

SV-702

LINER[®] – gasinjectie:
Eindresultaat full-scale sanering

dr. ir. E.C.L. Marnette
K.M.J. van den Brink
ir. C.H.J.E. Schuren

december 2003

Gouda, SKB

Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem

Auteursrechten

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze opgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van SKB.

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt, "©"LINER® – gasinjectie: Eindresultaat full-scale sanering", december 2003, SKB, Gouda."

Aansprakelijkheid

SKB en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en SKB sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens SKB en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

Copyrights

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording and/or otherwise, without the prior written permission of SKB.

It is allowed, in accordance with article 15a Netherlands Copyright Act 1912, to quote data from this publication in order to be used in articles, essays and books, unless the source of the quotation, and, insofar as this has been published, the name of the author, are clearly mentioned, "©"LINER®- gas injection: Final result of full-scale remediation", December 2003, SKB, Gouda, The Netherlands."

Liability

SKB and all contributors to this publication have taken every possible care by the preparation of this publication. However, it can not be guaranteed that this publication is complete and/or free of faults. The use of this publication and data from this publication is entirely for the user's own risk and SKB hereby excludes any and all liability for any and all damage which may result from the use of this publication or data from this publication, except insofar as this damage is a result of intentional fault or gross negligence of SKB and/or the contributors.

Titel rapportLINER[®] – gasinjectie: Eindresultaat full-scale sanering**SKB rapportnummer**

SV-702

Project rapportnummer

SV-702

Auteur(s)

dr. ir. E.C.L. Marnette

K.M.J. van den Brink

ir. C.H.J.E. Schuren

Aantal bladzijden**Rapport:** 24**Bijlagen:** 51

Uitvoerende organisatie(s) (Consortium)

Hoek Loos B.V. (A.M.P.J. van Loon)

Philips VB&D Beheer (F.B. Melgert)

Provincie Overijssel (ing. A.W.J. Brand)

Tauw bv (ir. C.H.J.E. Schuren)

Uitgever

SKB, Gouda

Samenvatting

In dit SKB-project is de LINER[®] techniek op full-scale gedemonstreerd. Het doel van het project is om aan te tonen dat LINER[®] een volwaardige techniek is voor de stimulatie van biologische afbraak van VOCl. LINER[®] staat voor Liquid Nitrogen Enhanced Remediation en is een techniek om substraat toe te dienen aan de bodem. Het principe van LINER[®] berust op de verneveling van substraat dat door middel van stikstofgas als dragergas in de bodem wordt geïnjecteerd. In vergelijking met technieken die berusten op injectie van vloeistoffen, is de verspreiding van substraat door middel van LINER[®] beter en is er minder kans op verstopping van injectiefilters.

Voorlopige resultaten van de full-scale laten zien dat al een groot deel van de CKW-omzetting op gang gekomen is en de omzetting volledig naar etheen verloopt.

Trefwoorden**Gecontroleerde termen**

biodegradatie, invloedstraal, stimulatie, substraat, VOCL

Vrije trefwoorden

gasinjectie, LINER, LINER-gasinjectie

Titel projectLINER[®] – gasinjectie: Eindresultaat full-scale sanering**Projectleiding**

Tauw bv (ir. C.H.J.E. Schuren 0570-699591)

Dit rapport is verkrijgbaar bij:

SKB, Postbus 420, 2800 AK Gouda

Report title
LINER®- gas injection: Final result of full-scale remediation

SKB report number
SV-702

Project report number
SV-702

Author(s)
dr. ir. E.C.L. Marnette
K.M.J. van den Brink
ir. C.H.J.E. Schuren

Number of pages
Report: 24
Appendices: 51

Executive organisation(s) (Consortium)

Hoek Loos B.V. (A.M.P.J. van Loon)
Philips VB&D Beheer (F.B. Melgert)
Provincie Overijssel (ing. A.W.J. Brand)
Tauw bv (ir. C.H.J.E. Schuren)

Publisher
SKB, Gouda

Abstract

This SKB-project demonstrated LINER® technology at full scale. The project was intended to show that LINER® is a fully-fledged technique for the stimulation of biological degradation of VOCl. LINER® stands for Liquid Nitrogen Enhanced Remediation and is a technique for introducing a substrate into the soil. The principle behind LINER® lies in the atomisation of substrate that is mixed with nitrogen, a carrying gas, and injected into the soil. In comparison with techniques that rely on the injection of liquids, the spreading of substrate when using LINER® is better and there is less chance of blockages in the injection filters. Preliminary results of the full-scale project reveal that a large part of the chlorinated hydrocarbon conversion has started and complete conversion into ethene is taking place.

Keywords

Controlled terms

biodegradation, range of influence, stimulation,
substrate, VOCL

Uncontrolled terms

gas injection, LINER,
LINER-gas injection

Project title
LINER®- gas injection: Final result of full-scale remediation

Projectmanagement
Tauw bv (ir. C.H.J.E. Schuren 0570-
699591)

This report can be obtained by: SKB, PO Box 420, 2800 AK Gouda, The Netherlands
Netherlands Centre for Soil Quality Management and Knowledge Transfer (SKB)

VOORWOORD

In de voorliggende rapportage worden de resultaten gepresenteerd van de vorderingen van de full-scale LINER[®] sanering op een met CKW-verontreinigde locatie te Zwolle.

LINER[®] is een techniek voor het toedienen van substraat in de bodem om de biologische afbraak van CKW te stimuleren.

Voor steeds meer met CKW-verontreinigde locaties in Nederland vormt gestimuleerde biologische afbraak van CKW een aantrekkelijke optie. Voor de stimulering is substraat nodig als voedingsstof voor de bacteriën. De grote uitdaging wordt gevormd door het vinden van een methode om dit substraat goed verspreid in de bodem op die plaatsen te krijgen waar ook de verontreinigingen (en de bacteriën) aanwezig zijn.

LINER[®] is een techniek, door Tauw in samenwerking met gasspecialist Hoek Loos ontwikkeld, waarbij substraat als een nevel met behulp van stikstofgas als dragergas in de bodem wordt geïnjecteerd. Op deze wijze wordt een groter verspreidingsgebied gecreëerd dan dat het geval zou zijn wanneer het substraat als vloeistof zou worden ingebracht. Verder vindt door de hoge injectiedruk geen verstopping plaats van de injectiefilters als gevolg van biologische aangroei van bacteriën.

In 1999/2000 is een pilottest uitgevoerd op een CKW-locatie in Zwolle [4]. Deze test was dermate succesvol dat besloten is om de pilot op te schalen en LINER[®] als een full-scale techniek te demonstreren.

december 2003

INHOUD

		SAMENVATTING.....	VI
		SUMMARY.....	IX
Hoofdstuk	1	INLEIDING	1
Hoofdstuk	2	SANERINGSAANPAK VAN DE LOCATIE	3
	2.1	Bedrijfsterrein Neuman in Zwolle	3
	2.2	Bodemopbouw en geohydrologie.....	3
	2.3	Verontreinigingssituatie.....	3
	2.4	Saneringsstrategie	4
Hoofdstuk	3	TOEPASBAARHEID VAN LINER®	5
	3.1	Beschrijving van de techniek.....	5
	3.2	Toepassingsgebied.....	5
	3.3	Randvoorwaarden.....	5
	3.4	Kosten.....	5
Hoofdstuk	4	SANERINGSSYSTEEM LINER®	6
	4.1	Ontwerp en dimensionering	6
	4.1.1	Centrale of decentrale verneveling	6
	4.1.2	Invloedstraal, filterafstand en -diepte	6
	4.1.3	Keuze substraat.....	6
	4.2	Aanleg van het systeem.....	7
	4.2.1	Ondergronds systeem.....	7
	4.2.2	Bovengronds systeem	8
Hoofdstuk	5	OPSTART VAN HET SYSTEEM.....	11
	5.1	Systeeminstellingen voor opstart	11
	5.2	Substraat.....	11
	5.3	Stikstofgas	12
	5.4	Gasdebiet in relatie tot de draagkracht van de bodem.....	12
	5.5	Instellingen LINER®	13
Hoofdstuk	6	MONITORINGSWERKZAAMHEDEN.....	14
	6.1	Toelichting monitoringsparameters dechlorering	14
	6.2	Monitoringsschema	14
Hoofdstuk	7	RESULTATEN EN DISCUSSIE	15
	7.1	Technische werking systeem	15
	7.2	Stimulering van de CKW-afbraak	16
	7.2.1	Drie voorbeelden van interpretatie biologische afbraak	16
	7.2.2	Overzicht van het verloop van de biologische afbraak van PER op filter-niveau.	18
	7.3	<i>Overall</i> overzicht van het verloop van de biologische afbraak van PER.....	21
Hoofdstuk	8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	23
		LITERATUUR	24

Bijlage	A	SITUERING MONITORINGSFILTERS, INJECTIEFILTERS EN ONDERGRONDS LEIDINGWERK
Bijlage	B	MONITORINGSSHEMA
Bijlage	C	ANALYSERESULTATEN – TABELLEN EN GRAFIEKEN
Bijlage	D	VERLOOP VAN GEMIDDELDE CONCENTRATIES AAN CKW EN AFBRAAKPRODUCTEN OP VERSCHILLENDE DIEPTES
Bijlage	E	GEMIDDELDE CONCENTRATIES CKW EN DECHLORERINGSGRAAD

SAMENVATTING

LINER[®] – gasinjectie: Eindresultaat full-scale sanering

Algemeen

In Nederland is een groot aantal locaties verontreinigd met chloorhoudende oplosmiddelen. Deze stoffen werden en worden veelvuldig gebruikt bij metaalverwerkende bedrijven en het chemisch reinigen van textiel. Doordat chloorkoolwaterstoffen als "puur product" zwaarder zijn dan water kunnen ze tot diep in het grondwater doordringen. Doordat de stoffen onder natuurlijke condities slechts langzaam worden omgezet kan verontreinigd grondwater zich over grote afstanden en tot grote diepte verspreiden.

Biostimulatie

Steeds meer wordt duidelijk dat biologische processen een prominente rol (moeten) vervullen bij de sanering van CKW. Een bottleneck bij de uitvoering van biostimulatie is de inbreng van het benodigde substraat voor bacteriën om CKW te reduceren. Het inbrengen van substraat in vloeibare vorm leidt veelal tot verstoppingen van de injectiefilters en een zeer dicht netwerk van filters is nodig vanwege de relatief geringe invloedstraal.

In 1999 heeft Tauw in samenwerking met Hoek Loos, Philips en de provincies Gelderland en Zuid-Holland het LINER[®] gasinjectie-concept in een pilotproef toegepast om een geheel nieuwe manier van substraatinjectie te testen, waardoor de bovengenoemde knelpunten kunnen worden opgelost.

LINER[®] staat voor Liquid Nitrogen Enhanced Remediation. Het systeem berust op de inbreng van substraat als een nevel dat met behulp van stikstofgas (opgeslagen als vloeibaar stikstof) als dragergas in de bodem wordt geïnjecteerd. Op deze wijze wordt een groter verspreidingsgebied gecreëerd dan dat het geval zou zijn wanneer het substraat als vloeistof zou worden ingebracht. Verder vinden door het periodieke "doorblazen" van de filters geen verstoppingen plaats als gevolg van biologische aangroei van bacteriën op de filters.

Pilottest

In een pilot project op een Philips-locatie in Zwolle kon door middel van het gasinjectie-concept, gebruikmakend van slechts één injectiefilter, de volledige afbraak van PER worden gestimuleerd over een bodempakket van circa 45 m dikte. Ook kon een invloedstraal van ten minste vier meter worden aangetoond. Naar aanleiding van deze eerste positieve resultaten is besloten om de pilot op te schalen en in een SKB-demonstratieproject aan te tonen dat LINER[®] ook als een full-scale techniek als volwaardig kan worden beschouwd.

Full-scale sanering

De algemene doelstelling van dit project is om aan te tonen dat LINER[®] een volwassen techniek is om als *full-scale* applicatie toe te passen. Specifiek voor de Zwolle-locatie is de doelstelling om, in de geest van de beleidsvernieuwing, de bronverontreinigingen door middel van biostimulatie zoveel als mogelijk te verwijderen. Het streven is om de concentraties aan CKW in het brongebied dermate te verlagen, dat ten gevolge van het opheffen van de nalevering, sneller een stabiele eindsituatie wordt verkregen in het pluimgebied.

Naast de demonstratie van de werking van LINER[®] op basis van metingen van afbraak over het te behandelen bodemvolume is in dit onderzoek aandacht besteed aan aspecten die te maken hebben met de opschaling van het saneringssysteem. In het onderstaande worden de resultaten van deze aspecten kort toegelicht.

Resultaten demonstratieproject LINER®

Biostimulatie

Gezien het feit dat het systeem vanwege kinderziektes een tijd lang niet optimaal heeft gedraaid, kan nog geen 100% bevestigend antwoord gegeven worden op de vraag of LINER® een generiek toepasbaar, volwassen saneringstechniek is.

De resultaten zijn gematigd positief. In 55% van de 40 gemonitoorde filters is er sprake van een volledige en goede stimulatie van PER-afbraak. Hierbij wordt een sterke afname van PER-, TRI- en CIS-concentraties waargenomen tegelijk met een toename van VC, etheen, ethaan en tegelijkertijd een sterke reductie van de sulfaatconcentratie. In 13% van de gevallen verloopt de afbraak twijfelachtig. In deze gevallen wordt vaak wel een lichte toename van één of meerdere afbraakproducten VC, etheen of ethaan waargenomen, maar ook een toename van de uitgangproducten. In de overige 32% vindt er geen of slechte afbraak plaats.

Het algemene beeld is dat de gemiddelde PER- en TRI-concentraties in het behandelde gebied significant zijn afgenomen en de som van de verdere afbraakproducten VC, etheen en ethaan significant toegenomen zijn.

Wanneer de afbraak per bodemlaag (verticale vlak) wordt beschouwd, dan is er een duidelijk positief verloop van de afbraak in de laag rond diepte 14-15 m -mv en 39-44 m -mv. Minder goed verloopt de afbraak in de lagen rond 4-5 m -mv (door sterke nalevering van bovenaf uit de venige deklaag), 24-25 m -mv (doordat de monitoringsfilters op dezelfde hoogte staan als de injectiefilters en horizontale verspreiding ter hoogte van een injectiefilter in de regel minder is dan daarboven) en 33-34 m -mv (er is sprake van een fijnzandige laag tussen circa 28-38 m -mv, die mogelijk zorgt voor een minder goede verspreiding van N₂ en substraat in de laag zelf, maar ook naar de filters op 25 m -mv).

Ook blijkt dat op locaties in het horizontale vlak de afbraak in het ene geval beter verloopt dan in het andere. Een verklaring hiervoor kan zijn dat de betreffende injectiefilters te ver van elkaar (>8m) zijn geplaatst.

In april 2003 zijn enkele belangrijke aanpassingen uitgevoerd aan onderdelen van het systeem, waarmee geprobeerd is de stagnatie in het verloop van de afbraak als gevolg van beperkte verspreiding van substraat te doorbreken. In de afgelopen vijf maanden heeft de afbraak wel doorgezet, echter de snelheid waarmee de vrachtreductie plaatsvindt is relatief laag.

Generieke toepassing van LINER®

LINER® heeft, zoals ieder andere in-situ techniek, haar beperkingen. Omdat LINER® een gasinjectietechniek is dient het onder dezelfde randvoorwaarde te worden uitgevoerd als persluchtinjectie. Tevens is LINER® op voorhand niet geschikt om toe te passen bij de aanwezigheid van zaklagen. Het betreft immers een biologische techniek en zaklagen kunnen vanwege de extreem hoge concentraties en grote nalevering met de huidige stand der techniek niet biologisch binnen een beperkte termijn van enkele jaren gesaneerd worden. Bovendien ligt het behandelen van een zaklaag met gasinjectie niet voor de hand, omdat een zaklaag zich bevindt op minder goed doorlatende lagen. Wanneer onder deze lagen wordt geïnjecteerd, zal het gas de zaklaag maar beperkt behandelen.

Technische aspecten

Omdat de LINER® techniek berust op verneveling is het belangrijk om de nevel zo lang mogelijk stabiel te houden. Testen hebben uitgewezen dat de nevelopbrengst aan het uiteinde van een leiding bij een standaarddiameter van 35 mm groter is dan bij een grotere standaarddiameter van 50 mm.

Locatiespecifieke aspecten

Voorafgaande aan het toepassen van LINER® dient met behulp van laboratoriumtesten onderzocht te worden welk substraat het meest geschikt is voor de omzetting van de aanwezige CKW-

verontreinigingen. Tevens is het belangrijk om te onderzoeken of de afbraak volledig verloopt tot het onschuldige eindproduct etheen. Op de Zwolle-locatie bleken lactaat-achtige substraten zeer goed te voldoen en is de omzetting volledig.

Tijdens de pilottest, waarbij één filter is gebruikt, is een invloedstraal van 4 m waargenomen. Invloedstralen zullen per locatie verschillen. Het feit dat in 32% van de gevallen er nog geen afbraak wordt waargenomen kan te maken hebben met het feit dat misschien de invloedstraal in deze deelgebieden overschat is. Normaal wordt de vuistregel van 5 m afstand tussen de filters aangehouden, wanneer geen pilottest is uitgevoerd om de invloedstraal in te schatten.

Emissies van gestripte CKW naar de atmosfeer

De kracht van een biostimulatietechniek berust op het feit dat de bacteriën het werk doen en er geen dure (bovengrondse) zuivering nodig is om processtromen te zuiveren. Doordat bij LINER[®] gas wordt geïnjecteerd bestaat de kans op emissie van gestripte verbindingen naar de atmosfeer. Omdat gedurende de sanering relatief weinig gas wordt verbruikt is het stripeffect zeer gering. Uit diverse metingen op enkele plaatsen in de onverzadigde zone buiten de naastgelegen bebouwing, bleek dat gasinjectie geen verhoogde concentraties aan CKW tot gevolg had. Wel is verhoging gemeten van CKW in de kruipruimte van het naast- en bovenliggende gebouw als gevolg van beperkte accumulatie. De gehalten liggen echter ver beneden de waarden waarboven risico's worden verwacht.

Het is essentieel om bij toepassing op andere locaties, vast te stellen dat er geen substantiële emissies plaatsvinden.

SUMMARY

LINER[®] - gas injection: Final result of full-scale remediation

General

In the Netherlands a large number of locations is contaminated with chlorinated aliphatic hydrocarbons (CAH). These compounds were and still are used in metal forming industries and by dry cleaners. Because CAH are denser than water, they may contaminate the soil at large depths. Since under natural conditions CAH are biodegraded only very slowly, contaminated groundwater may migrate over large distances and depths.

Biostimulation

It is becoming more and more evident that biological processes should play a prominent role in remediation of CAH. One of the bottlenecks for biostimulation is the way to achieve a good distribution of substrate, necessary for the growth of CAH reducing bacteria, in the subsoil. Introducing substrate in liquid form usually results in biofouling of injection wells and the relatively small zone of influence requires a dense network of wells.

In 1999 Tauw has introduced LINER[®], a new method for injection of substrate into the subsoil. In cooperation with a gas specialist Hoek Loos, Philips and Dutch provinces, the LINER[®] technique was tested in a pilot experiment.

LINER[®] stands for Liquid Nitrogen Enhanced Remediation. The system is based on the injection the substrate as a mist, a nebule, which is injected into the subsoil by nitrogen gas as carrier gas. Using this injection technique, a larger zone of influence is established and biofouling is avoided by the periodic high rate gas injections.

Pilottest

At a contaminated location of Philips in the city of Zwolle, a one well test showed that full degradation of PCE to ethane could be accomplished over a depth of 45 m bg. The radius of influence was observed to be about 4 m.

Full scale remediaton

Based on these positive results the pilot was scaled up to a full-scale system and a demonstration project was started up with the aim to prove that LINER[®] can be considered as a mature remediation technique.

Along with demonstrating biodegradation in the treated soil volume, several aspects dealing with upscaling of the system were investigated. In the following paragraphs these aspects will shortly be addressed.

Results of the LINER demonstration project

Biostimulation

Because of the novelty of the full-scale application, the system has been subjected to several adaptations. Therefore the LINER[®] system was processed optimally for only the last few weeks before the last monitoring session. A conclusive answer on the question whether LINER[®] is a generally applicable, mature remediation technique, cannot be given yet. The preliminary results are moderately positive.

In 55% of the 40 monitored wells biodegradation definitely is stimulated and full dechlorination of PCE takes place. In these wells PCE and TCE concentrations significantly decreased while a significant increase was observed of vinylchloride, ethane and ethane concentrations in concurrency with decreased sulfate concentrations.

In 13% of the wells, stimulation of the biodegradation is not evident. In many of these cases a slight increase of the decay products vinylchloride, ethene and ethane was observed but also an increase PCE, TCE and cis-DCE.

In 32% of the wells there was no indication of stimulated biodegradation of CAH.

Generally, the mean concentrations of PCE, TCE and cis-DCE significantly decreased with respect to the mean concentrations before start up of the remediation, whereas the sum of the decay products (vinylchloride, ethene and ethane) significantly increased.

Considering the biodegradation in the different soil layers (vertical dimension), it must be noticed that the biodegradation proceeds well at the depths of 14 and 44 m bgl. Biodegradation does not significantly occur at the depth of 5 m bgl (through delivery of CAH by the peaty upper layer), at depth of 24 m bgl (maybe caused by the injection of gas and substrate at the same depth as the monitoring well - horizontal distribution at injection level is generally less than above) and at 34-35 m bgl (a fine sandy less permeable layer between 28 - 38 m bgl probably causes a bad distribution of gas and substrate in this layer, but also to the layer above at 24 m bgl).

Also in the horizontal dimension, biodegradation seems to proceed better at some locations than other. An explanation may be the fact that the injection wells may be too widely spaced (>8m).

In april 2003 several adaptations were carried out on parts of the system that could have been the cause of the stagnating biodegradation. During the past 5 months biodegradation progressed, but the removal rates of CAH are slow.

General applicability of LINER[®]

LINER[®] has, like any other in-situ technique, its drawbacks. Since LINER[®] is a gas injection technique, the applicability of LINER[®] is comparable to that of in-situ air sparging. Furthermore LINER[®] is not an appropriate technique for removing DNAPLs. DNAPLs go along with high concentrations and rebound of CAH and cannot be removed by biological means within a period of several years using currently available techniques.

Also a gasinjection technique is not appropriate to remediate a DNAPL. A DNAPL generally is located on a less permeable layer. When injecting below this layer, the DNAPL will only partly be treated.

Technical aspects

The LINER[®] technique is based on nebulizing substrate and transport of the mist by a gasflow. Therefore the mist should be stable as long as possible. Tests pointed out that the yield of the mist escaping from tubing with a 35 mm standard diameter is larger than for tubing with a 50 mm diameter.

Aspects specific for the location

Prior to the application of LINER[®], lab experiments should be carried out to investigate with which substrate full dechlorination of CAH can be achieved at that specific location. For the Zwolle location all lactate-like substrates seemed to be suitable.

During the pilot test a radius of influence of 4 m was observed. The fact that in 32% of the wells biodegradation was not stimulated, may be due to an overestimation of the radius of influence. Some monitoring wells are located even at a larger distance than 4 m from an injection well. In general when no pilot test is carried out, injection wells are spaced according to the 15 feet rule, which means a well spacing of approximately 5 m.

Emission of stripped CAH to the atmosphere

The strength of a biostimulation technique is to let the microorganisms do the job without the need of an expensive unit for the treatment of contaminated water. Because during the LINER[®] process gas is injected, there is a chance that emission of stripped CAH to the atmosphere takes

place. However, the amount of gas injected is limited, so also is the stripped amount of CAH. Measurements at several places in the vadose zone pointed out that gas injection did not result in elevated concentrations of CAH. In the crawl space of the building situated next and on the contaminated area, there was a slight accumulation of CAH. The concentrations however were too low to form any risk.

During the application of LINER® at other sites, a check on possible emissions of CAH to the atmosphere is essential.

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

In Nederland is een groot aantal locaties verontreinigd met chloorhoudende oplosmiddelen. Deze stoffen werden en worden veelvuldig gebruikt bij metaalverwerkende bedrijven en het chemisch reinigen van textiel. Doordat chloorkoolwaterstoffen als "puur product" zwaarder zijn dan water kunnen ze tot diep in het grondwater doordringen. Doordat de stoffen onder natuurlijke condities slechts langzaam worden omgezet kan verontreinigd grondwater zich over grote afstanden en tot grote diepte verspreiden.

“Conventionele”, fysische verwijdering

De gebruikelijke manier om deze locaties te saneren is de bodem te "spoelen" (grondwater oppompen en bovengronds reinigen). Afgezien van de vaak beperkte efficiëntie van deze aanpak, is het overheidsbeleid gericht op het terugdringen van het oppompen van grondwater in het kader van het verdrogingsbeleid. Voor relatief ondiepe verontreinigingen (tot circa 10 à 20 meter) is het in-situ strippen middels persluchtinjectie (wellicht ondersteund door technieken als stoominjectie, elektroreclamatie et cetera) een alternatief.

In geval van zaklagen/puur product of bij de aanwezigheid van minder goed doorlatende lagen in de bodem, levert conventionele sanering via grondwateronttrekking geen goede resultaten op. Zeker bij diepere verontreinigingen zijn de ook hiervoor genoemde alternatieven weinig effectief; het gericht verwijderen van een zaklaag is problematisch, omdat veelal niet bekend is waar deze zich exact bevindt.

Beperkingen biologische in-situ sanering

Steeds meer wordt duidelijk dat biologische processen een prominente rol (moeten) vervullen bij de sanering van CKW. Sanering is niet langer een kwestie van zo veel mogelijk onttrekken van verontreinigingen. Veel meer wordt de efficiëntie van een sanering bepaald door de vraag of, en zo ja hoe de juiste stoffen op de juiste plaats in de bodem kunnen worden gebracht.

Stimulatie van biologische afbraak van CKW middels injectie van substraat is bij een aantal (proef)saneringen succesvol gebleken. Er blijken drie belangrijke beperkingen van de methode te bestaan:

1. De verdeling van het substraat in de bodem.
De "invloedstraal" van substraatinjectie wordt gelimiteerd door (slechts beperkt te beïnvloeden) factoren als grondwaterstromsnelheid, substraatafbraak (niet direct gerelateerd aan omzetting van CKW) en een geringe menging van het geïnjecteerde volume met grondwater. Netto resultaat is dat voor een effectieve biostimulatie vaak een dicht (horizontaal én verticaal) net van infiltratiemiddelen noodzakelijk is. Met name voor verontreinigingen op grote diepte is dit financieel niet haalbaar.
2. Duurzaamheid van de injectiemiddelen.
Een belangrijk probleem blijkt dat chemische en biologische processen vaak leiden tot het dichtslibben van de infiltratiemiddelen. De technische toepasbaarheid van infiltratie wordt hierdoor gecompliceerd. Verder wordt de bedrijfsvoering door de noodzakelijkheid van voortdurend schoonhouden van de filters duur en moeilijk.
3. De geringe "biobeschikbaarheid" van als puur product of zaklaag in de bodem aanwezige verontreiniging.

LINER gasinjectie-techniek

In 1999 heeft Tauw in samenwerking met Hoek Loos, Philips en de provincies Gelderland en Zuid-Holland het LINER[®] gasinjectie-concept in een pilotproef toegepast om een geheel nieuwe

manier van substraatinjectie te testen, waardoor de bovengenoemde knelpunten kunnen worden opgelost.

In de fase van het pilot project op de locatie van Philips te Zwolle kon door middel van het gasinjectie-concept -LINER[®], gebruikmakend van slechts één injectiefilter, de volledige afbraak van PER worden gestimuleerd. Ook kon een invloedstraal van ten minste vier meter worden aange-toond. Naar aanleiding van deze eerste positieve resultaten met de nieuwe techniek resteert de vraag of het gasinjectie-concept ook als volwaardige full-scale techniek kan worden toegepast.

Doelstelling full-scale applicatie

De algemene doelstelling van dit project is om aan te tonen dat LINER[®] een volwaardige techniek is om als een *full-scale* applicatie toe te passen. Dit demonstratieproject binnen SKB-verband is een essentiële vervolgstap op de succesvolle pilotproef om te komen tot een goed werkende, betrouwbare saneringstechniek.

Specifiek voor de locatie is de doelstelling om, in de geest van de beleidsvernieuwing, de bronverontreinigingen zoveel als mogelijk te verwijderen. Er wordt naar gestreefd om de concentraties aan CKW in het brongebied dermate te verlagen, dat er ten gevolge van het opheffen van de nalevering, sneller een stabiele eindsituatie wordt verkregen in het pluimgebied.

Het project wordt in een consortium uitgevoerd. Het consortium bestaat uit de SKB, Philips, Hoek Loos, de provincie Overijssel en Tauw (penvoerder).

