse tre boreriger står i alt for 92 % af den samlede TeCE-mængde.

Beregningen af hvor meget TeCE forureningsfanen muligvis indeholder giver mængder på 60-85 kg afhængig af, hvilken opdeling af fanen der benyttes, se Tabel 5-4. For beregninger henvises til data-CD.

Tabel 5-4. Resultater for forureningsopgørelsen og følsomhedsanalysen udarbejdet på baggrund af grundvandskoncentrationer. Alle tal er i kg og afrundet. Områdeopdelingen frem går af Figur 5-3.

	2 områder	3 områder	4 områder	5 områder
Mængde [kg TeCE]	59,1	81,2	84,2	77,1

Der er ikke betydende forskel på hvilken opdeling af fanen der benyttes. Hvis den største mængde ønskes, som konservativ vurdering, bør fanen opdeles i fire områder, men forskellen på at opdele fanen i 3, 4 eller 5 områder er ikke væsentlig.

Totalmængden af TeCE findes ud fra begge opgørelser ved at fratække det område hvor grundvandsmængderne overlapper hinanden. Tages der udgangspunkt i faneforureningsmængden på 84 kg, vil de 44 kg være beliggende i overlappingsområdet, hvorfor den samlede opgjorte TeCE-mængde bliver 1.142 kg.

Beregningerne viser at, mængden af TeCE i grundvandet, beregnet ud fra jordprøver og grundvandsprøver, stort set giver et enslydende resultat (forskel på op 30 %). Ligheden mellem de to beregninger er tilfældig, idet der er gjort flere antagelser i forbindelse med beregningerne. Antagelsen som har størst betydning for beregningen af TeCE-mængden, ud fra jordkoncentrationerne, er områdeopdeling, hvor de målte TeCE-koncentrationer er blevet tildelt et givent jordvolumen, som er bestemt ud fra prøveudtagningshyppigheden og afstanden til eventuelle naboboringer. Helt generelt ville den beregnede TeCE-mængde være mindre, hvis områderne bliver vurderet mindre. Parallelt til dette er antagelsen om fanens dybde i grundvandsmagasinet stærkt betydende for mængden af TeCE. Det er før nævnt, at TeCE har en højere densitet end vand, hvorfor det vil synke ned i grundvandsmagasinet indtil TeCE er til stede i så små mængder, at det ikke længere kan tvinge vandet bort fra de små porer mellem partiklerne [Pankow og Cherry, 1996] Herved er antagelsen om, at TeCE-fanen kun skulle være beliggende i de øverste to meter af magasinet ikke korrekt, men i og med at de fleste vandprøver er udtaget fra de øverste to meter, er kendskabet til fanens udbredelse i dybden begrænset. Der er dog i boring E fundet koncentrationer af TeCE på 415 mg/kg TS 15 m.u.t., hvorfor det må formodes at fanen er tilsvarende dyb. Derfor er opgørelsen, på baggrund af grundvandsmålinger, sandsynligvis i underkanten af, hvad der totalt findes i grundvandet.

Andre antagelser, der kan have betydning for opgørelsen er, at der er regnet på TeCE som den eneste forureningskomponent på Fredericiagade. Denne antagelse betyder ikke noget for det totale resultat, men kan have indflydelse på fordelingen af TeCE faserne imellem. Er der andre stoffer tilstede som partiklerne har større affinitet for, vil disse optage noget af 'pladsen' således, at en større andel TeCE vil forekomme som fri fase [Kjeldsen og Christensen, 1996]. Ligeledes kan tilstedeværelsen af andre forureningskomponenter i grundvandet mindske opløseligheden af TeCE, hvorved der igen vil forekomme en større andel fri fase-TeCE.

Ses denne mængde i forhold til forbruget af TeCE i de sidste driftsår, på ca. 56 ton TeCE/år, udgør de ca. 1,1 ton kun 1,7 % af det årlige TeCE-forbrug. Set i forhold til at tidligere medarbejdere har fortalt, at TeCE ikke blev genbrugt men blot blev ledt i kloakken, virker det lidt rosenrødt at der ikke er sket større spild, idet der blev anvendt TeCE i tøjrensningen siden 1954 [Nordjyllands Amt, 1995]. Men der kan som før nævnt være stor variation i forekomsten af TeCE selv inden for korte afstande, hvorfor sandsynligheden for ukendte hotspot-områder er stor, hvorved resultaterne af de tre mængdeopgørelse kan nærme sig hinanden.

Boringstætheden og dybden af boringerne på Fredericiagade 13 er ikke så stor, hvorfor der kan være områder med meget høje koncentrationer, der ikke er blevet fundet, så den reelle mængde kunne med lethed være højere end det beregnede i opgørelsen her.

5.4 Opsamling

5.4.1 Generelt system

Overslagsberegning ud fra ovenstående metode er egnet til, at give en indikation af en given forureningsmængde, ud fra et forureningsstof som optræder i alle jordens faser. Resultatet af beregningen er dog stærkt afhængig af opdelingen af beregningszoner.

Hvis mængdeberegningen skal afspejle den reelle forureningsmængde på en given grund, skal boringstætheden være forholdsvis stor, idet der kan være områder mellem boringerne, som ikke er opdaget. Specielt ved chlorerede

opløsningsmidler kan dette være et problem, da disse vil bevæges ned i grundvandsmagasinet i kanaler, og danner ikke en pandekage ovenpå grundvandet, som arealmæssigt er lettere at finde.

5.4.2 Fredericiagade 13

På Fredericiagade er totalmængden af TeCE overslagsmæssigt beregnet til 1.142 kg, hvor omtrent 500 kg af totalmængden består af fri fase.

Beregningen af TeCE-mængden i grundvandsfanen er sandsynligvis underestimeret, idet fanedybden er antaget at være 2 m under grundvandsspejlet. Der er dog fundet høje koncentrationer af TeCE ned til 15 m u.t., hvorfor mængden i grundvandet må være større. Et mere nøjagtigt estimat vil dog kræve flere boringer, og gerne med filtre i forskellig dybde.

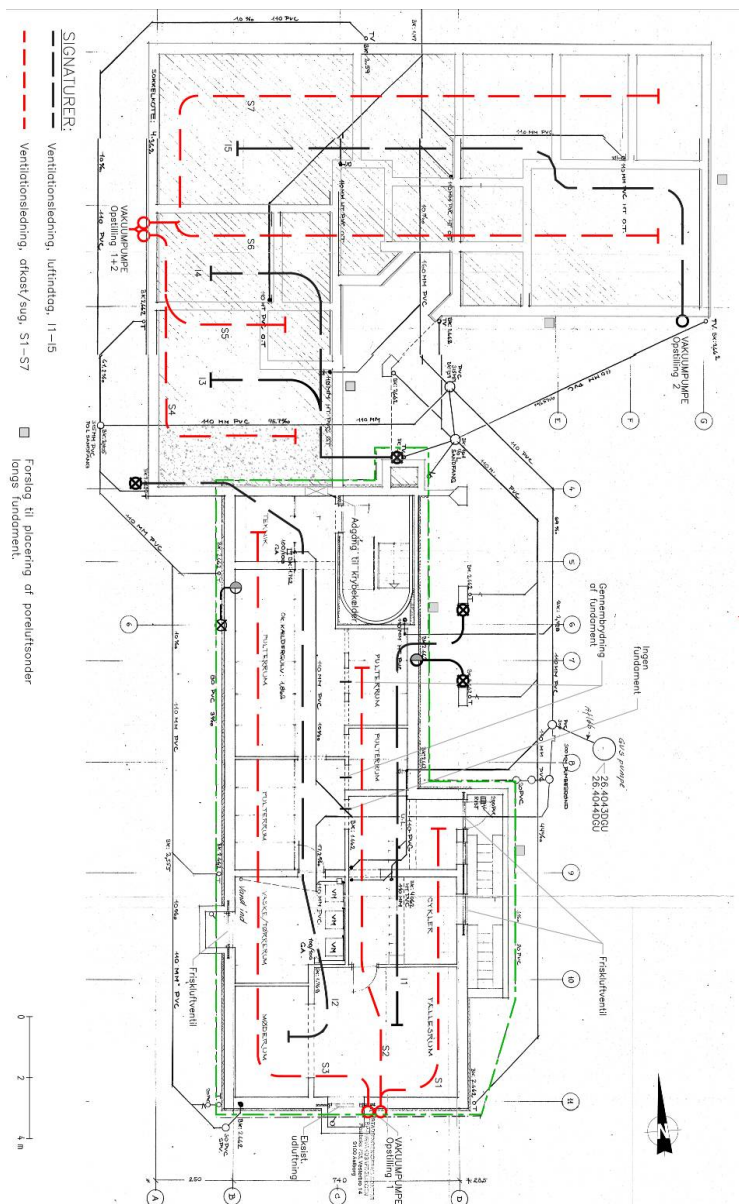
6 Måleprogram

Hovedformålet med den aktive ventilation af det kapillærbrydende lag er, at nedbringe TeCE-koncentrationen i indeklimaet. For at undersøge om en mindre pumpeydelse end 200 m³/t er vakuumpumperne blevet stoppet for, at lade koncentrationen af TeCE stige, for efterfølgende at udføre en test med en pumpeydelse på 100 m³/t. Undersøgelsen kræver imidlertid at udviklingen af forureningsniveauet monitoreres.

6.1 Ventilationstest

Ventilationssystemet er opbygget af flere drænstrengene som ligger i det kapillærbrydende lag. Oprindeligt er halvdelen af dræne tåntænkt som luftindtag fra udeluften (I1-I5), mens de resterende dræn kunne tilkobles en vakuumpumpe (S1-S7), se Figur 6-1.

Test af aktiv ventilation af drænsystemet er foretaget med to vakuumpumper som har været opstillet på to måder. De to pumper har en maks. kapacitet på henholdsvis 75 og 125 m³/t, i alt 200 m³/t. I den første opstilling, med opstart d. 11. dec. 2008, var en vakuumpumpe (125 m³/t) placeret ved sugestregene S4-S7 på vest siden af bygningen, mens den anden vakuumpumpe (75 m³/t) var placeret ved bygningens syd side ved sugestregene S1-S3. Opstilling 1 kørte en uge og blev herefter stoppet julen og nytåret over. Der blev monitoreret på tilbageslaget i ca. 2,5 uge og det blev besluttet at flytte den anden vakuumpumpe, der havde stået ved bygnings sydside hen til streng I5, hvilket er betegnet som opstilling 2, se Figur 6-1. Dette blev gjort, idet effekten af ventilationen under krybekælderen ikke var tilstrækkelig, og fordi der ikke havde været samme opkoncentrering af TeCE i poreluften under kælderen som under krybekælderen. Opstilling 2 kørte fra 7. jan. 2009 til 6. apr. 2009, hvor det blev lavet indeklimamålinger i februar og starten af marts, som viste at ventilationen under krybekælderen kan holde koncentrationen af TeCE i indeklimaet under Miljøstyrelsens afdampningskriterium, se Tabel 2-1.



Figur 6-1. Ventilationsstregene under gulvet i kælder og krybekælder. De røde stiplede strenger er planlagt som sugstrenger og er betegnet S1-S7. De sorte stiplede (I1-I5) er planlagt som dræn til luftindtag fra udeluften. Der er endvidere optegnet omfangsdræn med grønt langs kælderen. Redigeret ud fra Nordjyllands Amt (2006).

Den 6. apr. 2009 blev vakuumpumperne slukket, og tilbageslaget af TeCE blev monitoreret til d. 18. maj. Herefter er der blevet udført en test på to uger, for at undersøge om en mindre pumpeeffekt ville være tilstrækkelig til, at holde koncentrationen af TeCE i indeklimaet nede. Opstillingen bibeholdes, men vakuumpumperne neddrøles således, at den samlede sugestyrke bliver på i alt $100 \text{ m}^3/\text{t}$, med en kapacitet på $65 \text{ m}^3/\text{t}$ på S4-S7 og $35 \text{ m}^3/\text{t}$ på I5, så forholdet 5:3 mellem pumperne opretholdes.

6.2 Monitering

Der er i alt 13 målepunkter til prøveudtagning og måling af poreluft under gulv og langs bygningens ydermur. Der er fem målepunkter under gulv, tre i kælderen og to krybekælderen. De resterende otte poreluftssonder er placeret langs ydermuren, hvor to er sat ved kælderen og de resterende seks rundt langs krybekælderen.

Tilbageslaget monitoreres med to apparater henholdsvis en PID-måler med et måleområde fra ppb til ppm-niveau og en gaschromatograf (GC) til feltbrug med to detektorer (ECD og PID). Der er blevet målt PID med to forskellige prøvetagningsmetoder, en hvor der er blevet målt direkte på afkastet fra prøvetagningspumpen, som bruges til at pumpe poreluften op af sonderne. Ved den anden metode udtages en poreluftsprøve i en rilsanpose ved hjælp af prøvetagningspumpen og en vakuumbukse, og der måles PID på posens indhold. På samme pose er der efterfølgende målt for TeCE på GC'en. I Bilag 2 er udtagning og måling beskrevet for alle målemetoderne.

Måleprogrammet fremgår af Tabel 6-1. Ved alle målerunder, er der blevet målt direkte på prøvetagningspumpens afkast med PID-måleren på alle målepunkter, og der er udtaget poreluft i rilsanpose til PID-måling og GC-analyse i målepunkterne P1, P3, P5, P6, MP100, PL1003, PL1006 og PL1007, otte i alt. Placeringen fremgår af Figur 6-2. De otte målepunkter er blevet udvalgt på baggrund af deres placering, og fordi der i disse målepunkter tidligere har været målt høje koncentrationer under monitorering af de to opstillinger med vakuumpumperne.

Tabel 6-1. Måleprogram for ugerne med tilbageslag.

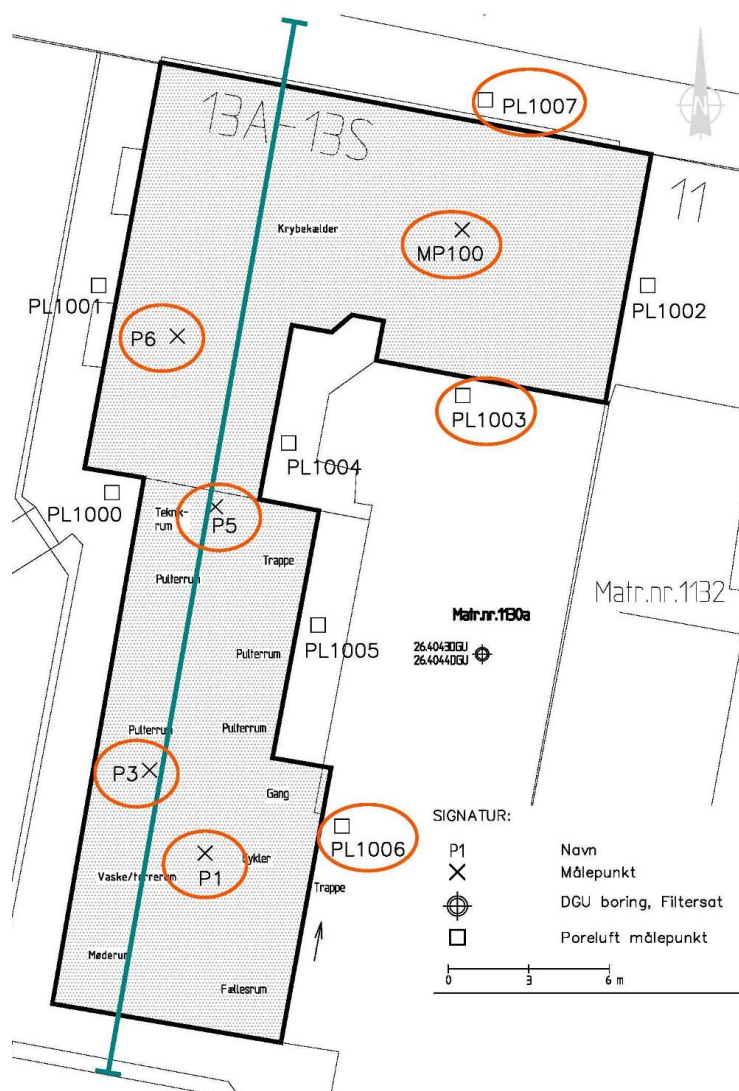
Moniteringsuger fra tilbageslagets start	Direkte PID på alle målepunkter og udtagning af poseprøve til PID og GC fra otte målepunkter	Direkte PID på alle målepunkter og udtagning af poseprøve til PID og GC fra alle målepunkter
1. uge	5 gange	2 gange
2. uge – 6 uge	1 gang	1 gang

Efter der er målt tilbageslag i seks uger er vakuumpumperne igen blevet sat i drift, men med en kapacitet på 100 m³/t. Effekten af pumperne er ligeledes monitoreret over de to uger, hvor hyppigheden kan ses i Tabel 6-2.

Tabel 6-2. Måleprogram for monitorering af en pumpeeffekt på 100 m³/t.

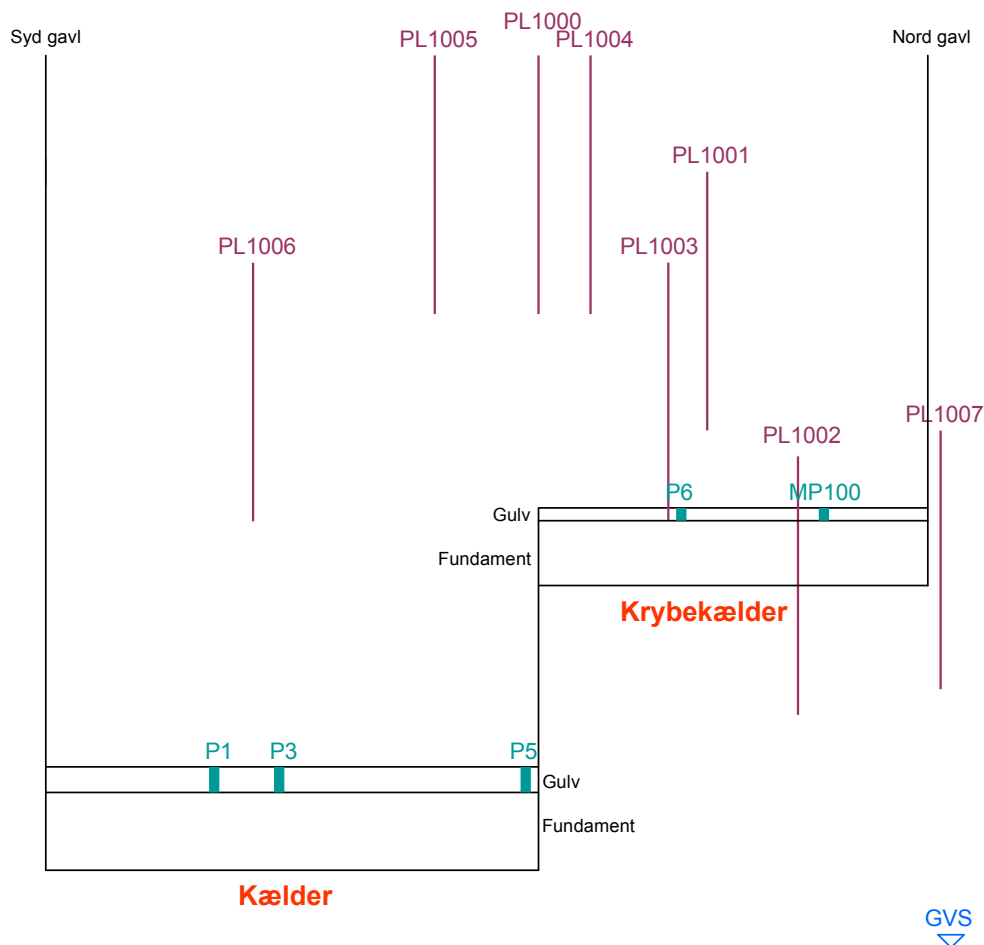
Moniteringsuger fra tilbageslagets start	Direkte PID på alle målepunkter og udtagning af poseprøve til PID og GC fra otte målepunkter	Direkte PID på alle målepunkter og udtagning af poseprøve til PID og GC fra alle målepunkter
1. uge	3 gange	2 gange
2. uge	1 gang	1 gang

Vakuumpumpernes effekt på TeCE-koncentrationerne i de 13 målepunkter, er monitoreret efter de samme metoder som under tilbageslaget.



Figur 6-2. Oversigt over målepunkter. I punkterne med orange ring, er der udtaget en poseprøve ved hver målerunde. Den blågrønne streg er snitlinien til Figur 6-3.

Luftprøverne udtaget under gulv stammer fra poreluften lige under gulvets betonkonstruktion, mens prøver fra poreluftssonderne er luft fra 1 m u.t. På Figur 6-3 er alle målepunkterne projekteret ind på en tværgående linie gennem bygningen fra syd til nord. Herved kan placeringen af de 13 målepunkter ses i forhold til gulvniveauet for kælder og krybekælder. Det ses, at poreluftssonderne ikke er i samme niveau, hvilket skyldes store niveauforskelle omkring beboelsen på Fredericiagade 13.



Figur 6-3. Snit gennem Fredericiagade hvorpå målepunkterne under gulv (blågrøn) og poreluftsonderne (lilla) og deres omtrentlige dybde er vist. Poreluftsondernes top indikerer terrænniveauet for den enkelte sonde. Hver sonde er 1 m lang. Snitretningen fremgår af Figur 6-2.

Det fremgår af ovenstående figur, at kun to af sonderne med sikkerhed rækker ned under fundamentet, hvorimod PL1003 ca. tangere underkanten af krybekælderens gulv. Gulvet i kælderens er 16 cm tykt, mens fundamentet er ca. 30 cm. I krybekælderens består gulvet af ca. 6 cm beton, men fundamentet er 25 cm tykt [Nordjyllands Amt, 2006].

I det følgende vil resultaterne fra ventilationstesten præsenteres, både med hensyn til det aktuelle resultat af testen, men også sammenligningen af målemetoderne, GC, direkte PID-måling og PID-måling på en poseprøve. GC-analyserne er endvidere sammenlignet med resultaterne fra akkrediteret analyser for TeCE, udtaget på kulrør.

6.3 Sammenligning af GC- og akkrediteret analyse

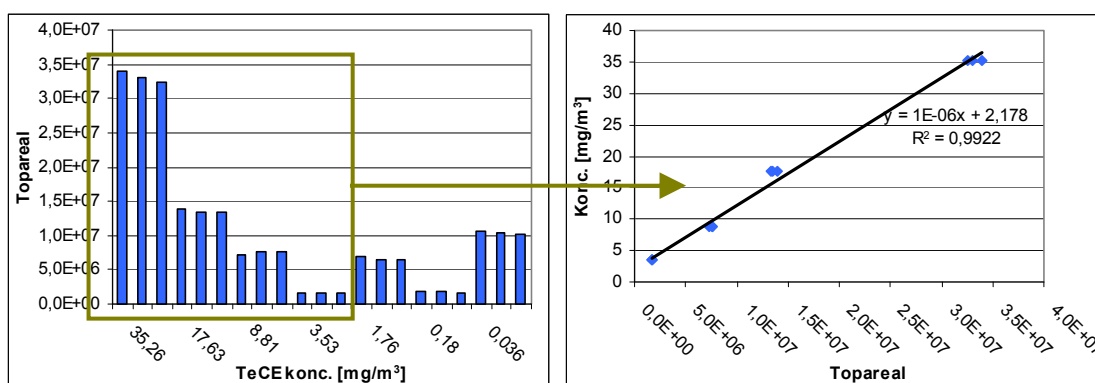
Før yderlige resultater af ventilationstesten præsenteres må det præciseres, at det er koncentrationerne fra felt-GC'ens EC-detektor der benyttes videre frem, idet gyldighedsområdet for dennes standardrække er større. TeCE-koncentrationerne målt med GC'en er generelt højere end det, som er målt ved samtidige akkrediteret analyse, hvilket fremgår af tabellen nedenfor.

Tabel 6-3. TeCE-resultater fra felt-GC analyse af luftprøver udtaget i rilsanpose og akkrediterede analyser udtaget på kulrør. Prøverne er udtaget ved start og slut på tilbageslaget. Analyserapporter er vedlagt på data-CD.

Målepunkt		GC		Akkrediteret		% forskel mellem GC og akkrediteret	
		06-04-2009	18-05-2009	06-04-2009	18-05-2009	06-04-2009	18-05-2009
Kælders	P1	2,47	3,04	0,22	0,41	91	87
	P3	2,39	2,54	0,16	0,18	93	93
	P5	2,51	3,34	0,17	0,5	93	85
Krybekælders	P6	0	2,33	0,0013	0,3	-	87
	MP100	3,61	176,62	1,4	220	61	-24
Poreluftsonder langs fundamentet	PL1000	0	9,35	0,014	1,7	-	82
	PL1001	0	4,7	0,0026	1,1	-	77
	PL1002	2,62	5,78	0,035	0,91	99	84
	PL1003	0	32,39	0,005	23	-	29
	PL1004	0	5,34	0,013	0,49	-	91
	PL1005	0	4,05	0,074	0,72	-	82
	PL1006	15,17	43,8	2,5	34	84	22
PL1007	2,68	37,12	0,35	23	87	38	

- Beregning af procent umulig

Årsagen vurderes at skyldes standardrækken, da denne er vanskelig at lave. Der skal blandes TeCE og N₂ på gasform i de rigtige volumener med stor usikkerhed til følge, hvorfor felt-GC'en får en detektionsgrænse på 2,18 mg/m³, hvilket fremgår af Figur 6-4.

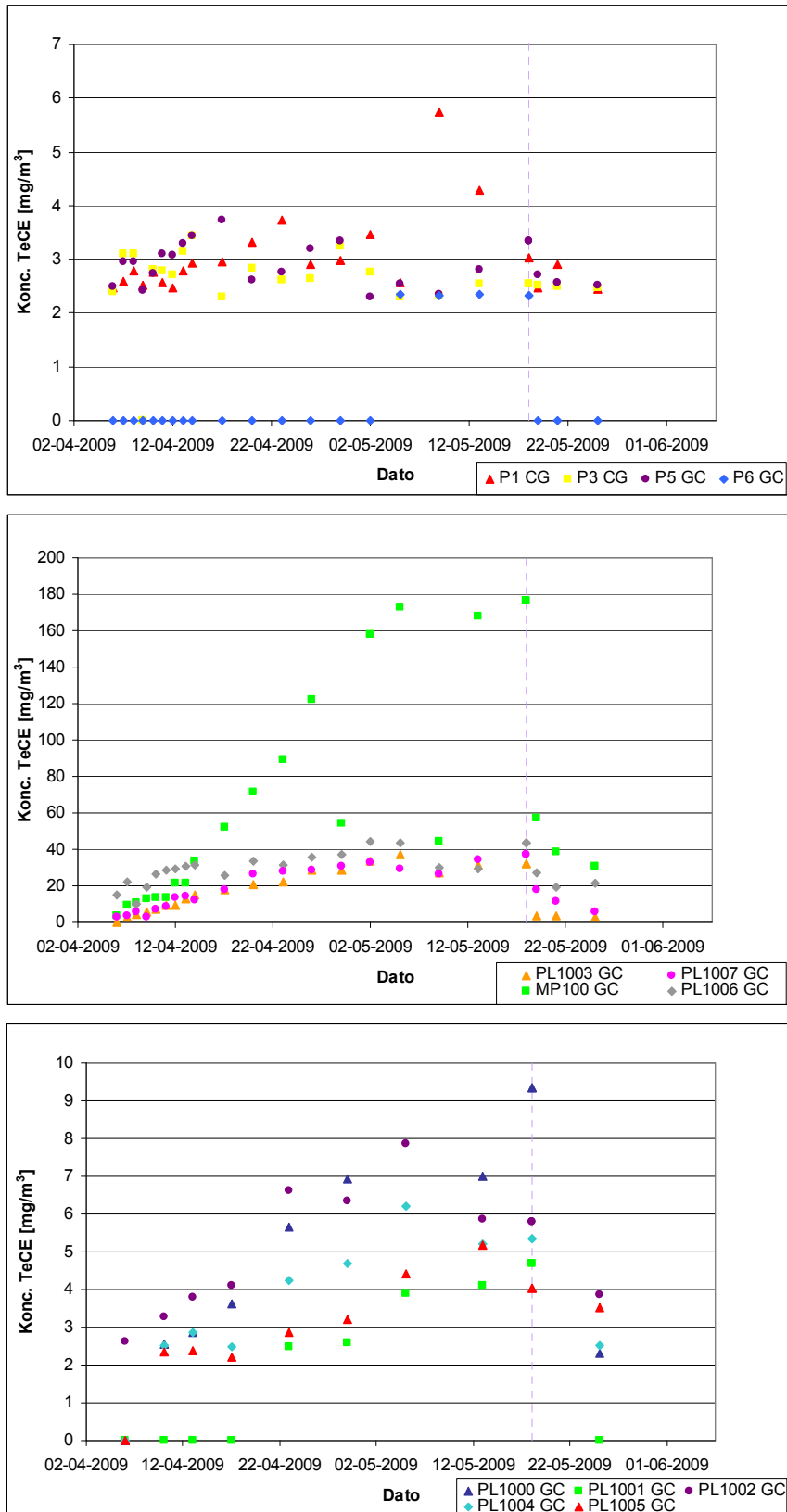


Figur 6-4. Standardrække for felt-GC'ens EC-detektor. Koncentrationer under 3,53 mg/m³ er sorteret fra i plottet til højre hvilket er afbilledet med kassen og pilen.

Der er ikke umiddelbar stor overensstemmelse mellem GC og de akkrediterede analyser, men ved højere resultater begynder de to analysemetoder at ligne hinanden resultatmæssigt. Det ses ud fra den procentvise forskel som bliver mindre når koncentrationen i de akkrediterede analyser stiger. Det tyder derfor på at standardrækken for GC'en ikke er "stejl" nok, og der er en større fejl mellem de to analyser ved de små koncentrationer. Koncentrationen i MP100 d. 18. maj var højere ved den akkrediterede analyse end på felt-GC'en, hvorfor felt-GC'en vil undervurdere ved meget høje koncentrationer. Ud fra den procentvise forskel mellem GC'en og de akkrediterede analyser vurderes det dog, at niveauerne målingerne i mellem er tilfredsstillende til at følge udviklingen af tilbageslaget og ventilationstesten med 100 m³/t.

6.4 Måleserier af tilbageslag og ventilation

Måleserierne for hver af de tre målinger er præsenteret i det nedenstående, hvor resultaterne fra hver metode er vist i tre plot for at give større overblik over resultaterne. I Bilag 4 forefindes grafer for de enkelte målepunkter, for yderligere data henvises der til data-CD'en. For kort over placeringen af målepunkterne henvises til Figur 6-3.



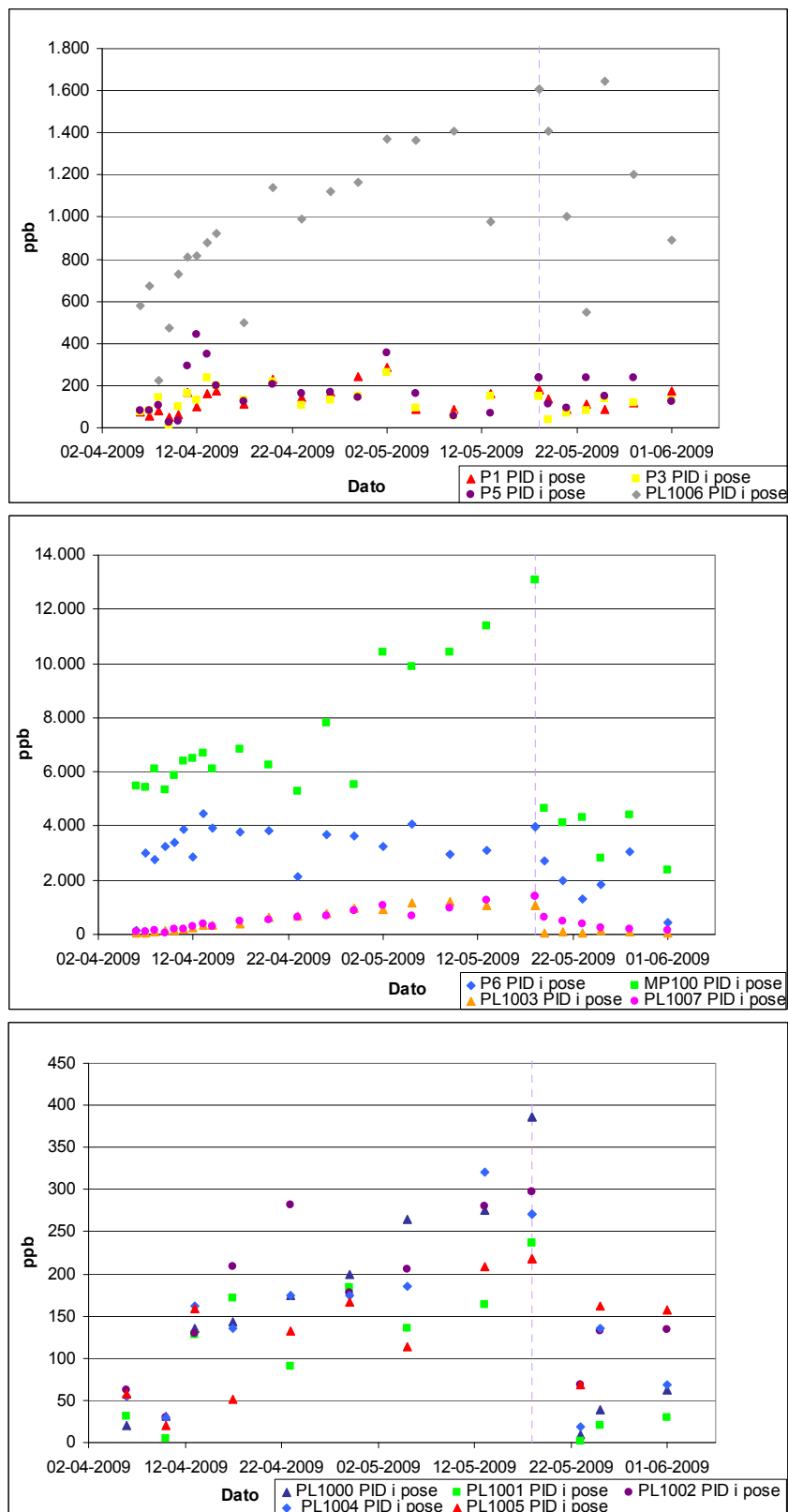
Figur 6-5. GC-resultater for tilbageslags- og ventilationsresultater for TeCE-indholdet i poreluften i de 13 målepunkter. Opdelingen af målepunkter i plottene kan være forskellige fra de andre målemetoder. Akseind-delingerne er forskellige.

