

**PROJECT
LEEFMILIEUTECHNOLOGIE EN
DUURZAME MATERIALEN
2008-2009
PETROCHEMISCH AFVALWATER GROEP A**

Inhoud

1. INLEIDING.....	4
2. HET PROBLEEM.....	5
2.1. DE OPDRACHT	5
Opdrachten	5
2.1.1. Het octaangetal	6
2.1.2. Toluene ($C_6H_5CH_3$)	6
2.1.3. Para-xyleen ($C_6H_4(CH_3)_2$)	7
2.1.4. MTBE of methyl-tert-butyl-ether ($C_5H_{12}O$)	8
2.1.5. Fysische eigenschappen van de gebruikte stoffen	9
2.1.6. Wettelijke normen	9
3. DE GASCHROMATOOGRAAF	10
3.1. WERKING	10
3.1.1. De injector	11
8. de capillaire kolom	11
3.1.2. De capillaire kolom	11
3.1.3. De detector.....	12
3.1.4. Kort samengevat (zie ook figuur 1):.....	12
3.2. IJKCURVE.....	13
3.2.1. Opstelling ijkcurve	13
3.3. BEDIENING	16
4. ZUIVERINGSTECHIEKEN.....	18
4.1. CHEMISCHE ZUIVERING	18
4.1.1. Fentons reagens	18
4.1.2. Besluit.....	21
4.2. ACTIEVE KOOL.....	22
4.2.1. Proef 1	22
4.2.2. Proef 2	23
4.2.3. Besluit.....	24
4.3. AIRSTRIPPING.....	25
4.3.1. Theoretische bespreking	25
4.3.2. Testen van de methode	25
4.3.3. Besluit airstripping	27
4.4. BESLUIT 3 ZUIVERINGSTECHNIEKEN	27
5. SIMULATIES MET ASPEN PLUS 12.1	28
5.1. DIMENSIONERING TESTOPSTELLING.....	28

5.2. OPSTELLING.....	28
5.3. INSTELLINGEN	28
5.4. RESULTATEN	29
5.5. VERALGEMENING RESULTATEN.....	30
5.6. BESLUIT.....	32
6. BATCH	33
6.1. EERSTE TESTOPSTELLING.....	33
6.2. TWEEDE TESTOPSTELLING.....	36
6.3. BESLUIT.....	40
6.4. INDUSTRIËLE SCHAAL	41
7. PETROCHEMISCH VERVUILD WATER IN DE WERELD	43
7.1. INLEIDING.....	43
7.2. OPLOSSING	43
7.3. BESLUIT.....	46
8. BESLUIT.....	47
9. BRONVERMELDING.....	48

1. INLEIDING

In het tweede semester van het tweede jaar bachelor in de ingenieurswetenschappen worden er vier projecten aangevat. In dit kader vindt het project Leefmilieutechnologie en duurzame materialen plaats dat de richting chemie en materialen vertegenwoordigt. Er zijn drie soorten problemen die moeten opgelost worden in dit project: petrochemisch, metallurgisch en huishoudelijk afvalwater zuiveren. Hieronder volgt het verslag van hoe groep A het probleem petrochemisch afvalwater zuiveren aangepakt heeft.

De groep bestaat uit Adam Cooman, Maxime Geeroms, Hannes Maes, Ward Melis, Avdyl Shala, Zjef Van de Poel en Maarten Weckx.

2. HET PROBLEEM

2.1. DE OPDRACHT

Hieronder kan de lezer de opdracht zien die de groep op de eerste dag van het project krijgt.

Het afvalwater dat door jullie moet gezuiverd worden is vervuild grondwater. De vervuiling komt van een lekkende benzine tank. Het zuiveren van dit afvalwater kan via verschillende manieren. Jullie zullen zelf 1 manier in de praktijk uitwerken rekening houdend met economische en andere beperkingen.

Opdrachten

1. Analyses afvalwater (tip: welke fractie van benzine kan oplossen in water?)
2. bepaal de verdelingscoëfficiënten van de stoffen die in water kunnen oplossen
3. Ga na op welke basis een zuiveringsmethode gekozen wordt (vergelijk verschillende types ook economisch, ga de normen voor water na, beslis wat voor jullie haalbaar is)
4. Werk een installatie voor laboschaal zuivering uit (bouw batch installatie: volgens de informatie van vorig punt)
5. Zuivering op industriële schaal: ontwerp een installatie voor continue zuivering van 100l/uur
6. Simuleer een industriële zuiveringsinstallatie (van punt 5) met ASPEN
7. Welke materialen gebruikt men voor een dergelijke installatie?

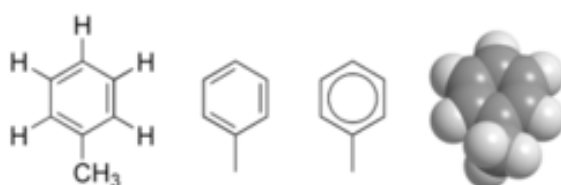
Zoals men kan zien gaat het over water dat vervuild is met benzine. Maar het zijn enkel die componenten uit benzine die oplossen in water die men moet zoeken. De stoffen uit benzine die niet oplossen in water kan men gemakkelijk scheiden met bij wijze van voorbeeld een sheitrichter. Dit deelprobleem werd echter niet behandeld en in de 48 l ton treft men dus alleen water, vervuild met stoffen die volledig opgelost zijn, aan.

Het is duidelijk dat deze zo snel mogelijk moeten gekarakteriseerd worden voordat de zuiveringsmethode ontworpen wordt. Iedereen van het team werd hiervoor aan het werk gezet met als resultaat dat de stoffen reeds snel konden gevonden worden. Het gaat over vier stoffen: MTBE of methyl-tert-butyl-ether, toluen, para-xyleen en benzeen. Wat de laatste component betreft, werd ons toevertrouwd dat deze er niet inzat. Benzeen is namelijk sterk carcinogeen. Wat de andere stoffen betreft volgt hier een korte bespreking van hun eigenschappen en waarvoor ze gebruikt worden. Maar eerst een woordje uitleg over het octaangetal.

2.1.1. Het octaangetal

Het octaangetal is de grootte voor de klopvastheid van benzine. Men wil zelfontbranding in een benzine motor tegengaan terwijl de werking van een dieselmotor juist steunt op het principe van zelfontbranding. Indien men een mengsel van benzine heeft, wordt dit vergeleken met een mengsel van n-heptaan en het moeilijk zelfontbrandbare iso-octaan. Het volumepercent iso-octaan geeft het octaangetal. Omdat er benzine mengsels bestaan, die een hogere klopvastheid hebben dan een 100% octaanmengsel, komen er ook octaangetallen voor van meer dan 100%. Vele stoffen in benzine worden toegevoegd met het oog op het verhogen van die klopvastheid.

2.1.2. Toluene ($C_6H_5CH_3$)



1. Molecule van toluene (nl.wikipedia.org)

R-zinnen	11,38,48,20,63,65,67
S-zinnen	2,36,37,46,62


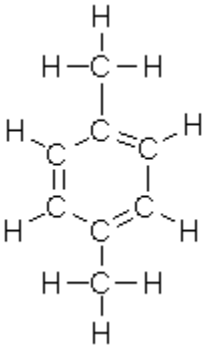


(F+: zeer licht ontvlambaar, X_n: schadelijk)

Toluene bestaat uit een benzeenring waarvan één waterstofatoom vervangen is door een methylgroep.

De stof wordt als verdunningsmiddel in verf, octaanbooster of om hemoglobine uit rode bloedcellen te halen gebruikt. Verder is toluene één van de reagentia in de synthese van trinitrotoluene en wordt het ook gebruikt bij de extractie van cocaïne uit de cocoplant. Het langdurig inademen van de damp is ongezond, het kan kanker veroorzaken. Maar benzeen is veel kankerverwekkender dan toluene, daarom wordt benzeen als solvent vaak door toluene vervangen.

2.1.3. Para-xyleen ($C_6H_4(CH_3)_2$)

	
<p>2. molecule van para-xyleen(www.chemicals-technology.com)</p>	<p>3. molecule van para-xyleen (2) (www.steve.gb.com)</p>

R-zinnen	10,20,21,38
S-zinnen	25

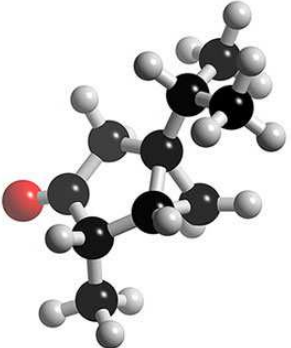


(F:ontvlambaar, X_n: schadelijk)

Xyleen bestaat uit een benzeenring waarvan 2 waterstofatomen vervangen zijn door een methylgroep. Er bestaan dus drie isomeren van Xyleen: ortho, meta en para.

Xyleen wordt eveneens als solvent gebruikt en in chemische synthese bij de productie van teraftaalzuur. Verder wordt het ook nog gebruikt als reinigingsmiddel en als pesticide. De term xylol verwijst naar een mengsel van de drie isomeren van xyleen. Blootstelling aan grote hoeveelheden veroorzaakt verwardheid en hoofdpijn. Het kan kanker veroorzaken.

2.1.4. MTBE of methyl-tert-butyl-ether (C₅H₁₂O)

	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} $
<p>4. molecule van MTBE (mtfeedfuel.com)</p>	<p>5. molecule van MTBE (2)(commons.wikimedia.org)</p>

R-zinnen	11,38
S-zinnen	2,9,16,24



(F+:zeer licht ontvlambaar,Xi: irriterend)

MTBE wordt aan benzine toegevoegd om de klopvastheid te verhogen. Vroeger werd daarvoor tetraëthyllood gebruikt. Als tetraëthyllood ((CH₃CH₂)₄Pb) verbrand wordt in de motor komt het giftige lood vrij. Dit lood kan dan in het menselijk lichaam terecht komen. Wegens deze reden is er een einde gekomen aan het gebruik van deze stof in benzine voor de automobielsector. Nog een reden dat het niet meer gebruikt wordt is dat lood schade toebrengt aan de katalysator. Wat de luchtvaartsector betreft, wordt tetraëthyllood nog altijd als additief gebruikt in brandstof voor zuigermotoren. MTBE zelf is ook giftig. Daarom mag in Europa de benzine maar een maximale hoeveelheid MTBE bevatten. In de Verenigde Staten is de stof echter verboden en wordt ze vervangen door ethanol. Naast het verhogen van de klopvastheid van het benzinemengsel is er nog een reden dat MTBE gebruikt wordt: MTBE is een zuurstofhoudende hulpstof. Ze zorgt voor een betere verbranding en daardoor voor schonere uitlaatgassen omdat de hoeveelheid CO daalt. Een verbranding met zo weinig mogelijk CO en zoveel mogelijk CO₂ is een efficiënte verbranding.

2.1.5. Fysische eigenschappen van de gebruikte stoffen

Naast dit overzicht van de stoffen waarmee het water vervuild is en waarvoor deze stoffen nog gebruikt worden, moet men de fysische eigenschappen van deze stoffen kennen. Aan de hand van deze eigenschappen kan men de concentratie in het water te weten komen en technieken vinden om deze stoffen te scheiden van het water.

	smeltpunt	Kookpunt	Molaire massa	Oplosbaarheid in water	dichtheid
MTBE	-109°C	55,2°C	88,15g	42g/l	0,7404g/ml
TOLUEEN	-93°C	110.6°C	92,14 g	0,53g/l	0,8669g/ml
PARA-XYLEEN	13°C	138°C	106,16 g	0,156g/l	0,86g/ml

2.1.6. Wettelijke normen

Het is de bedoeling dat men bij het zuiveren de vervuiling terugdringt tot een bij wet bepaalde norm voor drinkbaar water. Deze norm zal telkens gecontroleerd worden met de gaschromatograaf. Hieronder vindt men de bij wet vastgelegde normen.

	Toegelaten concentratie voor drinkbaar water
MTBE	15ppb
TOLUEEN	10ppm
PARA-XYLEEN	1ppm

3. DE GASCHROMATOGRAAF

Chromatografie is een techniek die gebruikt wordt om de verschillende componenten van een mengsel te scheiden.

Gaschromatografie is een vorm van chromatografie waarbij de componenten van het mengsel zich in de gasfase bevinden. In dit project werd gebruik gemaakt van een Agilent 6890 Series gaschromatograaf (zie figuur 6).



3.1. WERKING

Gaschromatografie is een gemakkelijke en snelle manier om de concentratie van de verschillende stoffen in een mengsel te bepalen. Met deze methode kunnen ook onzuiverheden in een mengsel gedetecteerd worden.

De gaschromatograaf bestaat uit drie belangrijke componenten:

- De injector
- De capillaire kolom
- De detector

Om de werking van de gaschromatograaf ten volle te kunnen begrijpen zullen nu elk van zijn onderdelen apart besproken worden.

3.1.1. De injector

Eens de verschillende te onderzoeken samples bereid zijn, zal de gaschromatograaf met een zeer fijne naald slechts 3 μ l uit het sample halen en in de injector spuiten.

De **injector** (zie figuur 7) kan gezien worden als een voorverwarmde kamer waar het mengsel in de gasfase gebracht wordt. Het is logisch dat de temperatuur van de injector hoger moet zijn dan de kooktemperatuur van de verschillende componenten van het mengsel. Dit om zeker te zijn dat het volledige mengsel zal verdampen en niets achterblijft in de vloeistoffase.

Eens het mengsel verdampt is, zal een draaggas er voor zorgen dat het gasvormig mengsel meegevoerd wordt doorheen de capillaire kolom van de gaschromatograaf. Als draaggas werd helium gebruikt (waterstofgas kan ook als draaggas dienen, maar aangezien de capillaire kolom zich in een oven bevindt, is er meer kans op explosie in geval van lekken in de kolom, aangezien waterstofgas explosief is en helium niet).



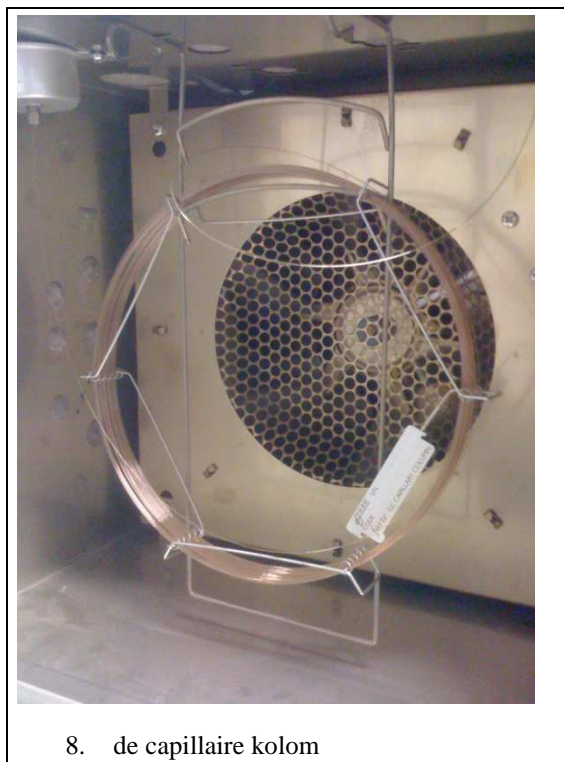
7. de injector

3.1.2. De capillaire kolom

De **capillaire kolom** die zich in de gaschromatograaf bevindt is de opvolger van de gepakte kolom die vroeger gebruikt werd. Capillaire kolommen staan bekend voor hun grotere scheidingskracht.

De kolom in de gaschromatograaf is in ons geval een opgerolde kolom die een totale lengte van 30 meter heeft (zie figuur 8). De interne diameter van de kolom bedraagt 0,25 mm en is daarmee klein genoeg om de capillaire werking van de kolom te verzekeren. Het geheel bevindt zich in een oven en wordt onderworpen aan een temperatuurprogramma.