Leeswijzer

Gedurende dit project is een aantal deelresultaten gepresenteerd in tussentijdse rapporten. In de voorliggende eindrapportage worden de meest belangrijke deelresultaten besproken zonder daarbij te zeer op de achterliggende details in te gaan. Gefocust wordt op de uiteindelijke resultaten die tijdens de lopende sanering tot op heden zijn bereikt, waarbij een antwoord wordt gegeven op de vraag of LINER[®] een generiek toepasbare techniek is om biologische stimulatie van afbraak van CKW te bewerkstelligen en of op de onderzoekslocatie met behulp van LINER[®] volledige afbraak wordt bereikt.

In hoofdstuk 2 worden de onderzoekslocatie en de verontreinigingssituatie beschreven. Hoofdstuk 3 gaat in op de toepasbaarheid van LINER[®]. Hoofdstuk 4 behandelt het full-scale saneringssysteem, waarbij wordt ingegaan op de aanleg van het boven- en ondergrondse gedeelte. De opstart van het systeem en enkele belangrijke aspecten waar men bij de opstart op moet letten, komen in hoofdstuk 5 aan de orde.

In hoofdstuk 6 wordt de monitoringsstrategie beschreven en in hoofdstuk 7 wordt ingegaan op ontwerp- en dimensioneringsaspecten, wijze van monitoren en op de resultaten van de monitoring.

Hoofdstuk 8 geeft een overzicht van de conclusies en aanbevelingen. In hoofdstuk 9 is tot slot de lijst met referenties opgenomen.

HOOFDSTUK 2

SANERINGSAANPAK VAN DE LOCATIE

Alvorens te komen tot een strategie voor de aanpak van de CKW-verontreiniging dient informatie bekend te zijn omtrent de (historie van de) bedrijfsactiviteiten op het terrein, bodemopbouw, geohydrologie en de verontreinigingssituatie van de grond- en het grondwater.

2.1 Bedrijfsterrein Neuman in Zwolle

Het full-scale LINER[®] demonstratieproject wordt op het bedrijfsterrein van Neuman Metal Forming Netherlands B.V. (voorheen Piper Impact B.V.) te Zwolle uitgevoerd.

Van 1949 tot circa 1990 was het gehele terrein in eigendom van Philips. Hiervoor was het terrein in gebruik als landbouwgebied. In 1990 is het bebouwde terrein overgegaan naar derden. Vanaf 2001 is Neuman Metal Forming Netherlands B.V. eigenaar van het terrein (exclusief de aanwezige CKW-verontreiniging).

Op het terrein zijn diverse voorzieningen en gebouwen aanwezig (kantoren, kantine, opslag en fabriekshallen). In het verleden is hoofdzakelijk als gevolg van morsingen bij een PER-installatie een aanzienlijke grond- en grondwaterverontreiniging met PER ontstaan. PER werd gebruikt voor het ontvetten van metalen. De PER-opslag buiten vond plaats in een betonnen bak. Ter plaatse van deze bak zijn nauwelijks verontreinigingen ontstaan. Binnen werd de PER gebruikt voor ontvetting van metalen. De gebruikte PER werd aan de zijkant van het gebouw naar buiten (nabij laadkuil) geleid. Als gevolg van morsingen is hierbij een aanzienlijke grond- en grondwaterverontreiniging met PER ontstaan.

2.2 Bodemopbouw en geohydrologie

De lokale bodemopbouw kan aan de hand van boorbeschrijvingen geschematiseerd worden zoals aangegeven in tabel 1.

Tabel 1. Lokale bodemopbouw.

Diepte (m -mv)		
0-4	matig grof zand met klei en veenlagen	deklaag
4-74	matig grof zand, soms lemig soms grindig	eerste watervoerend pakket
>74	harde klei	geohydrologische basis

De grondwaterstroming in het watervoerend pakket is circa 4 meter/jaar. De stromingsrichting op de locatie is gezien het geringe stijghoogteverhang niet nauwkeurig vast te stellen, maar is op basis van regionale gegevens bepaald op westelijk tot noordwestelijk.

2.3 Verontreinigingssituatie

In 1995 heeft een uitgebreid bodemonderzoek plaatsgevonden. Ter plaatse van de PER-vatenopslag en de laadkuil zijn CKW in de grond aangetroffen, die de interventiewaarden ruim overschrijden. Onder het gebouw en de laadkuil zijn tot minstens 5 m -mv verontreinigingen in de grond aangetroffen. Zowel in de zandige bovengrond als in de laag klei en/of veen op 1,5 tot 2,5 m -mv hieronder, zijn hoge concentraties (5.000-8.000 mg/kg d.s.) met CKW (voornamelijk PER) waargenomen. Plaatselijk heeft de verontreiniging zich verspreid tot in het zandpakket onder de klei-/veenlaag. De totale horizontale omvang bedraagt circa 200 m². De verticale verspreiding ter plaatse van de voormalige PER-installatie, opslagplaats en laadkuil wordt op basis van de onderzoeksgegevens geschat op 6,0 - 8,0 m -mv.

In het grondwater in zowel de deklaag als in het watervoerend pakket bevinden zich gehalten aan PER, TRI, CIS en VC tot enkele tienduizenden µg/l. De hoogste concentraties aan CKW bevinden zich tot circa 40 m -mv. De verontreinigingen in het watervoerend pakket zijn vermoedelijk het gevolg van uitloging/nalevering uit de deklaag. Er zijn geen aanwijzingen dat er puur product of residuaire fractie van CKW aanwezig is in het watervoerend pakket.

2.4 Saneringsstrategie

Uit vooronderzoek is gebleken dat natuurlijke afbraak van de CKW-verontreinigingen op de locatie, maar ook in de pluim van de verontreiniging, goed verloopt [1]. Echter voor de sanering van brongebieden is natuurlijke afbraak per definitie een minder geschikte optie vanwege het feit dat de afbraaksnelheden te laag zijn.

De bovenste veenlaag (circa 1-5 m -mv) in het brongebied is verzadigd met CKW. De enige, voor zover thans bekend, wijze van saneren van een dergelijke veenlaag, waar verontreinigingen in sterk geadsorbeerde vorm aanwezig zijn, is ontgraven. Momenteel is ontgraven echter geen mogelijkheid vanwege het feit dat het brongebied bebouwd is.

De veenlaag wordt daarom vooralsnog niet gesaneerd. Indien de mogelijkheid zich voordoet, zal in de toekomst wellicht een ontgraving plaatsvinden. Daarom richten de saneringswerkzaamheden zich op de bulk van de verontreinigingen onder het veenpakket. Inspelend op de gunstige omstandigheden voor biologische afbraak in zowel bron- als pluimgebied is besloten om in het brongebied onder het veen, waar hoge concentraties aan CKW aanwezig zijn, afbraak te stimuleren en in het pluimgebied met lage(re) CKW-concentraties natuurlijke afbraak te monitoren. Na beëindiging van de biologische sanering, zal moeten worden onderzocht of natuurlijke afbraak voldoende is om nageleverde CKW vanuit de veenlaag te doen laten verwijderen. Als dit niet het geval is, dan kan de bestaande LINER[®] infrastructuur gebruikt worden om periodiek op een extensieve wijze een "shot" substraat te leveren om afbraak te stimuleren.

Er zijn verschillende redenen waarom gekozen is voor een biologische aanpak, met name voor de LINER[®] techniek:

- LINER[®] is een nieuwe techniek die met behulp van subsidiegelden ontwikkeld wordt. Philips, de eigenaar van de verontreiniging, heeft van het bevoegd gezag 5-10 jaar de tijd gekregen om de natuurlijke afbraak van de verontreiniging te monitoren. Dit biedt ruimte om de ontwikkeling van nieuwe saneringstechnieken af te wachten alvorens de sanering van het terrein te starten. Door de locatie beschikbaar te stellen voor de uitvoering van een pilot en daaropvolgend een LINER[®] full-scale sanering, kan Philips via subsidie een deel van de saneringskosten via derden gefinancierd krijgen. Het risico dat LINER[®] als een full-scale applicatie niet voldoende resultaat zal opleveren, achtte Philips laag vanwege de positieve resultaten van de pilot;
- Een biologische aanpak heeft geen grondwater- en bodemluchtzuivering nodig, waardoor de kosten aanzienlijk worden verminderd;
- De bodemopbouw voldoet aan de randvoorwaarden voor de bodem waaronder de LINER[®] techniek toepasbaar is. Deze randvoorwaarden voor de bodem zijn in feite dezelfde als die voor persluchtinjectie [2]. In de pilot is aandacht besteed aan de haalbaarheid van LINER[®] voor specifiek de locatie in Zwolle.

TOEPASBAARHEID VAN LINER[®]

3.1 Beschrijving van de techniek

Bij de LINER[®]-techniek (Liquid Nitrogen Enhanced Remediation) wordt substraat in nevelvorm met een dragergas (stikstofgas) in de bodem geïnjecteerd. Door deze wijze van inbreng ontstaan geen verstoppingen in en rondom de injectiemiddelen. Tevens wordt er door de gasinjectie een groter verspreidingsgebied bereikt, dan dat het geval zou zijn wanneer dezelfde hoeveelheid substraat alleen als een vloeistof zou worden ingebracht. Bovendien mobiliseert de kracht van de gasinjectie verontreinigingen in de ondergrond, waardoor zij beter beschikbaar worden gemaakt voor biologische afbraak. Het stikstofgas wordt opgeslagen in een tank. De druk in de tank is voldoende hoog om het gas op grote diepte in de bodem te brengen. Het saneringssysteem is onderhoudsvriendelijk, omdat geen gebruik wordt gemaakt van “draaiende delen” als compressoren of blowers en het daardoor geen geluidsoverlast voor de omgeving veroorzaakt.

3.2 Toepassingsgebied

LINER[®] is breed toe te passen voor CKW-verontreinigingen die in-situ biologisch afbreekbaar zijn. De techniek is toepasbaar voor sanering van verontreinigingen met zowel lage als hoge concentraties. LINER[®] is echter niet geschikt, zoals geen enkele biologische techniek, om puur CKW in de vorm van zaklagen te verwijderen. Er zijn vanwege de gasinjectie-methode geen beperkingen aan de diepte van injecteren. LINER[®]-installaties kunnen zowel in binnenstedelijk gebied als op industriële terreinen worden geplaatst.

3.3 Randvoorwaarden

Voor het toepassen van LINER[®] gelden een aantal randvoorwaarden:

De bodem moet geschikt zijn om gasinjectie uit te voeren. In een slecht doorlatende bodem of een bodem met veel horizontale slecht doorlatende lagen, zal het moeilijker zijn te voorspellen of LINER[®] het substraat wel op de juiste plaatsen kan brengen.

De juiste bacteriën moeten in de bodem aanwezig zijn om de volledige afbraak van CKW naar ethaan te bewerkstelligen. Overigens, indien zij niet aanwezig zijn kan worden overwogen om ze toe te dienen.

LINER[®] is toepasbaar op terreinen die toegankelijk zijn voor het plaatsen van verticale injectiefilters. De aanwezigheid van bijvoorbeeld bebouwing kan daarom een beperking vormen.

3.4 Kosten

De kosten voor een LINER[®] sanering zijn afhankelijk van de omvang van de verontreiniging. De kosten kunnen het beste worden vergeleken met de persluchtinjectietechniek. Hierbij wordt ook gas (lucht) geïnjecteerd.

Het grote verschil is dat bij perslucht de CKW worden gestript en bij LINER[®] de CKW in de bodem worden afgebroken. Verder wordt voor het genereren van perslucht een compressor gebruikt, waarbij een bovengrondse bodemluchtzuivering vervolgens de gestripte CKW reinigt. LINER[®] daarentegen betreft stikstof en substraat uit een tank en zuivering is niet noodzakelijk, immers de CKW worden in de bodem afgebroken.

De kosten voor stikstofgas en substraat wegen ongeveer op tegen de kosten voor het instandhouden van een compressor en energie. Voor persluchtinjectie is echter een afzuigstelsel en een zuivering nodig, terwijl dit voor LINER[®] niet het geval is. Met name vanwege het ontbreken van een (kostbare) zuivering, zal per saldo LINER[®] goedkoper zijn dan persluchtinjectie als vergelijkbare techniek.

HOOFDSTUK 4

SANERINGSSYSTEEM LINER[®]

In dit hoofdstuk worden de essentiële aspecten besproken waar rekening mee moet worden gehouden bij het ontwerp en dimensionering van een LINER[®]-systeem. Tevens wordt ingegaan op de aanleg van het systeem.

4.1 Ontwerp en dimensionering

4.1.1 *Centrale of decentrale verneveling*

Bij de pilotopstelling is de nevel op korte afstand van het injectiepunt gecreëerd en vervolgens direct de bodem ingeleid. De reisafstand van de nevel is hierbij klein. De vraag is: als de nevel centraal op één punt wordt gecreëerd en vervolgens getransporteerd wordt naar de injectiefilters, blijft de nevel dan stabiel? Of is het noodzakelijk om op ieder injectiefilter een vernevelaar te plaatsen om de reisafstand zo klein mogelijk te maken (decentrale verneveling)? Het decentraal vernevelen zal in ieder geval leiden tot een sterke kostenverhoging.

Aan de hand van de stabiliteitstesten is vast komen te staan, dat bij centrale verneveling voldoende substraat als nevel de bodem wordt ingebracht. Hierbij is het van belang dat de nevelopbrengst (de hoeveelheid nevel die aan het einde van de leiding ontwijkt in relatie tot de hoeveelheid vernevelde vloeistof) groter is bij een leidingdiameter van 32 mm dan bij een standaard leidingdiameter van 50 mm. Voor de resultaten van het onderzoek 'Stabiliteit nevel in leidingwerk' wordt verwezen naar het rapport van deelresultaat 1 [3].

Centrale verneveling is mogelijk. Hierbij wordt aanbevolen om gebruik te maken van 32 mm leidingdiameters.

4.1.2 *Invloedstraal, filterafstand en -diepte*

De hoogste concentraties aan CKW in het grondwater bevinden zich op de locatie in Zwolle tot circa 40 m -mv. Bij de pilot is het injectiefilter op 45 m -mv geplaatst, zodat het substraat onder de bulk van verontreiniging wordt ingebracht.

Verticaal moet het substraat een traject van circa 43 m -mv door de verzadigde zone afleggen (grondwaterstand is circa 2 m -mv). Uit de pilottest [4] blijkt dat het substraat onderweg grotendeels verbruikt wordt. Afbraakproducten (CIS, VC, enz.) van PER zijn gemeten, maar het substraat kon niet of nauwelijks worden aangetoond. Rond 20 m -mv is de afbraak duidelijk gestimuleerd, maar volledige afbraak is (nog) niet opgetreden. Om de verticale afstand te verkleinen is bij de full-scale uitgegaan van substraatinjecties op twee dieptes (25 en 45 m -mv). De horizontale invloedssfeer, waarbinnen tijdens de pilot stimulatie van CKW-afbraak werd aangetoond, bedroeg circa 4 m. Bij de aanleg van de injectiefilters is daarom ook uitgegaan van een invloedstraal van 4 meter.

4.1.3 *Keuze substraat*

Tijdens de pilot is in eerste instantie methanol als substraat gebruikt. De afbraak was na twee maanden nog niet op gang gekomen. Vervolgens is omgeschakeld naar een mengsel van methanol en ethyllactaat, waarna al snel een duidelijke stimulatie van afbraak werd waargenomen. Bij de WUR (Wageningen Universiteit en Researchcentrum) zijn ten behoeve van de full-scale sanering laboratoriumtesten uitgevoerd met materiaal (grond en grondwater) van de locatie in Zwolle, om een uitspraak te kunnen doen over de werking van verschillende substraten (ethylac-

taat, een deelstroom van ethyllactaat, lactaat en methanol). Hierbij werd gekeken naar de snelheid van omzetting en volledigheid van omzetten van PER. Resultaat van deze testen was dat alle lactaat-afgeleide verbindingen goed presteerden als substraat. Methanol leidde niet tot volledige afbraak van PER. Resultaten van deze laboratoriumtesten zijn beschreven in deelresultaat 3 [5].

Bovengenoemde resultaten sluiten goed aan op de bevindingen in de pilottest.

Naast het feit dat methanol voor deze specifieke locatie niet voldoet als substraat bestaat er een vergunningstechnische beperking aan het gebruik van methanol. Methanol is zeer brandbaar. Wanneer meer dan 50 kg methanol opgeslagen wordt, dient de volledige installatie vonk/explosievrij uitgevoerd te worden, hetgeen zeer kostbaar is. Opslag van minder dan 50 kg methanol is logistiek gezien niet optimaal. De methanolvoorraad zal te vaak moeten worden aangevuld, gegeven het geplande verbruik van substraat.

Echter ook ethyllactaat moet met de nodige voorzichtigheid worden behandeld. Ethyllactaat heeft een agressieve uitwerking op verschillende materialen. Bij het ontwerp van het systeem is rekening gehouden met de keuze van materialen die langdurig bestand zijn tegen ethyllactaat. Bij het ondergrondse systeem (injectiefilters, monitoringspeilbuizen en leidingwerk) is HDPE gebruikt. In het bovengrondse systeem zijn RVS (Roest Vrij Staal) leidingen toegepast. Verder dienen kleppen, flowmeter, manifold, enz. langdurig bestand te zijn tegen het gebruik van ethyllactaat.

Het is essentieel om voorafgaand aan de aanleg en opstart van een LINER[®] systeem laboratoriumproeven uit te voeren om de geschiktheid van enkele substraten voor de specifieke locatie te testen.

4.2 Aanleg van het systeem

Het LINER[®] systeem bestaat uit een bovengronds deel, waar de nevel en het gas worden gecreëerd en de besturing plaatsvindt en een ondergronds deel, dat bestaat uit leidingwerk en injectiefilters.

4.2.1 Ondergronds systeem

De opzet van de pilotproef (één injectiefilter en drie sets van monitoringspeilbuizen met vier filters) is zoveel mogelijk geïntegreerd binnen de full-scale configuratie. In tabel 2 is weergegeven welke peilbuizen en injectiefilters geplaatst zijn. In bijlage A is de situering van monitoringspeilbuizen en injectiefilters opgenomen.

De monitoringspeilbuizen en de injectiefilters zijn middels pulsboringen aangebracht. Om kortsluitstromingen vanuit de verontreinigde deklaag naar het watervoerend pakket te voorkomen, zijn vanaf het maaiveld tot circa 1 meter in de veenlaag stalen verloren casings aangebracht. De filters zijn per set in één boorgat geplaatst. De filterlengte van alle filters bedraagt 1 meter. Om het geperforeerde deel van de filters is een grindomstorting aangebracht. Verticaal is tussen de injectiefilters een bentoniet afdichting aangebracht om kortsluitstromingen te voorkomen.

Uitgaande van een invloedsstraal van circa vier meter (resultaat pilotproef) bedraagt de onderlinge afstand van de injectiefilters circa acht meter (h.o.h).

De injectiefilters zijn middels ondergrondse leidingen aangesloten op een manifold. De monitoringspeilbuizen zijn luchtdicht afgesloten, zodat er geen kortsluitstromingen kunnen ontstaan vanuit de monitoringsfilters naar het maaiveld. Uit stabiliteitstesten [3] is naar voren gekomen dat bij een leidingdiameter van 32 mm het vernevelingsrendement beduidend hoger is dan bij een leidingdiameter van 50 mm. Het geplaatste leidingwerk heeft daarom een diameter van 32 mm.

De injectiefilters waren al voorafgaand aan de stabiliteitstesten en het verdere ontwerp van de aanleg geplaatst. Hierbij is nog uitgegaan van de pilot-dimensies van filters met een diameter van 50 mm.

Het ondergrondse leidingwerk is met zo min mogelijk haakse en/of scherpe bochten aangelegd en bestaat uit één geheel (zonder lassen). De aansluitingen op de injectiefilters en het manifold zijn middels electrolassen uitgevoerd, hetgeen een sterke drukbestendige koppeling bewerkstelligt. In bijlage A is de situering van het ondergrondse leidingwerk weergegeven.

Tabel 2. Monitoringspeilbuizen en injectiefilters.

	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913
Injectiefilter 24-25 m -mv				x	x			x	x			X		x
Injectiefilter 44-45 m -mv				x	x			x	x			X		x
Monitoringspeilbuis 4-5 m -mv						x	x			x	x		x	
Monitoringspeilbuis 9-10 m -mv	x													
Monitoringspeilbuis 14-15 m -mv		X	x	x (1903)		x	x			x	x		x	
Monitoringspeilbuis 24-25 m -mv	x	X	x			x	x			x	x		x	
Monitoringspeilbuis 34-35 m -mv		X	x	x (1903)		x	x			x	x		x	
Monitoringspeilbuis 39-40 m -mv	x													
Monitoringspeilbuis 44-45 m -mv		X	x			x	x			x	x		x	

4.2.2 Bovengronds systeem

Het bovengrondse systeem bestaat uit een voorraadtank voor de opslag van vloeibare stikstof, een verdamper en een container. In de voorraadtank wordt stikstof onder hoge druk vloeibaar gehouden. Door middel van een verdamper wordt de vloeibare stikstof in gasvormige toestand gebracht.

In de container is het injectiepaneel geplaatst, waarop de stikstof en het substraat worden samengebracht tot een nevel. De container is voorzien van licht en kan mechanisch geventileerd worden.

Het substraat is buiten de container in een voorraadvat opgeslagen. Met RVS leidingen wordt het substraat naar het paneel gepompt.

Injectiepaneel

Het injectiepaneel, dat in de container staat, is ingericht om op twee verschillende dieptes, te weten 25 en 45 m -mv, te kunnen injecteren. Nadat het substraat verneveld is wordt het via een manifold naar de injectiefilters gestuurd.

De installatie is PLC-gestuurd en via een modem op afstand uit te lezen en aan te sturen. De injectieduur, -interval en -volgorde zijn per injectiefilter in te stellen. Eventuele storingen worden via de PLC doorgegeven.

Omdat de druk in de voorraadtank van stikstof op kan lopen tot circa 20 bar (afhankelijk van de afname en buitentemperatuur), is op het paneel ter bescherming van het leidingwerk en de injectiefilters een drukbeveiliging opgenomen, zodat de druk op het manifold maximaal op kan lopen tot 8 bar. De druk wordt vervolgens gereduceerd naar de geschikte waarde om te kunnen injecteren in de bodem.

Temperatuur

De temperatuur van het stikstofgas dat de leidingen in wordt geperst is laag, immers het stikstof wordt van een temperatuur van -196 °C (vloeistof) door de omgevingswarmte via de verdamper opgewarmd.

De resultaten van de eerste twee monitoringsronden gaven aan dat de afbraak niet conform de verwachting op gang was gekomen. Deze verwachting was gebaseerd op de pilottest, waar wel goede resultaten werden bereikt. Het verschil tussen de pilot en de full-scale is dat de pilot in de zomer was uitgevoerd en de full-scale (tot op dat moment) grotendeels in de winterperiode. Met name de periode waarin verwacht zou worden dat de afbraak op gang zou moeten komen, was een koudere periode. Hiermee werd het verband gelegd met de mogelijkheid dat de temperatuur van het inkomende gas waarschijnlijk te laag zou kunnen zijn, hetgeen niet bevorderlijk is voor het ontstaan van een goede nevel.

Na beschouwing van het systeem werd geconcludeerd dat tijdens een koude periode te weinig omgevingswarmte aangevoerd kan worden om het vloeibare stikstof op te warmen tot de omgevingstemperatuur van de bodem (circa 10°C). In april 2003 is daarom een heater geplaatst achter de stikstoftank die de gasstroom voldoende verwarmt om condensatie, of zelfs bevroering, van het ethyllactaat in de leidingen te voorkomen.

In-situ systeem samengevat

In de onderstaande tabel 3 is in het kort het in-situ systeem samengevat.

Tabel 3. Technische gegevens in-situ systeem.

Gasinjectiesysteem	Stikstoftank, 1.600 kg N ₂ , 20 bar
Substraatinjectiesysteem	Substraatpomp (10 l/uur), substraatvat (220 l)
aantal ondiepe injectiefilters	6 (filterstelling 24-25 m -mv)
aantal diepe injectiefilters	6 (filterstelling 44-45 m -mv)
aantal monitoringfilters	5 (filterstelling 4- 5 m -mv) 1 (filterstelling 9-10 m -mv) 8 (filterstelling 14-15 m -mv) 8 (filterstelling 24-25 m -mv) 8 (filterstelling 34-35 m -mv) 1 (filterstelling 39-40 m -mv) 7 (filterstelling 44-45 m -mv)

In figuur 1 is een foto van de installatie opgenomen.



Fig. 1. Bovengrondse installatie van LINER®.

HOOFDSTUK 5

OPSTART VAN HET SYSTEEM

5.1 Systeeminstellingen voor opstart

LINER[®] is in feite een combinatie van twee saneringstechnieken, te weten persluchtinjectie en biostimulatie via substraattoediening.

Bij persluchtinjectie wordt het systeem zodanig ingericht en bestuurd, dat de ingebrachte lucht voldoende wordt verspreid en komt waar de verontreinigingen aanwezig zijn.

Bij biostimulatie moet het juiste substraat in voldoende mate en op de juiste plaats (bij de verontreinigingen) in de bodem worden gebracht.

LINER[®] als combinatie van bovenstaande technieken, bewerkstelligt dat het geïnjecteerde gas met het daarin vernevelde substraat dusdanig goed verspreid wordt, dat het daardoor bij de verontreinigingen komt. De procesparameters, waar bij de opstart en tijdens de sanering op moet worden gelet, zijn dezelfde als die bij persluchtinjectie, te weten het injectiedebiet en de injectiefrequentie van het gas. Voor LINER[®] is tevens het debiet van het substraat essentieel. Afgeleide parameters vormen de drukken waaronder de injecties plaatsvinden.

5.2 Substraat

Op basis van de resultaten uit de pilot proef en de resultaten van de laboratoriumtesten [5] is gebleken dat ethyllactaat als substraat goed werkt. Voor de opstart van de sanering is een inschatting gemaakt van de hoeveelheid benodigd substraat om de aanwezige vracht aan CKW opgelost in het grondwater te doen omzetten naar etheen. In de onderstaande tabel 4 zijn de uitgangspunten voor de berekening weergegeven.

Tabel 4. Berekening benodigd ethyllactaat.

Oppervlakte verontreiniging	m ²	400						
Dikte te behandelen pakket	m	40						
Volume te behandelen grondwater (porositeit = 0,3)	m ³	4.800						
			PER	TRI	CIS	VC	Sulfaat	Totaal
Gemiddelde conc. Verontreiniging en sulfaat * (µg/l)			5.000	1.700	12.000	1.200	60.000	
Totale vracht CKW/sulfaat (kg)			24	8	58	6	288	384
Benodigde ethyllactaat omzetting (g/g)**			0,237	0,225	0,203	0,157	0,410	
Benodigde totale hoeveelheid ethyllactaat (kg)			6	2	12	1	118	138
Totale geschatte hoeveelheid benodigd ethyllactaat met correctie voor niet volledige mineralisatie en gebruik door niet-dehalogeneerders (kg) (factor 50)								7.000

* bij volledige mineralisatie van ethyllactaat en volledig aangewend voor afbraak CKW en sulfaatreductie

Geschat wordt dat circa 7.000 kg aan ethyllactaat nodig is om de verontreinigingen opgelost in het grondwater te verwijderen. De factor 50, die wordt gebruikt ter correctie van onvolledige mineralisatie van ethyllactaat en gebruik van ethyllactaat door andere dan dehalogeneerende bacteriën, is een aanname waarvoor geen harde basis bestaat.

Vooralsnog is gestart met een substraatinjectiedebiet van 500 ml per injectiefilter per dag. Voor de 12 injectiefilters geeft dit een verbruik van circa 6 liter \cong 6 kg ethyllactaat per dag.

Gedurende de periode van één jaar dat de full-scale sanering onder SKB-sponsoring zal lopen, wordt volgens deze berekening circa 2.000 kg ethyllactaat verbruikt. Aan de hand van substraat (DOC)-analyses en analyses van afbraakproducten zal in de loop van de sanering besloten worden of het injectiedebiet van substraat zal moeten/kunnen worden gewijzigd.

5.3 Stikstofgas

Het toe te passen debiet van stikstofgas wordt bepaald door verschillende aspecten, te weten:

- draagkracht van de bodem. Wanneer de injectiedruk (die correspondeert met een bepaald debiet) hoger ligt dan een bepaalde kritische waarde, zal vanwege het opheffen van de korrelspanning liquefactie optreden in de ondergrond. Lokaal zal daardoor de draagkracht van de bodem afnemen;
- het effect van strippen van de CKW-verontreiniging. Hoe hoger het debiet bij gelijkblijvende injectieduur, hoe groter het stripeffect.

5.4 Gasdebiet in relatie tot de draagkracht van de bodem

De draagkracht van de bodem zal lokaal afnemen als bij het aanleggen van een hoge druk in de bodem de korrelspanning wordt opgeheven (liquefactie). De druk die op een injectiefilter kan worden aangelegd voordat liquefactie optreedt, kan worden berekend volgens formularia zoals gegeven in [2].

In de onderstaande tabel 5 zijn de maximale drukken weergegeven.

Tabel 5. Maximale kritische druk waarboven de draagkracht van de bodem wordt verminderd.