MP100 er målepunktet med de højeste koncentrationer af TeCE. Stigningen i indholdet af TeCE ses, at starte fra pumpestop, om end stigningen i den første uge er lavere end de resterende tre uger op mod det sted, hvor koncentrationerne begynder at stagnere efter en måneds tilbageslag. Koncentrationerne af TeCE i PL1003, PL1007 og PL1006 ligner hinanden gennem tilbageslagsperioden, om end der i PL1006 var en højere startkoncentration. Startkoncentrationens størrelse skyldes sandsynligvis at der kun ventileres aktivt under krybekælderen. Der er dog en forbindelse mellem PL1006 og krybekælderen, idet koncentrationen i målepunktet stiger under tilbageslaget og falder under ventilationstesten. Forbindelsen kunne være i form af omfangsdræn som er beliggende langs kælderens fundament, se evt. Figur 6-1. Målepunkterne i gulvet i kælderen (P1, P3 og P5) er stort set upåvirket af tilbageslaget, dog varierer den indbyrdes koncentration mellem målepunkterne lidt over måleperioden. Koncentrationen af TeCE i P6 kunne ikke detekteres før efter en måneds tilbageslag og stagnerer herefter. Udviklingen i PL1000-PL1002, PL1004 og PL1005 følger hinanden, med PL1000 som målepunktet med de højeste TeCE-koncentrationer.

Måledataene fra ventilationstesten med 100 m³/t er mangelfulde, hvilket skyldes at felt-GC'en d. 23. maj have problemer med ovnen, mens GC'en ved målingerne d. 28. maj og 1. juni ikke kunne holde baseline stabil, samtidig med at der blev detekteret fiktive stoffer. De målinger der er blevet analyseret på GC'en viser, at koncentrationen af TeCE falder. Fx er koncentrationen i PL1003 faldet med 89 % på et døgn og der kan ikke detekteres TeCE i P6 efter det samme døgn. For MP100, PL1007 og PL1006 er faldet mellem 39-68 %, hvor det højeste er fundet i MP100 og det laveste i PL1006. Med hensyn til PL1006 synes faldet stort, idet denne er placeret ved kælderen et stykke fra krybekælderen, hvor ventilationen foregår. Dette kan igen skyldes, som ved tilbageslaget, omfangsdræne, der er beliggende langs kælderen. Tendensen for de resterende poreluftesonder er ligeledes faldende. For målepunkterne under gulv er der tendens til en sammensnævring af målepunkterne samtidig med, at koncentrationen af TeCE i P5 falder med ca. 1 mg/m³ på en uge, hvorved ventilationen også må have indflydelse på P5 om end det er i mindre størrelsesorden.

På Figur A3-5 er udviklingen af TeCE over tilbageslagsperioden visualiseret ved fire tegninger og ved hjælp af isokurver. Den første tegning er ud fra koncentrationerne fra tilbageslagets start d. 6. april, den anden er fra d. 13. april, den tredje er udarbejdet ud fra koncentrationerne d. 29. april og den sidste tegning ved koncentrationerne for slutningen af tilbageslaget d. 18. maj.

Dataserierne for de 13 målepunkter målt med PID-apparatet på luftprøver udtaget i rilsanposer, fremgår af næste figur.

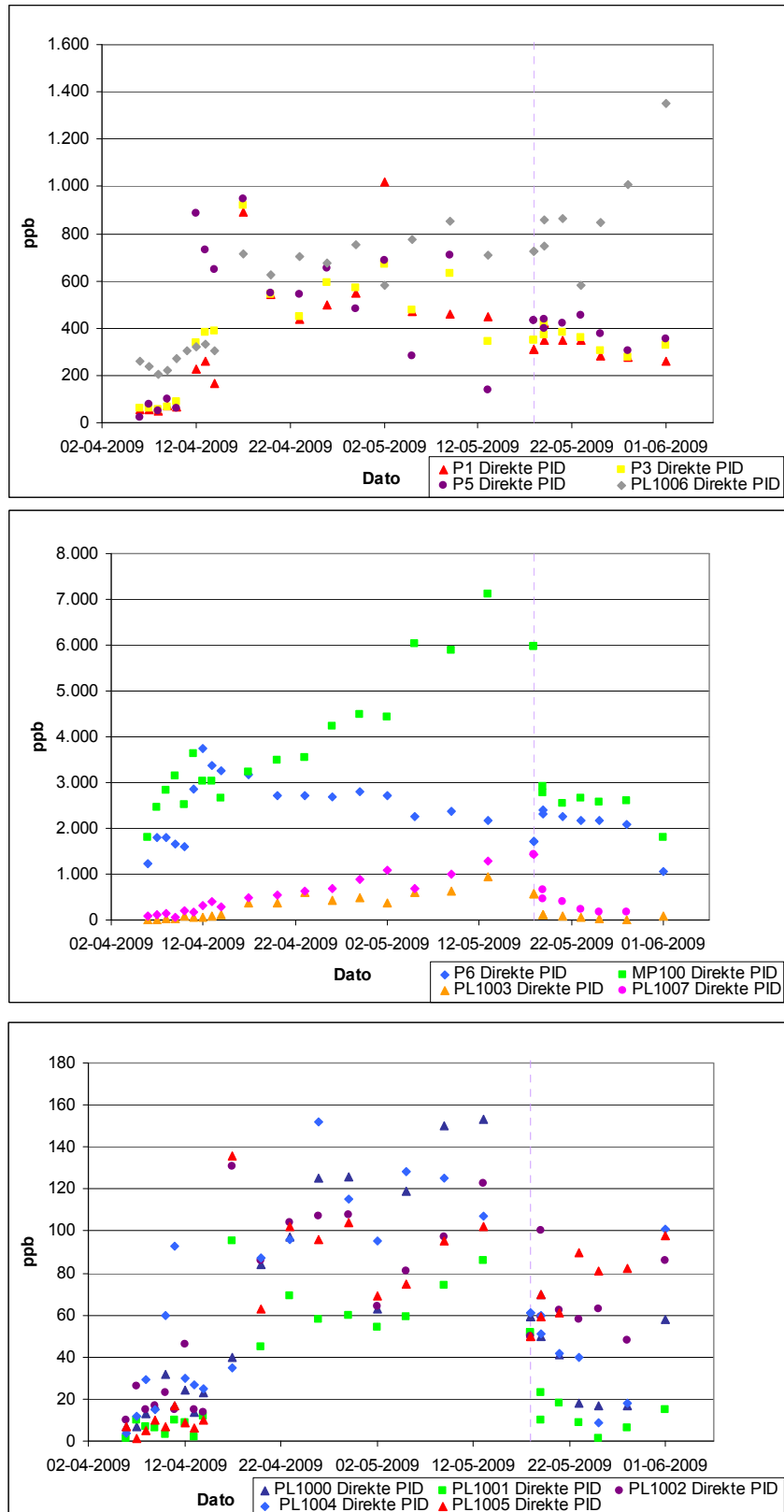


Figur 6-6. Tilbageslags- og ventilationsresultater for poreluftens indhold af ioniserbare stoffer (< 10,6 eV) i de 13 målepunkter målt med PID i rilsanposer. Opdelingen af målepunkter i plottene kan være forskellige fra de andre måle-metoder. Akseinddelingerne er forskellige.

PID-målingerne fra poseprøver viser ligesom GC-målingerne, at MP100 har det største indhold af forureningskomponenter. Næsthøjest er P6, hvilket er bemærkelsesværdigt, idet der kun blev fundet lave TeCE-koncentrationer i de samme prøver, da de blev analyseret på felt-GC'en. Dette kan betyde, at der er andre stoffer ved P6 som kan give udslag på PID-måleren, hvilket kunne oliekomponenter eller TCE. Forureningsniveauet i PL1003 og PL1007 er sammenligneligt. Tendenserne for målepunkterne i kældergulvet er som ved målingerne med GC meget ens. Dette er også gældende for udviklingen i PL1000-PL1002, PL1004 og PL1005, om end der er mere variable udslag end ved GC-målingerne.

Efter opstart af ventilationen med 100 m³/t ses et tilsvarende stort fald i forureningsindholdet ved måling af PID i pose som ved målingerne med GC. PL1003 er ligeledes målepunktet med det største fald efter et døgn på 94 %. Målepunkterne under gulv i kælderen (P1-P5) falder også det første døgn, men målingerne fluktuerer ved de efterfølgende prøvetagninger. PL1006 har et specielt forløb, idet denne falder de første fem dage, for der efter at stige til et niveau svarende til startpunktet (d. 25. maj) og falder herefter igen. Årsagen til stigningen ikke synes at skyldes vejret (se Figur 6-8), idet målingen for d. 23. maj skulle være mere vejrpåvirket end målingen for d. 25. maj. Der er flere målepunkter hvor denne tendens til en stigning D.25. maj ses, hvorfor årsagen må påvirke flere målepunkter.

De sidste resultater er fra målemetoden, hvor der måles PID direkte fra prøvetagningspumpens afkastsluft, Resultaterne er vist i Figur 6-7.



Figur 6-7. Resultater for poreluftens indhold af ioniserbare stoffer (< 10,6 eV) i de 13 målepunkter, målt med PID direkte på afkastet fra prøvetagningspumpen, under tilbageslaget og ventilationstesten. Opdelingen af målepunkter i plottene kan være forskellige fra de andre målemetoder. Akseinddelingerne er forskellige.

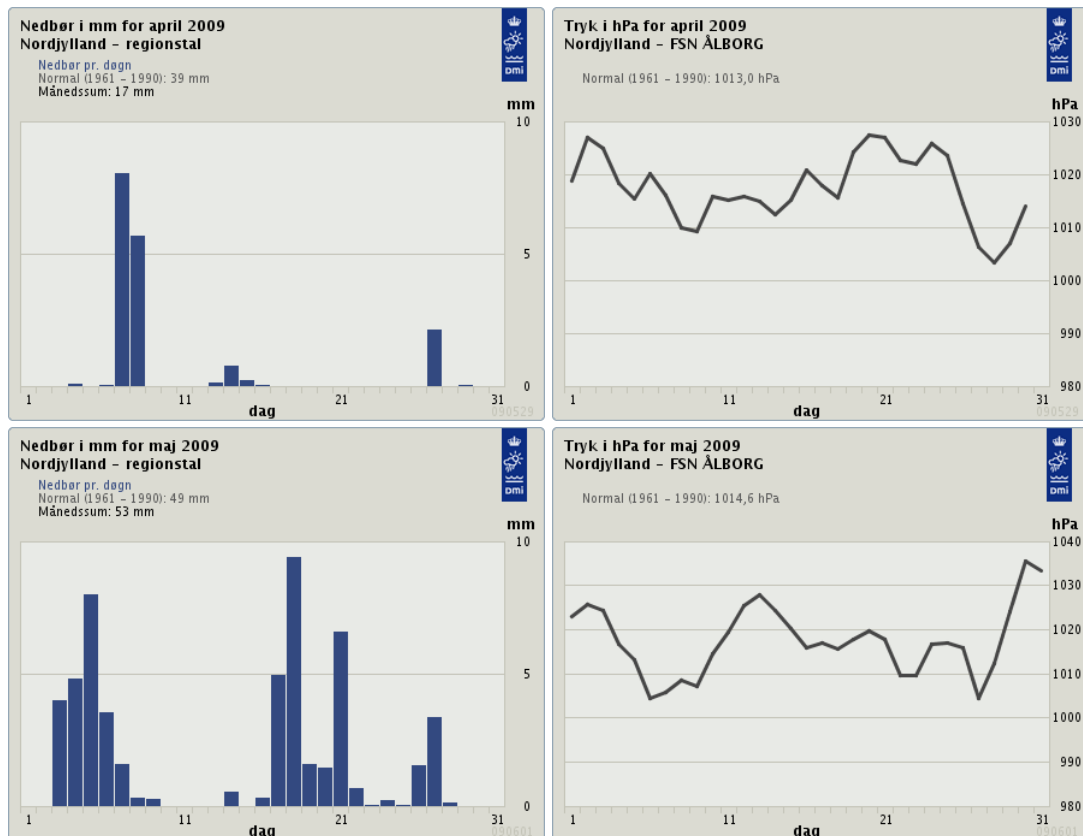
Ved PID-målingerne på prøvetagningspumpens afkast tyder det på en forsinkelse for flere målepunkter, idet der går 4-6 dage før PID-udslagene begynder at stige betydeligt. Målepunkterne med tegn på en sådan forsinkelse er P1, P3, P5, PL1001, PL1002 og PL1005-PL1007. Dette kan muligvis skyldes at den pågældende PID-måler muligvis har en større usikkerhed ved koncentrationer under 400 ppb, hvis der sammenholdes med akkrediterede analyser udtaget på kulrør. En lignende udvikling er dog ikke genfundet ved måling af PID på poseprøverne.

Ellers er den generelle tendens tilsvarende poseprøvernes PID-målinger, blot med større spredning. P6 falder dog udenfor, idet PID-udslaget har en stigende tendens i starten af tilbageslagsperioden, hvilket er forventeligt, men indholdet af forurening i poreluften stagnerer efter kun seks dage og falder herefter støt hen mod afslutningen af tilbageslaget. Faldet fra stagnationstidspunktet mod afslutningen af tilbageslaget er 2.000 ppb. Faldet er overraskende da ingen af de andre målemetoder har vist tegn på en sådan tendens. PL1006 er et andet målepunkt som har et specielt forløb, idet forureningsniveauet stiger kraftigt under ventilationstesten. Tendensen for PL1006 er enestående.

PID målt i rilsanposeerne giver for alle målepunkter, med undtagelse af P1, P3 og P5 et større udslag end PID målt direkte på prøvetagningspumpen. Dette kan skyldes, at der opstår turbulens i luftstrømmen gennem pumpen, og når poreluften når afgangsåbningen bliver poreluften opblandet med den omgivende luft. I kælderens var baggrunden indtil d. 11. april lav, men efter sæsonen for græsklipning begyndte er baggrunden i kælderen steget til mellem 500 ppb og 11,1 ppm (se evt. data-CD). Dette er grunden til at PID-udslagene i starten af tilbageslagsperioden var lavere end efter d. 11. april og ligeledes grunden for at målingerne af de tre målepunkter i kælders gulv er langt højere ved Direkte PID-måling, end ved poseprøverne. Omvendt understøtter dette også, at PID-udslagene for de udendørs målepunkter er lavere ved den direkte PID-måling, end i poseprøverne, da baggrunden i udeluften var ca. 0 ppb.

Generelt er der tendens til at, der under ventilationstesten, forureningsniveauet falder hurtigt og for derefter at være nogenlunde stabilt. Det kan tyde på diffusionshæmmet jord, idet at ventilationen ikke kan fjerne mere forurening end det som kan nå at diffundere hen til influensområdet.

Der ses at TeCE-indholdet og PID-udslaget for de enkelte målepunkter varierer igennem måleperioden. Variationen skyldes flere ting, fx vejrpåvirkninger og målefejl. Måleperiodens vejr fremgår af Figur 6-8. Regnhændelser og trykfald i atmosfæren kan svagt genkendes i måldataene, men gerne en dag forskudt. Den 9. maj ses et fald GC-målingernes indhold af TeCE, hvilket skyldes at GC'en havde stået uden bæregas nogle dage. De fleste af PID-målingerne var d. 2. maj lidt lavere end de forgangne målinger, men forklaringen på dette gennemgående fald skyldes ikke vejret men brug af en anden prøvetagningspumpe end vanligt.



Figur 6-8. Data for regnhændelser og trykændringer for april og maj måned 2009 [DMI 2009 a; DMI 2009 b]

6.5 Sammenligning af GC- og PID-målinger

De to forskellige målemetoder og prøveudtagningsmetoder er blevet sammenlignet for at undersøge, om den hurtige og enkle PID-målemetode er sammenlignelig med den mere tidskrævende og avancerede GC-måling.

Ud fra udseendet de ovenstående plot af måleserierne (Figur 6-5, Figur 6-6 og Figur 6-7) fra de forskellige metoder, forventes der en vis sammenhæng, idet de fleste måleserier er jævnt stigende. Ud fra tidsserierne vurderes det, at der er tendens til, at GC-målingerne og de to PID-metoder følger hinanden i udviklingen af TeCE-forekomsten under tilbageslaget, og ligeledes ved ventilationen under gulv med $100 \text{ m}^3/\text{t}$. Dette betyder at PID-målingerne, der er en hurtig metode til at vise forureningsniveauet og udviklingen under fx en ventilationstest, kan bruges til monitoring af tidsserier, eventuelt med enkelte akkrediteret analyser til bestemmelse af forureningskoncentrationen.

Yderligere sammenligningen af målingerne tager udgangspunkt i målingerne fra tilbageslaget, idet der mangler tre datasæt fra ventilationstesten, fordi der var problemer med GC'en.

Sammenlignes metoderne til detektion af forurening, som det fremgår af Tabel 6-4, ved korrelation i form af R, ses at den generelle tendens mellem måleserierne er god.

Tabel 6-4. Korrelation, R, mellem de forskellige monitoringsmetoder, GC, PID-måling i rilsanpose og direkte PID-måling. Målepunkternes placering fremgår af Figur 6-2.

	Målepunkt	Korrelation: GC og PID i pose	Korrelation: GC og direkte PID	Korrelation: PID i pose og direkte PID
Kælder	P1	0,17	-0,04	0,32
	P3	0,62	0,08	0,17
	P5	0,24	0,22	0,41
Krybekælder	P6	0,14	-0,25	0,46
	MP100	0,81	0,81	0,86
Poreluftsonder langs fundamentet	PL1000	0,87	0,73	0,60
	PL1001	0,63	0,53	0,64
	PL1002	0,73	0,59	0,68
	PL1003	0,96	0,88	0,91
	PL1004	0,76	0,87	0,52
	PL1005	0,68	0,45	0,22
	PL1006	0,90	0,68	0,73
PL1007	0,94	0,79	0,80	
	Middelværdi	0,65	0,49	0,56
	Standardafvigelse	0,28	0,36	0,23

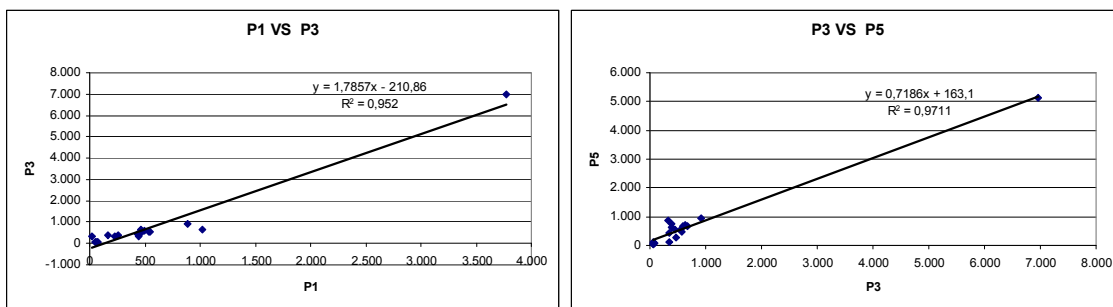
GC-målinger og målinger af PID i pose har den største grad af korrelation. Den næsthøjeste grad af korrelation findes mellem de to metoder til PID-måling. Den høje korrelation som findes mellem GC og PID i pose-målingerne skyldes antageligt, at det er den samme prøveudtagningsmetode og prøve, som er blevet målt for både måling af PID og analyseret på GC'en. Det samme gælder ved korrelationen mellem de to PID-målemetoder, sandsynligvis på grund af brug af samme måleapparat. Resultaterne fra PID i pose giver generelt middel korrelationer, idet der ikke korrelationer så lave som ved de to andre metoder, men der er i den høje ende ingen rigtig stærke korrelationer. De ses til gengæld ved GC og Direkte PID.

Ses der nærmere på målingerne fra kælderen er sammenhængen generelt dårligere end for krybekælderen og poreluftsonderne langs fundamentet. Dette gælder især mellem GC-resultaterne og Direkte PID. Korreleres målepunkterne indbyrdes, inden for målemetoderne, er der tydelig forskel på sammenhængen mellem målepunkterne i kælderen, hvilket fremgår af Tabel 6-5. I tabellen der er desuden vist korrelationer for øvrige kombinationer af målepunkter for GC- og Direkte PID-måledata.

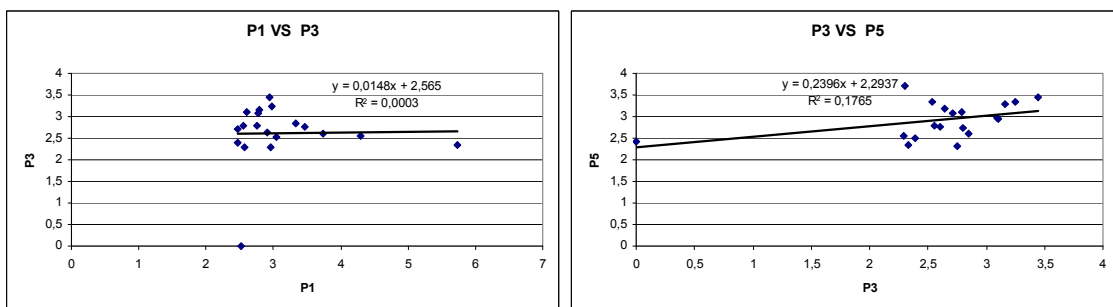
Tabel 6-5. Indbyrdes korrelation, R, blandt udvalgte kombinationer af de 13 målepunkter. Målepunkternes placering fremgår af Figur 6-2.

	Korrelation mellem	GC	Direkte PID
Kælder	P1 og P3	0,02	0,98
	P3 og P5	0,42	0,99
Krybekælder	P6 og MP100	0,63	-0,02
Poreluftsonder langs fundamentet	PL1002 og PL1003	0,92	0,84
	PL1004 og PL1003	0,97	0,74
	PL1006 og PL1005	0,77	0,91
	PL1002 og PL1007	0,86	0,79
Blandet	P1 og PL1006	0,19	0,04
	P5 og MP100	-0,11	-0,01
	P6 og P1000	0,79	0,07
	P6 og P1001	0,85	0,18
	MP100 og PL1000	0,89	0,81
	MP100 og PL1001	0,94	0,71
	MP100 og PL1002	0,78	0,6
	MP100 og PL1003	0,9	0,88
	MP100 og PL1007	0,87	0,91

Medhensyn til korrelationerne mellem P1 og P3 samt P3 og P5 for GC-dataene er de lave, mens de ved Direkte PID er meget stærkt korreleret. Det tyder på, at måling med Direkte PID er bedre til at beskrive den indbyrdes sammenhæng mellem målepunkterne i kælderen, på trods af den høje PID-baggrund. Dette dog kun til korrelationsplottet betragtes af Figur 6-9 og Figur 6-10. For yderligere korrelationsplot se Bilag 5.

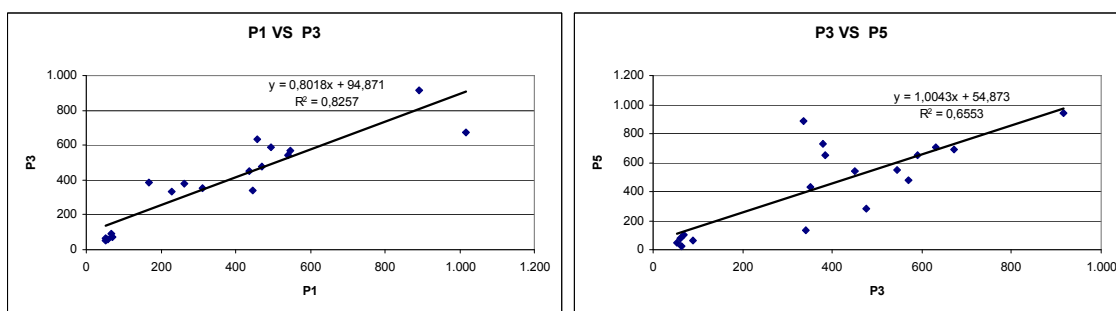


Figur 6-9. Korrelationsplot for P1 og P3 samt P3 og P5 for forureningsniveauet målt ved Direkte PID. Øvrige korrelationsplot kan ses i Bilag 5. Placering af de tre målepunkter fremgår Figur 6-2.



Figur 6-10. Korrelationsplot for P1 og P3 samt P3 og P5 for TeCE-niveauet målt på felt-GC. Øvrige korrelations-plot kan ses i Bilag 5. Placering af de tre målepunkter fremgår Figur 6-2.

For begge figurer er der et enkelt eller få punkter som får stor betydning for korrelationsværdien. Specielt ved Direkte PID i Figur 6-9, hvor et enkelt punkt er meget styrende og der opnås en god korrelation. Fjernes punktet i det udstikkende punkt i Figur 6-9, som skyldes umådelig høj baggrund i kælderen, bliver korrelationen, R, mellem P1 og P3 0,91, mens den for P3 og P5 bliver 0,81 (Figur 6-11), hvilket stadig er højere end for GC-korrelationen.



Figur 6-11. Korrelationsplot for P1 og P3 samt P3 og P5 uden det styrende yderpunkt fra Figur 6-9. Placering af de tre målepunkter fremgår Figur 6-2.

Afhængig af om det er det generelle forureningsniveau, eller niveauet for et eller flere specifikke stoffer, kan målemetoden diskuteres. Hvis økonomi og tid tilsidesættes og det mest pålidelige resultat, for måling af en tidsserie ønskes, bør der udtages prøver til akkrediterede analyse. Ud fra dataene for de enkelte målepunkter er GC'en meget præcis fra måling til måling, idet der ikke er stor variation mellem de enkelte målinger i en måleserie. Derforuden fås

derived GC-målinger niveauet for de pågældende stoffer, men det er en tidskrævende procedure, ca. fire timer for en enkelt-bestemmelse af de 13 målepunkter.

Korrelationen mellem GC og PID i pose er ikke så markant bedre end GC og Direkte PID, at denne metode må favoriseres. Ses der samtidig på resultaterne fra Tabel 6-5, er korrelationerne målepunkterne imellem generelt mere jævne for PID målt i poserne, hvorfor der ikke blev opnået den rigtig gode sammenhæng mellem punkterne. De kunne derved findes ved måling med Direkte PID.

PID-målingerne er hurtige og kan udføres med håndholdt udstyr, men enkelte forureningskomponenter kan ikke udskilles og variationen på dataene er større. Variationen til trods følger PID-målingerne tendensen fra GC-målingerne, hvorfor de ved et mindre budget er udmærkede til at følge og vurdere tendensen i en tidsserie. Er baggrunden høj på lokaliteten bør det dog overvejes, om denne kan få for stor en indvirkning på resultaterne ved måling af Direkte PID, specielt hvis baggrundsniveauet svinger meget. Målemetoden bør da helst benyttes hvor baggrundsniveauet er nogenlunde konstant mellem målepunkterne for, at sikre et godt sammenligningsgrundlag. Akkrediterede analyser kan anvendes på strategisk gode tidspunkter for, at få de aktuelle koncentrationer i forløbet.

6.6 Opsamling

6.6.1 Generelt system

Alle måle- og prøvetagningsmetoder er egnede til at følge forureningsniveauet i en forurening over tid. Variationerne målepunkterne i mellem bliver dog større, jo simple måle- og prøveudtagningsmetode, der benyttes, således at variation mellem PID målt direkte på prøvetagningspumpens afkastsluft er større end ved målingerne på felt-GC.

Valget af metode bør tilpasses efter omgivelserne, idet forskelligt baggrundsniveau i mellem målepunkterne kan udviske den egentlige tendens.

6.6.2 Fredericiagade 13

Der er foruden den sammenstemmende tendens mellem måleapparaterne også fundet nogle afvigelser, hvor den mest gennemgående er P6. I målepunkt P6 er der blevet målt modsatrettede resultater med GC'en og med PID-måleren, idet GC'en ikke kunne detektere meget TeCE, mens PID-apparatet gav et højt PID-udslag, hvilket kan tyde på en anden forureningskilde end TeCE.

7 Modellering

Måden hvormed tilbageslaget, efter stop af vakuumpumperne, forløber, kan fastslå hvorledes spredningen af TeCE under bygningen forløber. Endvidere kan tilbageslaget også bruges til bestemmelse af størrelsen for pumpernes influenszone i de enkelte målepunkter. Ud fra tilbageslagsmålingerne kan spredningen af TeCE-forureningen i poreluften, under beboelsen på Fredericiagade 13, kortlægges ud fra tilpasning en model til dataene. Herved kan der estimeres maksimumskoncentrationer af TeCE, halveringstider for fuld mætning samt raten for tilbageslaget. Disse værdier vil tilsammen kunne give et bedre billede af hvordan spredningen af TeCE foregår.

Databehandlingskonceptet er som følger:

To modeller er tilpasset til tidsserierne for de 13 målepunkter for at bestemme, hvilken der bedst egner sig til dataene for det enkelte målepunkt. De to modeller er valgt på baggrund af tilbageslagskurvernes udseende, idet nogle kurver kan minde om en Langmuir type model, mens andre har en mere lineær tendens, som flader ud i en maksimumskoncentration.

Begge modellerne er tilpasset til måldataene for GC og resultaterne for den direkte måling af PID. De to måleserier er valgt på baggrund af, at korrelationen mellem dem var den dårligste, hvorved der formodentligt opnås den største forskel mellem modeltilpasningerne.