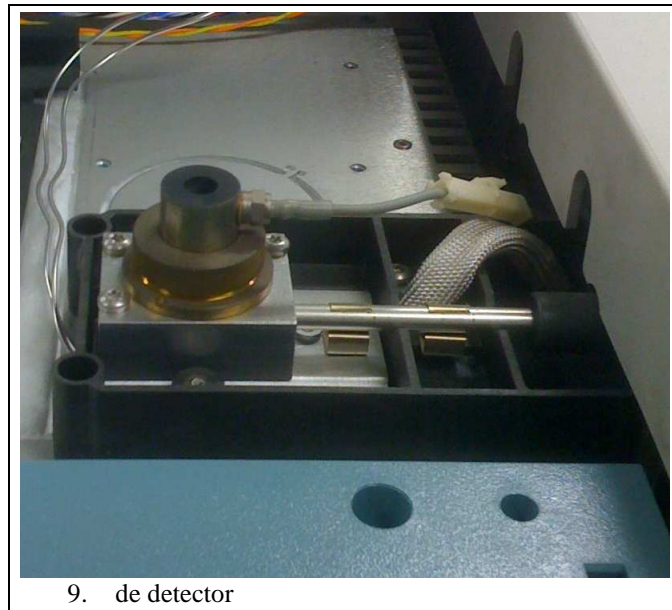
Het is in deze kolom dat de verschillende componenten van het mengsel effectief gescheiden worden.



8. de capillaire kolom

3.1.3. De detector

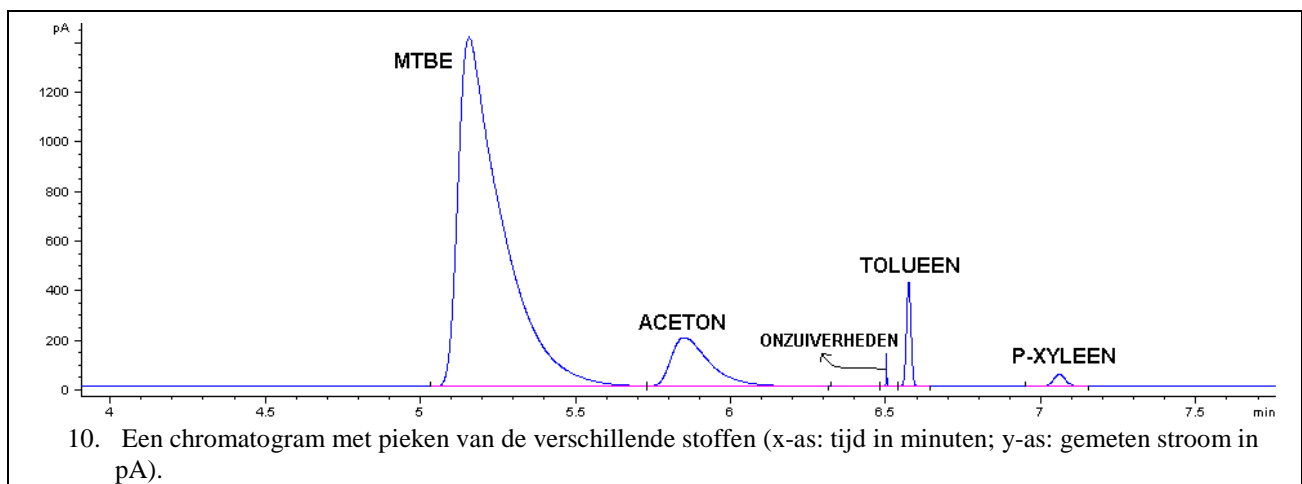
De verschillende gasvormige componenten komen na hun tocht door de capillaire kolom één voor één aan in de **detector** van de gaschromatograaf (zie figuur 9). Hier wordt elke component met behulp van een steekvlam ($> 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) geïoniseerd. De ionen die hierbij ontstaan zorgen ervoor dat een zeer kleine stroom (in de orde van pA) door de detector loopt. Het is deze stroom die de detector meet. De stroom geïntegreerd is een maat voor de hoeveelheid van die component en dus voor zijn concentratie.



9. de detector

Indien de concentratie van de verschillende componenten gemeten wordt met zulk een detector spreekt men ook van **FID** (*Flame Ionisation Detection*, ofwel vlamionisatiedetectie).

Met behulp van een computer kan dan een grafiek getoond worden van de gemeten stroom in functie van de tijd. Deze zal op het moment van de stroomdetectie een piek geven, waarvan de oppervlakte gemakkelijk met de computer uitgerekend kan worden en een maat is voor de hoeveelheid van die component. Zo'n grafiek wordt een **chromatogram** (zie figuur 10) genoemd.



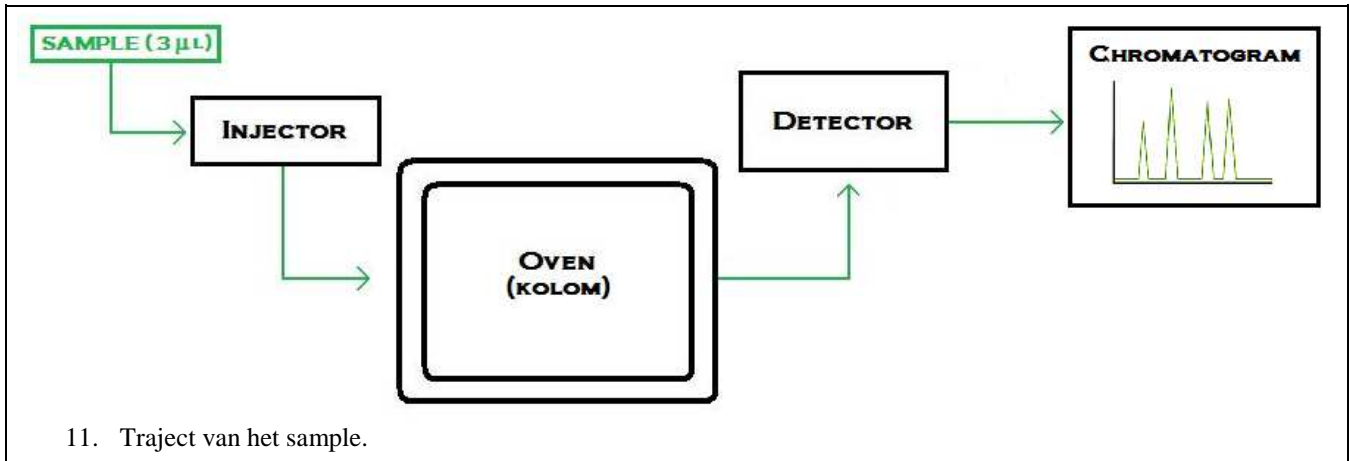
3.1.4. Kort samengevat (zie ook figuur 1):

Uit het sample wordt slechts 3 μl gehaald en volledig verdampt in de injector. Samen met het heliumgas als draaggas wordt het sample (in de gasfase) geïnjecteerd in de capillaire kolom die zich in de oven bevindt.

De oven wordt onderworpen aan een vooraf geprogrammeerd temperatuurtraject en afhankelijk van de vluchtigheid van de verschillende componenten van het mengsel

wordt de meest vluchtige component het eerst meegevoerd met het helium naar de detector. Aangezien in het mengsel MTBE de meest vluchtige component was, werd deze ook als eerste naar de detector gevoerd. Daarna moest toluen eraan geloven en een weinig later volgde ook xyleen (in zoverre xyleen nog aanwezig was in het mengsel).

In de detector wordt de gasvormige component geïoniseerd waardoor een stroom gemeten wordt. Deze stroom kan als een piek afgelezen worden op het chromatogram.



3.2. IJKCURVE

Men weet dat de detector een stroom meet en dat op het chromatogram een piek getoond wordt. De oppervlakte onder die piek is dan een maat voor de concentratie van die bewuste component. Om nu het verband tussen de oppervlakte van de piek en de concentratie van de component te weten te komen, moet er een ijkcurve opgesteld worden. Deze is een eenvoudige lineaire vergelijking waarmee we voor elke stof zijn concentratie kunnen uitrekenen, van zodra men zijn piekoppervlakte kent.

3.2.1. Opstelling ijkcurve

Om de ijkcurve voor elke component op te stellen hebben we het te zuiveren mengsel nagemaakt, waarbij men van elke component de precieze concentratie berekend had en vervolgens door de gaschromatograaf lieten lopen. Dit werd gedaan voor verschillende concentraties van het te zuiveren mengsel: 100%, 75%, 50%, 25% en 10%. Deze verschillende percentages werden bekomen door het zelfgemaakte mengsel met het nodige volume gedemineraliseerd water aan te lengen.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de bekomen data. Er zijn drie hoofd-kolommen te zien (MTBE, Toluene en Xyleen) elk onderverdeeld in twee subkolommen (oppervlakte van de piek en concentratie in ppm).

Per stof werd dus de concentratie berekend voor de verschillende verdunningen van het mengsel (100%, 75%, 50%, 25% en 10%). Er werden van elke verdunning vijf stalen genomen, vandaar dat er per percentage vijf metingen te vinden zijn. In de meest linkse kolom van elke hoofdkolom zijn de verschillende piekoppervlakten van elke meting te zien, die bekomen werden met de gas-chromatograaf. In de rechtse

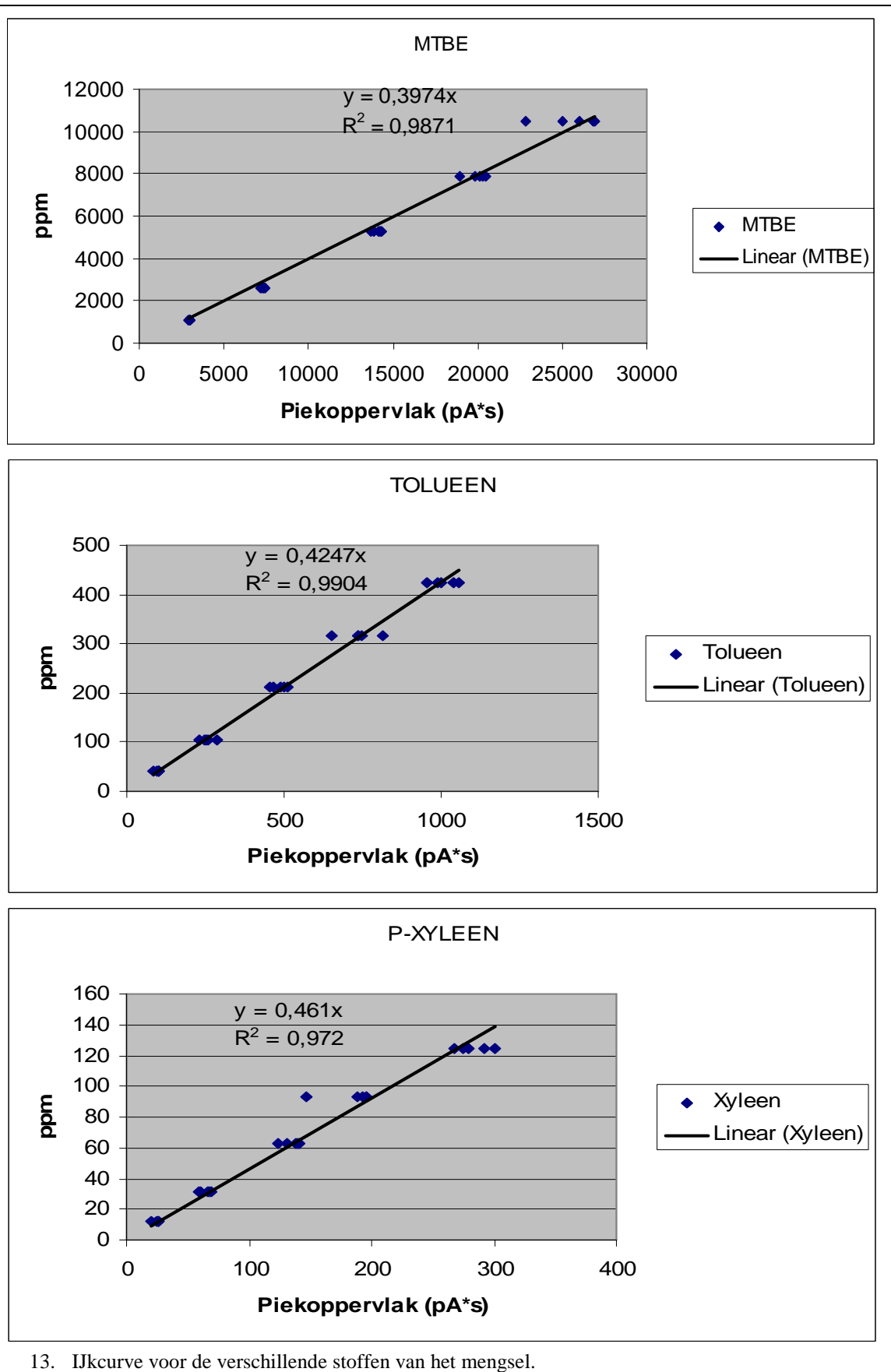
kolom staan de verschillende concentraties, berekend voor de verschillende verdunningen.

	MTBE		Tolueen		Xyleen	
	opp piek	ppm	opp piek	ppm	opp piek	ppm
100 %	22814	10499,86	957,18	423,9141	267,32	124,845
	25017	10499,86	1000,3	423,9141	274,98	124,845
	26017	10499,86	987,58	423,9141	278,48	124,845
	26956	10499,86	1038,8	423,9141	291,86	124,845
	26830	10499,86	1054,6	423,9141	300,99	124,845
75 %	20343	7874,895	736,02	317,9356	194,97	93,63375
	20448	7874,895	749,89	317,9356	195,66	93,63375
	20139	7874,895	735,26	317,9356	192,46	93,63375
	19840	7874,895	812,47	317,9356	188,45	93,63375
	18905	7874,895	653,01	317,9356	146,88	93,63375
50 %	14107	5249,93	512,08	211,9571	140,51	62,4225
	14302	5249,93	497,75	211,9571	140,09	62,4225
	13648	5249,93	457,23	211,9571	123,4	62,4225
	14222	5249,93	487,84	211,9571	138,51	62,4225
	13892	5249,93	467,32	211,9571	131,21	62,4225
25 %	7348,2	2624,965	259,8	105,9785	68,257	31,21125
	7174,4	2624,965	232,71	105,9785	59,893	31,21125
	7323	2624,965	255,34	105,9785	66,445	31,21125
	7234,1	2624,965	248,28	105,9785	58,385	31,21125
	7460,3	2624,965	286,11	105,9785	69,616	31,21125
10 %	2946,8	1049,986	93,7	42,3914	24	12,4845
	2914	1049,986	82	42,3914	20,7	12,4845
	2973,1	1049,986	102,8	42,3914	26,6	12,4845
	3006,3	1049,986	100	42,3914	25,7	12,4845
	3014,2	1049,986	99,2	42,3914	25,5	12,4845

12. metingen

Het enige dat nu nog moet gebeuren is de piekoppervlakte uit te zetten in functie van de concentratie (uitgedrukt in ppm) en dan een beste rechte te trekken. Dit werd voor de verschillende stoffen gedaan en is te zien in figuur 13.

De verschillende metingen voor de verschillende verdunningspercentages werden uitgezet tegen de gekende concentraties. Dan werd een beste rechte getrokken, waarbij de vergelijking van de rechte het verband geeft tussen de piekoppervlakte en de concentratie (in ppm).



Voor MTBE vindt men aldus:

$$y = 0.3974 x$$

Voor toluen vindt men:

$$y = 0.4247 x$$

En voor para-xyleen:

$$y = 0.461 x$$

In deze vergelijkingen van de ijkcurven van de verschillende stoffen stelt x steeds de piekoppervlakte voor die afgelezen kan worden van het chromatogram en y de concentratie van die stof uitgedrukt in ppm.

3.3. BEDIENING

Voor de bediening van de gaschromatograaf, alsook voor de weergave en studie van het chromatogram heeft men gebruik gemaakt van ChemStations Online & Offline, een computerprogramma waarmee gemakkelijk *gepraat* kon worden tegen de gaschromatograaf.

In figuur 14 is te zien hoe het programma ChemStation Online eruit ziet. Met Romeinse cijfers werden de belangrijkste onderdelen van het programma aangeduid.

I:	Hier kan de ingegeven sequentie samples gestart of gestopt worden. In de blauwe kader geeft het programma de status van de gaschromatograaf.
II:	Dit is een grondplan van de lader van de gaschromatograaf waarin de verschillende samples zich bevinden, klaar om onderzocht te worden. De witte bolletjes duiden op te onderzoeken samples, het blauwe vierkant op het sample dat momenteel onderzocht wordt en de grijze bolletjes op samples die niet onderzocht moeten worden of gewoonweg lege plaatsen in de lader.
III:	Hier kan de naam van het sample dat onderzocht wordt afgelezen worden. Deze naam werd vooraf door de onderzoeker ingegeven in de 'Sequence Table'.
IV:	In deze balk kan de verstreken tijd van het sample binnen de gaschromatograaf afgelezen worden, alsook de gebruikte methode en sequence table.
V:	Deze kader geeft een overzicht van de verschillende functies die voor handen zijn. Hier kan onder andere het gebruikte temperatuursprogramma aangepast worden, de status van de capillaire kolom, injector en detector bekeken worden enz.
VI:	Dit scherm tekent het chromatogram van het sample dat door de gaschromatograaf onderzocht wordt met op de verticale as de gemeten stroom in pA en op de horizontale as de tijd in minuten.