	P_{\max} wanneer injectiefilter gevuld met water (bar)	P_{\max} wanneer injectiefilter leeg (bar)
Ondiep filter (24 m -mv)	1,8	3,9
Diep filter (44 m -mv)	3,1	7,2

Verwacht wordt dat lokale vermindering van de draagkracht in de bodem op een dergelijk grote afstand tot de funderingen van het bovenliggende gebouw (funderingspalen staan op circa 11 m -mv) geen nadelige effecten zal hebben. Hier is echter nog geen onderzoek naar gedaan en vooralsnog wordt de toegepaste druk niet hoger gesteld dan de maximale druk op een leeg filter. De maximale druk op een vol filter zal wel overschreden worden, maar dit zal maar enkele seconden zijn totdat het water in het filter door het gas is weggedrukt.

De bodem, de diepte van het filter en de grondwaterstand zijn dus mede bepalend voor de maximaal aan te leggen druk en daaraan gekoppeld het gasdebiet.

Stripeffect

Het LINER[®] concept bevat twee tegenstrijdige belangen. De eerste is een goede verspreiding van substraat door middel van injectie via een dragergas. De tweede is de biologische afbraak zodat bij voorkeur geen (grondwater- en/of lucht-) zuivering hoeft te worden ingezet.

Echter door het injecteren van gas zal een deel van de verontreinigingen gestript worden en er zal vanaf het maaiveld emissie plaatsvinden. Injecties met een laag debiet resulteren in geringe emissies aan het maaiveld, echter zullen geen goede verspreiding van het substraat opleveren. Hoge injectiedebieten resulteren daarentegen in hogere emissies die waarschijnlijk gezuiverd moeten worden, maar ook in een goede verspreiding van substraat.

Metingen hebben aangetoond [3] dat de emissie bij de injectiedebieten, die tijdens de sanering zijn gebruikt, niet detecteerbaar zijn. In de kruipruimten onder de bebouwing zijn wel licht verhoogde gehalten aan CKW in de lucht gemeten. Deze liggen echter ver onder de TCL-waarde.

5.5 Instellingen LINER®

Het systeem is opgestart op 5 augustus 2002. Op basis van voorgaande overwegingen is het LINER® systeem op de volgende wijze ingesteld en opgestart (tabel 6):

Tabel 6. Instellingen LINER® systeem (per injectiefilter) bij opstart.

Hoeveelheid substraat/dag (ml)	500
Injectieduur (min)	3
Injectiefrequentie (dag ⁻¹)	1
Injectiedebiet (Nm ³ /uur)	50-65
Druk ondiep(bar)	3,5-3,7
Druk diep (bar)	6,2-6,5

In de onderstaande tabel 7 is het injectieregiem weergegeven.

Tabel 7. Schematische weergave injectieregiem per dag (situering injectiefilters bijlage A).

Filter	Diepte (m -mv)	0 uren	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
903	25	x											
903	45							x					
904	25		x										
904	45								x				
907	25			x									
907	45									x			
908	25				x								
908	45										x		
911	25					x							
911	45											x	
913	25						x						
913	45												x

MONITORINGSWERKZAAMHEDEN

6.1 Toelichting monitoringsparameters dechlorering

Monitoring van metabole reductieve dechlorering betreft het volgen van verschillende specifieke parameters in de tijd. Een volledige anaërobe afbraak van PER naar ethaan wordt volgens de huidige ideeën bewerkstelligd door twee verschillende enzymsystemen. Het ene systeem zorgt voor de afbraak van PER naar TRI en naar CIS. Het andere systeem verzorgt de afbraak van CIS verder via VC, etheen naar ethaan. Tot de groep bacteriën die het eerste enzymstelsel bevatten behoren onder andere sulfaatreducerende bacteriën. Bij voldoende biologisch beschikbaar DOC zullen dus tevens sulfaatreducerende bacteriën zorgen voor afbraak van PER en TRI naar CIS. Gedurende dit proces valt in het algemeen daarom naast verlaging van concentraties PER en TRI en verhoging van CIS-concentraties, een verlaging in de sulfaatconcentraties waar te nemen.

Tot de groep bacteriën die de anaërobe omzetting van CIS verzorgen, behoren de sulfaatreducerders niet. Vaak valt daarom ook een accumulatie waar te nemen van CIS wanneer er nog hogere (>20 mg/L) sulfaatconcentraties aanwezig zijn. De sulfaatreducerders gaan in dit geval de competitie aan met de dehalogeneerders en winnen dit vanwege de hogere sulfaatconcentraties (voldoende e-acceptor), waarbij de dehalogeneerders het onderspit delven. Volgens de huidige theorie, ondersteund door laboratoriumexperimenten en enkele praktijkgevallen, zal de afbraak van CIS pas echt goed op gang komen, wanneer de sulfaatconcentratie voldoende is afgenomen (< 20 mg/l) en de sulfaatreducerders geen grote rol meer spelen in de strijd om het substraat.

Belangrijke parameters die tijdens de monitoring dienen te worden gevolgd zijn dus naast de CKW en haar afbraakproducten, sulfaat en DOC. Tijdens de monitoring wordt derhalve op deze bovengenoemde parameters gefocust.

6.2 Monitoringsschema

In bijlage B zijn de uitgevoerde werkzaamheden in het kader van de monitoring weergegeven.

De injectiefilters zijn bij de nulbemonstering geanalyseerd op CKW. In de overige monitoringsronden zijn deze filters niet standaard meegenomen. Voor bemonstering van de injectiefilters moeten deze losgekoppeld worden van het leidingwerk. Alleen de injectiefilters 913 zijn op een later moment nogmaals bemonsterd en geanalyseerd op CKW om de afbraak direct in het filter te bepalen.

Bij de nulbemonstering in de monitoringsfilters zijn alle filters geanalyseerd op CKW en de afbraakproducten (VC, etheen en ethaan). Daarnaast zijn in een aantal filters de redoxparameters (ijzer (II), sulfaat en methaan) en DOC bepaald.

In de weken 9, 17, 33, 43 en 59 na de nulmeting zijn bemonsteringen uitgevoerd. In de weken 9, 17, 43 en 59 is een groot aantal filters bemonsterd. In week 33 is een selectief aantal van de monitoringsfilters bemonsterd. Deze bemonsteringsronde is uitgevoerd om te onderzoeken of er al stimulatie van afbraak was opgetreden. Hierbij zijn de filters geselecteerd, waarvan werd vermoed dat hier als eerste de afbraak gestimuleerd zou worden (filters 902, 904-injectiefilter, 905 en 906). Hierbij is er voor gekozen dat van ieder filter alle dieptes zouden worden geanalyseerd.

RESULTATEN EN DISCUSSIE

7.1 Technische werking systeem

De technische werking van het systeem wordt gedurende de sanering periodiek gecheckt. Er zijn alarmmeldingen aangebracht, waardoor via een GSM melding kan worden gemaakt van verschillende soorten storingen.

Het full-scale systeem heeft duidelijk te maken gehad met kinderziektes. In de onderstaande figuren zijn de draaidagen en het substraatverbruik weergegeven.

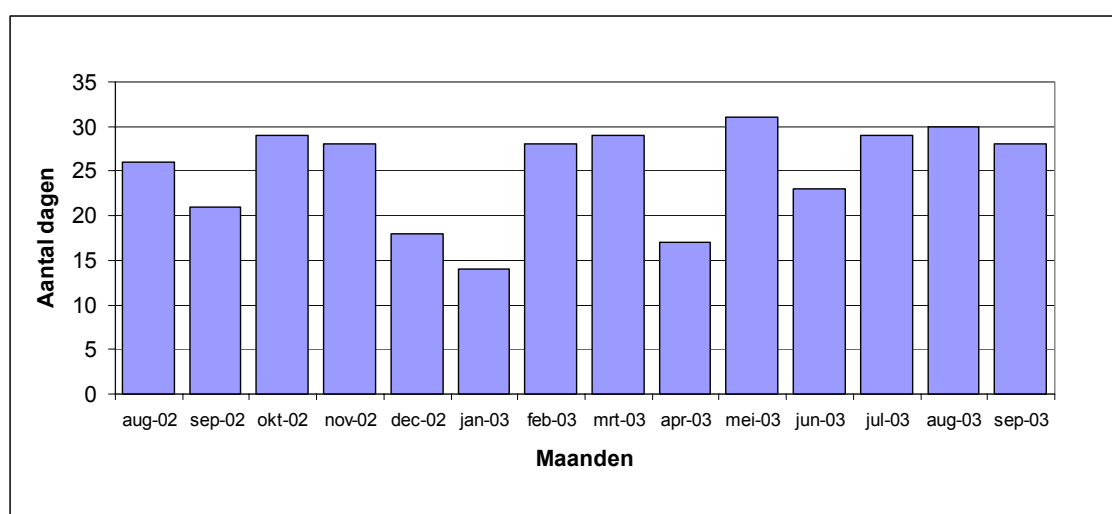


Fig. 2. Aantal dagen per maand dat het systeem operationeel is geweest in de periode vanaf opstart (5 augustus 2002) tot en met de maand september 2003.

Uit figuur 2 blijkt dat met name in de laatste maanden (met uitzondering van de maand juni) het systeem volledig heeft kunnen draaien. De injectie van stikstofgas is vrijwel probleemloos verlopen. De oorzaak van de problemen in de eerste maanden was met name gelegen in de substraatunit van het systeem. In de maanden gedurende de sanering zijn er problemen geweest met de substraatpomp, waardoor maar een deel van het gewenste substraat kon worden geïnjecteerd (figuur 3) of waardoor zelfs het systeem moest worden stilgelegd. Inmiddels zijn het systeem en de pomp dusdanig aangepast dat naar verwachting in de toekomst deze problemen zich niet meer voor zullen doen. In de maand januari en februari is bevrozing van het substraat opgetreden. In de komende winter zullen er technische aanpassingen noodzakelijk zijn om bevrozing tegen te gaan. In april heeft het systeem een aantal dagen stilgestaan, omdat de alarmmeldingen niet optimaal bleken te zijn afgesteld. Inmiddels lijkt het systeem van haar voornaamste kinderziektes verlost te zijn en kan het voluit draaien.

Er is ongeveer 1.500 kg substraat ingebracht. Figuur 3 geeft aan dat maar een deel van de hoeveelheid substraat dat oorspronkelijk geïnjecteerd zou worden, is ingebracht.

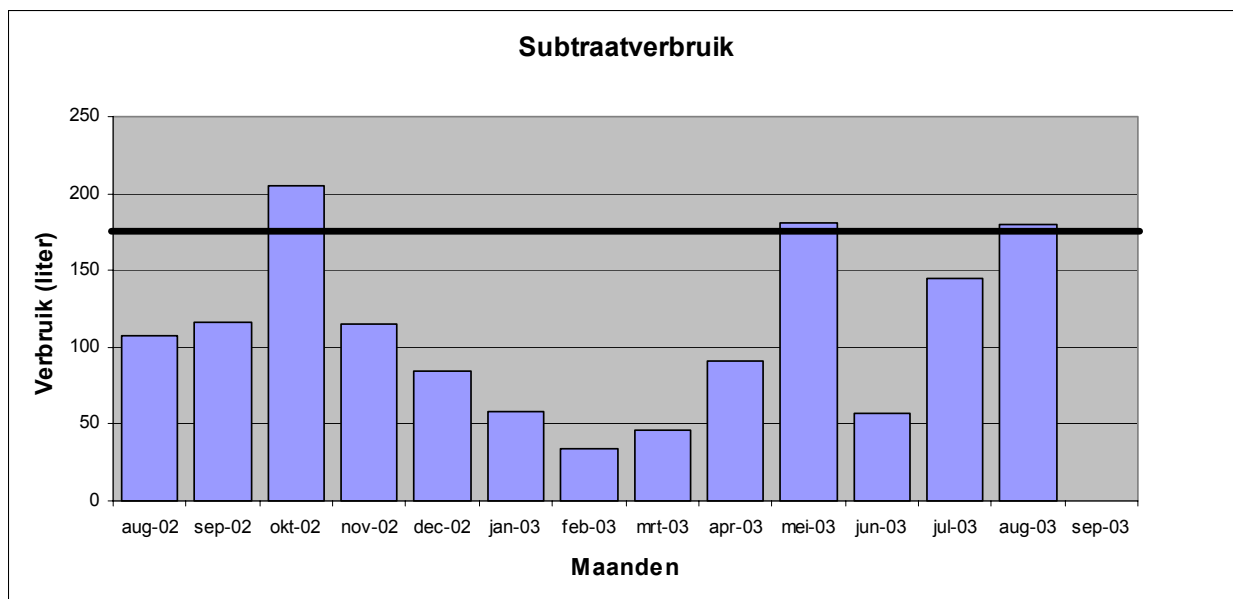


Fig. 3. Maandelijks substraatverbruik. De doorgetrokken lijn geeft het gewenste substraatverbruik (6 l/dag) aan.

7.2 Stimulering van de CKW-afbraak

In bijlage C zijn alle data en bijbehorende figuren weergegeven. Aangezien het een groot aantal filters en analysegegevens betreft, worden alle afzonderlijke resultaten in deze rapportage niet apart behandeld. Wel wordt een onderscheid gemaakt in globaal drie categorieën: filters waar de afbraak goed verloopt, twijfelachtig is en niet/slecht verloopt. Hierbij wordt gekeken naar de hoogte en het verloop van de CKW en etheen, ethaanconcentraties in de tijd. Tevens wordt ook sulfaat beschouwd. Een consequente afname geeft aan dat sulfaatreducerende omstandigheden aanwezig zijn, hetgeen gunstig is voor CKW-afbraak. Zoals eerder gezegd, hoge sulfaatconcentraties kunnen remmend werken op de CKW-reductie en afname van sulfaat wordt derhalve positief beoordeeld.

Een filter wordt als **goed** beoordeeld wanneer er een duidelijke afname plaatsvindt van PER, TRI en CIS en een toename van VC en etheen/ethaan. Een consequente toename in de tijd van VC en etheen/ethaan weegt hierin zwaarder dan een afname van PER, TRI en CIS. Zo is 902 (14-15) op basis van de consequente toename in de tijd van VC en etheen/ethaan als goed beoordeeld, terwijl er ook een toename in PER, TRI en CIS is waargenomen ten opzichte van de voorgaande monitoringsronde in week 43.

Een filter wordt als **twijfelachtig** beoordeeld wanneer er een consequente toename in de tijd van PER, TRI en CIS is waar te nemen, maar ook een toename in de verdere afbraakproducten. Verder wordt er in de meeste gevallen slechts een (lichte) sulfaatafname waargenomen.

Een filter wordt als **slecht** beoordeeld wanneer er geen consequente afname in de tijd plaatsvindt van PER, TRI en CIS en toename van de verdere afbraakproducten. In de regel vindt ook geen of nauwelijks afname plaats van de sulfaatconcentraties.

7.2.1 Drie voorbeelden van interpretatie biologische afbraak

Op verschillende locaties zijn voorbeelden te geven waar de biologische afbraak, afhankelijk van de diepte, goed, twijfelachtig en slecht verloopt. Als voorbeeld wordt locatie 901 (bijlage C) genomen waar op diepte 15 m -mv de afbraak uitstekend verloopt, op diepte 25 m de afbraak twijfelachtig is en op diepte 35 m -mv de afbraak slecht verloopt.

In figuur 4 is de relatieve bijdrage aan de verschillende CKW en afbraakproducten weergegeven als voorbeeld voor een goedlopende biologische afbraak.

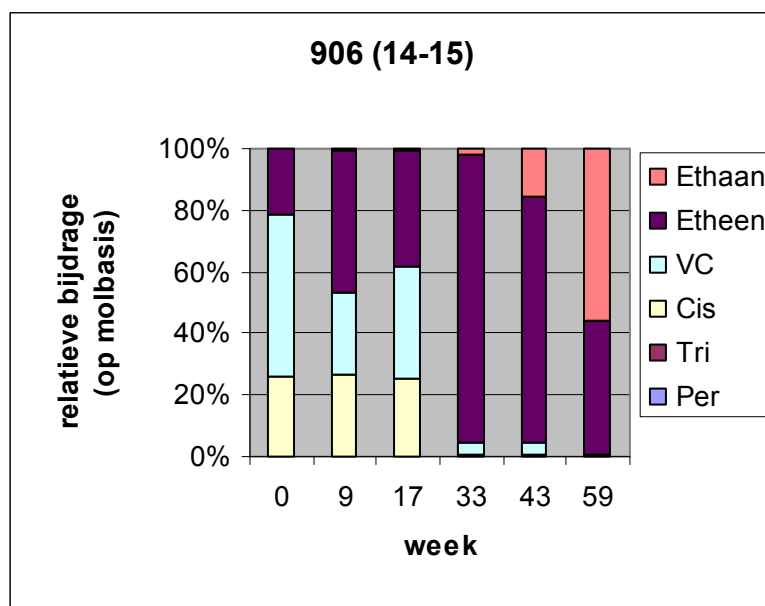


Fig. 4. Relatieve bijdrage aan CKW en afbraakproducten aan de totale CKW-concentratie.

Voor de data wordt verwezen naar bijlage C. Ten opzichte van de vorige monitoringsronden in weken 9 en 17 na de opstart zien we een duidelijke (relatieve) toename van etheen als afbraakproduct waarbij CIS sterk afneemt van 28.000 naar 6 µg/l. Tevens is een verlaging waar te nemen van de concentraties aan VC en een sterke verhoging van de ethaan concentraties. De sulfaatconcentratie is gedurende de gehele periode laag (<2 mg/l) hetgeen betekent dat de concurrentie van de sulfaatreducerders verwaarloosbaar is en de CKW-reduceerders meer kans hebben hun werk te doen.

In figuur 5 is de relatieve bijdrage aan de verschillende CKW en afbraakproducten weergegeven als voorbeeld voor een twijfelachtig lopende biologische afbraak.

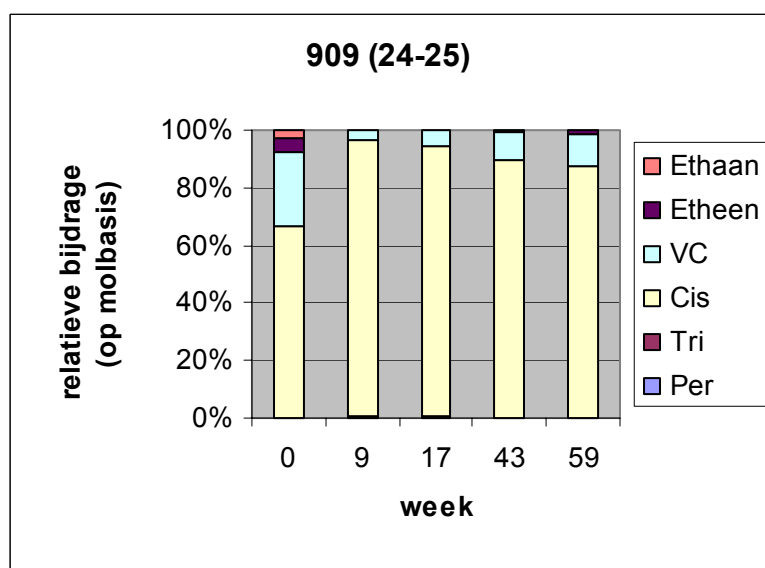


Fig. 5. Relatieve bijdrage aan CKW en afbraakproducten aan de totale CKW-concentratie.

Ten opzichte van de monitoringsronden in weken 9 en 17 is er een lichte daling in de CIS-concentraties en een lichte stijging van de VC-concentraties waarbij ook etheen gevormd gaat worden. Deze waarnemingen geven een indicatie van een stimulering van de biologische afbraak, maar gezien de geringe concentratieverhogingen van de afbraakproducten is dit niet overtuigend.

In figuur 6 is de relatieve bijdrage aan de verschillende CKW en afbraakproducten weergegeven als voorbeeld voor een slechtlopende biologische afbraak.

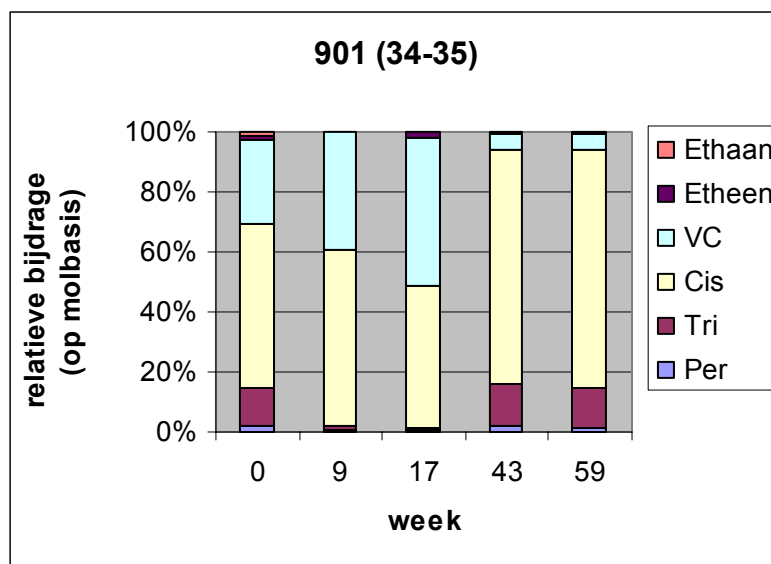


Fig. 6. Relatieve bijdrage aan CKW en afbraakproducten aan de totale CKW-concentratie.

Ten opzichte van de nulmeting en de monitoringsronden 9 en 17 is er een duidelijke rebound van TRI waarneembaar. De CIS-concentratie neemt weer toe en de ultieme afbraak van VC naar etheen en ethaan blijft sterk achter. Bovenstaande geeft aan dat het afbraakpatroon na week 17 is verslechterd.

7.2.2 Overzicht van het verloop van de biologische afbraak van PER op filter-niveau.

In figuur 7 is een overzicht gegeven van alle filters die zijn gekwalificeerd als goed, twijfelachtig of slecht lopend op het gebied van stimulatie van biologische afbraak.

In 21 van de 38 filters is er een duidelijke stimulatie van de biologische afbraak van PER waar te nemen en verloopt deze afbraak goed, hetgeen positief genoemd mag worden. Een goed verlopende afbraak zien we met name in alle filters op 15 m -mv en in de meeste diepe filters op 45 m -mv. Er zijn twee locaties met filters, te weten filters 900 en 906, waar de biostimulatie op alle gemonitorde dieptes uitstekend verloopt.

In 5 van de 38 filters zien we een twijfelachtige situatie, waarbij er vaak wel afbraak waar te nemen is, maar de concentraties aan afbraakproducten relatief laag blijven. De meeste twijfelgevallen zien we op 25 m -mv.

In 12 van de 38 filters wordt de afbraak niet of slecht gestimuleerd.

In bijlage D zijn figuren opgenomen, waarin het verloop per diepte van de gemiddelde concentratie is weergegeven. Via een gepaarde T-toets is onderzocht of de verschillen in concentraties

tussen de 0-meting en de laatste meting in week 59 significant zijn. In de onderstaande tabel 8 zijn de statistische resultaten weergegeven.

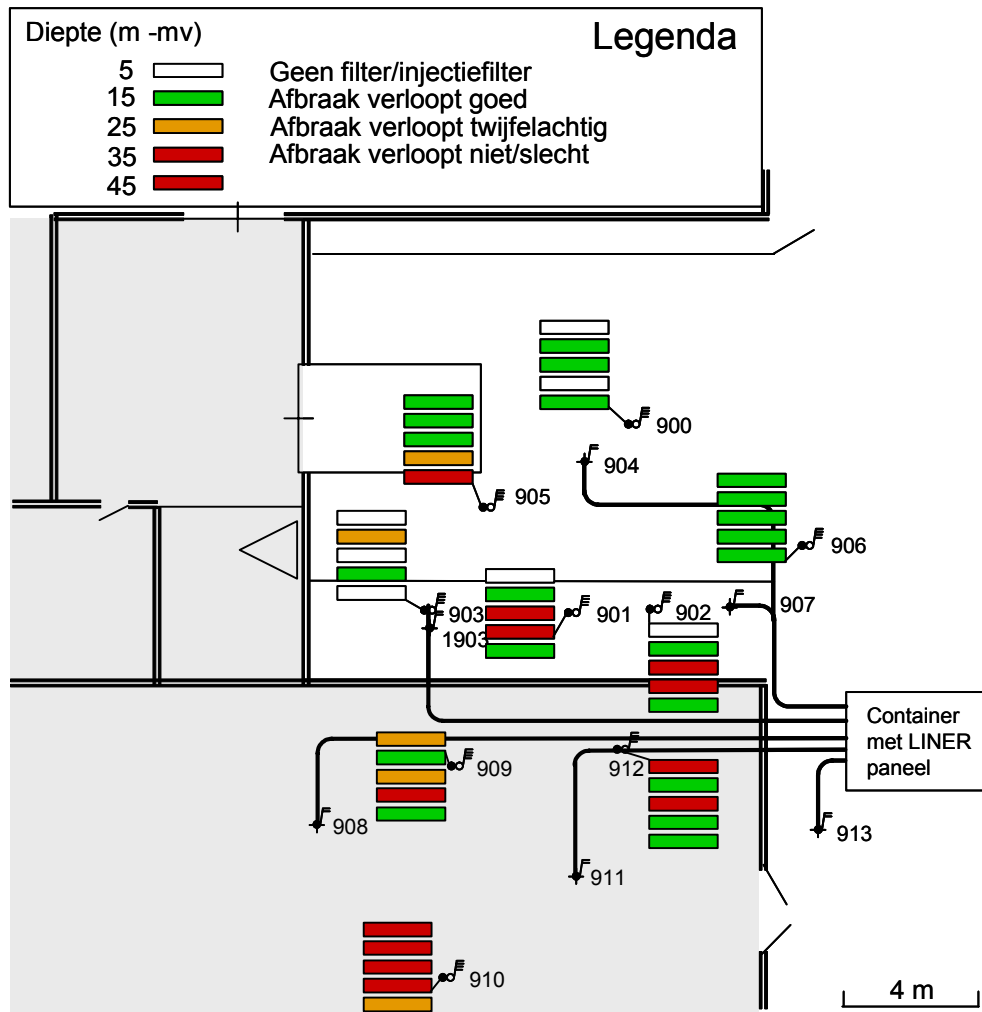


Fig. 7. Resultaten afbraak per monitoringsfilter globaal weergegeven als goedlopend, twijfelachtig of slecht.

Tabel 8. Eenzijdige gepaarde T-testen (1-tailed-p).

Diepte (m -mv)	PER 0-meting > PER week 59	TRI 0-meting > TRI week 59	CIS 0-meting > CIS week 59	VEE* 0-meting < VEE week 59	Dechl.** 0-meting < Dechl. week 59
4	0,41	0,78	0,07	0,22	0,56
14	0,03	0,004	0,21	0,09	0,02
24	0,94	0,50	0,26	0,10	0,12
34	0,39	0,26	0,87	0,09	0,68
44	0,30	0,02	0,08	0,001	0,008

* VEE = som van gemiddelde VC, etheen- en ethaanconcentraties

** Dechl. = gemiddelde dechloreringsgraad

Voor de gearceerde waarden geldt dat er sprake is van een significante ($p < 0,05$) verandering. Ter verklaring: op een diepte van 14 m -mv is de kans dat de gemiddelde concentratie aan PER tijdens de 0-meting lager is dan die tijdens de meting in week 59 kleiner dan 3%. Dus de kans dat de hypothese "PER 0-meting > PER week 59" wordt verworpen is kleiner dan 3%.

Uit de tabel blijkt inderdaad dat er een significante verhoging is van de dechloreringsgraad op diepte 14 m -mv, maar dat de significantie wat minder is voor de toename van de afbraakproducten van CIS. Op diepte van 44 m -mv wordt wel een significante verhoging berekend van de som van de afbraakproducten VC, etheen en ethaan en de dechloreringsgraad.

Er zijn enkele mogelijke redenen voor de minder goede biostimulatie op de diepten 4, 24 en 34 m -mv.

Op 4 m - mv vindt hoogstwaarschijnlijk een grote nalevering plaats van de venige deklaag naar het onderliggende watervoerend pakket. Er treedt wel biologische afbraak op, echter de concentraties nemen door de nalevering niet af.

Op 24 m -mv liggen de monitoringsfilters op dezelfde hoogte als de injectiefilters. Het is bekend dat de invloedstraal van een injectiefilter in de regel geringer is op het niveau van injecteren dan daarboven, waardoor de toelevering van substraat naar het gebied rond de monitoringsfilters op 25 m -mv niet optimaal is.

De monitoringsfilters op 34 m -mv bevinden zich in een fijnzandige laag (diepte circa 28-38 m -mv) die minder goed doorlatend is. Mogelijk vindt hierdoor een minder goede verspreiding van gas en substraat plaats. Dit heeft ook consequenties voor de laag op 24 m, die daarvoor niet voldoende wordt gevoed door de injectiefilters op 44 m -mv. Zoals eerder aangegeven moet LINER[®] voldoen aan IAS (In Situ Airsparging) voorwaarden voor een goede werking. Hierbij kan het zo zijn dat minder goed doorlatende lagen ook minder goed behandeld worden door het saneringssysteem.