Langmuir:

$$C = C_{\max} \frac{t}{T_{1/2} + t}$$

Hvor

- C = koncentration [mg/m³ el. ppb]
- C_{max} = maksimumskoncentration [mg/m³ el. ppb]
- T_{1/2} = halveringstiden for fuldmætning [dage]
- t = tid [dage]

Lineær:

$$C = H \cdot t + C_0 \text{ for } C < C_{\max} \text{ herefter } C = C_{\max}$$

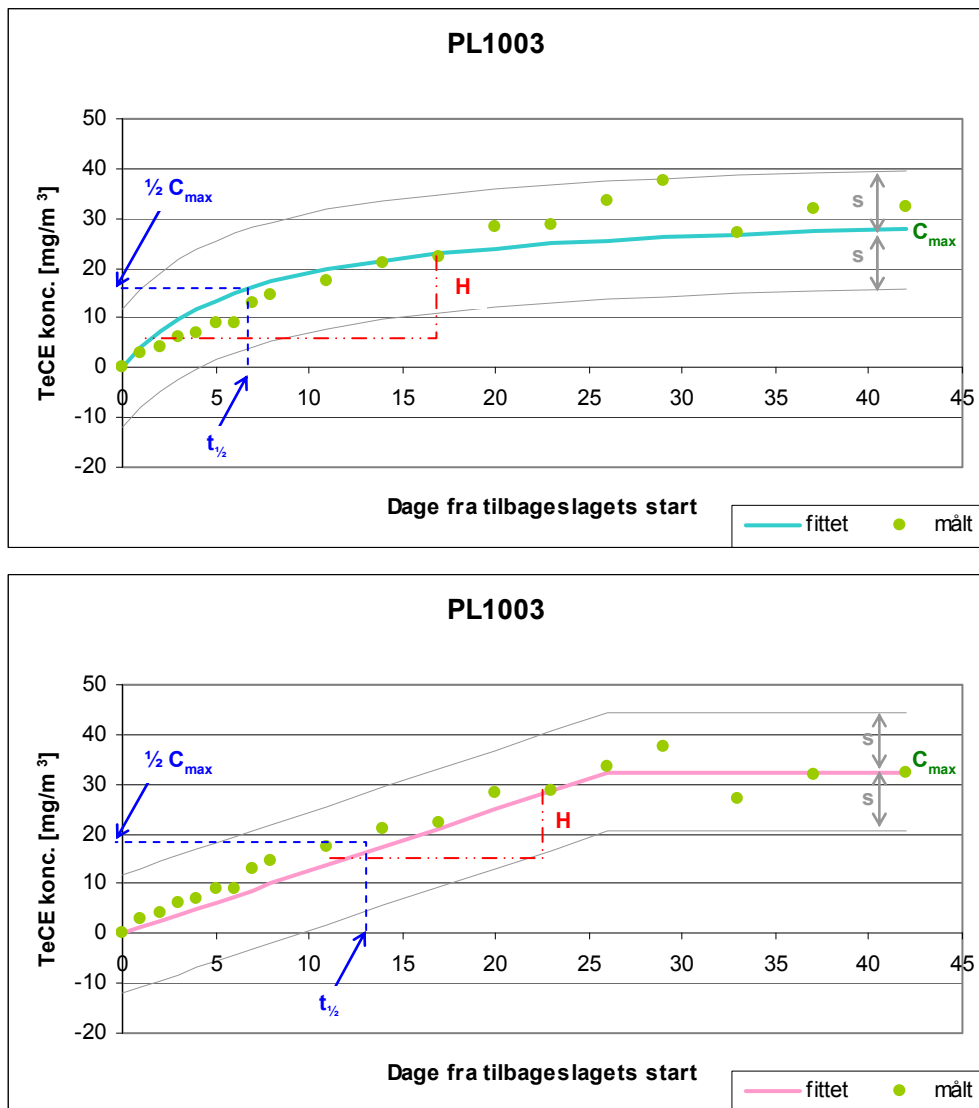
Hvor

- H = rate [mg/m³/dag el. ppb/dag]
- C₀ = startkoncentration [mg/m³ el. ppb]

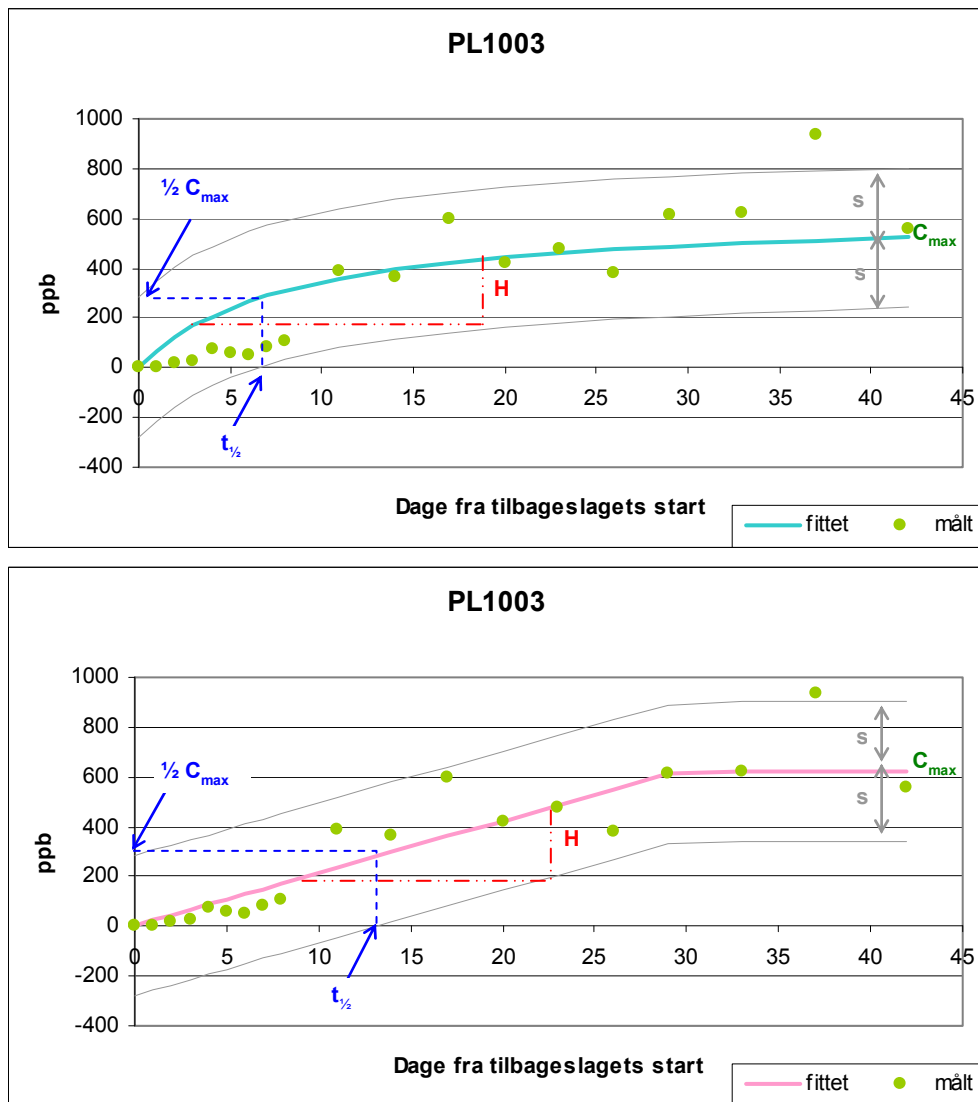
Ved Langmuir modellen antages middelværdien af de sidste fem målepunkter at være C_{max} (sidste tre for målepunkter, hvor der ikke er udtaget poseprøve hver gang). T_{1/2} tilpasses ud fra koncentrationen plottet mod tiden. Raten for tilbageslaget beregnes ved at antage, at modellen er lineær op til 75 % af C_{max}.

Ved den lineære model bestemmes raten, som er lig kurvens hældning, ud fra koncentrationen og tiden for, hvornår kurven knækker af. Gennemsnittet af koncentrationerne efter knækket er C_{max} og ved 1/2 C_{max} findes T_{1/2}.

På nedenstående figurer er databehandlingskonceptet vist på tilbageslagsdataene for målepunktet PL1003. For placering af målepunktet se Figur 6-3. Alle modeltilpasninger er at finde i Bilag 6.



Figur 7-1. Modeltilpasning målt med felt-GC for målepunkt PL1003. Plottet øverst er Langmuir typemodellen, mens plottet nederst er den lineære model tilpasset til måledataene. Der er indtegnet standardafvigelse for måledataene med lysegråt. Placering af målepunktet fremgår Figur 6-2.



Figur 7-2. Modeltilpasning for målepunkt PL1003, hvor målingerne er forgået med direkte PID-metoden. Det øverste plot er Langmuir typemodellen, mens plottet nederst er den lineære model. Der er indtegnet standardafvigelse for måledataene med lysegråt. Placering af målepunktet fremgår Figur 6-2.

Modelparametrene, som er fundet ved, at tilpasse de to modeller til måleserierne, for de 13 målepunkter (C_{max} , $T_{1/2}$ og H), er samlet i Tabel 7-1 og Tabel 7-2 sammen med korrelationen, R , mellem de målte data og de modeltilpassede data. Endvidere er der angivet middelværdier og standardafvigelser for henholdsvis målepunkter i kælder, krybekælder og poreluftssonderne langs bygningens fundament.

Tabel 7-1. Data fra tilpasning af en Langmuir- og en lineær model til GC-målingerne. C_{max} er maksimumskoncentrationen, $T_{1/2}$ er halveringstiden for fuldmætning, H er tilbageslagsraten mens R er korrelationen mellem de målte og tilpassede data. Målepunkternes placering fremgår af Figur 6-3.

		Felt-GC							
		Langmuir model				Lineær model			
	Målepunkt	C_{max} [mg/m ³]	$T_{1/2}$ [dage]	H [mg/m ³ /dag]	R [-]	C_{max} [mg/m ³]	$T_{1/2}$ [dage]	H [mg/m ³ /dag]	R [-]
Kælder	P1	4	2	0,5	0,46	3	0	0	0
	P3	2	0,1	6,2	0,07	3	0	0	0
	P5	3	0,1	6,7	0,25	3	0	0	0
	Middel	3	0,7	4,5		2,9	0	0	
	Standardafv.	0,7	1,1	3,5		0,2	0	0	
Krybekælder	P6	2	1,5	0,4	0,37	2	14,5	0,1	0,74
	MP100	144	9	4	0,81	172	14,5	5,8	0,87
	Middel	73,1	5,3	2,2		87,4	14,5	3	
	Standardafv.	100,1	5,3	2,6		120,2	0	4,1	
Poreluftsonder langs fundamentet	PL1000	9	6	0,4	0,85	9	11,5	0,4	0,92
	PL1001	4	8	0,1	0,82	4	21	0,1	0,96
	PL1002	6	3	0,5	0,77	6	8,5	0,2	0,92
	PL1003	32	7	1,2	0,95	32	13	1,2	0,98
	PL1004	6	4,5	0,3	0,93	6	13	0,2	0,95
	PL1005	5	8	0,1	0,92	5	18,5	0,1	0,91
	PL1006	38	1,5	6,4	0,74	38	11,5	1	0,8
	PL1007	32	5	1,6	0,92	32	11,5	1,3	0,97
	Middel	16,6	5,4	1,3		16,4	13,8	0,6	
	Standardafv.	14,8	2,3	2,1		14,8	4,1	0,5	

Data fra modelltilpasningen af de to modeller til tidsserierne målt ved Direkte PID fremgår af nedenstående tabel. Der er endvidere angivet middelværdi og standardafvigelse for kælder, krybekælder og for poreluftssonderne langs bygningens fundament.

Tabel 7-2. Data fra tilpasning af en Langmuir- og en lineær model til dataene målt ved Direkte PID. C_{max} er maksimumskoncentrationen, $T_{1/2}$ er halveringstiden for fuldmætning, H er tilbageslagsraten mens R er korrelationen mellem de målte og tilpassede data. Målepunkternes placering fremgår af Figur 6-3.

		Direkte PID							
		Langmuir model				Lineær model			
	Målepunkt	C_{max} [ppb]	$T_{1/2}$ [dage]	H [ppb/dag]	R [-]	C_{max} [ppb]	$T_{1/2}$ [dage]	H [ppb/dag]	R [-]
Kælder	P1	540	2	68	0,18	544	0	0	0
	P3	494	2	62	0,08	734	0	0	0
	P5	449	1	112	0,16	690	0	0	0
	Middel	494	1,7	81		656	0	0	
	Standardafv.	46	0,6	28		99	0	0	
Krybekælder	P6	2119	0,1	5297	0,46	2519	0	584	0,43
	MP100	5880	5	294	0,79	6369	21	108,8	0,94
	Middel	3999	2,6	2795		4444	10,5	346	
	Standardafv.	2659	3,5	3538		2722	14,8	336	
Poreluftsonder langs fundamentet	PL1000	109	7	3,9	0,81	112	21	2,5	0,8
	PL1001	65	7	2,3	0,8	56	8,5	3,2	0,85
	PL1002	83	6	3,5	0,74	91	8,5	5,5	0,82
	PL1003	622	8	19,4	0,87	622	14,5	21	0,92
	PL1004	103	4	6,5	0,75	110	8,5	5,4	0,83
	PL1005	78	5	3,9	0,75	82	7	5,4	0,83
	PL1006	727	2,5	72,7	0,77	727	14,5	16,1	0,9
	PL1007	565	9	15,7	0,79	565	21	13,3	0,85
	Middel	294	6	16		296	13	9	
	Standardafv.	289	2,1	23,8		287	5,7	7	

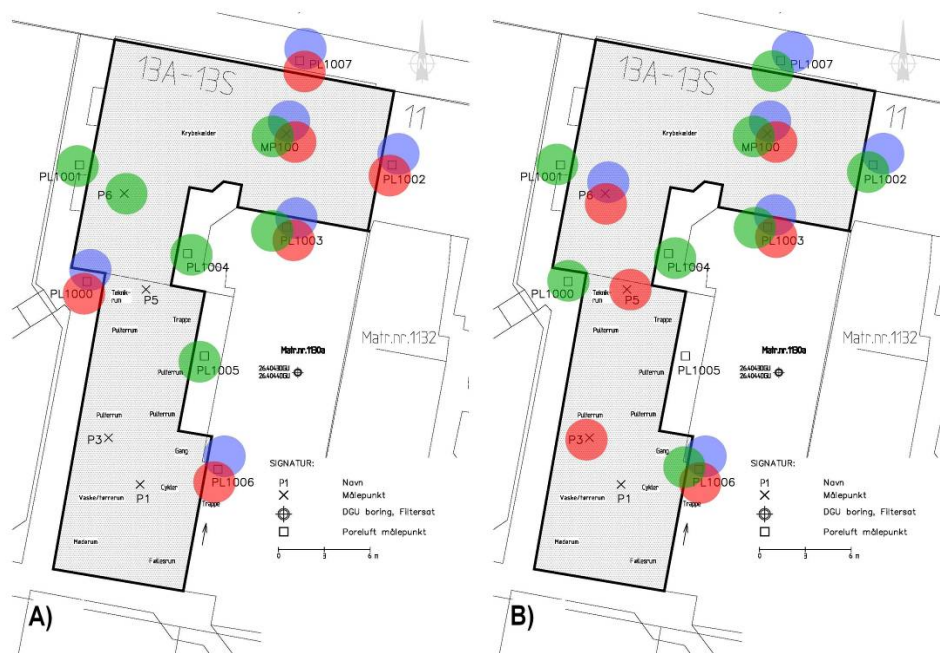
Den bedste model til beskrivelse af måledataene er, ud fra korrelationerne, den lineære, hvilket er gennemgående for begge sæt måledata. GC dataene er generelt nemmere at tilpasse modellerne til end målingerne af Direkte PID, hvilket kan ses af korrelationerne for de forskellige måledata. Årsagen den til den lidt dårligere korrelation ved Direkte PID, mellem de målte og modeltilpassede data skyldes formodentligt, at der er en større variation mellem hvert målepunkt ved PID-dataene, end det er tilfældet med GC-dataene.

Halveringstiden for fuld mætning af tilbageslaget, $T_{1/2}$, ses at varierer fra model til model, således at $T_{1/2}$ for Langmuir modellen giver de laveste værdier. Langmuir modellen er kendetegnet ved at stige hurtigt, næsten lineært, ved lave koncentrationer for herefter at begynde at flade ud mod maksimumskoncentrationen. Herved vil den stejle stigning få $T_{1/2}$ til at falde i forhold til den lineære model.

Ved tilpasning af den lineære model var der flere målepunkter, der ikke virkede til at have nået C_{max} efter de seks ugers tilbageslag. For GC-målingerne var det PL1001, mens det for Direkte PID var MP100, PL1000 og PL1007, hvorved der ikke er enighed mellem monitoringsmetoderne. Det ses dog af Bilag 6, at PL1000, for GC-målingerne, også nærmer sig en tendens uden C_{max} , men det er valgt, at lade kurven knække af efter 23 dage. Forskelligheden i modeltilpasningen viser, at de to datasæt i dette punkt har en lavere korrelation, hvilket også kan ses af Tabel 6-4.

Raten er for GC-målingerne meget ens mellem de to modeller, hvis der ses bort fra P1, P3 og P5, idet disse ikke bestemmes fordi modeltilpasningen er en vandret linie, se Bilag 6. Forskellen i raterne ved PID-dataene er mere markant trods anderledes enhed. Målepunkterne der uden en sådan tendens er P6, MP100 og PL1006, hvor raterne er markant mindre for den lineære model, set i forhold til Langmuir modellen. Forskellen ligger i tilpasningen af modellerne.

Den lineære model er, til trods for dens simple udtryk, den med de bedste tilpasninger til måledataene. Derfor er der, med baggrund i de højeste seks-syv parametre, for C_{max} , $T_{1/2}$ og H optegnet kort, således at placering af disse visualiseres på Figur 7-3.



Figur 7-3. Visualisering af de højeste værdier af C_{max} , $T_{1/2}$ og H fra tilpasningen af den lineære model. A) er værdierne fra tilpasningen til GC-dataene modellen, og B) er fra tilpasning til dataene målt ved Direkte PID. De røde pletter symboliserer de højeste værdier af C_{max} . Grønne pletter er de højeste $T_{1/2}$ mens de blå pletter er de største rater. Værdierne for de respektive parametre forefindes i Tabel 7-1 og Tabel 7-2.

Ud fra Figur 7-3 a) fremgår det, at flest af de højeste TeCE-koncentrationer er beliggende ved den østlige del af krybekælderen, mens en enkelt er beliggende ved den vestlige side. Derfor er koncentrationen ved PL1006 ud fra kælderen østlige side også høj. Ved afbildningen af de højeste værdier for GC-parametrene findes de højeste rater ved målepunkterne, hvor der også er fundet de højeste koncentrationer, hvorfor den største koncentrationstilvækst findes omkring grundens østlige del.

C_{\max} for Direkte PID er mere spredt beliggende end C_{\max} for tilpasningerne til GC-dataene, men disse kan ikke sammenlignes helt, idet målingerne i kælderen er udtaget ved et højt baggrundsniveau. $T_{1/2}$ og H er med enkelte undtagelse placeret ved de samme målepunkter, som ved modeltilpasningen for GC-målingerne. Konstanterne for de enkelte målepunkter, fundet ud fra modeltilpasningen af Direkte PID, giver et langt mere varieret billede, hvor de højeste koncentrationer findes under både kælder og krybekælder.

Ud fra modeltilpasningen til måledatene, fra monitoring med felt-GC, forekommer der mest TeCE omkring krybekælderen østlige del og omkring PL1006, hvor det kan forledes til at tro, at kildeområderne med de højeste TeCE-koncentrationer forekommer omkring PL1006 og ned langs baghaven og ind under krybekælderen ned til Fredericiagade. Dette stemmer nogenlunde over ens med hvad der fysisk er blevet fundet på grunden, se afsnit 4.2.1 og Figur A3-1.

7.1 Størrelse af influenszone

Ud fra modelparametrene, der blev præsenteret i Tabel 7-1 og Tabel 7-2 er vakuumpumpernes influenszone beregnet. Dette er gjort ved at beregne afstanden fra poreluftsforureningen, som er upåvirket af ventileringen, og til målepunkterne, ud fra den diffusive transport. Beregningen følger Einstein-Smoluchowskis formel [Anon., udat.]:

$$L = \sqrt{ES_V \cdot D_{\text{eff}} \cdot T_{1/2}}, \quad D_{\text{eff}} = \frac{D_0 \cdot \frac{\epsilon^{2.5}}{\Phi}}{\epsilon}$$

Hvor

- L = diffusionsafstand [m]
- ES_V = Einstein-Smoluchowski værdi [-]
- D_{eff} = effektiv diffusionskoefficient [m^2/dag]
- $T_{1/2}$ = tid ved $1/2 C_{\max}$ [dag]
- D_0 = diffusionskoefficient i luft [m^2/dag]
- ϵ = luftfyldt porøsitet [m^3 luft/ m^3 jord vol.]
- Φ = porøsitet [m^3 pore vol./ m^3 jord vol.]

Konstanterne til beregningen er $ES_V = 0,91$ ved $\frac{1/2 C_{\max}}{C_{\max}}$ [Anon., udat.], $D_0 = 0,612 \text{ m}^2/\text{dag}$ [MST, 2008 b], $\epsilon = 0,1 \text{ m}^3$ luft/ m^3 jord vol. og $\Phi = 0,43 \text{ m}^3$ pore vol./ m^3 jord vol. [Kristensen, 2005].

Der er beregnet afstande for måleresultaterne, hvortil der er tilpasset en Langmuir type model og en lineær model, således der to afstande for måleserierne for GC og Direkte PID. I Tabel 7-3 er alle afstandene vist, for beregninger se data-CD.

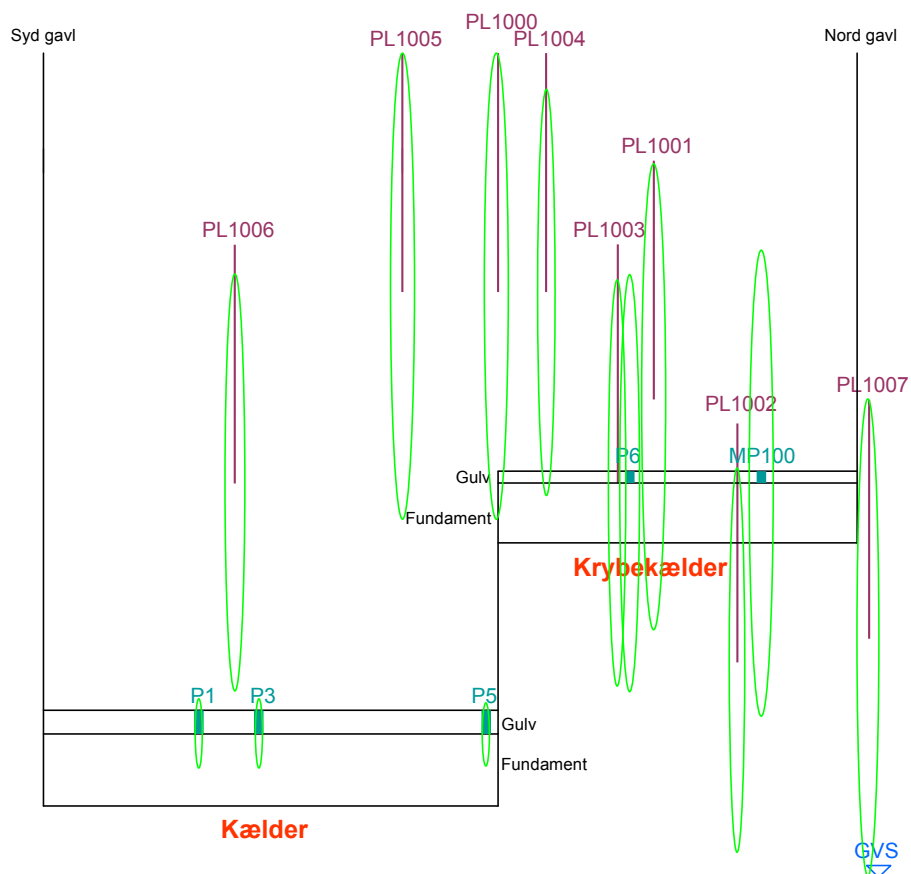
Tabel 7-3. Beregnede afstanden fra målepunkterne til kanten af influenszonen, L. Alle afstande er i meter. Se evt. Figur 7-5 for placering af målepunkter og størrelse af influenszonerne.

	Målepunkt	Langmuir model		Lineær model	
		GC	Direkte PID	GC	Direkte PID
Kælder	P1	0,30	0,30	0	0,00
	P3	0,07	0,30	0	0,00
	P5	0,07	0,22	0	0,00
Krybe-kælder	P6	0,26	0,07	0,82	0,00
	MP100	0,65	0,48	0,82	0,99
Poreluftsonder langs fundamentet	PL1000	0,53	0,57	0,73	0,99
	PL1001	0,61	0,57	0,99	0,63
	PL1002	0,37	0,53	0,63	0,63
	PL1003	0,57	0,61	0,78	0,82
	PL1004	0,46	0,43	0,78	0,63
	PL1005	0,61	0,48	0,93	0,57
	PL1006	0,26	0,34	0,73	0,82
PL1007	0,48	0,65	0,73	0,99	

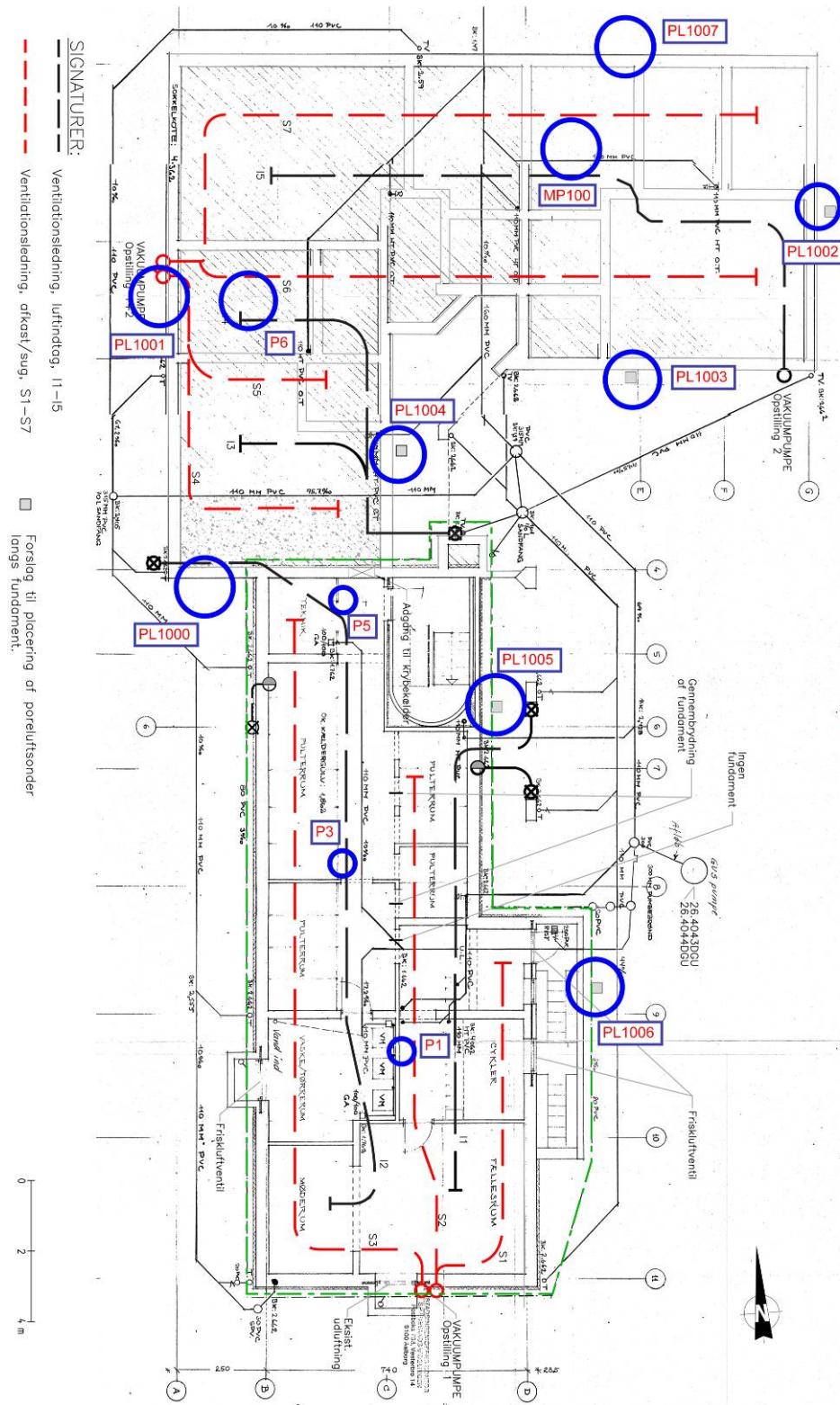
Afstandene fra målepunkterne og til kanten af influenszonen ses at variere mellem 0 og 0,99 m, hvor de største afstande er fundet ved brug af parametrene fra den lineære model. Dette skyldes den højere halveringstid, som blev fundet ved tilpasningen af den lineære model. Afstanden fra P1, P3 og P5 (P6) til kilden er 0 fordi modeltilpasningen til disse er en vandret linie, hvorved der ikke kan beregnes en $T_{1/2}$. Punkterne P1, P3 og P5 er endvidere beliggende under kælderens, hvorfor effekten af ventilationen antageligt er mindre, da der udelukkende ventileres under krybekælderen.

Kun to målepunkter har umiddelbart muligheden for, at være direkte berørt af forureningen i den mættede zone og dermed den reelle kilde, da der er ca. 1 m mellem grundvandet og PL1002 og PL1007, se evt. Figur 7-4. Ved de resterende målepunkter vil der ved kanten af influenszonen ikke være en fysisk TeCE-kilde, men blot afdampet TeCE i poreluften.

Den horisontale udbredelse af influenszonen er meget lille når den optegnes på Figur 7-4 og Figur 7-5, og det ses af Figur 7-5, at alle beregnede influenszoner ikke umiddelbart har kontakt til ventilationsstrengene. På Figur 7-4 fremgår det at influenszonen ved fire målepunkter ikke når under gulv, men ifølge afsnit 6.4 ses alligevel påvirkning af poreluftkoncentrationerne under tilbageslaget og ventilationstesten. Selv for PL1005 og PL1006, som er placeret i forbindelse med kælderens, er der tydelige tegn på påvirkning, både under tilbageslaget med og ved testen med 100 m³/t, hvorfor vakuumpumpernes influenszone må være større end beregningerne viser.



Figur 7-4. Sondesnit med beregnede influenszoner. Influenszonerne er indtegnet ud fra afstanden, L , som radius, hvilket betyder at influenszonen ved de fem målepunkter i kælderen og krybekælderen stikker ovenud af gulvet.



Figur 7-5. Ventilationssystemet under gulv i kælder og krybekælder, hvor influenzonen for hvert målepunkt er indtegnet med en blå ring. Omfangsdrænene kan ses som en grøn stiplede streg rundt langs kælderens.

Størrelsen af den aktuelle influenszone afhænger vakuumpumpernes sugestyrke, da en lav sugestyrke ikke kan trække så meget luft gennem systemet som en høj. Hvis denne skal kortlægges nøjagtigt, kan brug af udstyr til måling af trykforskelle være en mulighed, idet der i influenszonen skabes et undertryk i jorden.

7.2 Ventilationsstrategi

Ventilationstesten med 100 m³/t blev udført for, at undersøge om en mindre pumpekapacitet ville være tilstrækkelig til, at afskære TeCE fra poreluften i, at trænge ind i bygningen på Fredericiagade 13, med indeklimaproblemer til følge.

Ud fra måleserierne som er præsenteret i afsnit 6.4 ses en god effekt af ventilationen med 100 m³/t, idet forureningsindholdet i poreluften, efter ca. en uges ventilationsdrift, er nedbragt til et niveau svarende til det, der blev målt d. 6. apri, ved påbegyndelse af tilbageslagsmålingerne (umiddelbart efter afslutning af ventilationstesten med 200 m³/t).

Den 18. maj efter seks ugers monitoring af tilbageslaget, blev der, før pumperne blev tændt, udtaget poreluftsprøver på kulrør til akkrediteret analyse i både porelufts målepunkter, og i indeklima i kælder og krybekælder. Tages der udgangspunkt i de højeste målinger, er MP100 i krybekælderen og det tilsvarende indeklimamålepunkt IK208 valgt, se Figur 2-2. Koncentrationen for MP100 blev målt til 220.000 µg/m³, mens indeklimakoncentrationen i IK2008 var 59 µg/m³, analyserapport er vedlagt på data-CD. Antages det at forholdet mellem koncentrationen i poreluften og indeklima er konstant også ved lavere koncentrationer, må koncentrationen i poreluften i MP100 ikke overstige 22.000 µg/m³ for at overholde miljøstyrelsens afdampningskriterium.

Med henblik på en fremadrettet afværgedrift med aktiv ventilation af det kapillarbrydende lag, på Fredericiagade 13, vil der blive taget udgangspunkt i pumpeeffekt på 100 m³/t, idet denne har vist, at koncentrationerne i poreluften kan nedbringes til et niveau svarende til en pumpeydelse på 200 m³/t, hvilket er et tilfredsstillende niveau. Denne pumpeydelse nedbragte indeklimakoncentrationerne til under afdampningskriteriet i hele bygningen, se Tabel 2-1.

Ud fra monitoring af tilbageslaget i MP100 med felt-GC'en og tilpasning af den lineære model, tager det 29 dage før der opnås C_{max} (Figur 6-5). Koncentrationen i MP100 var d. 6. april, dagen hvor tilbageslaget blev startet, 1.400 µg/m³, hvilket giver en forøgelse af koncentrationen i MP100 på 218.600 µg/m³ på 29 dage. Raten for koncentrationstilvæksten bliver da 7.500 µg/m³.

Hvis koncentrationen af TeCE under krybekælderen skal holdes under 22.000 µg/m³ for, at kunne efterleve afdampningskriteriet i krybekælderen, vil det give en tilbageslagstid på tre dage. Ved monitoring af ventilationstesten med 100 m³/t, blev der fundet den laveste forureningsreduktion i MP100 ved måling med Direkte PID. Reduktionen er på 57 % efter tre dages ventilation, hvilket ikke ændres synderligt de efterfølgende 11 dage, hvorfor den yderligere procentuelle reduktion ved en fortsat ventilationsdrift er minimal. Forureningsniveauet vurderes dog at være på et tilstrækkeligt niveau, da der for andre målemetoder er reduktioner på op til 81 %.

Tages der, som konservativ beregning, stadig udgangspunkt i forureningsreduktionen på 57 % fundet ved måling Direkte PID over tre dage, bliver forslaget til en driftsstrategi for vakuumpumperne da en seks dage cyklus, hvor der pumpes med 100 m³/t i tre dage, hvorefter pumperne stoppes i tre dage.

Indlægges der mere sikkerhed i pumpestrategien, foreslås cyklussen stadig til seks dage, men med fire dages ventilationsdrift og to dages tilbageslag. Herved kan der også tages højde for den lille stigning i poreluften som opstår, fordi forureningsniveauet ikke bliver reduceret med 100 %.