Instrument 1 (online): Method & Run Control

File RunControl Instrument Method Sequence View Abort Help

Method and Run Control TOL-MTBE.M ALEX.S Sequence

Sequence Running Data Acquisition Elapsed 3.5 Method: TOL-MTBE.M Sequence: ALEX.S IV

Start Stop

VALVE OVEN TIME OPEN

Back ? 2 ? Front

Data File: 2 Data File: MENG1.D

Back: Name: Comment:

Front: Name: Mengsel 1 III Comment: 60

Online Plot front detector

pA

7000

6000

5000

4000

3000

2000

1000

0

-50 -40 -30 -20 -10 0 min

Change... Adjust

[F1=Help] [F3=Recall] [F5=StartRun] [F6=StartSeqRun] [F8=Stop] [F11=NextWindow]

zoom in

14. Programma verbonden aan de gaschromatograaf.

4. ZUIVERINGSTECHIEKEN

Nu men de vervuiling en het toestel om de vervuiling te identificeren kent, moet men op zoek gaan naar een techniek om het water te zuiveren. Hieronder worden drie mogelijke technieken besproken die men alle drie uitgeprobeerd heeft. Op het einde van dit hoofdstuk wordt er dan één techniek gekozen welke op grotere schaal uitgewerkt zal worden.

4.1. CHEMISCHE ZUIVERING

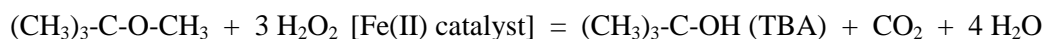
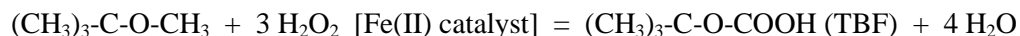
Chemische zuivering houdt in dat men door het toevoegen van chemische producten aan vervuild water reactieproducten kan verkrijgen die minder schadelijk zijn dan de reagentia. In dit deel zullen Fentons reagens besproken worden als mogelijke oplossing voor het verwijderen van MTBE uit water.

4.1.1. Fentons reagens

4.1.1.1. Algemeen

Door H_2O_2 toe te voegen aan een organische stof R, opgelost in water, ontstaat er, mits behulp van een katalysator (Fe (II)), een chemische reactie. Deze reactie ziet er als volgt uit:

Voor MTBE:



Wat er concreet gebeurt, is dat de organische stof gaat oxideren bij het reduceren van de oxidator H_2O_2 . Door gebruik te maken van Fe(II) als katalysator kan men zuurstofradicalen aanmaken zoals men ziet in volgende reactie:



De combinatie van H_2O_2 en Fe(II) noemt men Fentons reagens.

Opdat deze reactie kan plaatsvinden, moet Fe(II) opgelost zijn in water. Bij een pH groter dan 5 is Fe(II) vrijwel onoplosbaar in water, dus moet men ervoor zorgen dat de pH van ons vervuild water lager ligt dan 5.

Uit de literatuur blijkt dat deze techniek zeer goed toepasbaar is op MTBE en bij een pH tussen 2 en 4.

4.1.1.2. Het experiment

Bij het experiment heeft men gebruik gemaakt van H_2O_2 , MTBE, Fe(II) en dit bij een pH tussen 3 en 4 (ongeveer 3,5). De reactieproducten waren, zoals verwacht, t-butyl alcohol (TBA), t-butyl formaat (TBF), een zeer kleine hoeveelheid aceton en ijzer.

Het gebruikte sample bevatte 500 ml water. Hierin doet men $57 \cdot 10^{-3}$ mol MTBE, 11,4 ml van 35% H_2O_2 (zie berekening 1) en 0,044 ml van 97% H_2SO_4 (zie berekening 2). Deze samenstelling laat men dan roeren met behulp van een magnetische roerstaaf. Om de zoveel minuten neemt men dan een sample dat men in de gaschromatograaf plaatst.

$$X = \text{Dichtheid}(\text{H}_2\text{O}_2) / \text{Molmassa}(\text{H}_2\text{O}_2) = (1,463 \cdot 10^3 / 34,015) \text{ mol/l} = 43 \text{ mol/l}$$

Verhouding MTBE : H_2O_2 is 1:3, dus men heeft $Y = 0,17 \text{ mol H}_2\text{O}_2$ nodig.

$$A = Y/X = 0,17 \text{ mol} / 43 \text{ mol/l} = 4 \text{ ml}$$

Men heeft 35 % H_2O_2 dus per 35 ml H_2O_2 heeft men 65 ml H_2O dus er is: $A + 65/35 \cdot 4 \text{ ml}$ nodig, dit is gelijk aan 11,4 ml.

$$X = \text{Dichtheid}(\text{H}_2\text{SO}_4) / \text{Molmassa}(\text{H}_2\text{SO}_4) = (1,84 \cdot 10^3 / 98,08) \text{ mol/l} = 18,8 \text{ mol/l}$$

Nodige pH = 3,5 $\Rightarrow -\log [\text{H}^+] = 3,5 \Leftrightarrow [\text{H}^+] = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$ dus voor 500 ml heeft men 1,6 mol H_2SO_4 nodig en aangezien er per H_2SO_4 molecule 2 H^+ -ionen vrijkomen heeft men nog maar $Y = 0,8 \text{ mol H}_2\text{SO}_4$ nodig.

De concentratie aan H_2SO_4 is 18,8 mol per liter en men heeft slechts $0,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ per 500ml H_2SO_4 nodig dus:

$$A = Y/X = 0,8/18,8 \text{ ml} = 0,043 \text{ ml.}$$

Men beschikt over een volumefractie van 97% dus:

$$B = V_{\text{water}} / V_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot V_{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ nodig}} = (3/97 \cdot 0,043) \text{ ml} = 0,0013 \text{ ml.}$$

Men moet dus $A+B$ uit de fles halen: 0,44 ml.

4.1.1.3. Resultaten

Sample65: Chemische Zuivering (10:00)			
Stof	RT (min)	Oppervlakte	Concentratie (ppm)
MTBE	5.164	10282	4089.1514

Tolueen	6.552	23.454	9.9585684
p-Xyleen	7.027	6.579	3.0316032
Sample66: Chemische Zuivering (20:00)			
Stof	RT (min)	Oppervlakte	Concentratie (ppm)
MTBE	5.188	10402	4136.8754
Tolueen	6.564	18.674	7.9289804
p-Xyleen	7.174	1493.4	688.15872
Sample67: Chemische Zuivering (30:00)			
Stof	RT (min)	Oppervlakte	Concentratie (ppm)
MTBE	5.171	9901.3	3937.74701
Tolueen	6.555	18.663	7.9243098
p-Xyleen	7.176	2024.9	933.07392
Sample68: Chemische Zuivering (40:00)			
Stof	RT (min)	Oppervlakte	Concentratie (ppm)
MTBE	5.172	8270.3	3289.09831
Tolueen	6.567	17.992	7.6394032
p-Xyleen	7.185	2103.2	969.15456

Men merkt dat na 40 minuten zuiveren de concentratie van MTBE en van toluen nog steeds groter is dan de toegelaten waarde voor drinkbaar water. Wat men ook opmerkt, is dat de concentratie van p-xyleen vanaf het tweede sample sterk varieert van het eerste. Aan de hand van de retentietijd ziet men dus dat dit een andere stof is dan p-xyleen: Voor p-xyleen is de retentietijd ongeveer 7.05 min, maar men ziet dat deze retentietijd sterk verschillend is van de opgemeten waarde (op het eerste sample na). Hieruit concludeert men dat de stof die daar opmeten wordt ofwel TBA ofwel TBF is, dus een van de reactieproducten. Wat men hier ook uit kan vaststellen is dat de waarde van p-xyleen toch wel vrij klein is doordat deze niet meer opgemeten wordt, dit omdat de waarde te klein is in vergelijking met een ander reactieproduct. De toegelaten waarde voor p-xyleen is 1 ppm dus men zit met deze techniek op de rand daarvan. Het is dus onzeker of p-xyleen via deze techniek ook verwijderd kan worden.

4.1.2. Besluit

Chemische zuivering is geen goede techniek. Het kost te veel tijd om tot een goed resultaat te komen en er komen uiteindelijk nog verschillende reactieproducten in terecht (TBA, TBF en ijzer) waardoor het water ondrinkbaar is.

Deze techniek wordt ook voornamelijk gebruikt om proper grondwater te bekomen en de toegelaten waarden hiervoor zijn natuurlijk minder streng dan deze voor drinkbaar water. Men concludeert dus dat chemische zuivering geen goede manier is om MTBE, toluen en para-xyleen uit water te krijgen.

4.2. ACTIEVE KOOL

Een van de mogelijke zuiveringsmethoden voor petrochemisch afvalwater is het gebruik van actieve kool. Actieve kool is speciaal behandelde koolstof met een hoog adsorptiegehalte. Adsorptie is een fenomeen dat gebruik maakt van het verschil in aanhechtingsvermogen en treedt op aan het grensvlak van twee fasen. Hierbij hechten de moleculen van een gas of vloeistof zich aan de moleculen van een vloeistof of vaste stof, waarbij deze laatste bedekt worden met een fijn laagje.

Om na te gaan in welke mate actieve kool in staat is om het petrochemisch vervuild water te zuiveren werd volgende proef uitgevoerd. Er werd telkens bij 0,5l vervuild water een afgewogen hoeveelheid actieve kool toegevoegd. Het geheel stond op een magnetische roerder. Op bepaalde tijdstippen werd een staal genomen om te analyseren met een gaschromatograaf.

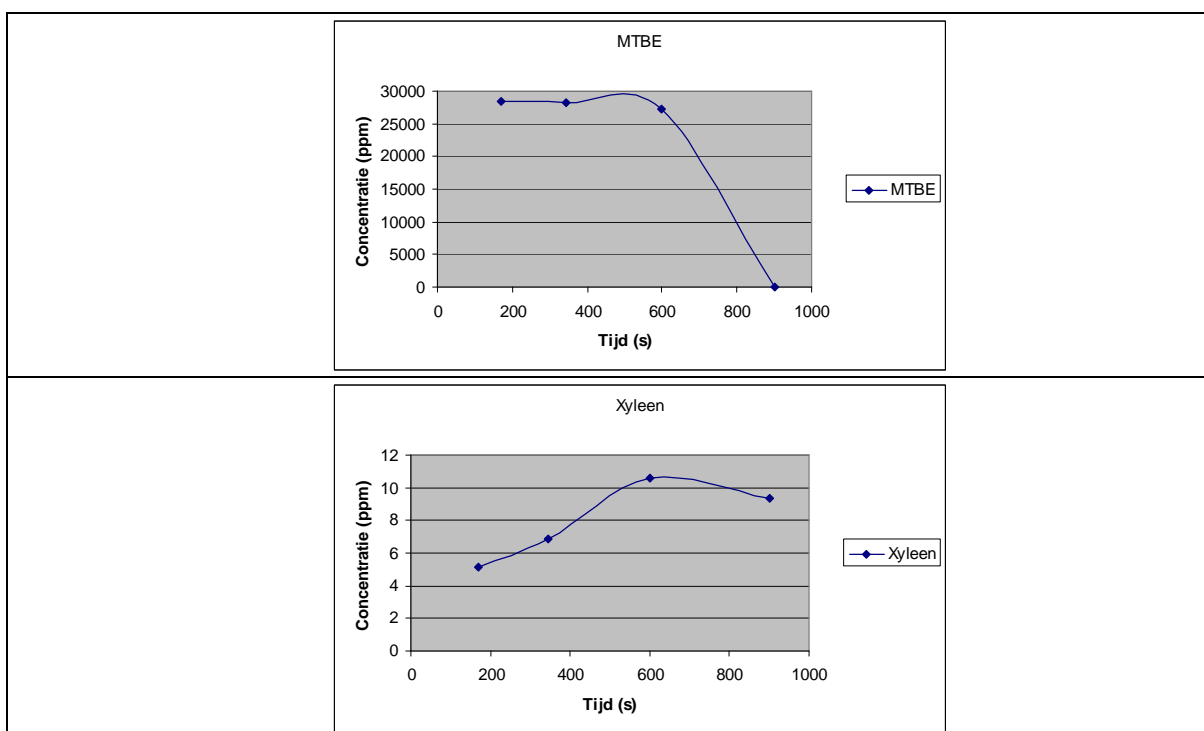
Het geheel werd tijdens de eerste proef niet afgesloten, dus de vluchtige onzuiverheden konden tijdens de proef door verdampen en zo de oplossing in beperkte mate hebben verlaten. Dit werd opgelost bij het uitvoeren van de tweede proef, in de hoop dat de resultaten meer waarheidsgetrouw zouden zijn.

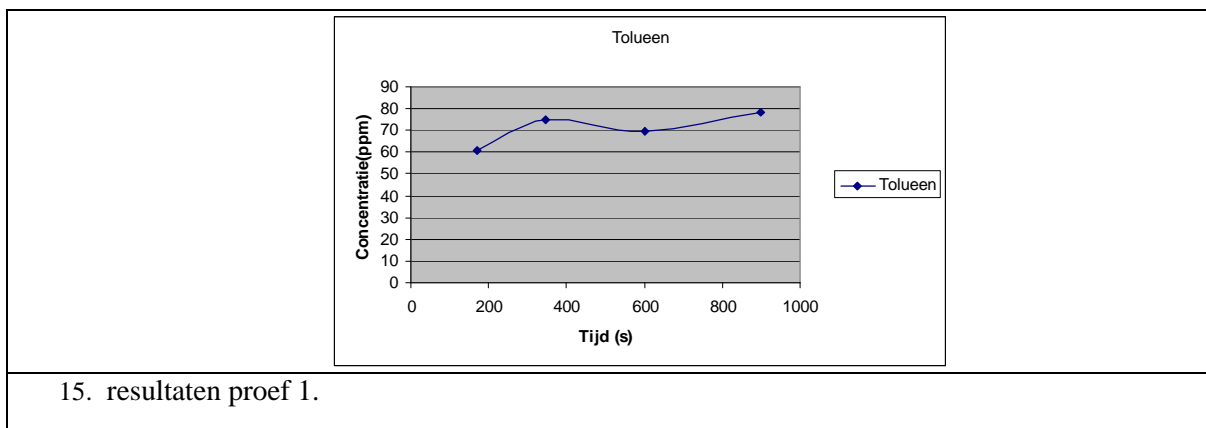
4.2.1. Proef 1

0,5l vervuild water + 15,326g actieve kool

Gemeten tijdstippen:	2min50	5min45	10min00	15min00
----------------------	--------	--------	---------	---------

4.2.1.1 Resultaten





Men kan zien dat actieve kool alleen MTBE verwijdert. Ook kan men zien dat de resultaten niet betrouwbaar zijn, de concentratie van xyleen lijkt te stijgen, terwijl de concentratie van tolueen schommelt. Bij het zuiveren van een vloeistof verwachten we dat de concentratie van de onzuiverheden blijft dalen. Dit is het begin van de problemen met de gaschromatograaf. De reden hiervoor is dat de met actieve kool gezuiverde vloeistof nog kleine deeltjes actieve kool bevat. Nadat het water behandeld is geweest met deze techniek werd dit gefilterd. Blijkbaar heeft dit niet volstaan. De vloeistof die geïnjecteerd werd in de kolom bevatte nog deeltjes actieve kool en heeft mogelijk schade toegebracht aan de kolom. Voortaan zal de gaschromatograaf niet meer goed werken ondanks het feit dat men dit toestel exact bediend heeft zoals uitgelegd.