Het feit dat ter hoogte van de injectiefilters op 44 m -mv wel een goede afbraak wordt gemeten in monitoringsfilters op dezelfde diepte, is niet geheel in de lijn van de bovengenoemde redenering. Wellicht dat, doordat de fijnzandige laag erboven (circa 28-38 m -mv), die minder goed doorlatend is, het resulteert in een betere menging van het substraat in het bodempakket onder de fijnzandige laag.

De slechtlopende afbraak in de filters op locatie 910 zou verklaard kunnen worden door het feit dat deze locatie zich aan de rand van het saneringsgebied bevindt en daardoor minder goed behandeld wordt dan een locatie midden in het gebied. Voor het slechte verloop van de afbraak in filters 912 onder het gebouw is een mogelijke verklaring dat deze filters op (iets) te grote afstand (>4 m) van omliggende injectiefilters staan. Op basis van de boorbeschrijvingen die zijn gemaakt tijdens de plaatsing van de injectiefilters, kan niet worden gesteld dat er duidelijke verschillen in bodemopbouw aanwezig zijn die er voor zorgen dat de doorlatendheid op locatie 912 minder is dan op andere locaties. Ook de gemeten tegendrukken tijdens injectie wijzen niet in deze richting. Een mogelijke verklaring is dat, ondanks dat in de pilottest een invloedstraal van circa 4 m is vastgesteld, deze invloedstraal op andere locaties een overschatting blijkt. In de In Situ Air Sparging Technical Guide [2] wordt gesproken over de *15 feet rule*, een conservatieve vuistregel uitgaande van een filterafstand van 5 m, i.e. een invloedstraal van 2,5 m. Bij deze filterafstand wordt de kans zeer klein geacht dat er bepaalde gebiedsdelen niet belucht worden.

Meestal wordt deze afstand aangehouden wanneer er geen pilot wordt uitgevoerd en er de mogelijkheid bestaat om de filters ook in een dergelijk dicht netwerk te plaatsen.

7.3 Overall overzicht van het verloop van de biologische afbraak van PER

Afbraak van PER naar ethaan

In het onderstaande wordt ingegaan op het overall beeld van PER op basis van gemiddelde concentraties van alle waarnemingen. In bijlage E zijn de statistieken opgenomen.

In figuur 8 zijn de gemiddelde concentraties van PER, TRI, CIS en VC+etheen+ethaan in de tijd uitgezet.

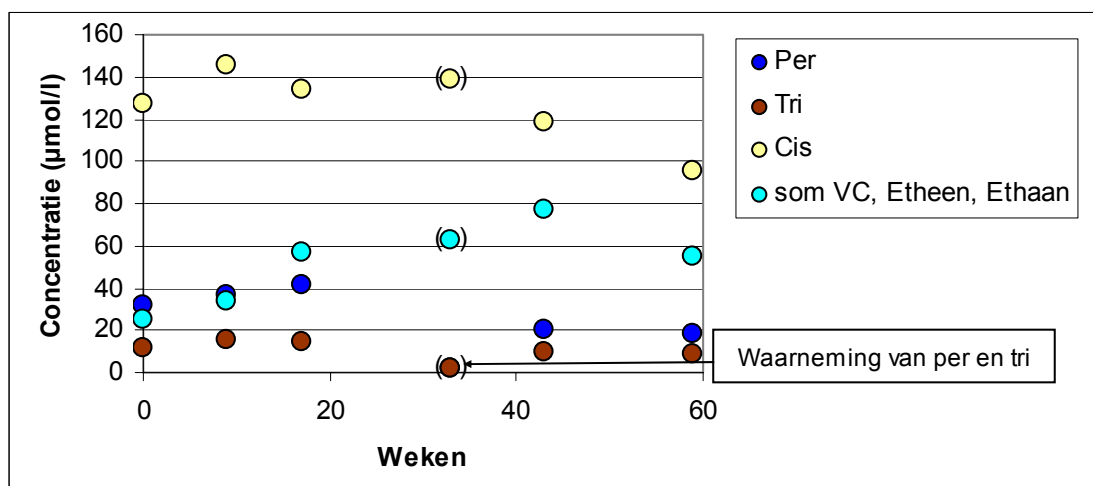


Fig. 8. Gemiddelde concentraties ($\mu\text{mol/l}$) van de CKW en afbraakproducten als functie van de tijd. De () geven aan dat deze metingen zijn gedaan in een beperkt aantal filters waar de afbraak goed verloopt.

Wanneer de eerste drie monitoringsronden (incl. de nulmeting) worden beschouwd dan valt op dat in een groot aantal gevallen PER- en TRI-concentraties een toename vertonen ten opzichte van de meting uit de vorige ronde. De toename in concentratie tijdens of na gasinjectie in de bodem is een bekend fenomeen. Door de explosieve inbreng van gas treedt een lokale menging op in de bodem, waardoor mobilisatie van de verontreinigingen plaatsvindt. Bij een intensief gasinjectiesysteem, waarbij hoogfrequent wordt geïnjecteerd, is deze initiële piek in het algemeen van korte duur en dempen de fluctuaties snel uit door een snelle menging. Bij een extensieve, laagfrequente injectie, zoals bij deze LINER[®] sanering, kunnen de fluctuaties langer doorzetten. Het netto resultaat van mobilisatie en afbraak levert in een groot deel van de gevallen nog een toename van de concentratie op.

De gemiddelde CIS-concentratie blijft op een hoog niveau hangen, echter tijdens de laatste twee metingen daalt de gemiddelde concentratie. Deze daling is, gezien de grote fluctuaties in concentratie in de individuele filters niet significant ($p < 0,93$, $n = 37$).

Het algemene verloop van de gemiddelde concentratie ziet er gunstig uit; een afname van de PER- en TRI-concentraties (beide significant $p < 0,030$, $n = 37$) en een significante toename ($p < 0,0012$, $n = 37$) van de som van VC, etheen en ethaan (afbraakproducten van CIS) ten opzichte van de nulmeting.

Belangrijk is te vermelden dat de sterke afname van PER en TRI en de toename van VC+etheen+ethaan in week 33, een gevolg is van het feit dat een selectief aantal filters in deze monitoringsronde is bemonsterd (bijlage E, $n = 14$). Het waren de filters waar een goede stimulatie werd verwacht van de afbraak.

Om een beeld te geven van het verloop van de totale vracht in de tijd is in de onderstaande tabel 9 een sommatie weergegeven van de gemiddelde concentraties (uitgedrukt in $\mu\text{mol/l}$, bijlage E) van de gechloteerde verbindingen PER, TRI, CIS en VC op de verschillende bemonsteringstijdstippen. Hierbij wordt er van uitgegaan dat de volumina grondwater die de gemiddelde concentraties vertegenwoordigen, voor ieder bemonsteringstijdstip gelijk zijn.

Tabel 9. Som van gemiddelde concentraties aan gechloteerde verbindingen (in $\mu\text{mol/l}$) op de verschillende bemonsteringstijdstippen.

Week	Som concentratie
0	191
9	219
17	227
(33)	(170)
43	192
59	157

Uit tabel 9. blijkt dat na een initiële stijging van de vracht tot week 17, er een duidelijke afname is waar te nemen in de vracht gedurende het verdere verloop van de sanering. Deze waarneming moet als zeer positief beschouwd worden en verdere monitoring moet aantonen of deze dalende lijn wordt voortgezet. De stijging van de concentraties is waarschijnlijk het gevolg van het feit dat de bacteriën een adaptatietijd nodig hebben om de afbraak goed te laten verlopen en vanwege het mobiliserende effect van het injecteren van gas. Tevens kan ook hier worden opgemerkt dat de sterke daling in week 33 het gevolg is van het selectief bemonsteren van de peilbuizen waarin de afbraak goed verloopt.

In april 2003 is een belangrijke aanpassing uitgevoerd aan het LINER[®] systeem. Dit betrof een verbetering van het pompsysteem dat de toevoer van het substraat naar de vernevelaar verzorgt en de verhoging van de gastemperatuur om bevrozing van het substraat tegen te gaan en condensatie te reduceren. In de periode hiervoor heeft het systeem niet optimaal gefunctioneerd. Mede gezien het feit dat maar enkele maanden van de gehele periode het systeem optimaal gedraaid heeft en nu de resultaten aangeven dat in ruim de helft van de filters de afbraak goed verloopt, is het bereikte resultaat gematigd positief te noemen. De resultaten geven aan dat de afbraak in het merendeel van de filters niet snel verloopt.

In het algemeen kan worden gesteld dat de gemiddelde PER- en TRI-concentraties significant zijn afgenomen en er een significante toename is van de gemiddelde VC+etheen+ethaanconcentratie.

In 55% van de filters wordt een goede stimulering van de afbraak waargenomen, in 13% van de filters een twijfelachtige afbraak en in de overige 32% vindt geen of een slechte afbraak plaats.

De afbraak vindt met name plaats op diepte 14 en 44 m -mv. De minder goede afbraak op de overige dieptes waar gemonitord is, is mogelijk het gevolg van nalevering uit de verontreinigde bovenlaag (4 m -mv), een beperkte invloedstraal op dezelfde diepte van injectie (24 m -mv) en de aanwezigheid van een minder goed doorlatende fijnzandige laag op circa 28-38 m -mv (24 m -mv en 34 m -mv).

Tevens zijn mogelijk enkele injectiefilters te ver van elkaar geplaatst, waardoor het tussenliggende gebied niet voldoende wordt behandeld.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Conclusies

In het onderstaande worden de belangrijkste conclusies uit het onderzoeksproject gegeven. De conclusies gaan in op de mogelijkheden tot een generieke toepassing van LINER[®] op andere CKW-locaties.

1. Op de vraag “is LINER[®] een volwassen saneringstechniek” kan nog niet volmondig met “ja” worden geantwoord. De periode dat het systeem optimaal heeft gedraaid is te kort om met 100% zekerheid deze vraag bevestigend te beantwoorden. De resultaten zien er gematigd positief uit:
In het algemeen zijn de gemiddelde PER- en TRI-concentraties significant afgenomen en is er een significante toename in de gemiddelde VC-+etheen-+ethaanconcentratie waargenomen. In 55% van de filters wordt een goede stimulering van de afbraak waargenomen, in 13% van de filters een twijfelachtige afbraak en in de overige 32% vindt geen of een slechte afbraak plaats. Waar de afbraak goed verloopt is de snelheid gering.
2. Na enkele aanpassingen in het systeem tijdens de full-scale sanering kan worden gesteld dat technisch gezien het LINER[®] systeem generiek goed toepasbaar moet zijn op andere locaties met CKW-verontreinigingen. Zoals ook andere technieken heeft echter ook LINER[®] zijn beperkingen. Omdat het een gasinjectietechniek is dient LINER[®] onder dezelfde randvoorwaarden te worden uitgevoerd als persluchtinjectie. Tevens is LINER[®] op voorhand niet geschikt om toe te passen bij de aanwezigheid van zaklagen. Het betreft immers een biologische techniek en zaklagen kunnen vanwege de extreem hoge concentraties en grote nalevering niet biologisch binnen een beperkte termijn van enkele jaren gesaneerd worden. Tot slot dienen de biologische omstandigheden geschikt te zijn voor biologische afbraak; voldoende anaëroob grondwater en de aanwezigheid van de juiste CKW-reducerende bacteriën.
3. Voorafgaand aan de uitvoering van LINER[®] is het gewenst om via laboratoriumtesten met grond afkomstig van de locatie, te onderzoeken welk substraat het meest geschikt is en of de biologische omzetting volledig is.
4. Uit de pilottest bleek dat de invloedstraal voor de locatie in Zwolle ongeveer 4 m is. Op andere locaties wordt aanbevolen om via een pilot de invloedstraal in te schatten of uit te gaan van een conservatieve vuistregel, waarbij de afstand tussen de filters 5 m bedraagt.
5. Voor een goede nevel wordt aanbevolen om 32 mm leidingwerk te gebruiken. Bij een grotere standaardmaat (bijv. 50 mm) is de nevelopbrengst beduidend minder.
6. Metingen hebben aangetoond dat de emissie bij de injectiedebieten die tijdens de sanering zijn gebruikt niet detecteerbaar zijn. In de kruipruimten onder de bebouwing zijn wellicht verhoogde gehalten aan CKW in de lucht gemeten. Bij toepassing op andere locaties zal aangetoond moeten worden dat de eventuele emissies van CKW acceptabel zijn.

Aanbeveling

Het is niet reëel aan te nemen dat een biologische sanering van CKW-verontreinigingen met dergelijke hoge concentraties binnen een jaar afgerond is. Dit mede gezien het feit dat dit project de eerste LINER[®] full-scale sanering is met de nodige kinderziektes die moesten worden overwonnen.

Aanbevolen wordt daarom om de sanering vooralsnog een jaar voort te zetten en in de loop van deze periode enkele bemonsteringsrondes uit te voeren.

LITERATUUR

- [1] Tauw rapport R001-3918688JUD-D01-D, d.d. 6 juni 2001; Derde grondwatermonitoringsronde voormalig bedrijfsterrein Amefo.
- [2] NOBIS 95-1-13 In Situ Air Sparging A Technical Guide Version 1.1, 2000, CUR/NOBIS, Gouda.
- [3] LINER[®] SKB-project SV-702, Deelresultaat 1 Stabiliteit nevel in leidingwerk, Tauw, juni 2002.
- [4] SKB SV-080 LINER[®]-gasinjectie. Een nieuw concept voor de stimulering van de biologische CKW-afbraak. Maart 2001, CUR/NOBIS, Gouda.
- [5] LINER[®] SKB-project SV-702, Deelresultaat 3 Laboratoriumwerkzaamheden: de werking van substraat, Tauw, 11 oktober 2002.

BIJLAGE A

**SITUERING MONITORINGSFILTERS, INJECTIEFILTERS
EN ONDERGRONDS LEIDINGWERK**

Situering monitoringsfilters en injectiefilters



Legenda

- ☒ bodermuchtfilter 1: 1,5 m -mv
- /— monitoringpeilbuis met 2 filters: 14-15 m -mv
34-35 m -mv
- /— monitoringpeilbuis met 4 filters: 14-15 m -mv
24-25 m -mv
34-35 m -mv
44-45 m -mv
- /— monitoringpeilbuis met 5 filters: 4-5 m -mv
14-15 m -mv
24-25 m -mv
34-35 m -mv
44-45 m -mv
- /— injectiefilters met 2 filters: 24-25 m -mv
44-45 m -mv

Maatvelddoogte komt overeen met het vloerniveau in de hal.

Opdrachtgever		Schied		Formaat	
Philips ETG		1:100		A3R-K1	
Project		Projectnr.			
Full-scale LINER Zwolle		3974944			
Onderdeel		Datum		Tekeningnr.	
Situering monitoringsfilters en injectiefilters		07.06.2002		4	
		Gew.			
		14.01.2003			
		Mwv			

g1 000081 1 4



Postbus 133
7400 AC Deventer
Tm. (0370) 99 99 11
Fax. (0370) 99 99 06

BIJLAGE B

MONITORINGSCHEMA

BIJLAGE C

ANALYSERESULTATEN – TABELLEN EN GRAFIEKEN

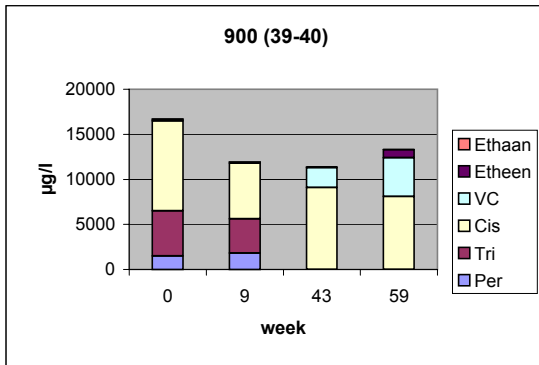
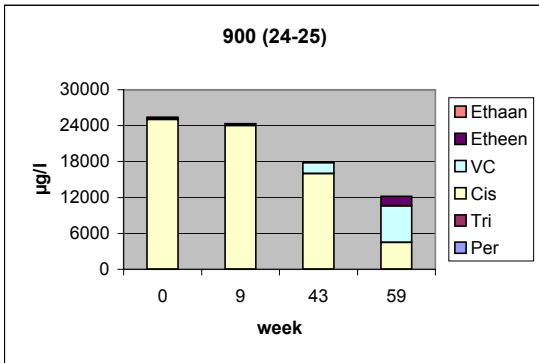
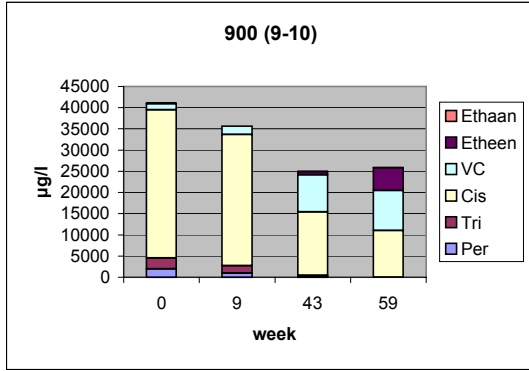
Full scale Liner Zwolle pb 900 t/m 903

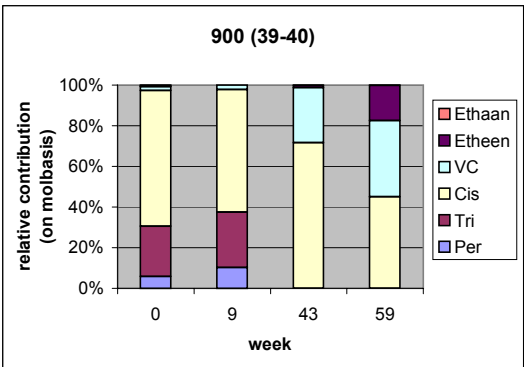
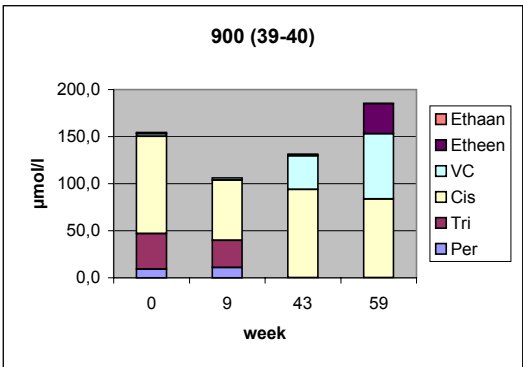
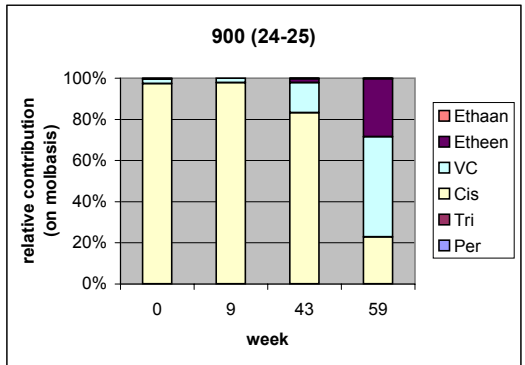
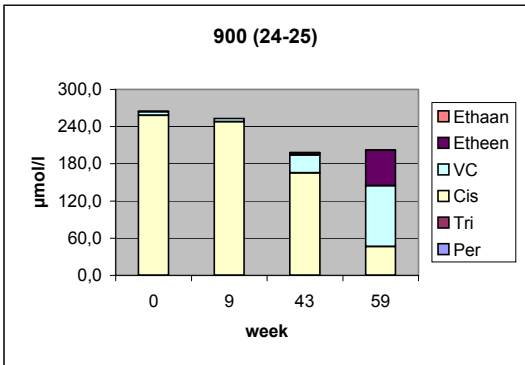
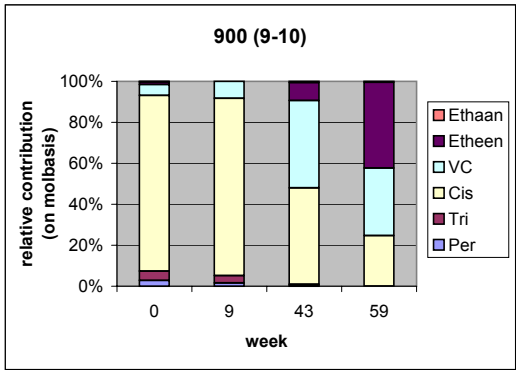
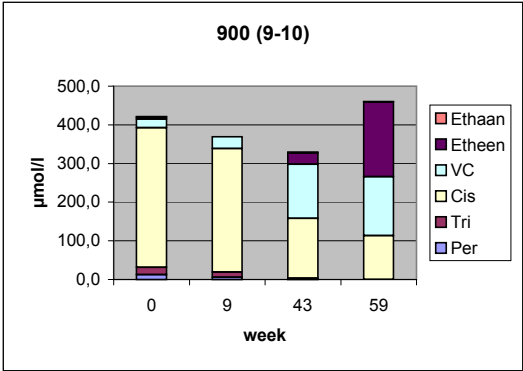
week		02-aug-02	10-okt-02	04-jun-03	25-sep-03		
900 (9-10)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l			60	16		
Methaan	mg/l			1,9			
DOC	mg/l		39	13	77		
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	2000	1000	230	15		
Tri	µg/l	2500	1700	200	16		
Cis	µg/l	35000	31000	15000	11000		
vinylchloride	µg/l	1400	1900	8700	9400		
Etheen	µg/l	140		820	5400		
Ethaan	µg/l	46		54	55		
Dechlorering		49,6	50,4	65,1	79,4		
900 (24-25)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l			62	21		
Methaan	mg/l			2,1			
DOC	mg/l		14	11	30		
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	0	5,6	0	0		
Tri	µg/l	0	0	0	0		
Cis	µg/l	25000	24000	16000	4500		
vinylchloride	µg/l	370	330	1800	6100		
Etheen	µg/l	17		97	1600		
Ethaan	µg/l	12		21	17		
Dechlorering		50,8	50,5	54,7	76,4		
900 (39-40)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l			46	28		
Methaan	mg/l			0,14			
DOC	mg/l		10	10	3100		
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	1500	1800	0	0		
Tri	µg/l	5000	3800	7,7	0		
Cis	µg/l	10000	6200	9100	8100		
vinylchloride	µg/l	170	150	2200	4300		
Etheen	µg/l	14		44	900		
Ethaan	µg/l	23		5	11		
Dechlorering		41,8	38,6	57,4	68,1		

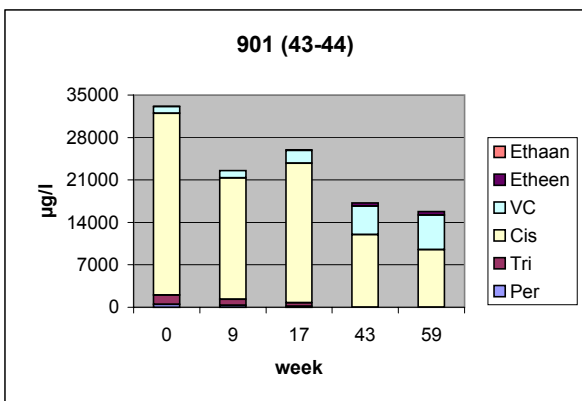
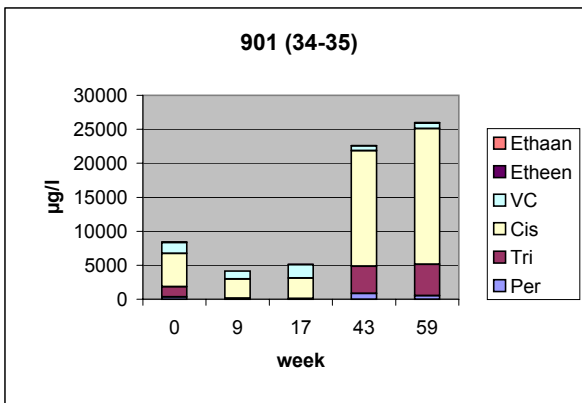
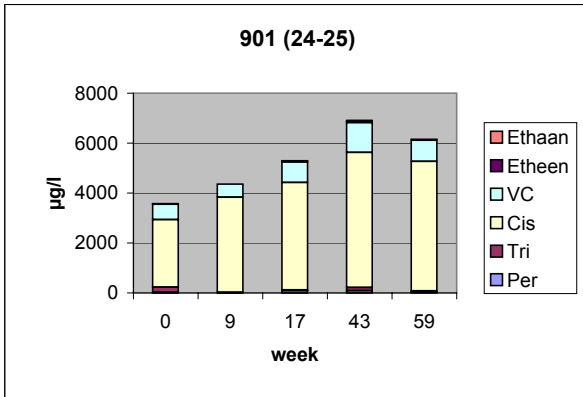
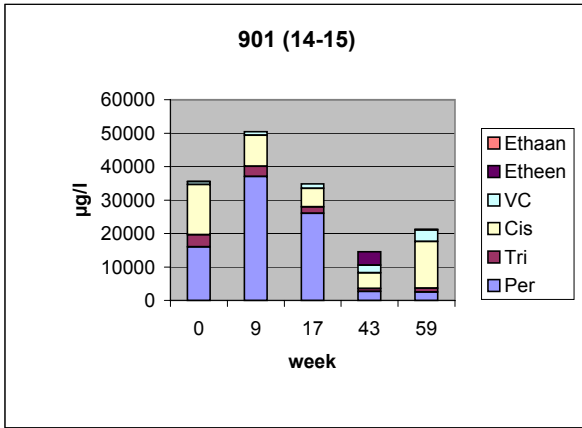
week		02-aug-02	10-okt-02	05-dec-02	04-jun-03	25-sep-03	
		0	9	17	43	59	
901 (14-15)		nul meting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l			68	14	57	
Methaan	mg/l				4,4		
DOC	mg/l		9,5	10	7,8	12	
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	16000	37000	26000	2700	2500	
Tri	µg/l	3600	3100	1900	800	1100	
Cis	µg/l	15000	9300	5600	4700	14000	
vinylchloride	µg/l	930	1000	1300	2300	3500	
Etheen	µg/l	57		55	4000	140	
Ethaan	µg/l	55		11	16	0	
Dechlorering		33,4	18,4	20,0	78,4	53,0	
901 (24-25)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l			71	56	79	
Methaan	mg/l				0,62		
DOC	mg/l		8,2	9,9	9,3	7,6	
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	26	10	85	92	46	
Tri	µg/l	210	20	35	130	26	
Cis	µg/l	2700	3800	4300	5400	5200	
vinylchloride	µg/l	620	530	830	1200	840	
Etheen	µg/l	18		42	70	38	
Ethaan	µg/l	0		5,7	17	7,7	
Dechlorering		55,8	54,3	56,4	57,3	55,8	
901 (34-35)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l			83	67	93	
Methaan	mg/l				0,93		
DOC	mg/l		8,7	9,7	10	9,1	
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	350	81	57	830	510	
Tri	µg/l	1500	83	51	4000	4600	
Cis	µg/l	4900	2800	3000	17000	20000	
vinylchloride	µg/l	1600	1200	2000	730	800	
Etheen	µg/l	51		31	20	44	
Ethaan	µg/l	26		0	14	23	
Dechlorering		54,2	59,0	62,8	47,1	47,7	
901 (43-44)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l			62	24	21	
Methaan	mg/l				0,91		
DOC	mg/l		16	92	23	11	
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	490	340	170	0	12	
Tri	µg/l	1500	1000	590	6,1	5,1	
Cis	µg/l	30000	20000	23000	12000	9500	
vinylchloride	µg/l	1100	1200	2100	4700	5700	
Etheen	µg/l	32		70	500	550	
Ethaan	µg/l	23		28	5,2	0	
Dechlorering		50,3	50,8	53,1	62,8	65,6	