I forbindelse med indkøring af et ventilationsanlæg, med en maksimums ydelse på ca. 100 m³/t, vil det sandsynligvis være muligt, at optimere driftsstrategien yderligere blandet andet ved, at undersøge om en pumpeydelse på fx 75 m³/t giver en omtrent tilsvarende reduktion i poreluftskoncentrationerne i det kapillarbrydende lag.

Det er muligt at årstidernes variation kan få betydning for ventilationsdriften, idet Kristensen (2005) har vist, at topjorden på Fredericiagade 13 er så kompakt, at naturlig ventilation af jorden stort set blokeres ved et forholdsvist lavt vandindhold. Derved kan der opstå en større horisontal spredning, og der kan forekomme tidspunkter hvor afdampningskriteriet måske ikke kan overholdes, Med mindre ventilationen styres ind efter det.

I skrivende stund bliver der foretaget en ny runde indeklimamålinger, som skal understøtte ovennævnte vurderinger, og som forhåbentligt vil dokumentere, at en aktiv ventilationsdrift med 100 m³/t er tilstrækkeligt til at holde indeklimakoncentrationerne i beboelserne under afdampningskriteriet

7.3 Opsamling

7.3.1 Generelt system

Der er tilpasset to modeller, en Langmuir typemodel og en lineær model, til måledatene for tilbageslaget. Ud fra parametre som maksimumskoncentrationen (C_{max}), halveringstiden for fuld mætning ($T_{1/2}$), samt raten for forureningstilvæksten (H) er det muligt at, i grove træk, at kortlægge potentielle kildeområder under og omkring bygningens fundament.

Ved beregningen af influenszonerne for de enkelte målepunkter kan det bestemmes, om der er mulighed for direkte kontakt mellem målepunkterne og de reelle forureningskilder, hvis disse, som er tilfældet med Fredericiagade 13, er beliggende under grundvandsspejlet.

Ud fra udviklingen af forureningen under et tilbageslag og en ventilationsdrift kan en foreløbig driftsstrategi bestemmes, men den helt optimale strategi for driften må finpudses under indkøringsproceduren af pumper mm., når det rette udstyr er fundet.

7.3.2 Fredericiagade 13

Ud fra tilbageslagsmålingerne er den lineære model bedre til beskrivelse af forureningsudviklingen i poreluften under gulv og langs bygningens fundament end Langmuir modellen. Ud fra modeltilpasningen til den lineære model findes der hovedsageligt anledning til kildeområder under krybekælderen samt ved målepunkt PL1006 (se Figur 7-3).

To punkter kan, ud fra influenszonernes størrelse, nå til grundvandet og derved de reelle kilder. De resterende punkter må formodes, at få TeCE fra den pulje af poreluftsforurening, der findes rund om og under bygningen.

Ventilationsstrategien for drift af vakuumpumperne er beregnet ud fra målepunktet MP100, da dette er målepunktet med den højeste TeCE-koncentration, og derfor umiddelbart giver anledning til de højeste koncentrationer i indeklimaet. Det er fundet, at en passende driftsstrategi med en pumpeydelse på 100 m³/t, vil bestå af en seks dages cyklus med tre dages ventilation og tre dages tilbageslag. Vurderes det at en større sikkerhed er nødvendig, i henhold til beboerne på Fredericiagade 13, kan der skæres en dag af tilbageslagstiden og lægges en dag til ventilationen, således at cyklussen stadig er på seks dage, men med to dages tilbageslag og fire dages ventilation.

8 Sammenfatning på baggrund af ny viden

Ud fra den konceptuelle model og forureningsopgørelsen er der baggrund for kendskab til forureningssystemet. Datamængden til en sådan model og opgørelse bør være af en vis størrelse for at opnå et nogenlunde pålideligt resultat. Opgørelsen bør dog ikke tages for bogstaveligt, idet beregningen af mængden kun er et estimat.

Næste skridt til en grundigere vurdering af forureningsudbredelsen tager udgangspunkt i ventilationsafværge af det kapillærbrydende lag. Monitering kan med fordel foregå med PID-måler, men for at få en indikation den eksakte forureningskoncentration, er stofs specifikke analyser anbefalelsesværdigt på strategiske steder som fx ved start og slut og evt. i midten af monitoringsperioden. Fordelen ved PID-målingerne er hastigheden, hvormed de kan foretages samt, at udstyret er let håndterligt. Ulemperne er, at der ikke differentieres mellem stoffer, og at den ikke giver helt stabile målinger. Udtagning af prøverne til PID-måling kan være betydende for resultatet af monitoringen, idet måling af PID direkte på prøvetagningspumpens afkastsluft er mere påvirkeligt over for omgivende baggrundskilder, end ved udtagning af prøver i fx rilsanposer. Forskellen er dog stort set uvæsentlig ved samme baggrundsniveau.

Ved modeltilpasning af målte forureningstilbageslag er det muligt, at afgøre om der er kildeområder under en bygning. På Fredericiagade 13 er den lineære model bedst til beskrivelse af forureningsmængden, men på andre lokaliteter kan en Langmuir model muligvis være mere sigende. Ud fra maksimumskoncentrationen, halveringstiden for fuld mætning og koncentrationstilvæksten, fundet ved modeltilpasningen, er der givet et bud på placeringen af kilder under bygningen og i forbindelse med dennes fundamentet. Dette er under krybekælderens, specielt ved MP100, PL1003, PL1007 evt. P6 og ved PL1006 (se Figur 7-3). I disse områder er der fundet høje TeCE-koncentrationer ud fra jordfrøver, hvorfor det i grove træk validerer modelparametrene resultat.

Det næste skridt er til nærmere bestemmelse af placering af kilderne er ved undersøgelse af diffusionstider mellem målepunkterne. Dette kan gøres ud fra princippet om at diffusion foregår fra høj mod lav koncentration, således at der må opstå en tidsforskydelse af koncentrationen fra et punkt til et andet.

Afstanden mellem målepunkterne og til kanten af influenszonen giver en indikation af influenszonen størrelse. Derudover giver det mulighed for, at vurdere om influenszonen er i kontakt med en direkte forureningskilde, i tilfældet Fredericiagade 13, er den nærmeste kilde grundvandsspejlet. For to af målepunkterne, er sonderne placeret lavt, og i kombination med en af de største afstande er der kontakt til grundvandet og derved afdampningskilde.

Ved at benytte monitoringsdataene for tilbageslaget og ventilationstesten, samt analyser af indeklima- og poreluftskoncentrationer, er der estimeret et kvalificeret bud på en driftsstrategi for intervaldrift af den aktive ventilation. Driftsstrategien består af en driftscyklus på seks dage, hvor de tre første er ventilation med en pumpeydelse på 100 m³/t og de resterende tre dage er tilbageslag. Efter egnet udstyr er valgt, kan driftsstrategien være et kvalificeret udgangspunkt, som under indkøring af den samlede enhed kan ændres til den mest optimale drift.

8.1 Fredericiagade 13

Der er flere metoder til forureningsopgørelse, og der er benyttet to andre til vurdering af forureningsmængden på Fredericiagade 13.

1. I forbindelsen med en eventuel kildeoprensning af forureningen på Fredericiagade 13, er der udarbejdet en alternativ mængdeopgørelse af TeCE. Ved denne metode er beregningen af mængden, ud fra grundvandskoncentrationer, identisk med den som er præsenteret heri, mens beregning af mængden ud

fra jordkoncentrationer er udført efter en anden metode. Området er inddelt i de samme beregningsvolumener, men der er ikke skelnet mellem fordelingen i de enkelte faser, hvorved der opnås en totalmængde. De eksakte koncentrationer er ikke benyttet, i stedet er disse rundet ned med mellem 30 og 50 %, for at tage højde for at jordprøven sandsynligvis er sendt til analyse på baggrund af højt PID-udslag. Der foruden beregnes en andel af fri fase ved, at bestemme det volumen, hvor TeCE-koncentrationerne er så høje, at der kan være tegn på fri fase i henholdsvis jorden og grundvandet. Områder hvor volumenerne overlapper hinanden ganges med porøsiteten, densiteten og en konstant. Konstanten er en erfaringsværdi for hvor stor en andel af porøsiteten der er fri fase, og variere mellem 0,1 og 0,5 % af porøsiteten. Totalmængden (grundvand, jord og fri fase) blev fundet til at variere mellem 804 og 1.347 kg pga. den varierende konstant for fri fase. Resultatmæssigt er der sammenlignelighed mellem de to opgørelser, da opgørelsen der er præsenteret her gav 1.142 kg. De to forskellige opgørelser kan i dette tilfælde sammenlignes, men om det ved andre forureningssager er samme sammenlignelighed er uvist.

2. Efter afværgepumpningen blev indstillet i 1996, blev der udarbejdet en risikovurdering af den restforurening, som måtte forefindes i området ved Fredericiagade 13 [Nordjyllands Amt, 1997]. Resultaterne for TeCE i den umættede zone er sammenlignelige med det som er beregnet her (0,9 kg mod 1,9 kg TeCE). Det samme gør sig gældende for TeCE i jorden i den mættede zone, hvor der i 1997 blev beregnet 940 kg, som blev kaldt residual fri fase, her blev der tilsvarende fundet 1029 kg. Beregningen her i rapporten er opdelt i fri fase og det der kan forefindes adsorberet til organisk stof og på partiklerne, men i mængdeopgørelsen fra 1997 kommer endnu en kategori ind i opgørelsen, idet der man regnede ud fra den mængde TeCE, som var blevet fjernet via grundvandsrensningen. Der blev fjernet knapt 3 ton TeCE under denne rensning, og da koncentrationerne i grundvandet ikke ændres væsentligt over perioden med grundvandsrensning, måtte der være mere TeCE, end det der var beregnet. Denne mængde blev vurderet at være ekstra 7-25 ton TeCE, som ikke var blevet fundet fysisk. Disse store mængder kommer fra en antagelse om, at der var blevet fjernet mellem 10 og 30 % af det TeCE der yderligere formodes at være til stede i jordens mættede zone. Totalmængden var da formodet at være fra 7,5 til 26 ton TeCE.

Den ovenstående mængde er langt større end mængden af TeCE-mængden beregnet her og i den anden forureningsopgørelse, idet disse beregner sig på, hvad der faktisk er fundet jord og grundvand.

Hvis det antages at forureningen på de 1.142 kg skal fjernes ved hjælp af ventilationssystemet, som egentlig er en afskærende afværgeforanstaltning, kan dette beregnes ud fra de målte TeCE-koncentrationer i vakuumpumpernes indgangsluft og deres ventilationskapacitet. Antages konstant drift af pumperne, vil jorden blive diffusionshæmmet, idet der under ventilationstesten med 200 m³/t sås et fald i indgangsluften til pumperne over en to ugers driftsperiode fra 15,16 til 5,192 mg/m³. Herved fås at, det tager henholdsvis 41 og 121 år før kilden af fjernet, hvis totalmængden er 1.142 kg TeCE.

Under udarbejdelse af den konceptuelle model, blev der fundet et mindre område ved Fredericiagade 20-24, som var årsag til høje TeCE-koncentrationer i både poreluft og grundvand (se Figur A3-2 og A3-3). I tilfælde af planlægning af en kildeoprensning på Fredericiagade 13, bør området ved nr. 20-24 undersøges nærmere, for at give en vurdering om området kan give anledning til fortsættende indeklimaproblemer i området.

Hvis en kildeoprensning iværksættes på Fredericiagade 13, er kortlægningen af kilderne kommet et skridt videre, idet kilderne fundet ved etablering af boringer (Figur A3-1) kan sammenholdes med det som blev fundet ud fra tilbageslagsmålingerne (Figur 7-3). Herved er der størst sandsynlighed for TeCE-kilder under krybekælderen, på østsiden af kælderen og ikke mindst i baghaven.

9 Konklusion

Som afrunding på projektet er konklusionerne på spørgsmålene fra afsnit 3 som følger:

TeCE fra Fredericiagade 13 er spredt ud langt ud over matriklen, når det er opløst i grundvandet og i særdeleshed i poreluften. I jorden er TeCE-forureningen fundet til at være beliggende i baghaven men også under bygningen.

Forureningen er, ud fra målte TeCE-koncentrationer i jord og grundvand, beregnet til overslagsmæssigt at indeholde 1.142 kg TeCE.

Ved at følge udviklingen af tilbageslaget og ventilationstesten, er det vurderet forsvarligt, i henhold til indeklimakoncentrationerne i bygningen, at nedsætte pumpeydelsen til 100 m³/t. Det endelige svar på om en pumpeydelse på 100 m³/t er tilfredsstillende for indeklimaet, er i skrivende stund ved at blive undersøgt.

Til monitoring af tidsserier er brug af PID-måling et udmærket valg, om end det kræver støtte af akkrediterede analyser. Bruges felt-GC til monitoring undgås 'støj' fra andre stoffer og tidsseriens tendenser bliver pænere, men analysetiden er lang.

Ud fra responsen af forureningen i poreluften er det vurderet, at der forekommer kildeområder under bygningen, specielt under krybekælderen og ved målepunkt PL1006. Dette er fundet ved tilpasning af en lineær model til dataene for tilbageslaget, idet denne var bedre egnet til at beskrive forureningsudviklingen på Fredericiagade 13, end en Langmuir type model.

Afstanden fra målepunktet til kanten af influenszonen er beregnet til, at variere mellem 0 til 99 cm, hvor de laveste værdier er fundet for målepunkterne i kælderen.

Intervaldrift vil være fordelagtigt på Fredericiagade13, da jorden bliver diffusionshæmmet efter en given tid, og desuden kan der spares energi under intervaldrift. Ventilationscyklussen anbefales, som en begyndelse, til at vare seks dage, hvor der ventileres i tre dage med efterfølgende tre dage tilbageslag. Hvis der ønskes yderligere sikkerhed for beboerne mod for høje indeklimakoncentrationer, kan cyklussens længde bibeholdes, men ventilationstiden forlænges til fire dage, og tilbageslagstiden nedsættes til to.

10 Litteraturliste

- Anonym (udat.): *Et simpelt værktøj til beregning af diffusionsafstand og -tid*. Notehæfte udleveret af Per Møldrup.
- DMI (2009 a): *Vejrarkiv*, April. <http://www.dmi.dk/dmi/vejrarkiv?region=1&year=2009&month=4>
- DMI (2009 b): *Vejrarkiv*, Maj. <http://www.dmi.dk/dmi/vejrarkiv?region=1&year=2009&month=5>
- HNU Systems Inc. (1992): *Model 311 portable gas chromatograph*. Brugermanual. Newton, USA.
- ISS Linnedservice (1988): *Forurening, Fredericiagade området. Rapport. Udført oprensning af jordforurening*. N&R Consult A/S. Oktober, 1988.
- Jeppesen, M. N. (2003): *Afværgeskatalog - tidlig indsats overfor indeklimapåvirkning*. Miljøprojekt nr. 750, Miljøstyrelsen.
- Kjeldsen, P. og Christensen, T. H. (1996): *Kemiske stoffers opførsel i jord og grundvand, bind 1*. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen, nr. 20. Miljøstyrelsen, Viborg.
- Kristensen, A. T. (2005): *Transport af PCE fra kilde til indeklima - systemforståelse og statistisk analyse*. Afgangprojekt miljøteknik, Aalborg Universitet.
- Kueper, B. H.; Wealthall, G. P.; Smith, J. W. N.; Lehane, S. A. og Lerner, D. N. (2003): *An illustrated handbook of DNAPL transport and fate in the subsurface*. Environment Agency, Bristol.
- Loll, P. og Moldrup, P. (2000): *Soil characterization and polluted soil assessment*, Aalborg Universitet, Aalborg.
- Mabey, W. R.; Smith, J. H.; Podoll, R. T.; Johnson, H. L.; Mill, T.; Chou, W.; Gates, J.; Waight Partiridge, I. og Vandenberg, D. (1982): *Aquatic fate process data for organic priority pollutants*. EPA report No. EPA-440/4-81-014. Monitoring and data support division, Office of water regulations and standards, Washington DC.
- Mortensen, Lars Boye (2009): Personlig kommentar. Divisionschef og tidligere projektleder på Fredericiagade 13 hos NIRAS A/S. 26. marts 2009
- MST (2008 a): *Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand*. Opdateret december 2008, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.
- MST (2008 b): *Branchevejledning for forurenede renserrigunde*. Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 1, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.
- MST (1998): *Oprydning på forurenede lokaliteter – Appendikser*. Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 7, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.
- Kjeldsen, P og Christensen, T. H.(1996): *Kemiske stoffers opførsel i jord og grundvand : 1 bd*. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen, 20, Miljøstyrelsen.
- Nordjyllands Amt (2006): *Dokumentationsrapport for afværgeforanstaltninger, Fredericiagade 13-17, Aalborg*. NIRAS, Februar 2006.

Nordjyllands Amt (2005 a): *Supplerende Forureningsundersøgelse, Nedlagt renseri Fredericiagade 13-17, Aalborg*. NIRAS, Marts 2005.

Nordjyllands Amt (2005 b): *Projektforslag for afværgeforanstaltninger Fredericiagade 13, Aalborg*. NIRAS, Februar 2005.

Nordjyllands Amt (1997): *Fredericiagade 13, Aalborg, Vurdering af restforurening, Risikovurdering*. Nellemann, Nielsen & Rauschenberger A/S, December 1997.

Nordjyllands Amt (1995): *Fredericiagade 13, Aalborg. Aalborg Kommune. Statusrapport VII*, Nellemann, Nielsen & Rauschenberger A/S, November 1995.

Nordjyllands Amt (1992): *Fredericiagade 13-17, grundvandsoppumpning*. Statusrapport III, N&R Consult A/S, April 1992.

Pankow, J. F. og Cherry, J. A. (1996): *Dense chlorinated solvents and other DNAPLs in groundwater*. Waterloo Press, Oregon.

Region Nordjylland (2009): *Nedlagt renseri. Fredericiagade 13, Aalborg. Ventilationstest af dræn under gulv – sammenfattende resultater. Tidligere renseri. Fredericiagade 13, Aalborg*. NIRAS. Under udarbejdelse.

Region Nordjylland (2007): *Nedlagt renseri, Fredericiagade 13, Aalborg. Supplerende aktiviteter efter indbygning af membran mv*. NIRAS. November 2007.

Bilag 1
Beregning til forureningsopgørelse

Beregninger til forureningsopgørelsen

Opgørelse ud fra jordkoncentrationer

Princippet i beregning af mængden af TeCE, som forekommer på Fredericiagade 13 er, at beregne indholdet af TeCE i de forskellige faser, hvori det kan være til stede i henholdsvis i umættet og mættet zone. Dette tager udgangspunkt i den maksimale koncentration af TeCE, der kan være til stede i jorden før der er forekomst af residual- og fri fase TeCE. Herefter beregnes TeCE-mængden i de enkelte faser, som det ses af nedenstående tabel.

Tabel 1. Jordens faser til beregning af TeCE-mængden.

	Umættet zone	Mættet zone
Poreluften	X	
Porevandet/grundvandet	X	X
Partiklerne	X	X

Beregningen af TeCE i de enkelte faser udføres efter fugacitetsprincippet, hvor det antages at fordelingen af TeCE i faserne ved en given koncentration er den samme, som ved den maksimale kapacitet i faserne. Det antages derfor, at der er ligevægt af TeCE faserne i mellem samt, at der er stationære forhold. Øvrige antagelser er, at TeCE opløst i vandfasen opfører sig som en ideal fortyndet opløsning, og at TeCE på gasform ligeledes har samme opførsel som en ideal gas [MST, 1998].

For at kunne beregne fordelingen af TeCE mellem de forskellige faser skal flere kemiske og fysiske forhold omkring jorden og TeCE kendes, hvilket ses af Tabel 2.

Tabel 2. Konstanter og parametre for jorden på Fredericiagade 13 og TeCE mm. [Loll og Moldrup, 2000; Pankow og Cherry, 1996; Kristensen, 2005]. De volumetriske indhold af vand og luft er for umættet zone. I mættet zone vil luftindholdet være lig nul, mens vandindholdet vil svare til porøsiteten.

Konstant/parameter	Værdi	Enhed
Jord densitet, ρ_b	1,51	g/cm ³ jord vol.
Partikelrum-vægt, ρ_s	2,64	g/cm ³ partikel vol.
Org. stofmængde, f_{om}	0,01	g org. stof/g TS
Porøsitet, P	0,43	cm ³ pore vol./cm ³ jord vol.
Volumertisk partikelindhold, V_d	0,57	cm ³ partikler/cm ³ jord vol.
Volumertisk vandindhold, V_v	0,33	cm ³ vand/cm ³ jord vol.
Volumertisk luftindhold, V_L	0,1	cm ³ luft/cm ³ jord vol.
Henrys konstant, K_H	0,72	-
TeCE molvægt, MV	165,83	g/mol
Damptryk v. 20 °C, p	2415	N/m ²
Vandopløselighed, S	0,00024	g TeCE/cm ³ vand
TeCE densitet, ρ_{TeCE}	1,63	g/cm ³
Fordelings konstant mellem vand og org. kul, K_{oc}	364	cm ³ vand/g org. kul
Temperatur, T	281	K
Gaskonstant, R	8,314	(m ³ ·(N/m ²))/(K·mol)
Org. kul mængde, f_{oc}	0,0058	g org. stof/g TS
Lineær adsorptionskonstant, K_d	2,1112	cm ³ vand/g TS

Beregningerne tager udgangspunkt i jordprøver, der er udtaget under etablering af flere borer på Fredericiagade 13 og omegn. Ud fra disse koncentrationer regnes der tilbage, så koncentrationen i de enkelte faser bliver kendte.

Som det første beregnes koncentrationen af TeCE hvor jorden kapacitet for TeCE er opnået. Det vil sige at når partiklerne og det organiske materiale ikke kan adsorbere mere, og når porevand og -luft er fuldt mættet. Dette kan beregnes ud fra følgende formel fra [Keuper *et al.*, 2003]

$$C_{NAPL} = \frac{S}{\rho_b} \cdot (K_d \cdot \rho_b + V_v + K_H \cdot V_L) \quad (1)$$

Hvor C_{NAPL} = jordens mætningskoncentrationen før fri fase forkomst (NAPL) [g/g TS]
 S = effektiv vandopløslighed af TeCE i grundvandet [g/ cm³ vand]
 ρ_b = jordens massefylde [g TS/cm³ jord vol.]
 K_d = fordelingskoefficient mellem jord og vand [cm³ vand/g TS]
 V_V = vandfyldt porøsitet [cm³ vand/cm³ jordvol.]
 K_H = Henrys konstant [-]
 V_L = luftfyldt porøsitet [cm³ luft / cm³ jordvol.]

C_{NAPL} er maksimums koncentrationen af TeCE, som kan være til stede i en jordprøve, sorberet til partikelfasen og opløst i vand- og gasfasen, uden at prøven indeholder fri fase.

K_d , som er den lineære adsorptionkonstant, beregnes ud fra følgende formler [Kjeldsen og Christensen, 1996; Loll og Moldrup, 2000].

$$K_d = K_{oc} \cdot f_{oc}, \quad (2)$$

$$f_{oc} = f_{om} \cdot 0,58$$

Hvor K_d = lineær adsorptionskonstant [cm³ vand/g TS]
 K_{oc} = fordelingskoefficient mellem organisk kulstof og vand [g org. stof/g TS]
 f_{oc} = jordens fraktion af organisk kulstof [-]
 f_{om} = jordens fraktion af organisk materiale [-]

Nu vides det, hvor meget TeCE der kan forekomme i jorden før der er fri fase, og det er denne koncentration der skal fordeles ud blandt de tre faser, hvis der er fri fase til stede. Jordens mætningskoncentration, C_{NAPL} , trækkes fra den målte TeCE-koncentration, C_{tot} , herved fås andelen af jordkoncentrationen der ikke giver anledning til fri fase TeCE i jordprøven.

$$C_{\text{LVJ}} = C_{\text{tot}} - C_{\text{NAPL}} \quad (3)$$

Hvor C_{LVJ} = jordkoncentration uden tilstedeværelse af fri fase [mg/kg TS]
 C_{tot} = målt koncentration i jorden [mg/ kg TS]

For at beregne indholdet af TeCE på luftform i jordprøven, skal den maksimale TeCE-koncentration i luften beregnes [MST, 1998].

$$Z_{L,\text{max}} = \frac{p \cdot MV}{R \cdot T} \cdot \frac{1}{1000000} \quad (4)$$

Hvor $Z_{L,\text{max}}$ = maksimumskoncentration i luft
 p = forureningskomponentens damptryk [N/m²]
 MV = molarvægt [g/mol]
 R = idealgaskonstanten [(m³·(N/m²))/(K·mol)]
 T = temperatur [K]

Den maksimale koncentration i luften kan omregnes til den maksimale luftkoncentration i porevolumenet [MST, 1998].

$$k_{L,\text{max}} = V_L \cdot Z_{L,\text{max}} \quad (5)$$

Hvor $k_{L,\text{max}}$ = maksimumskoncentrationen i luft pr. jordvolumen [g/ cm³ jordvol.]

Ønskes det i stedet for volumenenheden at regnes på vægtenhed divideres $m_{L, \max}$ med jordens densitet:

$$C_{L, \max} = \frac{k_{L, \max}}{\rho_b} \quad (6)$$

Hvor $C_{L, \max}$ = maksimumskoncentrationen i luft pr. gram tørstof [g/g TS]
 ρ_b = jordens densitet [g/cm³ jordvol.]

Nu er maksimumskoncentrationen af TeCE i jordes luftfase fundet.

Det maksimale indhold af TeCE i jordens porevand findes af følgende formel [MST, 1998]:

$$k_{v, \max} = V_v \cdot S \quad (7)$$

Hvor $k_{v, \max}$ = maksimumskoncentrationen i vand pr. jordvolumen [g/cm³ jordvol.]
 S = opløselighed af forureningskomponenten i vand [g/ cm³ vand]

Ønskes denne enhed ligeledes omregnet til vægtenhed ($C_{v, \max}$) i stedet for volumenhed, beregnes dette tilsvarende ligning 6.

Mængden af TeCE på jordens partikler mm. udregnes af nedenstående ligning [MST, 1998]:

$$k_{J, \max} = V_J \cdot \rho_s \cdot K_d \cdot S \quad (8)$$

Hvor $k_{J, \max}$ = maksimumskoncentrationen adsorberet til partiklerne [g/cm³ jordvol.]
 V_J = volumetisk partikelindhold [cm³ partikler/cm³ jord vol.]

Ligeledes benyttes Ligning 6 til omregning fra volumenenhed til vægtenhed ($C_{J, \max}$).

Som førnævnt antages det at forholdet mellem faserne ved mætningskoncentrationer er det samme som ved koncentrationer under dette niveau. Derfor skal forholdet mellem de tre faser beregnes. Dette gøres ved følgende formel, som bruger forholdet for koncentrationen i luftfasen som eksempel [MST, 1998]:

$$f_L = \frac{C_{L, \max}}{C_{L, \max} + C_{v, \max} + C_{J, \max}} \quad (9)$$

Hvor f_L = reativ andel af komponenten i luftfasen i forhold totalkoncentrationen [-]

Efter samme princip som ligning 9 beregnes andelen af forureningen i vandfasen og på partiklerne ved at udskifte brøkens tæller med henholdsvis $C_{v, \max}$ og $C_{J, \max}$.

Ovenstående giver tre forhold som ganges sammen med andelen af forureningen, som ikke er fri fase, hvorved mængden af TeCE pr. kg tørstof i de forskellige faser fremkommer [MST 1998].

$$C_L = f_L \cdot C_{LVJ} \quad (10)$$

Hvor C_L = koncentration i luftfasen [mg/kg TS]
 C_{LVJ} = koncentration

C_V og C_J fremkommer på så samme måde som C_L , blot skal de respektives f_V og f_J i stedet for benyttes.

Tilbage er at omregne C_L , C_V og C_J til en mængdeenhed, således at mængden bliver uafhængig af jordens tørstof.

$$M_L = \frac{V \cdot C_L \cdot \rho_b \cdot 1000}{1000000} \quad (11)$$

Hvor M_L = mængden i luftfasen [kg]
 V = jordvolumen [m^3]

Tilsvarende beregnes M_V , M_J og M_{NAPL} ud fra henholdsvis C_V , C_J og C_{NAPL} .

Herved er massen af TeCE beregnet for det givne jordvolumen. Samme beregningsmetode benyttes for alle jordvolumener og til sidst summeres alle masserne og totalkoncentrationen fås.

$$M_{tot} = \sum M_L + \sum M_V + \sum M_J + \sum M_{NAPL} \quad (12)$$

Opgørelse ud fra grundvandskoncentrationer

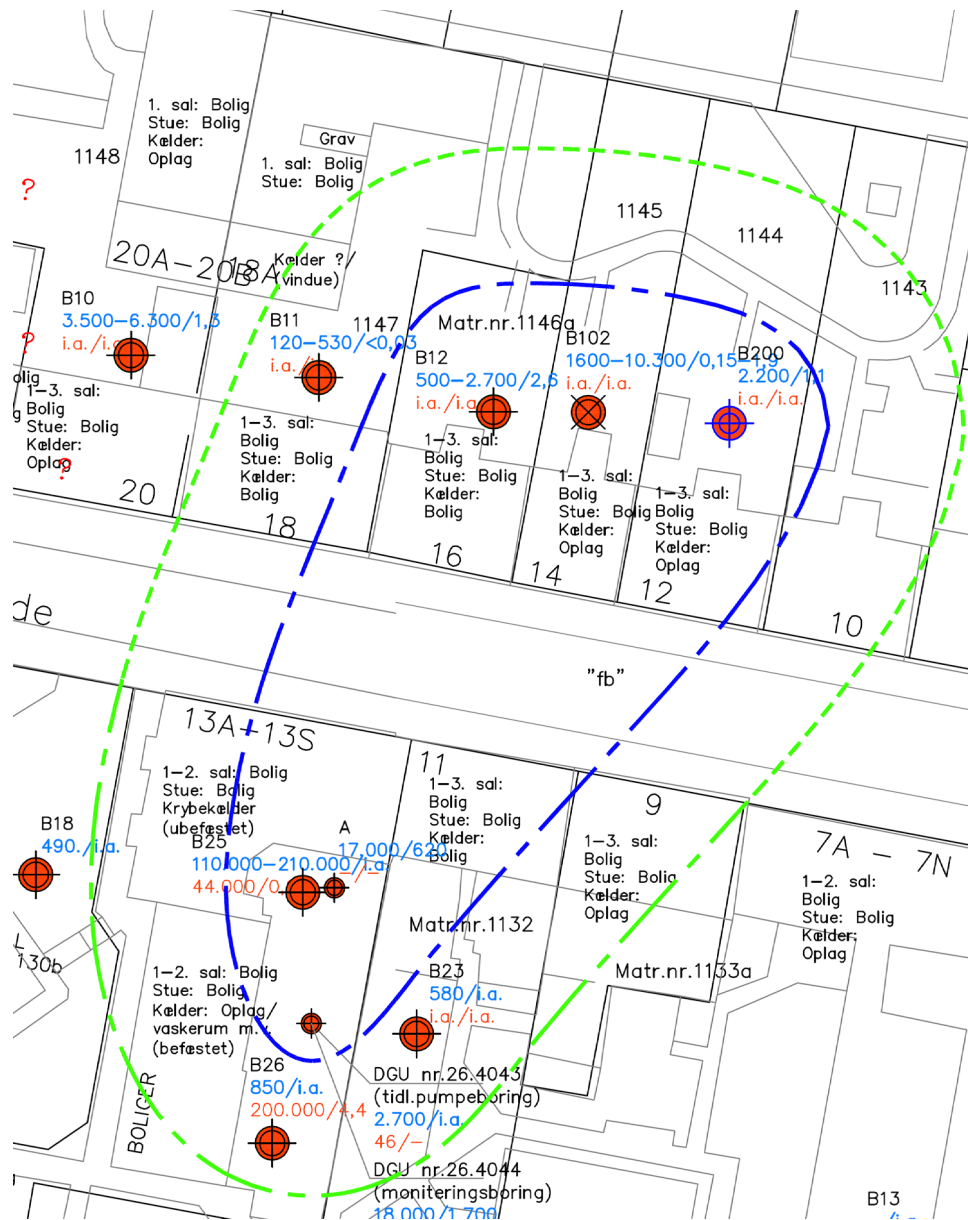
Beregningen for at komme fra en grundvandskoncentration i μg TeCE/l til en mængde i kg, skal porøsiteten, en koncentration og et volumen kendes. Volumenet findes ud fra antagelsen om at TeCE er beliggende i de øverste 2 m af magasinet og arealet findes ud fra følsomhedsanalysen (er beskrevet nedenfor). Beregningen er som følger:

$$M_V = \frac{A \cdot D \cdot P \cdot C \cdot 1000}{1000000000} \quad (13)$$

Hvor M_V = mængden i grundvandet [kg]
 A = faneareal [m^2]
 D = fanedybde [m]
 P = porøsitet [cm^3 pore vol./ cm^3 jord vol.]
 C = Målt koncentration i grundvand [$\mu g/l$]

Opdelingen i af fanen i beregningsarealer er som nævnt, gjort ved en følsomhedsanalyse, hvor mængden af TeCE i grundvandet er beregnet ved forskellige opdeling af fanen. Der er taget udgangspunkt i Figur A3-2, hvor der er indtegnet isokurver. Som udgangspunkt er fanen med de indtegnede isokurver delt op i to stykker, men yderligere opdeling vil kun foregå inden for den inderste isokurve fordi spændet mellem de målte grundvandskoncentrationer er så stort.