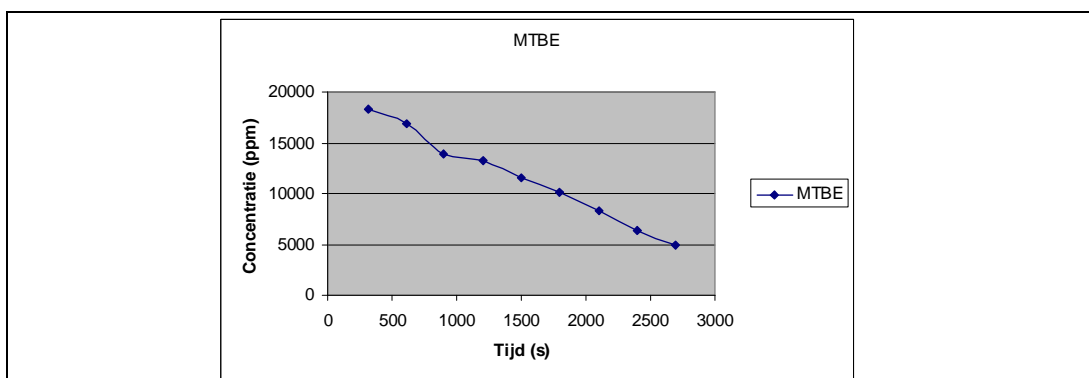
4.2.2. Proef 2

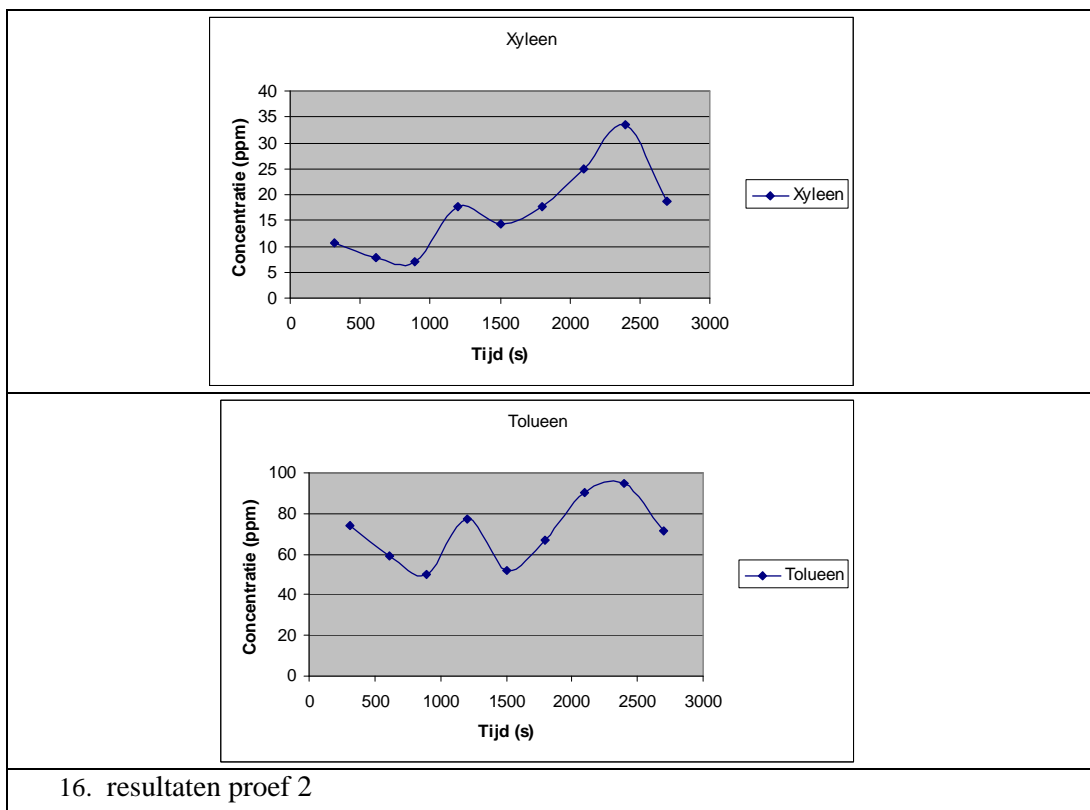
0,5l vervuild water + 8,841g actieve kool

Gemeten tijdstippen:	5min15	10min10	14min55	20min00
	25min03	30min00	35min00	39min58
		35min00	39min58	44min58

De tweede proef werd langer uitgevoerd, omdat uit de eerste proef bleek dat het water nog steeds zeer vervuild was na 15 minuten zuivering.

4.2.2.1. Resultaten





Net zoals bij proef 1 zijn de resultaten niet betrouwbaar, dit was te verwachten aangezien de genomen samples op dezelfde dag werden geanalyseerd door de gaschromatograaf als de samples van de eerste proef. Na 45 minuten nam men nog steeds een sterke, indringende geur waar afkomstig van het vervuild water. Op basis daarvan werd actieve kool als zuiveringsmethode voor het specifiek te zuiveren water verworpen. Het zou te veel tijd en/of te grote hoeveelheden actieve kool vergen om het water op deze manier te zuiveren.

4.2.3. Besluit

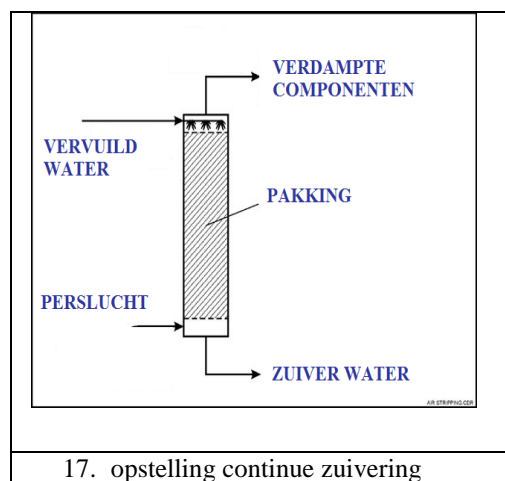
Actieve kool als zuiveringsmethode voor het specifiek te zuiveren water is niet efficiënt genoeg. Waarschijnlijk wordt alleen MTBE verwijderd. De onbetrouwbare resultaten, afkomstig van de gaschromatograaf, zijn te verklaren door het feit dat het onmogelijk is een staal uit de proefopstelling te halen zonder dat er relatief grote partikels actieve kool in het staal zitten. Deze partikels kunnen de naald van de gaschromatograaf verstoppen, waardoor deze niet naar behoren kan functioneren.

4.3. AIRSTRIPPING

De laatste methode die werd onderzocht is airstripping. In dit onderdeel wordt er dieper op deze techniek ingegaan. De toren en de opstelling werden gedimensioneerd op basis van de resultaten van de proeven met deze techniek, dit wordt in het volgende hoofdstuk uitvoerig besproken.

4.3.1. Theoretische bespreking

Airstripping is een techniek waarbij vluchtige componenten die opgelost zitten in een bepaalde vloeistof, in dit geval water, verdampen. Dit wordt bevorderd door de hoge dampdruk en de lage oplosbaarheid van de vluchtige stof. Een belangrijke stap is het creëren van een zo groot mogelijk contactoppervlak tussen de lucht en het water zodanig dat de vluchtige componenten en de opgeloste gassen worden verplaatst van het water naar de lucht. In de praktijk wordt hier meestal een gepakte toren voor gebruikt. De pakking dient voor het verhogen van het contactoppervlak.

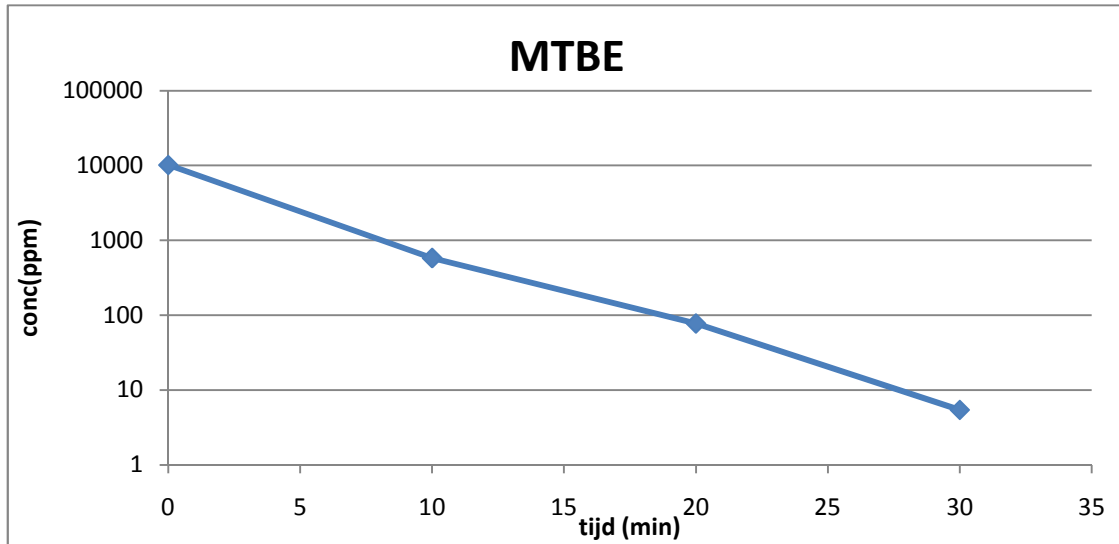


17. opstelling continue zuivering

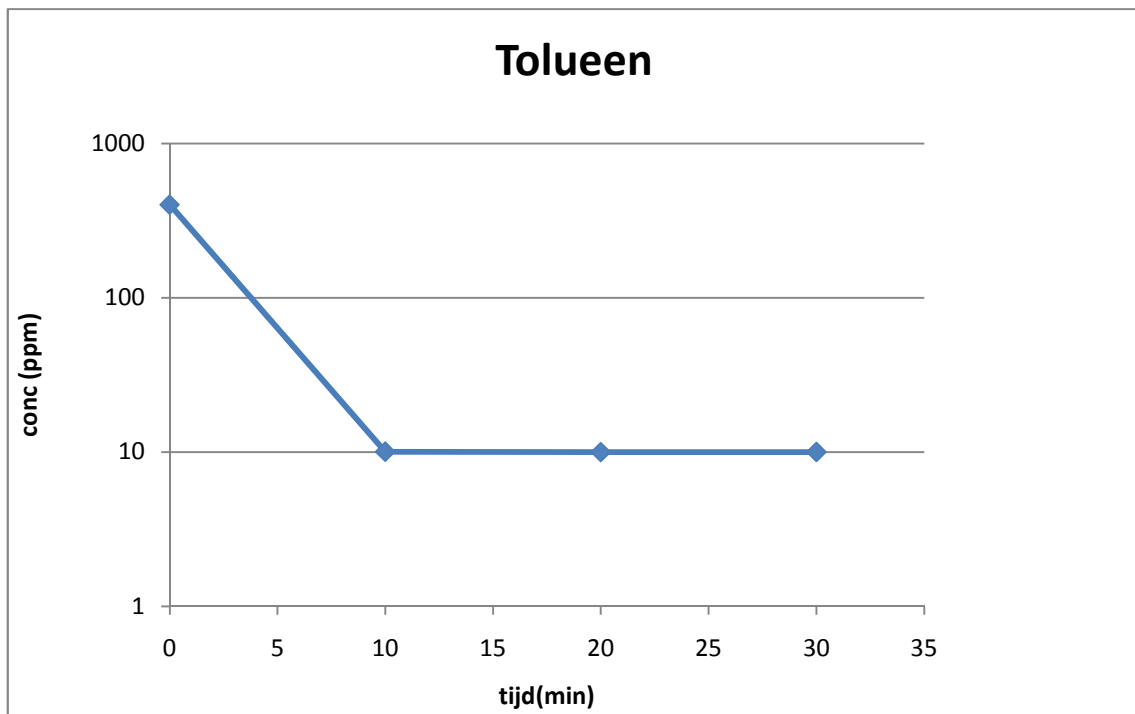
4.3.2. Testen van de methode

Om de efficiëntie van deze methode na te gaan alvorens een grote opstelling te bouwen, zijn er eerst testen gedaan met een kleiner schaalmodel. Deze opstelling bestond enkel uit een maatbeker die gevuld was met het vervuilde afvalwater met daarin een buisje tot op de bodem waardoor lucht stroomde met een gekend debiet.

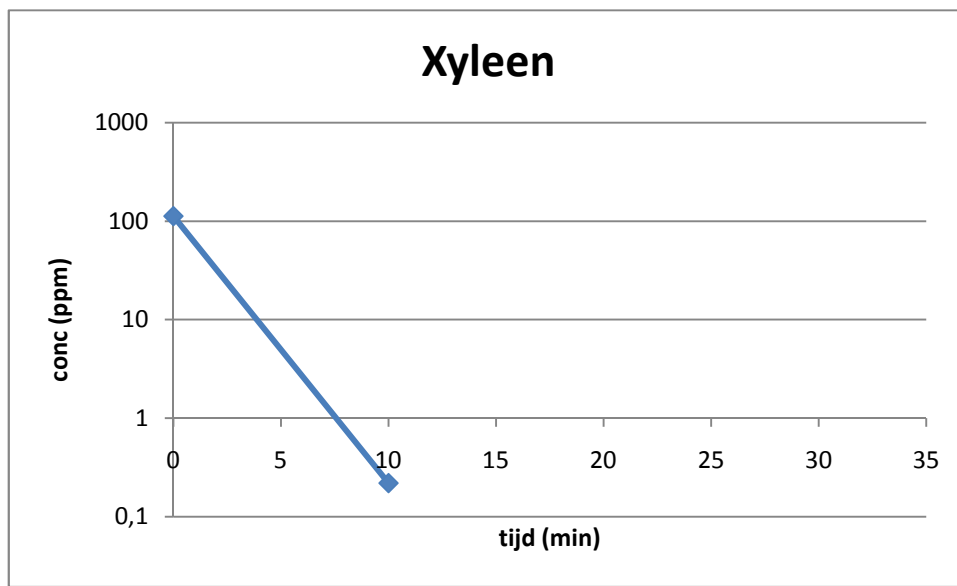
Bij deze proef werden elke vijf of tien minuten stalen genomen om m.b.v. gaschromatografie te zien hoe de zuiverheid varieerde. Dit leverde de volgende resultaten op:



18. afname MTBE



19. afname tolueen



20. afname xyleen

4.3.3. Besluit airstripping

Deze techniek is in staat alle stoffen te verwijderen.

4.4. BESLUIT 3 ZUIVERINGSTECHNIEKEN

Het is de bedoeling te beslissen welke zuiveringsmethode men gaat gebruiken. Aangezien airstripping de enige techniek is die alle soorten vervuiling eruit haalt zonder deze om te zetten in andere stoffen, is deze techniek veruit de beste. Het probleem met actieve kool is dat het, buiten de gaschromatograaf stuk te maken, niet in staat is om toluen en para-xyleen eruit te halen. De chemische zuiveringstechniek zet alleen stoffen om in andere stoffen. Die andere stoffen maken ook dat het water niet drinkbaar is en bovendien liggen de fysische en chemische eigenschappen van deze bijproducten verder uiteen dan de oorspronkelijke stoffen. Men heeft met andere woorden het probleem erger gemaakt. Airstripping daarentegen is in staat alle stoffen eruit te halen. Men staat wel voor een uitdaging. De concentratie van de vervuiling is nog veel te hoog. Het volgende hoofdstuk zoekt hiervoor een oplossing om dan een techniek uit te werken waarmee men aan de opdracht die eerder gespecificeerd is, voldoet.

5. SIMULATIES MET ASPEN PLUS 12.1

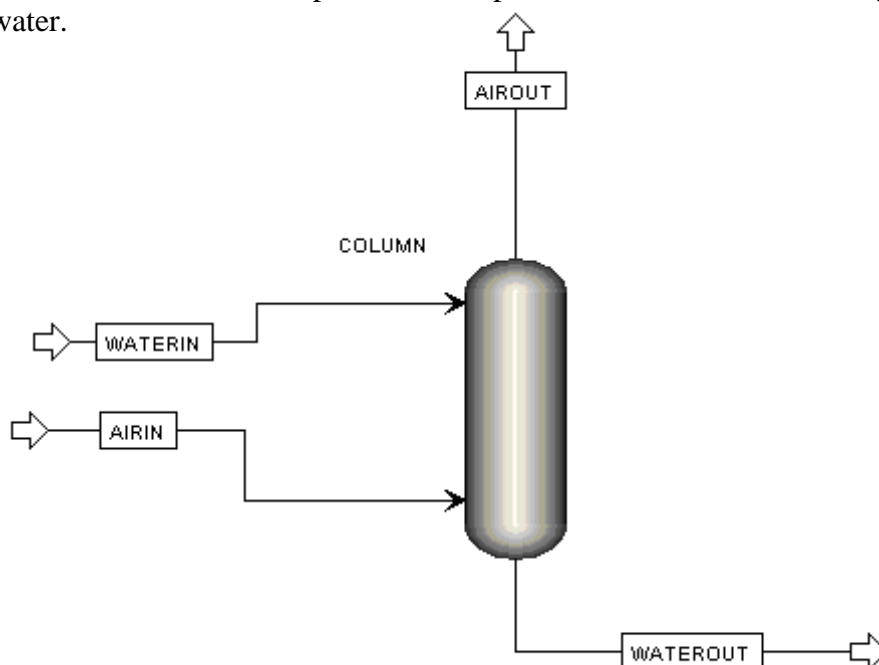
5.1. DIMENSIONERING TESTOPSTELLING

Om een testopstelling te ontwerpen die 20 l/h kan zuiveren, is er een simulatie in Aspen gemaakt om het benodigde debiet en het aantal theoretische platen, nodig om de gewenste zuiverheid van het water te bereiken, te vinden.