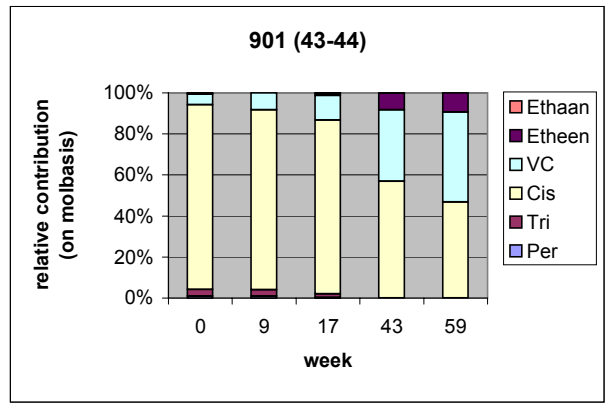
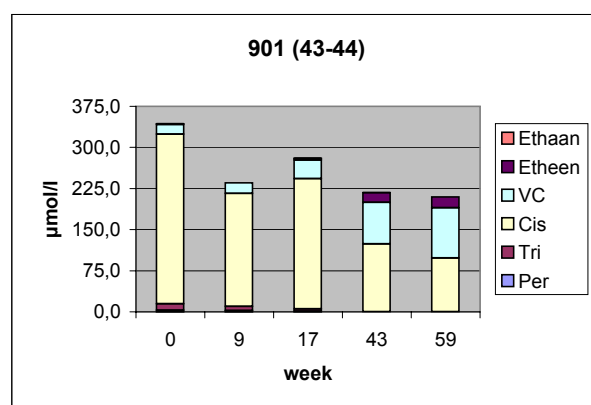
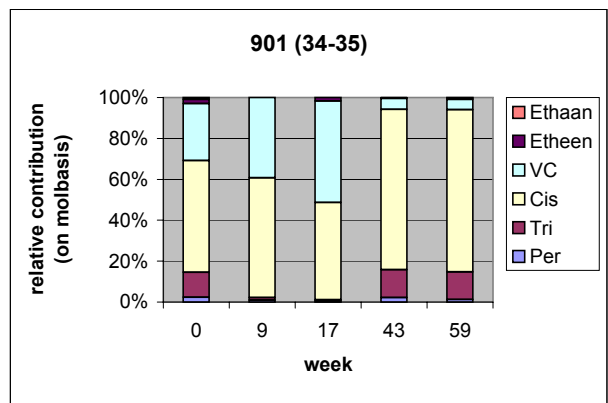
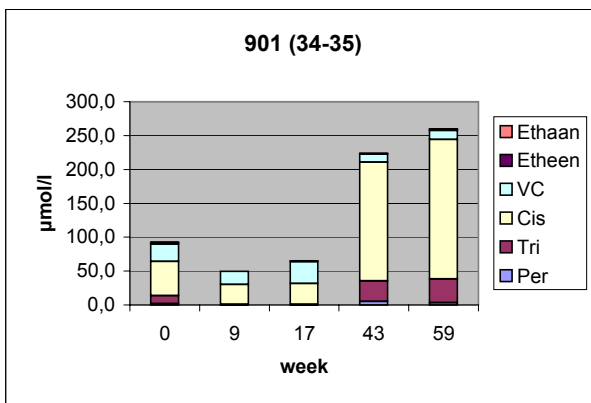
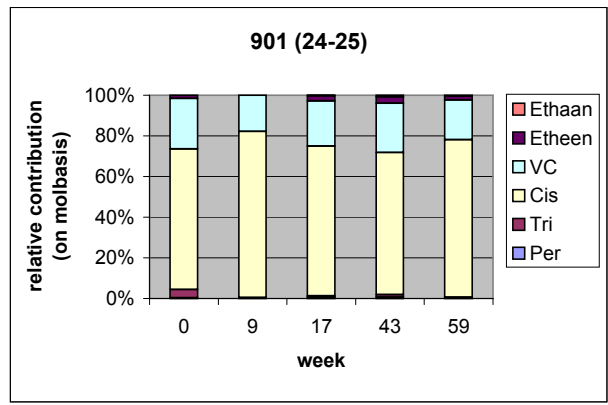
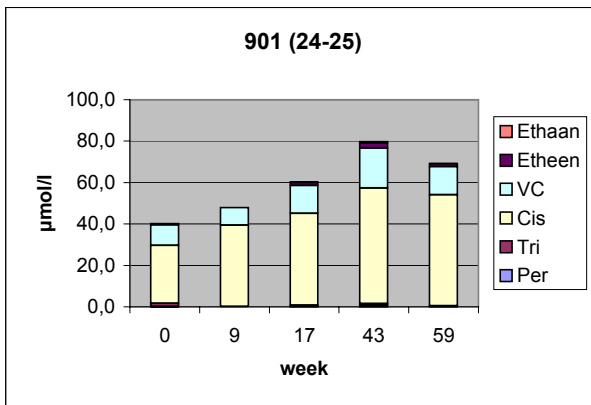
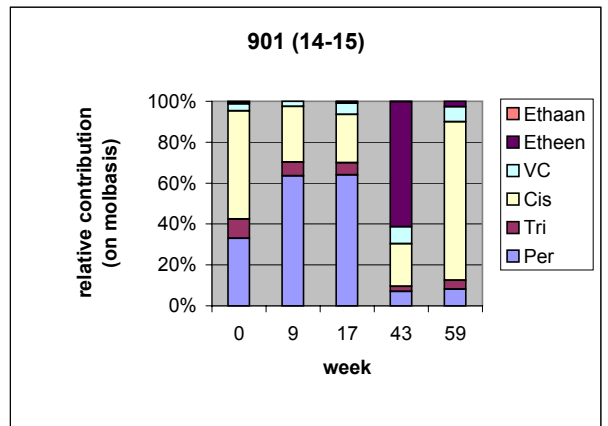
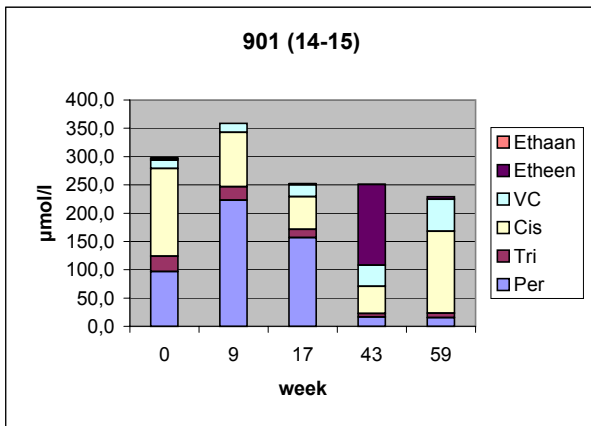
week		02-aug-02	10-okt-02	05-dec-02	27-mrt-03	04-jun-03	25-sep-03
902 (14-15)		nul meting					
IJzer (II)	mg/l	7,4					
Sulfaat	mg/l	75		75	69	48	57
Methaan	mg/l	0,44				0,85	
DOC	mg/l	8,5	8,4	11	3,7	11	12
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	21000	13000	16000	980	1500	5500
Tri	µg/l	3000	2400	2500	310	360	1300
Cis	µg/l	9600	16000	16000	2800	5100	5600
vinylchloride	µg/l	1800	1800	2800	3000	4700	2500
Etheen	µg/l	47		57	320	510	1000
Ethaan	µg/l	0		0	3	5	0
Dechlorering		28,2	37,4	37,6	64,7	64,5	55,0
902 (24-25)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l	4,6					
Sulfaat	mg/l	68		68	73	66	78
Methaan	mg/l	0,45				0,55	
DOC	mg/l	8,2	7,8	10	5	9,4	9,8
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	320	590	680	49	730	410
Tri	µg/l	31	100	71	12	100	41
Cis	µg/l	2400	4400	5600	4100	3800	6500
vinylchloride	µg/l	520	320	570	530	810	850
Etheen	µg/l	15		30	18	25	20
Ethaan	µg/l	0		0	0	5	0
Dechlorering		53,7	48,8	50,9	54,4	52,4	52,9
902 (34-35)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l	3,9					
Sulfaat	mg/l	75		75	79	71	66
Methaan	mg/l	0,64				0,51	
DOC	mg/l	8,7	8,9	9,8	3,6	9,5	8,9
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	300	590	780	460	1800	1200
Tri	µg/l	37	130	160	170	390	370
Cis	µg/l	39	390	720	1200	1900	2500
vinylchloride	µg/l	980	810	1700	1200	1700	760
Etheen	µg/l	28		50	32	29	23
Ethaan	µg/l	0		0	2	5	0
Dechlorering		68,0	55,7	62,0	60,1	52,1	48,3
902 (43-44)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l	5					
Sulfaat	mg/l	66		68	43	27	49
Methaan	µg/l	0,69				1,0	
DOC	mg/l	10	11	12		18	12
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	1000	1300	1500	240	60	2000
Tri	µg/l	3300	2800	1700	71	77	520
Cis	µg/l	13000	13000	13000	13000	9500	9300
vinylchloride	µg/l	220	190	500	170	3000	3000
Etheen	µg/l	7,8		13	8	1100	230
Ethaan	µg/l	8		6,3	2	12	0
Dechlorering		45,2	44,9	46,7	50,0	66,9	55,4

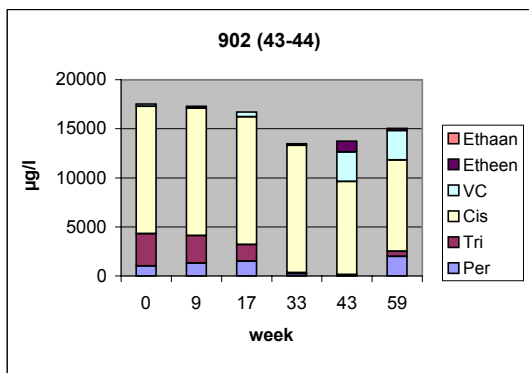
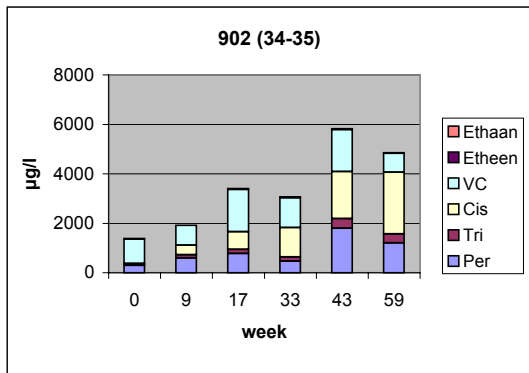
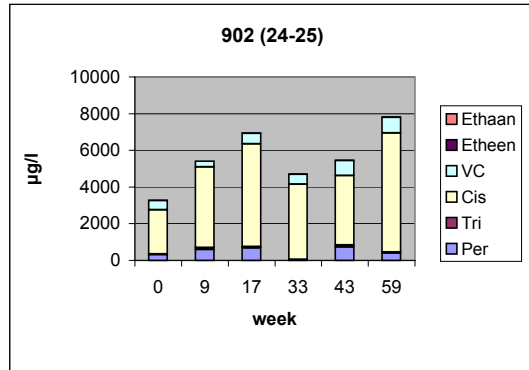
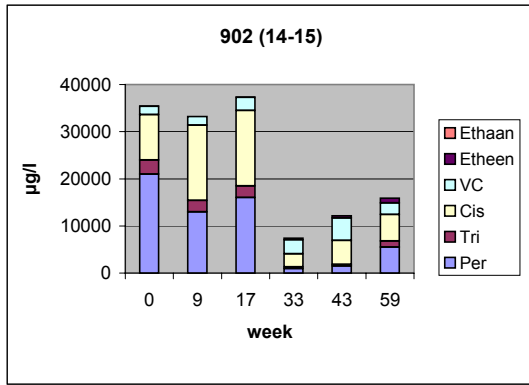
week		02-aug-02	10-okt-02	05-dec-02	04-jun-03	25-sep-03	
		0	9	17	43	59	
903 (14-15)		nul meting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l			30	35	30	
Methaan	µg/l				1,5		
DOC	mg/l		250	76	79	210	
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	54000	2700	8500	2000	7300	
Tri	µg/l	1900	870	2000	840	1400	
Cis	µg/l	2400	19000	18000	3900	15000	
vinylchloride	µg/l	380	120	380	1800	1600	
Etheen	µg/l	28		20	120	32	
Ethaan	µg/l	9		0	5	0	
Dechlorering		5,9	45,8	39,4	52,0	42,5	
903.(24-25)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l						
Methaan	µg/l						
DOC	mg/l						
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	210					
Tri	µg/l	180					
Cis	µg/l	7500					
vinylchloride	µg/l						
Etheen	µg/l						
Ethaan	µg/l						
Dechlorering		48,8					
903 (34-35)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l			62	75	82	
Methaan	µg/l				0,36		
DOC	mg/l		91	30	18	28	
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	2700	1400	650	170	290	
Tri	µg/l	11000	6800	4700	700	1000	
Cis	µg/l	15000	23000	21000	19000	13000	
vinylchloride	µg/l	170	420	1100	2100	1900	
Etheen	µg/l	17		30	32	56	
Ethaan	µg/l	37		14	6,8	0	
Dechlorering		39,4	44,9	47,9	53,1	53,3	
903.(43-44)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l						
Methaan	µg/l						
DOC	mg/l						
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	1300					
Tri	µg/l	2900					
Cis	µg/l	10000					
vinylchloride	µg/l						
Etheen	µg/l						
Ethaan	µg/l						
Dechlorering		42,9					

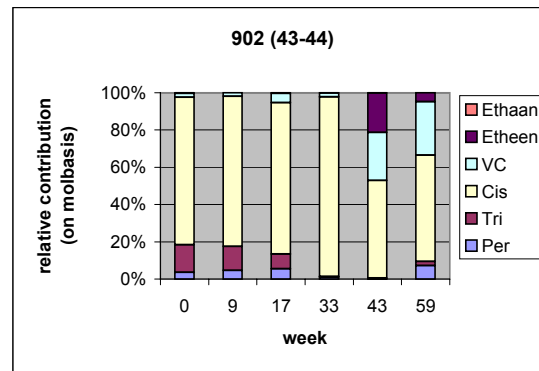
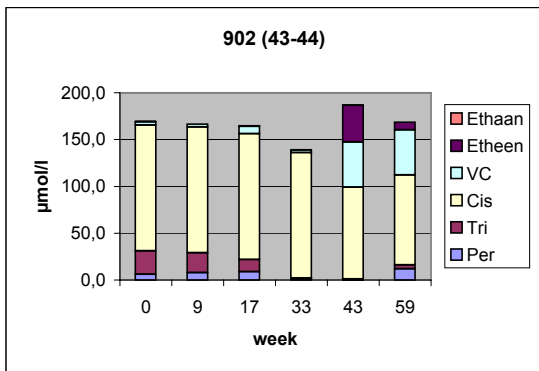
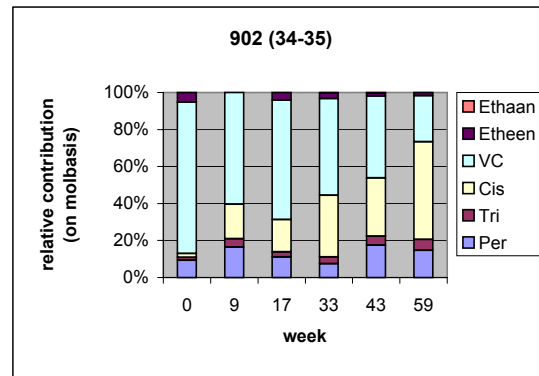
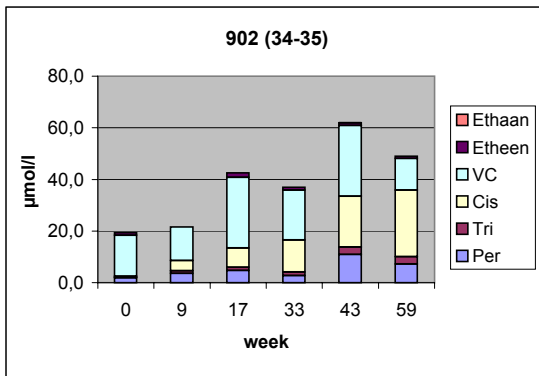
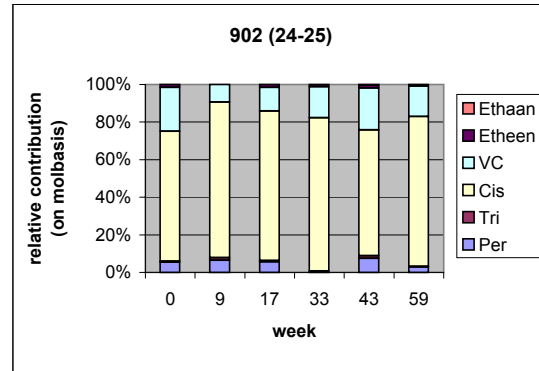
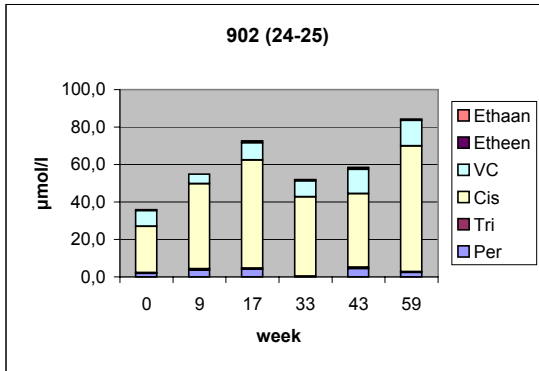
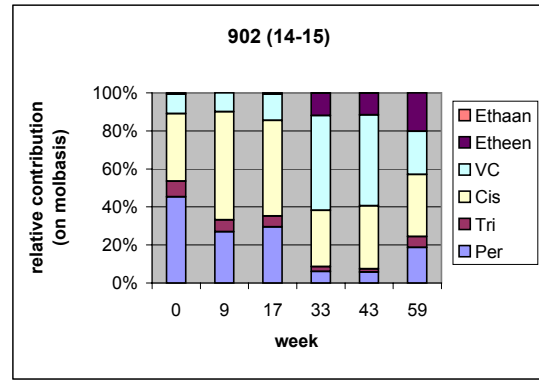
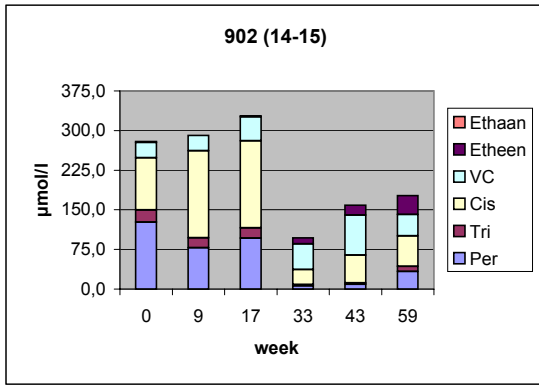


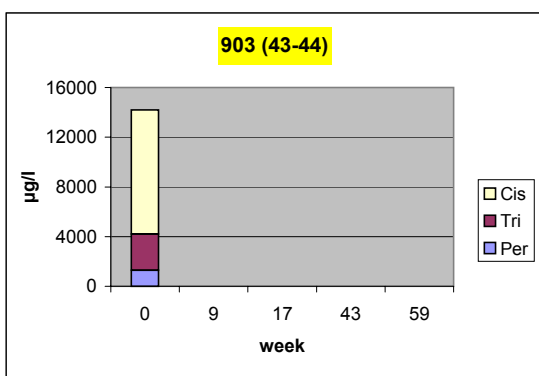
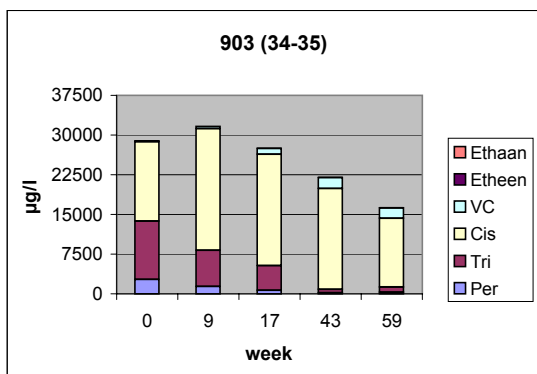
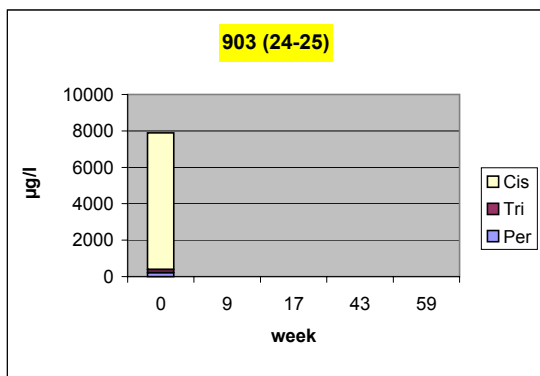
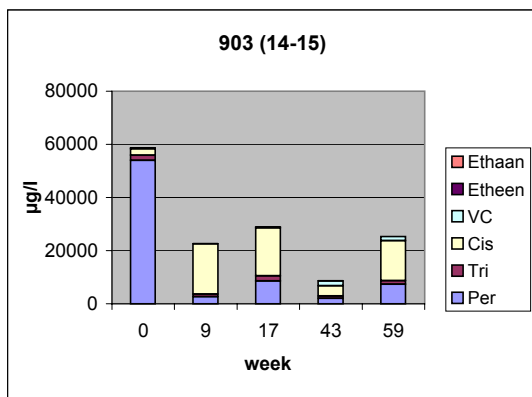


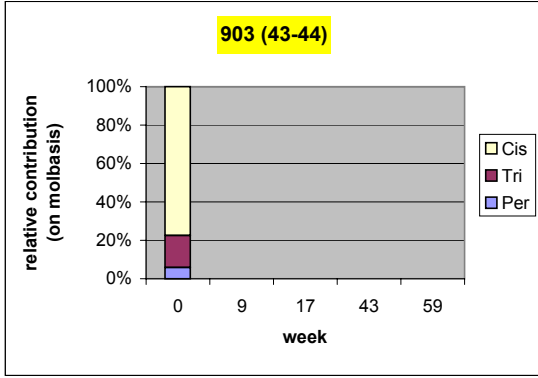
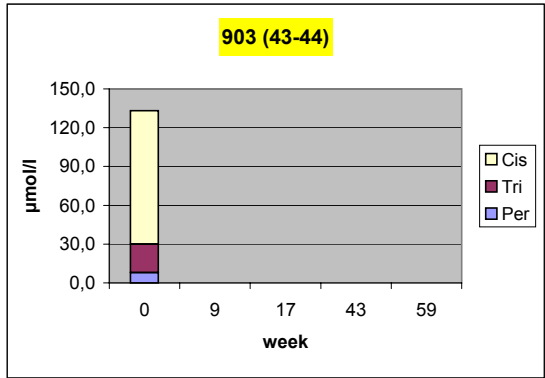
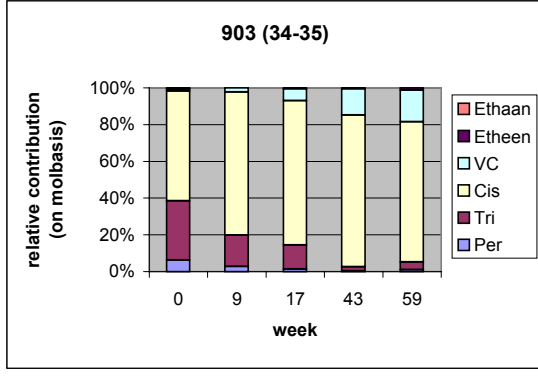
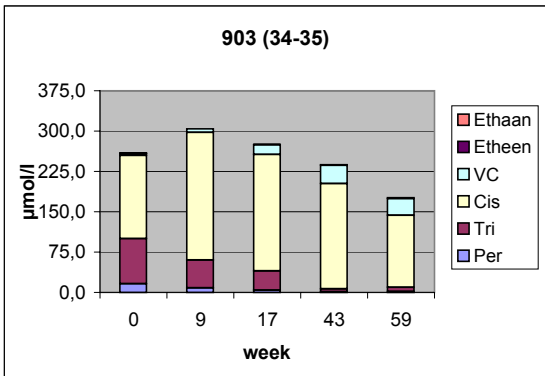
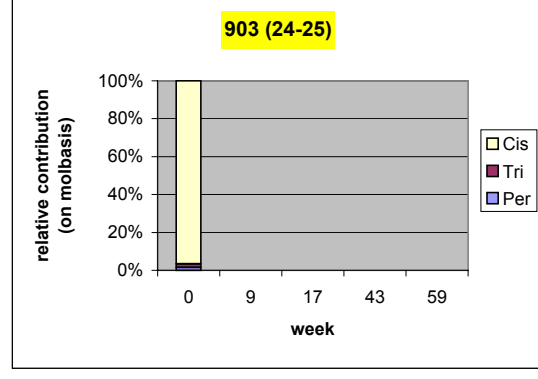
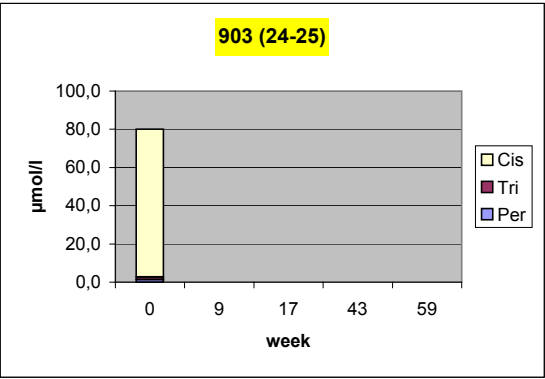
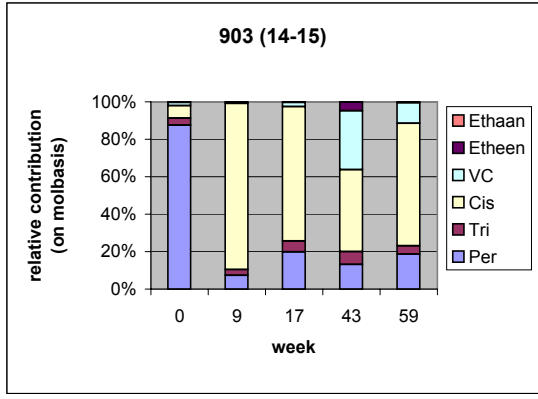
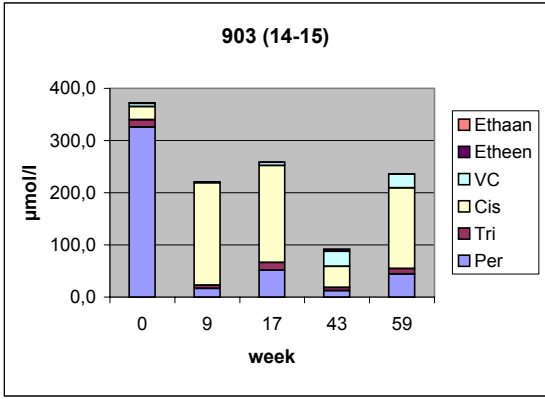












Full scale Liner Zwolle pb 904 t/m 906

week		02-aug-02	10-okt-02	05-dec-02	27-mrt-03	04-jun-03	25-sep-03
904 (24-25)		0	9	17	33	43	59
	nul meting						
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l						
Methaan	µg/l						
DOC	mg/l						
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l						
Tri	µg/l						
Cis	µg/l						
vinyl chloride	µg/l						
Etheen	µg/l						
Ethaan	µg/l						
Dechlorering							
904 (44-45)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l						
Methaan	µg/l						
DOC	mg/l						
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l						
Tri	µg/l						
Cis	µg/l						
vinylchloride	µg/l						
Etheen	µg/l						
Ethaan	µg/l						
Dechlorering	µg/l						

week		02-aug-02	10-okt-02	05-dec-02	27-mrt-03	04-jun-03	25-sep-03
905 (4-5)		0	9	17	33	43	59
	nul meting						
IJzer (II)	mg/l	10				0	
Sulfaat	mg/l	3,6		2,7	10	4,4	1,1
Methaan	mg/l	2,6				0,12	
DOC	mg/l	18	14	19	10	20	17
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	390	0	0	0	0	0
Tri	µg/l	570	0	9,7	0	0	0
Cis	µg/l	4300	7400	7100	9000	6100	2900
vinylchloride	µg/l	1800	1100	3100	760	2800	2300
Etheen	µg/l	350	200	220	23	53	160
Ethaan	µg/l	350	14	8,8	0	0	0
Dechlorering		66,4	58,1	62,6	53,3	61,1	66,7