Der er lavet fire beregninger hvor fanen er opdelt i henholdsvis to, tre, fire og fem stykker. For at gøre beregningen af arealerne mere ensartet er isokurverne blevet lukket.



Figur 1. Forureningsfane. Blå isokurve er en TeCE-koncentration på 10.000 µg/l, den grønne isokurve er 2.500 µg/l.

I de forskellige områder er middelkoncentrationen af de tilstedeværende borer beregnet og tildelt det pågældende areal, således at hvert areal har en koncentration. I de områder hvor der ikke er placeret borer er der beregnet et koncentrationsfald fra B25 og ud mod boring B102 og DGU 26.4043. Boring B25 er valgt som centrum for beregningen, idet det er den boring hvor der er målt den højeste TeCE-koncentration. B102 er valgt som 'sigte boringen' for at kunne beregne koncentrationsfaldet mellem B25 og B12, B102 og B200, idet koncentrationsfaldet pr. meter ligger mellem B12 og B200. Ligeledes er der beregnet et koncentrationsfald pr. m mellem B25 og DGU 26.4044 efter følgende formel for at kunne opdele dette område i mindre stykker og tildele dem en koncentration.

$$\text{Konc.fald} = \frac{C_1 - C_2}{\text{afs}} \quad (14)$$

Hvor

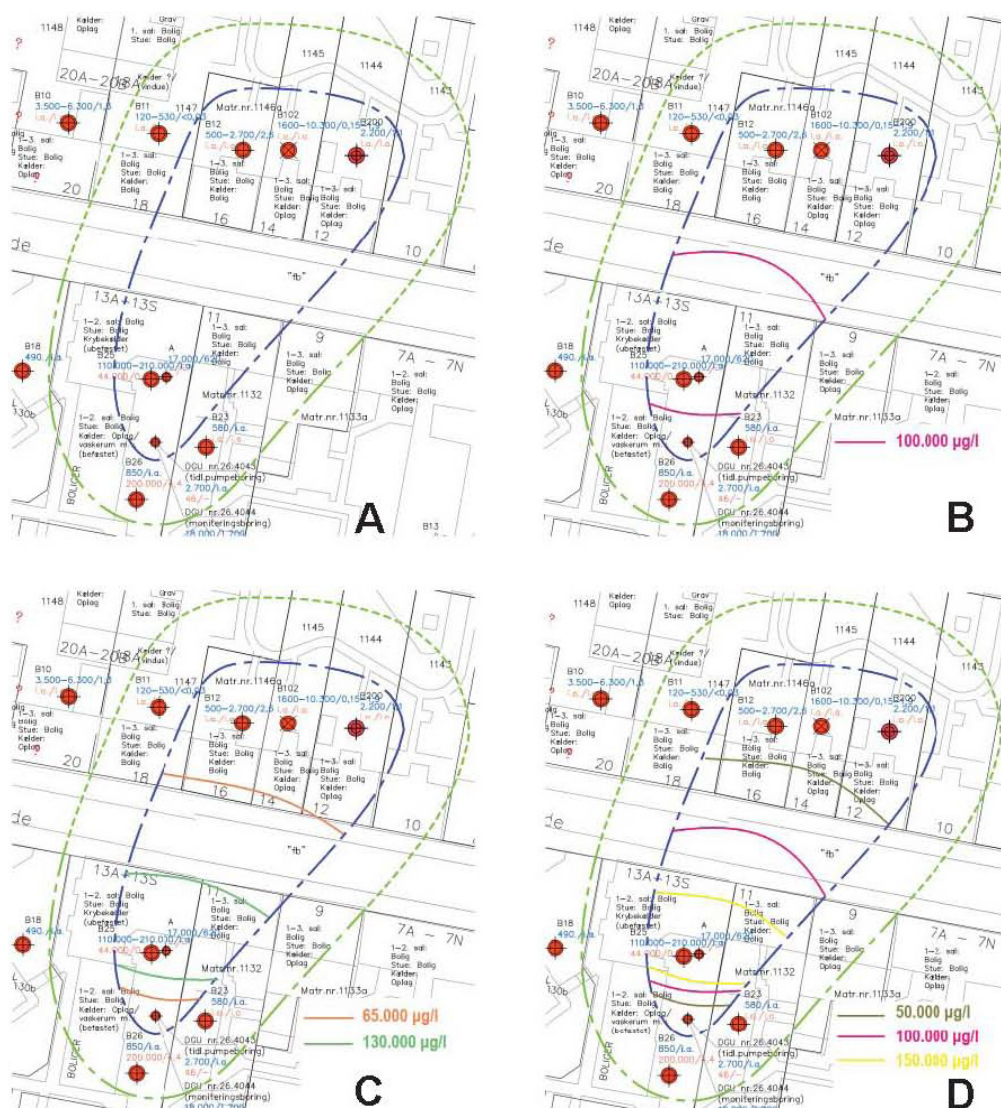
- Konc.fald = koncentrationsfald pr. meter [µg/l/m]
- C_1 = koncentration i boring B25 [µg/l]
- C_2 = koncentration i boring B102 eller DGU 26.4044 [µg/l]
- afs = afstand mellem borerne [m]

Koncentrationsfaldet mellem B25 og DGU 26.4044 beregnes tilsvarende ligning 14. De to koncentrationsfald bliver der ved på:

Tabel 3. Koncentrationsfaldsdata og resultat.

	Afstand [m]	C ₁ -C ₂ [µg/l]	Koncentrationsfald [µg/l/m]
B25 - B102	40	199.700	~5.000
B25 - DGU 26.4044	10	192.000	19.200

Opdelingen af fanen til de forskellige beregninger kan ses af nedenstående figur.



Figur 2. Opdeling af forureningsfanen i grundvandet. A) er en opdeling i to områder ud fra koncentrationen af TeCe målt i grundvandet. B) er en opdeling i tre koncentrationszoner. C) er fire og D) er i fem områder. Den grønne streg er en koncentration på 2.500 µg/l, mens den blå streg er 10.000 µg/l.

Koncentrationen på de lyserøde isokurver er den beregnede koncentration efter den givne afstand. Koncentrationen er beregnet ved at gange den ønskede afstand sammen med koncentrationsfaldet.

Efter beregning af mængden for hver af de fire inddelinger af fanen er resultatet vurderet.

Bilag 2

Beskrivelse af prøvetagning og måling

Beskrivelse af prøvetagning og måling

Udtagning af luftprøver og måling med ppb-RAE

Der er udtaget poreluftsprøver fra fem målepunkter under gulv på Fredericiagade 13, hvor de tre er placeret i kældergulvet (P1, P3 og P5) og to i gulvet i krybekælderen (P6 og MP100). Derforuden er der placeret otte poreluftssonder langs bygningens fundament (PL1000-PL1007). PL1005 og PL1006 er beliggende på østsiden af kælderen, mens de resterende sonder er anbragt rundt om fundamentet til krybekælderen.

Målepunkterne under gulv er lavet som blivende installationer, men er oprindeligt et hul som er blevet boret med et betonbor med en diameter på 2 cm. Der blev isat en gummiprop med et stålør og en ventil og derefter fuget omkring så det er helt tæt. Poreluftssonderne består af et 0,5" galvaniseret jernrør, som er banket ned i jorden i ca. 1 m dybde. Der er sat en bolt i enden af sonden, for at sikre at den ikke fyldes med jord. Sondene trækkes tilbage efter den er banket i jorden, hvorved den trækkes fri af boltene. For syns skyld er rørene blevet skåret ned, således der kunne etableres et dæksel ovenpå, så sonderne ikke er forstyrrende for beboerne på Fredericiagade 13.



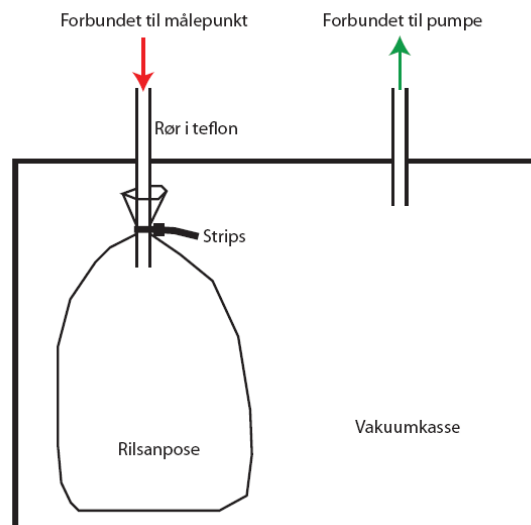
Figur 1. Målepunkter. Billedet til venstre er fra kælderen, men billedet til højre er fra en poreluftssonde placeret langs bygningens fundament.

Prøvetagning:

Prøverne af poreluften suges op af sonderne med en prøvetagningspumpe, af mærket Prenart, gennem en fitting bestående af en gummiprop, samlestykker og ca. 15 cm teflonslange. Først måles der PID på pumpens afkastluft. PID måles med en ppb-RAE for at få en indikation af poreluftens indhold af ioniserbare stoffer. Dernæst udtages en luftprøve i en rilsanpose. Dette gøres ved hjælp af en kasse hvori der kan skabes et undertryk med prøvetagningspumpepumpen således at luften bliver suget ind i posen i kassen. Billeder af procedurerne fremgår af... Posen lukkes forsvarligt med strips og opbevares derefter i en sort plastiksæk for at undgå at sollys nedbryder TeCE'en i prøven.



Figur 2. Udtagning af poreluftsprøve. Billedet til venstre er måling af direkte PID fra prøvetagningspumpens afkastluft. Det højre billede er udtagning af luftprøve i rilsanpose, se Figur 3 for tydeligere princip bag udtagningen.



Figur 3. Principtegning over udtagningen af luftprøve i rilsanpose.

Måling:

Efter tilbagekomst til laboratoriet måles der PID på posernes luftprøve (se) og disse analyseres også på GC. Før prøverne analyseres blandes en standard på ca. samme koncentration (ca. 3,53; 8,81 eller 17,63 mg TeCE/ m³) efter fremgangsmåde som er beskrevet i næste afsnit. Arealet fra standardkoncentrationen skal passe overens med det fundne i standardrækken. Passer arealerne kan prøverne analyseres en efter en efter fremgangsmåden beskrevet senere. Er arealet mere end hvad der svarer til en koncentration på ca. 20 mg/m³ laves en fortynding af prøven efter samme principper brugt til udarbejdelse af standardrækken. Arealerne af prøverne noteres og regnes om til koncentrationer ved hjælp af standardrækken.



Figur 4. Måling af PID i rilsanpose med ppb-RAE.

Analyse foretaget med HNU model 311 transportabel gaschromatograf

Gaschromatografen er brugt til analyse af TeCE-koncentrationen i poreluften på Fredericiagade 13



Figur 5. Felt-GC'en HNU model 311.

Teknisk gennemgang af HNU model 311

Apparatet udmærker sig ved at være udstyret med to detektorer, en ECD (electron capture detector) og en PID (photoionization detector). Derfor er der indbygget en auto sampler for analyse af gasprøver.

En delmængde af prøven, som skal analyseres, suges via autosampleren ind i GC'en og blandes via en 10 vejsventil med bæregassen, en 5.0 N₂ gennem 10 vejsventilen ledes blandingen af prøve og bæregas gennem en sample loop, hvorfra kun en delprøve af blandingen ledes gennem den samme 10 vejsventil til en forkolonne. Resten af prøven i sample loopet blæses ud. Formålet med forkolonnen er, at prøven separeres let, og eventuelle langsomme stoffer uden interesse for analysen kan sorteres fra ved, at lukke for forbindelsen gennem 10 vejsventilen mellem forkolonnen og analysekolonnen, efter de interessante stoffer er videresendt til analysekolonnen. Forkolonnen kan derefter tilbage blæses med N₂ for at fjerne rester af prøven som ikke skal videreanalyseres [HNU Systems Inc., 1992].

Kolonne

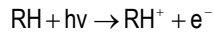
Kolonnen er en kolonne til adskillelse af chlorerede forbindelser og oliekomponenter. Den er 25 m lang og 0,53 mm tyk med følgende produktnummer. Nr: 801983, cat nr 6670.

Detektorer

I ECD'en ioniserer en radioaktiv Ni63-kilde bæregassen (N₂), således der opstår en stabil sky af frie elektroner. Når elektronnegative stoffer som TeCE når detektoren, vil stoffet øjeblikkeligt binde nogle af de frie elektroner, herved

reduceres antallet af fire elektroner, og spændingen i detektoren øges, for at holde antallet af elektroner i skyen stabilt. Outputsignalet fra detektoren er afledt af denne spændingsforøgelse som tilstedeværelsen af en given koncentration af et elektronnegativt stof i detektoren [HNU Systems Inc., 1992].

PID detektoren fungerer ved ligeledes ionisering af gas. Energien til ioniseringen kommer fra UV-lys, og modsat i ECD er det de pågældende stoffer og ikke bæregassen der ioniseres. UV-lyset generere fotoner, som får molekyler med et mindre eller et tilsvarende energiniveau som lampen til at ioniseres.



Hvor
 RH = et givent ioniserbart molekyle
 hv = foton med ioniseringsenergi \geq det givne molekylets ioniseringspotentiale
 RH⁺ = positiv ion af de ioniserede molekyle
 e⁻ = fri elektron

Detektoren måler derved koncentrationen af gassen ved at fotoionisere denne. Ved brug af en UV-lampe på 10, 2 eV er der god respons for kulbrinter med dobbeltbindinger, hvorfor lampen kan bruges til detektion af TeCE [HNU Systems Inc., 1992].

Brug af HNU 311 GC til måling af TeCE

Det er vigtigt at GC'en har stået tændt ca. 24 timer før den bruges for at sikre at apparatet er varmt. Er apparatet ikke ordentlig varmt, vil målingerne blive upræcise.

Prøven der ønskes analyseret opbevares i en tedlar eller en rilsan pose. En delmængde på ca. 200 ml suges via GC'ens autosampler ind i apparatet, men kun 2 ml bliver brugt til analyse. Flowhastigheden gennem analysekolonnen er 20 ml/min, og efter ca. fem minutter kan toppen fra TeCE ses på chromatogrammerne fra begge detektorer. Arealet af toppene noteres og beregnes til koncentrationer ud fra en udarbejdet standard række.

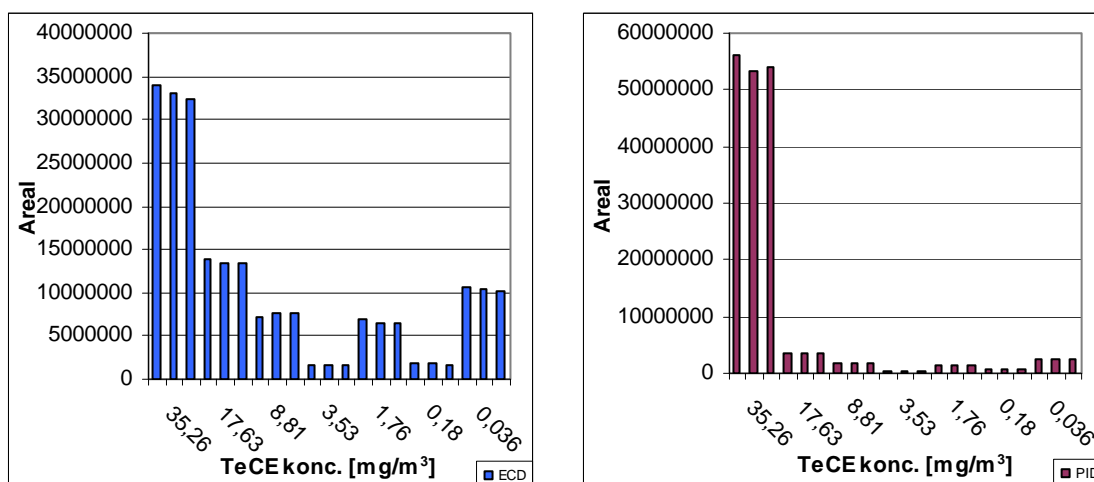
Standardrække

Standardrækken er lavet ved fortyndinger af en TeCE standardgas på 5,2 ppm (35,26 mg/m³). Fortyndingerne er blevet lavet med TeCE-gas og N₂ som er blevet blandet i forskellige forhold for at opnå forskellige koncentrationer. Sammenblandingen af TeCE og N₂ er forgået i 1 l tedlar poser, hvor en given mængde af hver gas er blevet indført i posen ved hjælp af en peristaltisk pumpe, og i tilfælde af små mængder, en engangssprøjte. I Tabel 1 er koncentrationerne af fortyndingerne, pumpetiderne og volumenerne angivet. Efter gasserne er blandet i posen, nulres denne let et par minutter for at sikre fuld opblanding.

Tabel 1. Fortyndinger, pumpetider og volumener til standardrækken.

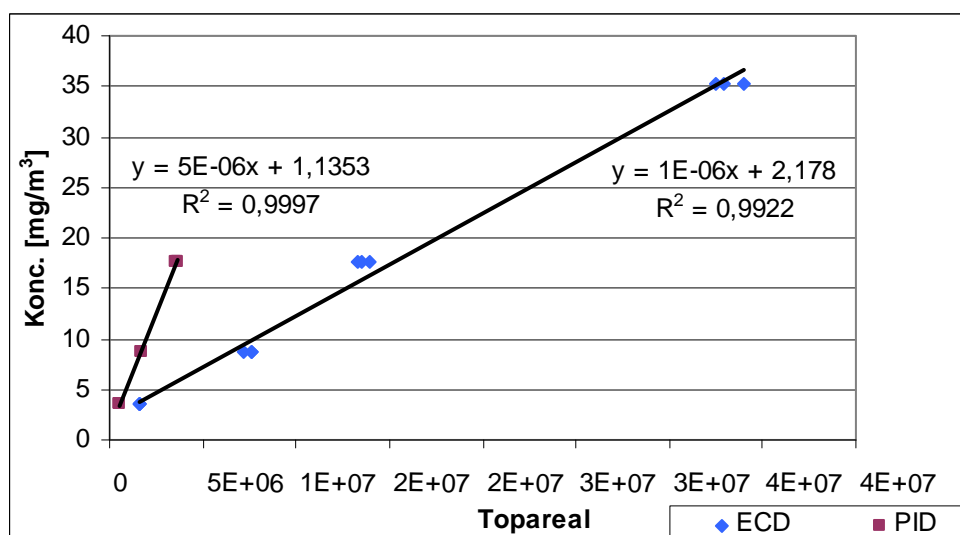
Fortynding	Koncentration [mg/m ³]	TeCE mængde			N ₂ mængde		
		min	sek	ml	min	sek	ml
1:1	35,26	13		1000			0
1:2	17,63	6	30	500	6	30	500
1:4	8,81	3	15	250	9	45	750
1:10	3,53	1	18	100	11	42	900
1:20	1,76		39	50	12	21	950
1:200	0,18		3,9	5	12	56,1	995
1:1000	0,035		0,78	1	12	59,22	999

Efter blanding af gasserne tilkobles posen til GC'ens sugeslange og analysen kan foretages som en trippelanalyse for hver koncentration. Arealerne som fremkommer noteres ved de respektive koncentrationer, og af nedenstående figur ses resultatet af standarddrækken.



Figur 6. Standarddrækken med de to detektorer. Billedet til højre er ECD, mens det til venstre er PID.

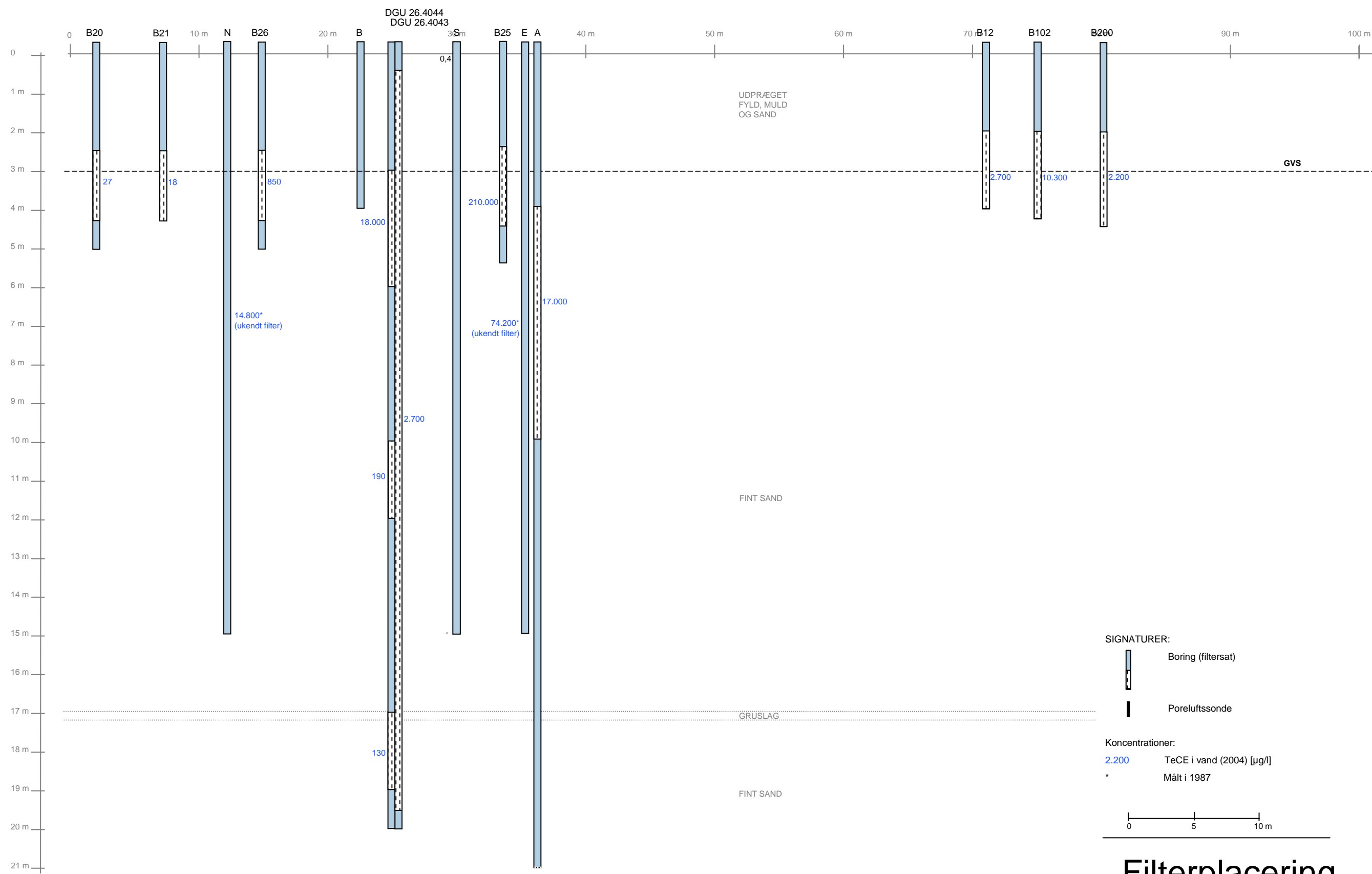
Det ses af ovenstående figur, at detektorerne har problemer med at måle i det lave område, idet arealerne er meget store selvom koncentrationerne er små. For ECD's vedkommende har arealerne for 8,81 og 1,76 mg TeCE/m³ ca. ens arealer og arealerne for 0,036 mg/m³ er større end de førnævnte. Det viser, at et måleområde for TeCE på ECD-detektoren, er beliggende mellem 35,26 og 3,53 mg/m³. De store arealer i forhold til TeCE-koncentrationen skyldes muligvis at detektoren bliver overfølsom. Det samme gør sig gældende for PID-detektoren, men det ses også, at den rene TeCE-gas giver meget høje arealer i forhold til den næstkommende koncentration. Derfor er det troværdige måleområde for PID'en beliggende mellem 17,63 og 3,53 mg/m³. Måleområderne for begge detektorerne er vis på nedenstående figur.



Figur 7. Måleområde for de to detektorer med tendensliniernes ligninger og R²-værdier.

Det er muligt at få GC'en til at beregne koncentrationer ud af toparealet, men da denne er en et-punkts kalibrering, vil usikkerheden blive høj i yderpunkterne for denne kalibrering. Derfor er det valgt, at bruge ligningerne for tendenslinierne for de pålidelige måleområder til, at beregne koncentrationen af TeCE i en ukendt prøve.

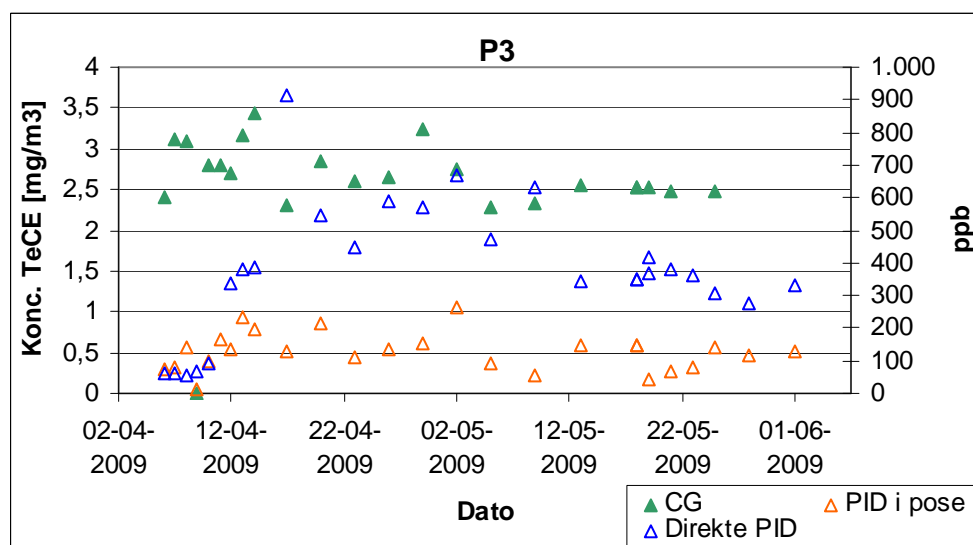
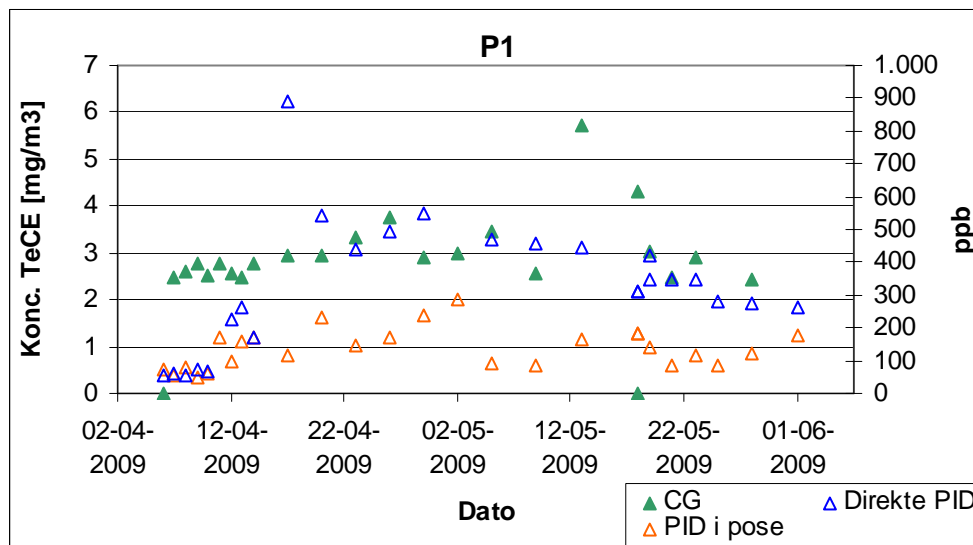
Bilag 3
Snit med filterplacering

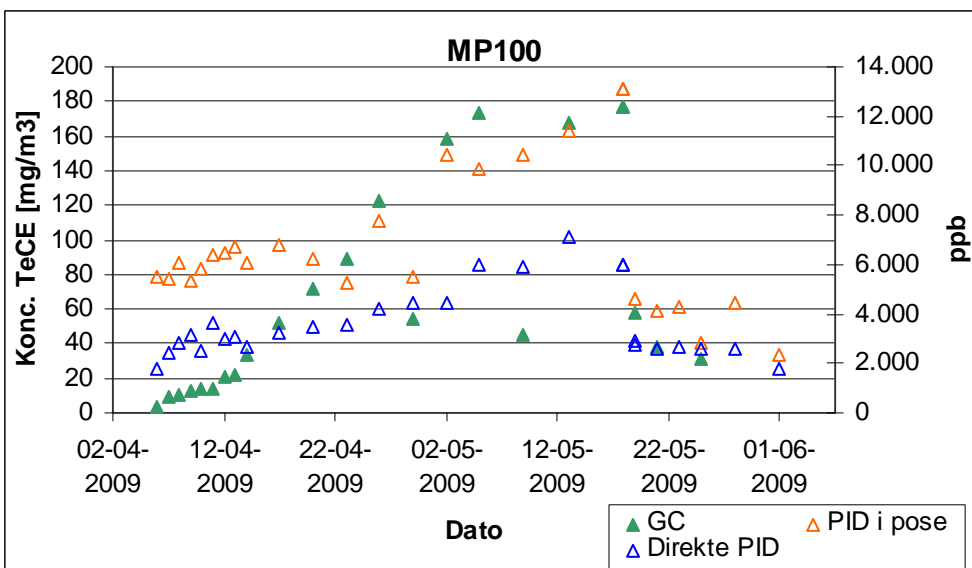
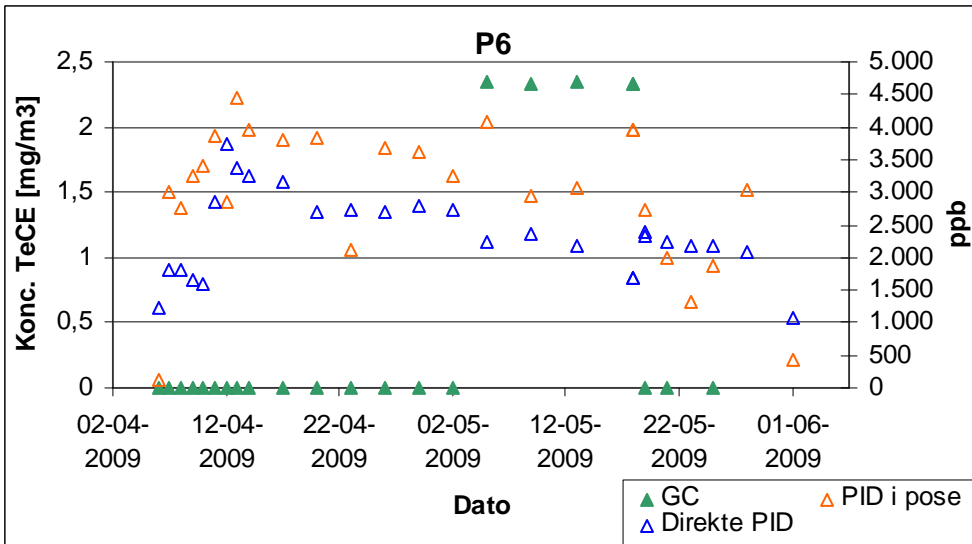
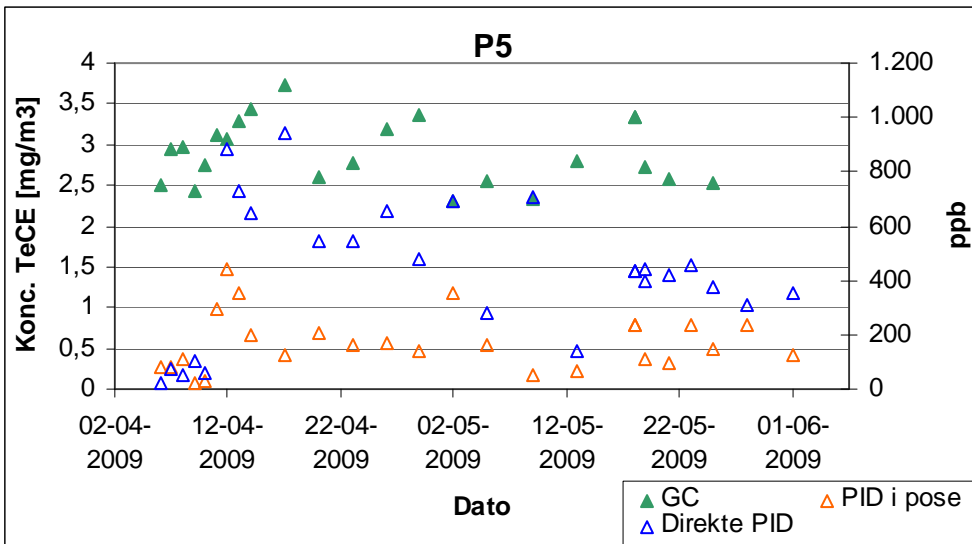