Door dit debiet en aantal platen te laten variëren, en te kijken naar de concentraties van de polluenten in het gezuiverde water, is het mogelijk deze parameters te bepalen.

5.2. OPSTELLING

Het model gaat uit van een constante input van 20 l/h gecontamineerd water ('WATERIN'), en van een variabel debiet aan lucht ('AIRIN') in een kolom met een zeker aantal theoretische platen. De output 'WATEROUT' bevat het gezuiverde water.



21. simulatie in Aspen

5.3. INSTELLINGEN

AIRIN (inkomende lucht)

Dit werd gesimuleerd door een gasmengsel van 21% zuurstofgas en 79% stikstofgas.

WATERIN

Bij het vervuilde water zijn richtwaarden, gebaseerd op de oplosbaarheid van de polluenten, gebruikt.

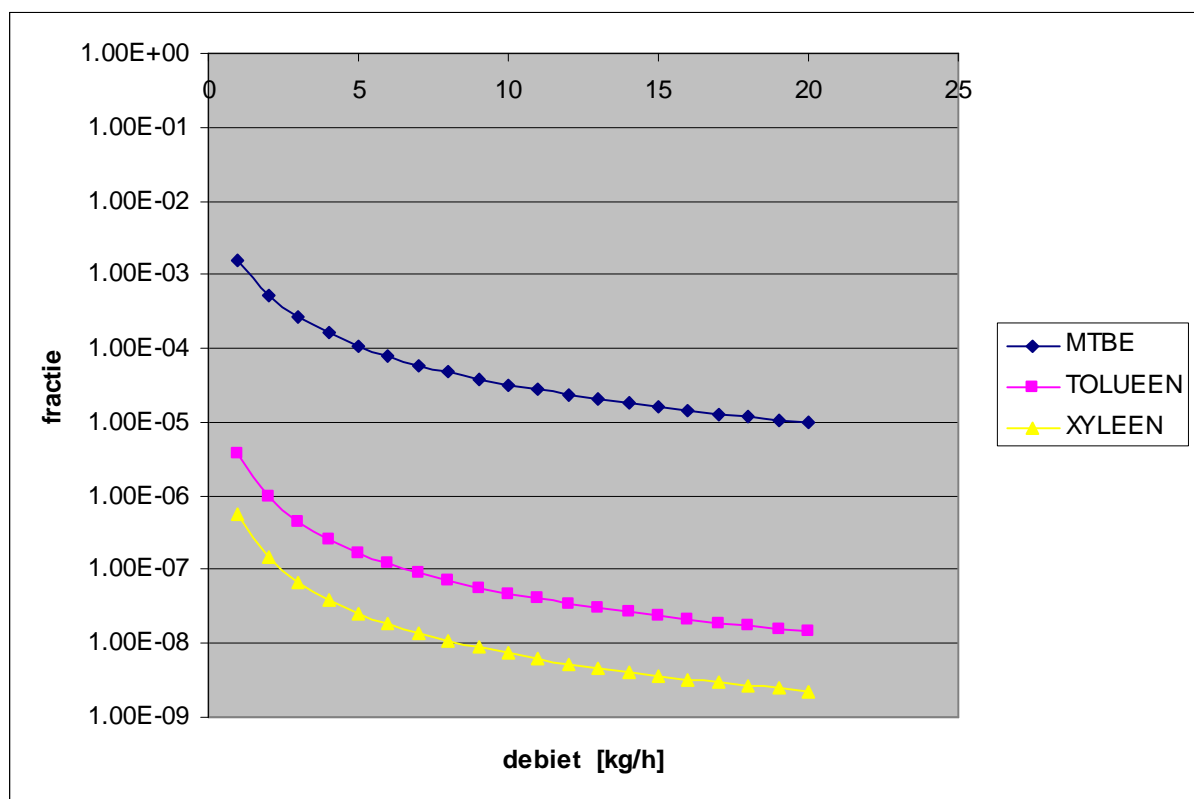
Dit komt neer op volgende waarden (massafractie)

- water: 0.989314
- toluen: 0.00053
- MTBE: 0.01
- p-Xylene: 0.000156

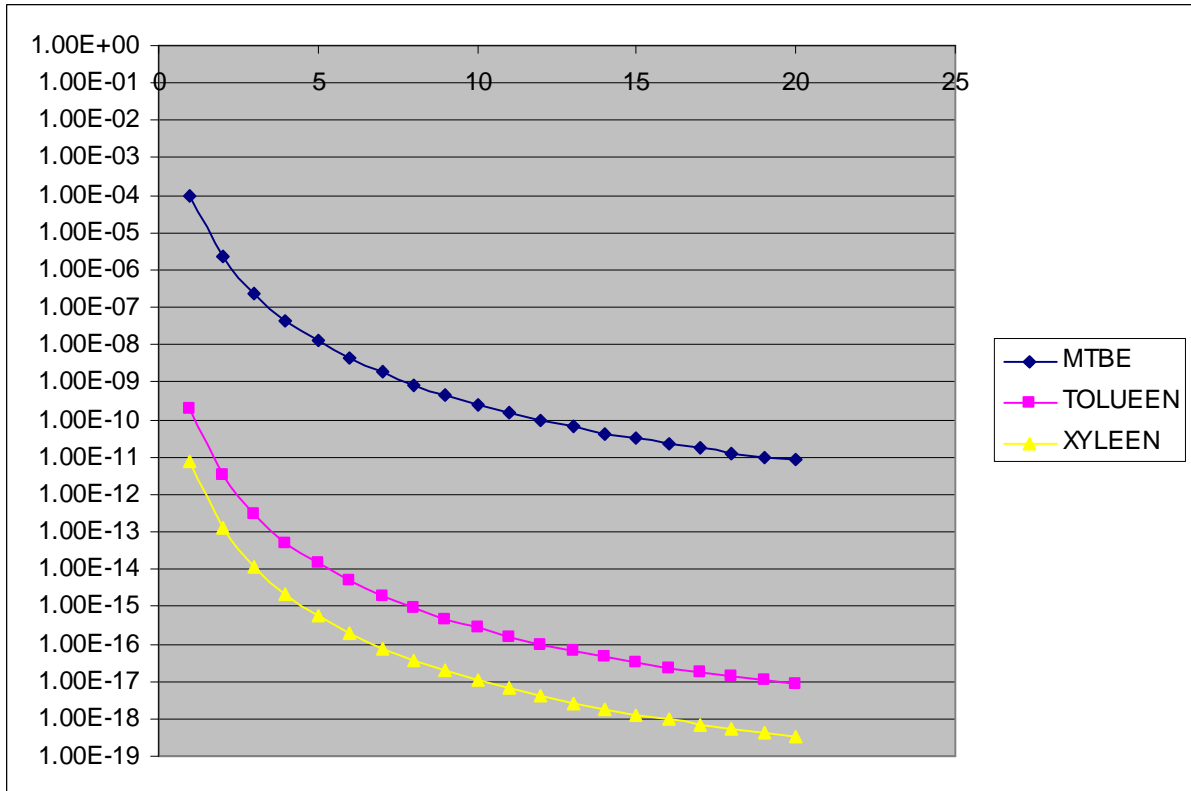
5.4. RESULTATEN

De contaminatie van het water na het zuiveringsproces wordt vergeleken bij een luchtdebiet van 1 tot en met 20 kg/h, met stapgrootte van 1kg/h, en dit telkens voor 2 tot en met 9 theoretische platen.

Men ziet dat hoe meer theoretische platen, des te lager de concentraties van de pollutanten zijn.



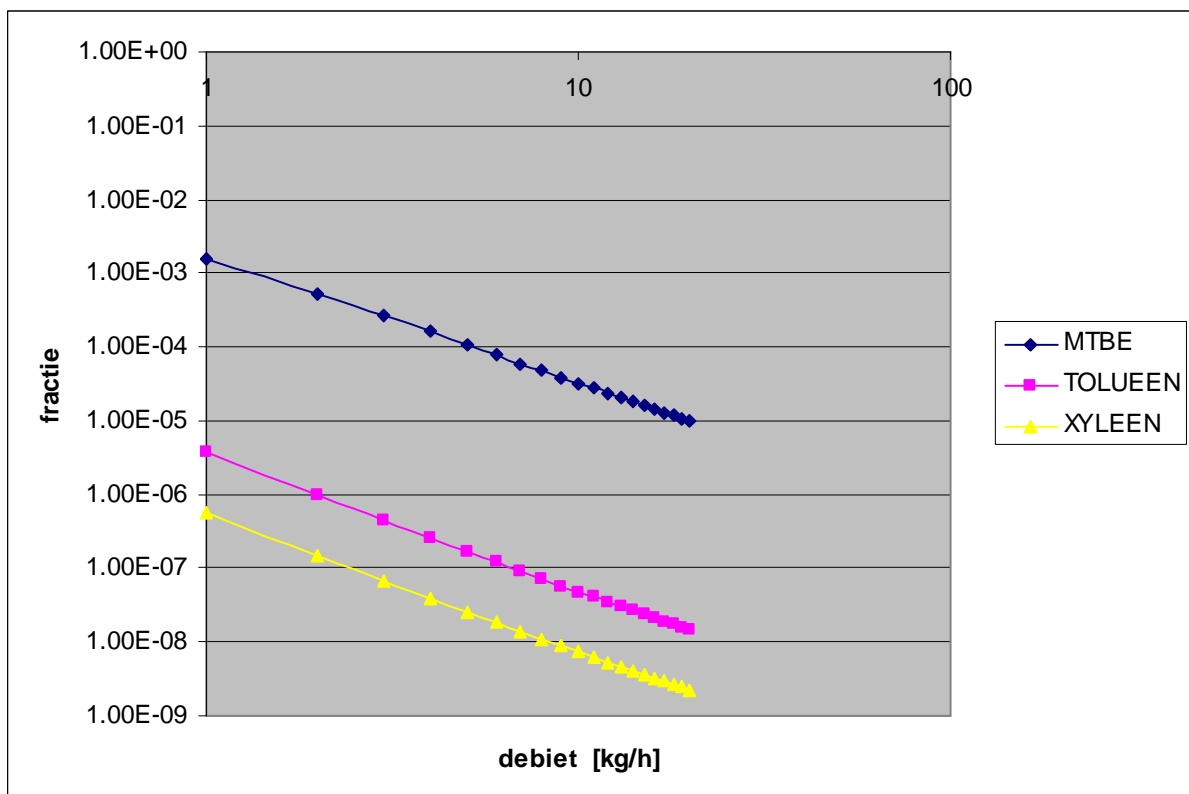
22. zuivering bij 2 theoretische platen



23. zuivering bij 6 theoretische platen

5.5. VERALGEMENING RESULTATEN

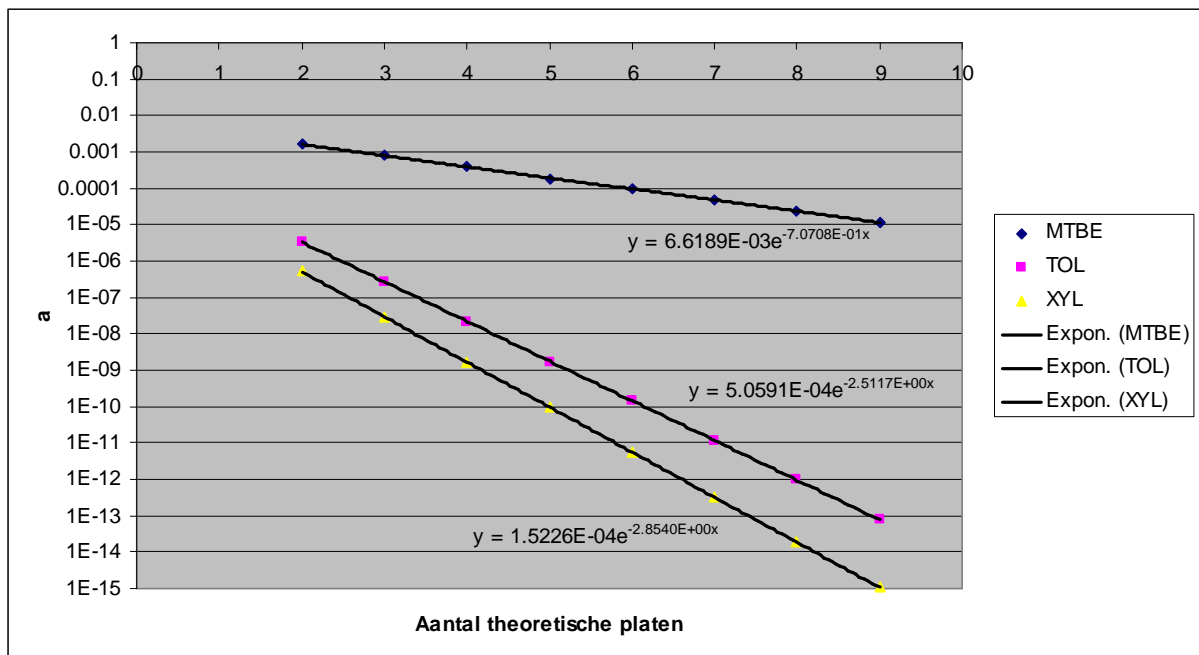
Wanneer beide assen van de grafieken, bekomen uit Aspen, in logaritmische schaal gezet worden, bekomt men een lineair verband.



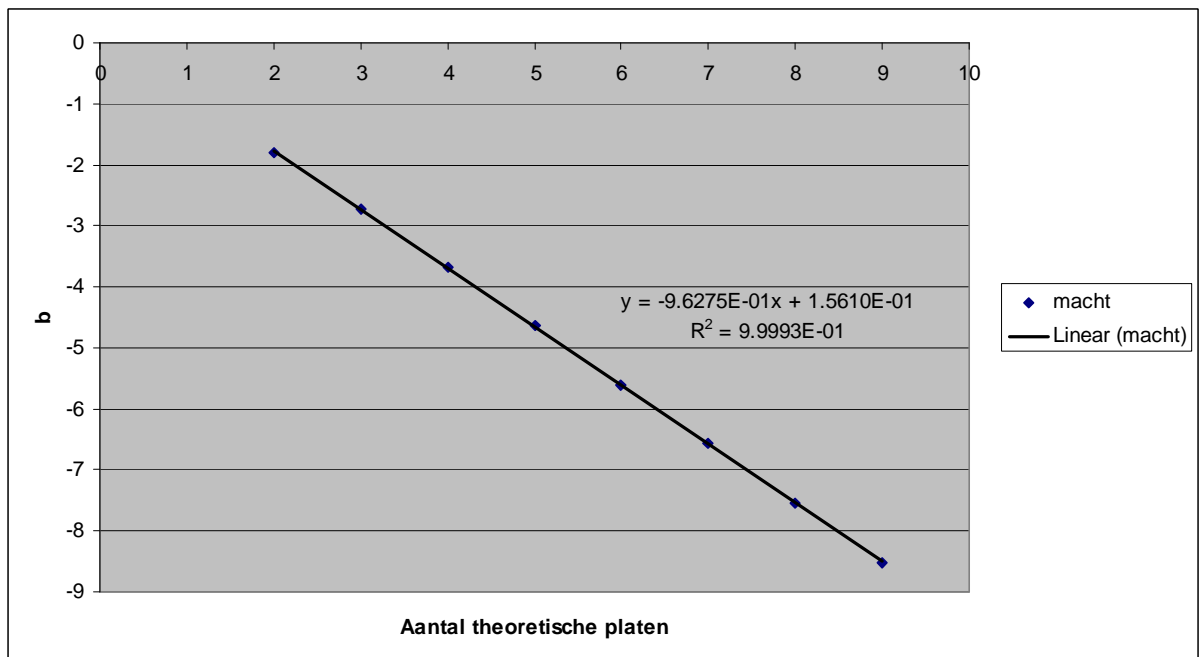
24. Logaritmische schaal bij 2 theoretische platen

De regressiecurves van deze grafieken worden beschreven door de functie: ax^b
 In logaritmische schaal worden deze rechten met richtingscoëfficiënt b en intercept $\log a$.