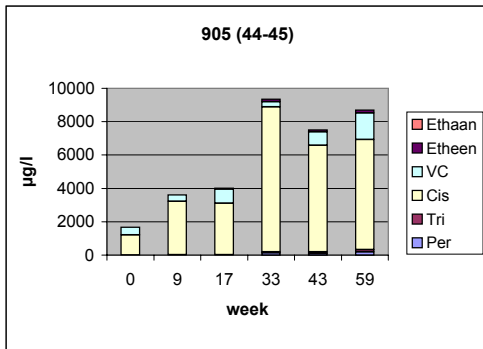
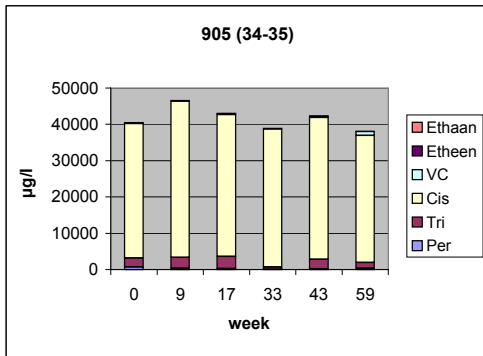
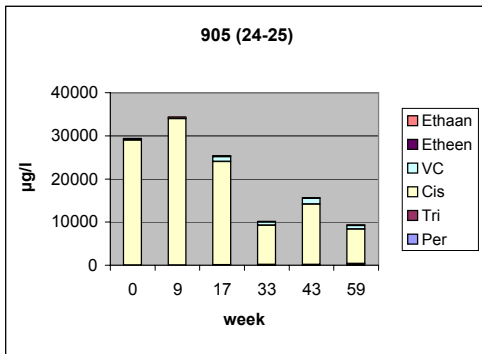
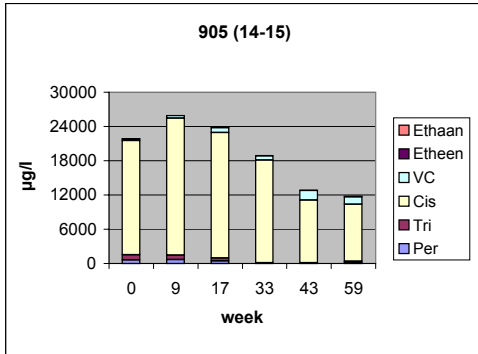
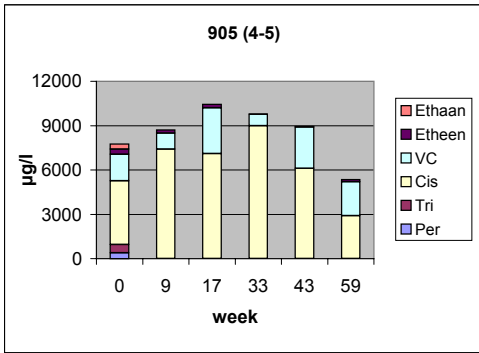
905 (14-15)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l	7,1					
Sulfaat	mg/l	57		61	55	42	60
Methaan	mg/l	2,8				0,41	
DOC	mg/l	16	12	13	9,4	13	11
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	600	680	440	83	64	140
Tri	µg/l	940	760	510	21	34	240
Cis	µg/l	20000	24000	22000	18000	11000	10000
vinylchloride	µg/l	290	440	850	760	1700	1300
Etheen	µg/l	31		77	35	56	100
Ethaan	µg/l	11		15	5	5	0
Dechlorering		49,2	49,3	51,1	51,7	55,3	54,7

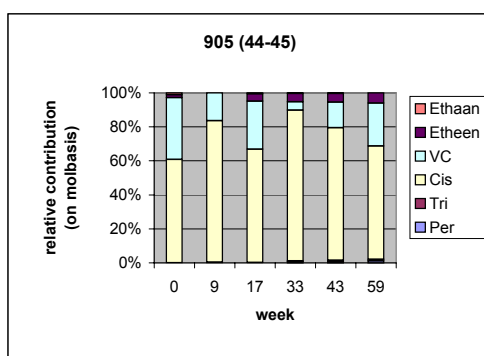
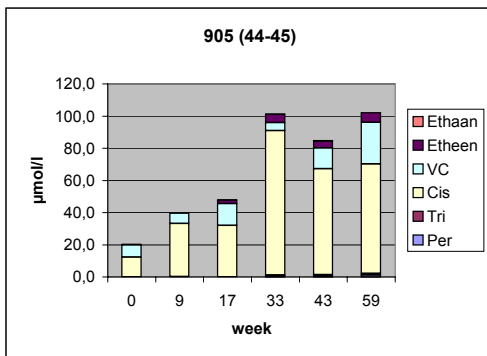
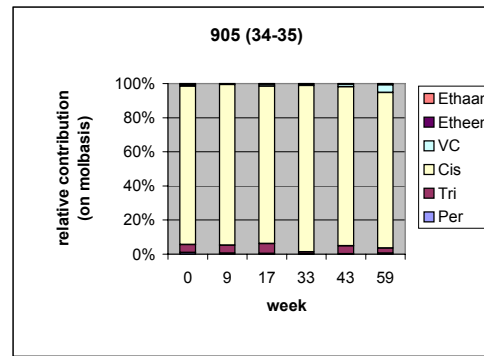
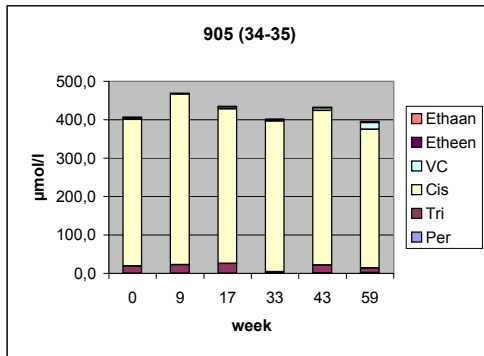
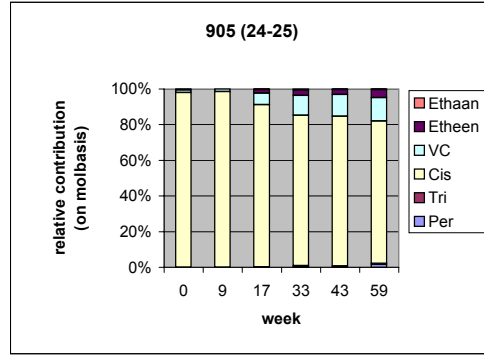
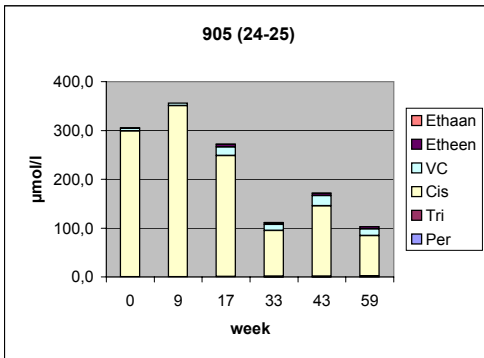
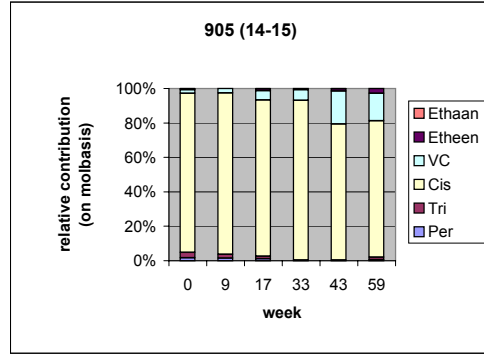
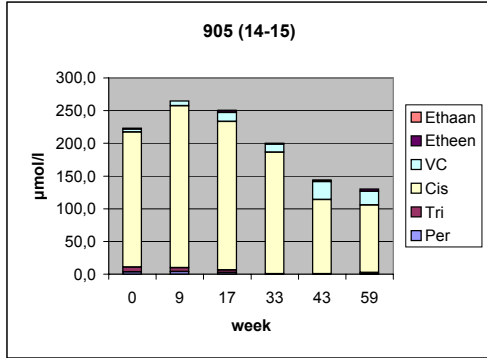
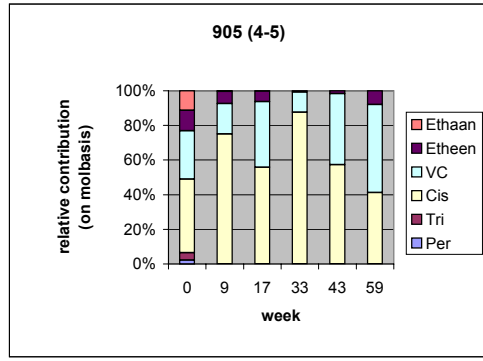
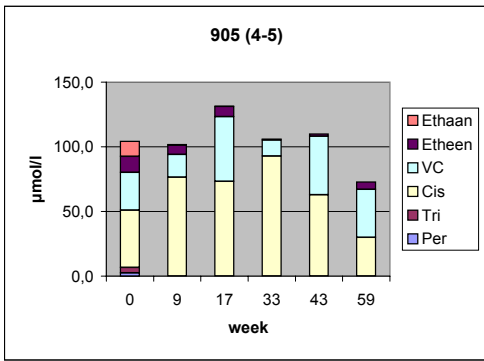
905 (24-25)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l	14					
Sulfaat	mg/l	64		63	65	57	65
Methaan	mg/l	2,9				1,4	
DOC	mg/l	17	12	15	9,3	14	11
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	0	0	30	61	150	290
Tri	µg/l	0	0	45	92	25	61
Cis	µg/l	29000	34000	24000	9100	14000	8000
vinylchloride	µg/l	300	320	1100	760	1300	830
Etheen	µg/l	22		150	100	130	130
Ethaan	µg/l	19		24	15	18	13
Dechlorering		50,6	50,4	52,7	54,3	54,3	54,7

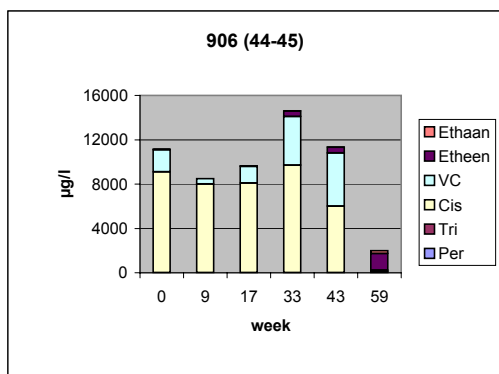
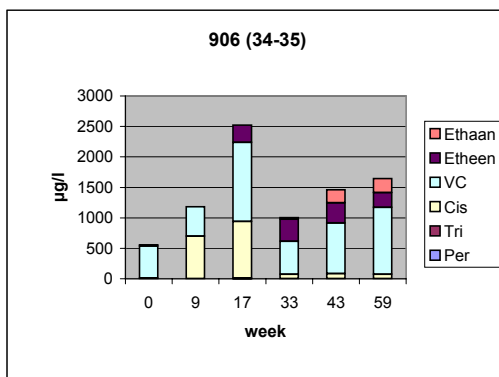
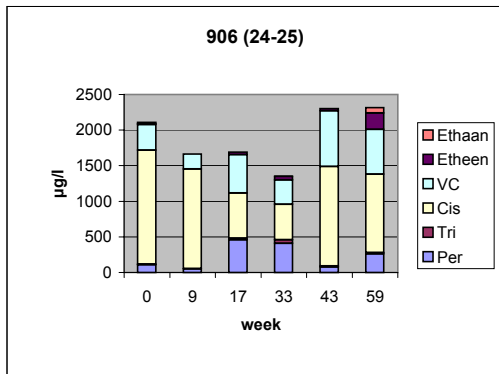
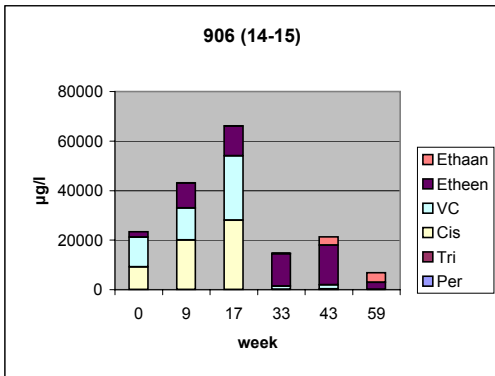
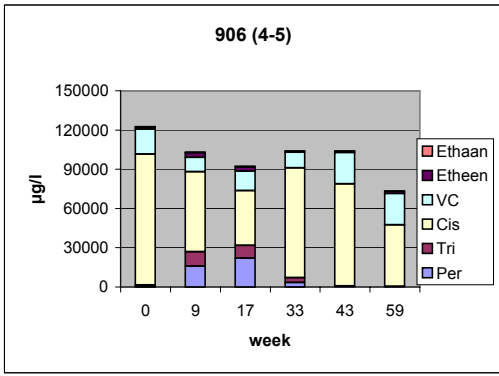
905 (34-35)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l	19					
Sulfaat	mg/l	64		60	43	69	71
Methaan	mg/l	2,2				0,43	
DOC	mg/l	14	11	13	11	14	12
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	680	380	250	130	150	330
Tri	µg/l	2500	3000	3400	550	2700	1600
Cis	µg/l	37000	43000	39000	38000	39000	35000
vinylchloride	µg/l	190	160	310	210	410	1100
Etheen	µg/l	22		25	20	29	73
Ethaan	µg/l	61		19	14	17	12
Dechlorering		48,9	48,7	48,8	50,0	49,3	50,5

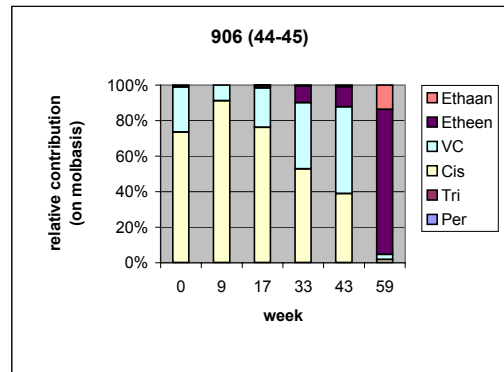
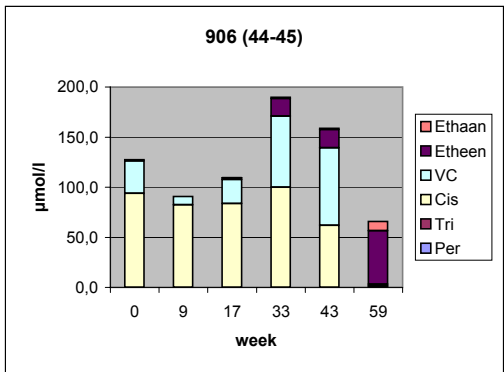
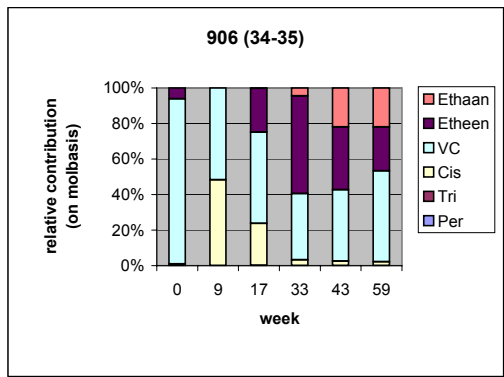
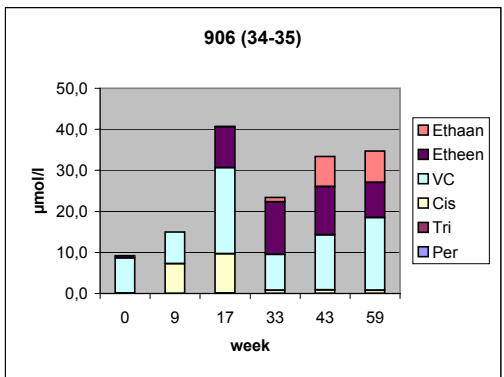
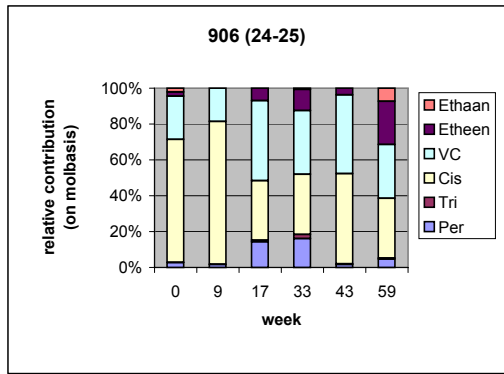
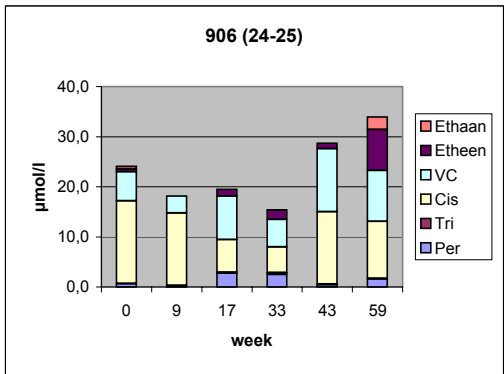
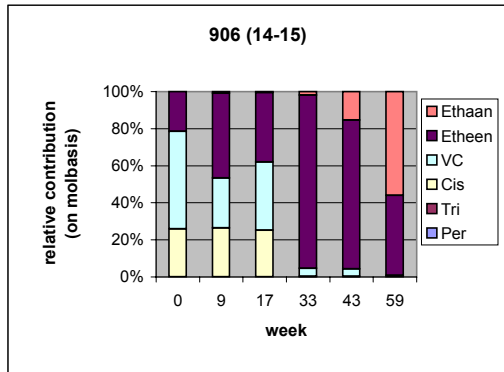
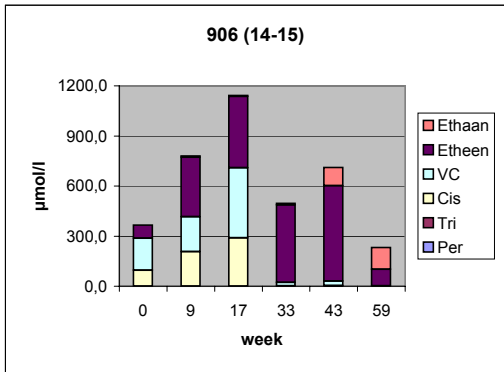
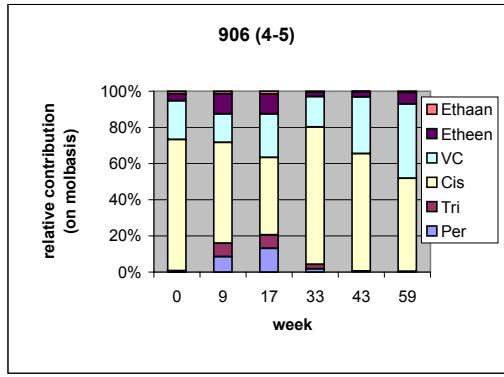
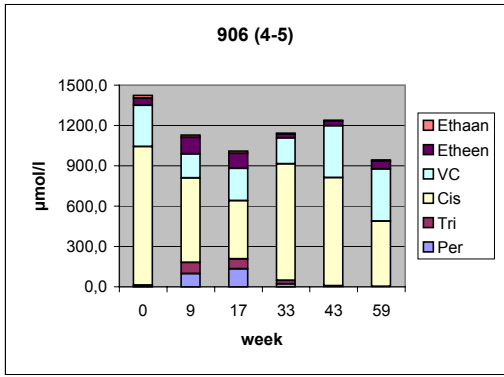
905 (44-45)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l	5,3					
Sulfaat	mg/l	63		41	19	46	54
Methaan	mg/l	1,9				1,8	
DOC	mg/l	16	13	96	16	12	10
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	0,6	0	6,3	130	100	200
Tri	µg/l	1,6	16	7,2	59	93	130
Cis	µg/l	1200	3200	3100	8700	6400	6600
vinylchloride	µg/l	460	400	840	310	790	1600
Etheen	µg/l	9,1		58	140	120	170
Ethaan	µg/l	7		7,2	10	10	0
Dechlorering		60,4	54,0	59,4	53,4	55,9	58,5

week		02-aug-02	10-okt-02	05-dec-02	27-mrt-03	04-jun-03	25-sep-03
906 (4-5)		0	9	17	33	43	59
	nulmeting						
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l		24	37	18	18	15
Methaan	µg/l					1,7	
DOC	mg/l		18	19	52	4,2	16
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	680	16000	22000	3500	81	50
Tri	µg/l	880	11000	9700	3500	730	390
Cis	µg/l	100000	61000	42000	84000	78000	47000
vinylchloride	µg/l	19000	11000	15000	12000	24000	24000
Etheen	µg/l	1500	3500	3100	770	990	1700
Ethaan	µg/l	630	490	480	180	120	190
Dechlorering		57,7	54,1	53,9	54,2	59,3	63,7
906 (14-15)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l		1,6	0,19	0	0,5	0
Methaan	µg/l					21	
DOC	mg/l		44	42	76	99	88
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	0	8,7	0	0,6	0	0
Tri	µg/l	0	0	0	0	0	0
Cis	µg/l	9200	20000	28000	170	280	5,8
vinylchloride	µg/l	12000	13000	26000	1300	1700	130
Etheen	µg/l	2200	10000	12000	13000	16000	2800
Ethaan	µg/l	0	210	170	270	3300	3900
Dechlorering		73,9	80,0	78,2	98,8	98,8	99,8
906 (24-25)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l			64	70	70	47
Methaan	µg/l					0,28	
DOC	mg/l		8,1	8,1	5,9	7,7	8,2
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	110	50	460	410	78	260
Tri	µg/l	5,7	4,5	23	49	12	21
Cis	µg/l	1600	1400	630	500	1400	1100
vinylchloride	µg/l	360	210	540	340	780	630
Etheen	µg/l	16		38	51	30	230
Ethaan	µg/l	15		0	3	0	74
Dechlorering		56,8	53,8	57,3	56,5	61,9	70,8
906 (34-35)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l			62	35	33	43
Methaan	µg/l					4,3	
DOC	mg/l		8,9	9,5	6,4	11	8,5
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	0	0,3	3,4	0,2	0	0,4
Tri	µg/l	0	1,1	6,8	0,7	0	0,2
Cis	µg/l	8,4	700	930	74	83	73
vinylchloride	µg/l	530	480	1300	540	830	1100
Etheen	µg/l	16		280	360	330	240
Ethaan	µg/l	0		2,8	31	220	230
Dechlorering		76,3	62,9	75,2	89,0	88,7	86,1
906 (44-45)		nulmeting					
IJzer (II)	mg/l						
Sulfaat	mg/l			55	53	49	2,3
Methaan	µg/l					2,3	
DOC	mg/l			11	9,5	11	160
Ethylactaat	mg/l						
Per	µg/l	0	0	0	0	0	1,6
Tri	µg/l	0	0	0	0	0	0,8
Cis	µg/l	9100	8000	8100	9700	6000	110
vinylchloride	µg/l	2000	500	1500	4400	4800	120
Etheen	µg/l	40		41	490	510	1500
Ethaan	µg/l	0		11	34	41	270
Dechlorering		56,9	52,2	56,4	64,3	68,3	98,4









Full scale Liner Zwolle pb 907 t/m 909

week		02-aug-02	10-okt-02	05-dec-02	04-jun-03	25-sep-03
		0	9	17	43	59
907 (24-25)		nul meting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l					
Methaan	µg/l					
DOC	mg/l					
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	1,3				
Tri	µg/l	1,7				
Cis	µg/l	1600				
vinylchloride	µg/l					
Etheen	µg/l					
Ethaan	µg/l					
Dechlorering		50,0				
907 (44-45)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l					
Methaan	µg/l					
DOC	mg/l					
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	89				
Tri	µg/l	910				
Cis	µg/l	7700				
vinylchloride	µg/l					
Etheen	µg/l					
Ethaan	µg/l					
Dechlorering		47,7				

week		02-aug-02	10-okt-02	05-dec-02	04-jun-03	25-sep-03
		0	9	17	43	59
908 (24-25)		nul meting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l					
Methaan	µg/l					
DOC	mg/l					
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	0				
Tri	µg/l	0,6				
Cis	µg/l	330				
vinylchloride	µg/l					
Etheen	µg/l					
Ethaan	µg/l					
Dechlorering		50,0				
<hr/>						
908 (44-45)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l					
Methaan	µg/l					
DOC	mg/l					
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	0				
Tri	µg/l	0				
Cis	µg/l	2200				
vinylchloride	µg/l					
Etheen	µg/l					
Ethaan	µg/l					
Dechlorering		50,0				

week		02-aug-02	10-okt-02	05-dec-02	04-jun-03	25-sep-03
		0	9	17	43	59
909 (4-5)		nul meting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l			61	6,2	65
Methaan	µg/l				4,3	
DOC	mg/l		10	12	43	9,7
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	1400	3200	2100	120	1500
Tri	µg/l	880	1700	1400	79	580
Cis	µg/l	15000	14000	14000	18000	9200
vinylchloride	µg/l	2400	1500	3300	13000	2800
Etheen	µg/l	110		240	3000	200
Ethaan	µg/l	43		36	66	27
Dechlorering		53,0	46,6	54,0	71,1	56,0

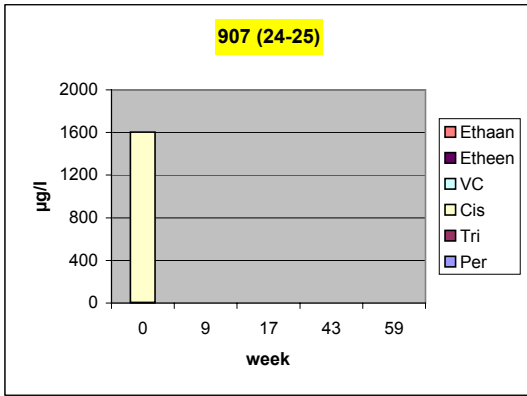
909 (14-15)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l			61	46	38
Methaan	µg/l				0,29	
DOC	mg/l		7,6	9,3	9	8
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	4200	2500	1900	2800	650
Tri	µg/l	1200	820	770	580	260
Cis	µg/l	4900	3700	4200	5900	5800
vinylchloride	µg/l	550	460	740	1300	2000
Etheen	µg/l	15		21	300	410
Ethaan	µg/l	5,5		5	0	0
Dechlorering		36,9	39,2	44,9	50,9	61,5

909 (24-25)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l			66	62	72
Methaan	µg/l				0,25	
DOC	mg/l		8,6	9,0	11	9,3
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	1	24	11	7,5	0
Tri	µg/l	8	100	98	0	0
Cis	µg/l	1700	12000	12000	10000	11000
vinylchloride	µg/l	420	250	450	660	930
Etheen	µg/l	36		10	23	48
Ethaan	µg/l	21		0	5	0
Dechlorering		60,1	50,6	51,3	52,7	53,5

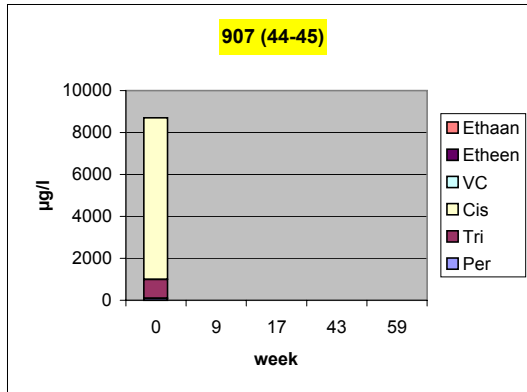
909 (34-35)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l			60	67	68
Methaan	µg/l				0,58	
DOC	mg/l		9,2	9,1	8,8	7,0
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	22	30	100	30	29
Tri	µg/l	1,7	2,5	8,2	3,3	3,3
Cis	µg/l	310	190	250	760	1000
vinylchloride	µg/l	760	490	810	930	890
Etheen	µg/l	13		37	24	20
Ethaan	µg/l	0		5	0	0
Dechlorering		70,1	68,7	70,7	67,1	65,1

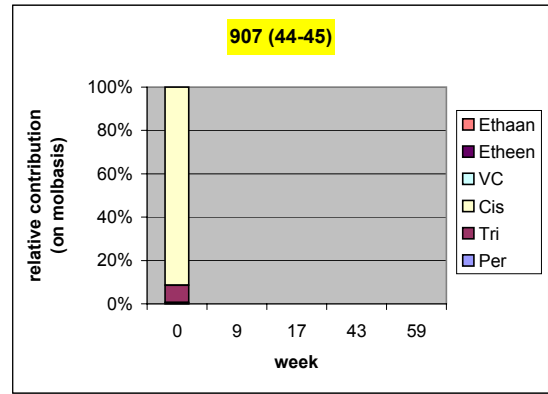
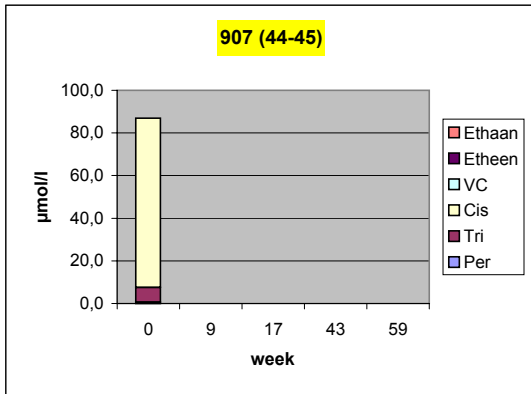
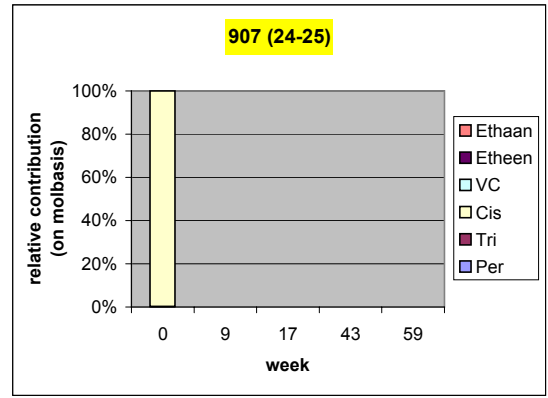
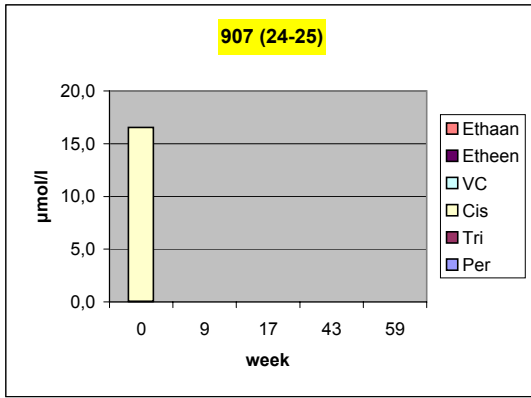
909 (44-45)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l			49	3,2	1,4
Methaan	µg/l				0,25	
DOC	mg/l		12	13	310	460
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	67	71	180	8,4	0
Tri	µg/l	560	620	1300	0	0
Cis	µg/l	11000	12000	16000	6400	7100
vinylchloride	µg/l	710	510	570	3200	3100
Etheen	µg/l	15		831	72	88
Ethaan	µg/l	15		0	0	0
Dechlorering		51,6	50,5	56,6	61,8	61,1

907 (24-25)

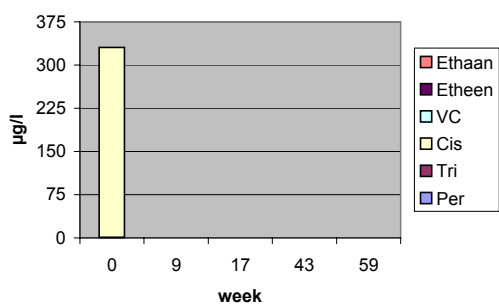


907 (44-45)

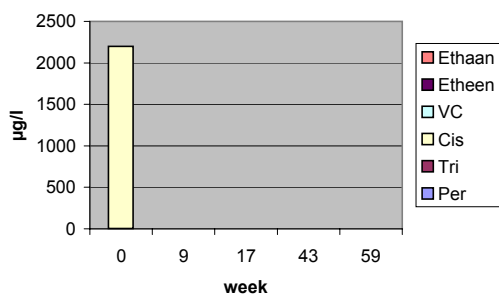


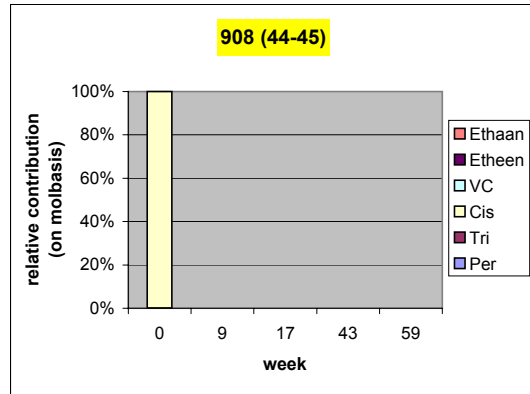
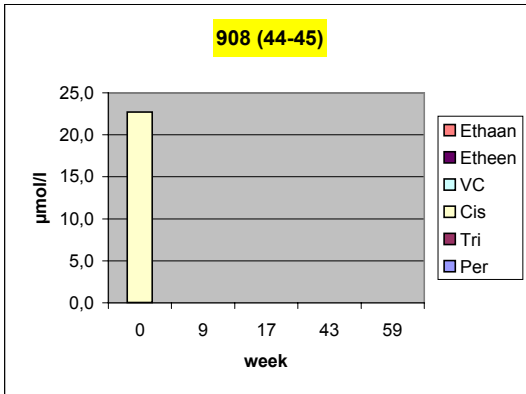
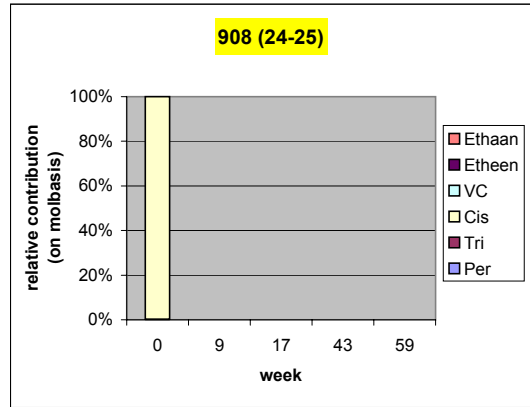
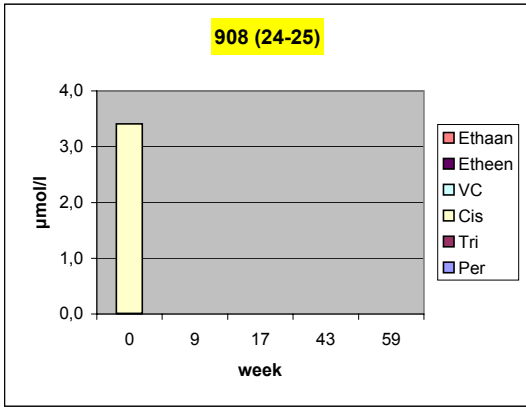


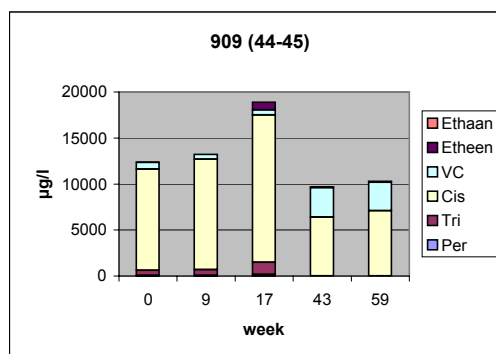
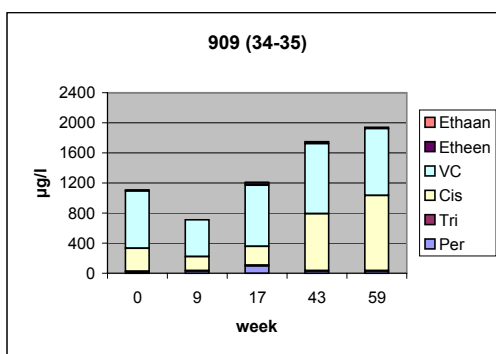
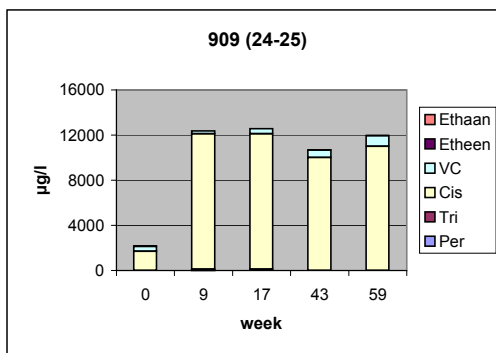
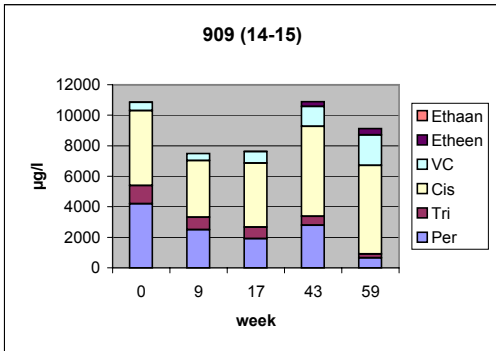
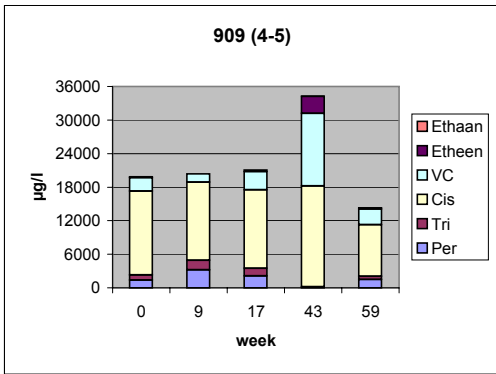
908 (24-25)

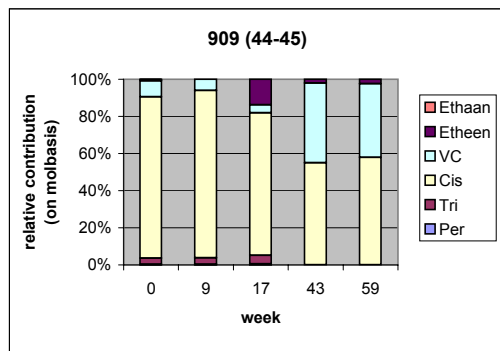
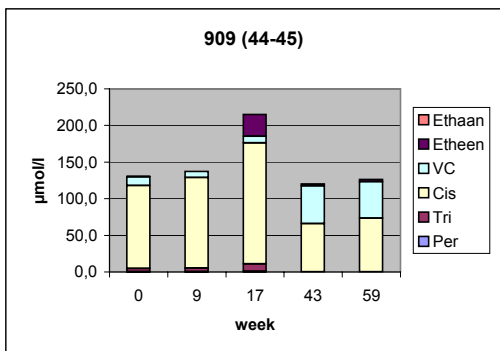
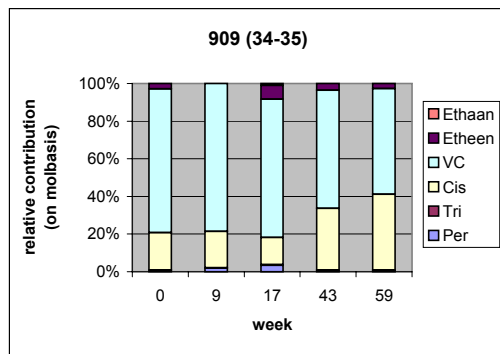
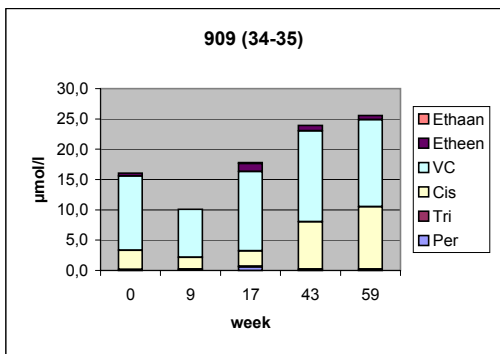
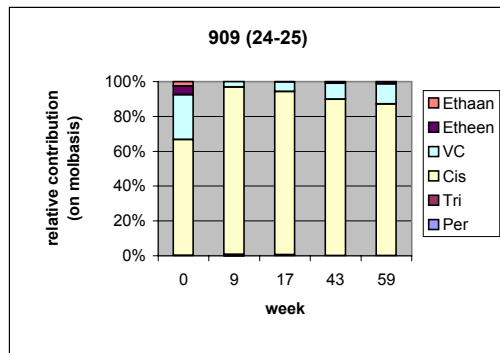
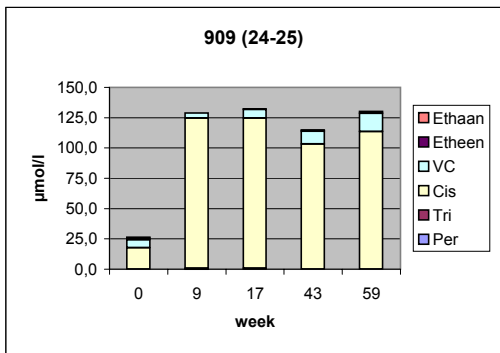
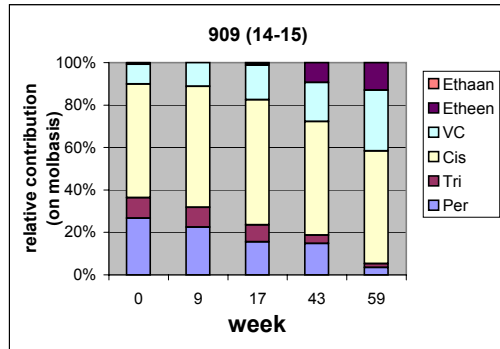
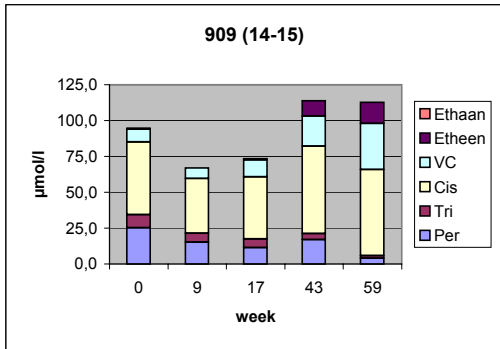
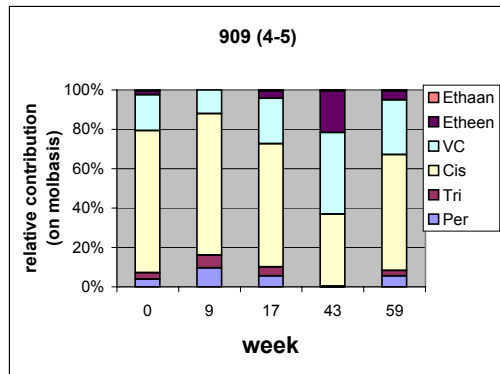
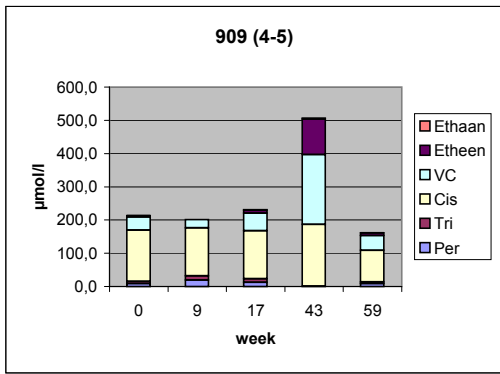


908 (44-45)









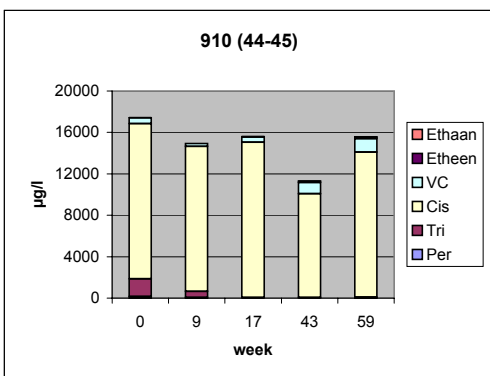
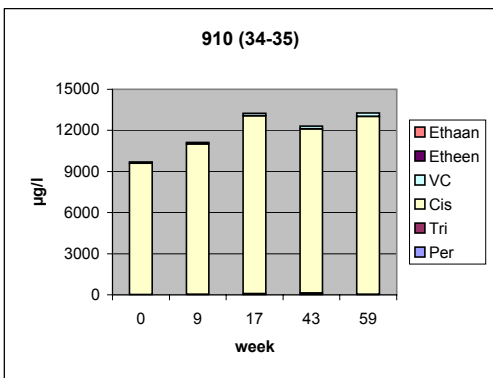
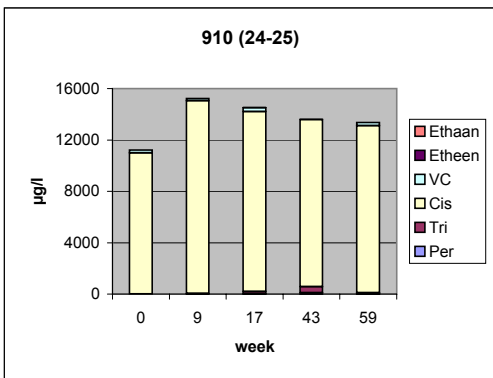
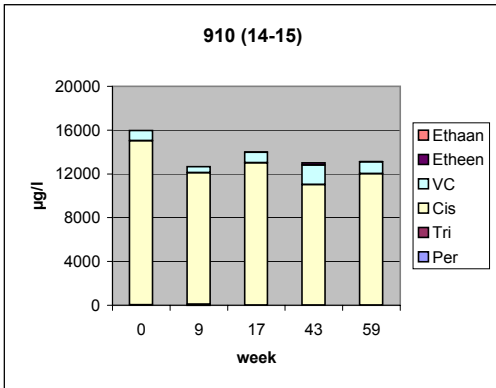
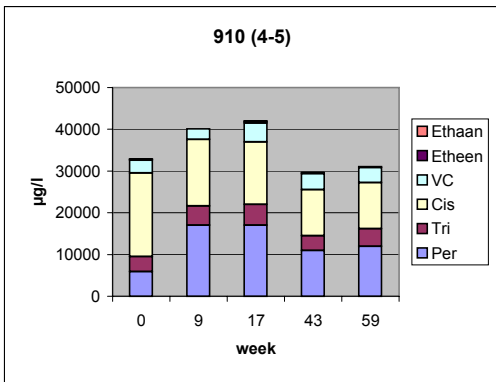
Full scale Liner Zwolle 910 tm 913

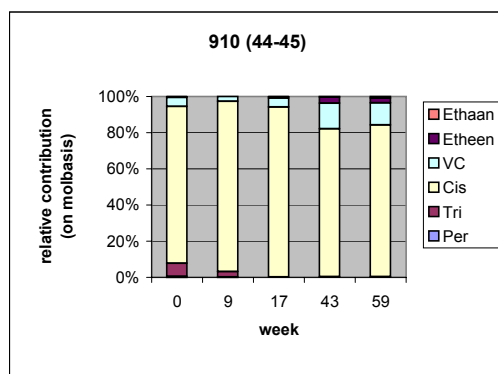
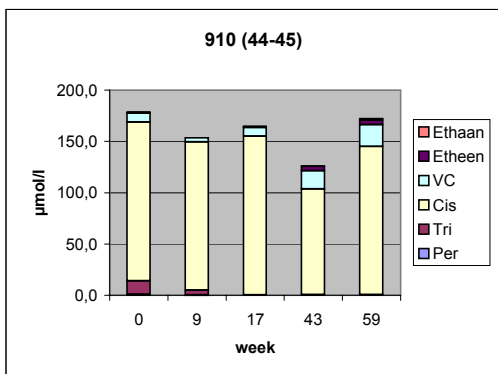
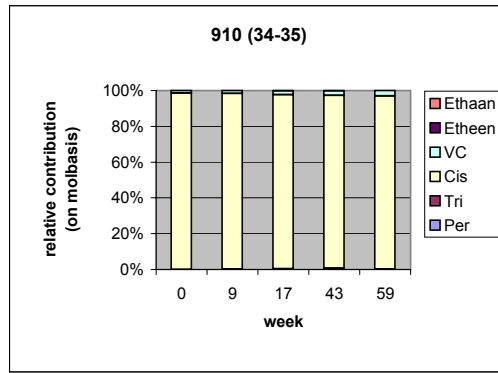
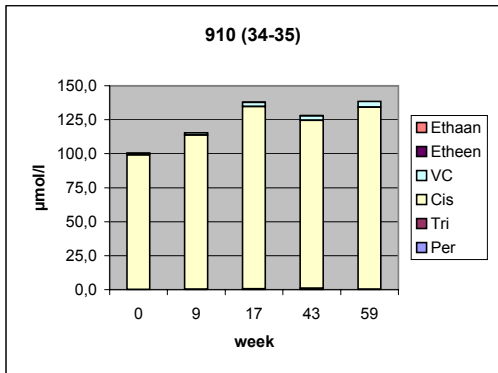
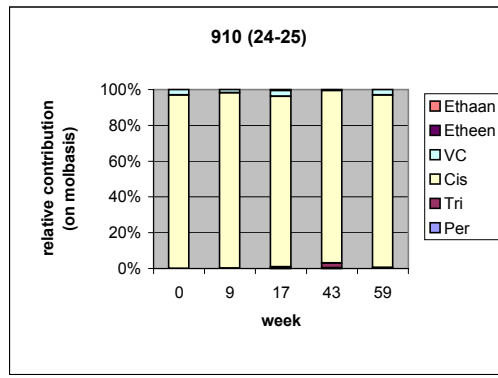
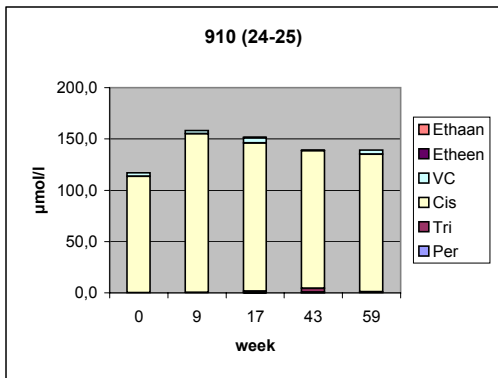
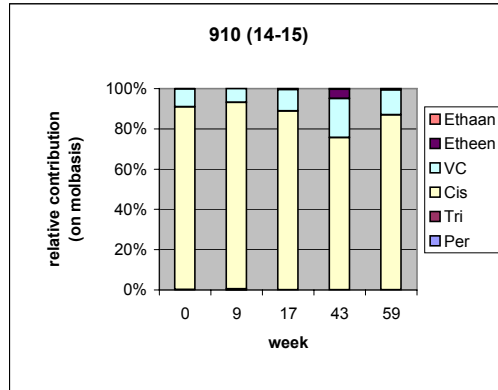
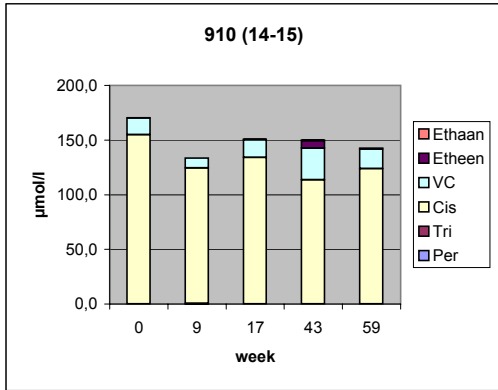
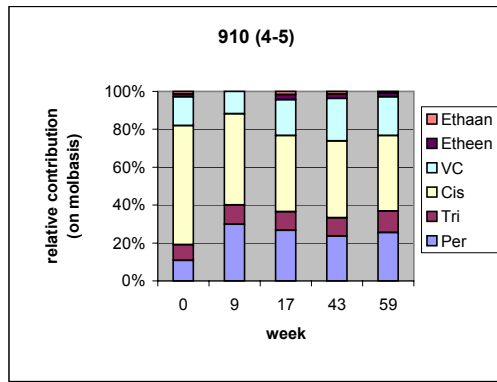
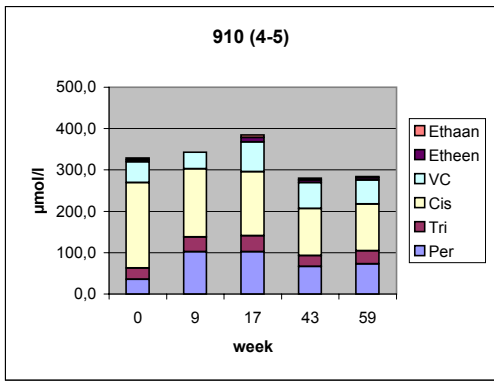
week		02-aug-02	10-okt-02	05-dec-02	04-jun-03	25-sep-03
910 (4-5)	eenheid	nul meting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l			56	120	63
Methaan	µg/l				2	
DOC	mg/l		11	13	12	9,0
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	5900	17000	17000	11000	12000
Tri	µg/l	3600	4600	5000	3500	4200
Cis	µg/l	20000	16000	15000	11000	11000
vinyl chloride	µg/l	3100	2500	4500	3900	3600
Etheen	µg/l	140		290	180	140
Ethaan	µg/l	140		200	120	88
Dechlorering		47,8	35,4	41,1	43,2	40,9
910 (14-15)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l			72	63	64
Methaan	µg/l				0,23	
DOC	mg/l		9,4	11	9,6	7,6
Ethylactaat	mg/l				9,1	
Per	µg/l	0	93	0	9,1	12
Tri	µg/l	19	9,2	0	5	0
Cis	µg/l	15000	12000	13000	11000	12000
vinylchloride	µg/l	940	570	990	1800	1100
Etheen	µg/l	10		21	190	23
Ethaan	µg/l	0		0	17	0
Dechlorering		52,3	51,5	52,9	57,3	53,4
910 (24-25)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l			68	66	70
Methaan	µg/l				0,34	
DOC	mg/l		8,2	10	939	7,9
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	0	15	34	89	16
Tri	µg/l	0	43	160	490	92
Cis	µg/l	11000	15000	14000	13000	13000
vinylchloride	µg/l	220	180	310	23	260
Etheen	µg/l	0		22	11	0
Ethaan	µg/l	0		0	0	0
Dechlorering		50,8	50,4	50,8	49,3	50,6
910 (34-35)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l			69	65	71
Methaan	µg/l				0,32	
DOC	mg/l		7,9	9,2	9,6	7,6
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	0	0	0	0	0
Tri	µg/l	0	16	61	110	19
Cis	µg/l	9600	11000	13000	12000	13000
vinylchloride	µg/l	86	110	190	200	260
Etheen	µg/l	0		6,6	5,3	0
Ethaan	µg/l	0		0	0	0
Dechlorering		50,3	50,4	50,6	50,5	50,7
910 (44-45)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l			56	55	59
Methaan	µg/l				1,1	
DOC	mg/l		11	11	10	8,9
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	160	52	0	0	17
Tri	µg/l	1700	610	52	67	83
Cis	µg/l	15000	14000	15000	10000	14000
vinylchloride	µg/l	550	260	510	1100	1300
Etheen	µg/l	12		29	120	130
Ethaan	µg/l	13		8,8	14	43
Dechlorering		49,4	49,8	51,6	55,3	54,7

week		02-aug-02	10-okt-02	05-dec-02	04-jun-03	25-sep-03
		0	9	17	43	59
911 (24-25)		nul meting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l					
Methaan	µg/l					
DOC	mg/l					
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	0				
Tri	µg/l	5,3				
Cis	µg/l	9400				
vinylchloride	µg/l					
Etheen	µg/l					
Ethaan	µg/l					
Dechlorering		50,0				
911 (44-45)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l					
Methaan	µg/l					
DOC	mg/l					
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	0				
Tri	µg/l	87				
Cis	µg/l	8700				
vinylchloride	µg/l					
Etheen	µg/l					
Ethaan	µg/l					
Dechlorering		49,8				

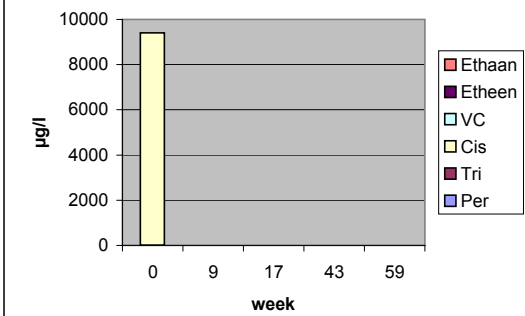
week		02-aug-02	10-okt-02	05-dec-02	04-jun-03	25-sep-03
912 (4-5)		nul meting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l			67	63	65
Methaan	µg/l				0,29	
DOC	mg/l		10	13	12	9,0
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	79000	48000	85000	85000	70000
Tri	µg/l	20000	25000	25000	27000	24000
Cis	µg/l	19000	22000	20000	18000	19000
vinylchloride	µg/l	1400	1000	1500	2100	2900
Etheen	µg/l	300		310	120	180
Ethaan	µg/l	230		200	56	36
Dechlorering		19,8	24,0	19,6	18,6	21,8
912 (14-15)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l			69	69	75
Methaan	µg/l				0,084	
DOC	mg/l		8,3	9,4	9,7	7,2
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	56000	74000	54000	14000	4700
Tri	µg/l	3200	3100	2800	2900	1900
Cis	µg/l	5100	6500	7600	11000	15000
vinylchloride	µg/l	470	340	620	1000	1300
Etheen	µg/l	11		16	37	47
Ethaan	µg/l	0		0	0	0
Dechlorering		9,1	8,0	12,1	31,9	44,7
912 (24-25)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l			65	71	78
Methaan	µg/l				0,41	
DOC	mg/l		8,6	21	10	8,3
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	75	480	21	32	54
Tri	µg/l	18	190	15	39	27
Cis	µg/l	9400	7800	11000	9500	12000
vinylchloride	µg/l	220	210	330	340	450
Etheen	µg/l	0		6,6	8,5	7,6
Ethaan	µg/l	0		0	0	0
Dechlorering		50,6	48,9	51,1	51,3	51,3
912 (34-35)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l			66	58	86
Methaan	µg/l				0,6	
DOC	mg/l		9,6	11	9,5	7,7
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	480	7900	2300	2700	1300
Tri	µg/l	41	2200	240	480	150
Cis	µg/l	340	3200	1000	1900	1400
vinylchloride	µg/l	630	440	1000	990	820
Etheen	µg/l	16		37	16	16
Ethaan	µg/l	0		0	5	0
Dechlorering		57,5	24,9	43,8	41,7	48,4
912 (44-45)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l			46	45	7,7
Methaan	µg/l				0,091	
DOC	mg/l		11	25	15	46
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	140	310	3000	2500	21
Tri	µg/l	430	1600	1600	390	6,2
Cis	µg/l	10000	12000	13000	12000	10000
vinylchloride	µg/l	670	510	740	1500	5600
Etheen	µg/l	9,5		12	18	510
Ethaan	µg/l	10		4,5	0	0
Dechlorering		51,5	48,7	45,0	48,9	64,9

week		02-aug-02	10-okt-02	05-dec-05	27-mrt-03	25-sep-03
		0	9	17	33	59
913 (24-25)		nul meting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l				10	
Methaan	µg/l					
DOC	mg/l				250	
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	190			0	
Tri	µg/l	1100			0	
Cis	µg/l	16000			7900	
vinyl chloride	µg/l				110	
Etheen	µg/l				0	
Ethaan	µg/l				0	
Dechlorering		48,5			50,5	
913 (44-45)		nulmeting				
IJzer (II)	mg/l					
Sulfaat	mg/l				6,5	
Methaan	µg/l					
DOC	mg/l				120	
Ethylactaat	mg/l					
Per	µg/l	0			0	
Tri	µg/l	0			0	
Cis	µg/l	5500			8600	
vinylchloride	µg/l				430	
Etheen	µg/l				17	
Ethaan	µg/l				0	
Dechlorering		50,0			52,1	

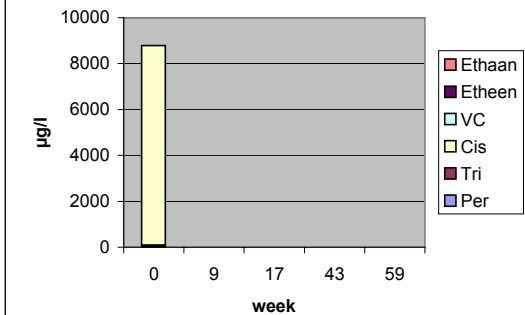


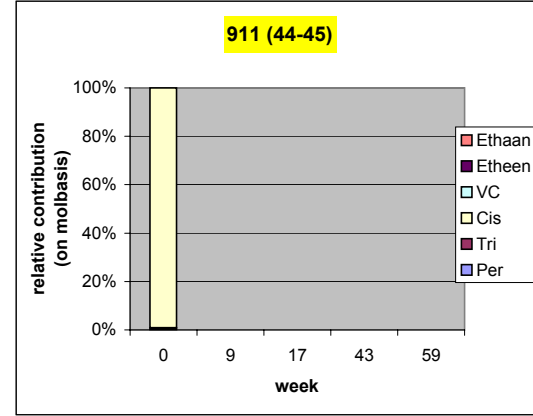
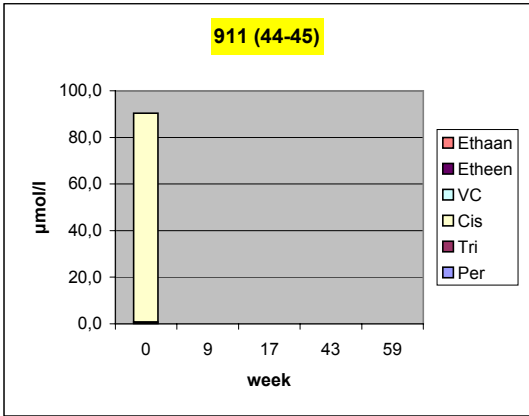
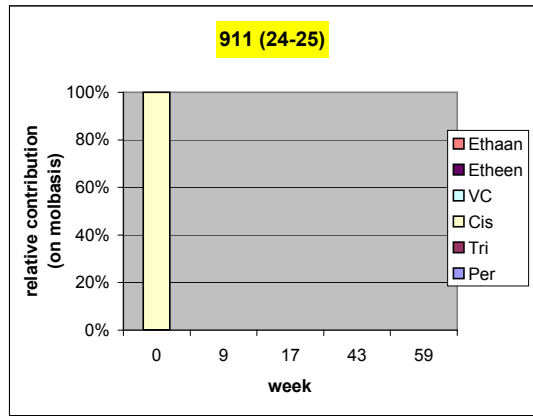
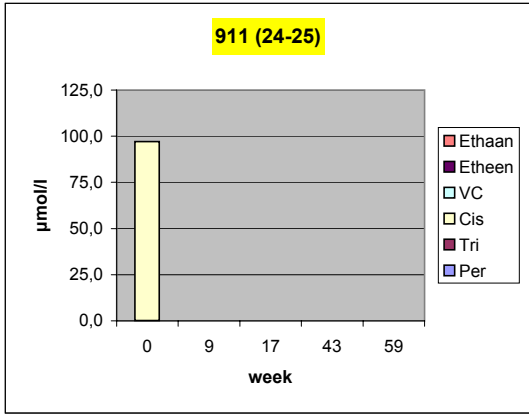


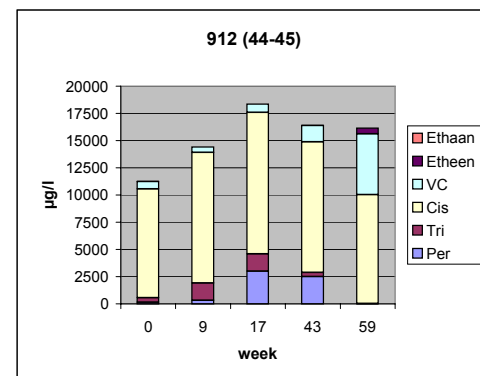
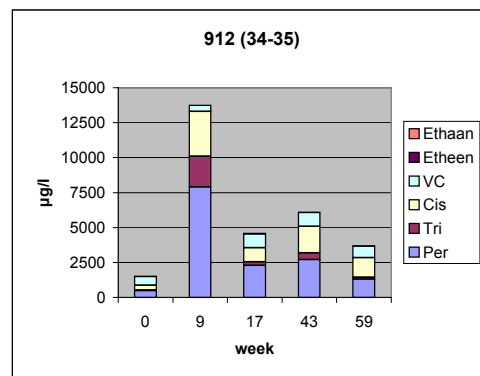
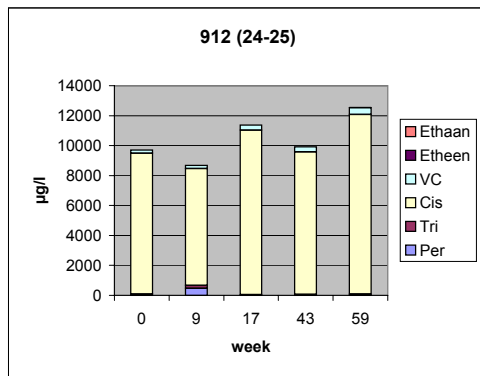
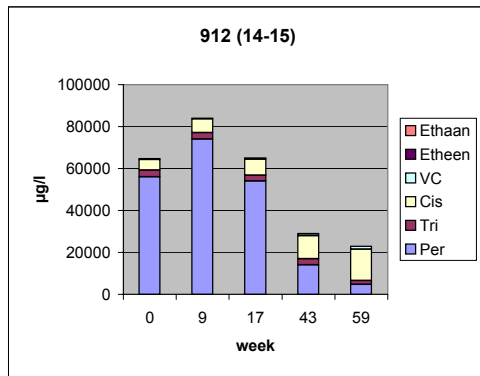
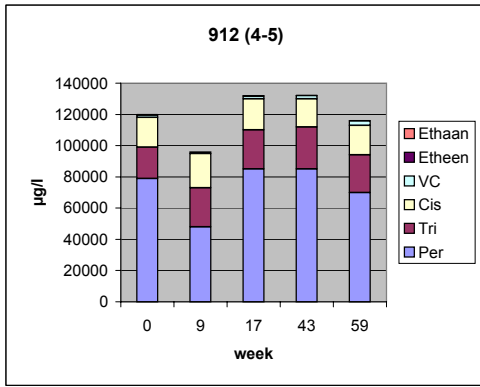
911 (24-25)

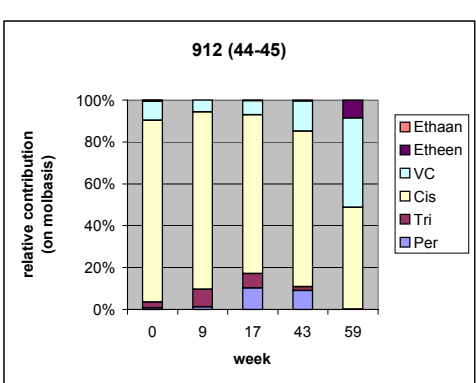
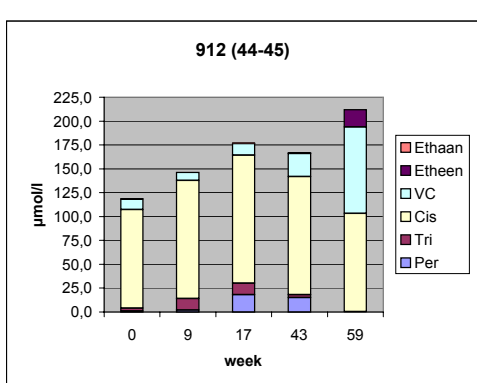
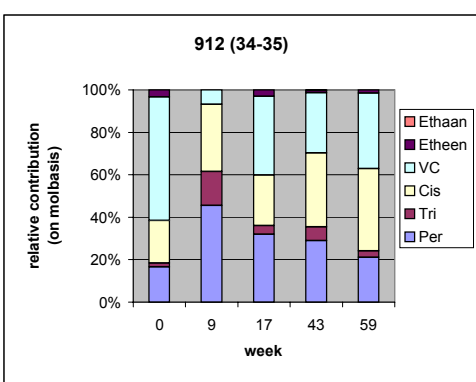
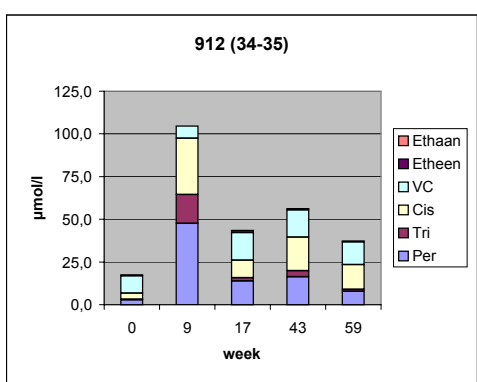
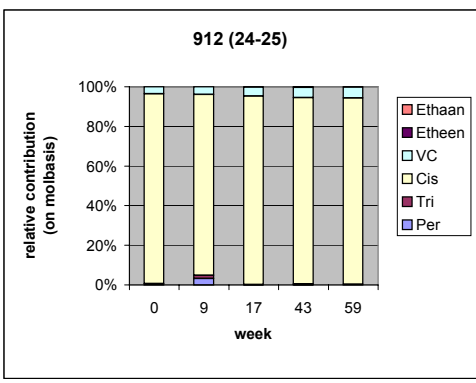
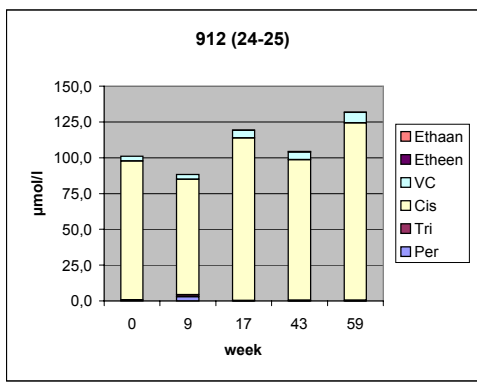
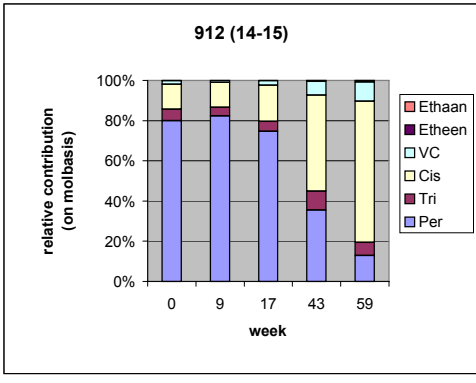
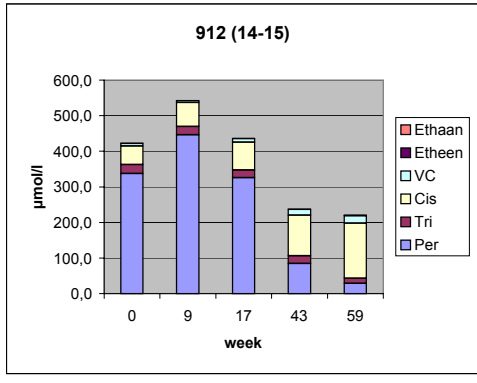
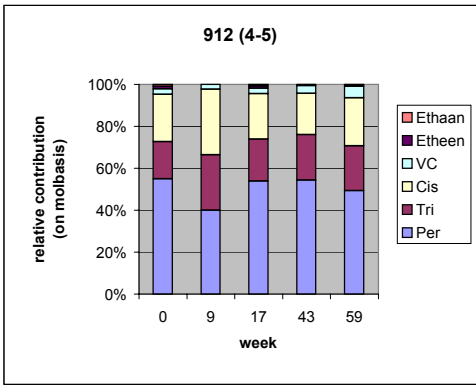
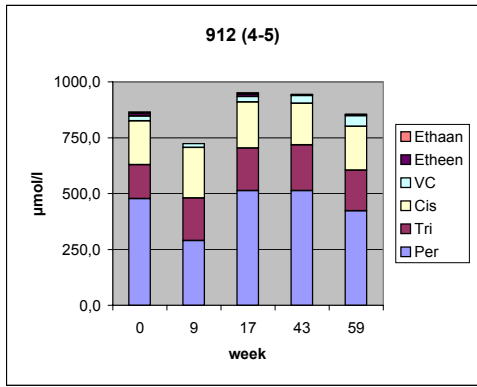


911 (44-45)

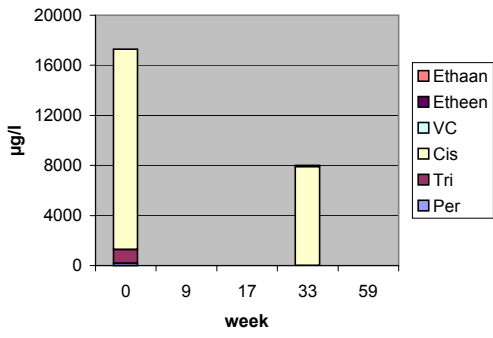




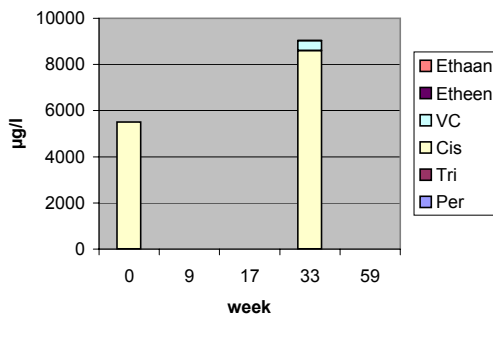


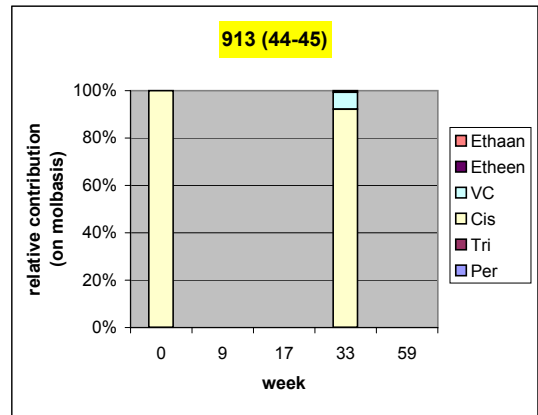
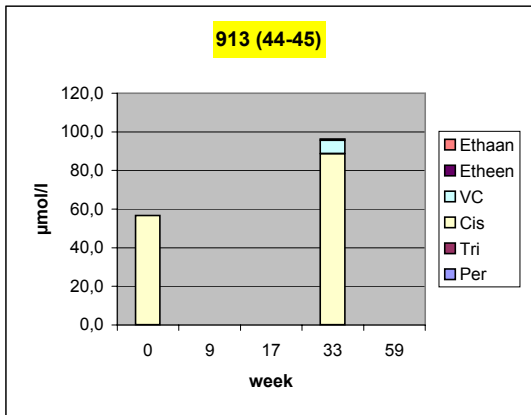
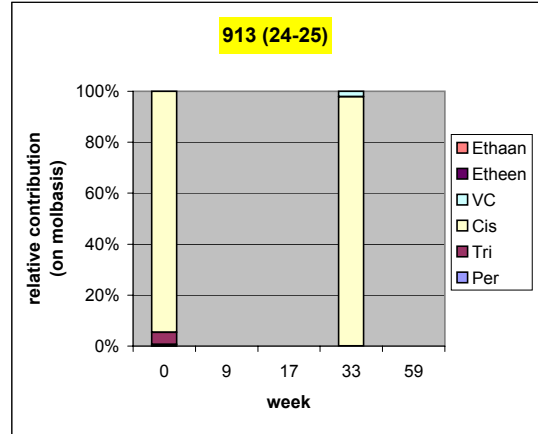
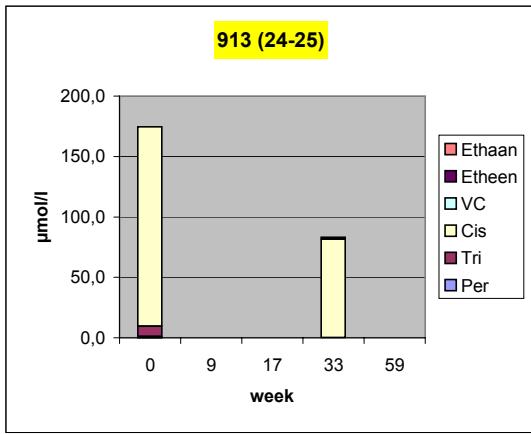


913 (24-25)



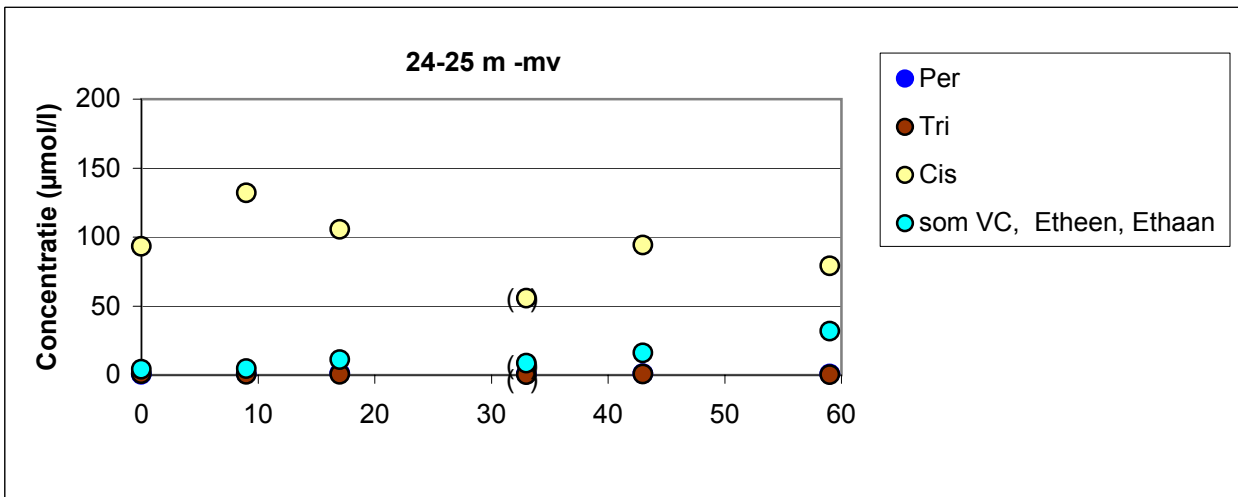
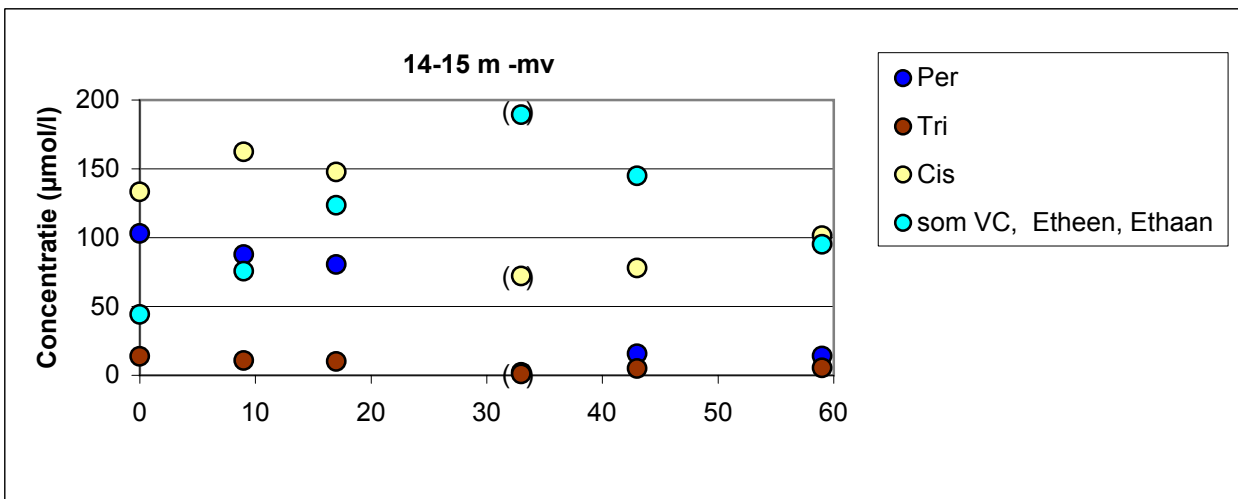
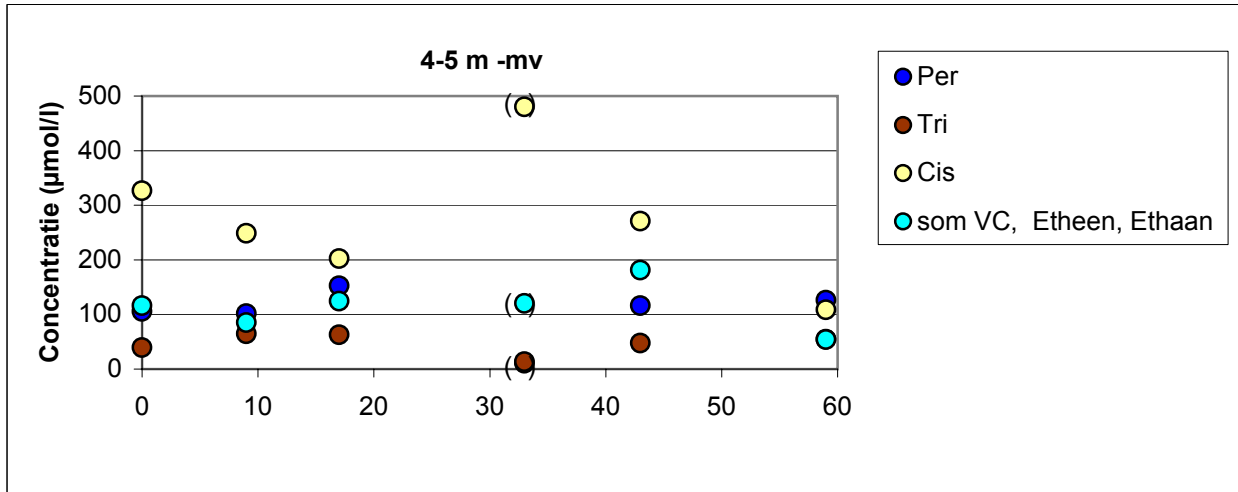
913 (44-45)



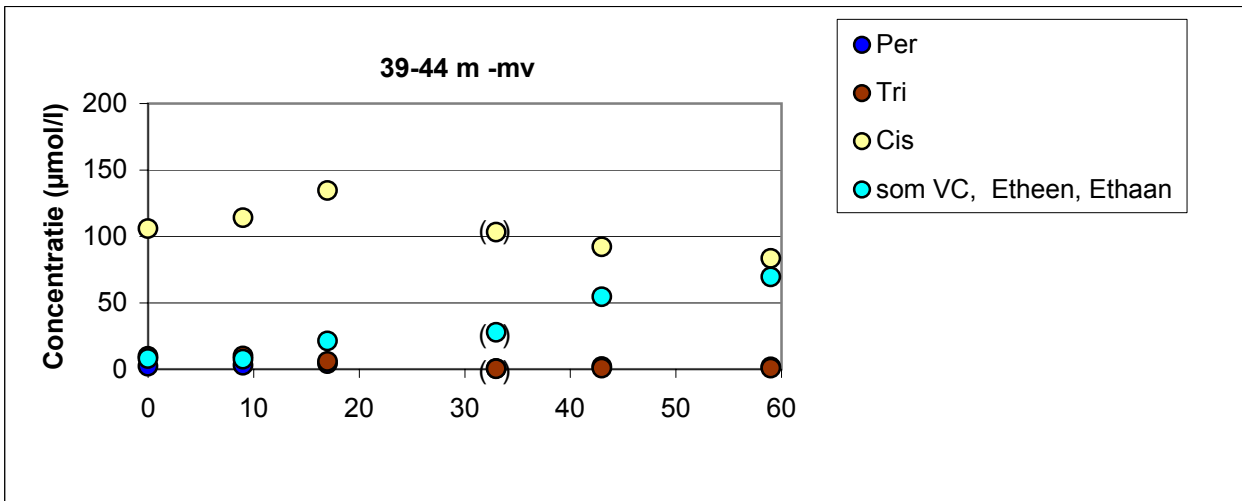
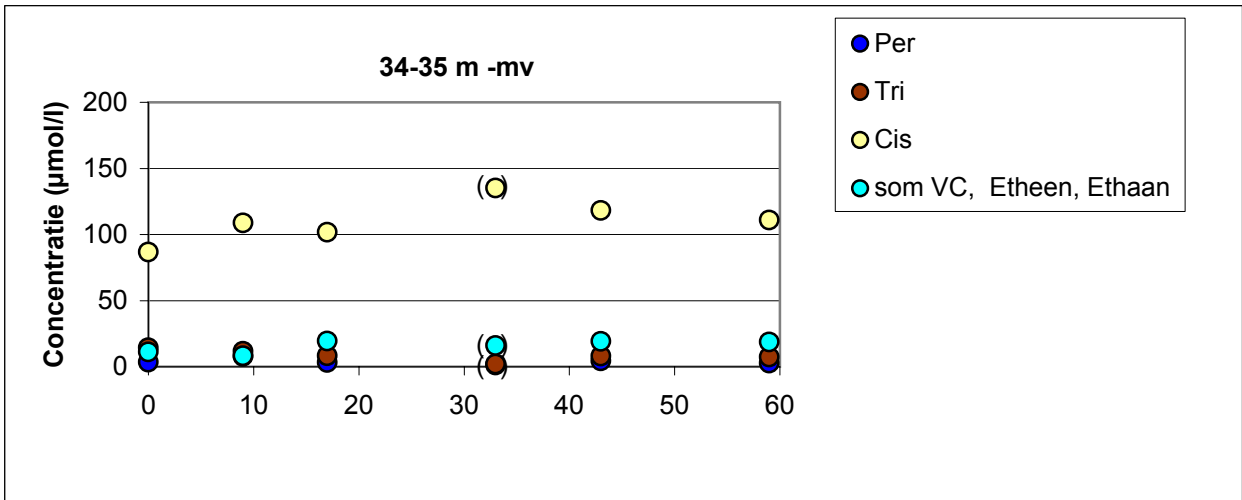


BIJLAGE D

**VERLOOP VAN GEMIDDELTE CONCENTRATIES AAN CKW EN
AFBRAAKPRODUCTEN OP VERSCHILLENDE DIEPTES**



() = metingen gedaan in een beperkt aantal filters waar de afbraak goed verloopt.



() = metingen gedaan in een beperkt aantal filters waar de afbraak goed verloopt.

BIJLAGE E

GEMIDDELDE CONCENTRATIES CKW EN DECHLORERINGSGRAAD

Concentraties in $\mu\text{mol/l}$, dechlorering in %

week	PER			TRI			CIS			VINYLCHLORIDE			ETHEEN			ETHAAN			DECHLORERING		
	gemidd	SD	n	gemidd	SD	n	gemidd	SD	n	gemidd	SD	n	gemidd	SD	n	gemidd	SD	n	gemidd	SD	n
0	32	95	48	12	25	48	127	163	48	20	51	48	4	14	48	1,3	4	48	49	13	48
9	37	92	38	16	34	38	146	130	38	20	43	38	13	61	38	0,6	3	38	48	13	38
17	42	105	35	14	34	35	134	105	35	37	78	35	19	74	35	1,2	3	35	51	14	35
33	2	5	16	2	7	16	139	217	16	27	48	16	34	115	16	1,2	3	16	60	14	16
43	20	84	38	9	34	38	118	136	38	45	69	38	28	95	38	3,7	18	38	57	14	38
59	18	70	37	9	30	37	96	70	37	34	32	37	17	36	37	4,3	21	37	59	15	37

gemidd = gemiddelde waarde; SD = standaardafwijking; n = aantal waarnemingen