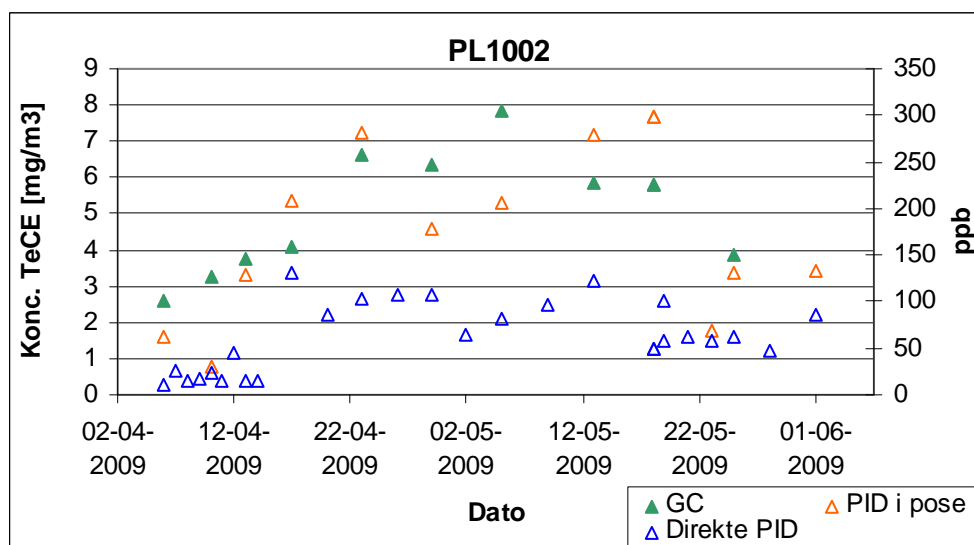
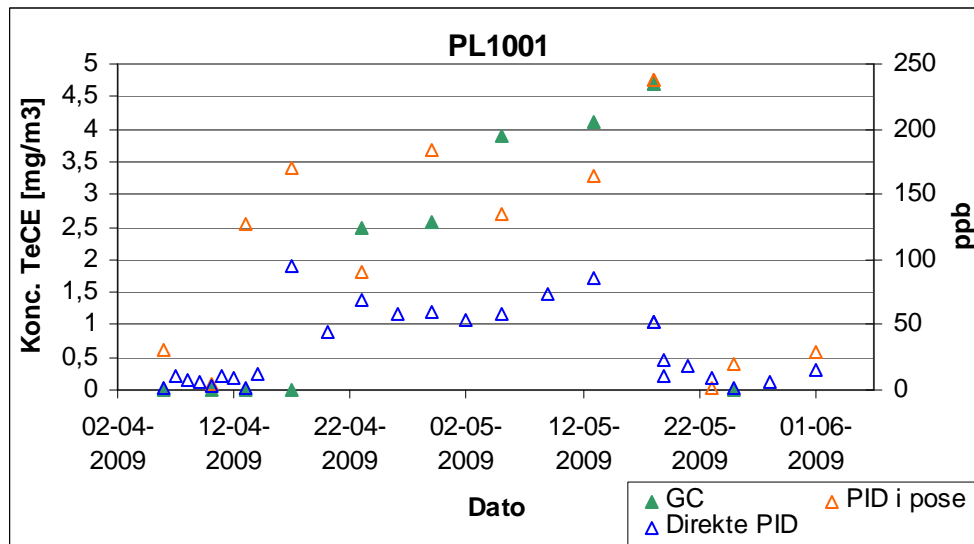
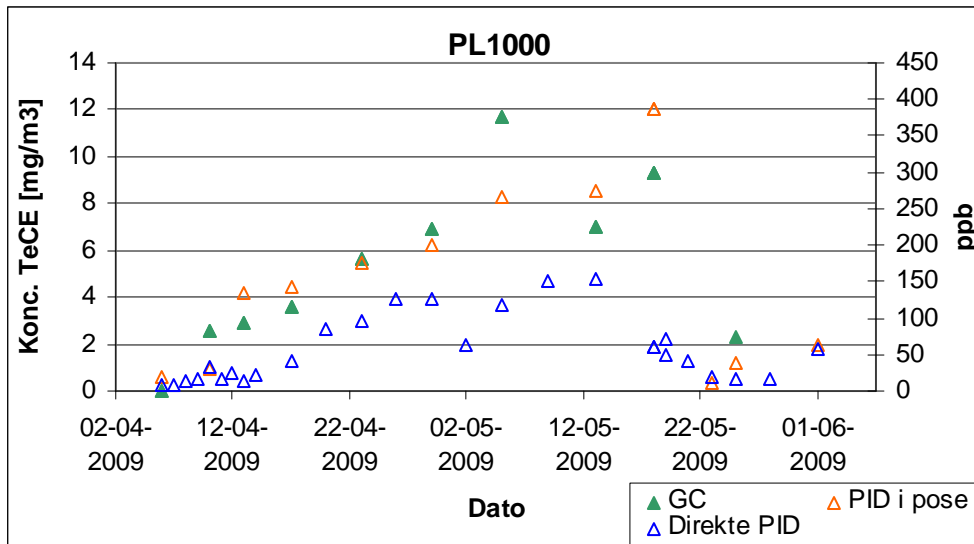
Filterplacering

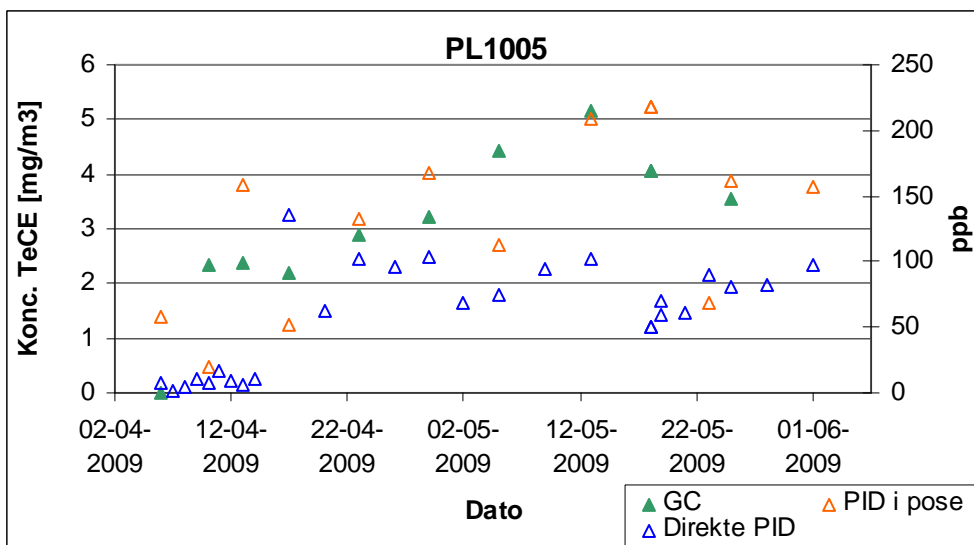
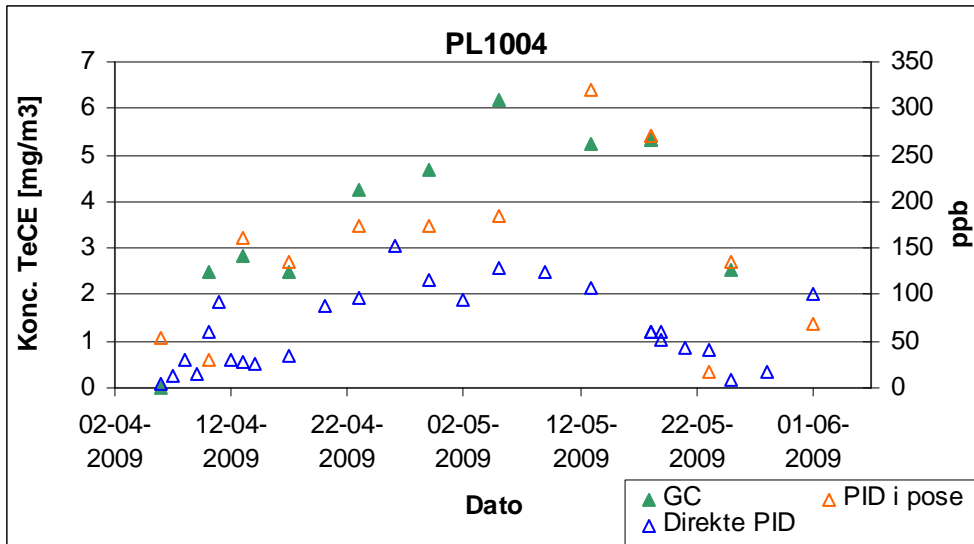
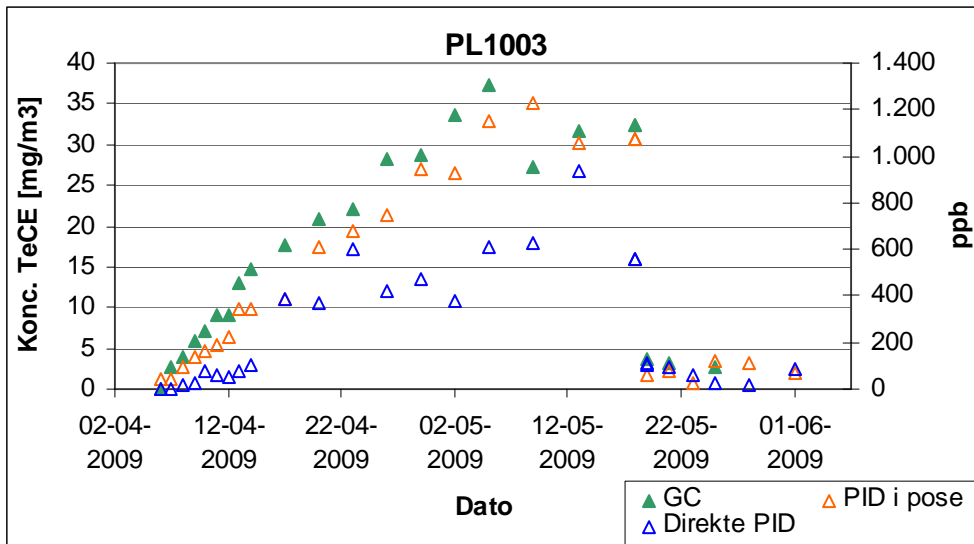
Bilag 4
Moniteringsgrafer for felt-GC,
PID i pose og Direkte PID

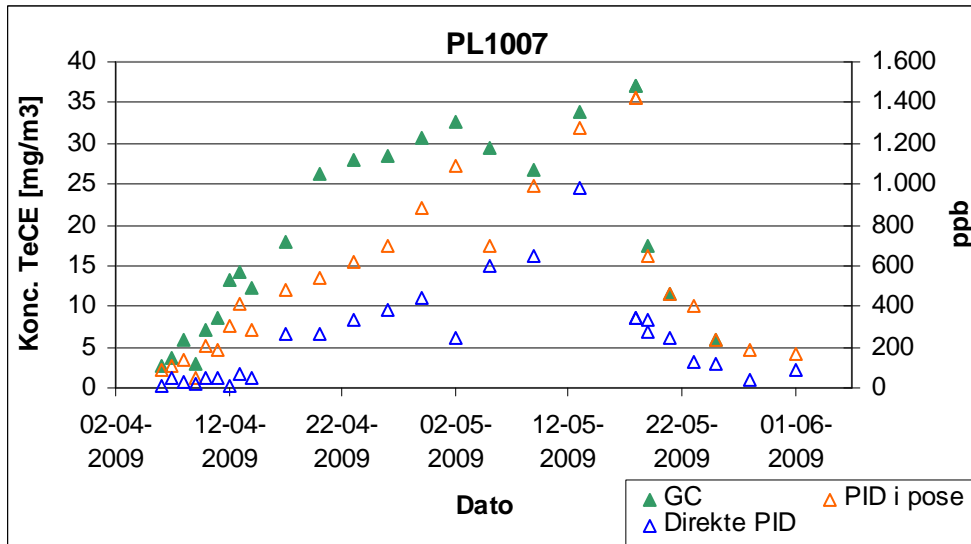
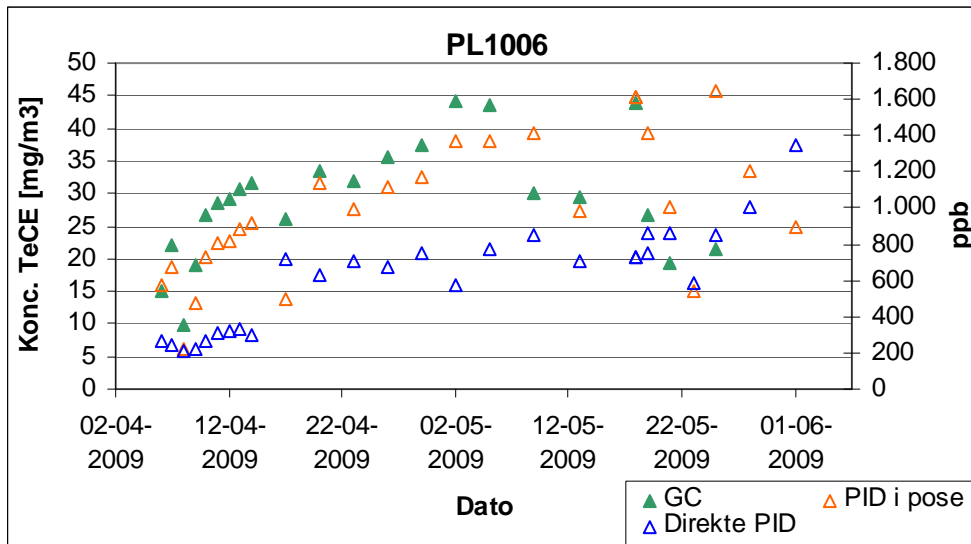
Moniteringsgrafer for felt-GC, PID i pose og Direkte PID







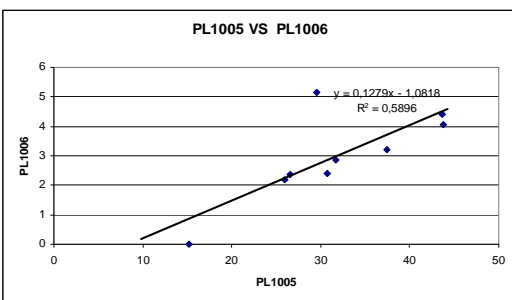
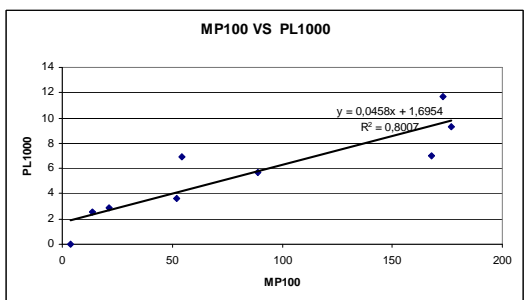
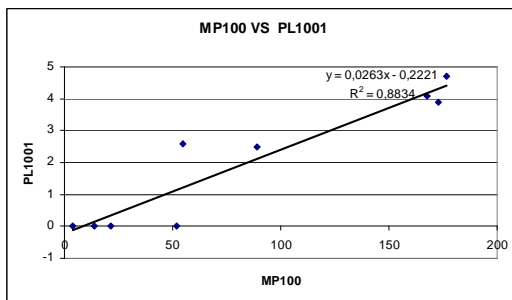
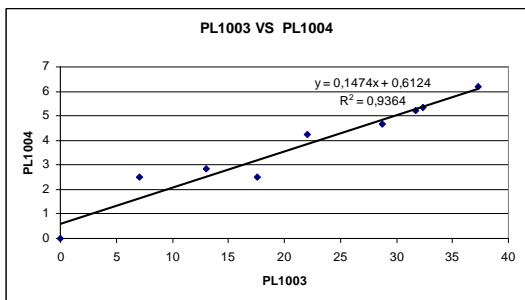
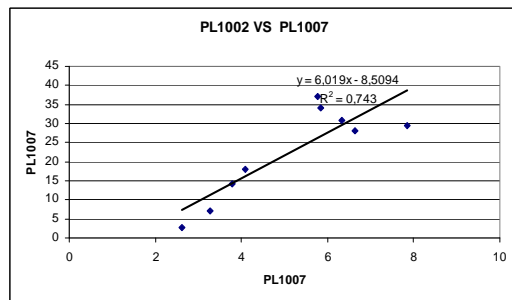
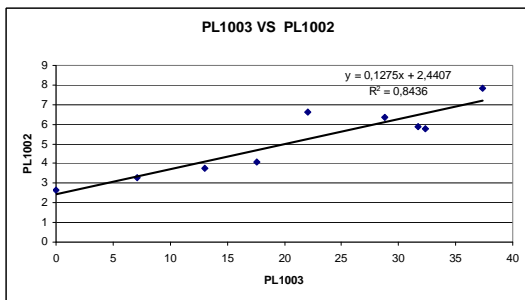
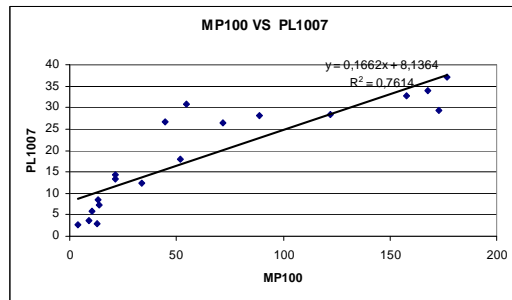
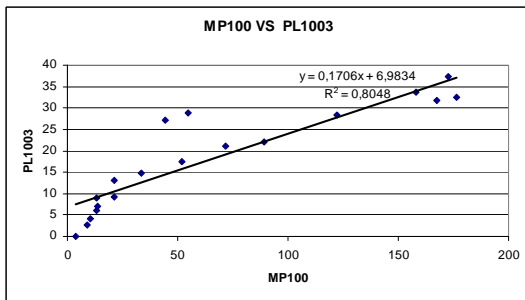
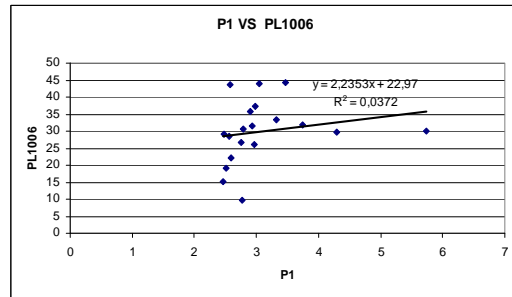
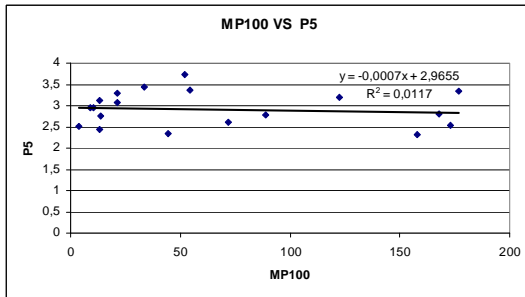


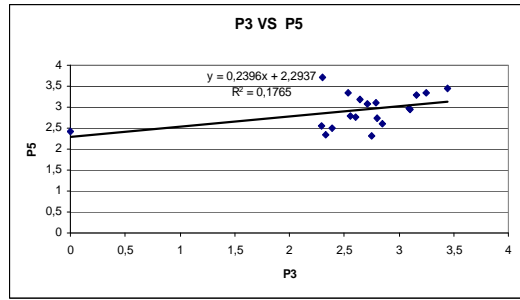
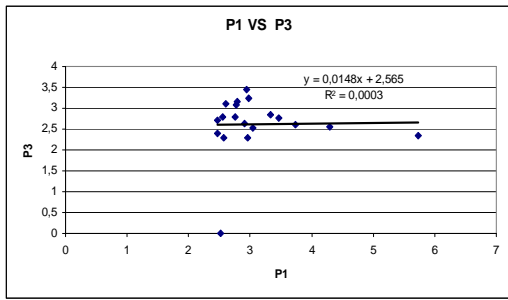


Bilag 5
Korrelationsplot mellem målepunkter

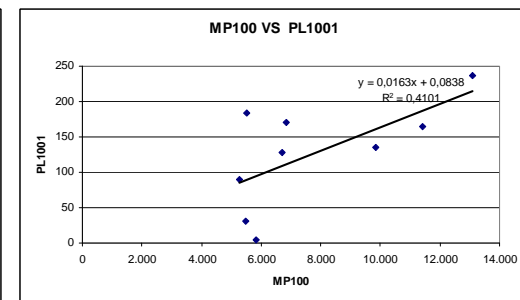
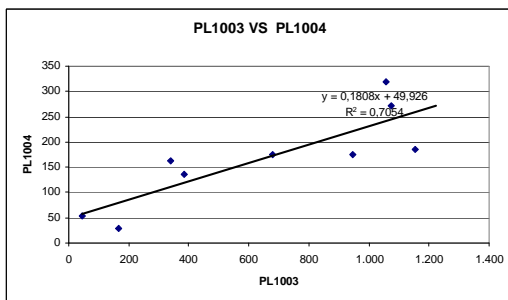
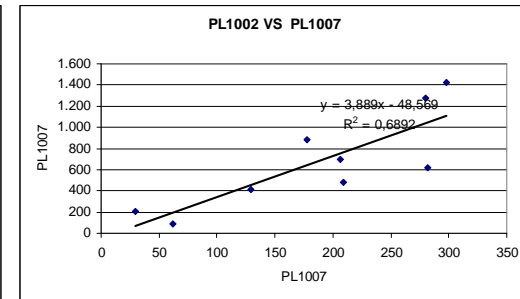
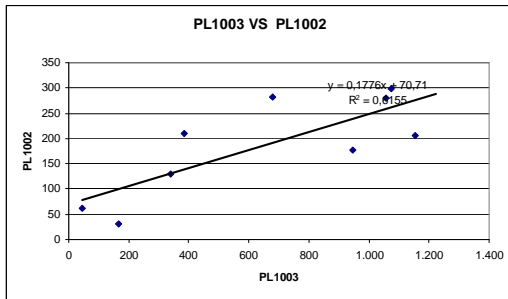
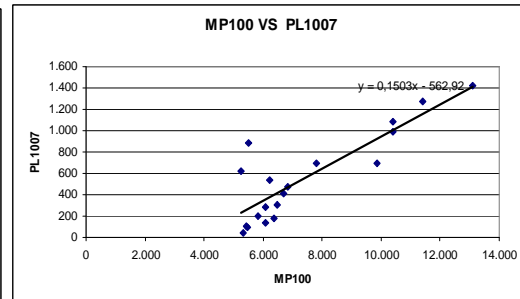
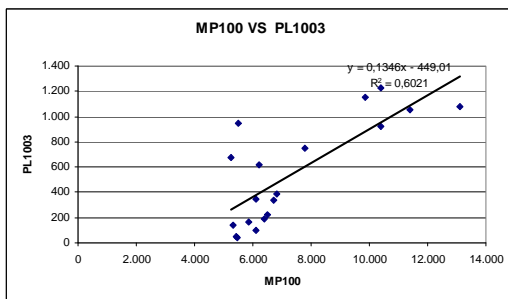
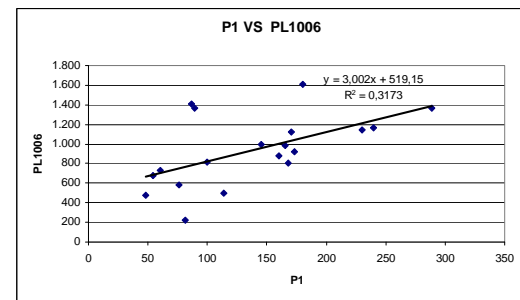
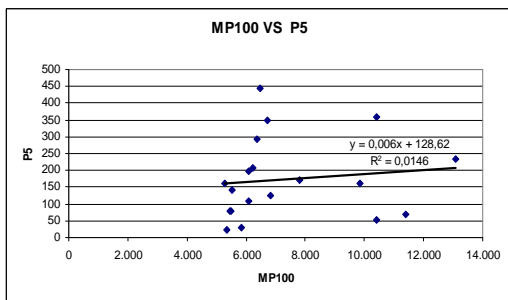
Korrelationsplot mellem målepunkter

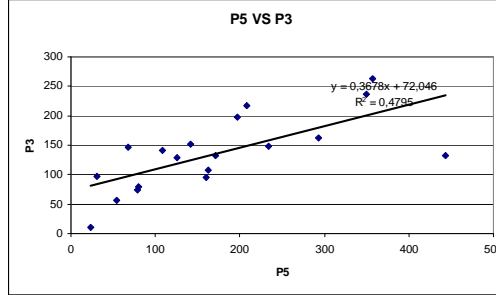
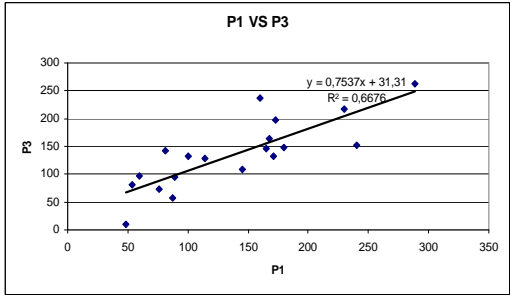
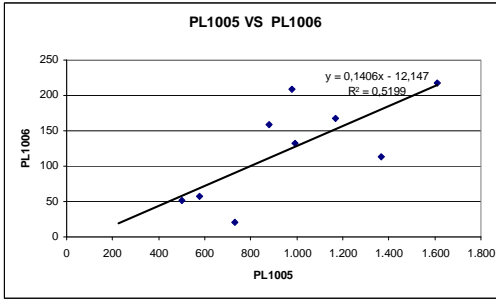
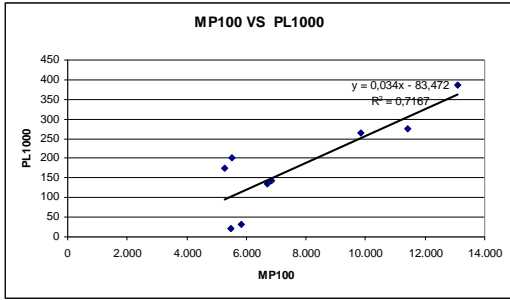
GC:



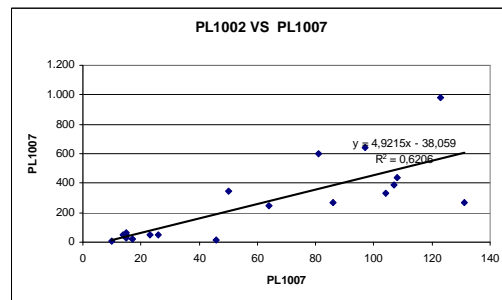
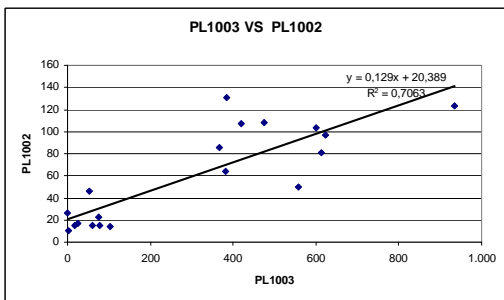
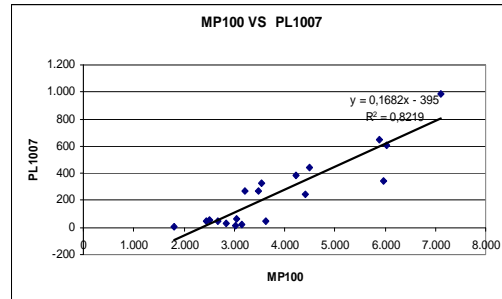
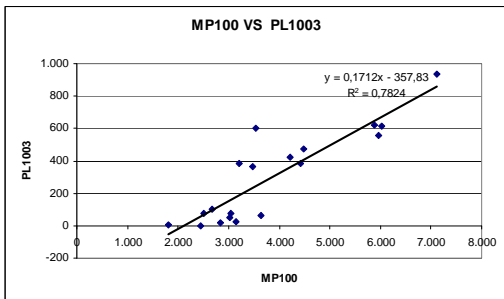
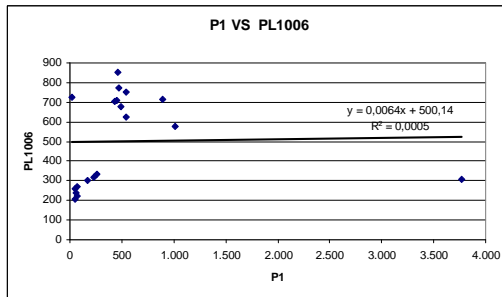
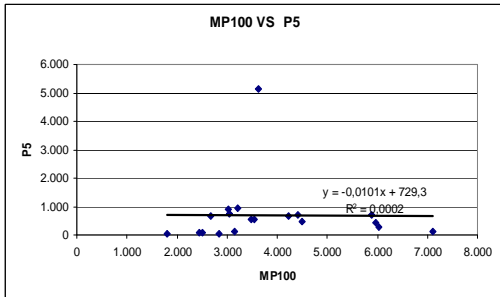


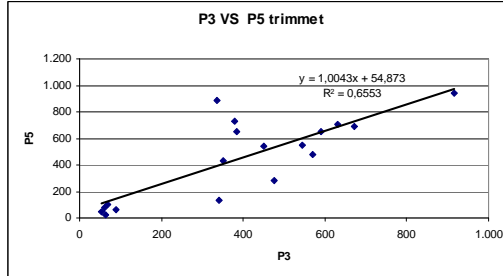
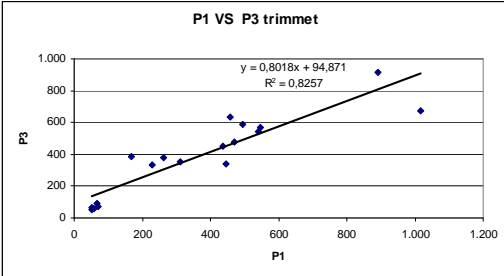
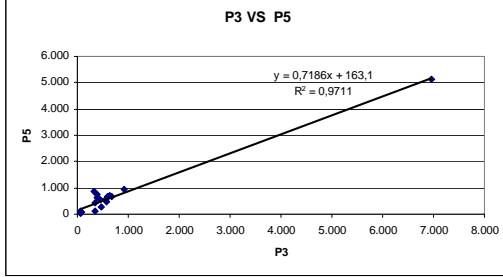
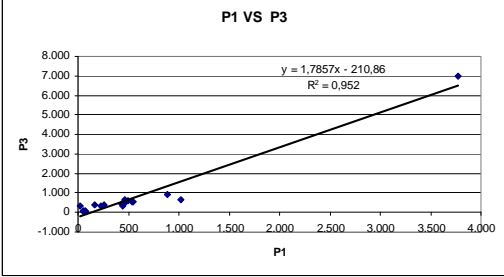
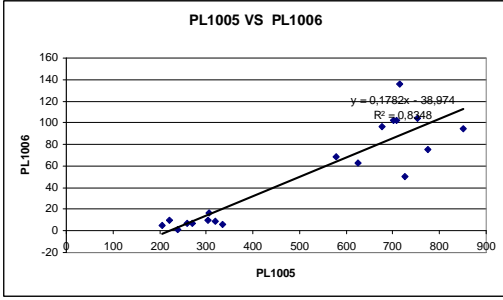
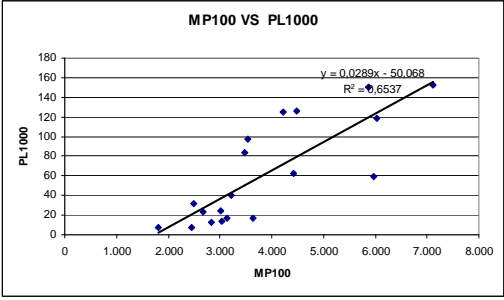
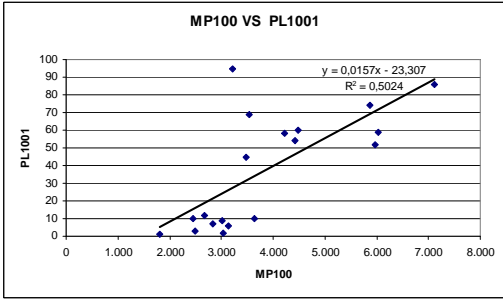
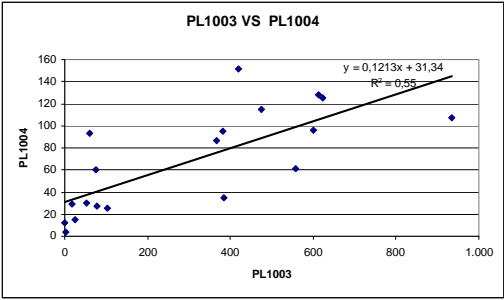
PID i pose:





Direkte PID:

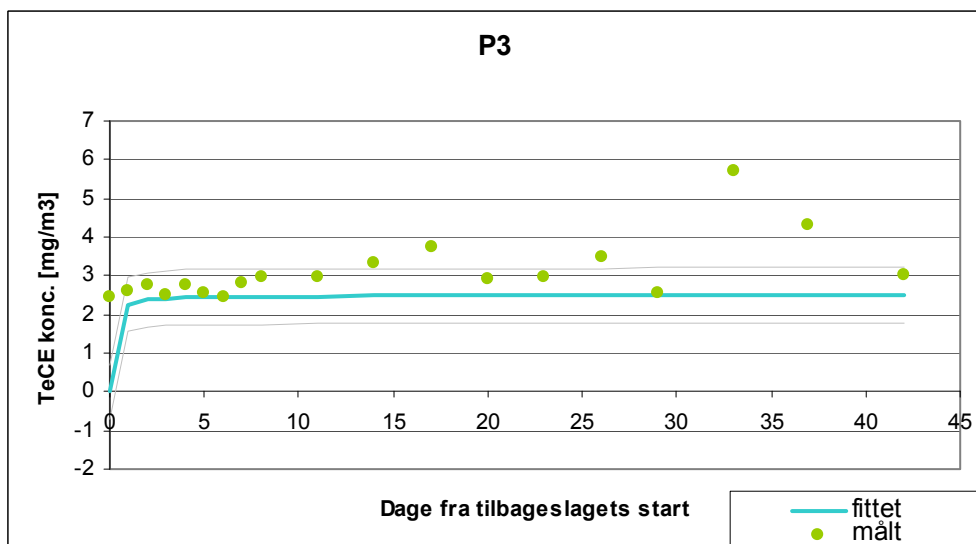
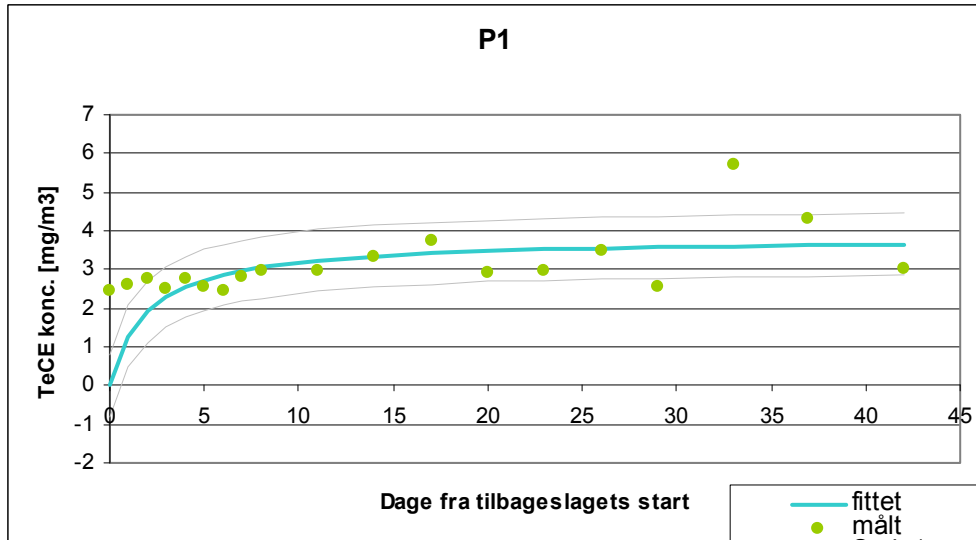


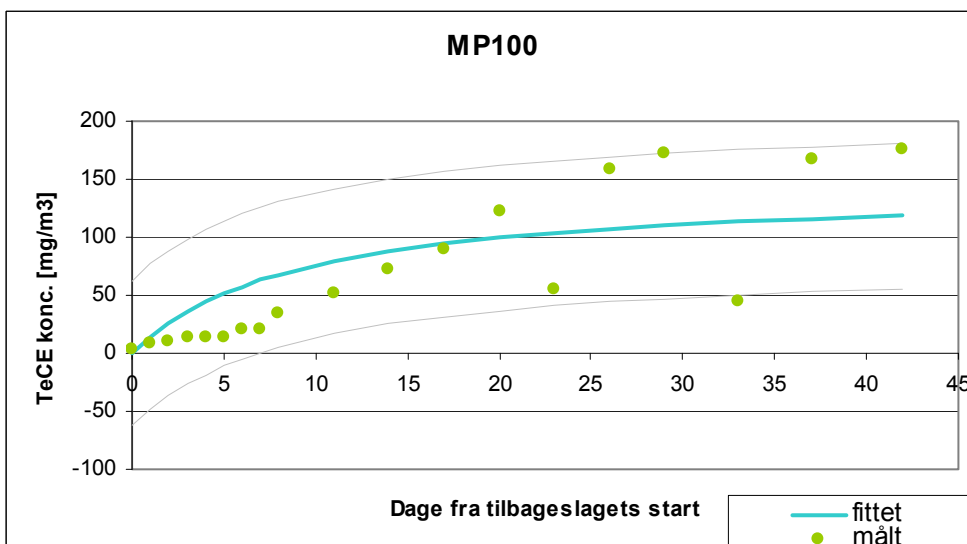
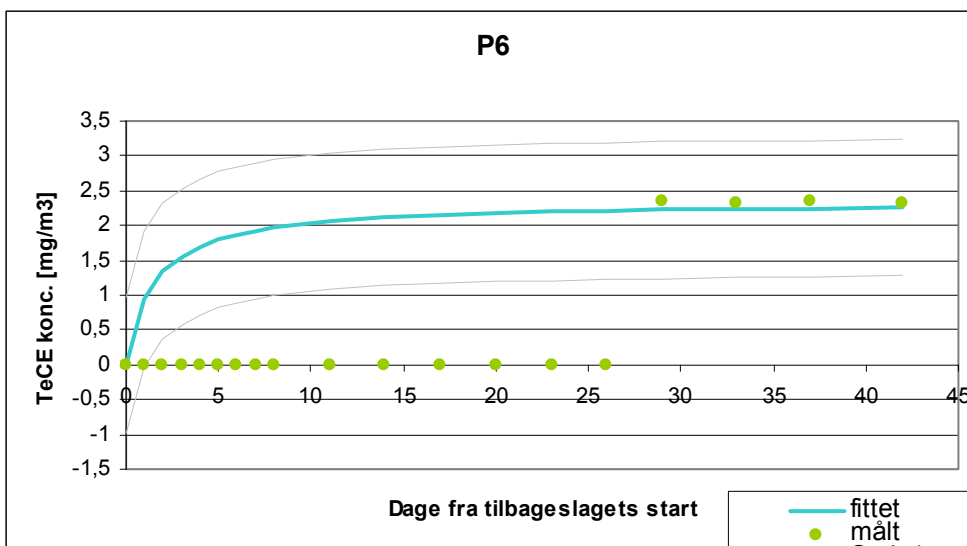
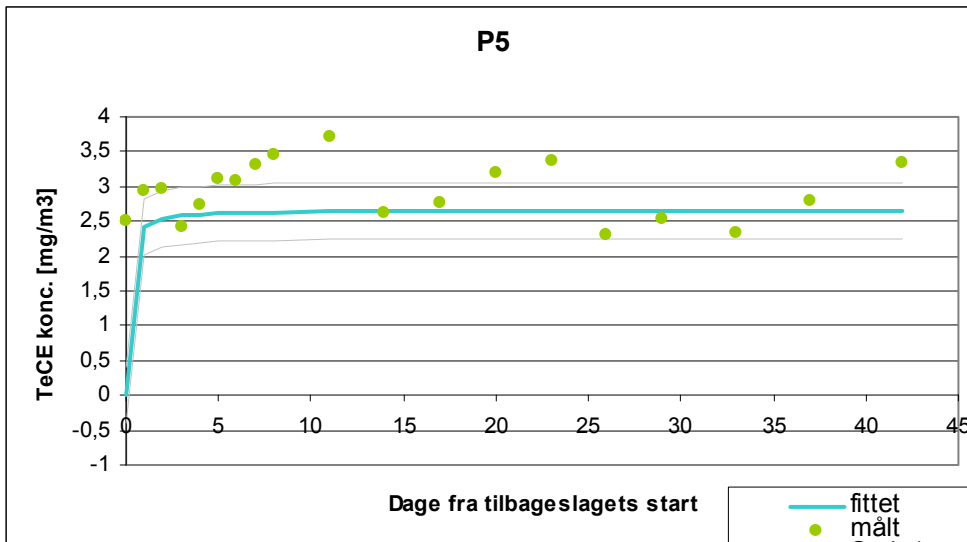


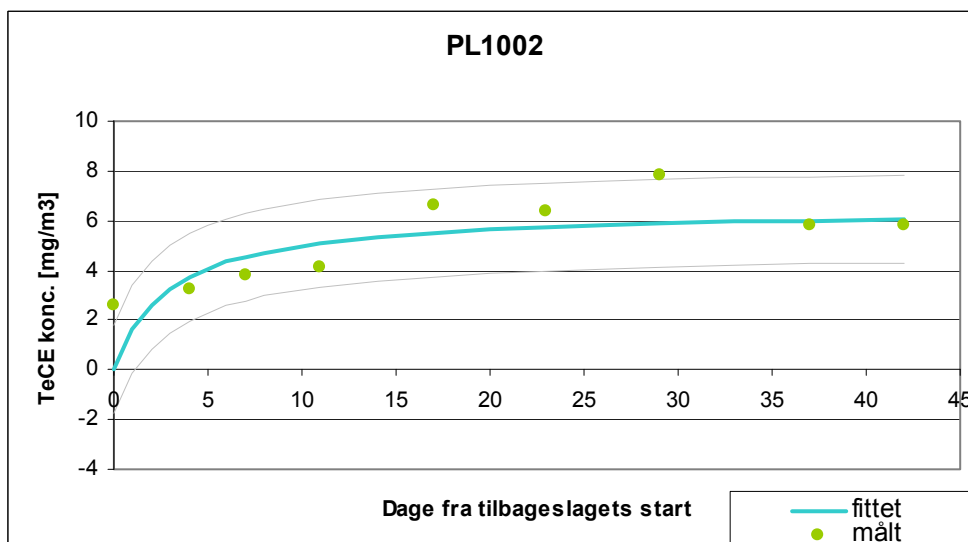
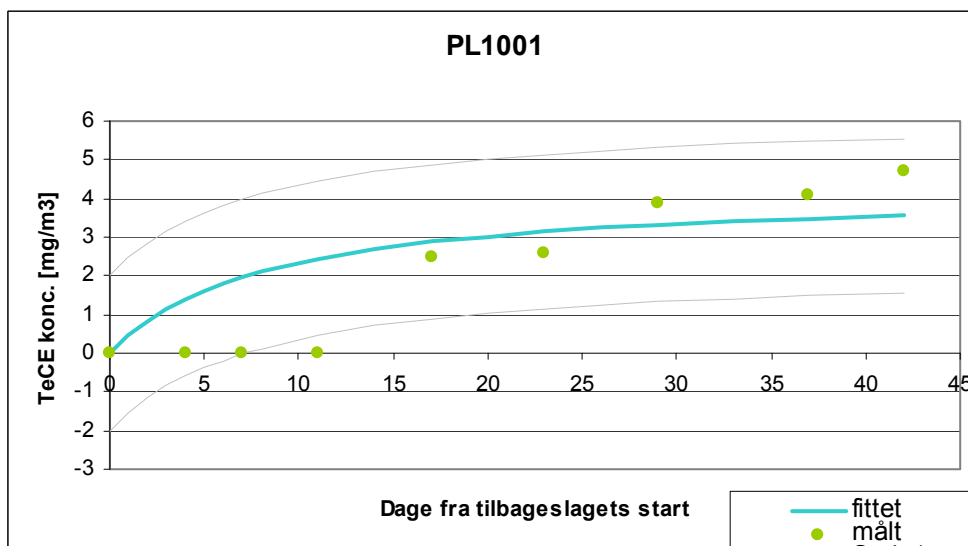
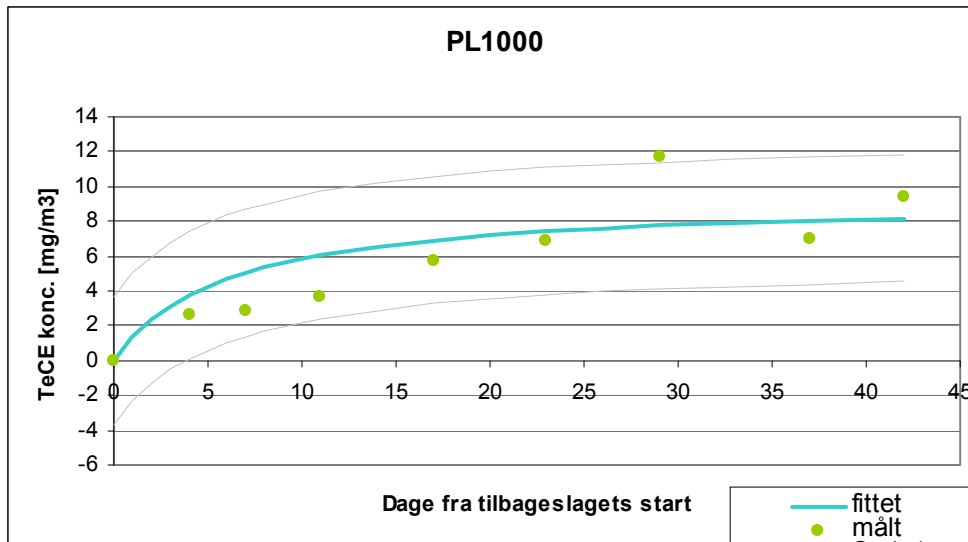
Bilag 6
Plot af modeltilpasning

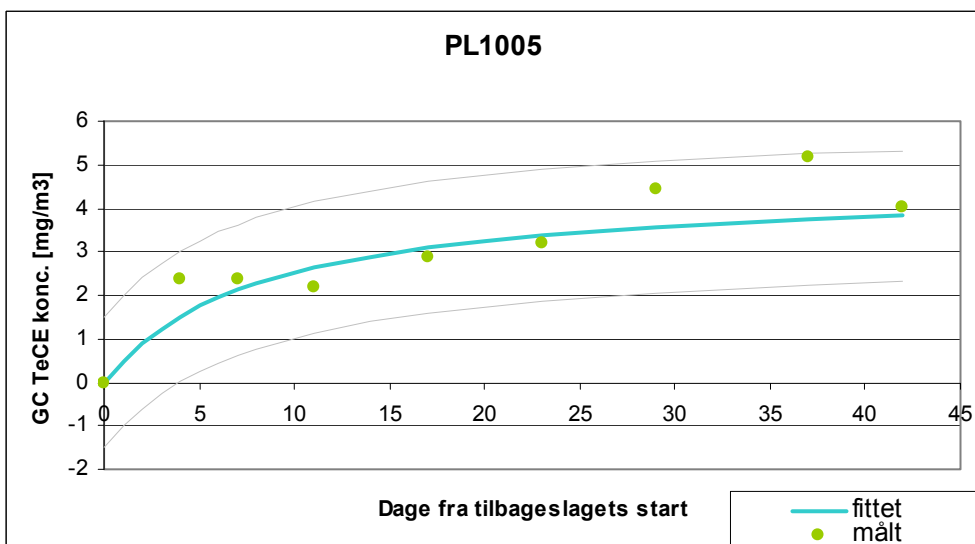
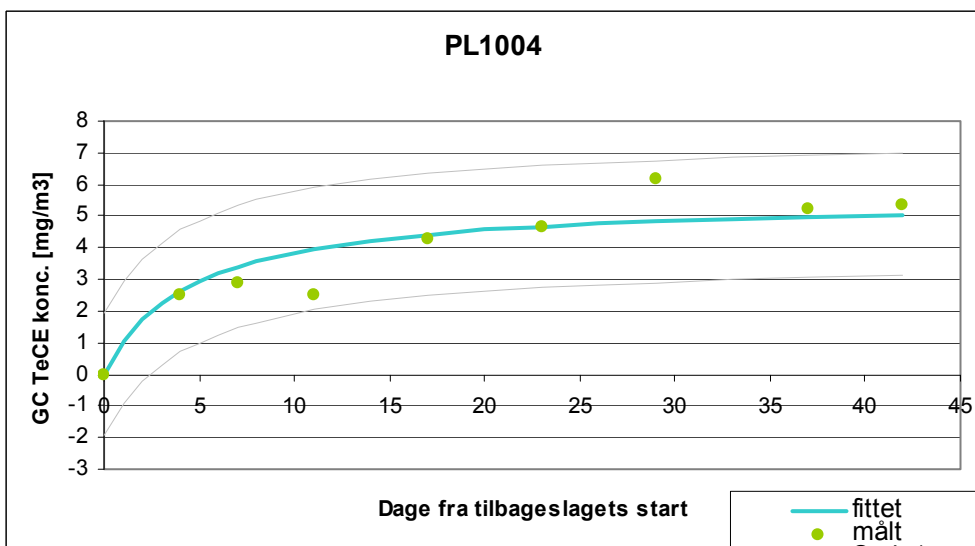
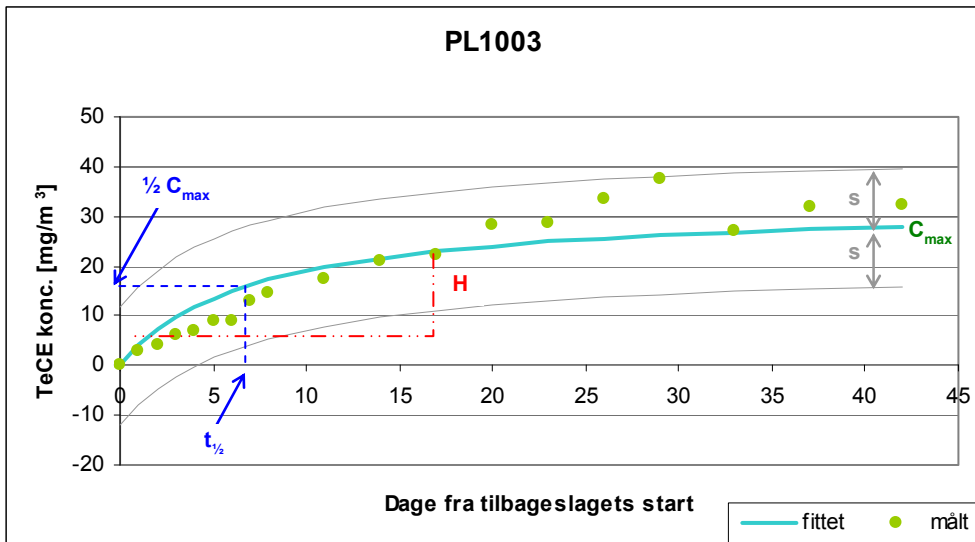
Plot af modeltilpasning

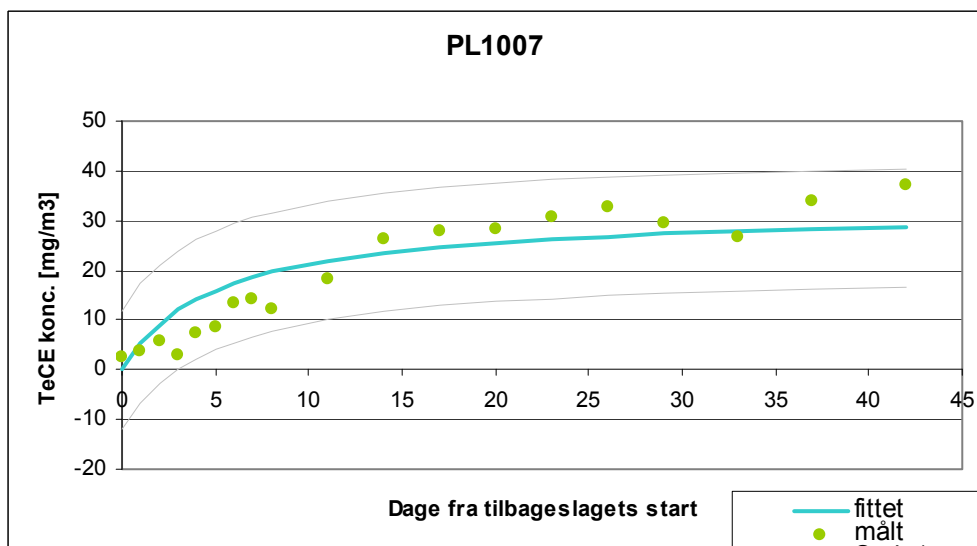
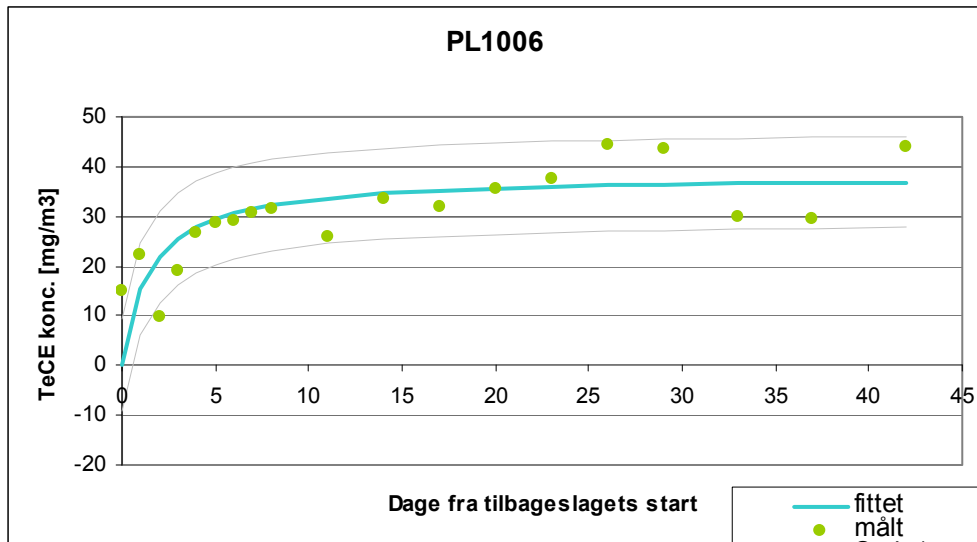
GC Langmuir:



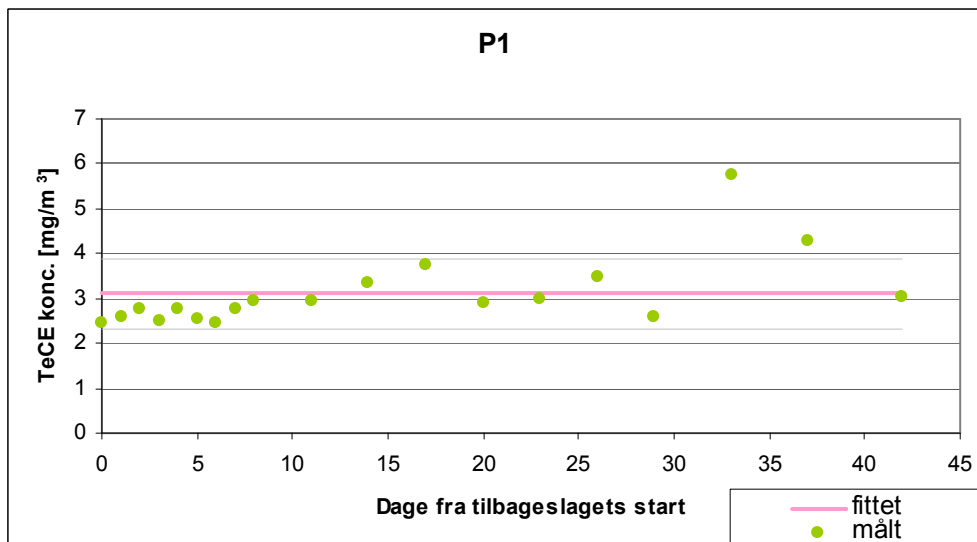


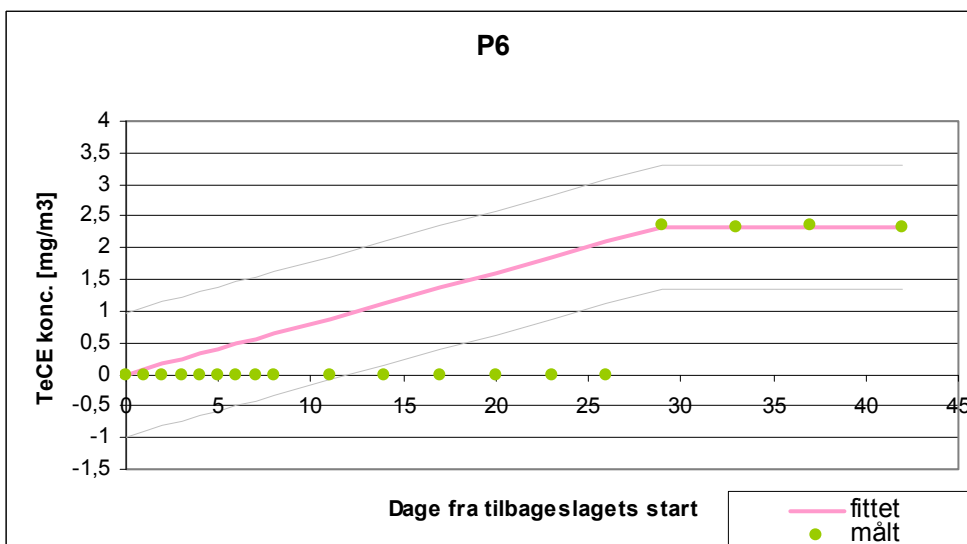
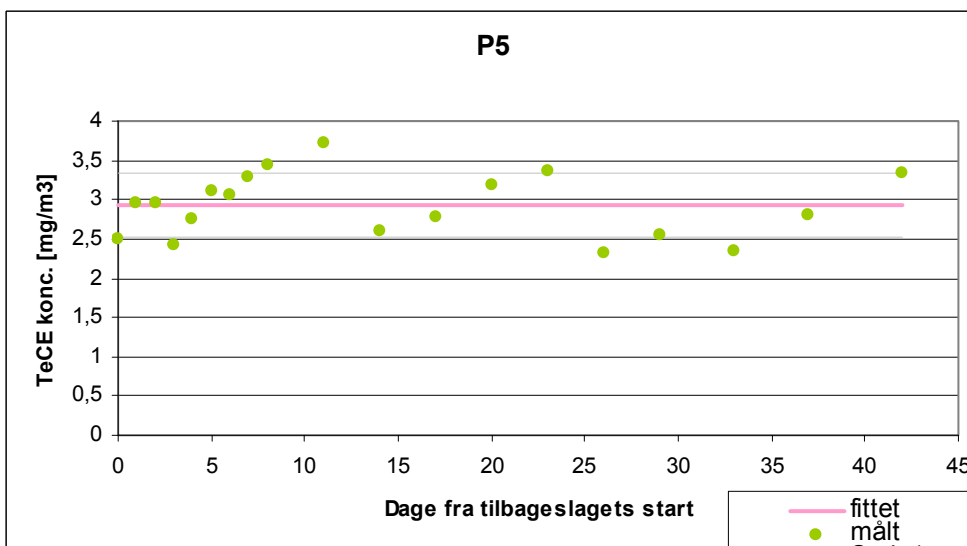
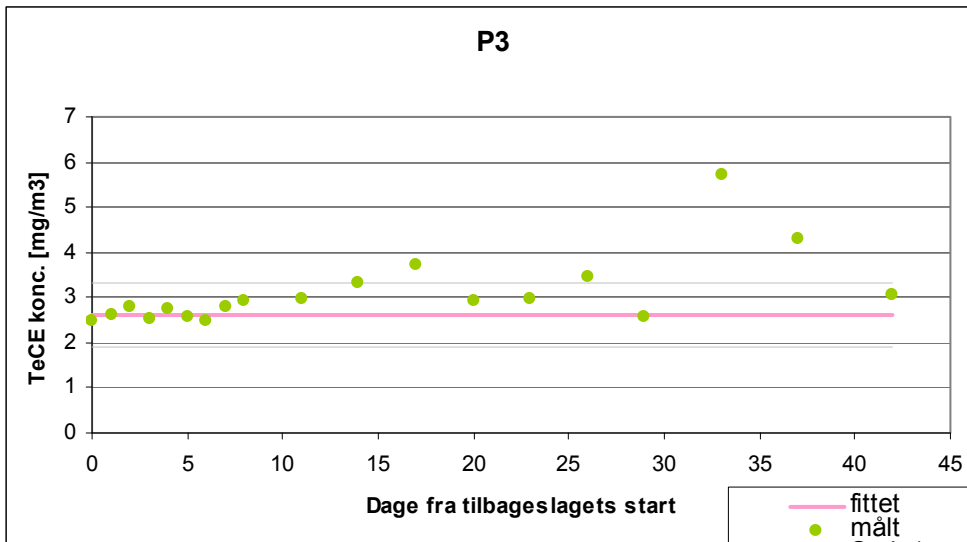


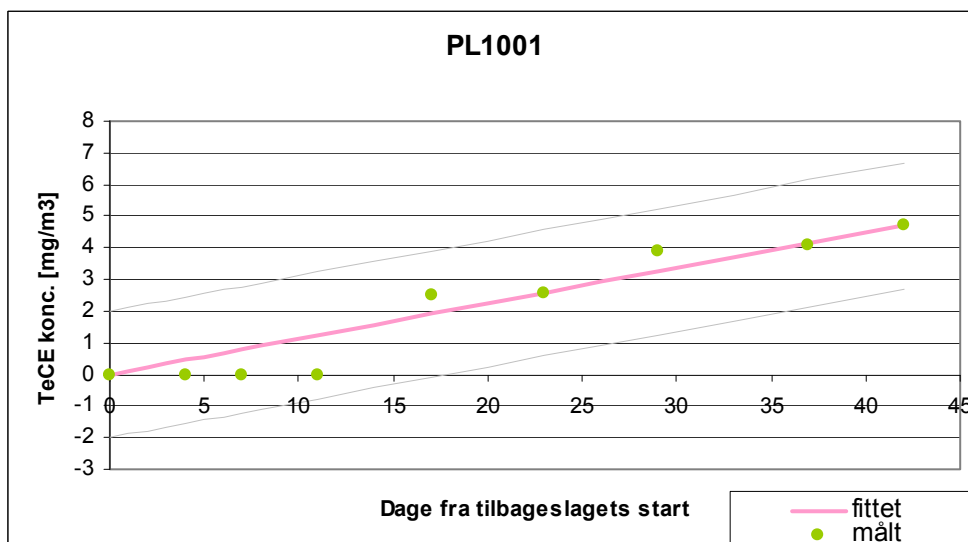
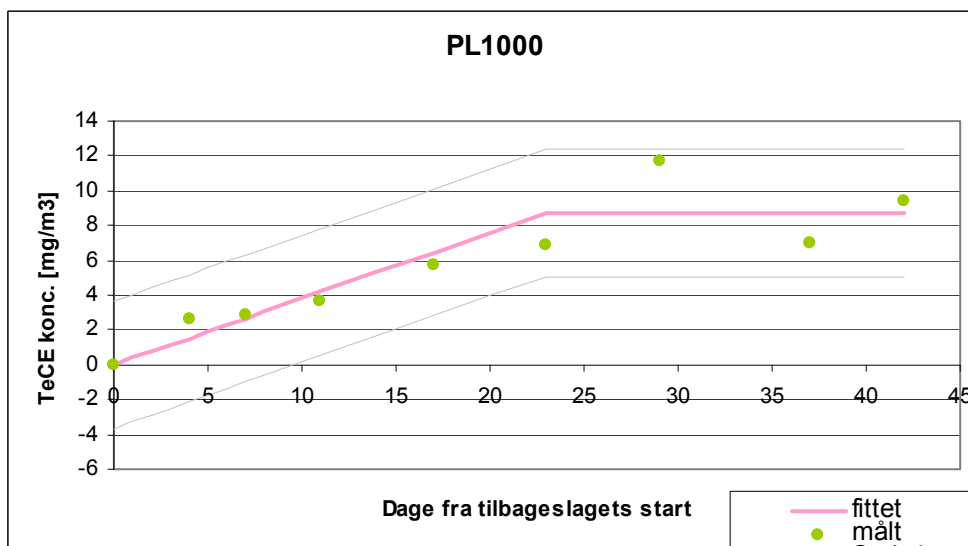
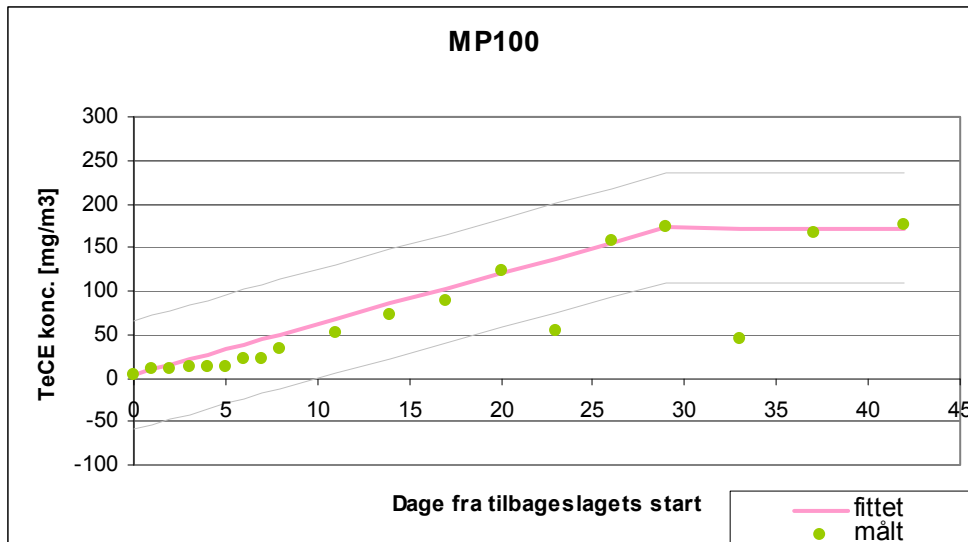