Wanneer deze twee coëfficiënten uitgezet worden voor een verschillend aantal theoretische platen, bekomt men volgende verbanden.



25. Coëfficiënt a in functie van het aantal theoretische platen



26. Coëfficiënt b in functie van het aantal theoretische platen

De resultaten zijn hieronder samengevat in een handig tabelletje.

Platen	a			b				
	MTBE	TOL	XYL	MTBE	TOL	XYL	GEM	VAR
2	0.001691	0.000003418	5.195E-07	-1.717	-1.846	-1.84	-1.801	0.005301
3	0.0007929	2.711E-07	2.922E-08	-2.64	-2.785	-2.774	-2.733	0.006517
4	0.0003819	2.167E-08	1.657E-09	-3.583	-3.736	-3.72	-3.679666667	0.007072333
5	0.000187	1.746E-09	9.472E-11	-4.539	-4.696	-4.675	-4.636666667	0.007264333
6	0.00009248	1.415E-10	5.451E-12	-5.503	-5.663	-5.639	-5.601666667	0.007445333
7	0.00004639	1.161E-11	3.178E-13	-6.476	-6.637	-6.611	-6.574666667	0.007470333
8	0.00002336	9.553E-13	1.859E-14	-7.453	-7.616	-7.588	-7.552333333	0.007596333
9	0.00001182	7.888E-14	1.091E-15	-8.434	-8.598	-8.567	-8.533	0.007591

Door gebruikt te maken van deze data, kan men de concentratie aan pollutanten in het gezuiverde water bepalen, zonder hiervoor Aspen te hoeven raadplegen.

Men kan met deze informatie een formule opstellen die het benodigde debiet aan lucht, in functie van de gewenste zuiverheid en het aantal theoretische platen, levert.

$$\text{debiet} = \frac{((-0,96275 * \#) + 0,1561)}{\sqrt{0,0066189 * e^{-0,70708 * \#}}} \text{ zuiverheid}$$

Waarbij: # = aantal theoretische platen
 Zuiverheid: uitgedrukt in molfractie
 Debiet: uitgedrukt in kg/h

5.6. BESLUIT

Er zijn twee parameters waarop men kan inspelen, namelijk het debiet en het aantal theoretische platen.

Des te lager men het aantal theoretische platen neemt, des te hoger het benodigde debiet is. Er dient dus een afweging gemaakt tussen de hoogte van de kolom en het luchtdebiet.

Er is gekozen voor 6 theoretische platen aangezien dit de hoogte, minder dan 2 meter, en het benodigde debiet, ongeveer 5 m³/h, binnen de op laboschaal uitvoerbare grenzen houdt.

6. BATCH

6.1. EERSTE TESTOPSTELLING

Voor het bouwen van de opstelling waren er drie soorten glazen buizen beschikbaar: buizen met 8cm, 10cm en 20cm doorsnede.

Op de plaats waar de testopstelling diende gebouwd te worden, kon er maximaal twee meter hoogte gebruikt worden. Door dit gebrek aan ruimte werd voor de eerste testopstelling een buis van 20cm doorsnede gekozen.

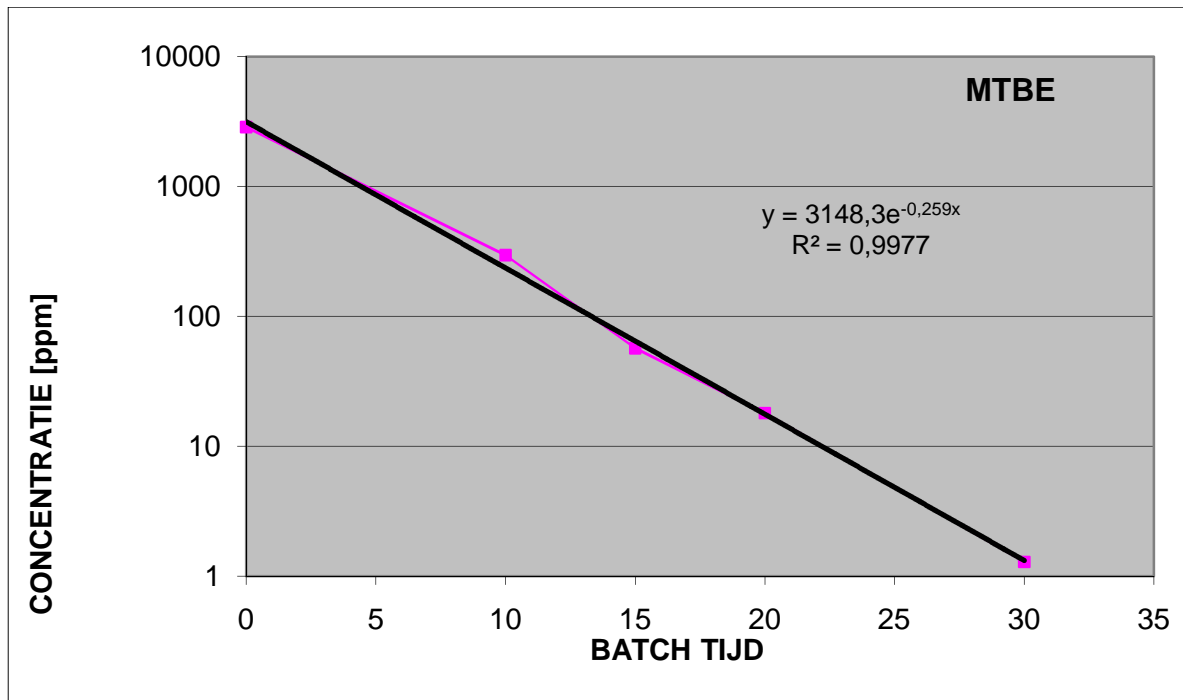


27. eerste opstelling batch

De eerste test gebeurde zonder pakking en gaf de volgende resultaten:

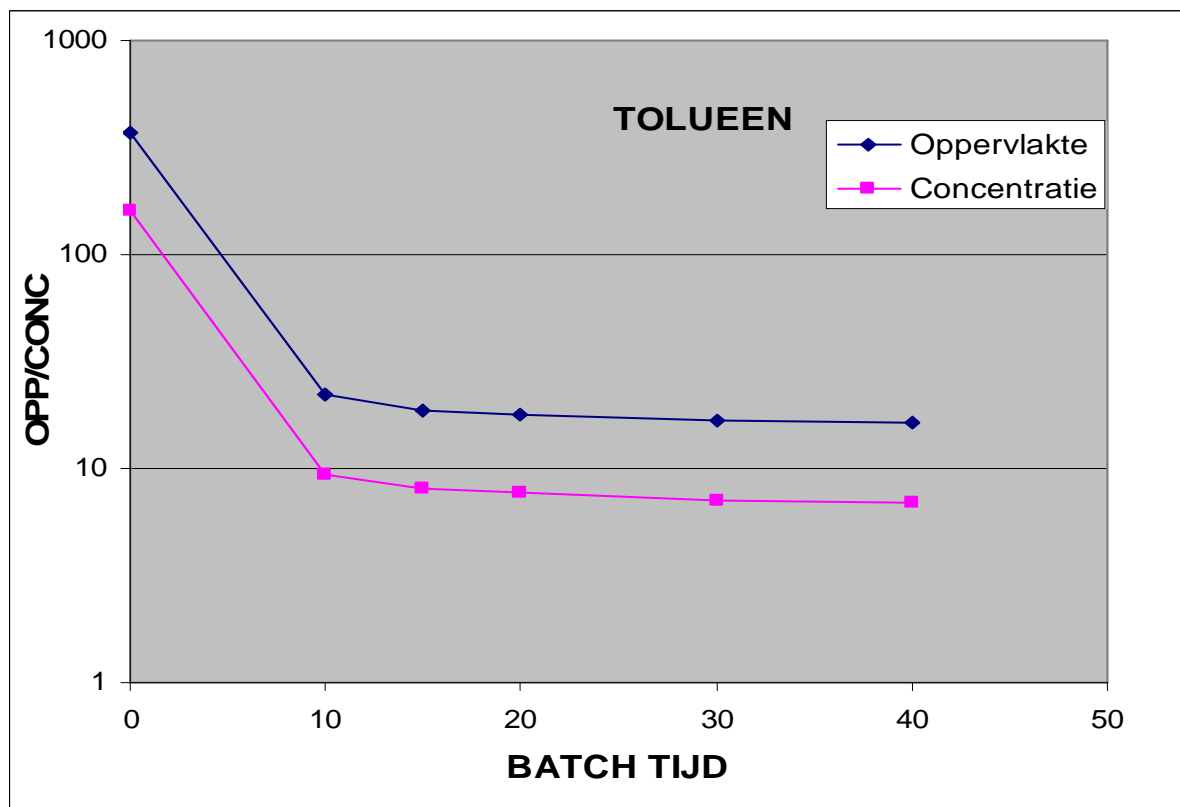
GEMIDDELD		
Tijd (min)	Oppervlakte	
	MTBE	Tolueen
0	7207.7	373.468
10	743.733333	22.1
15	142.796667	18.8
20	45.2	18.032
30	3.23333333	16.8333333
40	0	16.4333333

GEMIDDELD		
Tijd (min)	Concentratie (ppm)	
	MTBE	Tolueen
0	2514.073	161.72
10	295.7827	9.3837
15	56.79023	7.9825
20	17.97604	7.6564
30	1.285897	7.1474
40	0	6.9776



28. afname MTBE

Richtingscoëfficiënt = -0,25



29. afname toluen

De waarde van MTBE in het water daalt, omdat het een zeer vluchtige stof is. Dit effect gaat meer doorwegen dan de goede oplosbaarheid ervan.

De waarde van toluen daalt snel in het begin omdat het niet goed oplost in water.

Naarmate dat de concentratie kleiner wordt, begint het feit dat toluene niet vluchtig is ervoor zorgen dat er na een tijd een bepaalde concentratie toluene achterblijft. Ook het feit dat de verdampingstemperatuur van toluene dicht bij die van water ligt, zorgt ervoor dat een zekere hoeveelheid toluene gaat achterblijven in het water.

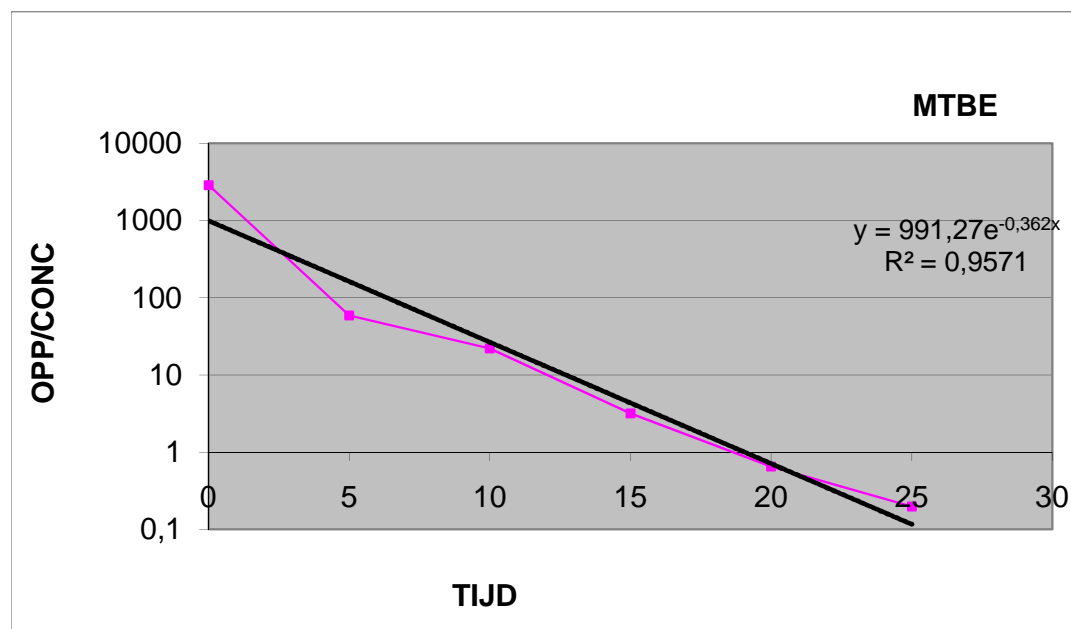
Het nadeel aan deze opstelling was dat met het maximale debiet dat beschikbaar was in het labo het water maar een meter omhoog kwam, dit terwijl er 180cm buis aanwezig was. De opstelling werd dus niet optimaal gebruikt.

Om dit te verhelpen, en om de lengte van de theoretische platen te verkleinen werd de buis met pakking gevuld.

Door de pakking werd het water iets hoger opgestuwd tot 120cm, een lichte verbetering.

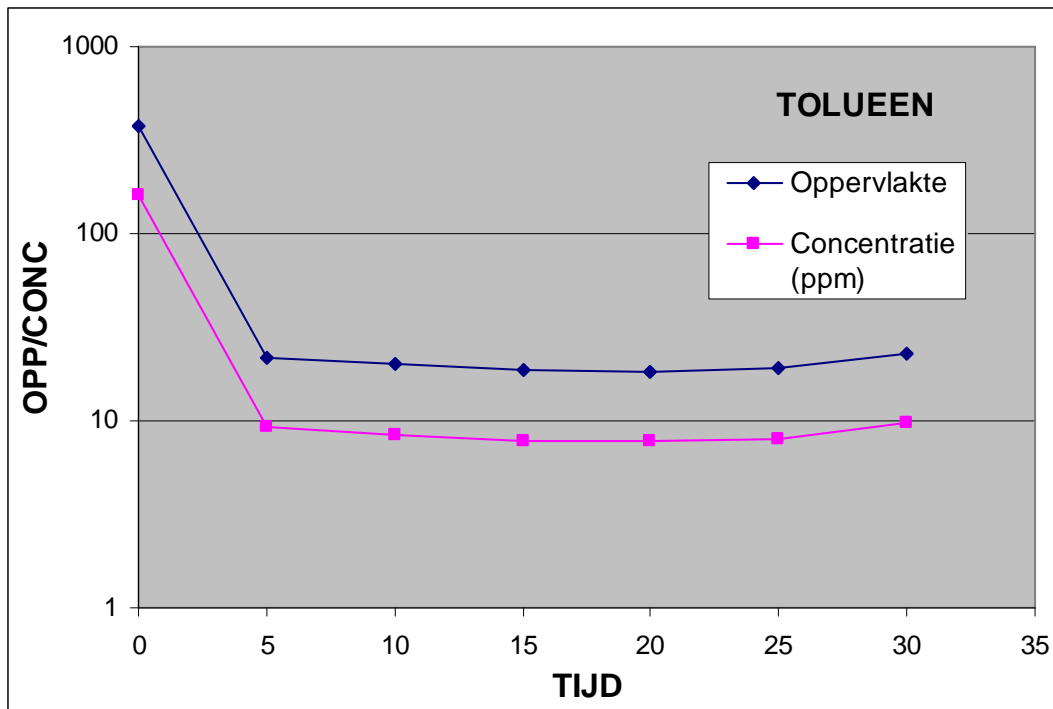
GEMIDDELD		
Tijd (min)	Oppervlakte	
	MTBE	Toluene
0	7207.7	373.468
5	148.2333	21.73333
10	55.56667	19.93333
15	8	18.46667
20	1.633333	18.36667
25	0.496667	19.03333
30	0	22.96667

GEMIDDELD		
Tijd (min)	Concentratie (ppm)	
	MTBE	Toluene
0	2514.073	161.7202
5	58.9524	9.227973
10	22.09886	8.463693
15	3.1816	7.840947
20	0.649577	7.798487
25	0.197524	8.081553
30	0	9.751647



30. afname MTBE

Richtingscoëfficiënt = -0,36



31. afname toluen

Zoals de metingen tonen is er een duidelijke verbetering van de techniek. De concentratie van MTBE is na een half uur bijna met een factor 10 verlaagd ten opzichte van de opstelling zonder pakking.

Net als bij de vorige metingen is het toluen er al bijna uit na zeer korte tijd.

6.2. TWEEDE TESTOPSTELLING

Omdat 6 theoretische platen als het beste geval beschouwd werd in de studie met ASPEN, zou het water tot 180cm opgestuwd moeten worden met 5m³/uur.

Als er een buis met een doorsnede van 10cm genomen wordt, komt de 10 liter water tot een hoogte van 127cm. Om te voorspellen hoe hoog het water komt bij een debiet van 5m³/uur met pakking bestaat er geen model.

Er moesten dus metingen gedaan worden om te bepalen hoeveel het water uitzet.

In een opstelling van kleinere schaal werd de uitzetting van het water gemeten.

Water alleen [cm]	Water + lucht [cm]	% uitzetting
14	21	1.5
16	23	1.4375
19	27.5	1.447368421
20	29	1.45
25	34.5	1.38
27	36.5	1.351851852

gemiddelde %	1.427786712
--------------	-------------

Als die uitzetting van 142% in rekening gebracht wordt, komt men erop uit dat de waterkolom uitzet tot een hoogte van 180.34cm, wat exact overeenkomt met 6 theoretische platen.



32. tweede opstelling batch

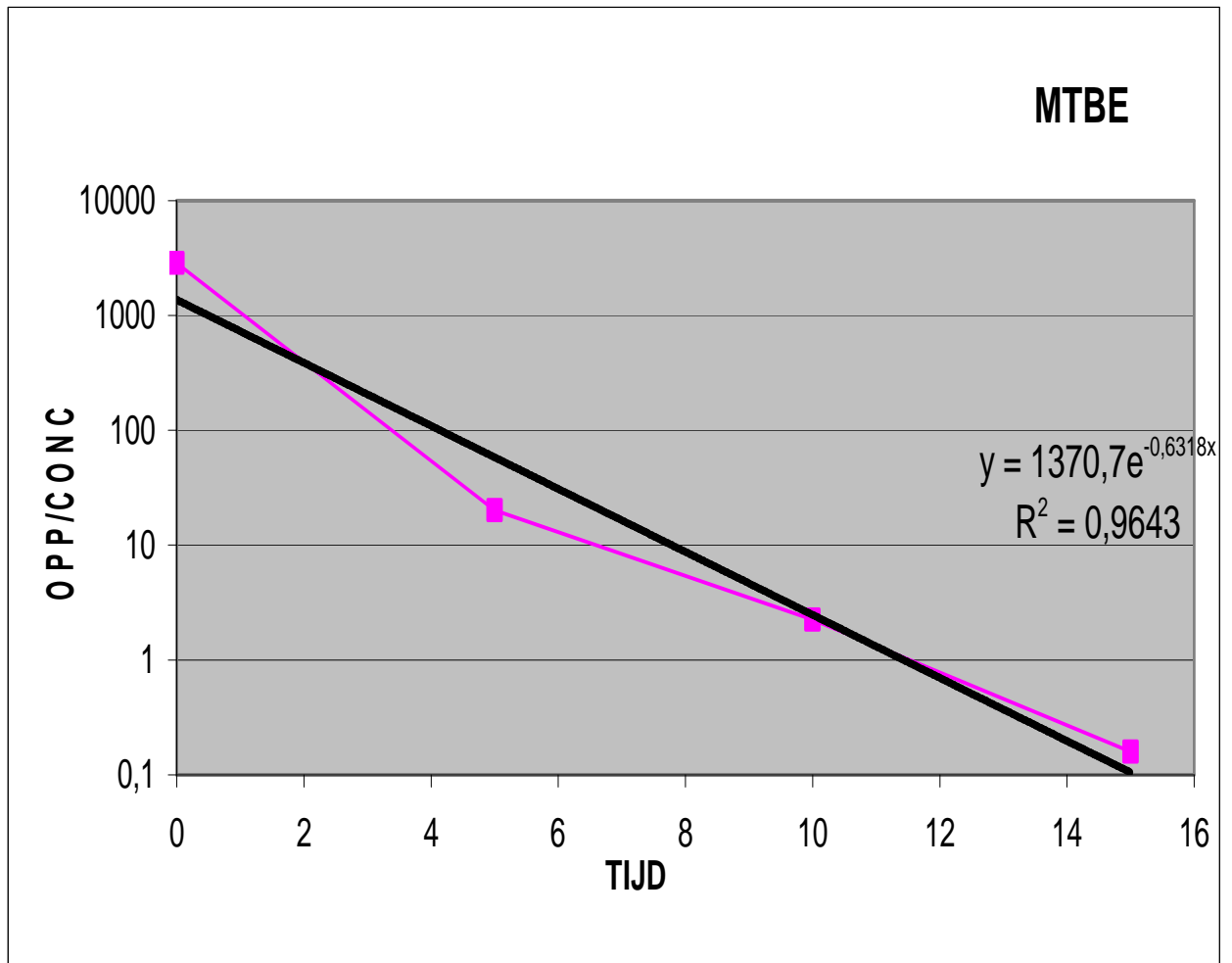
De opstelling werd gebouwd en getest, maar het debiet moest lager gehouden worden dan het vereiste $5\text{m}^3/\text{uur}$. Hierdoor was het water niet zuiver genoeg na afloop van de test.

Omdat de gaschromatograaf niet naar behoren werkte zijn er geen resultaten voor deze opstelling, maar de geur van MTBE was nog duidelijk aanwezig na 30 minuten in het water, waardoor beslist werd dat het niet voldoende zuiver was.

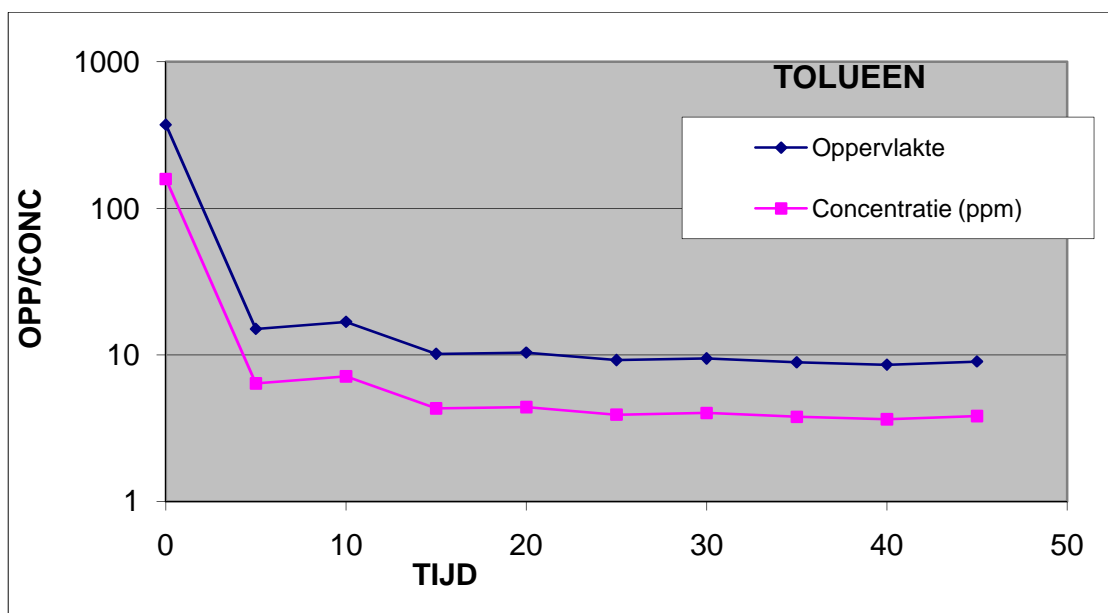
Om te kijken of de opstelling met de buis van 10cm wel degelijk beter is, is er dan een test uitgevoerd met iets minder water zodat het debiet hoger kon gelegd worden ($\sim 15\text{m}^3/\text{uur}$). Deze proef leverde de volgende resultaten:

GEMIDDELD		
Tijd (min)	Oppervlakte	
	MTBE	Tolueen
0	7207,7	373,468
5	50,8	15,03333
10	5,666667	16,8
15	0,4	10,16667
20	0,46	10,36667
25	0,51	9,2
30	0	9,45
35		8,9
40		8,566667
45		9

GEMIDDELD		
Tijd (min)	Concentratie (ppm)	
	MTBE	Tolueen
0	2864,34	158,6119
5	20,18792	6,384657
10	2,251933	7,13496
15	0,15896	4,317783
20	0,182804	4,402723
25	0,202674	3,90724
30	0	4,013415
35		3,77983
40		3,638263
45		3,8223



33. afname MTBE
Richtingscoëfficiënt: -0,63

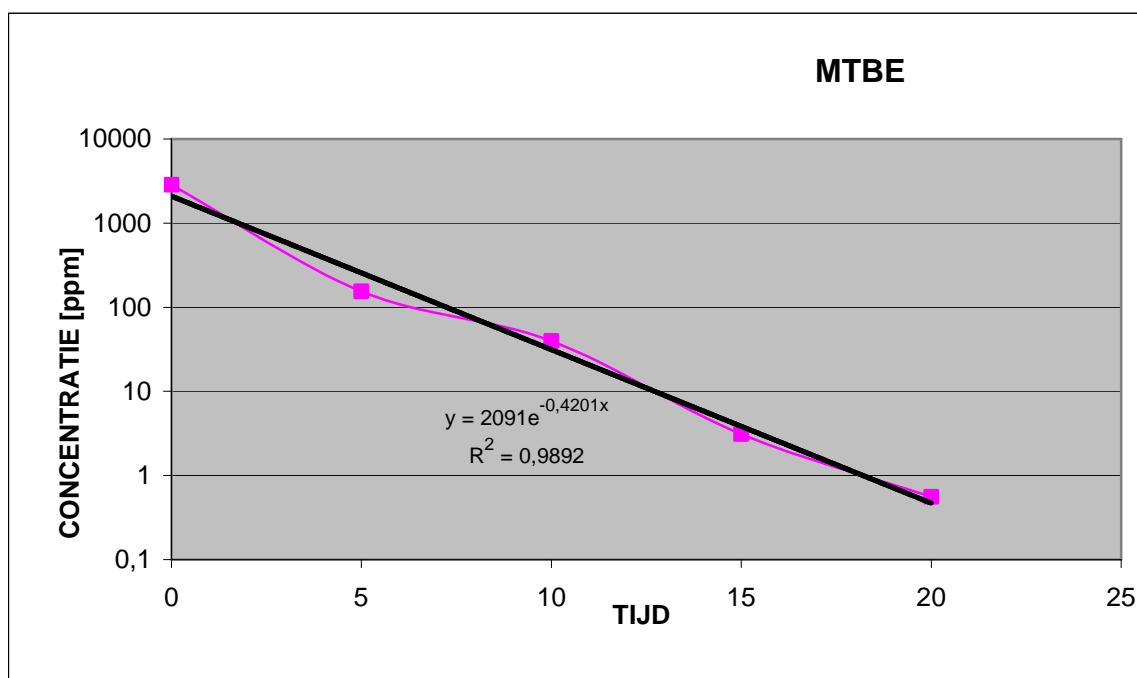


34. afname toluen

Het is duidelijk zichtbaar dat na 15 minuten nog evenveel MTBE aanwezig was in het water als na 25 minuten bij de buis met 20 cm doorsnede. Er werd een tweede proef uitgevoerd met een lager debiet (ongeveer 9m³/uur) om te vergelijken en omdat de waarden van de gaschromatograaf niet betrouwbaar waren.

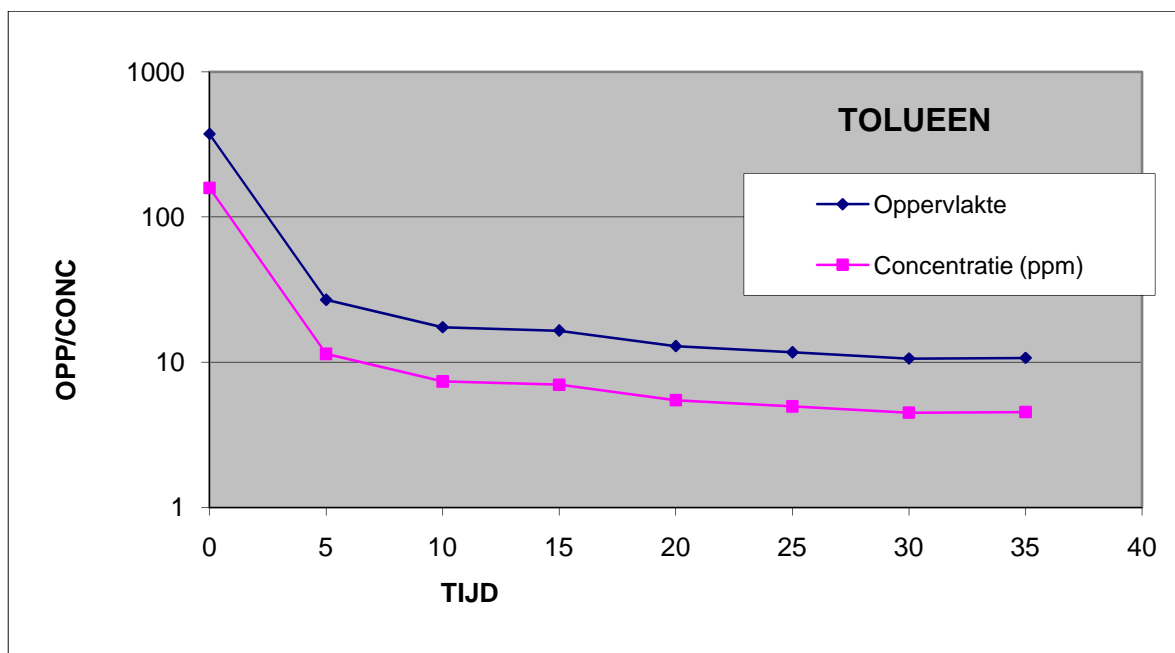
GEMIDDELD		
Tijd (min)	Oppervlakte	
	MTBE	Tolueen
0	7207,7	373,468
5	389,3	26,9
10	99,5	17,4
15	7,8	16,5
20	1,4	12,9
25	0	11,7
30	0	10,6
35	0	10,7

GEMIDDELD		
Tijd (min)	Concentratie (ppm)	
	MTBE	Tolueen
0	2864,34	158,6119
5	154,7078	11,42443
10	39,5413	7,38978
15	3,09972	7,00755
20	0,55636	5,47863
25	0	4,96899
30	0	4,50182
35	0	4,54429



35. afname MTBE

Richtingscoëfficiënt: -0,42



36. afname toluen

6.3. BESLUIT

Als nu de richtingscoëfficiënten van de verschillende testen vergeleken worden is duidelijk te zien dat de opstelling van 10cm doorsnede het best is.

Test	Richtingscoëfficiënt
20 cm doorsnede, geen pakking	-0,25
20 cm doorsnede, pakking	-0,36
10 cm doorsnede, pakking ~15m ³ /h	-0,63
10 cm doorsnede, pakking ~9 m ³ /h	-0,42

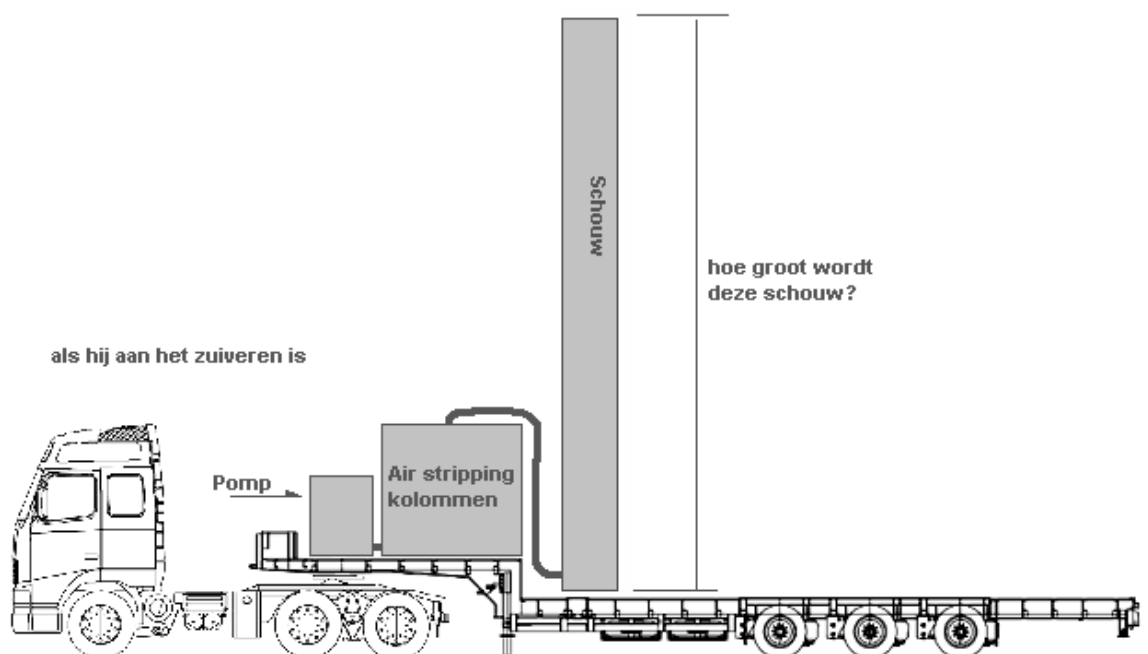
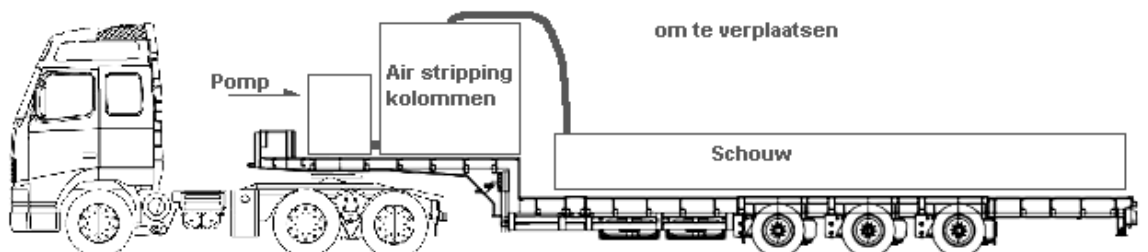
Omdat de waarden vanaf 20 minuten niet meer meetbaar zijn met de gaschromatograaf, kunnen ze geschat worden door de rechte door te trekken. De verschillende methodes leveren dan na een half uur de volgende concentraties.

Test	Concentratie na 30 minuten [ppm]
20 cm doorsnede, geen pakking	1
20 cm doorsnede, pakking	0,02
10 cm doorsnede, pakking ~15m ³ /h	0,000008
10 cm doorsnede, pakking ~9m ³ /h	0,007

Buiten de proef zonder pakking wordt de norm voor drinkbaar water voor alle proeven na een half uur gehaald. Omdat het debiet bij de 10cm kolom veel lager is dan bij de 20cm kolom wordt hiervoor gekozen om op industriële schaal mee verder te werken.

6.4. INDUSTRIËLE SCHAAL

Er wordt nu een mobiele installatie ontworpen die op de plaats van de contaminatie kan gebracht worden en daar de pollutanten uit het water kan halen. De air stripping installatie wordt op een diepligger geplaatst.



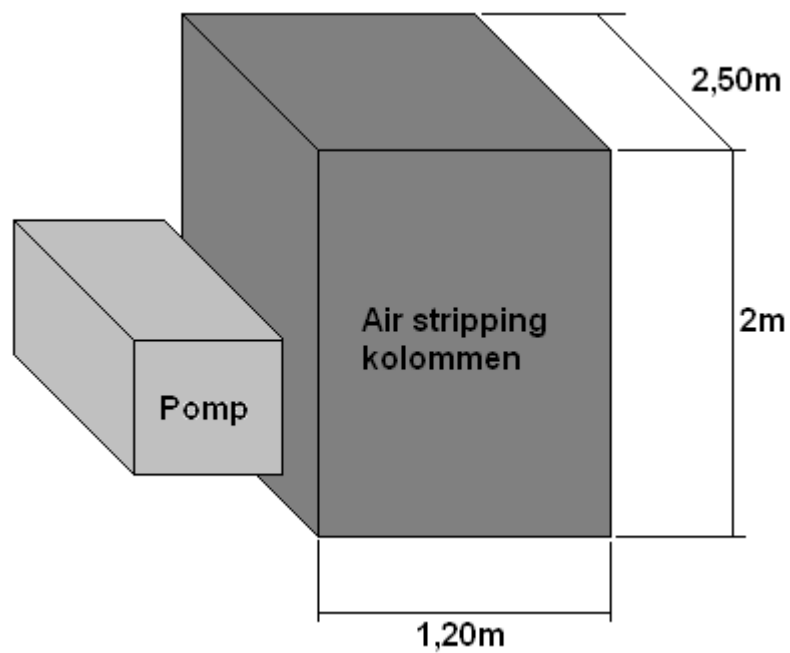
37. zuiveringsinstallatie op industriële schaal

Als de schouw 20 meter hoog genomen wordt, kan er 5400 liter water per uur gezuiverd worden zonder de luchtnormen te overschrijden. Als er 6 theoretische platen genomen worden is er een debiet van 5 m³/uur nodig en moeten de buizen dus een diameter van 10 cm hebben om 20 liter per uur te zuiveren. Er zijn dus 270 buizen nodig om de 5400 liter te zuiveren. Hiervoor is dus 2,72m² nodig om deze te kunnen plaatsen. Het totale debiet bedraagt dan 1350 m³/uur.

Hoogte schouw [m]	maximaal zuiverbaar [l/uur]	Aantal buizen	Nodig debiet [m ³ /uur]	Nodige oppervlakte [m ²]
20,3	5400	270	1377,831078	2,729920811

Om veilig te zijn worden er iets te veel kolommen genomen zodat er minder water in de kolommen staat en met een iets hoger debiet gewerkt kan worden zodat de

zuivering beter is dan de normen. De uiteindelijke installatie op de vrachtwagen zal er dus als volgt uitzien



38. omvang van de installatie

De pomp die gebruikt is, is een blower die tot 2000 m³/uur moet gaan. Als de ZL1600 van Atlas Copco gebruikt wordt zou de kostprijs per gezuiverde liter 0,2 eurocent zijn.

7. PETROCHEMISCH VERVUILD WATER IN DE WERELD

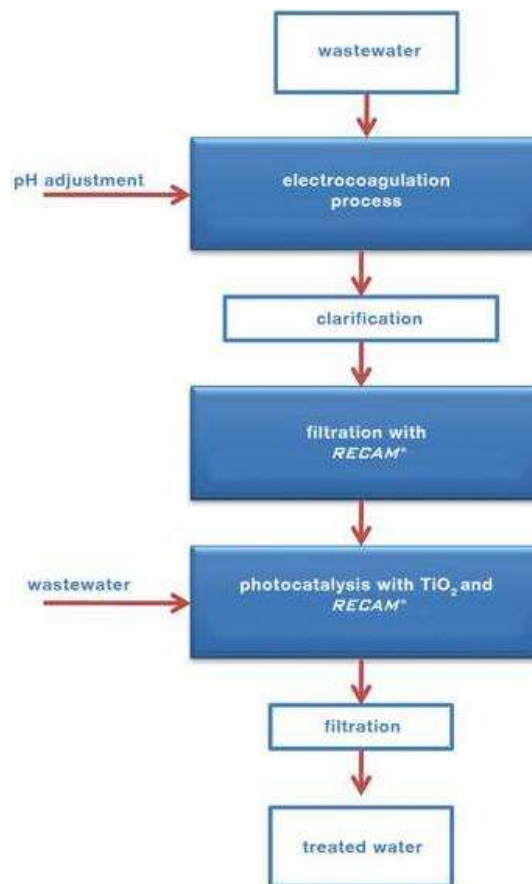
7.1. INLEIDING

Dat er MTBE of andere stoffen in water terecht komen door storting is geen onbekend fenomeen. Maar al te vaak krijgt men te horen dat er ongevallen met een tanker gebeuren of dat bedrijven hun afval in de natuur dumpen. Het meest voorkomende verhaal van watervervuiling MTBE, is door het lekken van ondergrondse tanken bij een tankstation. In dit project heeft men het probleem op laboschaal aangepakt, in dit hoofdstuk neemt men een kijkje hoe en waar dit in de wereld gebeurt.

7.2. OPLOSSING

Een voorbeeld van een oplossing vindt men in South Lake Tahoe in California waar een oliebedrijf aangeklaagd werd wegens het dumpen van MTBE in water. Aangezien airstripping of actieve kool nadelig was op dit voorval had men een ander systeem bedacht. Door middel van een oxidatiesysteem die ze aangekocht hadden van *'Applied Process Technology, Inc.'* was men van plan de kwaliteit van het water te restaureren. Het oxidatiesysteem is een chemische reactie tussen MTBE en hydroxyl-radicalen waarbij koolstofdioxide en water vrij komen. De hydroxyl-radicalen ontstaan door een reactie tussen ozon en waterstofperoxide. De uiteindelijke oplossing is dat men, vertrekkende van MTBE, waterstofperoxide en ozon, water en koolstofgas aanmaakt.

Een andere oplossing waar momenteel nog onderzoek naar wordt gevoerd door SA Envitech s.r.l., is het EWAT® proces. Dit proces heeft een breed zuiveringsbereik wat betreft pollutanten. Door middel van nanotechnologie is men van plan vervuild water zoveel mogelijk te zuiveren. Het proces wordt uitgevoerd in 3 verschillende stappen die u hieronder schematisch voorgesteld ziet.

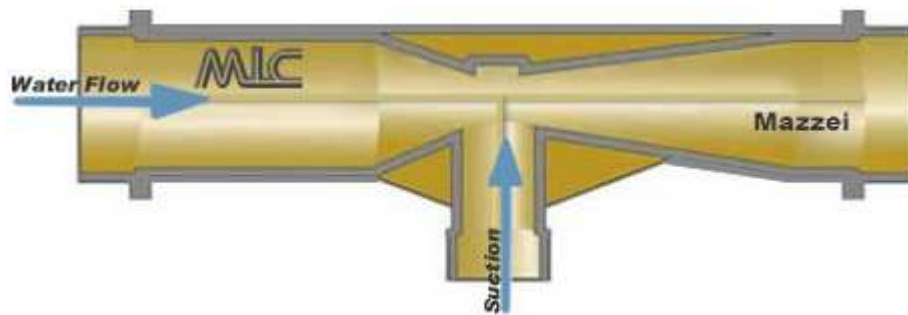


39. Schematische beschrijving van het EWAT® proces
(<http://waste.environmental-expert.com>)

Een bedrijf dat zich bezighoudt met de verwijdering van MTBE uit water is 'The Reynolds Groupis', die vooral actief is in California. Hun methodes zijn variërend: airstripping, Fenton's reagens, water verzadigen met zuurstof zodat oxiderende stoffen hierbij reageren, het implementeren van een barrière om water te zuiveren, etc.

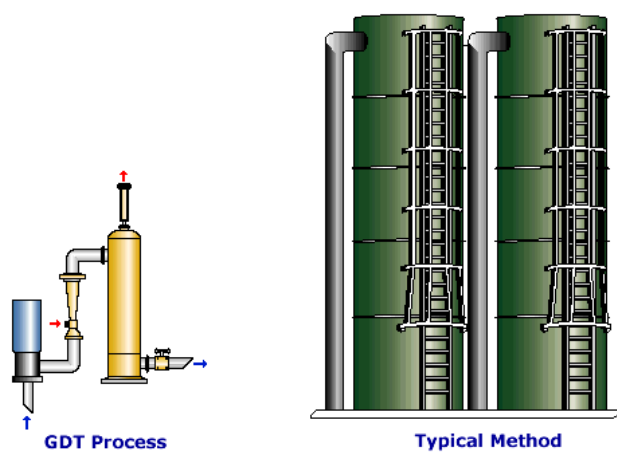
Een andere test werd uitgevoerd aan 'the Hydrocarbon National Test Site' in California door gebruik te maken van 'Spray Aeration Vacuum Extraction (SAVE)' en 'Hollow Fiber Membrane (HFM)'. Hun doel was om 5µg/l MTBE te behalen, dit hebben ze behaald en het systeem is sindsdien toegelaten voor gebruik

Er bestaan uiteraard veel bedrijven die water zuiveren door middel van airstripping, een voorbeeld hiervan is 'Mazzei Injector Company'. Dit is een bedrijf in Bakersfield, California die meerdere applicaties bevat voor zuivering van water. Zij passen een geavanceerde methode van airstripping toe, genaamd 'GDT™ (Gas Degassing Technology)'. Door middel van hoge efficiëntie Mazzei injectors gaat men dus lucht in het water sturen. De werking ervan gaat als volgt: water stroomt in langs de linkerkant (zie fig 36.), bij de versmalling gaat het water sneller stromen om eenzelfde debiet te hebben. De druk gaat bij de versmalling dus dalen, wegens het behoud van energie. (Bernouilliwet) Dus heerst er op die plek een onderdruk waardoor er dus lucht via de onderkant in het water wordt gezogen. Op deze manier doet men dus aan airstripping.

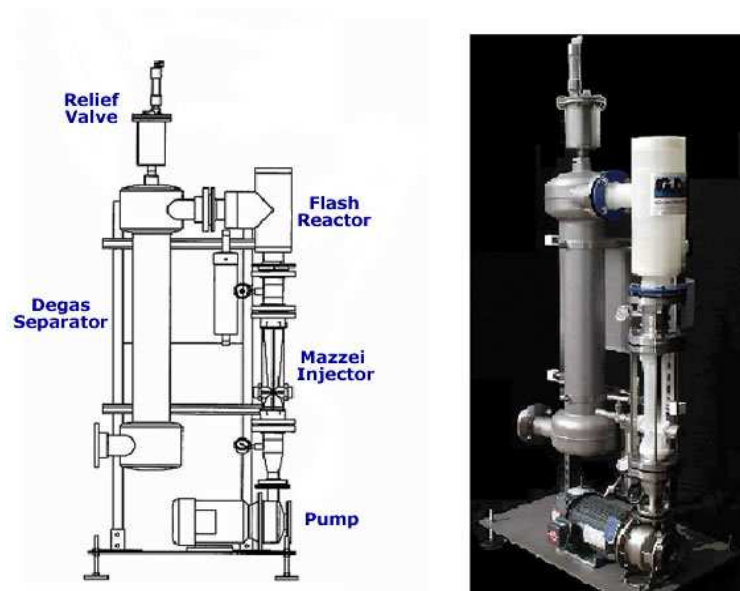


40. Mazzei Injector (<http://www.mazzei.net/>)

Zo blaast men dus ongewenste stoffen weg die dan door een Degas scheidder verwijderd worden voordat ze terug kunnen komen in de oplossing.



41. Airstripping bij Mazzei links en de klassieke methode rechts (<http://www.mazzei.net/>)



42. Schematische voorstelling van het toestel voor het GDT proces (<http://www.mazzei.net/>)

7.3. BESLUIT

Zoals men kan zien is petrochemische zuivering van water in de wereld zeer belangrijk, er wordt nog veel onderzoek naar gedaan en met de huidige kennis zuivert men water op verschillende manieren.

8. BESLUIT

Men is in de opdracht geslaagd om de vervuiling terug te dringen tot de norm voor drinkbaar water. In tegenstelling tot sommige andere projecten wist men hier relatief snel wat het probleem juist inhield en hoe men het kan oplossen. Reeds op het einde van de eerste dag was dit zo. Ondanks dit feit heeft men toch redelijk lang gezocht op een juiste opstelling voor de batch. Men heeft de breedte van de destillatiekolom gevariëerd, pakking aangebracht, debiet laten variëren. Wat minder goed verlopen is, is de bediening van de gaschromatograaf. Het maken van een ijkcurve verliep zonder enig probleem. Maar nadien gaf de gaschromatograaf soms vreemde grafieken weer. Vermits dit toestel gedurende het ganse project gebruikt werd om de vervuiling te controleren en de technieken op punt te stellen, zorgde dit toch voor enige ergernis. Dit was een minder punt aan dit project. Alles in beschouwing genomen wordt dit project als geslaagd beschouwd door onze groep en wij spreken dan ook onze dank uit aan Harry Verelst, Hubert Rahier, Marc Sonck en Sarah Couck.

9. BRONVERMELDING

Reynolds Group, <http://www.reynolds-group.com>

Ewire, <http://www.ewire.com>

Environmental Expert, <http://www.environmental-expert.com>

Stormingmedia, <http://www.stormingmedia.us>

All Business, <http://www.allbusiness.com>

Mazzei, <http://www.mazzei.net>

Epa, safe water, <http://www.epa.gov>

Jacobs, J., Jacques, G. en Herron, C., MTBE: effects on soil and groundwater resources, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 2000, 245 pagina's