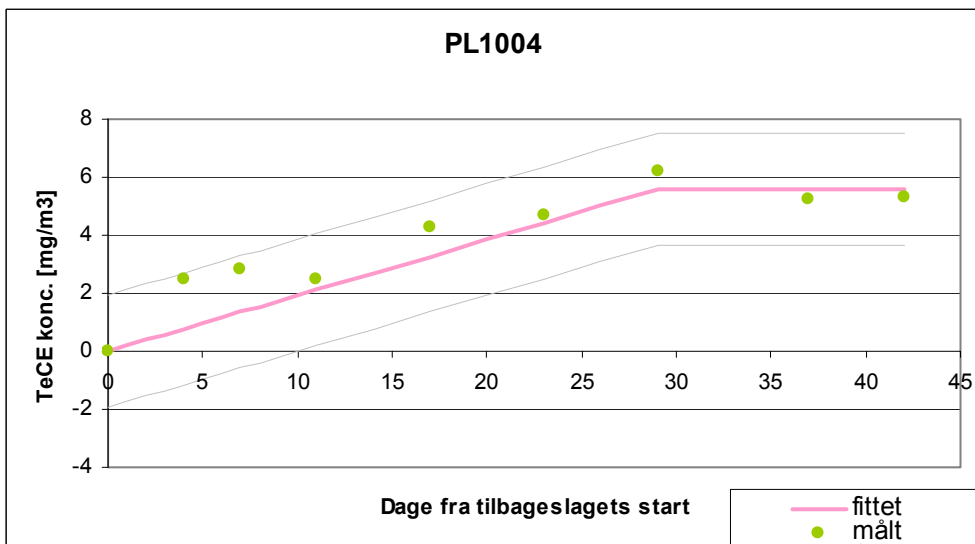
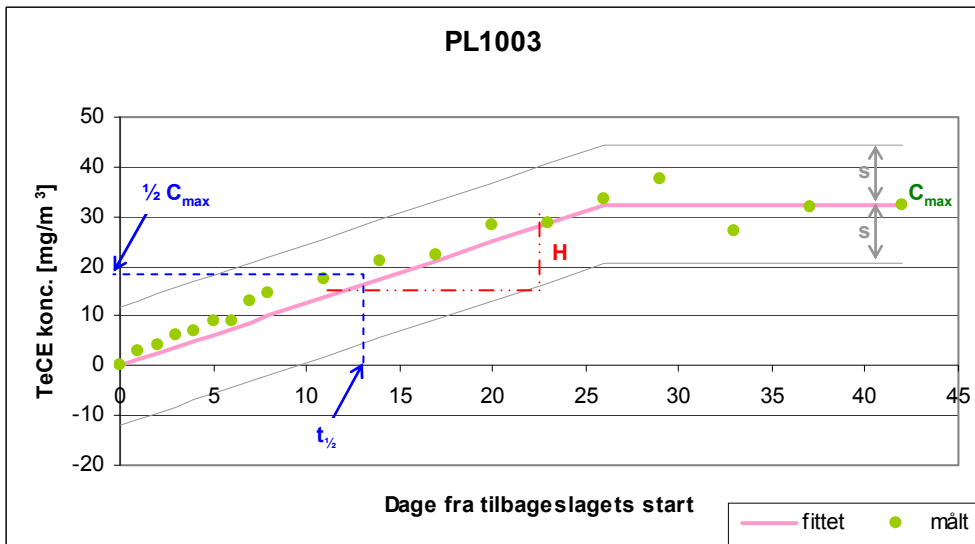
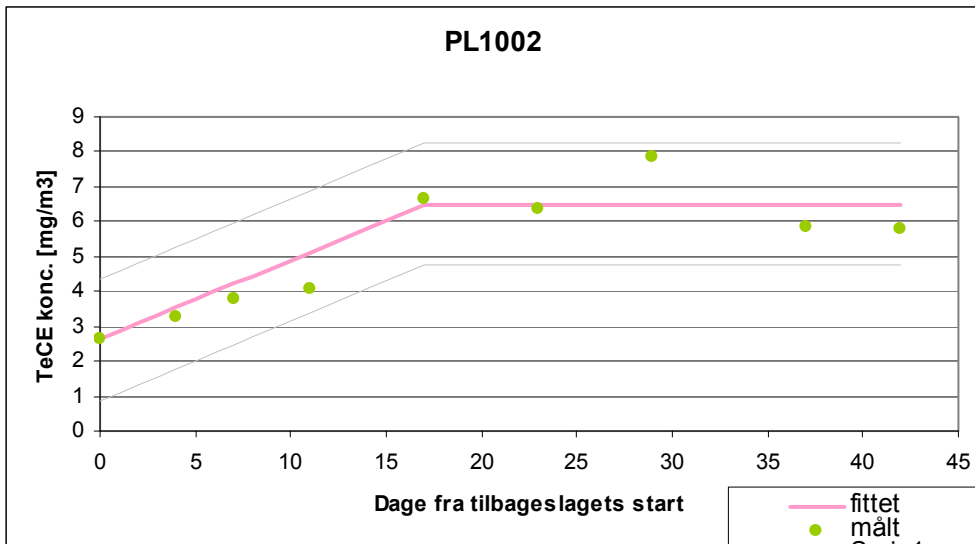


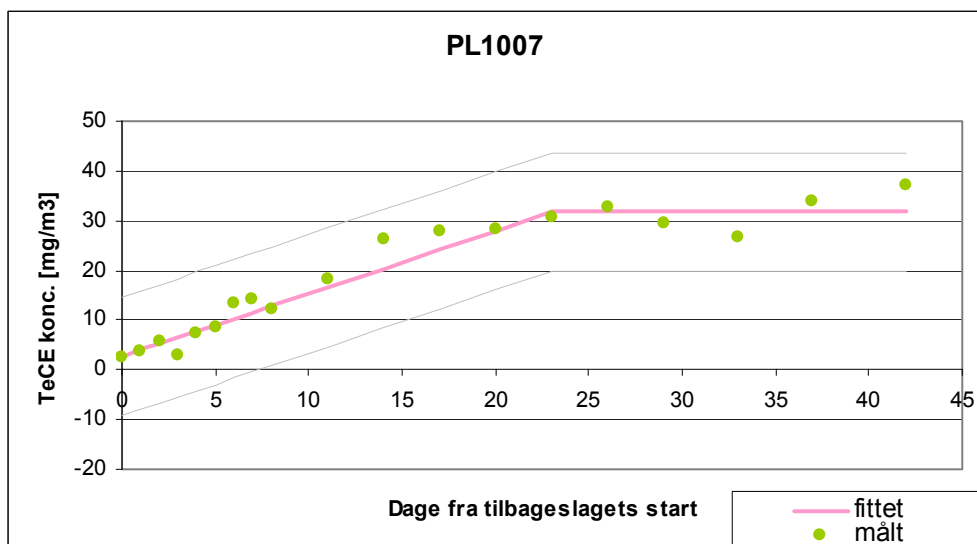
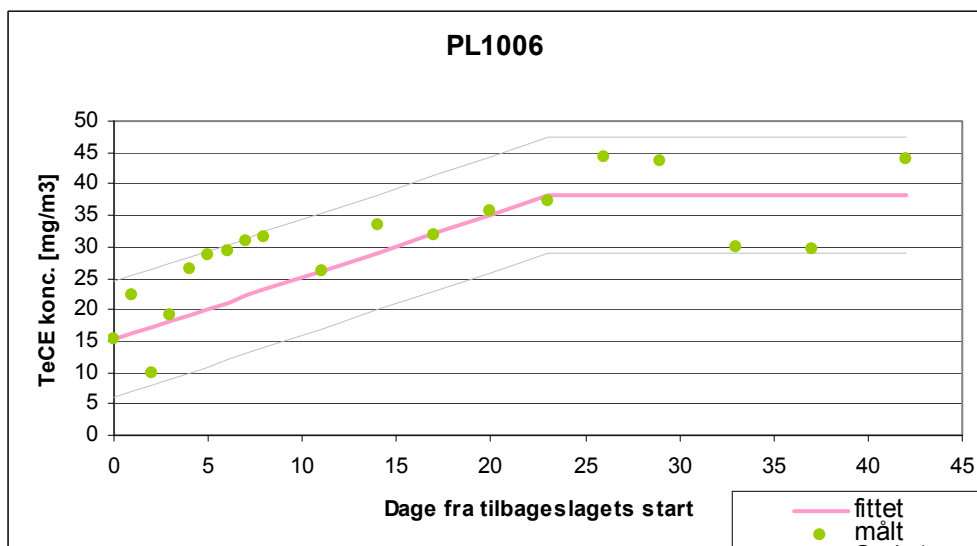
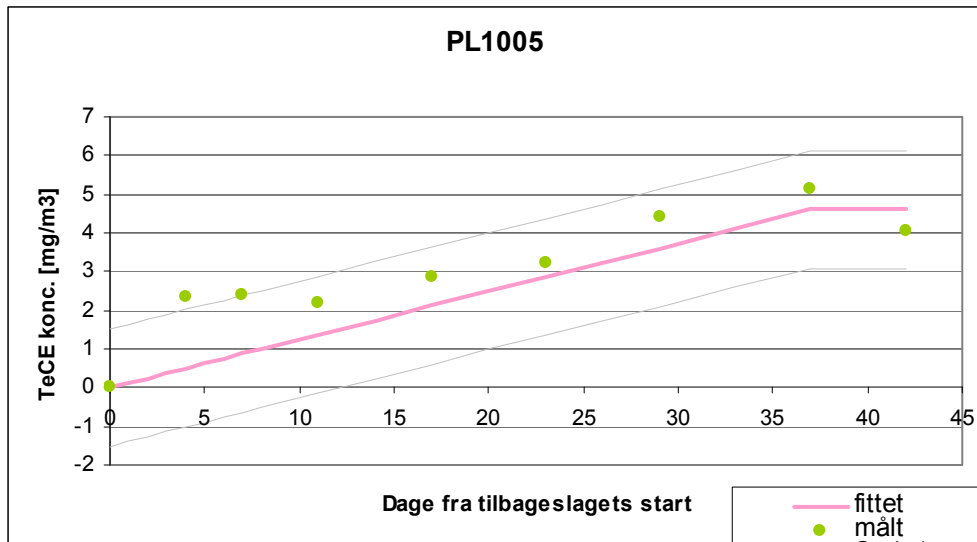
GC lineær:



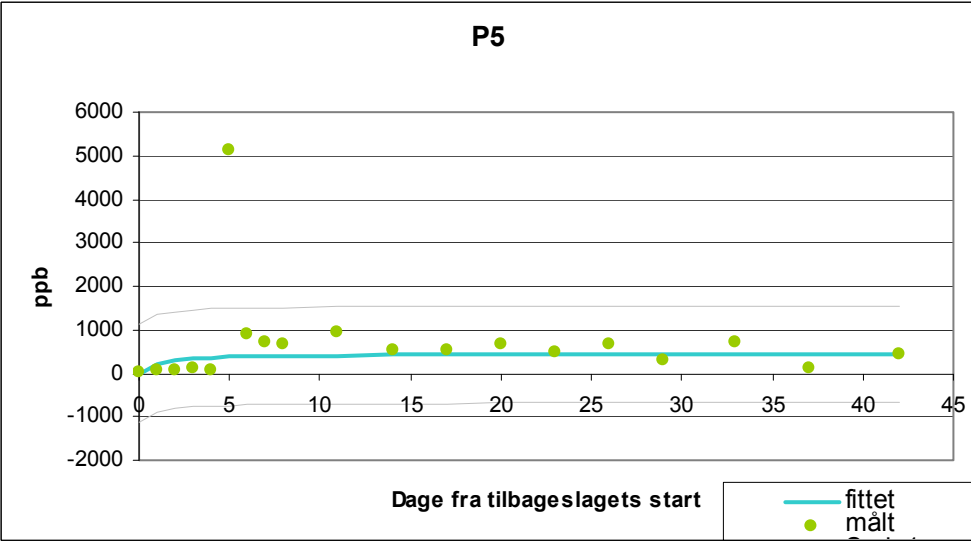
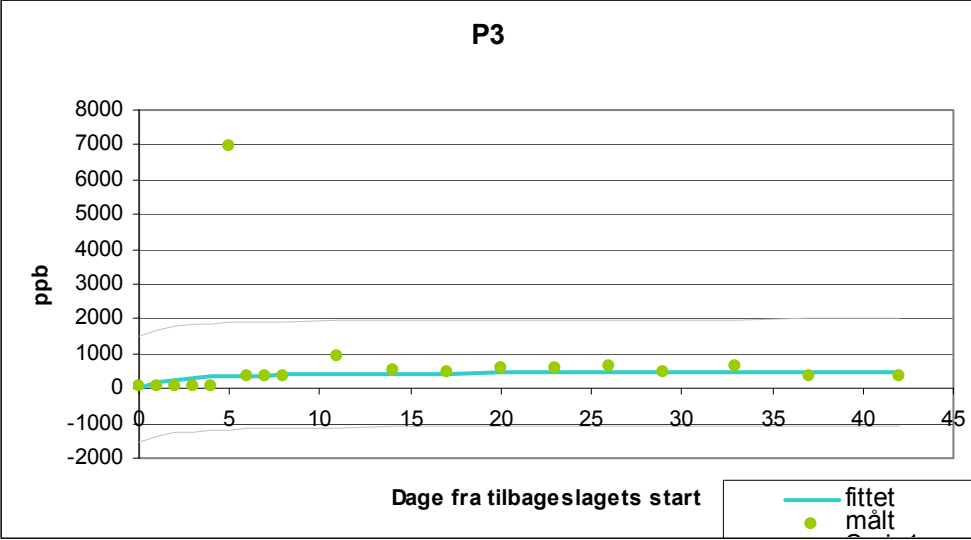
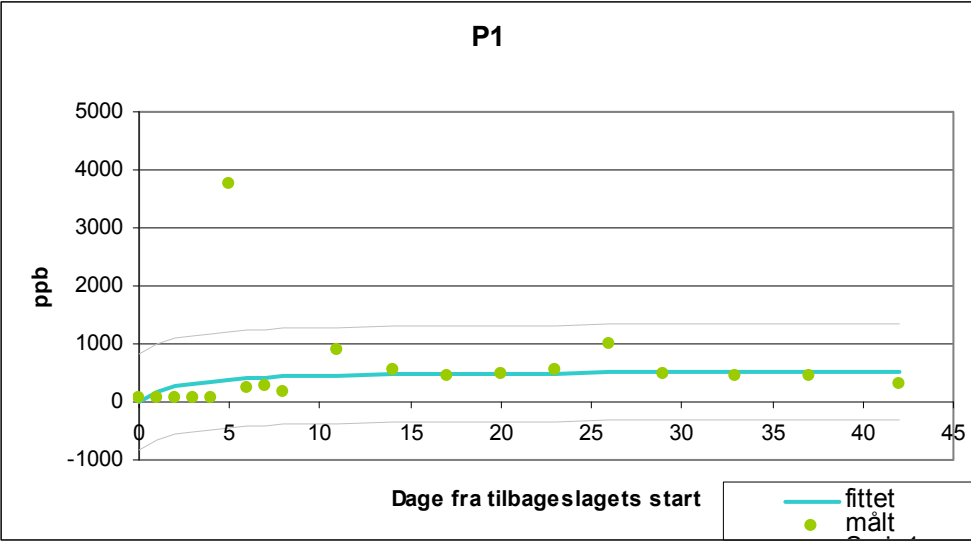


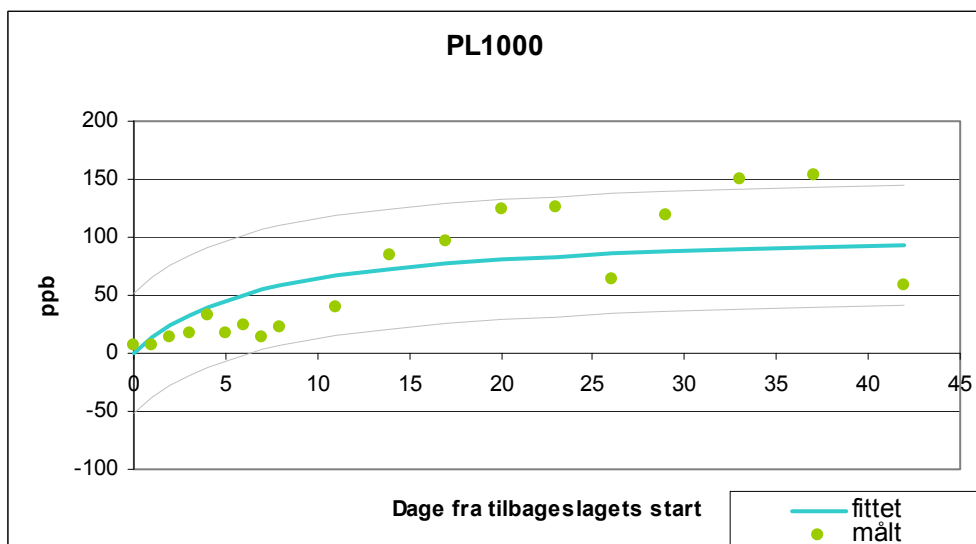
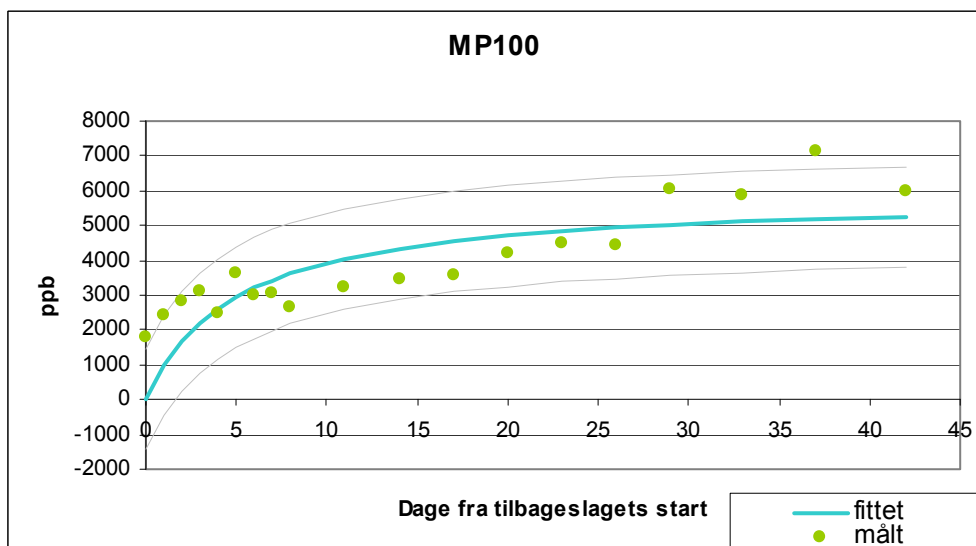
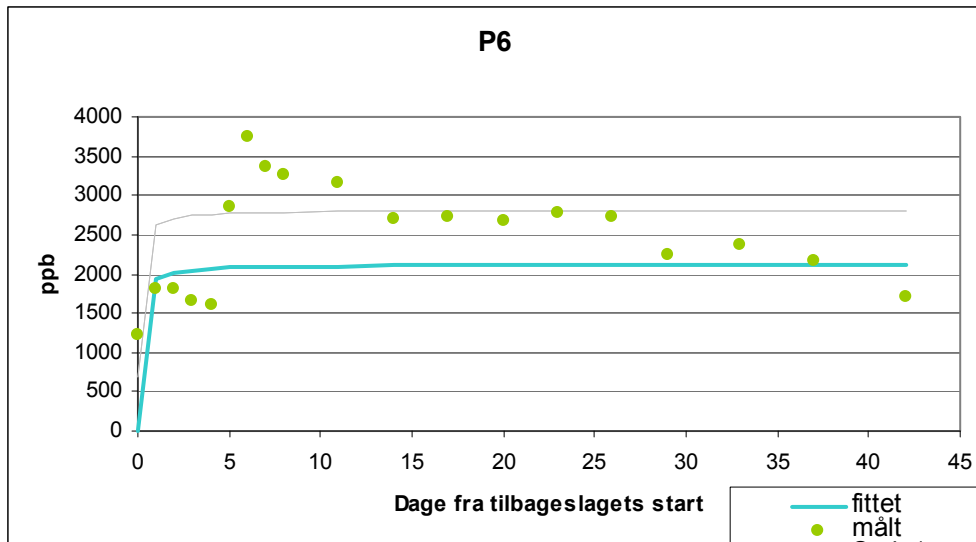


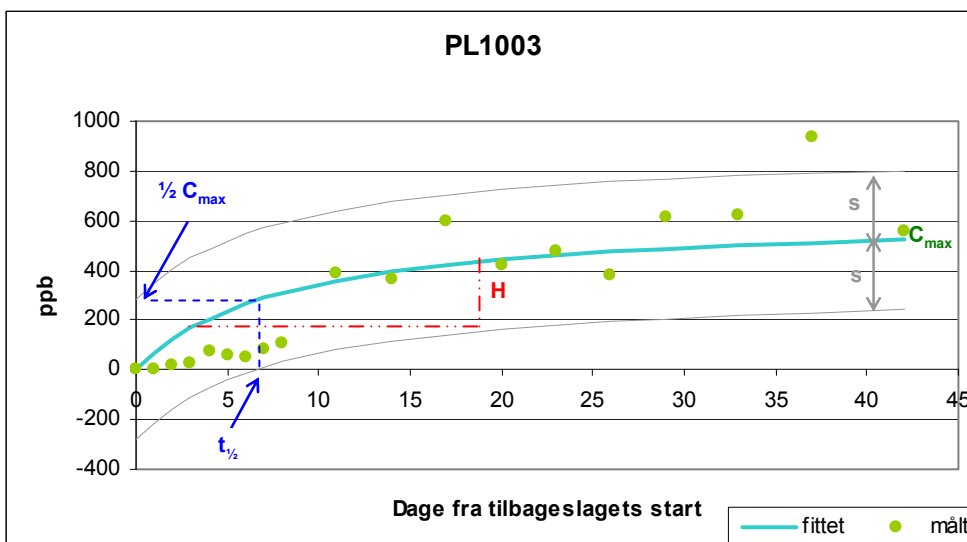
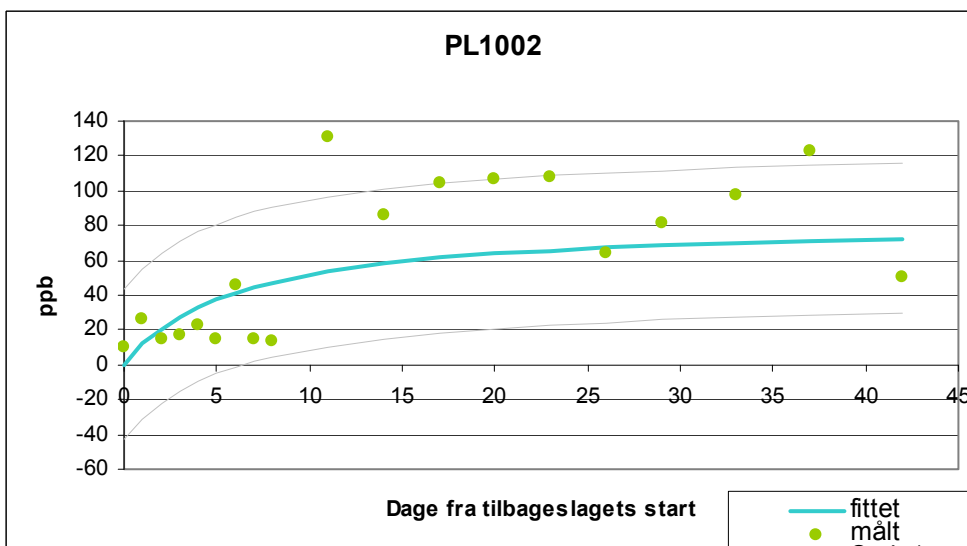
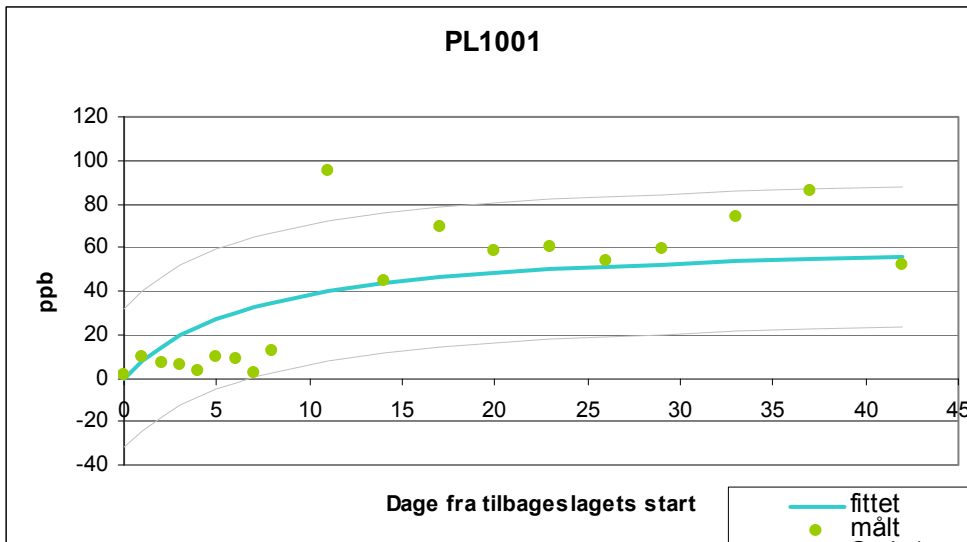


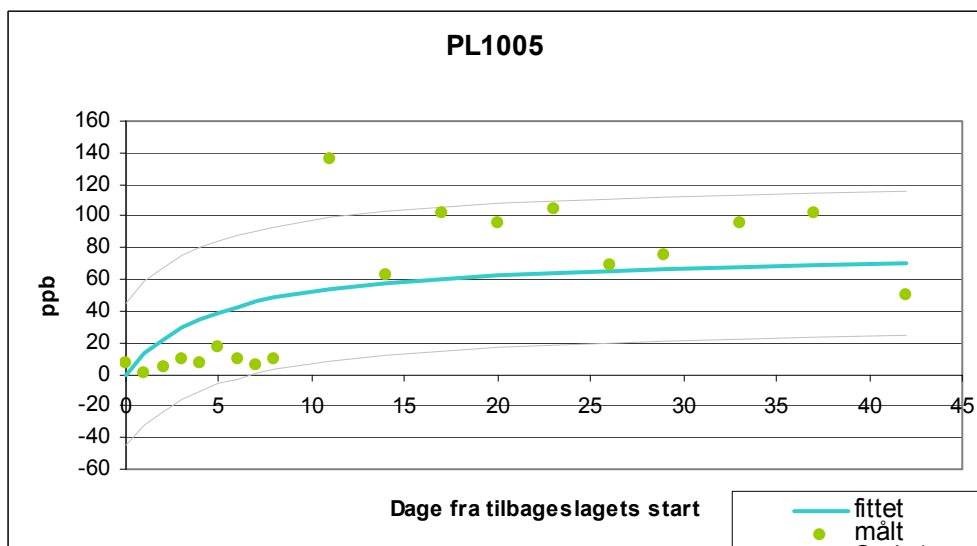
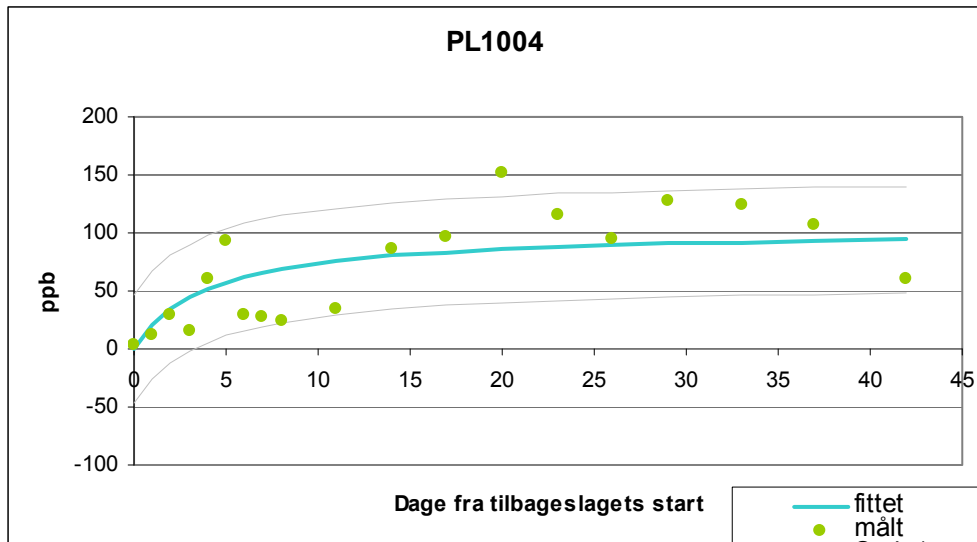


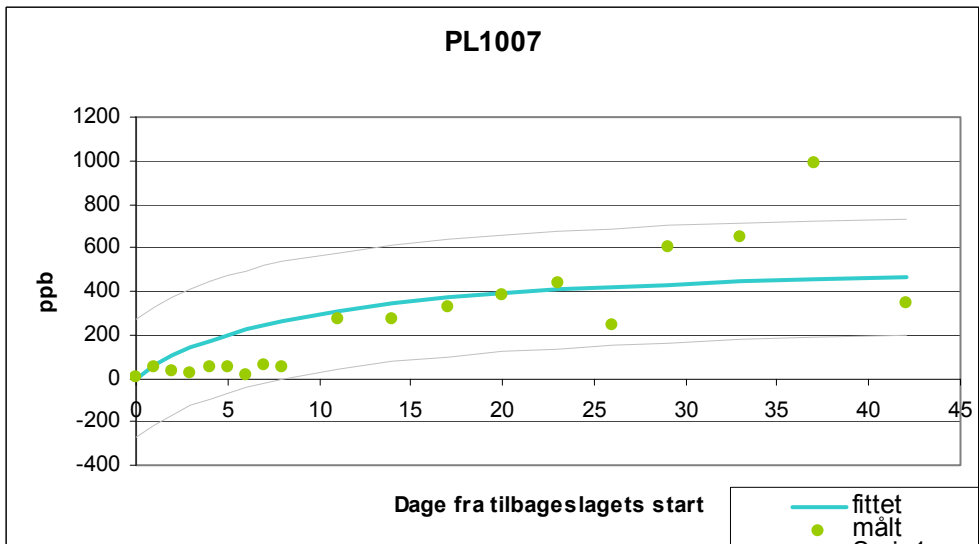
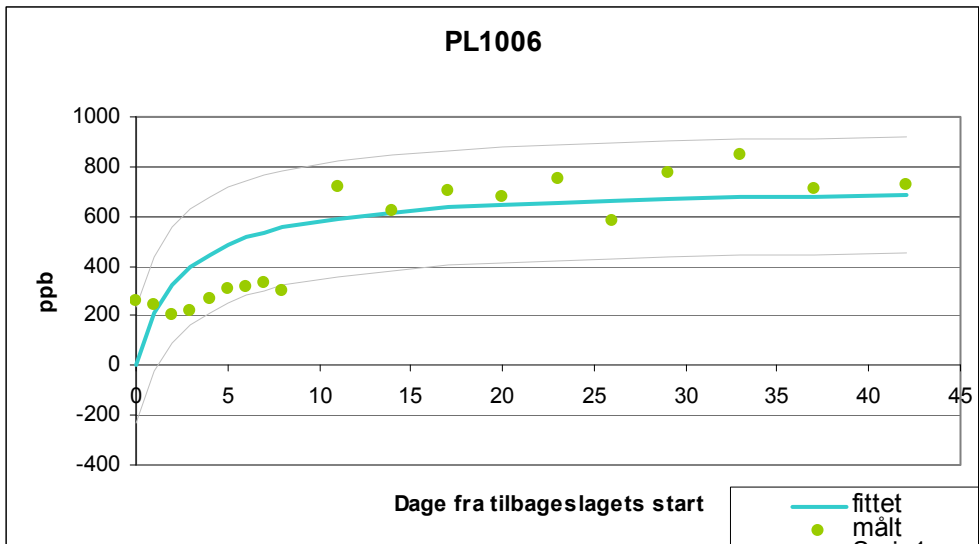
Direkte PID Langmuir:











Direkte PID lineær:

