

Miljøprojekt

Nr. 467 1999

**Restprodukters påvirkning
af grund- og indvindingsvand**

Miljøprojekt nr. 467
1999

Restprodukters påvirkning af grund- og indvindingsvand

Kim Dahlstrøm og Povl Olsbjerg Rasmussen
Miljøstyrelsen

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

1	Indledning	5
2	Sammenfatning	6
3	Formål	8
4	Problemstilling	9
5	Grundlaget for vurderingen	11
5.1	Modellen	11
5.2	Forudsætninger	12
5.3	Udvaskningstest	13
6	Påvirkning fra anlægsarbejder	15
6.1	De forskellige anlægsarbejder	15
6.1.1	<i>Støjvold</i>	<i>16</i>
6.1.2	<i>Vej</i>	<i>16</i>
6.1.3	<i>Vejkryds</i>	<i>17</i>
6.1.4	<i>Sti</i>	<i>19</i>
6.1.5	<i>Plads</i>	<i>19</i>
6.1.6	<i>Sammenfattende resultat</i>	<i>20</i>
7	Modelområde og parametervalg	21
7.1	Randbetingelser	21
7.2	Observationsboring og indvindingsboring	22
7.3	Parameter valg	23
7.3.1	<i>Modellens størrelse og hydrogeologiske parametre</i>	<i>23</i>
8	Fremgangsmåde	24
9	Simuleringsresultat for støjvold	25
9.1	Stationær strømning	25
9.2	Stationær stoftransport	25
9.3	Kritisk filterniveau	26
9.4	Variation af indvindingsmængden	26
9.5	Vurdering af påvirkning fra støjvold	26
10	Simuleringsresultat for vej	42
10.1	Stationær strømning	42
10.2	Stationær stoftransport	42
10.3	Kritisk filterniveau	43
10.4	Variation af indvindingsmængde	43
10.5	Vurdering af påvirkning fra vej	44
11	Simulationsresultat for vejkryds	66
11.1	Stationær strømning	66
11.2	Stationær stoftransport	67
11.3	Filterinterval og niveau	67
11.4	Variation af indvindingsmængden	67
11.5	Vurdering af påvirkning fra vejkryds	68
12	Simuleringsresultat for sti	89
12.1	Stationær strømning	89
12.2	Stationær stoftransport	89
12.3	Filterinterval og niveau	89
12.4	Variation af indvindingsmængden	90

12.5	Vurdering af påvirkning fra sti	90	
13	Simuleringsresultat for plads	106	
13.1	Stationær strømning	106	
13.2	Stationær stoftransport	106	
13.3	Filterinterval og niveau	106	
13.4	Variation i indvindingsmængden	107	
13.5	Vurdering af påvirkning fra plads	107	
14	Modellens følsomhed	123	
14.1	Placering i modelområde	123	
14.2	Filtersætning	123	
14.3	Infiltration gennem anlægsarbejde	124	
14.4	Dispersion	125	
14.5	Vurdering af simuleringsresultat	126	
14.5.1	<i>Massebalancen</i>	<i>126</i>	
14.5.2	<i>Estimering af udvaskningstiden:</i>	<i>128</i>	
14.5.3	<i>Beregning af indvindingsoplandet</i>	<i>128</i>	
14.5.4	<i>Beregning af koncentration i indvindingsvandet</i>	<i>129</i>	
14.5.5	<i>Risikovurdering jf. oprydningsvejledningen</i>	<i>130</i>	
15	Konklusion	136	
Bilag 1. Inddata til model			139
Bilag 2. Beregning af opblandingsforhold			144
Bilag 3. Referencer			146

1 Indledning

I forbindelse med udfærdigelse af en ny bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder er denne rapport udarbejdet, for at kvalitetssikre de grænseværdier, der er givet i høringsudkastet til bekendtgørelsen. Kvalitetsikringen foretages ved at opstille en grundvandsmodel og beregne en række scenarier med denne.

Rapporten indledes med en sammenfatning, hvor hovedproblemet og konklusioner bliver præsenteret.

Herefter gives en gennemgang af formål, problemstilling, grundlaget for vurdering, resultater og konklusion.

Disse afsnit er fulgt op med en række afsnit af mere teknisk karakter, som hovedsageligt er en mere detaljeret gennemgang af modellens opsætning og de udførte beregninger.

2 Sammenfatning

Denne rapport er skrevet med henblik på at kunne udfærdige bekendtgørelsen om anvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder.

Bekendtgørelsen skal angive grænseværdier for de forurenende stoffer (metaller og salte), som udvaske, når restprodukter og jord anvendes til bygge- og anlægsarbejder. Grænseværdierne skal sikre, at der ikke sker en uacceptabel forureningspåvirkning af grundvandet.

Koncentrationen af metaller og salte, som kan accepteres udvasket til grundvandet, vil være afhængig opblandingen i grundvandet og tilførelsen af stof fra anlægsarbejdet. Når opblandingsforholdet for de forskellige typer af anlægsarbejde (sti, vej, vold og plads) er kendt, kan grænseværdien for det enkelte metaller og salt fastsættes.

Udvaskning af modelstof

Der er benyttet et modelstof til at repræsentere udvaskningen af metaller og salte, sådan at koncentrationen i perkolatet, som udvaskes fra restproduktet eller jorden, det naturlige baggrunds niveau og grundvandskvalitetskriteriet er kendt. Disse oplysninger bruges, som inputdata til en edb-model, der kan simulere grundvandsstrømning og transport af forurening i grundvandet.

Grundvandsmodel

Grundvandsmodellen repræsenterer et terrænnært grundvandsmagasin bestående af sand, som har en udbredelse på 500m*500m*8m. Modelområdet er afgrænset af impermeable vægge på tre sider og en nedstrøms rand med fastholdt tryk samt impermeabel bund.

Da modellen er 3-dimensional kan stofkoncentrationen bestemmes i forskellige dybder i magasinet. Ved hjælp af modellen er koncentrationen bestemt ved forskellig indvindingsmængde for de forskellige anlægstyper i en afstand af 30 m fra anlægsarbejdet.

Opblandingsforhold

Ud fra de bestemte koncentrationer er opblandingsforholdet og grænseværdien til perkolatet fra restproduktet beregnet. Opblandingsforholdet er bestemt under konservative værste mulige forhold, hvor bl.a. gradienten er lille og stoftilførslen stor.

Beregningen af opblandingsforholdet er ligeledes baseret på de højeste koncentrationer, som er fundet ved simuleringen af stoftransporten i magasinet eller koncentrationen i boringen.

Baggrunds niveau

Det naturlige baggrunds niveau kendes fra Grumo-overvågningen. I beregningen er der taget udgangspunkt i 90 % fraktilen, dvs., at 90 % af grundvandet har en lavere koncentration end den der indgår i beregningerne.

Følsomhedsanalyse

Modellens følsomhed er undersøgt bl.a. i forhold til placeringen af anlægsarbejdet inden for modelområdet, filtersætning, infiltrationens størrelse og dispersionsvariationer. Modellens resultater vurderes i forhold til afvigelsen på massebalancen, udvaskningstiden, indvindingsoplandets

størrelse og den simulerede koncentration sammenlignes med beregningen af koncentrationen ved mere simplificerede ligninger.

Ud fra følsomhedsanalysen kan det ses, at påvirkningen af grundvand og indvindingsvand især afhænger af placeringen af anlægsarbejdet i forhold til den opstrøms modelrand. Jo større afstanden er fra den opstrøms modelrand og til anlægsarbejdet, jo mindre påvirkes grundvandet.

Fra restprodukterne er det hovedsageligt metaller og salte, som udvaskes til grundvandet, og for deres vedkommende bestemmes koncentrationen i perkolatet ved udvaskningstest.

Vurdering af anlægsarbejder

På baggrund af de udførte beregninger kan det konkluderes, at grundvandskvalitetskriteriet kan overholdes i magasinet ved anvendelse af restprodukter til anlæg af vej med afløb, vejkryds med afløb og stier.

Beregningerne viser ligeledes, at anvendelsen af restprodukter og forurennet jord er problematisk i støjvolde, for veje uden kloak afløb og for pladser, hvis indvindingen til en enkelt hustand, er placeret umiddelbart nedstrøms pladsen.

Da grundvandsmodellen er opstillet med henblik på at beskrive det værste tilfælde, vil der være en lang række situationer, hvor påvirkning af grundvand og indvindingsvand er mindre.

3 Formål

Sikre små indvindinger

Formålet med rapporten er, at belyse forureningsspredningen i grundvandet fra uorganiske restprodukter og jord forurenede med uorganiske stoffer. Ved udarbejdelse af forslag til bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder, er der i forslaget opstillet vilkår, som skal sikre mod en uacceptable forurening af grundvandet og små indvindinger. Denne rapport udgør den del af dokumentationen for fastsættelse af kravværdier i bekendtgørelsen

For at sikre grundvandsressourcen, herunder drikkevandskvaliteten i mindre indvindinger til enkelthusstande, ikke almene vandforsyninger og små almene vandforsyninger, er dette arbejde udført for at fastsætte kriterierne for anvendelsen.

3D-model

Vurderingen er foretaget ved hjælp af en tredimensionel grundvandsmodel (Visual Modflow/MT3D'96), hvor koncentrationen af stoffer i grundvandet bestemmes 30 m fra anlægsarbejde, hvortil der er anvendt restprodukter eller jord, når der ikke indvindes og når indvindingen sættes til 400 og 10.000 m³/år.

Ud fra koncentrationsbestemmelse i magasinet uden indvinding og i indvindingsvandet med en ydelse på 400 og 10.000 m³/år bestemmes opblandingsforholdet. Ud fra opblandingsforholdet i de forskellige scenarier kan krav til maksimal koncentrationen i perkolatet fra restprodukt og jord fastsættes uden, at grundvandskvalitetskriteriet overskrides.

4 Problemstilling

I forbindelse med udarbejdelse af forslag til bekendtgørelse om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder er der udarbejdet to sæt grænseværdier.

Jordkvalitetskriterier

Det første sæt er fastsat på baggrund af jordkvalitetskriterierne, der sikrer, at man kan færdes på arealer uden sundhedsmæssig risici. Dette sæt grænseværdier vil ikke blive berørt yderligere i nærværende rapport.

Udvaskningskriterier

Det andet sæt grænseværdier er fastsat ud fra risikoen for, at stofferne kan vaskes ud og dermed forurene grundvandet. Dette sæt har 2 niveauer: Ét hvormed det kan afgøres, om mængden af stoffer, der udvaskes fra restproduktet/jord, svarer til ren jord og dermed kan anvendes frit, og ét hvormed det kan afgøres, om mængden af stoffer, der kan udvaskes fra restproduktet/jord, er acceptabelt, når man tager visse forholdsregler.

Arbejdet har fokuseret på at vurdere, om det forslag til grænseværdier, der fastlægger det niveau, hvorunder anvendelsen er acceptabel under visse forholdsregler, giver en tilstrækkelig grundvandsbeskyttelse. Ved vurderingen ønskes det afklaret, om uorganiske restprodukter/jord kan genanvendes i bygge- og anlægsarbejder såsom støjvolde, veje, stier m.m., som et alternativ til bortskaffelse på deponeringsanlæg.

Ved egnede deponeringspladser skal der tages hensyn til væsentlige biologiske, geologiske, kulturhistoriske og landskabelige interesser samt en række rekreative og turistmæssige interesser. Desuden vil der ved deponering :

- Ikke ske en nyttiggørelse af restproduktet/jorden og som følge heraf, vil der være et større træk på naturlige råstoffer,
- Være en påvirkning af de marine omgivelser, idet deponering som hovedregel sker kystnært.

Påvirkning af grund- og indvindingsvand

Der foretages derfor en vurdering af påvirkning af grundvandet med og uden indvindingen, når restprodukter og jord genanvendes til bygge- og anlægsarbejder. Dette gøres ved at undersøge, hvor store påvirkninger et anlægsarbejde har på grundvandskvaliteten og ved at undersøge, hvilken betydning denne påvirkning har for små indvindinger.

Der er taget udgangspunkt i udvaskning af salte og metaller fra restprodukter. Det vil sige stoffer, som ikke nedbrydes biologisk/kemisk eller omdannes.

Modelstof

Som eksempel er der anvendt koncentrationsværdier for et teoretisk stof hvorfra der bestemmes et opblandingsforhold, som kan anvendes for de øvrige metaller og salte ved samme indvindingsmængde, idet opblandingsforholdet vil være identisk.

Når opblandingsforholdet er fundet for hvert enkelt anlægsarbejde, er det muligt at beregne det acceptable bidrag fra restproduktet eller den forurenede jord.

Baggrundsniveau

Ved udarbejdelse af forslaget til kravværdier til perkolat fra anlægsarbejder, skal der tages hensyn til, at der for nogle stoffer er lille forskel på baggrundsværdien og kravet til grundvandet.

Dette kan gøres ved hjælp af massebalancen, hvor den resulterende koncentration i grundvandet bestående af bidraget fra restproduktet og baggrundsniveauet i grundvandet skal overholde grundvandskvalitetskriteriet.

5 Grundlaget for vurderingen

5.1 Modellen

Til brug for vurderingen er der brugt en tredimensional model, der beregner strømning (Visual Modflow) og stoftransport (MT3D '96). Ved strømningeberegning er brugt Visual Modflow, der beregner strømningen ved hjælp af en dobbelt iterationsprocedure. Med den opstillede model er der opnået en strømningeberegning, der let konvergerer.

Den opstillede model repræsenterer et "værste tilfælde", hvor den maksimale påvirkning af grundvandet opnås, inden for rammerne af det realistiske.

Modelbeskrivelse

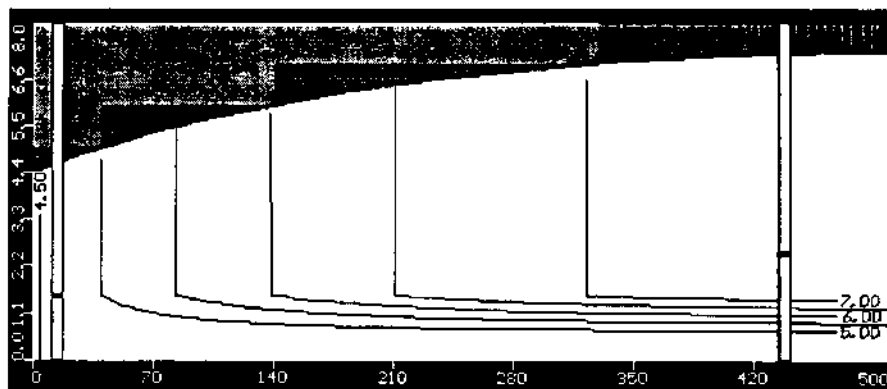
Modellen er sat op og kalibreret med hensyn til randbetingelser, netto-nedbør og hydraulisk ledningsevne, så den repræsenterer et frit magasin uden indstrømning af vand (det vil sige nær grundvandsskel), med en lille gradient og stor grundvandsdannelse. Magasinets mægtighed er mellem 3,5 og 6,3 m.

Herved er opnået en model, hvor der ved indvinding på op til 10 - 15.000 m³/år ikke sker uacceptabel afsækning. Effekten på grundvandet er undersøgt uden indvinding og med indvinding på 400 m³/år og 10.000 m³/år.

Anlægsarbejdets placering

Modelområdet er i første omgang etableret med en cellestørrelse, der gør det muligt, at simulere anlægsarbejder, der varierer fra 2.5 m i bredden og op efter. Der er som udgangspunkt etableret et standardscenarium, hvor det største anlægsarbejde (20 m bredt) er placeret tæt på den opstrøms afgrænsning (6.66 m). 30 m nedstrøms anlægsarbejdet er der placeret en indvindingsboring, hvor påvirkningen fra anlægsarbejdet er undersøgt. En mere opstrøms placering var ikke mulig, idet den medførte randeffekter, herunder modelkørselstider for stoftransport, der ikke opnåede stationære forhold inden for flere århundreder, hvilket ikke er realistisk.

Ud fra dette "standardscenarium" blev bredden af anlægsarbejderne simuleret ved, at fastholde den nedstrøms afgrænsning af anlægsarbejdet og ved at variere den opstrøms afgrænsning. Herved blev det opnået, at placeringen af indvindingsboringer og observationsboringer kunne holdes konstant. For smallere anlægsarbejder medførte denne fremgangsmåde en mindre konservativ vurdering end for støjvolden, idet arealet med grundvandsdannelse opstrøms anlægsarbejdet bliver større. Dette blev fundet acceptabelt, da der generelt i området med anlægsarbejder blev fundet gradienter, der er mindre end 1 o/oo.



Figur 5.1 Gradient over modelområdet.

5.2 Forudsætninger

Beregningerne er forsøgt udført, så de så vidt muligt giver en overestimering af forureningspåvirkningen af grundvandet og vandet, som indvindes fra boringen. I overensstemmelse hermed er følgende lagt til grund:

1. Der er fortaget beregninger af konsekvenserne, hvis der blev anvendt restprodukter eller forurenede jord, der akkurat opfyldte kravværdierne, hvor anlægsarbejdet er placeret vinkelret på grundvandsstrømmen over hele modelområdet, i en bredde der svarer til det aktuelle anlægsarbejde.
2. Der er valgt en modelopsætning der giver en gradient på under 1 o/oo for alle kørsler i området mellem anlægsarbejde og observations-/indvindings-boring.
3. Ved vurdering af påvirkningen af indvindingsboringer er der taget udgangspunkt i små indvindinger på 400 m³/år og på 10000 m³/år.
4. Der er taget hensyn til, at der er et naturligt baggrunds niveau for alle de aktuelle stoffer ved, at 90 % fraktilen er brugt til at korrigere for baggrunds niveauet.
5. Der er ikke taget hensyn til, at kildestyrken i restproduktet/jorden mindskes i takt med at udvaskningen foregår, hvorfor perkolat-koncentrationen fra anlægsarbejdet med restprodukt/jord er konstant og kontinuert over tid. Denne fremgangsmåde er valgt, idet mængden af stof, der kan udvaskes, kan være meget mindre end den mængde, der totalt kan være i restproduktet/jorden og udvaskningen derfor kan ske over lang tid (se kapitel 14).
6. Der er ikke taget højde for sorption i beregningerne, men omvendt er der heller ikke regnet med højere koncentrationer af udvasket stof, som ville kunne måles ved meget små L/S (Liquid/Solid) forhold.

På baggrund heraf er opblandingsforholdene i magasinet vurderet med og uden indvinding. Når et opblandingsforhold er fundet i et givent scenarium for modelstoffet, er det muligt at omregne dette til kravværdier for metaller og salte på baggrund af kravværdier til grundvandet og kendskabet til baggrunds niveauet.

Grundvandskriterier

Kravene til drikkevandskvaliteten er en væsentlig baggrund for fastsættelse af krav til grundvand. Ved udarbejdelse af grundvandskvalitetskriteriet er det forudsat, at der skal kunne fremstilles drikkevand ved simpel vandbehandling.

Stof	Medianindhold i øvre sekundært magasin	Grundvandsindhold 90 % fraktilen		Grundvandskriteriet
		Overvågning	Boringskontrol	
As	0,81	6,0	5,6	8
Pb	0,22	0,79	6,0	1
Cd	0,013	0,1	0,3	0,5
Hg	0,0029			0,1
Ni	1,1	6,7	7,4	10
Zn	3,5	35	701	100
Cu	0,34	1,6	4,1	100
Cr	0,2	0,7	3,0	25

Tabel 5.1 Koncentration i µg/l for metaller/1,2,3/ samt grundvandskriteriet.

Baggrundsniveau

Baggrundsværdien er beregnet ud fra indberetninger til GRUMO for 1997 (overvågningsprogrammet i forbindelse med vandmiljøplanen), hvor der er taget udgangspunkt i 90 % fraktilen af de koncentrationer, der er målt i forbindelse med overvågningen. Til sammenligning er medianværdien for det øvre sekundære magasin og 90 % fraktilen fra boringskontrollen fra GRUMO angivet i tabel 5.1 sammen med grundvandskvalitetskravene for en række af de stoffer, som vil være bestemmende om et givent restprodukt eller en forurennet jord kan anvendes.

Dette betyder, at den resulterende koncentration kan overskride grundvandskvalitetskriterier i maksimalt 10 % af tilfældene, under forudsætning af, at der fra det aktuelle restprodukt eller jorden udvaskes stoffer i koncentrationer, der ligger i den øvre ende af det tilladte interval.

5.3 Udvasningstest

Batchtest

Ved bestemmelse af koncentrationer i eluatet fra jord og restprodukter er der taget udgangspunkt i en batchudvasningstest, som er et forslag til CEN-standard. Batchtesten udføres ved at restprodukt/jord vaskes i et væske/faststof forhold hvor $L/S = 2$. Af hensyn til filtrering af eluaterne fra jordprøver er det nødvendigt, at bruge en elektrolytopløsning som udvasningsmedie. Forsøg /4/ har vist, at der med fordel kan anvendes 0.001 M $CaCl_2$ til udvasningen. $CaCl_2$ blev valgt idet en opløsning heraf:

- Ikke interferer og giver anledning til udfældning,
- At den ikke giver uforudsigelig udvasning af de undersøgte stoffer,
- At mediet er sammenligneligt med typisk jordvæske,
- Og at det muliggør filtreringen.

Ved udvasningstest på uforurennet jord er der for en række metaller vist, at den brugte metode overestimerer udvasningen, når de målte værdier sammenholdes med baggrundsniveauer. Derfor vil det være nødvendigt, at kalibrere resultatet for bly og cadmium.

Stoftransport

Beregning af stoftransport sker ved hjælp af MT3D'96, som beregner stoftransporten som partikel transport. I programmet er der mulighed for at

vælge forskellige beregningsalgoritmer. Da der er valgt en langsgående dispersion på 0,45, er der som udgangspunkt brugt MOC-algoritmen til beregningerne, idet denne anbefales, ud fra numeriske overvejelser.

I beregningerne er der taget udgangspunkt i konstanterne, bestemt ud fra feltforsøg ved Vejen Losseplads, da de sammenholdt med værdier fra litteraturen er et konservativt valg for en dansk smeltevandsaflejring.

6 Påvirkning fra anlægsarbejder

6.1 De forskellige anlægsarbejder

Der er foretaget en vurdering af forskellige typer af anlægsarbejder, hvor der kan anvendes restprodukter og forurenede jord. Forskellen mellem anlægstyperne består hovedsagelig i, at de dækker et forskelligt areal og at infiltrationen gennem dem varierer jf. tabel 6.1.

Anlægstype	Længde x Bredde, m	Areal, m ²	Infiltration, mm/år
Støjvold	500 x 20	10.000	350
Vej uden afløb	500 x 12,5	6.250	175
Vej med afløb	500 x 12,5	6.250	35
Vejkryds uden afløb	500 x 12,5 496,66 x 10	11.216,60	175
Vejkryds med afløb	500 x 12,5 496,66 x 10	11.216,60	35
Sti	500 x 2,5	1.250	175
Plads med afløb	60 x 32,5	1.959	35
Modelområde	500 x 500	250.000	350

Tabel 6.1 Anlægstypenes areal og infiltration indenfor modelområdet som er 500 x 500 m.

Observationspunkter

Udvaskningen af stoffer fra restprodukter/jord er vurderet i grundvandet 30 meter fra anlægsarbejdet og koncentrationen i modellens lag 3, 4, 5 og 6 er angivet. Koncentrationen angives også for lag 7 umiddelbart før grundvandet strømmer ud fra modelområdet.

Der angives også en resulterende koncentration i råvandet fra en indvindingsboring, når der indvindes hhv. 400 og 10.000 m³/år. Denne indvinding vil medføre en sammenblanding af grundvand med forskellige koncentrationer og derfor føre til en lavere koncentration end de højeste koncentrationer, som kan konstateres i grundvandsmagasinet.

Indvindingen foretages fra en filtersætning på 2 m, som er placeret i de 2 lag, hvor stofkoncentrationen var højest, når der ikke foregik indvinding fra magasinet. Formålet hermed er, at den resulterende koncentration i indvindingsvandet skal repræsentere den værste situation.

Indvindingsstørrelser

Indvindingsstørrelsen repræsenterer forholdsvis små indvindinger svarende til mellem 8 og 200 personers vandforbrug/år.

Ved gennemgangen af de enkelte anlægstyper sammenholdes koncentrationerne i grundvandet og indvindingsvandet med grundvandskvalitetskriteriet.

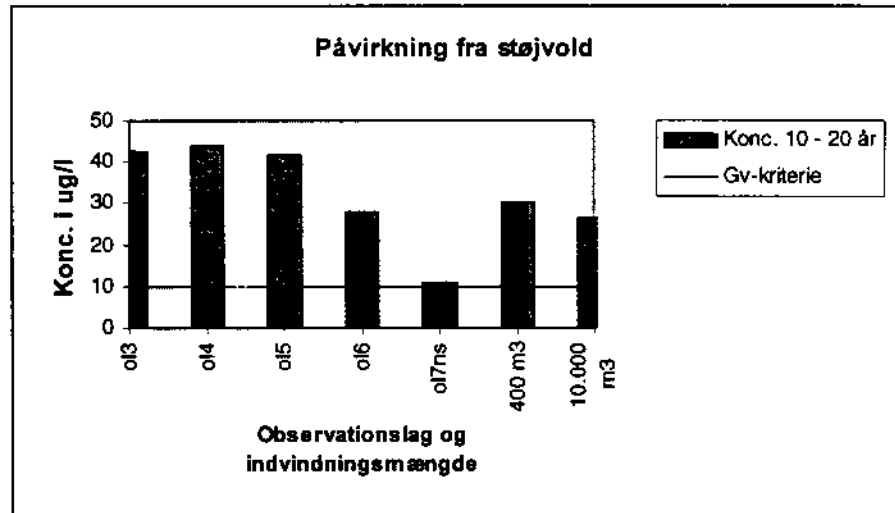
Modelkørslerne viser generelt, at der er opnået stationære forhold for stofspredningen efter 10 år, og koncentrationerne er angivet som gen-

nemsnitskoncentrationer for perioden 10 til 20 år. Variationen igennem den simulerede tidsperiode kan ses i figurerne i kap. 9-13.

Støjvold uden infiltrations reduktion

6.1.1 Støjvold

Der er udlagt en støjvold vinkelret på grundvandsstrømmen 6,66 m fra den opstrøms modelrand. Det er forudsat, at støjvolden gennemsvives af samme mængde nedbør som de omkringliggende arealer. Påvirkningen af vandkvaliteten ses i figur 6.1. Der fremgår, at udvaskningen fra støjvolden overskrider grundvandskvalitetskravet både i magasinet og i indvindingsvandet.



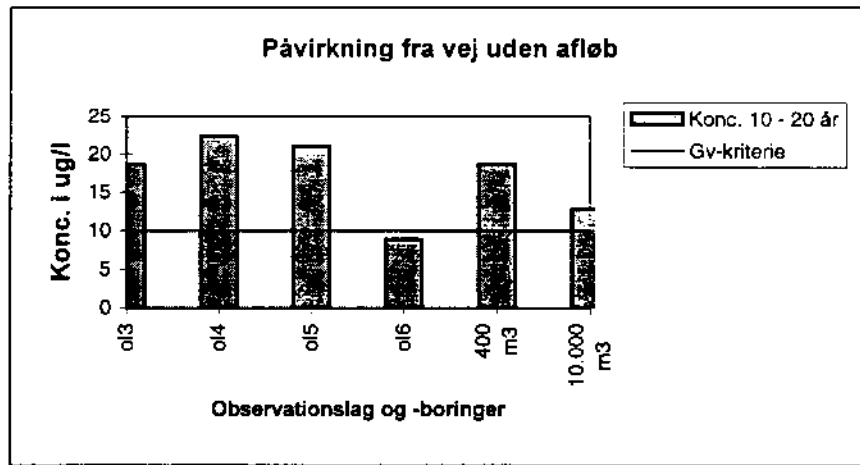
Figur 6.1. Stofkoncentrationer i grundvandsmagasinet og indvindingsvandet ved udvaskning fra støjvold.

6.1.2 Vej

Udvaskningen af stof fra anvendelsen af restprodukter ved konstruktion af veje, giver to forskellige påvirkninger af vandkvaliteten alt efter om vejen er med eller uden afløb, som bortleder nedbøren. Vejen er placeret 17,5 m fra den opstrøms modelrand.

Vej uden afløb

Hvis *vejen er uden afløb*, antages det, at halvdelen af nedbøren, som falder på vejen, vil gennemstrømme restproduktet ved nedsivning i vejrabatten. Udvaskningen af stof fra restproduktet vil i denne situation overskride grundvandskvalitetskriteriet både i magasinet og i indvindingsvandet jf. figur 6.2.

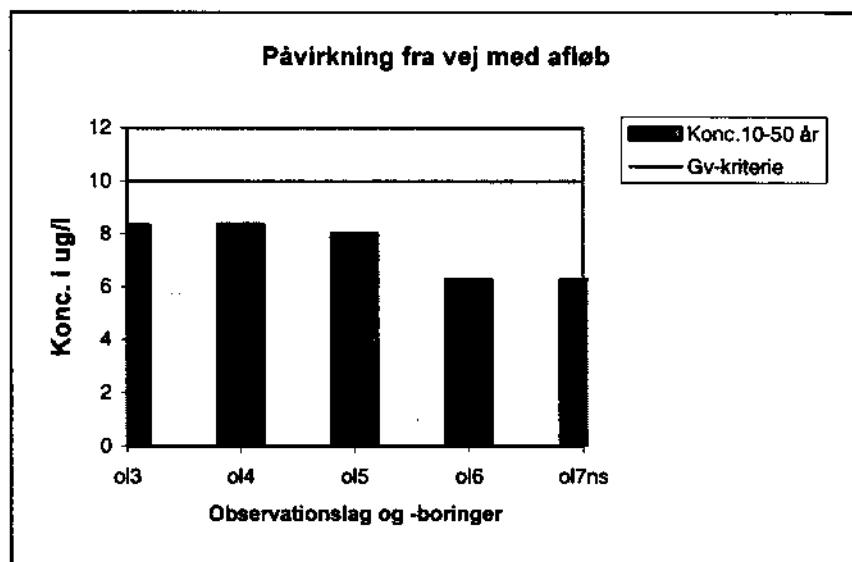


Figur 6.2. Stofkoncentrationer i grundvandsmagasinet og indvindingsvandet ved udvaskning fra veje uden afledning af overfladevand.

Vej med afløb

For *veje med afløb* vil restproduktet gennemsvives af en mindre mængde af nettonedbøren svarende til maksimalt 10 %. De 10 % af nettonedbøren vil nedrive gennem diverse revner, sprækker og lignende utætheder i vejen. Som følge af at størstedelen af nedbøren afledes til kloak, påvirkes grundvandskvaliteten af mindre stofmængde.

Dette fremgår også af figur 6.3, idet grundvandskvalitet overholdes i grundvandsmagasinet. Indvindingsvandet vil derfor også overholde grundvandskvalitetskriteriet. Der er ikke foretaget en simulering af påvirkningen under indvinding, da kriterierne også her vil kunne overholdes.



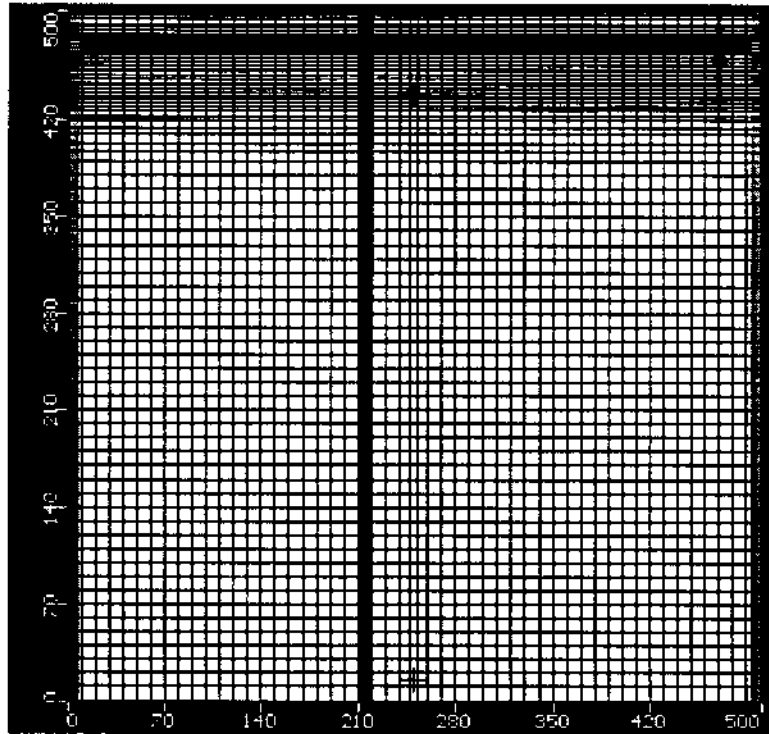
Figur 6.3 Stofkoncentrationer i grundvandsmagasinet ved udvaskning fra veje med afledning af overfladevand.

Flere veje

6.1.3 Vejkryds

For at vurdere stofudvaskningen fra flere veje, er der simuleret stofudvaskning fra en vejkryds. Boringen er placeret i hjørnet 30 meter fra begge veje som er hhv. 12,5 og 10 m bredde og gennemgående i hele modelområdet. Vejen vinkelret på grundvandsstrømmen er placeret 17,5

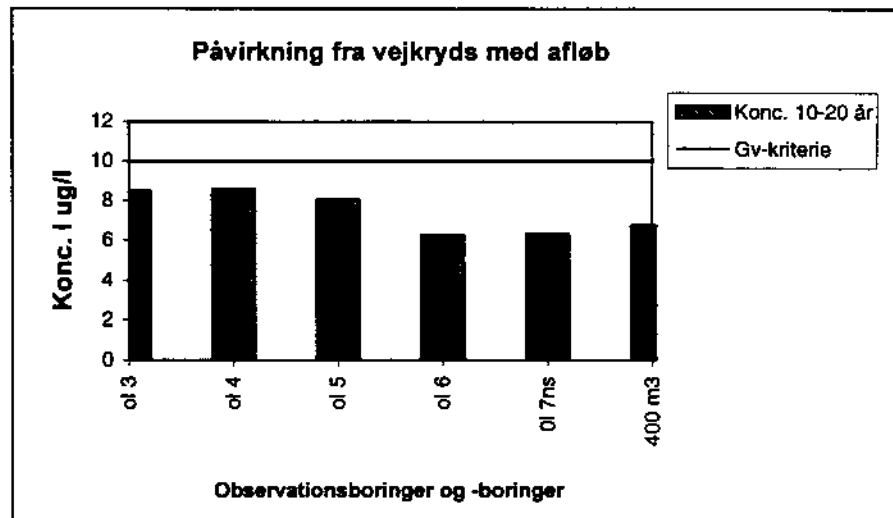
m fra den opstrømsrand og vejen parallel med grundvandsstrømmen begynder 6,66 m fra en opstrømsmodel rand jf. figur 6.4.



Figur 6.4 Placering af vejkrøds og indvindingsboring.

Vejkrøds med afløb

Stofudvaskningen fra vejkrødsset viser, at grundvandskvalitetskriteriet kan overholdes, hvis vejene etableres med afløb for overfladevand jf. figur 6.5.



Figur 6.5 Stofkoncentrationer i grundvandsmagasinet ved udvaskning fra vejkrøds.

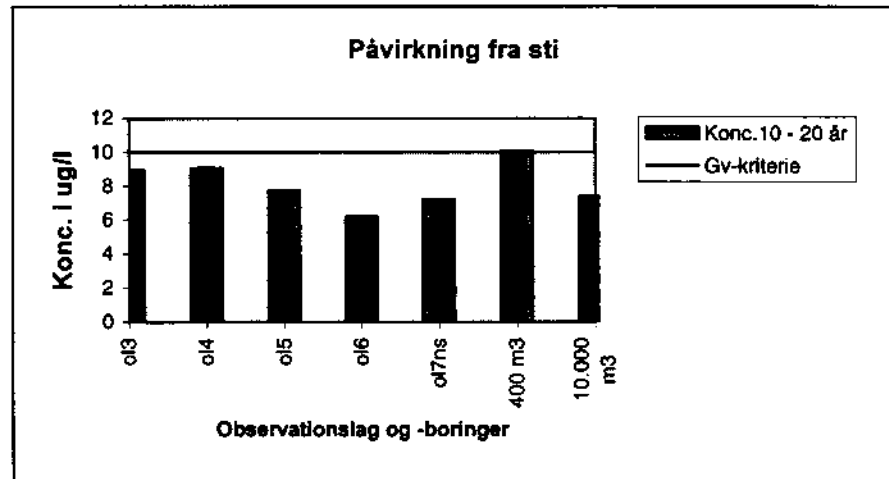
Det kan bemærkes at selv om vejkrødsset dækker et større areal end vejen, bliver stofkoncentrationen lidt mindre i situationen ved indvinding på 400 m³/år. Begrundelsen er, at grundvandet står lavere under vejene, som følge af mindre infiltration gennem vejen i forhold til de omkringliggende arealer. Dette bevirker, at grundvandet strømmer ind under ve-

jen i stedet for ud i mod boringen. Dette vil ændres ved større pumpeydelse.

Sti med fast belægning uden afløb

6.1.4 Sti

Ved anlæg af stier, hvor der anvendes restprodukt, skal overfladen være tæt. Det antages derfor, at halvdelen af den nedbør, der falder på stien, vil afstømme og nedrive ved stiens sider. Stien er placeret i en afstand af 27,5 m fra den opstrøms modelrand. Stofudvaskningens størrelse fra stien overholder grundvandskvalitetskravet i magasinet og i indvindingsvandet jf. figur 6.6.

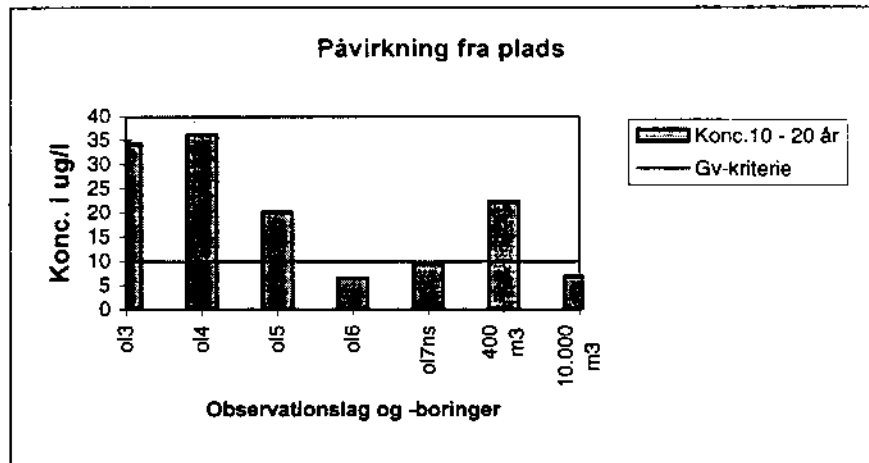


Figur 6.6 Stofkoncentrationer i grundvandsmagasinet og indvindingsvandet ved udvaskning fra sti.

Plads med fast belægning og afløb

6.1.5 Plads

Der er planlagt et krav om at pladser, hvor der anvendes restprodukter højst må udgøre et areal på 2.000 m², og de skal etableres med afløb til overfladevand. Da pladsen skal etableres med fast belægning, antages det at 10 % af nedbøren, som falder på pladsen, siver gennem det underliggende restprodukt. Udvaskningen af stof fra pladsen ved en placering 6,66 m fra den opstrøms modelrand viser en overskridelse af grundvandskvalitetskriteriet i magasinet og ved en indvinding på 400 m³/år, mens kriteriet overholdes ved en indvinding på 10.000 m³/år jf. figur 6.7.



Figur 6.7 Stofkoncentrationer i grundvandsmagasinet og indvindingsvandet ved udvaskning fra plads.

Konsekvens for modelstof

6.1.6 Sammenfattende resultat

Sammenfattende viser tabel 6.2 om udvaskningen fra de forskellige anlægstyper kan overholde grundvandskvalitetskriteriet i grundvandet og i indvindingsvandet. En overholdelse og overskridelse af grundvandskvalitetskriteriet vises med hhv. + og - i tabellen

Anlægstype	I magasinet	Indvinding, 400 m ³ /år	Indvinding, 10 ⁴ m ³ /år
Støjvold	-	-	-
Vej uden afløb	-	-	-
Vej med afløb	+	ikke modelleret	ikke modelleret
Vejkryds uden afløb	-	-	ikke modelleret
Vejkryds med afløb	+	+	ikke modelleret
Sti	+	+	+
Plads med afløb	-	-	+

Tabel 6.2 Viser om den pågældende anlægstype giver en acceptabel eller uacceptabel påvirkning af grundvandets kvalitet.

Opblandingsforhold

I tabel 6.3 vises de opblandingsforhold der er fundet ved de forskellige simuleringer. Disse opblandingsforhold kan bruges til at beregne nye kravværdier til restprodukter/jord jf. kapitel 17.

Anlægstype	I magasinet	Indvinding, 400 m ³ /år	Indvinding, 10 ⁴ m ³ /år
Støjvold	1,49	2,9	3,55
Vej uden afløb	4,37	6,37	12,6
Vej uden afløb 20 m	4,00	12,3	ikke modelleret
Vej uden afløb 40 m	9,68	17,8	ikke modelleret
Vej med afløb	38,5	ikke modelleret	ikke modelleret
Vejkryds uden afløb	4,34	7,31	ikke modelleret
Vejkryds med afløb	35,3	127	ikke modelleret
Sti	30,0	21,9	66,4
Plads med afløb	2,13	4,75	102

Tabel 6.3 Opblandingsforhold for de forskellige anlægsarbejder.

7 Modelområde og parametervalg

Modelområdet er en kvadratisk kasse på 500 x 500 x 8 m, bestående af 51 søjler, 74 rækker og 8 lag. Udgangspunktet har været en cellestørrelse på 10 x 10 x 1 m, som er blevet forfinet i området, hvor boring og anlægsarbejderne er placeret. Den mindste cellestørrelse er således 2,5 x 3,3 x 1m.

7.1 Randbetingelser

I modellen er randen bestående af den yderste celle.

Modellens randbetingelser er følgende:

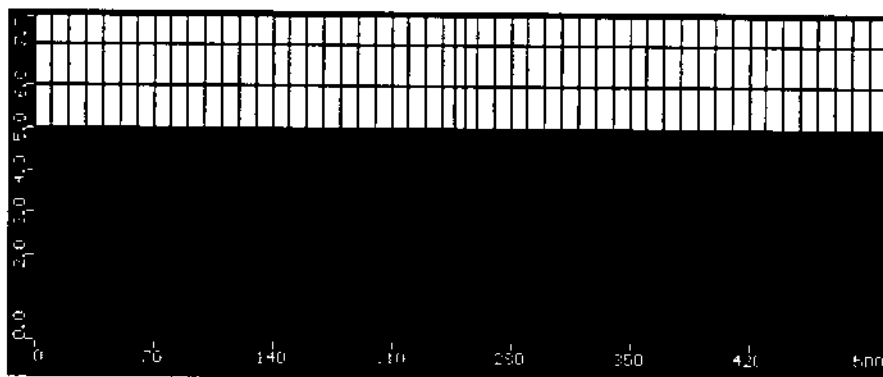
Opstrøms: Impermeabel væg

Siderne: Impermeabel væg

Nedstrøms: Fastholdt trykniveau på 4,5 m

Bunden: "Impermeabel" bund med $K_z=1e-12$ m/s

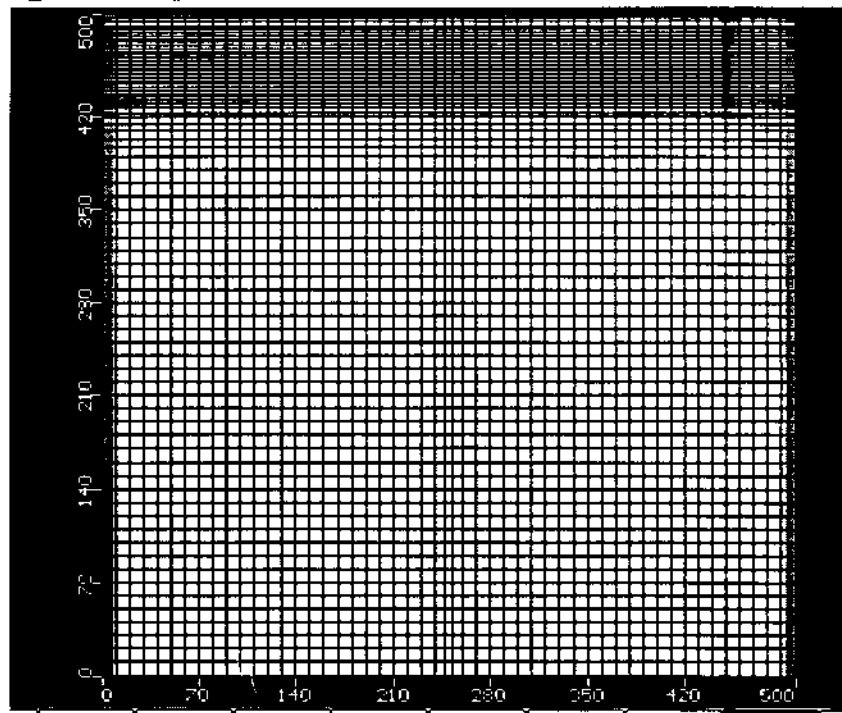
Der er fastholdt trykniveau i den nedstrømsrand lag 4 til 8, svarende til, at grundvandet afstrømmer til en sø med konstant vandspejl i 4,5 m jf. figur 7.1. Trykket på 4,5 m er tilpasset af modellen inden for de celler, hvor der er defineret fastholdt tryk.



Figur 7.1. Modellens nedstrøms rand svarende til snit gennem række 74 (modellens endeblade), hvor der er fastholdt trykniveau.

Impermeabel rand

Randbetingelserne er valgt, så der ikke sker indstrømning af vand fra den opstrøms rand. Dette vil betyde, at koncentrationen i grundvandet bliver større, end hvis der indstrømmer vand fra randen. Modelområdets randbetingelser fremgår af figur 7.2, hvor randbetingelserne er fastsat svarende til cellens udstrækning.



Figur 7.2. Modelområdets øverste lag, hvor det fremgår (celler med gråtone), at der er tæt rand undtagen nedstrøms.

7.2 Observationsboring og indvindingsboring

Indvindingsboringen er placeret 30 m nedstrøms de forskellige anlægsarbejder, centralt i modelområdet svarende til række 24 og søjle 26. Indvindingsboringens filterinterval er 2 m langt og placeret i lagene, som havde de højeste koncentrationer i kørslerne med stationære stoftransport uden oppumpning.

Placering af observationsboringer

Der er placeret 4 observationsboringer i søjlen med indvindingsboringen, og der er placeret en observationsboring ved den nedstrøms modelrand. Observationsboringerne har følgende observationsinterval angivet, som meter fra bunden.:

Navn	Søjle	Række	lag	Obs. interval, m
Top af model				
ol3	26	24	3	5-6
ol4	26	24	4	4-5
ol5	26	24	5	3-4
ol6	26	24	6	2-3
ol7ns	26	73	7	1-2
Bund af model				

Tabel 7.1 Placering af observationsboringer og deres filterinterval.

Placering af anlægsarbejder

For ikke at skulle flytte placeringen af indvindingsboring og observationsboring i forhold til de enkelte anlægsarbejder, er den opstrøms afgrænsning af anlægsarbejdet varieret. Herved er det muligt at fastholde

den nedstrøms afgrænsning af anlægsarbejdet og boringens placering. Dette var dog ikke muligt ved simulering af påvirkningen fra en plads. Den præcise placering af anlægsarbejdet fremgår bl.a. af kap. 6 og 9 til 13.

7.3 Parameter valg

Modellen er tilstræbt opsat, så den vil give en konservativ, sikker vurdering af udvaskningen til grundvandet, hvor stofkoncentrationen vil overestimeres.

7.3.1 Modellens størrelse og hydrogeologiske parametre

Modellens størrelse er valgt ud fra en afvejning af, at der kun måtte være begrænsede randeffekter ved de valgte indvindingsmængder, og at simuleringstiden skulle være rimelig dvs. max. omkring 8 timer pr. kørsel.

Hydrogeologiske parametre

Grundvandsdannelsen er fastsat til 350 mm/år og distribueret ensartet over hele modelområdet. Dette er en meget stor grundvandsdannelse, som vil betyde en stor stoftilførsel til magasinet og dermed relativ stor koncentration, når gradienten samtidig er lille.

Gradienten for området er i gennemsnit ca. 5 ‰ svarende til at grundvandsspejlet falder fra 7,30 m til 4,50 m over 500 m. I området, hvor anlægsarbejdet og borerne placeres er gradienten lavere, omkring 1 ‰.

Magasinets parametre er:

Magasintal, $S=S_y=0,2$

Hydraulisk ledningsevne, $K_x=K_y=1e-4$ m/s, $K_z=K_x/10=1e-5$ m/s

Total porøsitet, $n=0,3$

Effektiv porøsitet, $E_w=0,2$

Longitudinal dispersion $\alpha_x=0,45$ m, horisontal dispersivitets forhold = 0,0022 og vertikalt dispersivitetsforhold=0,00111.

Modelstof

Stofkoncentrationerne er følgende:

Porevandskoncentration fra restprodukt: 100 µg/l

Stofkoncentrationen i vand som infiltrerer gennem restproduktet mindskes ikke i koncentration, som funktion af tiden. Begrundelsen er, at massen af stof i restproduktet er så stor, at udvaskningen vil kunne foregå i tusinder af år jf. afsnit 14.5.

Baggrundskoncentrationen i magasin og infiltrerende vand: 6 µg/l

Når der sker beregning i forhold til de forskellige stoffer, som findes i restproduktet og naturligt i grundvandet, benyttes koncentrationen svarende til 90 % fraktilen fra GRUMO '97 jf. /1, 2/.

8 Fremgangsmåde

Trin i vurdering af

Ved de forskellige anlægsarbejder varieres areal, placering og nedslivning og følgende fremgangsmåde er valgt for alle anlægstyper:

1. Først etableres der *stationær grundvandsstrømning*, hvor der ikke indgår stoftransport.
2. I næste trin foretages der en *stationær stoftransport* uden oppumpning, hvor der tilføres stof fra anlægsarbejdet. Simulering fortsættes indtil stofkoncentrationen er konstant i observationsboringerne forskellige lag. Koncentrationen i de forskellige lag kan nu bestemmes. Den gennemsnitlige koncentration er angivet fra 10 til 50 år eller fra 10 til 100 år.
3. I dette trin *bestemmes det kritiske filterniveau*, svarende til de 2 m i magasinet med højest stofkoncentration. Dette findes ud fra resultatet af trin 2. Derefter placeres indvindingsboringens filter i niveauet med højest koncentration.
4. Koncentrationen i indvindingsvandet er bestemt ved en oppumpning på hhv. 400 og 10.000 m³/år. Den gennemsnitlige koncentration er angivet fra 10-20 år, hvor der er opnået stationære forhold.

Figur forklaring

Resultaterne er gengivet i kapitel 9 - 14, hvor der i hvert kapitel først gives en gennemgang af resultaterne efterfulgt af figurer med resultater fra hver kørsel.

Udskrifterne er placeret i samme rækkefølge for alle kørsler:

- a) Potentialekort for øverste lag i modellen med frit grundvandspejl.
- b) Stofkoncentrationen i samme lag ved modelkørsels afslutning.
- c) Stofkoncentrationen ned gennem modelområdet ved modelkørsels afslutning, i den kolonne hvor observationsboringer og indvindingsboring er placeret.
- d) Stofkoncentrationen på tværs gennem modelområdet ved modelkørsels afslutning, den række hvor observationsboringer og indvindingsboringer er placeret.
- e) Koncentrationen som funktion af tiden i observationsboringer og indvindingsboring.

9 Simuleringsresultat for støjvold

Vold uden infiltrations reduktion

Ud fra ønsket om at anvende restprodukt/forurenet jord til støjvold og ramper til broer er der opstillet et scenarium, hvor støjvolden placeres to celler fra den opstrøms modelrand svarende til 6,66 m. Indledende kørsler har vist, at en placering helt op ad modelranden giver uønskede randeffekter, herunder transporttider på flere hundrede år. Støjvolden har som udgangspunkt en bredde på 20 m og en længde på 500 m svarende til modellens udstrækning. Infiltrationen gennem støjvolden blev sat lig nettonedbøren 30 m nedstrøms for støjvolden er der placeret en indvindingsboring centreret i modelområdet. I den søjle, hvor boringen er placeret, er der i lag 3 - 6 placeret observationsboringer.

9.1 Stationær strømning

Hydrogeologiske forhold

Figur 9.2 vises lag 1 i modelområdet ved stationære strømningforhold. Af figuren fremgår, hvilke celler der er umættet, markeret som mørke på figuren, og hvilke der er mættet markeret som lyse på figuren. Potentialet kan aflæses i de mættede celler. Output fra kørslerne viser, at vandet ved den opstrøms modelrand er stort set stillestående, hvilket er begrundelsen for at volden med restprodukt er flyttet 6,66 m nedstrøms den impermeable rand. Gradienten, i det område hvor støjvold og indvinding er placeret, er ca. 0,9 o/oo.

Den gennemsnitlige porevandshastighed er aflæst til mellem 8 og 11 m/år i området fra vold til boring og over hele modelområdet, er den aflæst til mellem 33 og 47 m/år.

9.2 Stationær stoftransport

Figur 9.3 viser stoffordelingen i lag 1 efter 100 år. Det fremgår af figuren, at koncentrationsgradienten er mere flad nedstrøms end opstrøms. Da nettonedbøren er den samme over hele modelområdet, er det ikke muligt med Visual Modflows printfacilitet, at fremstille figurer der på tilfredsstillende vis viser placeringen af volden.

Koncentrationsprofiler i grundvandet

Fig. 9.4 og 9.5 viser profiler gennem modelområdet efter 100 år ved en infiltration gennem volden på 350 mm/år, hvor koncentrationen af stof er mellem 84 og 99 µg/l umiddelbart under volden, mens koncentrationen er faldet til ca. 19 µg/l i lag 7 ved den nedstrøms rand.

Fig. 9.6 viser koncentrationen af modelstoffet i de forskellige lag som funktion af tiden. Koncentrationen i lag 4 og 5 er højest og hhv. 43,7 µg/l og 41,6 µg/l efter 100 år. Som det ses, er der stationære forhold allerede efter ca. 10 år, selv om koncentrationen i lag 4 svinger med ca. 3 µg/l og i lag 5 med 8 µg/l. I den nedstrøms observationsboring 017ns, ses det, at der er stof gennembrud efter ca. 11 - 12 år, dvs. en porevandshastighed på ca. 42 m/år som gennemsnit over hele modelområdet.

9.3 Kritisk filterniveau

Det mest kritiske filterniveau for en indvindingsboring placeret i 30 meters afstand fra restprodukter, er i lag 4 og 5, hvor koncentrationen er højest.

9.4 Variation af indvindingsmængden

Koncentrationsprofiler ved indvinding

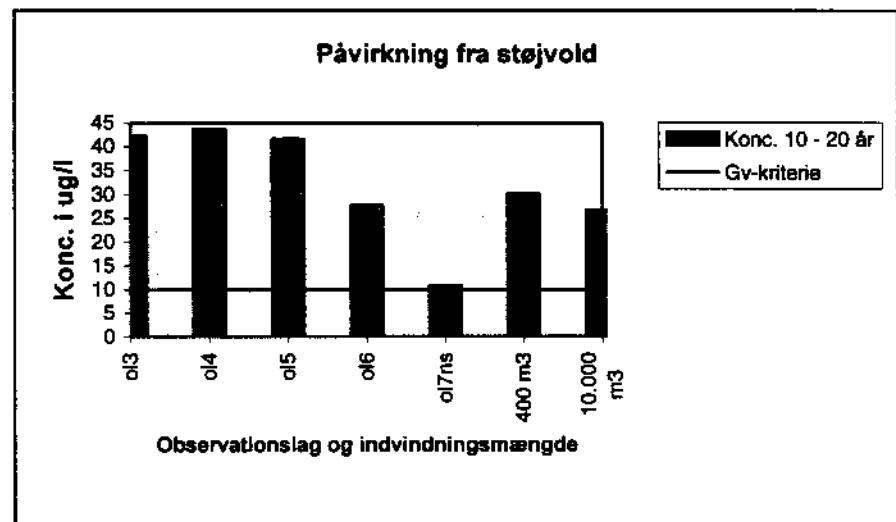
Figur 9.7 til 9.11 viser profiler, koncentrationen over tid i observationsboringerne og potentialet efter 20 år ved en oppumpning på 400 m³/år. Oppumpningen er så lille, at den ikke påvirker potentialforløbet. Det er stort set samme koncentrationsfordelingen og potentialebillede, som ved stationær stoftransport uden indvinding. Koncentration er omkring 35 µg/l i lag 4 og 25 µg/l i lag 5 efter 20 år. Koncentrationen i indvindingsvandet vil være omkring 30 µg/l og over grundvandskvalitetskriteriet på 10 µg/l.

Figur 9.12 til 9.16 viser koncentrationsfordelingen ved en oppumpning på 10.000 m³/år efter 20 år. Som det ses ud fra potentialekurverne, er indvindingen nu så stor, at afsænkningen nu påvirkes af modellens sider og den opstrøms rand. Der dannes et nedstrøms grundvandsskel ca. 100 m fra indvindingsboringen, hvorfra der strømmer vand hen til boringen. Det samme sker til dels sideværts for boringen. Indvindingsboringen fungerer i princippet som en effektiv afværgeboring, som forhindrer spredning af forurening fra volden nedstrøms for boringen. Koncentrationen i indvindingsvandet er omk. 27 µg/l og overskrider stadig grundvandskvalitetskriteriet på 10 µg/l.

9.5 Vurdering af påvirkning fra støjvold

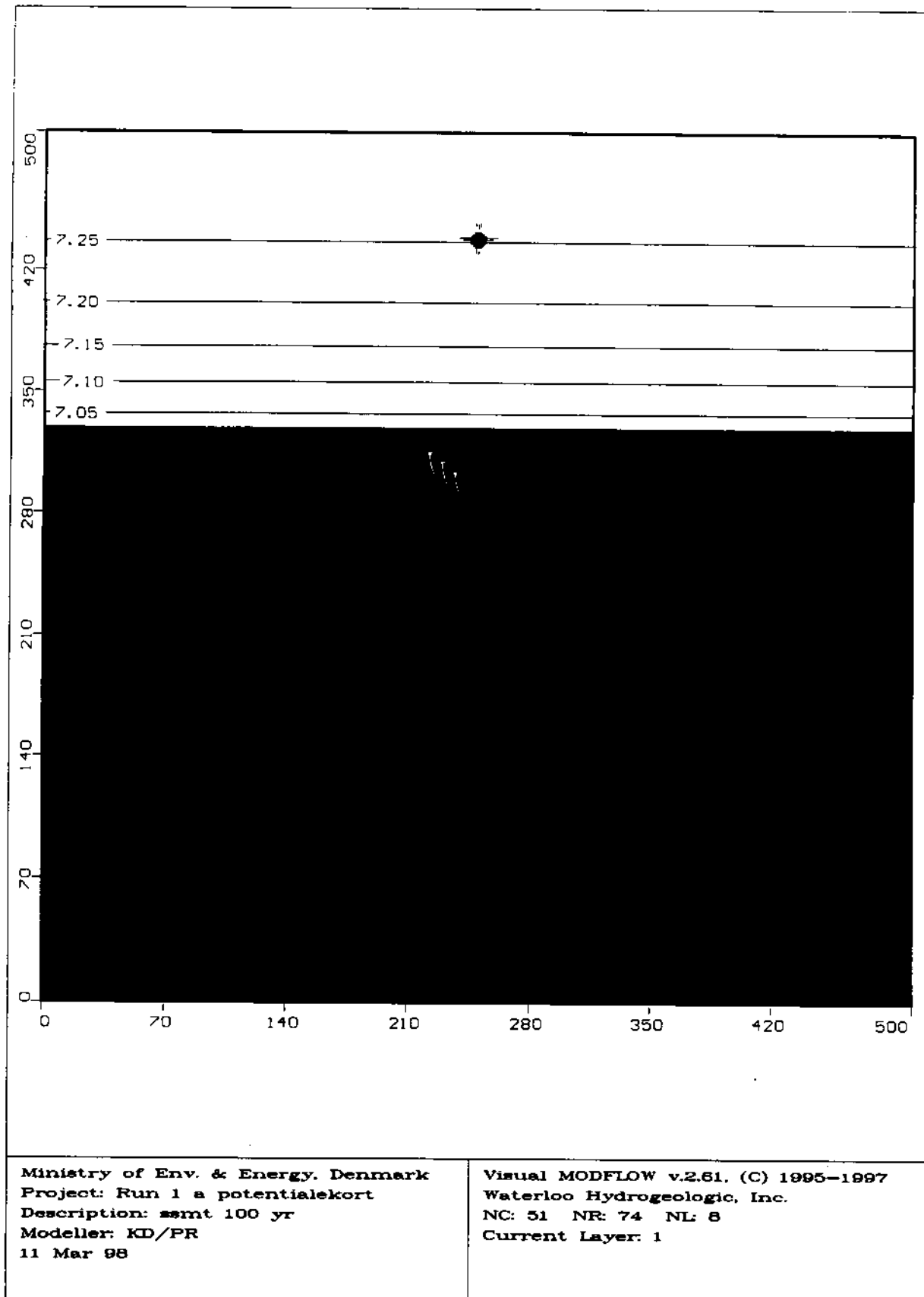
Påvirkning fra støjvold

Der er udlagt en støjvold vinkelret på grundvandsstrømmen 6,66 m fra den opstrøms modelrand. Det er forudsat, at støjvolden gennemsvives af samme mængde nedbør som de omkringliggende arealer. Påvirkningen af vandkvaliteten ses i figur 9.1 Det fremgår, at udvaskningen fra støjvolden overskrider grundvandskvalitetskravet både i magasinet og i indvindingsvandet ved 400 m³/år og ved 10000 m³/år.



Figur 9.1. Stofkoncentrationer i grundvandsmagasinet og indvindingsvandet ved udvaskning fra en støjvold.

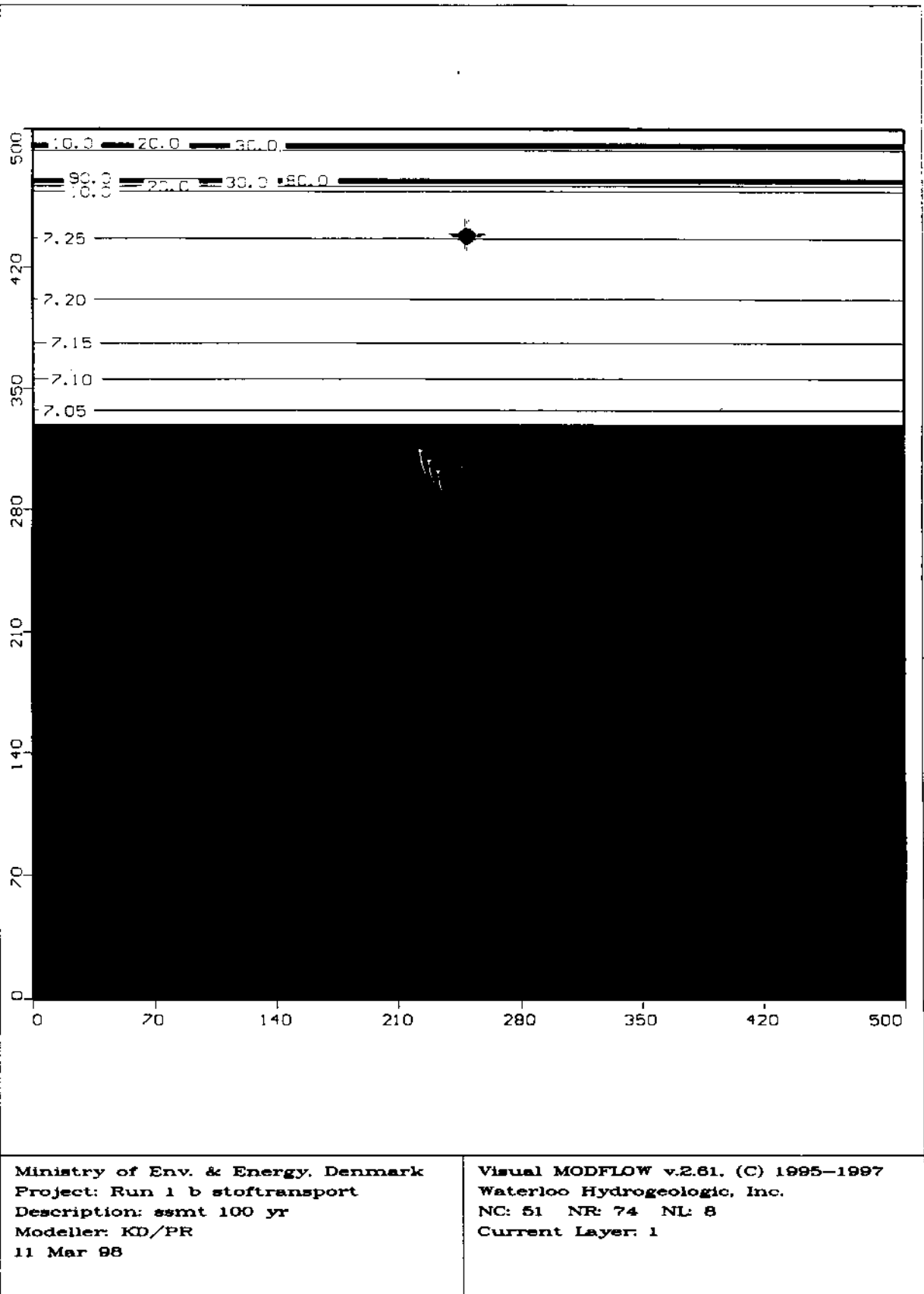
Figur 9.2



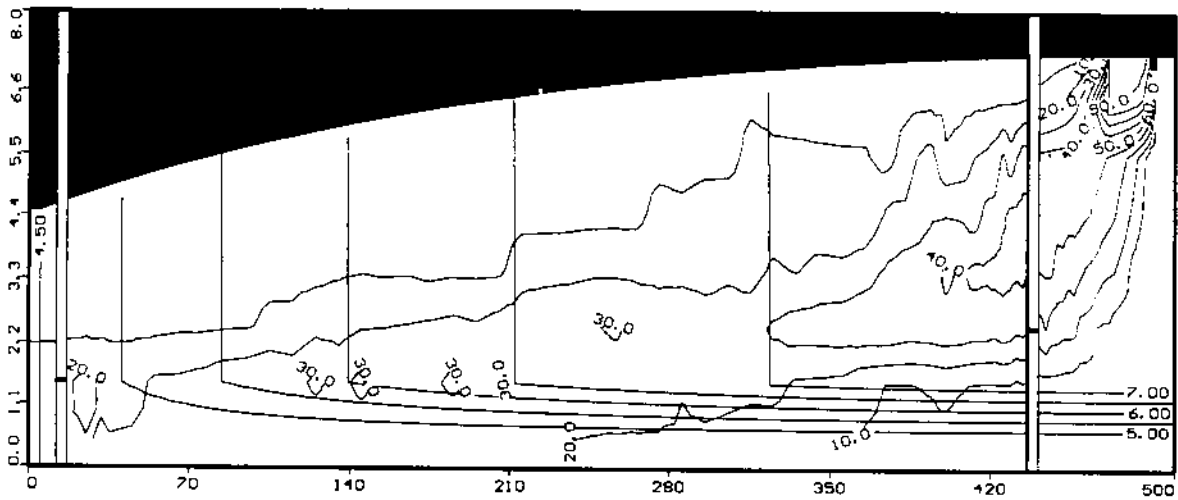
Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 1 a potentialekort
Description: ssmt 100 yr
Modeller: KD/PR
11 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61. (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 1

Figur 9.3



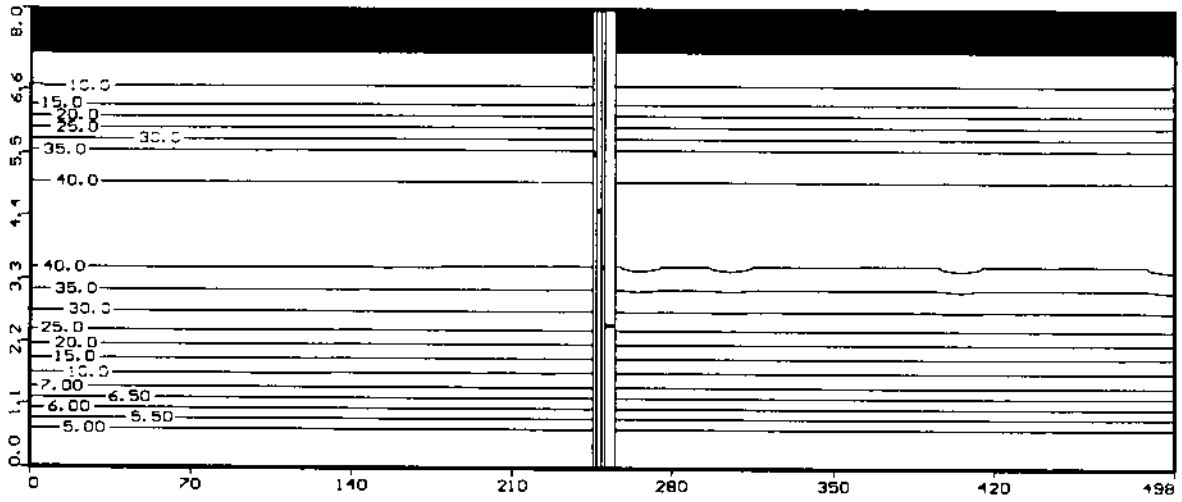
Figur 9.4



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 1 c stoftransport
Description: smt 100 yr
Modeller: KD/PR
11 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 26

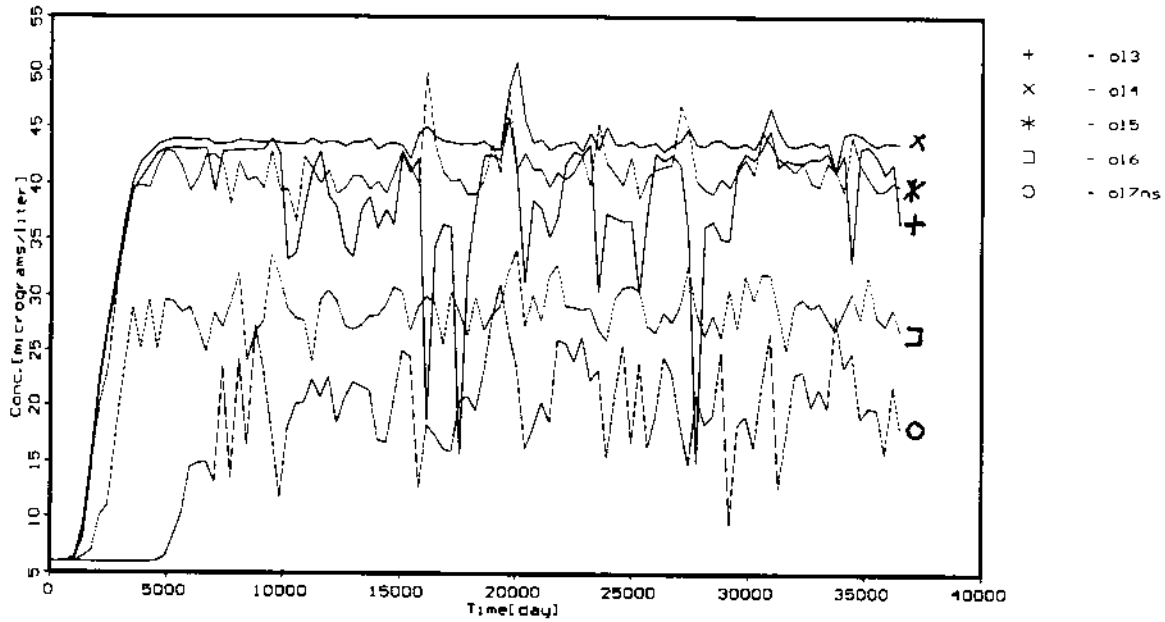
Figur 9.5



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 1 d stoftransport
 Description: smt 100 yr
 Modeller: KD/PR
 11 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Row: 24

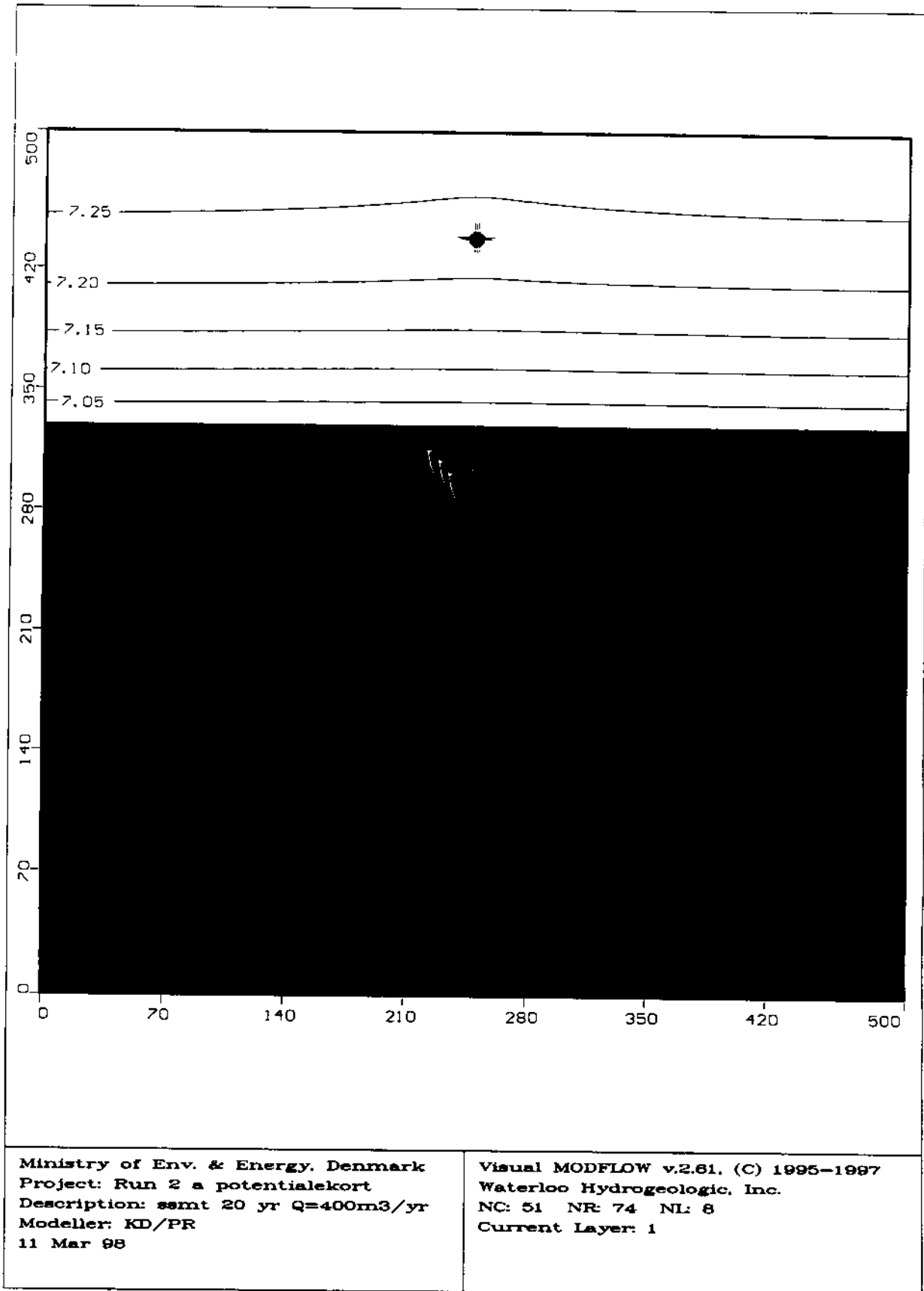
Figur 9.6



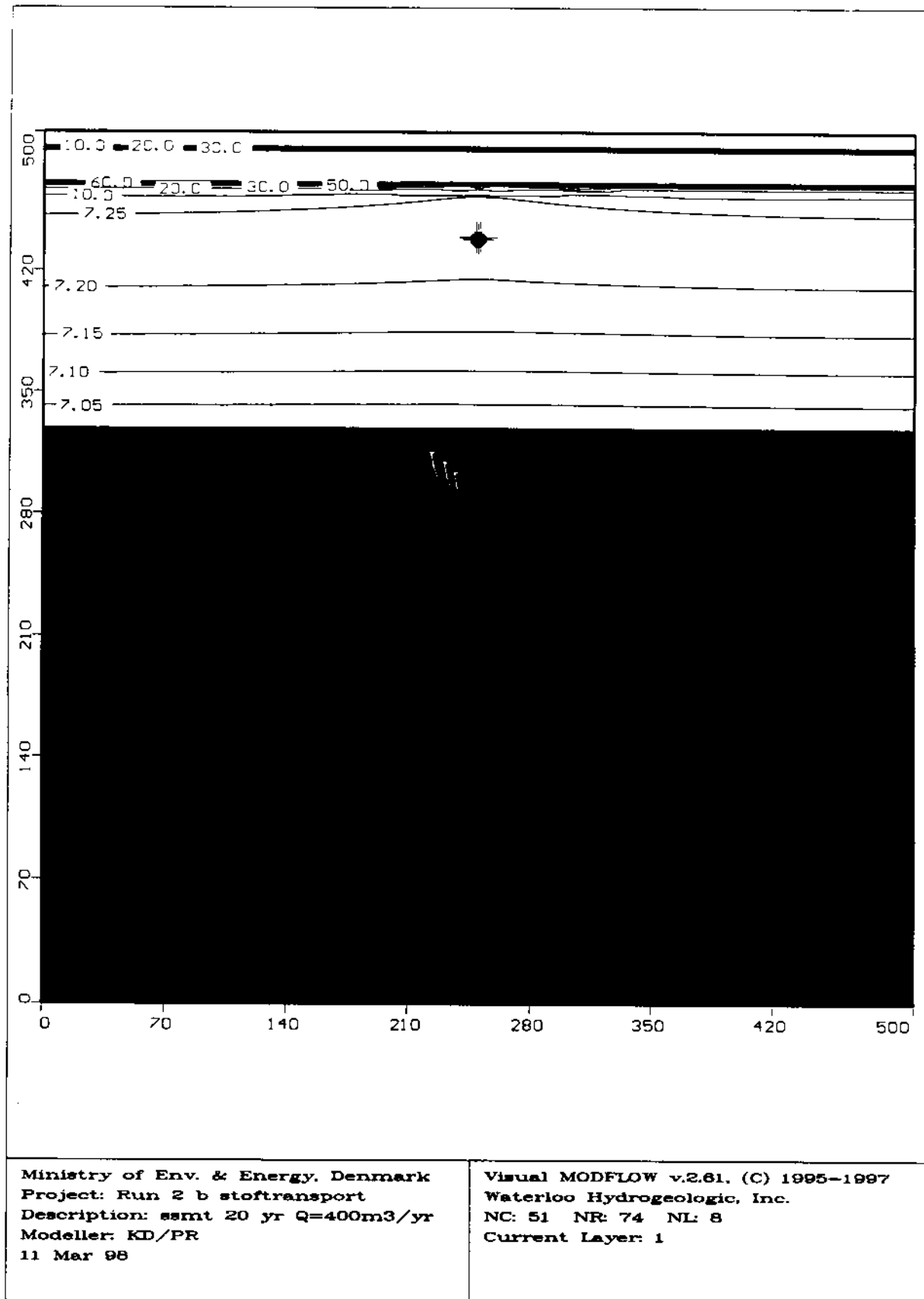
Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 1 e stoftransport
Description: ssmt 100 yr
Modeller: KD/PR
11 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 1

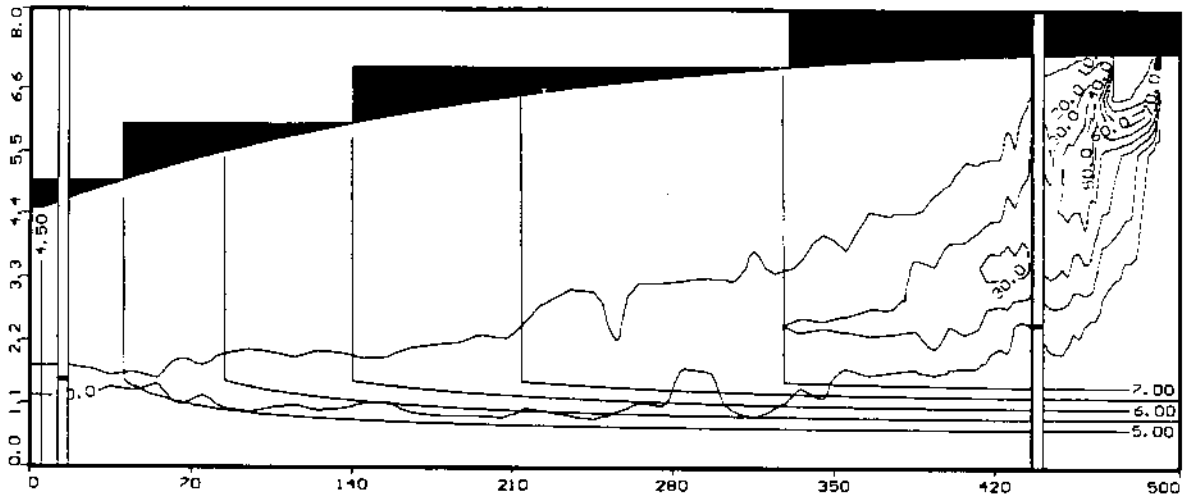
Figur 9.7



Figur 9.8



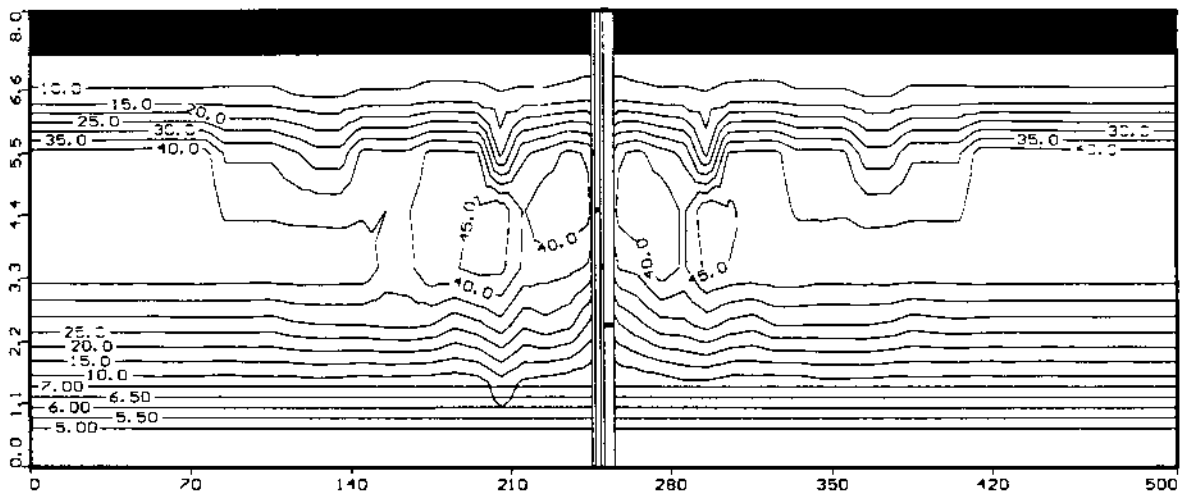
Figur 9.9



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 2 c stoftransport
Description: ssmt 20 yr Q=400m³/yr
Modeller: KD/PR
11 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61. (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 28

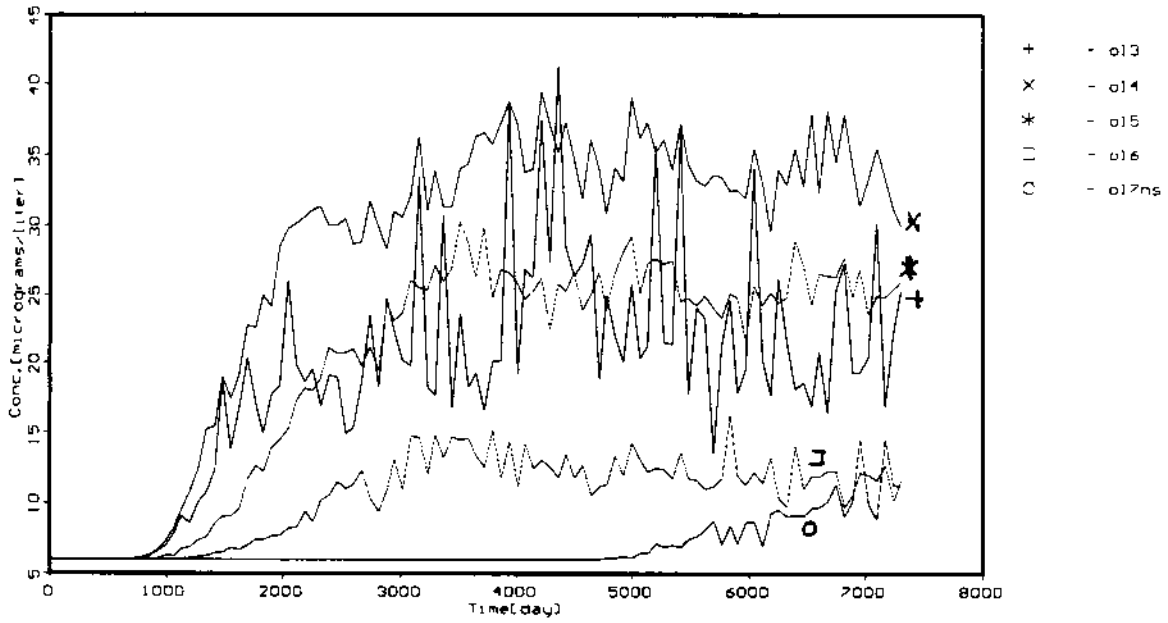
Figur 9.10



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 2 d stoftransport
Description: smt 20 yr Q=400m3/yr
Modeller: KD/PR
11 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Row: 24

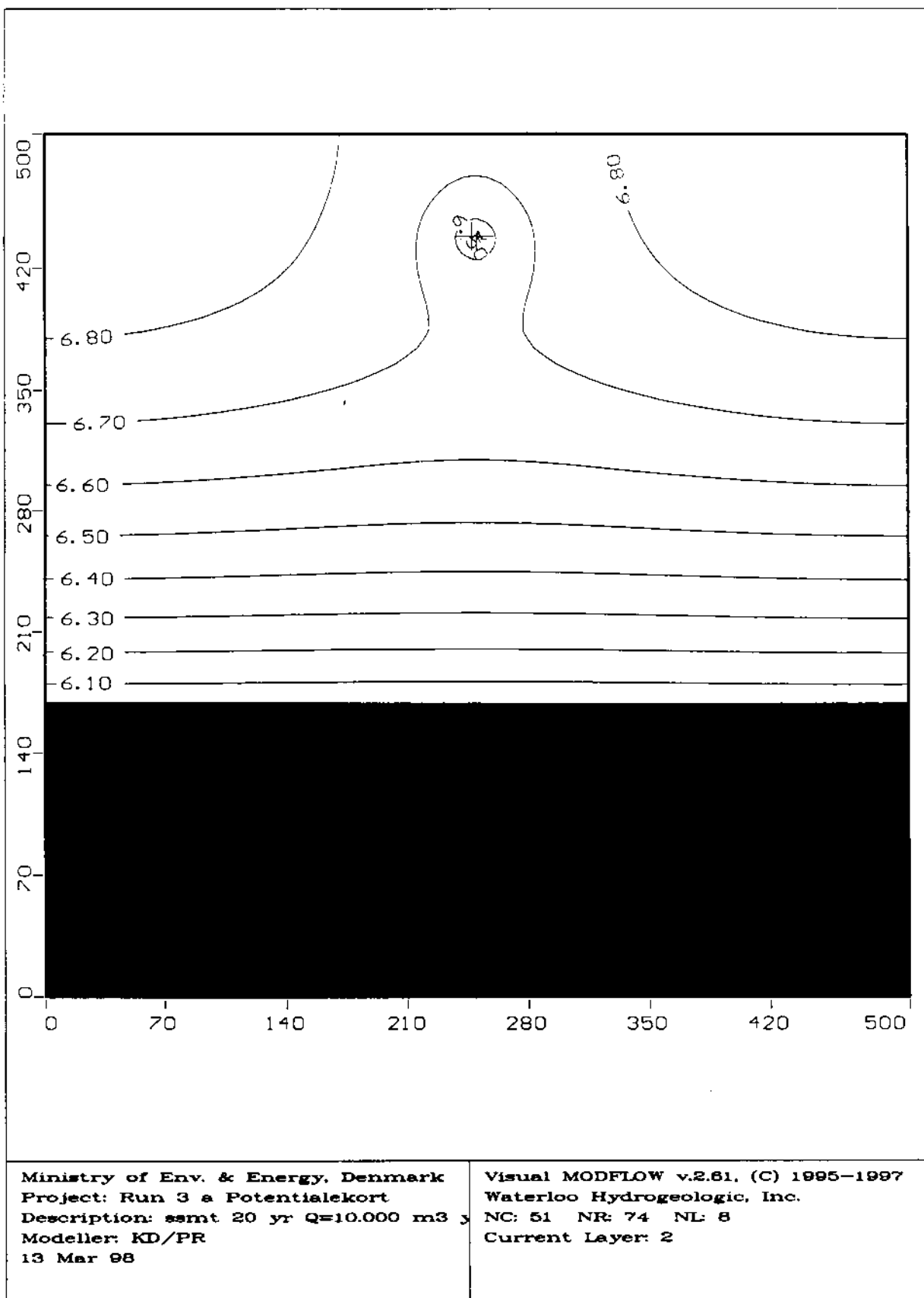
Figur 9.11



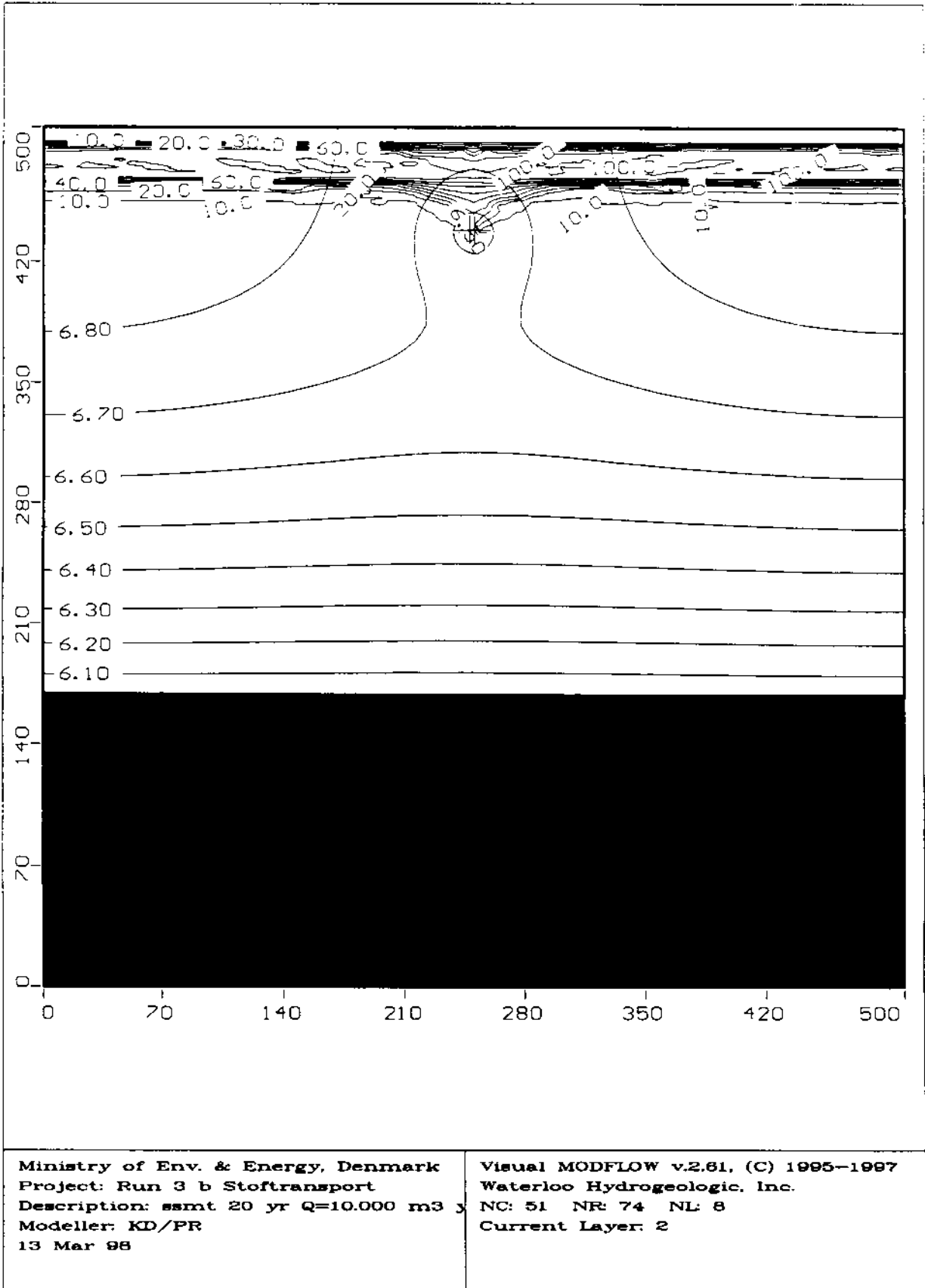
Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 2 e stoftransport
 Description: ssmt 20 yr Q=400m³/yr
 Modeller: KD/PR
 11 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Layer: 1

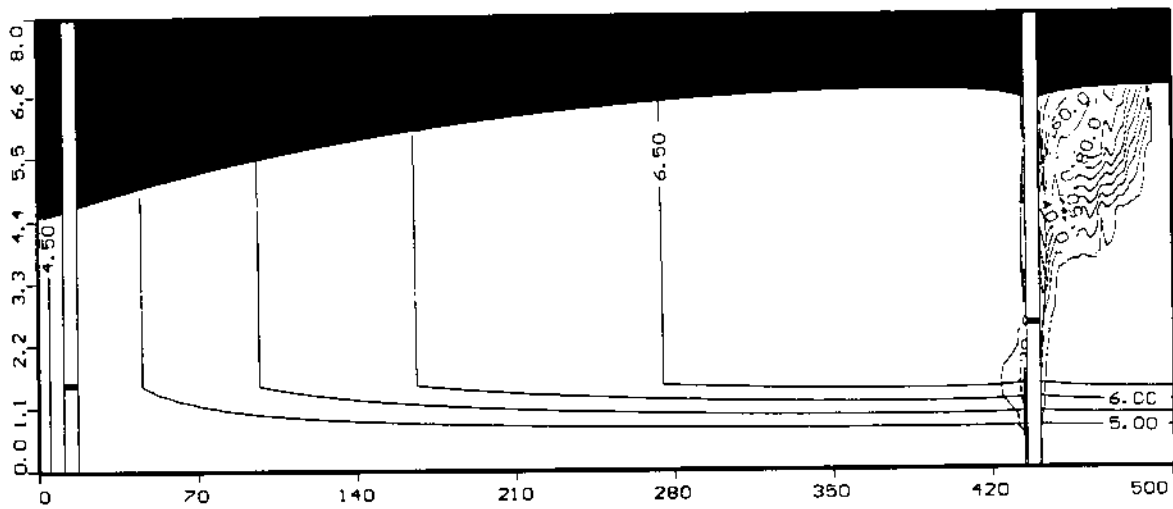
Figur 9.12



Figur 9.13



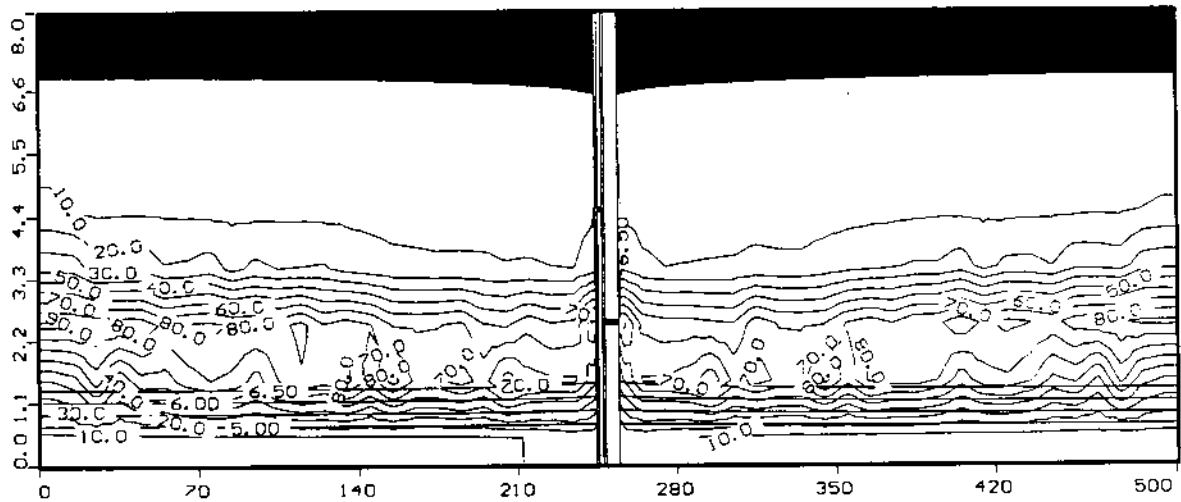
Figur 9.14



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 3 c Stoftransport
Description: ssmt 20 yr Q=10.000 m3 y
Modeller: KD/PR
13 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 26

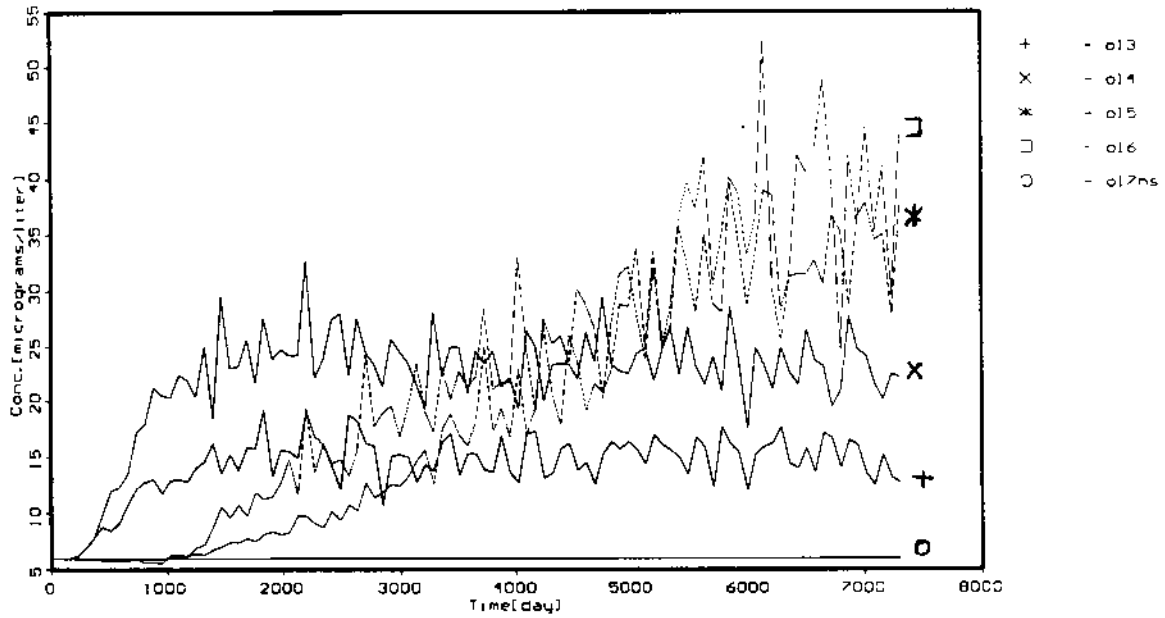
Figur 9.15



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 3 d Stoftransport
Description: smt 20 yr Q=10.000 m3 yr
Modeller: KD/PR
13 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Row: 24

Figur 9.16



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 3 e Stoftransport
 Description: ssmt 20 yr Q=10.000 m3 yr
 Modeller: KD/PR
 13 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Layer: 2

10 Simuleringsresultat for vej

Ud fra et ønske om at anvende restprodukter/jord til veje er der opstillet en model, der skal simulere påvirkningen fra en vej. Værste tilfælde vil være, når vejen ligger opstrøms vandforsyningen parallelt med grundvandsstrømmen. Det kan vises, at vejen blot skal drejes 2 - 3 grader, før mængden af perkolat fra vejen, på baggrund af det teoretiske indvindingsopland, ikke medfører at kriterierne overskrides selv ved små indvindinger. Der er derfor taget udgangspunkt i en vej, hvor grundvandsstrømmen er vinkelret på vejen hen mod indvindingsboringen som repræsenterede værste tilfælde. En drejning af vejen i forhold til strømningens retning vil medføre, at afstanden vandet skal strømme mellem vej og boring stiger, og opblandingen vil derfor også stige.

10.1 Stationær strømning

Effekten af veje må forventes, at være meget forskellig afhængig af om der foretages opsamling og bortledning af nedbøren eller om nedbøren løber ud over vejkanterne og bortledes via dræn/grøfter

Det har ikke været muligt, at finde eksakte værdier i litteraturen for hvor meget af nedbøren, der falder på vejen, der vil løbe igennem vejkassen, hvis vejen ikke er forsynet med opkant til opsamling af nedbøren. Da veje konstrueres således, at der ikke skal løbe nedbør igennem vejkassen af hensyn til stabiliteten, er nedsivningen i dette tilfælde antaget at være 50 % af nettonedbøren.

Infiltration gennem vej

For veje forsynet med opkant dimensioneres regnvandsledninger til, at bortlede 85 - 95 % af den nedbør, der falder på vejen. Den øvrige del forventes at fordampe, idet den falder som små nedbørshændelser, der ikke belaster regnvandssystemet. Nedbøren gennem veje, der er forsynet med opkant og regnvandsledninger, er fastsat til 10 % af nettonedbøren, hvilket forventes, at være opfyldt selv for veje, der er dårligt vedligeholdt. De 10 % af nedbøren antages at nedsive gennem diverse revner, sprækker og lignende utætheder i vejen

Fig. 10.3 og 10.8 viser potentialekurverne og placering af vej ved stationære strømningforhold. Vandet ved den opstrøms modelrand er stort set stillestående. Gradienten kan aflæses til 0,6 o/oo ved infiltration på 175 mm/år gennem vejen og 0,5 o/oo ved infiltration på 35 mm/år gennem vejen i det område, hvor restprodukt og indvinding placeres.

Den gennemsnitlige porevandshastighed er aflæst til ca. 8 - 9 m/år ved 175 mm/år og 7 - 8 m/år ved 35 mm/år i området fra vej til boring.

10.2 Stationær stoftransport

For veje lige som for støjvolde gælder det, at der vil være et indhold af stoffer, der kan udvaskes over en længere årrække. Mængden af restprodukt/jord, der kan placeres pr. meter vej, er mindre end for

støjvolde, men da infiltration gennem restproduktet nedsættes, vil der ikke være nogen praktisk forskel i forhold til det samlede udvaskningspotentiale, som er beregnet for støjvolde i kapitel 14.

Vej uden afløb

Fig. 10.4 viser potentialekurver og koncentrationsisoliner for lag 1 efter 50 år, hvor koncentrationen stiger op til vejen ved stationære strømningsforhold ved en infiltration på 175 mm/år.

Fig. 10.5 og 10.6 viser profiler gennem modelområdet efter 50 år ved en infiltration gennem vejen på 175 mm/år, hvor koncentrationen af stof er mellem 51 og 95 µg/l umiddelbart under vejen, mens koncentrationen er faldet til ca. 9 µg/l i lag 7 ved den nedstrøms rand.

Vej med afløb

Fig. 10.9 viser potentialekurver og koncentrationsisoliner for lag 1 efter 50 år, hvor koncentrationen stiger op til vejen ved stationære strømningsforhold ved en infiltration på 35 mm/år.

Fig. 10.10 og 10.11 er de tilsvarende figurer ved en infiltration på 35 mm/år gennem vejen, hvor koncentration varierer mellem 21 og 78 µg/l umiddelbart under vejen og der ses en mindre stigning til ca. 6,7 µg/l ved den nedstrøms rand i lag 7.

Fig. 10.7 viser koncentrationen af stof i de forskellige lag som funktion af tiden. Koncentrationen i ol4 og ol5 er højest og hhv. 22 µg/l og 21 µg/l i gennemsnit for 10 - 50 år. Som det ses, er der stationære forhold allerede efter ca. 6 år. I den nedstrøms observationsboring ol7ns, ses det, at der er stof gennembrud efter ca. 14 år, dvs. en porevandshastighed på ca. 35 m/år som gennemsnit over hele modelområdet.

Ved infiltration på 35 mm/år gennem vejen fremgår det af figur 10.12, at koncentration kun kortvarigt overstiger grænseværdien på 10 µg/l, hvorfor der ikke er fortaget yderligere simulering med indvinding.

10.3 Kritisk filterniveau

Det mest kritiske filterniveau for en indvindingsboring placeret i 30 meters afstand fra restprodukter, er i lag 4 og 5, hvor koncentrationen af stof er højest.

10.4 Variation af indvindingsmængde

Vej uden afløb

Figur 10.13 til 10.17 viser profiler, koncentrationen over tid i observationsboringerne og potentialet efter 20 år ved en oppumpning på 400 m³/år. Det er mindre ændringer af koncentrationsfordelingen og potentialebillede, i forhold til stationær stoftransport uden indvinding. Koncentration stiger i lag 4 til omkring ca. 25 µg/l i lag 4 og falder til ca. 13 µg/l i lag 5 efter 20 år. Koncentrationen i indvindingsvandet vil være omkring 19 µg/l og over grundvandskvalitetskriteriet på 10 µg/l.

Figur 10.18 til 10.22 viser koncentrationsfordelingen ved en oppumpning på 10.000 m³/år efter 20 år. Som det ses ud fra potentialekurverne, er

indvindingen nu så stor, at afsænkningen påvirkes af modellens sider og den opstrøms rand. Afsænkningen er så kraftig, at det øverste lag i modellen bliver umættet. Der dannes et nedstrøms grundvandsskel ca. 65 m fra indvindingsboring, hvorfra der strømmer uforurenet vand hen til boringen. Det samme sker til dels sideværts for boringen.

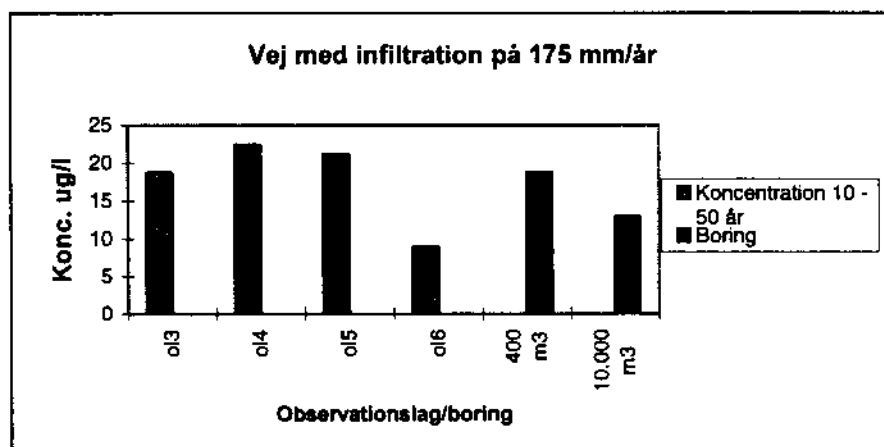
Indvindingsboringen fungerer i princippet som en effektiv afværgeboring, som forhindrer spredning af forurening fra vejen nedstrøms for boringen. Koncentrationen i indvindingsvandet er omkring 13 µg/l og overskrider stadig grundvandskravet på 10 µg/l.

10.5 Vurdering af påvirkning fra vej

Udvaskningen af stof fra anvendelsen af restprodukter/jord ved konstruktion af veje, giver to forskellige påvirkninger af vandkvaliteten alt efter om vejen er med eller uden afløb, som kan bortlede nedbøren.

Vej uden afløb

Udvaskningen af stof fra restproduktet/jord vil for veje uden afløb overskride grundvandskvalitetskriteriet både i magasinet og i indvindingsvandet jf. figur 10.1

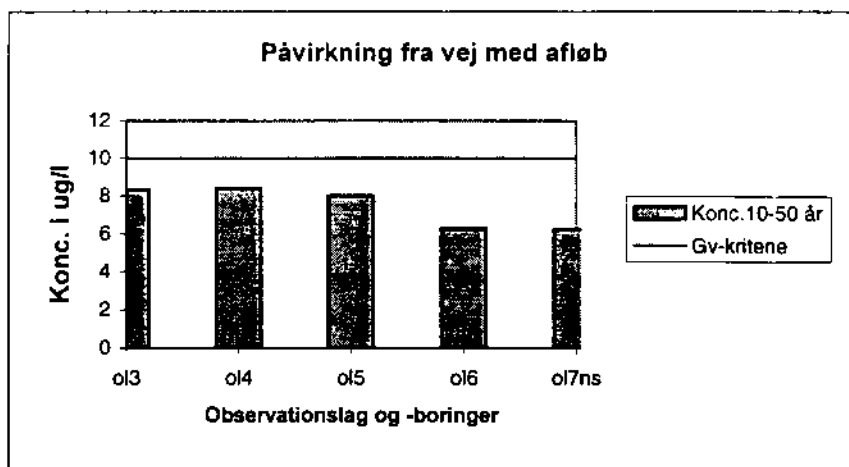


Figur 10.1 Stofkoncentrationer i grundvandsmagasinet og indvindingsvandet ved udvaskning fra veje uden afledning af overfladevand.

Vej med afløb

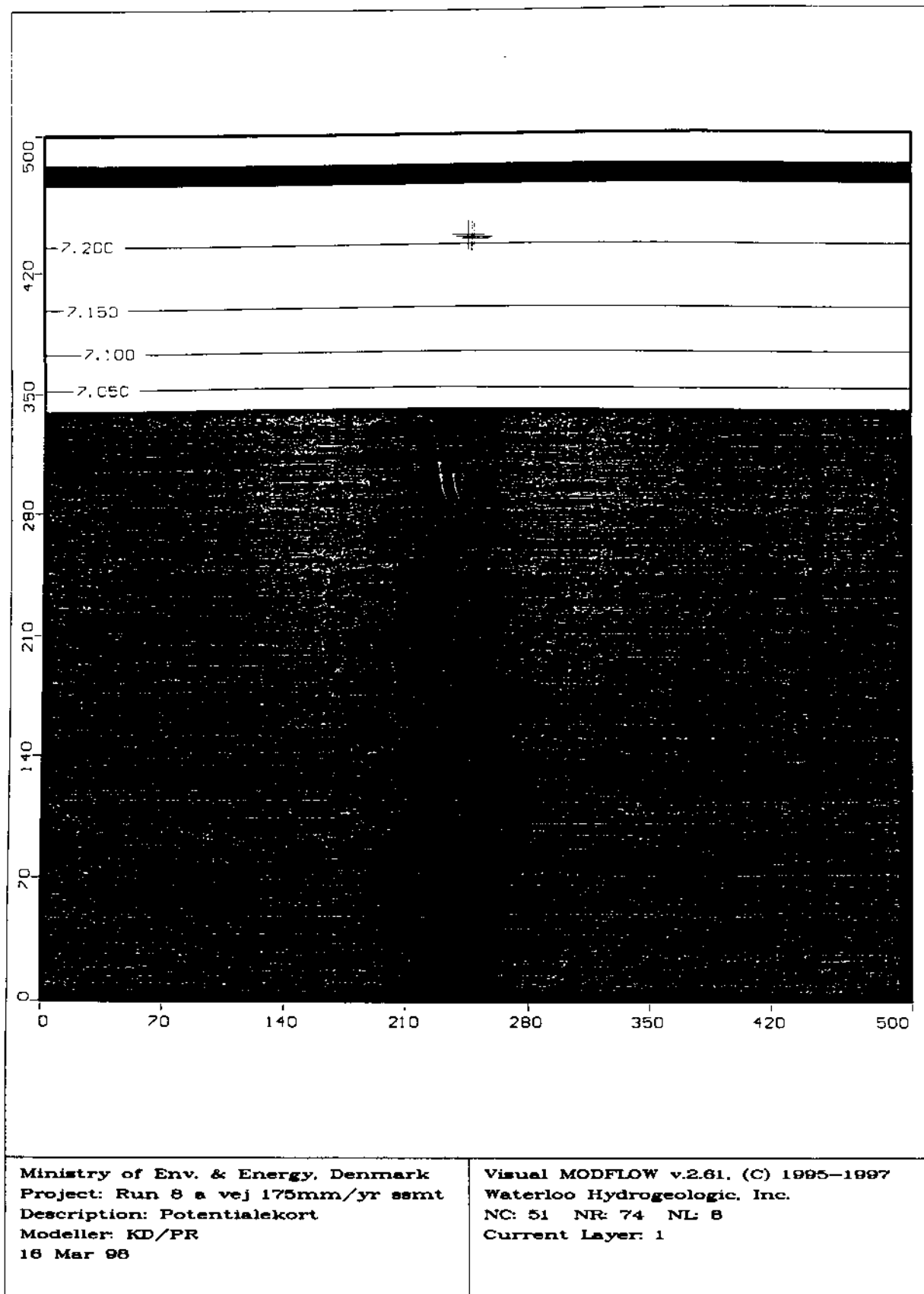
For veje med afløb vil restproduktet gennemsives af en mindre mængde af nedbøren hvilket er sat til 10 % af nettonedbøren. Som følge af at størstedelen af nedbøren afledes til kloak, påvirkes grundvandskvaliteten mindre.

Dette fremgår også af figur 10.2, idet grundvandskvalitetskriteriet overholdes i grundvandsmagasinet. Indvindingsvandet vil derfor også overholde grundvandskvalitetskriteriet. Der er ikke foretaget en simulering af påvirkningen under indvinding.

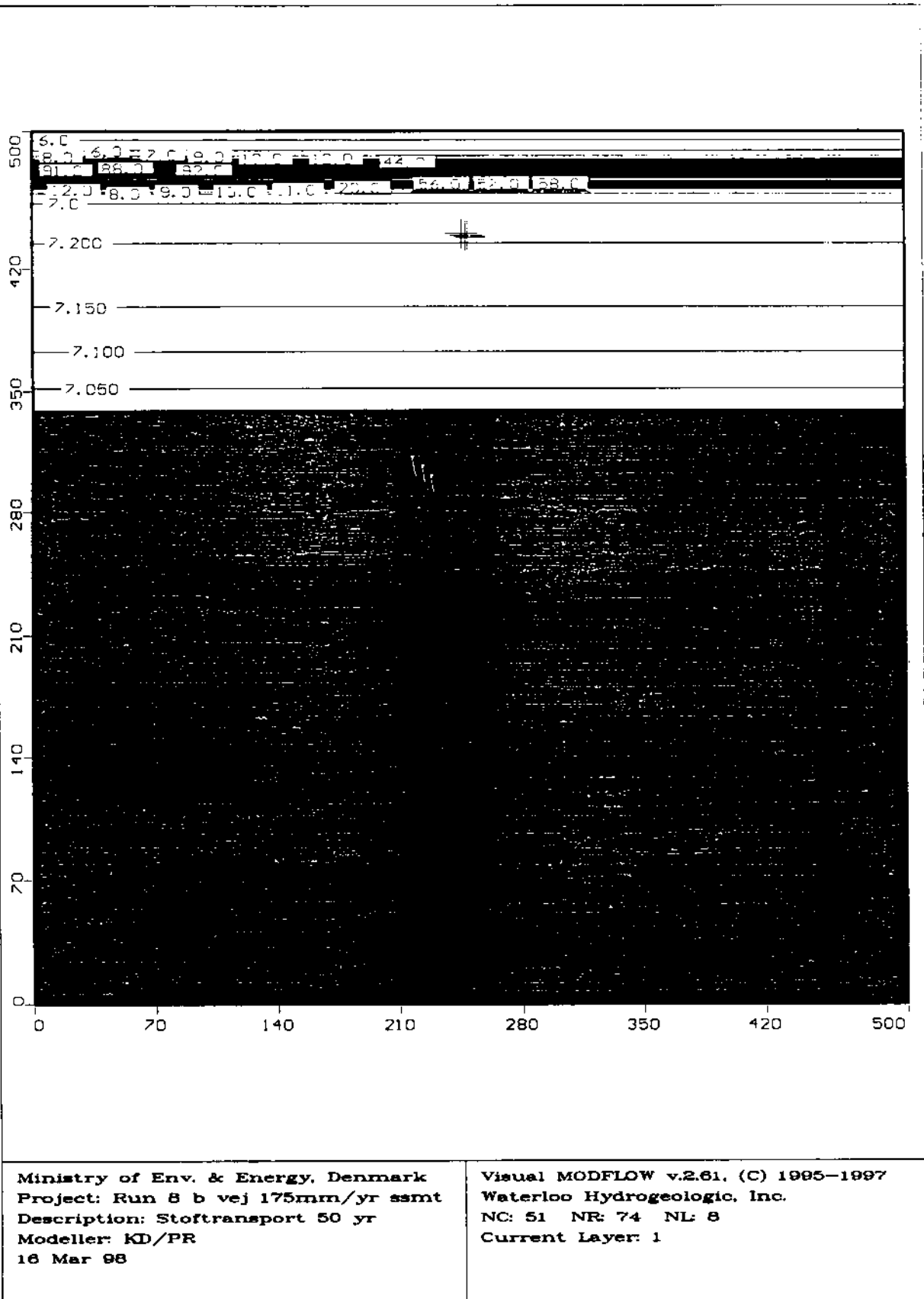


Figur 10.2 Stofkoncentrationer i grundvandsmagasinet og indvindingsvandet ved udvaskning fra veje med afledning af overfladevand.

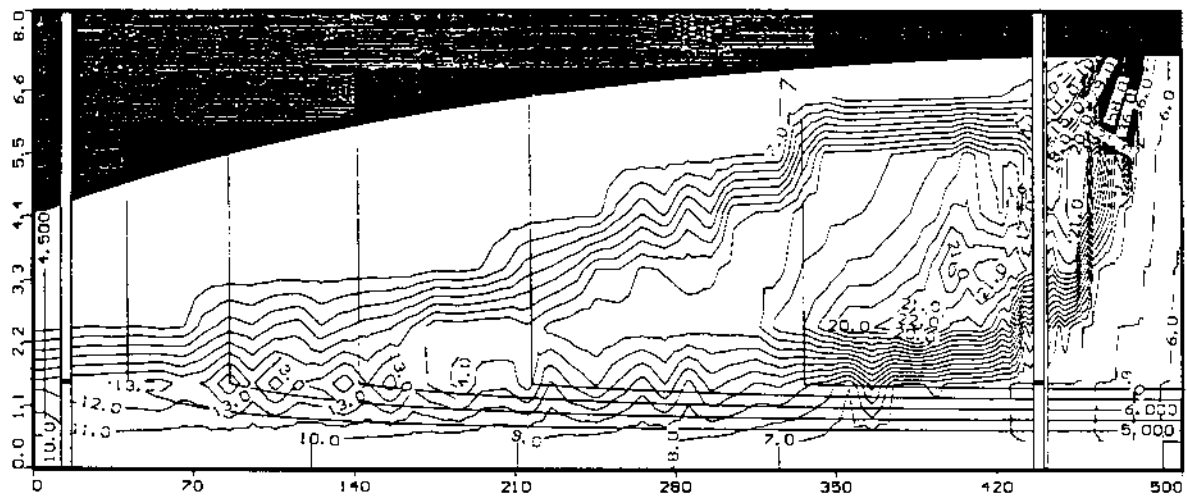
Figur 10.3



Figur 10.4



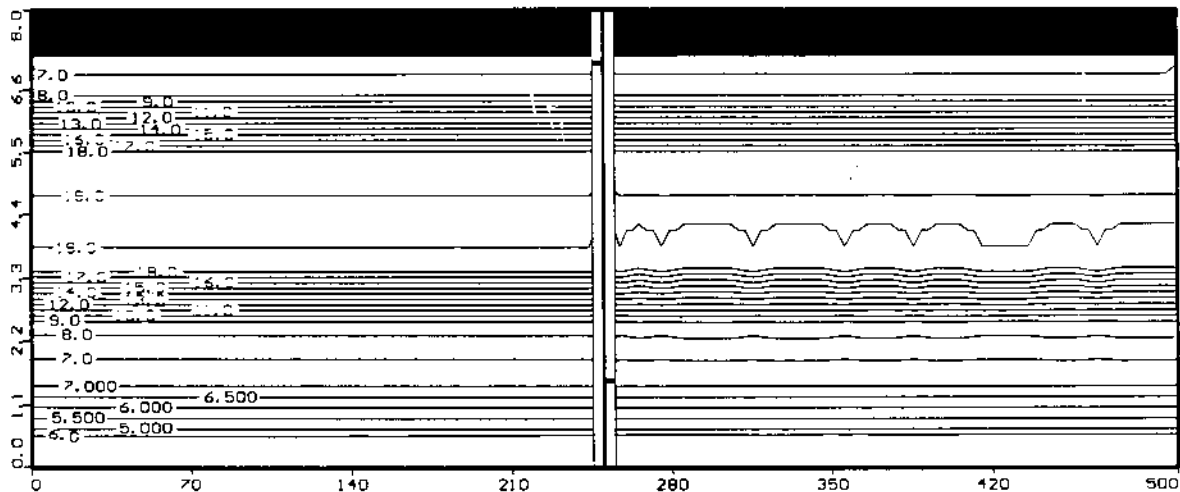
Figur 10.5



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 8 c vej 175mm/yr smt
Description: Stoftransport 50 yr
Modeller: KD/PR
16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 26

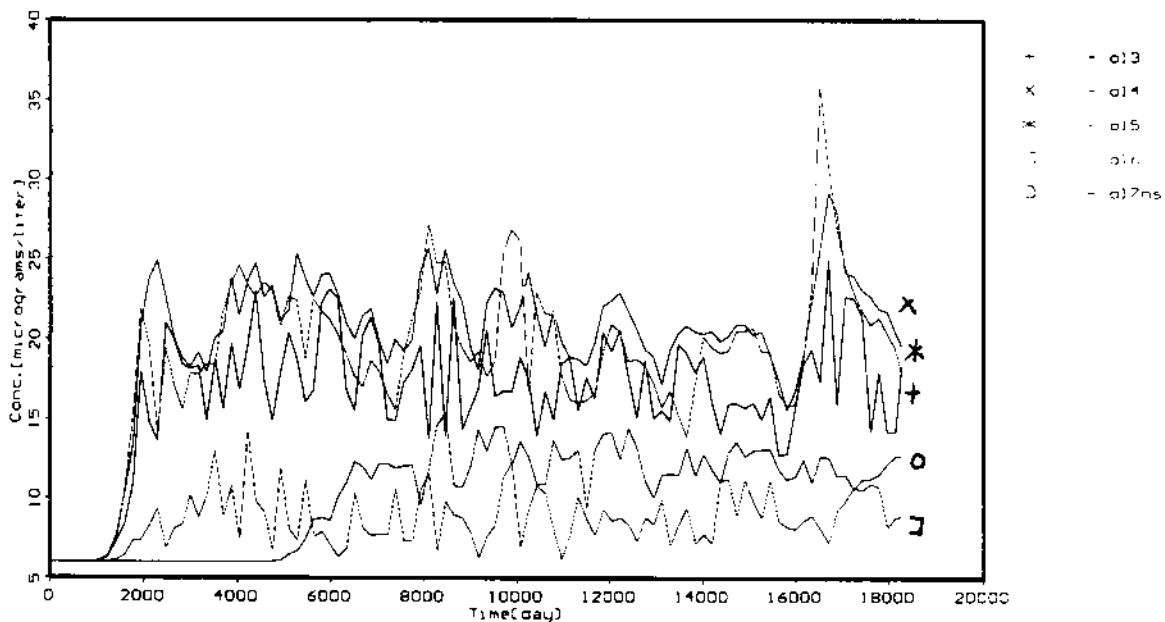
Figur 10.6



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 8 d vej 175mm/yr ssmt
 Description: Stoftransport 50 yr
 Modeller: KD/PR
 16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Row: 24

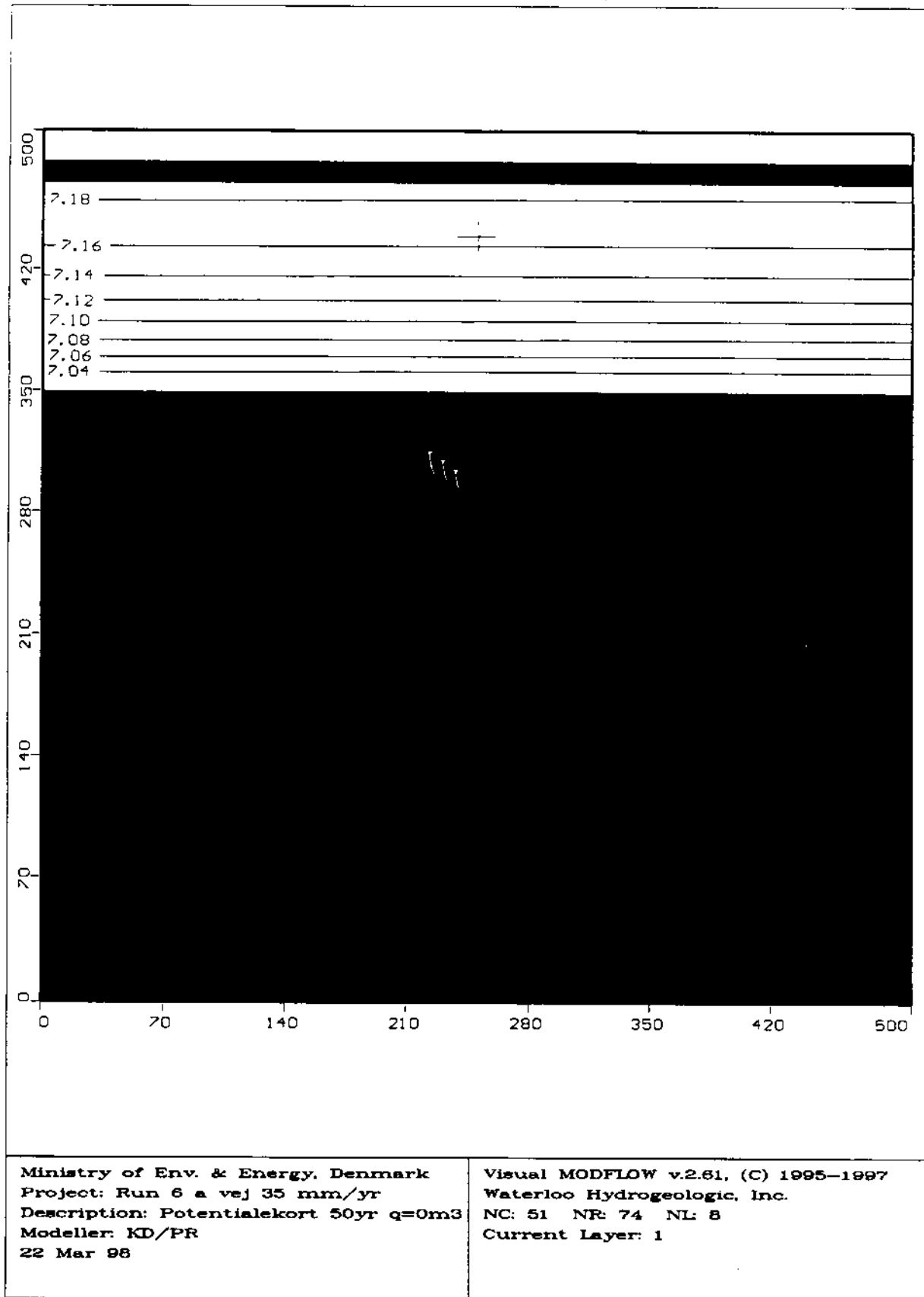
Figur 10.7



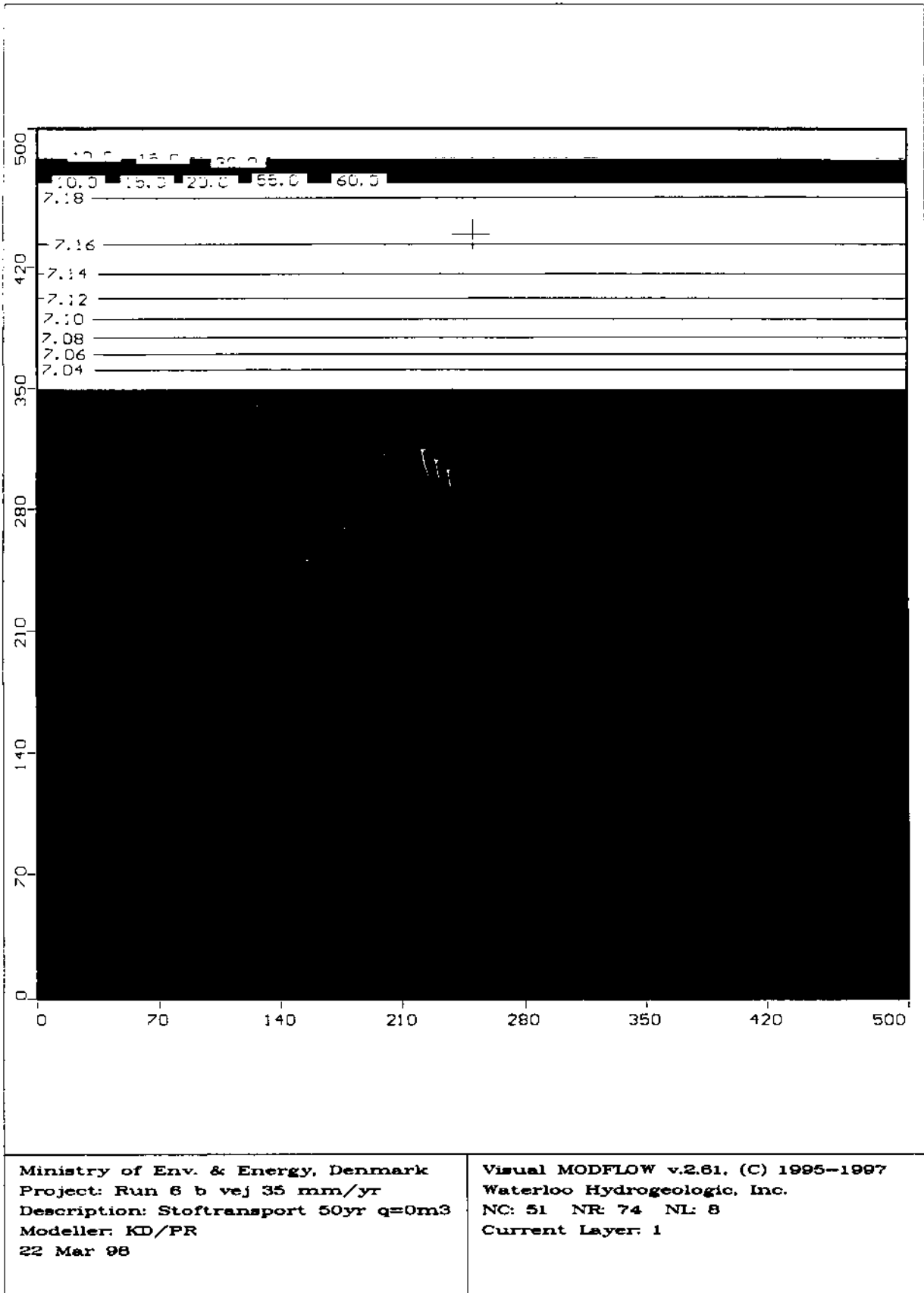
Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 8 e vej 175mm/yr ssm
 Description: Stoftransport 50 yr
 Modeller: KD/PR
 18 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Layer: 5

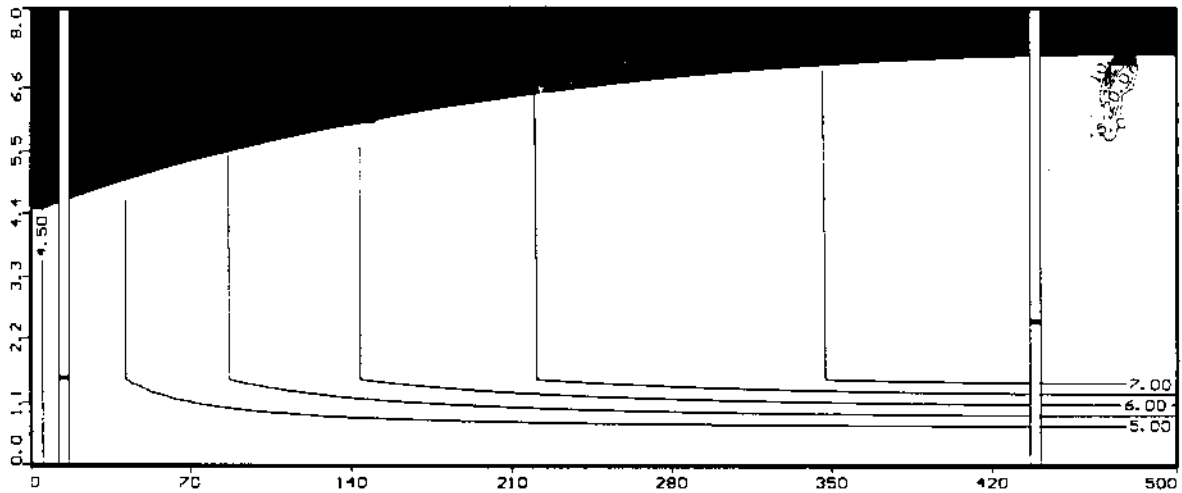
Figur 10.8



Figur 10.9



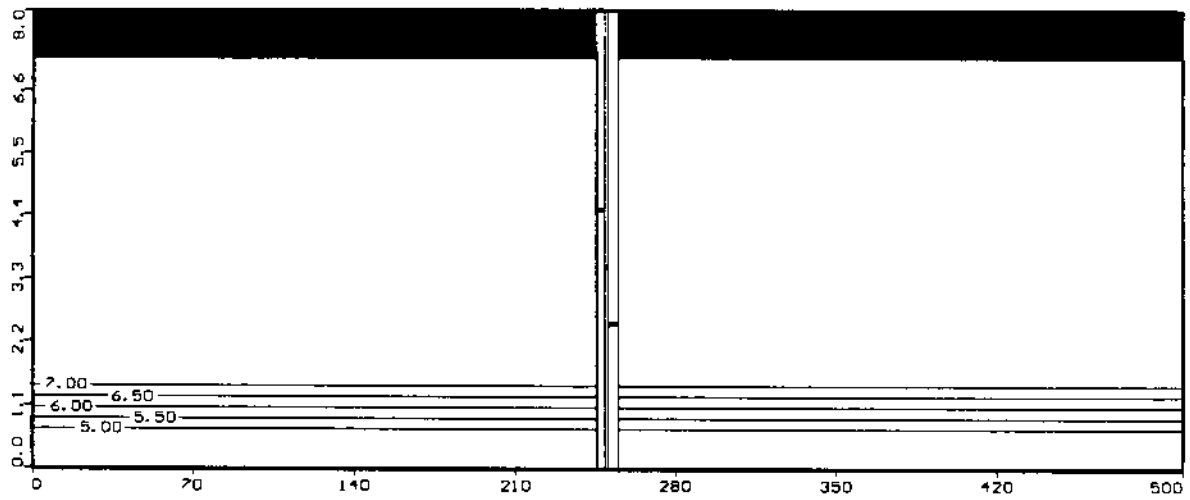
Figur 10.10



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 8 c vej 35 mm/yr
Description: Stofftransport 50yr q=0m3
Modeller: KD/PR
22 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 26

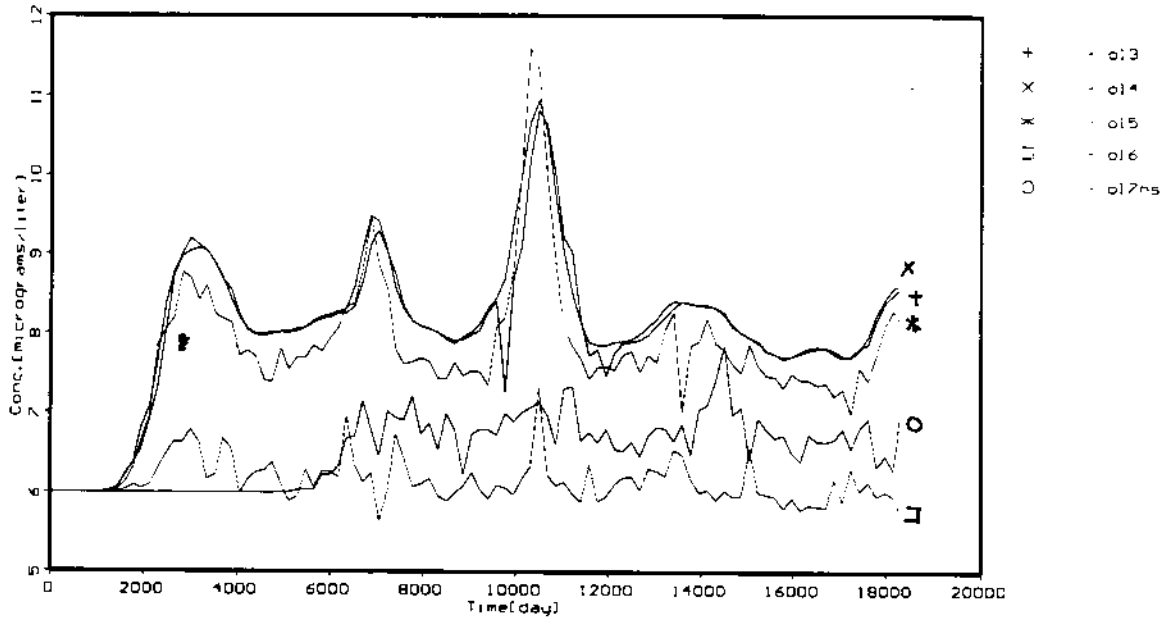
Figur 10.11



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 6 d vej 35 mm/yr
Description: Stoftransport 50yr q=0m3
Modeller: KD/PR
22 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Row: 24

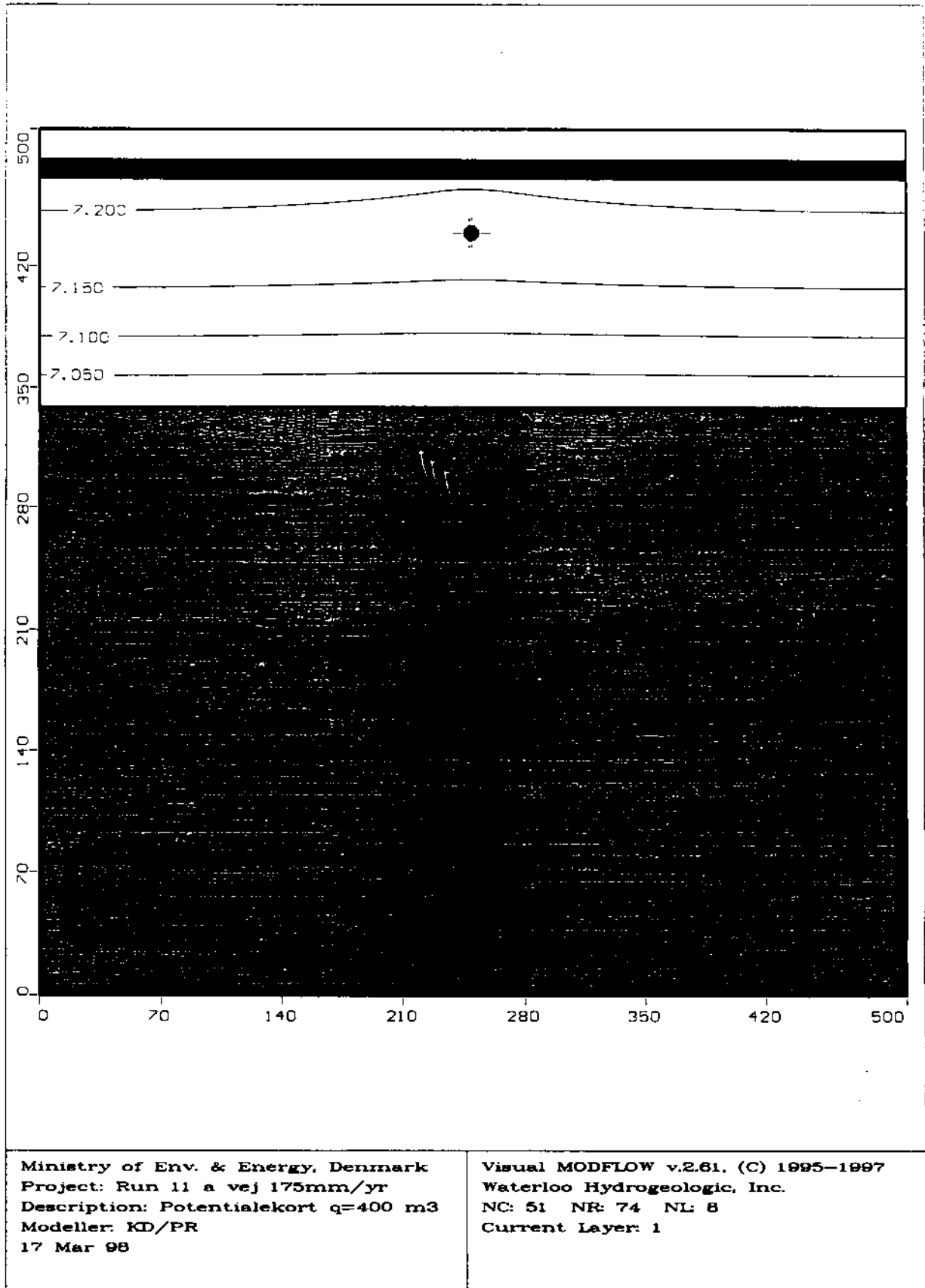
Figur 10.12



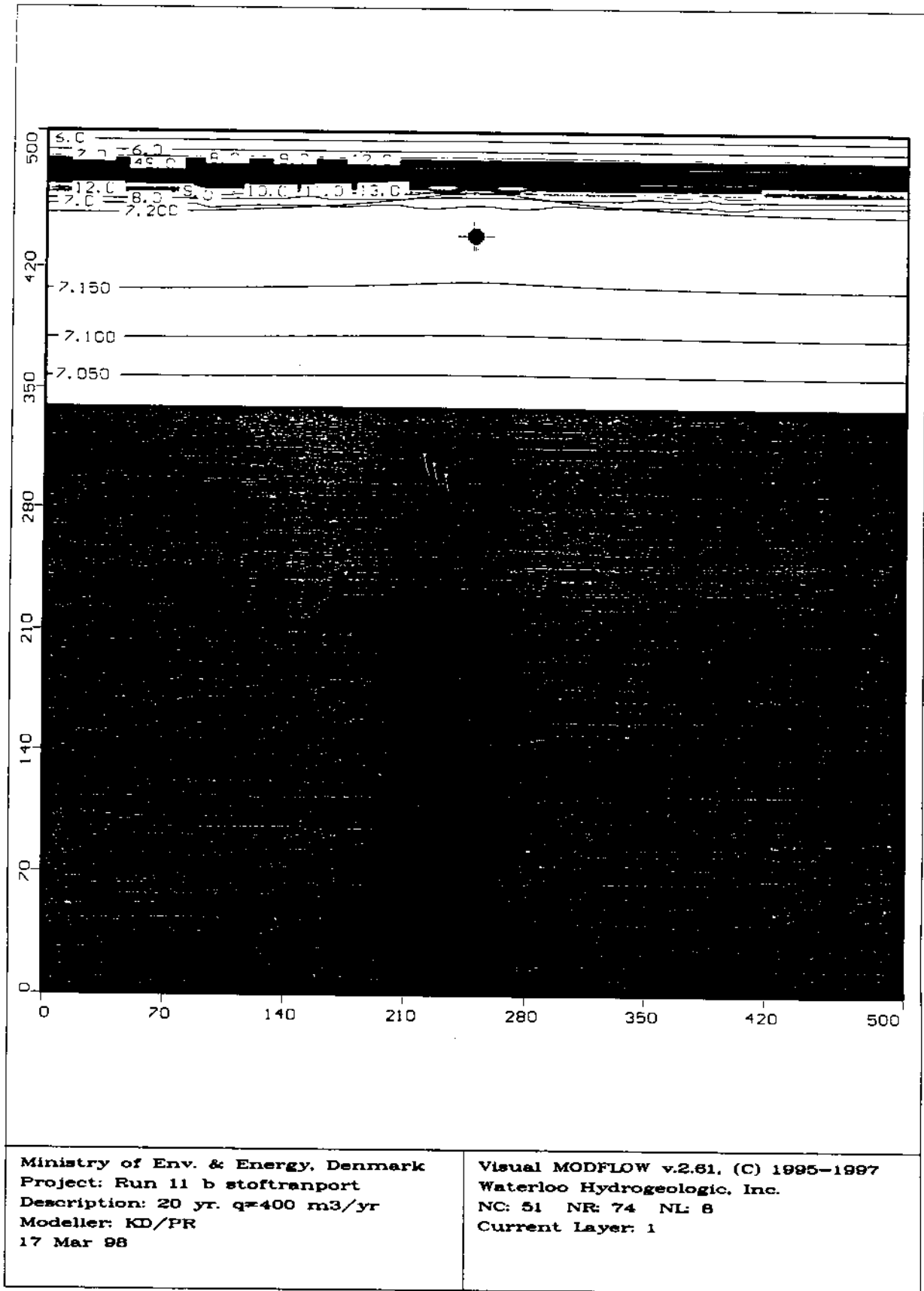
Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 6 e vej 35 mm/yr
Description: Stoftransport 50yr q=0m3
Modeller: KD/PR
22 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.81, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 1

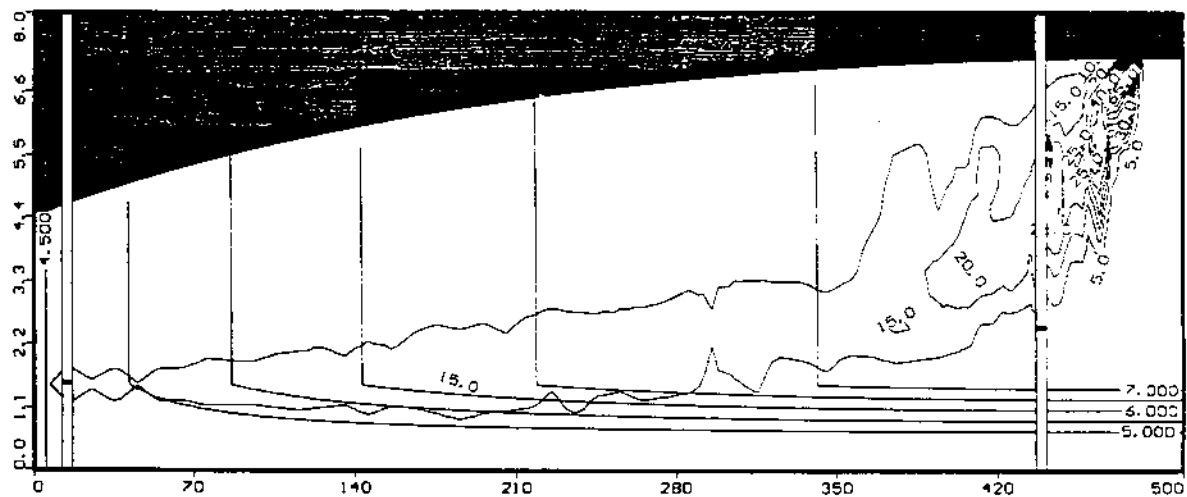
Figur 10.13



Figur 10.14



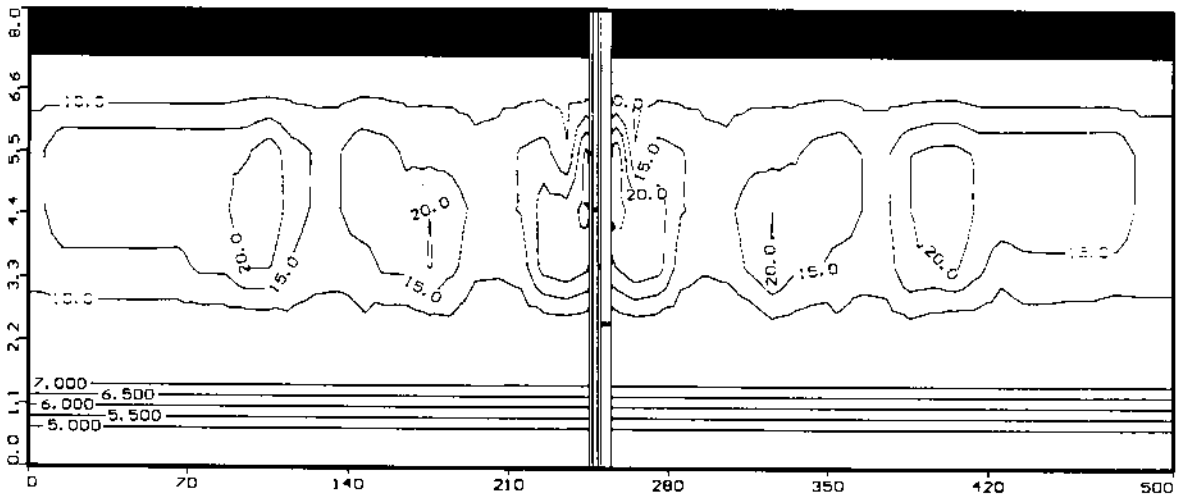
Figur 10.15



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 11 c stoftransport
Description: 20 yr. $q=400$ m³/yr
Modeller: KD/PR
17 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61. (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 26

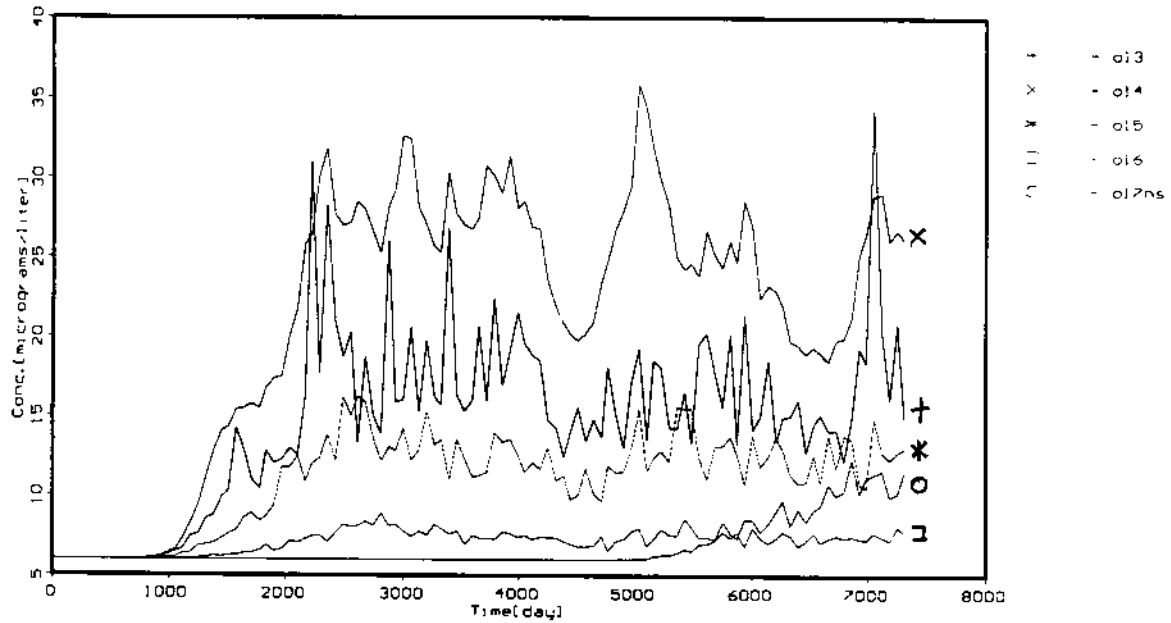
Figur 10.16



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 11 d stoftransport
Description: 20 yr. $q=400 \text{ m}^3/\text{yr}$
Modeller: KD/PR
17 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Row: 24

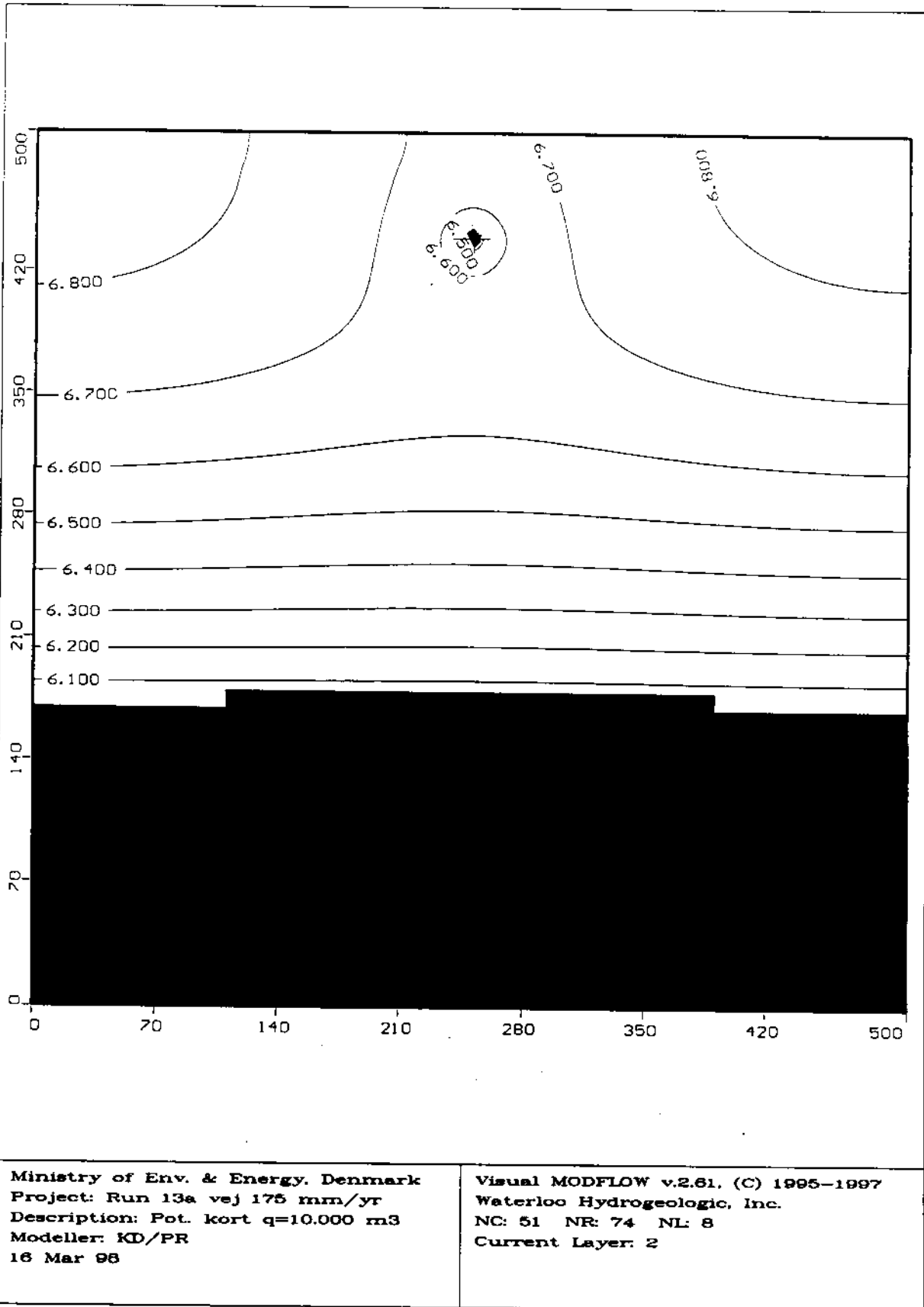
Figur 10.17



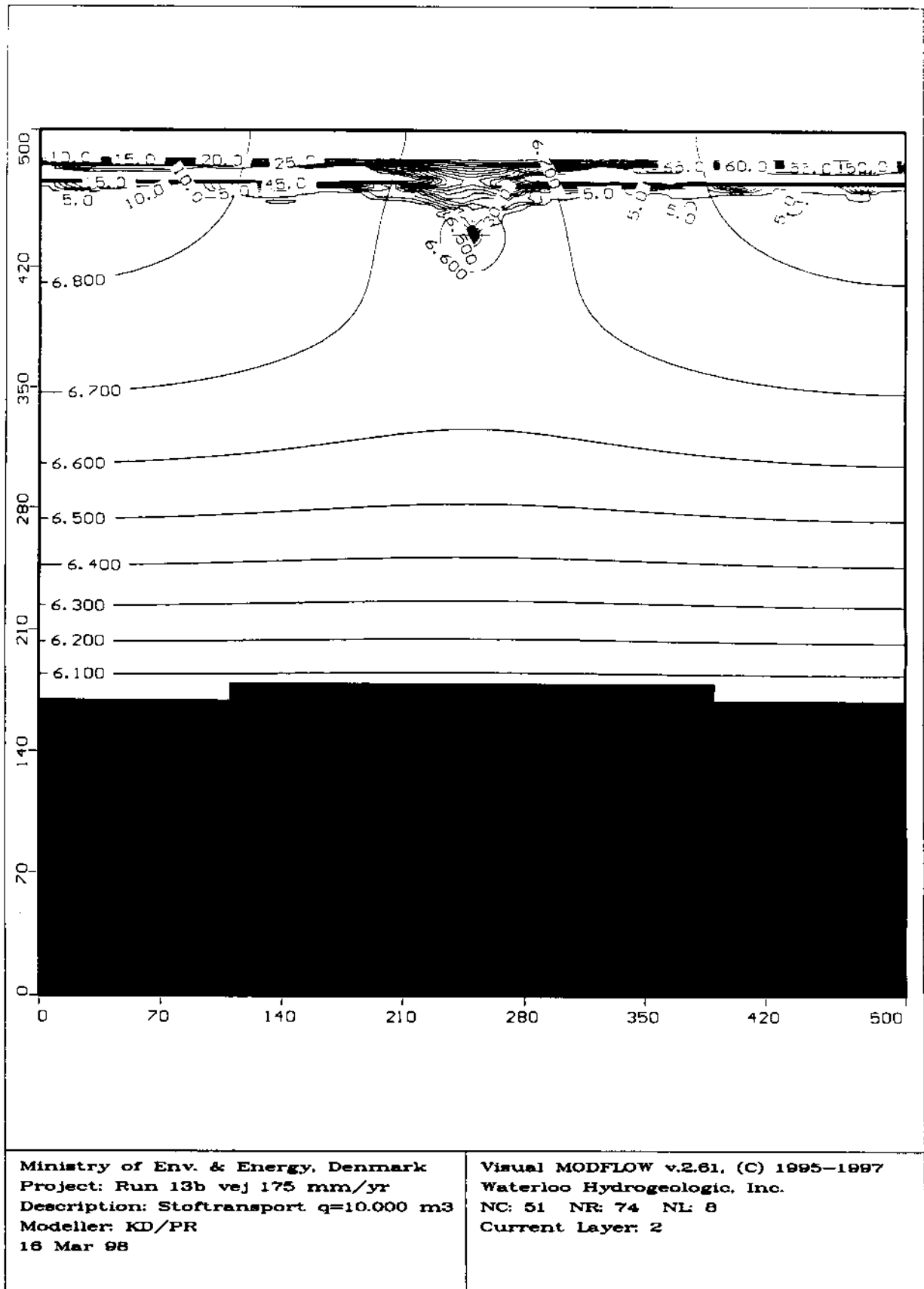
Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 11 e stoftransport
Description: 20 yr. q=400 m³/yr
Modeller: KD/PR
17 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 1

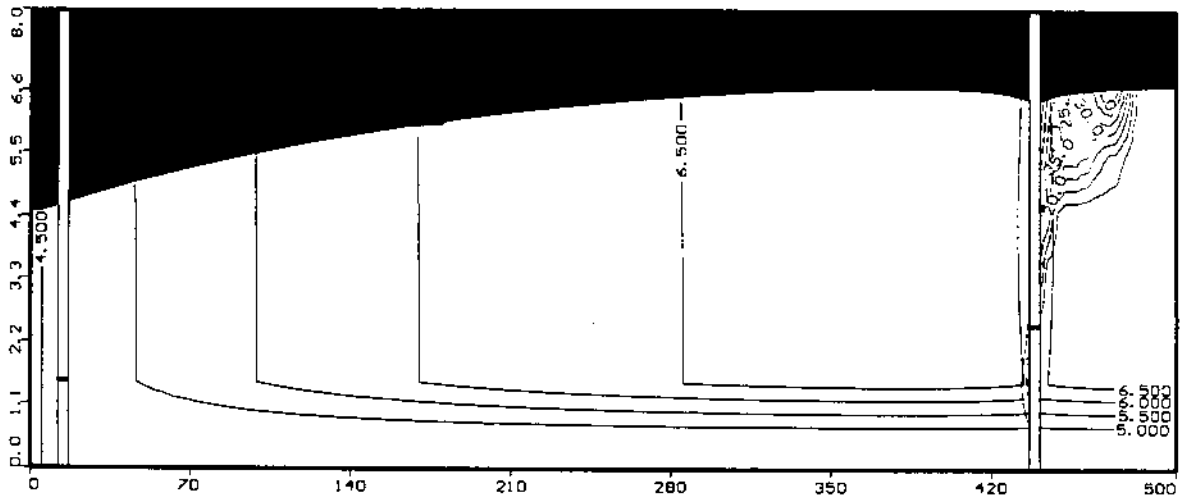
Figur 10.18



Figur 10.19



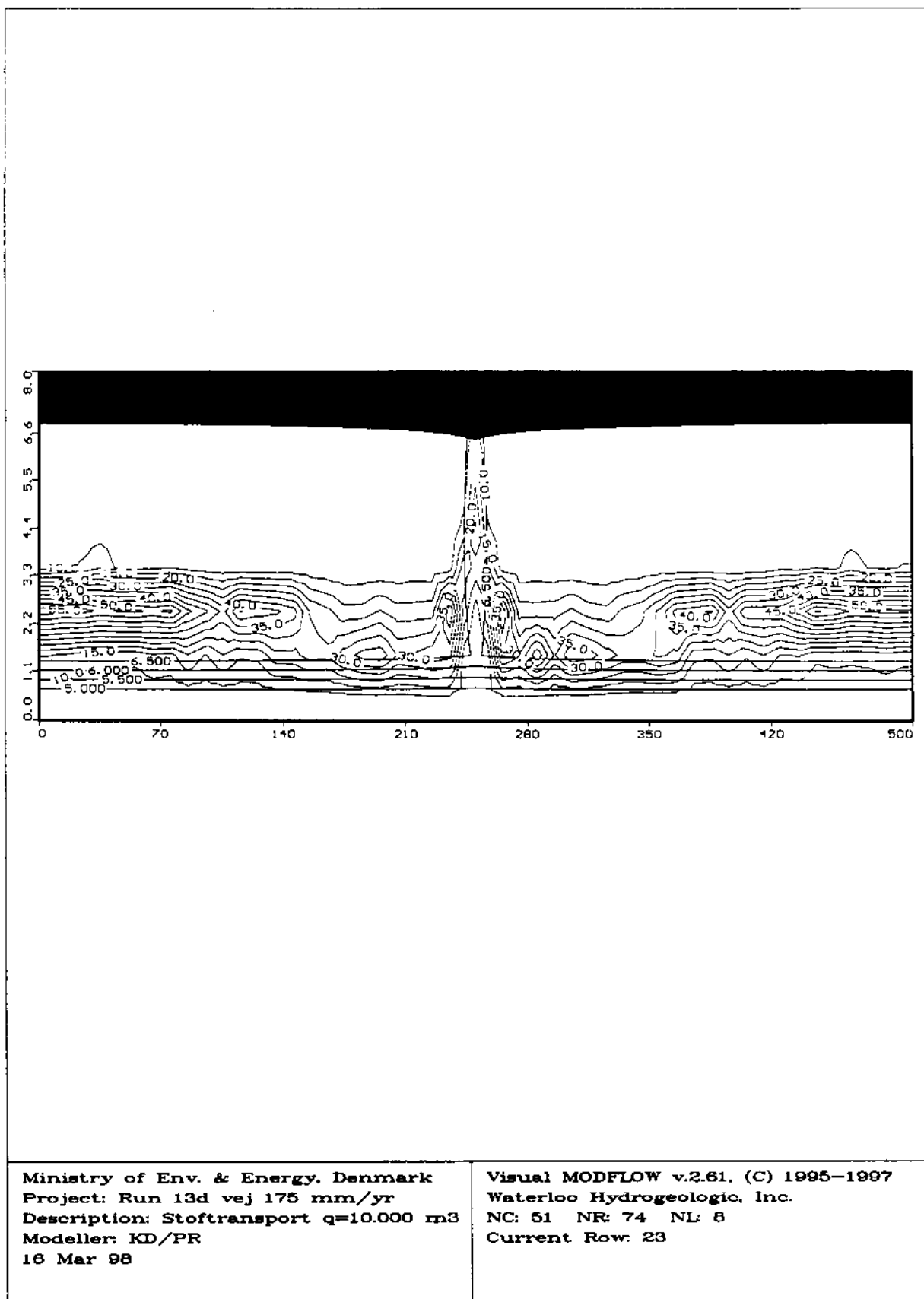
Figur 10.20



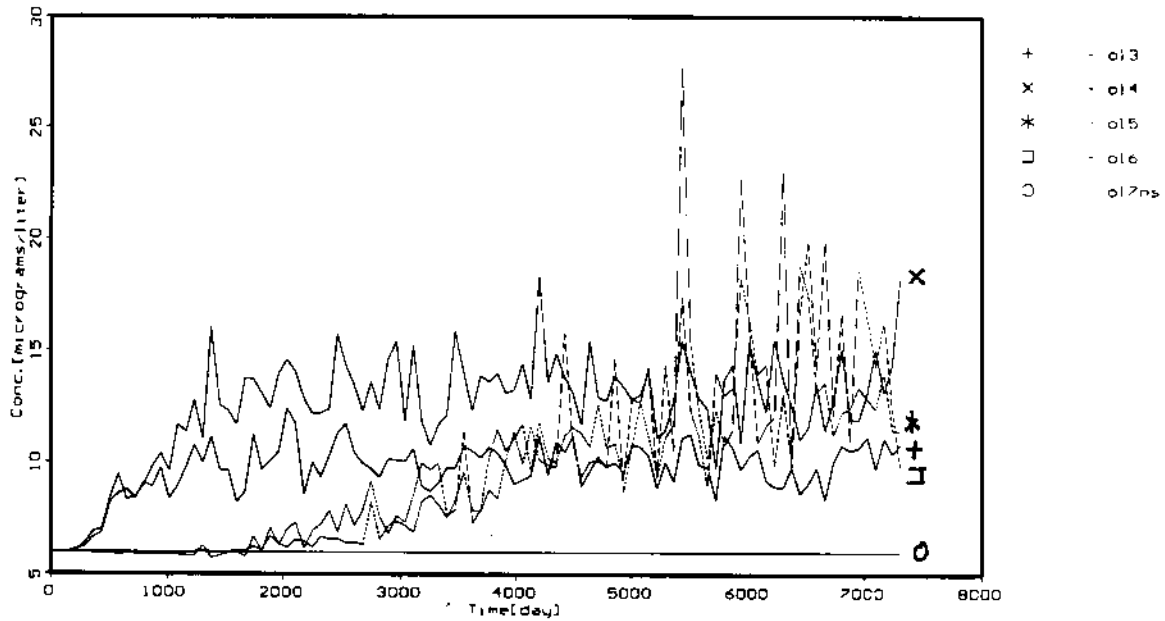
Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 13c vej 175 mm/yr
Description: Stoftransport $q=10.000 \text{ m}^3$
Modeller: KD/PR
16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 26

Figur 10.21



Figur 10.22



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 13e vej 175 mm/yr
 Description: x-y-plot obs. q=10.000 m3
 Modeller: KD/PR
 16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Layer: 2

11 Simulationsresultat for vejkrøds

Flere veje

Denne simulering er foretaget for at undersøge hvilken påvirkning af grundvandet og indvindingsvandet, der er fra restprodukter/jord anvendt i flere veje. Veje uden afløb findes typisk i det åbne land, hvor tætheden af veje er lille. Den værste situation antages derfor at være et vejkrøds, hvor begge veje er placeret 30 m fra indvindingsboringen. Med det valgte gitter, der har været brugt til øvrige scenarier, er det ikke muligt at placere en 12,5 m bred vej vinkelret på "standardvejen". Cellestørrelsen er 10 m for alle celler i x-retningen dog ikke de tre midterste, hvor boringen er placeret. Her er cellelængden 6,66 m. Det blev derfor valgt at placere en 10 m bred vej 26,66 m fra cellen, hvor der foretages indvinding, og hvor observationsboringer er placeret.

Veje med afløb findes typisk i bebyggede kvarterer, hvor der ofte vil være et kvadratisk netværk af veje. Den værste situation vil være en lang række veje, der ligger vinkelret på og opstrøms grundvandsstrømmen. Ved sammenligning med scenariet for en enkelt vej kan det ses, at placering af flere veje parallelt vil ikke give overskridelse, hvis opblandingen er lig med eller større end for scenariet med en enkelt vej, og afstanden mellem vejene er større end afstanden fra indvindingsboringen og den opstrøms modelrand, med fradrag fra vejen, svarer det til 47,5 m. Til sammenligning med f.eks. et villakvarter, hvor vejtætheden er stor, vil der være 2 villahaver mellem hver vej, hvilket typisk svarer til en afstand på 60 - 80 m.

11.1 Stationær strømning

Effekt af veje parallelt med grundvandsstrømningen

Simulering af effekten af et vejkrøds giver et ændret potentialebillede i forhold til en enkelt vej placeret vinkelret på grundvandsstrømmen. Af fig. 11.2 og 11.7 ses det, at potentialekurverne drejer op langs vejen, der går parallelt med grundvandsstrømmen. Vejen kommer med andre ord til at virke reducerende på nedsivningen. Dette medfører, at vandet ikke mere strømmer vinkelret væk fra den vej, der er placeret parallelt med den opstrøms modelrand, men strømmer ind mod vejen, der løber parallelt med strømningsretningen. Denne effekt bliver meget markant, når infiltrationen gennem vejen sænkes dvs., når vandet bortledes til regnvandssystemet.

Effekten medfører, at det vand, der strømmer til boringen, har bevæget sig længere, end det, der ikke er påvirket af en vej parallelt med grundvandsstrømmen.

Fig. 11.2 og 11.7 viser potentialekurverne og placering af vej ved stationære strømningsforhold. Grundvandet ved den opstrøms modelrand er stort set stillestående. Gradienten kan aflæses til 0,7 ‰ ved infiltration på 175 mm/år gennem vejen og 0,6 ‰ ved en infiltration på 35 mm/år gennem vejen, i det område, hvor restprodukt/jord og indvinding placeres.

Den gennemsnitlige porevandshastighed er aflæst til ca. 9 m/år ved infiltration på 175 mm/år og ca. 8 m/år ved 35 mm/år.

11.2 Stationær stoftransport

Vejkryds uden afløb

Fig. 11.3 viser potentialekurver og koncentrationsisoliner for lag 1 efter 50 år ved stationære strømningsforhold.

Fig. 11.4 og 11.5 viser profiler gennem modelområdet efter 50 år ved en infiltration gennem vejen på 175 mm/år, hvor koncentrationen af stof omkring 96 µg/l umiddelbart under vejen, mens koncentrationen er faldet til ca. 11 µg/l ved den nedstrøms rand i lag 7. Ved sammenligning med vejscenariet ses en stigning på 1 - 2 µg/l ved en infiltration på 175 mm/år gennem vejen og for en infiltration på 35 mm/år ses en stigning på ca. 0,2 µg/l. Dette må skyldes, at spredningen som følge af dispersion giver et mindre bidrag til trods for strømningsretningen er ind mod vejen, der løber parallel med hovedstrømningsretningen.

Vejkryds med afløb

Fig. 11.8 og 11.9 er de tilsvarende figurer med en infiltration på 35 mm/år gennem vejen, hvor koncentration varierer mellem 32 og 90 µg/l umiddelbart under vejen. Af fig. 11.11 fremgår det, at der er en mindre stigning til ca. 7 µg/l ved den nedstrøms rand i lag 7.

Fig. 11.6 viser koncentrationen af stof i de forskellige lag som funktion af tiden ved infiltration på 175 mm/år. Koncentrationen i ol4 og ol5 er højest og hhv. 24 µg/l og 23 µg/l i gennemsnit for 10 - 50 år. Som det ses, er der stationære forhold allerede efter ca. 7 - 10 år. I den nedstrøms observationsboring ol7ns, ses det, at der er stofgennembrud efter ca. 13 år, dvs. en porevandshastighed på ca. 35 m/år som gennemsnit over hele modelområdet.

Fig. 11.11 viser koncentrationen af stof i de forskellige lag som funktion af tiden ved infiltration på 35 mm/år. Koncentrationen i lag 3 og lag 4 er højest og hhv. 8,5 µg/l og 8,6 µg/l i gennemsnit for 10 - 50 år. Som det ses, er der stationære forhold allerede efter ca. 7 - 10 år. I den nedstrøms observationsboring ol7ns, ses det, at der er stofgennembrud efter ca. 14 år, dvs. en porevandshastighed på ca. 33 m/år som gennemsnit over hele modelområdet.

11.3 Filterinterval og niveau

Det mest kritiske filterniveau for en indvindingsboring placeret 30 meter fra anlægsarbejdet, er i lag 4 og 5, hvor koncentrationen af stof er højest ved infiltration på 175 mm/år gennem vejen. Dette billede ændrer sig, når infiltrationen nedsættes til 35 mm/år, hvor det er lag 3 og 4 der har den højeste koncentration.

11.4 Variation af indvindingsmængden

Effekt på indvindingsvand

Figur 11.12 til 11.16 viser profiler, koncentrationen over tid i observationsboringerne og potentialet efter 20 år ved en oppumpning på 400 m³/år. Det er mindre ændringer af koncentrationsfordelingen i forhold til scenariet med en vej.

Koncentrationen falder i forhold til situationen uden indvinding i lag 4 til omkring ca. 22 µg/l og den falder til ca. 12 µg/l i lag 5 efter 20 år ved en infiltration på 175 mm/år gennem vejene. Koncentrationen i indvindingsvandet vil være omkring 17 µg/l og over grundvandskvalitetskriteriet på 10 µg/l. Dette er en reduktion i forhold til påvirkningen fra en vej.

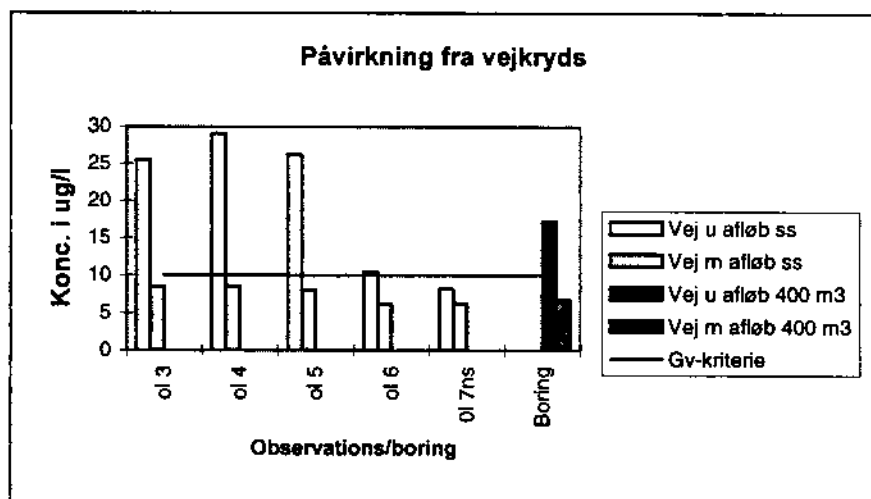
Figur 11.17 til 11.21 viser profiler, koncentrationen over tid i observationsboringerne og potentialet efter 20 år ved en oppumpning på 400 m³/år, når infiltrationen er 35 mm/år gennem vejen. Det er en mindre stigning i forhold til scenariet med én vej.

Koncentrationen falder i forhold til situationen uden indvinding i lag 3 til omkring ca. 7,9 µg/l og til ca. 7,2 µg/l i lag 4 efter 20 år ved en infiltration på 35 mm/år gennem vejene. Koncentrationen i indvindingsvandet vil være omkring 7,5 µg/l, hvilket er under grundvandskvalitetskriteriet på 10 µg/l.

11.5 Vurdering af påvirkning fra vejkryds

Vandkvalitet afhænger af
afløbsforhold

Ligesom for veje er størrelsen af påvirkninger af vandkvaliteten afhængig af om vejen er med eller uden afløb.



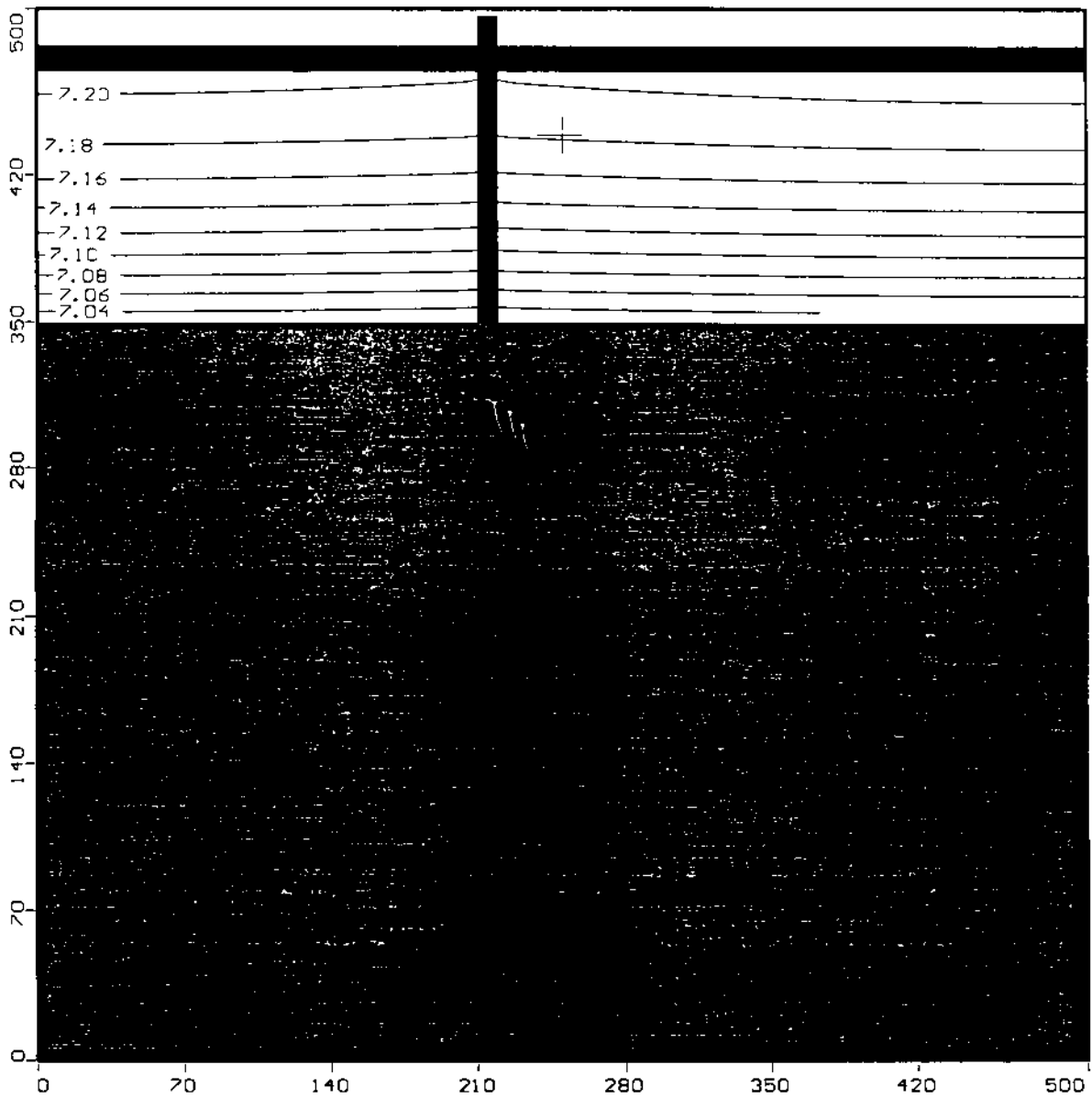
Figur 11.1 Stoffkoncentrationer i grundvandsmagasinet og indvindingsvandet ved påvirkning fra vejkryds med og uden afledning af overfladevand.

Udvaskningen af stof fra restproduktet/jord vil for *vejkryds uden afløb* overskride grundvandskvalitetskriteriet både i magasinet og i indvindingsvandet jf. figur 11.1.

For *veje med afløb* vil restproduktet/jorden infiltreres af en mindre mængde af nedbøren svarende til 10 %. Som følge af at størstedelen af nedbøren afledes til kloak, påvirkes grundvandskvaliteten mindre.

Dette fremgår også af figur 11.1, idet grundvandskvalitetskriteriet overholdes i grundvandsmagasinet. Indvindingsvandet vil derfor også overholde grundvandskvalitetskriteriet.

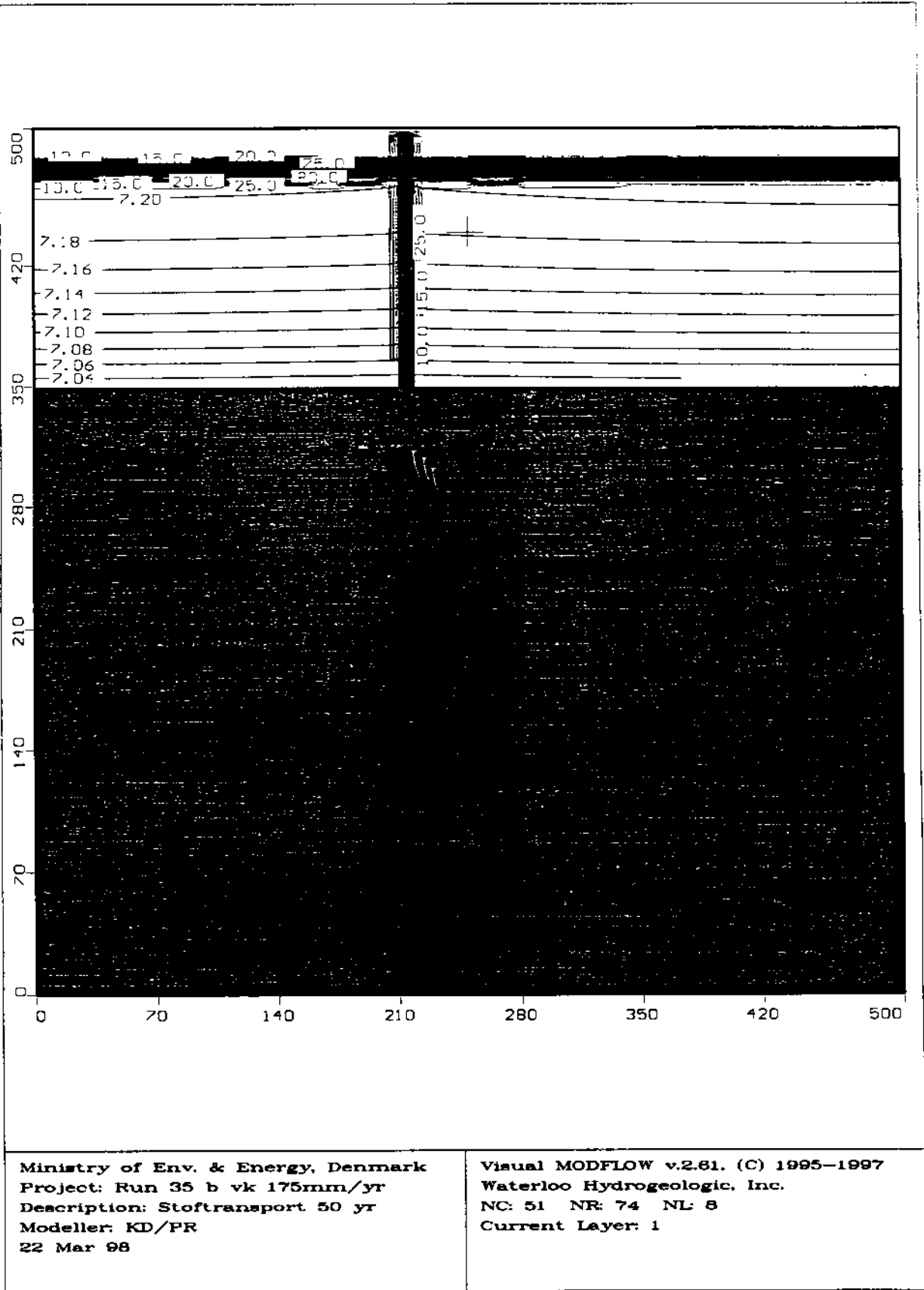
Figur 11.2



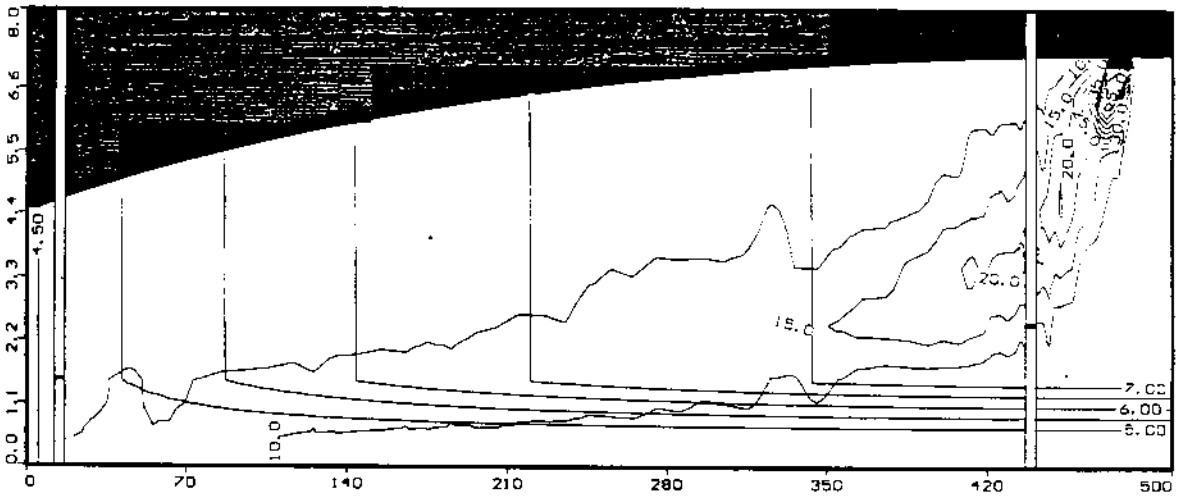
Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 35 a vk 175mm/yr
Description: Potentialekort 50 yr
Modeller: KD/PR
22 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 1

Figur 11.3



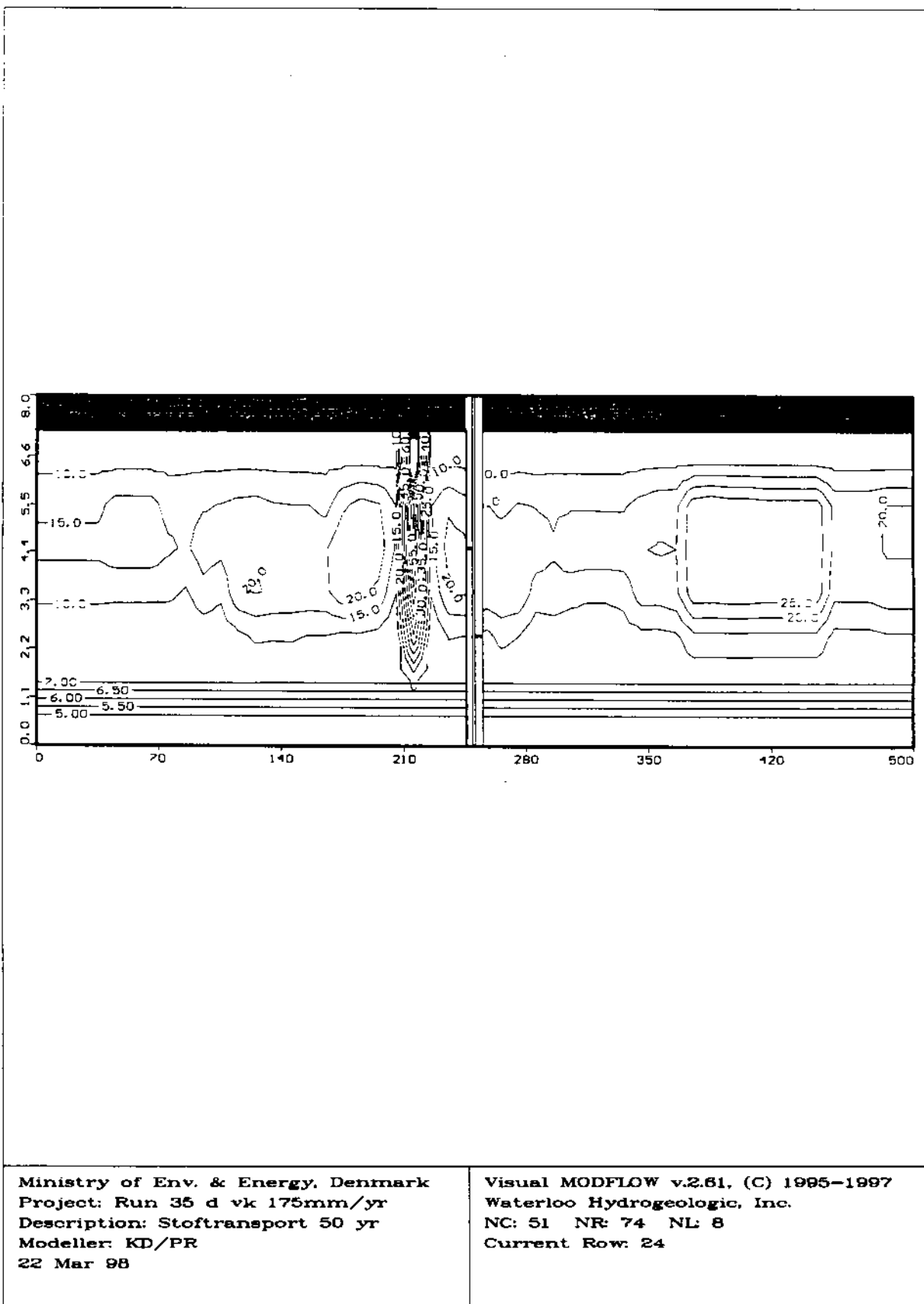
Figur 11.4



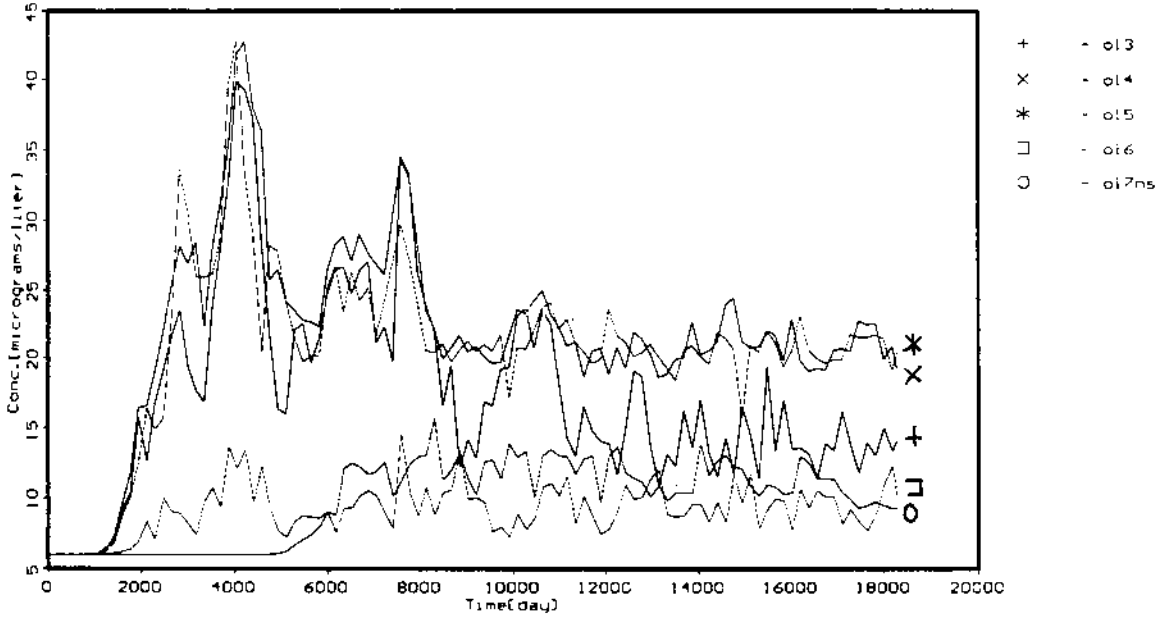
Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 35 c vk 175mm/yr
Description: Stoftransport 50 yr
Modeller: KD/PR
22 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 26

Figur 11.5



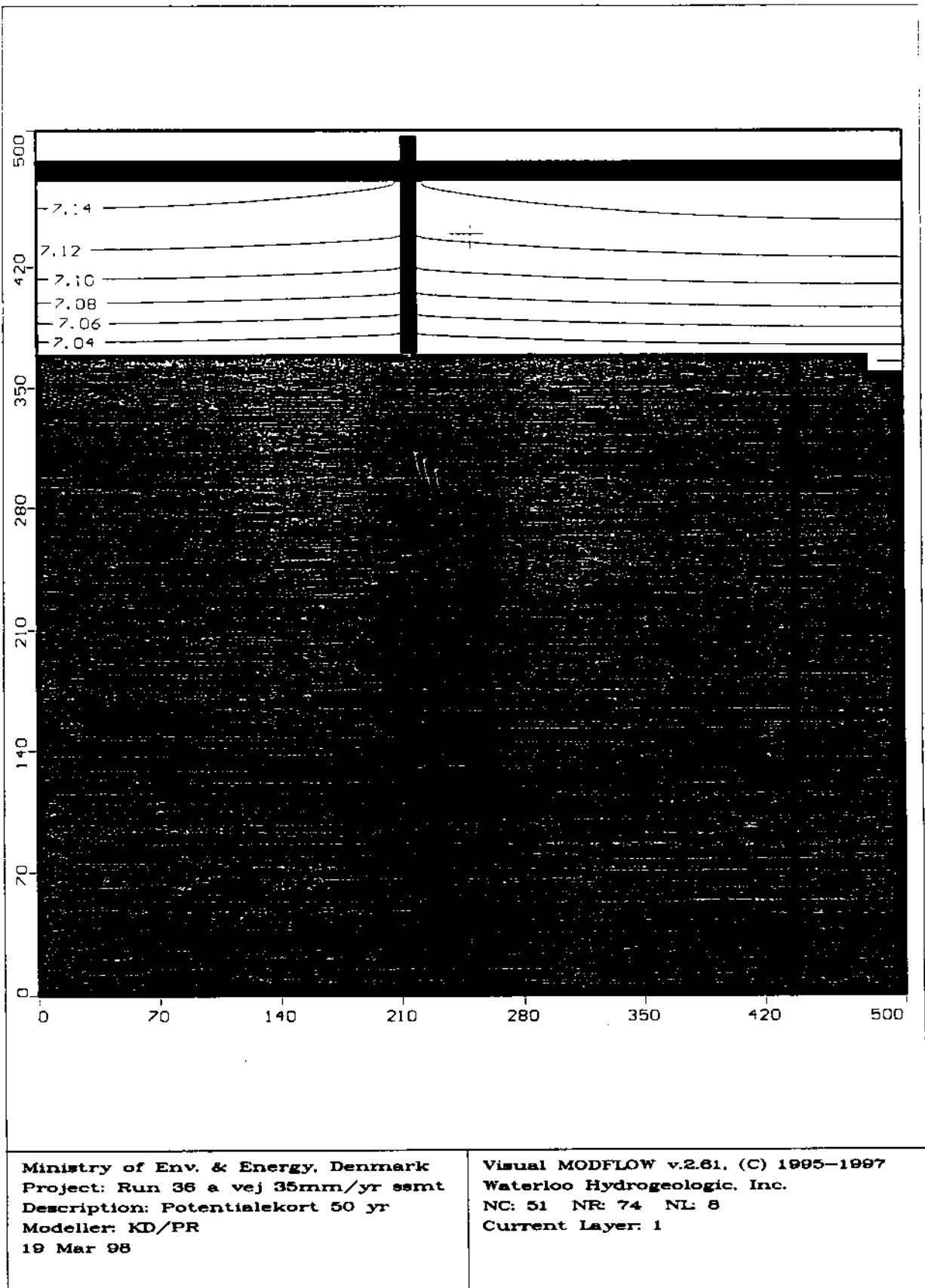
Figur 11.6



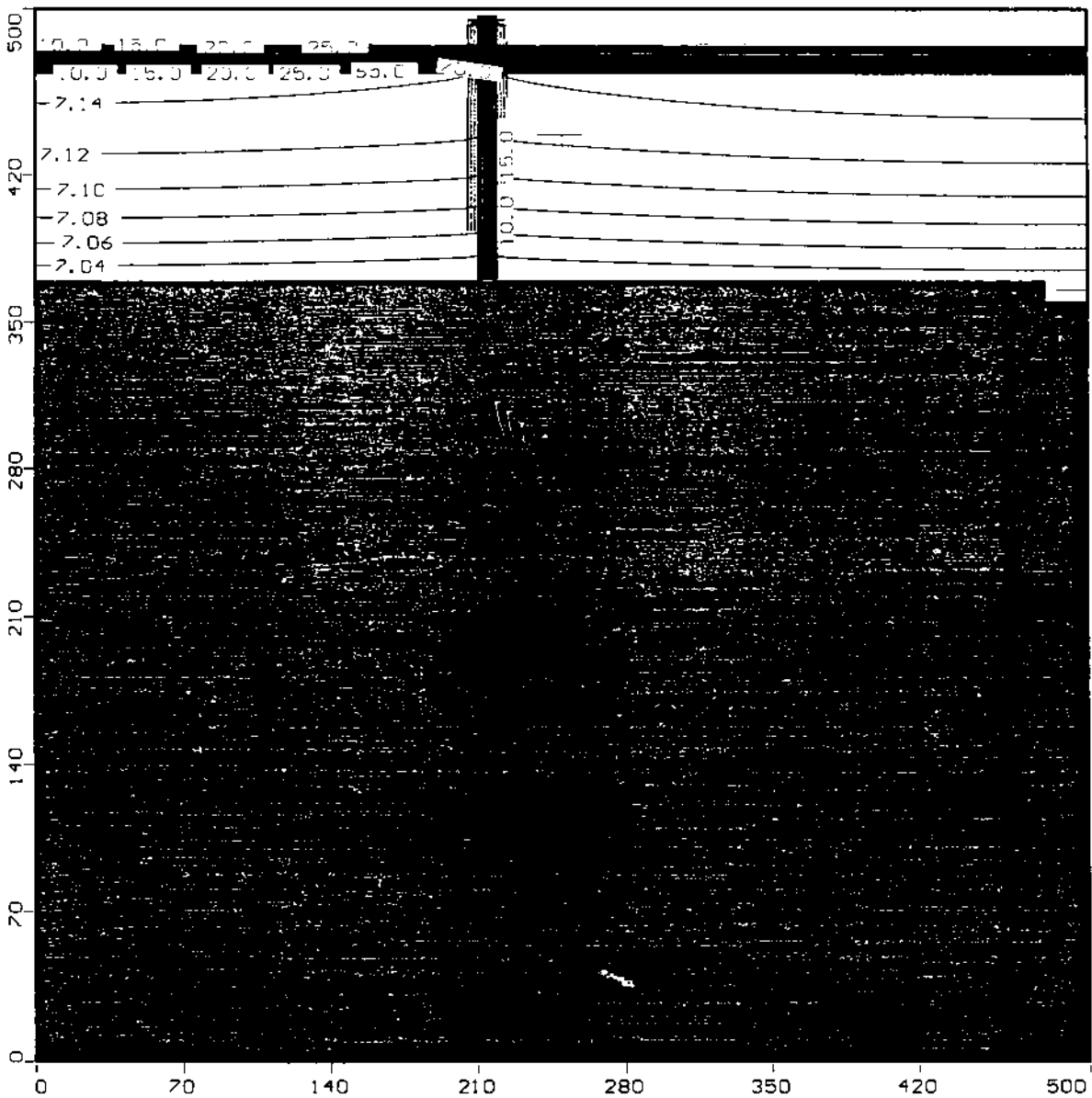
Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 35 e vk 175mm/yr
Description: Stoftransport 50 yr
Modeller: KD/PR
22 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 2

Figur 11.7



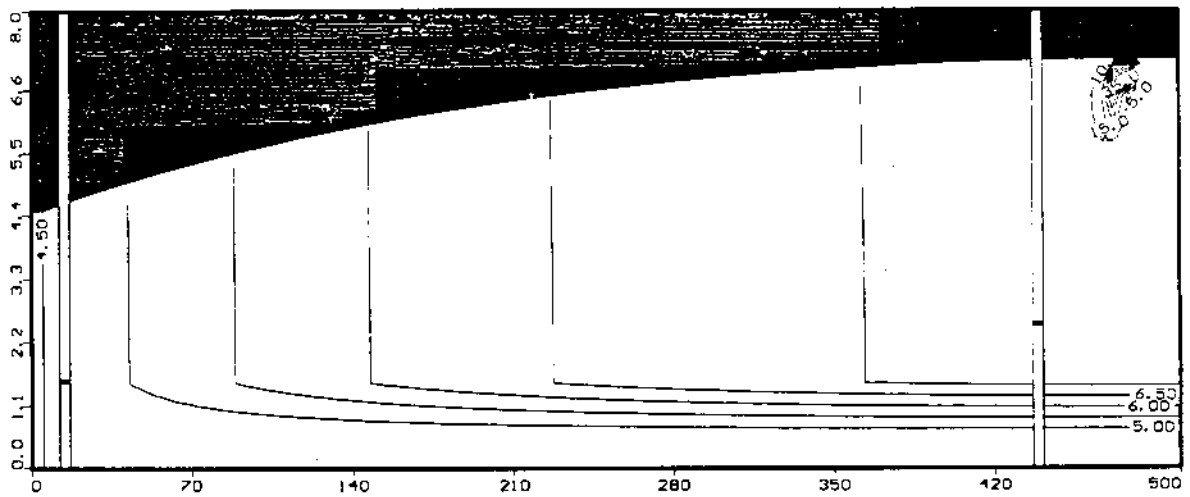
Figur 11.8



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 36 b vej 35mm/yr ssmt
Description: Stoftransport 50 yr
Modeller: KD/PR
19 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 1

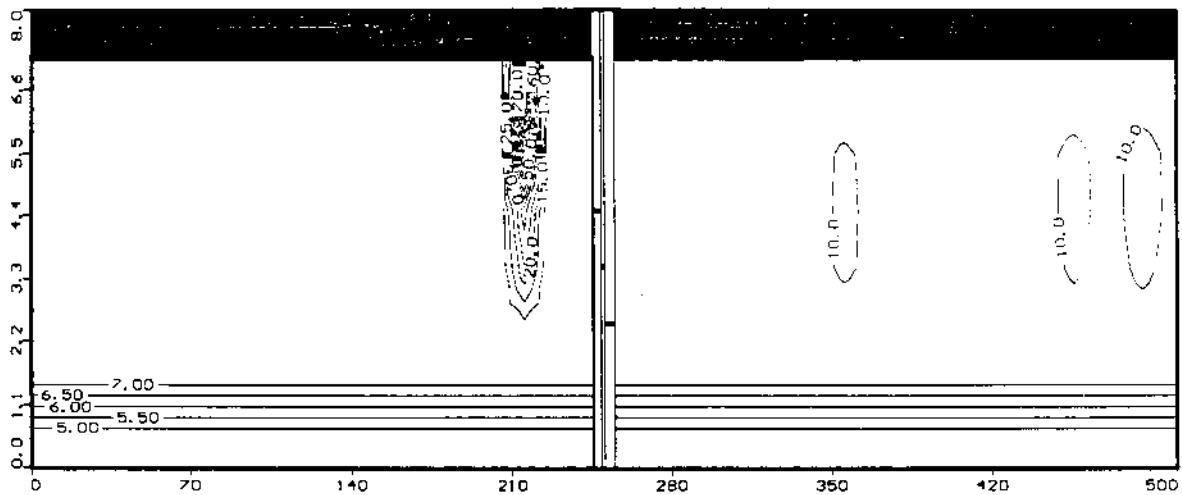
Figur 11.9



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 38 c vej 35mm/yr ssmt
Description: Stoftransport 50 yr
Modeller: KD/PR
19 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 28

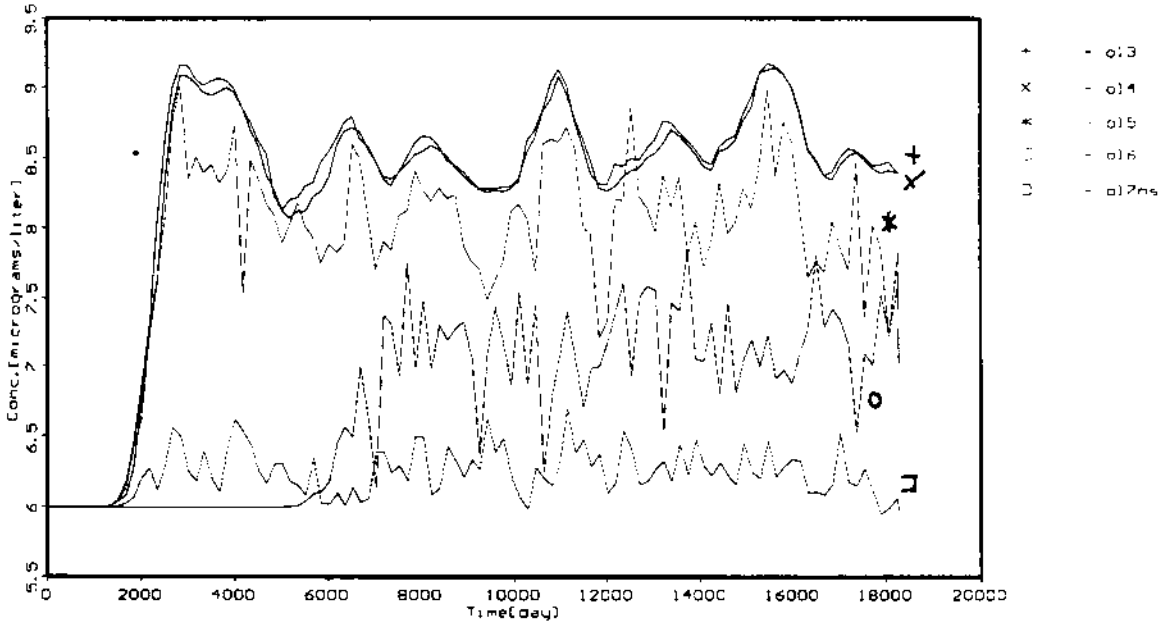
Figur 11.10



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 36 d vej 35mm/yr ssmt
 Description: Stoftransport 50 yr
 Modeller: KD/PR
 19 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Row: 24

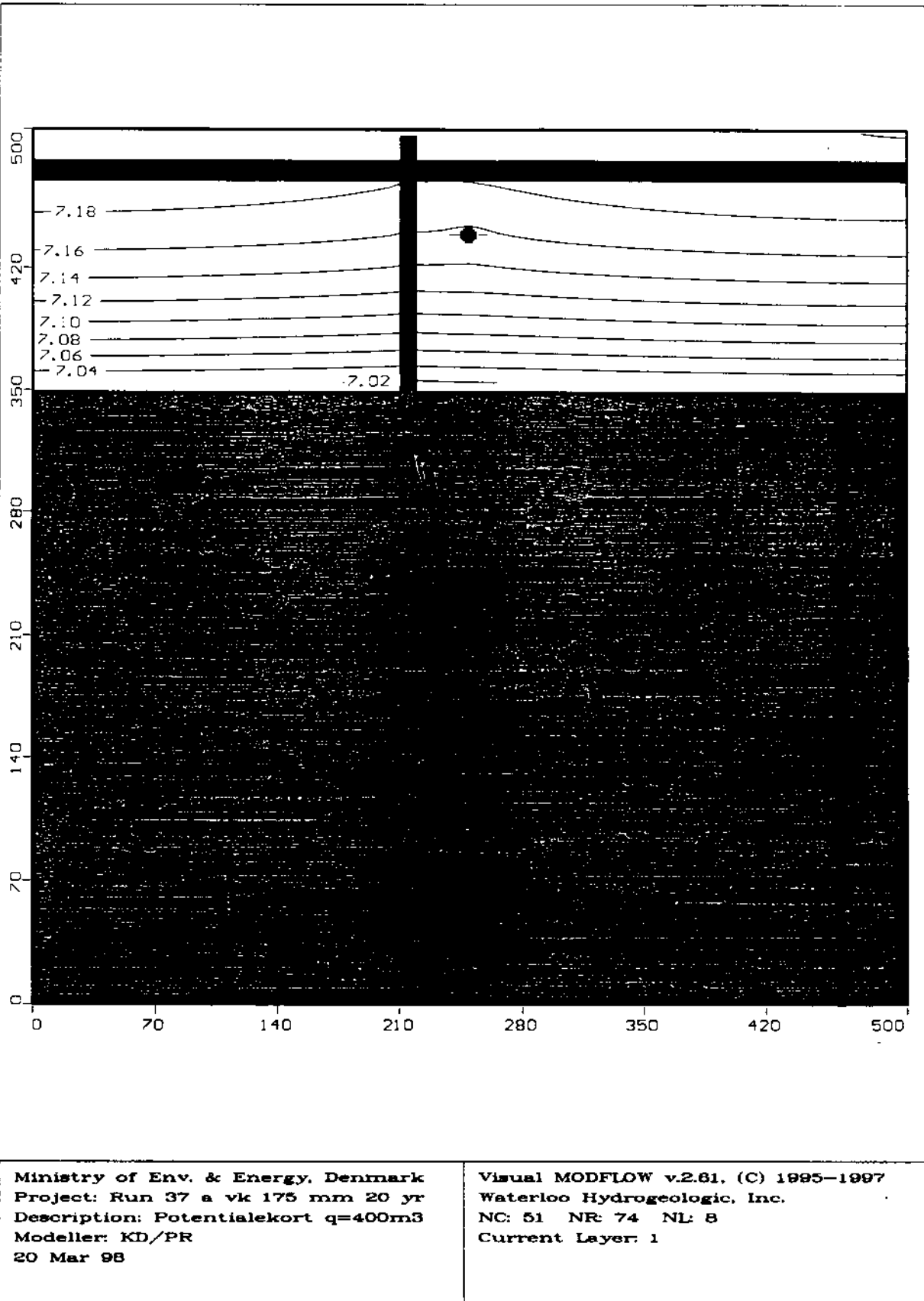
Figur 11.11



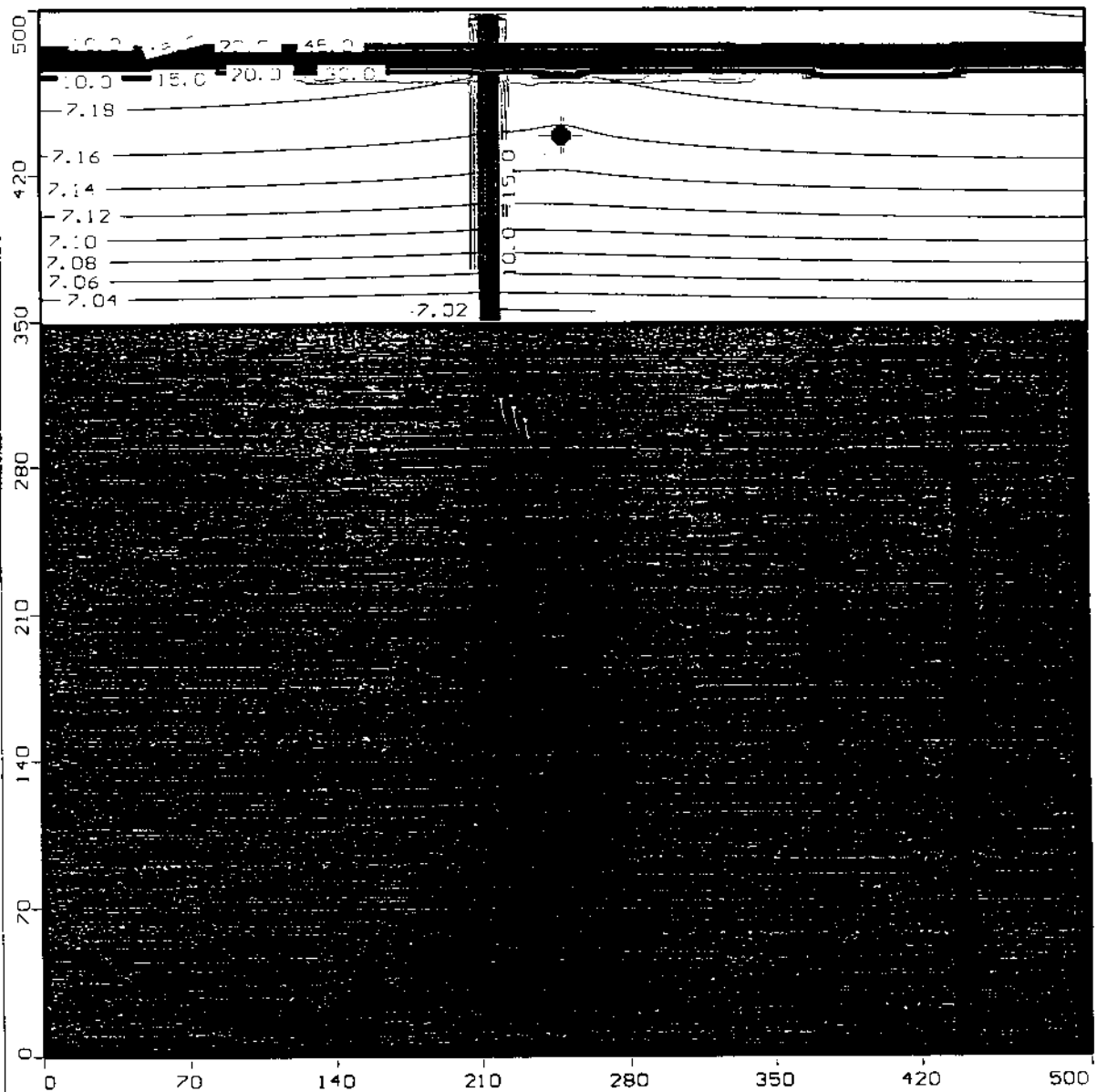
Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 36 e vej 35mm/yr ssmt
 Description: Stoftransport 50 yr
 Modeller: KD/PR
 19 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Layer: 1

Figur 11.12



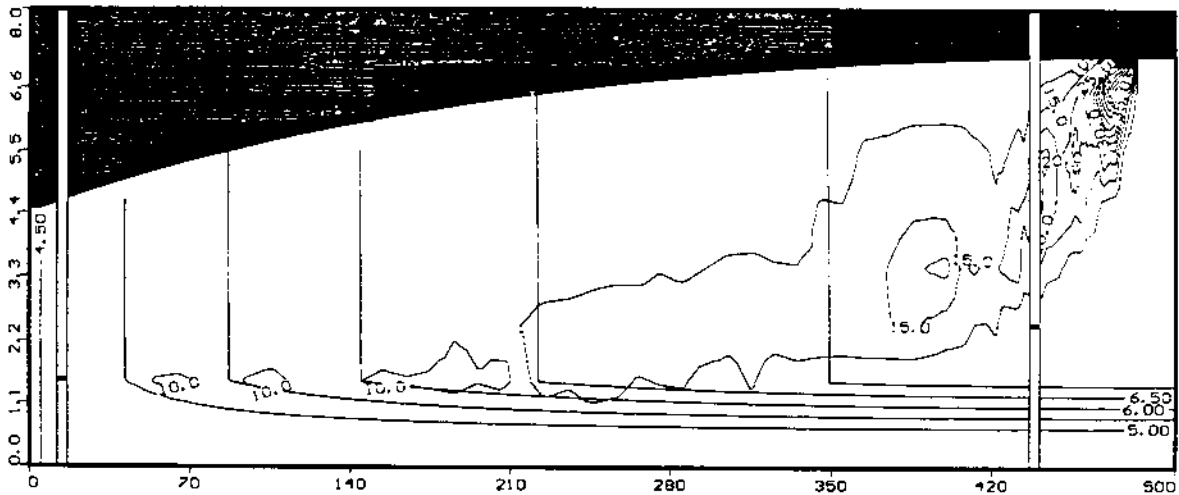
Figur 11.13



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 37 b vk 175 mm 20 yr
 Description: Stoftransport q=400m3
 Modeller: KD/PR
 20 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61. (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Layer: 1

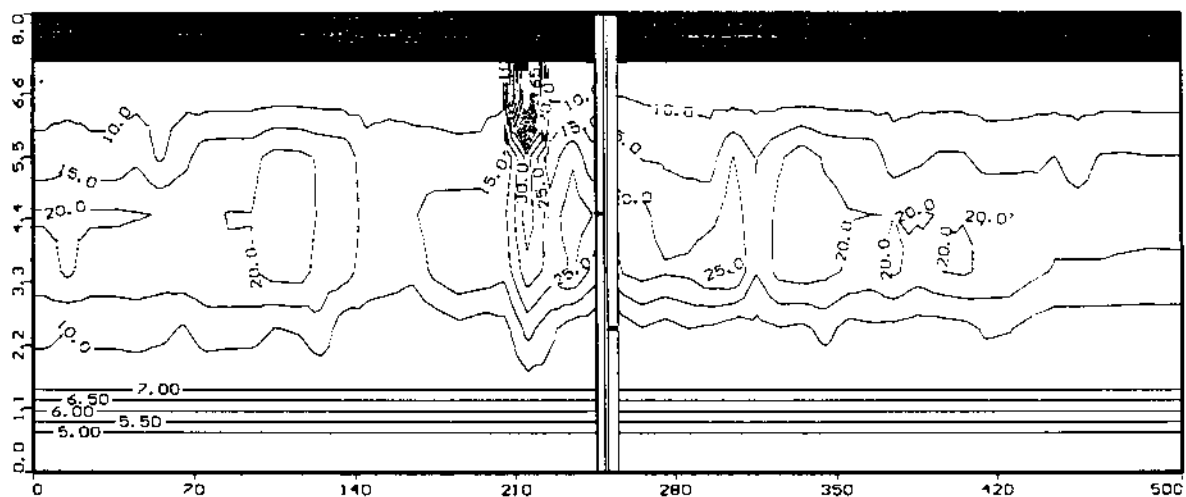
Figur 11.14



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 37 c vk 175 mm 20 yr
Description: Stoftransport q=400m3
Modeller: KD/PR
20 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 26

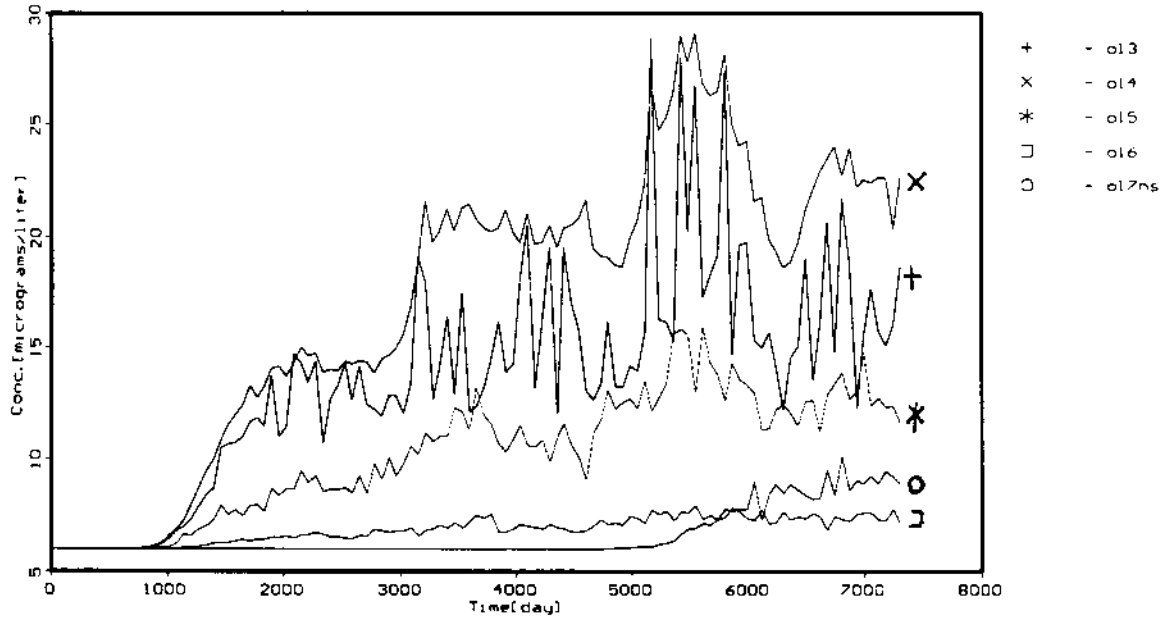
Figur 11.15



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 37 d vk 175 mm 20 yr
Description: Stoftransport q=400m3
Modeller: KD/PR
20 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61. (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Row: 24

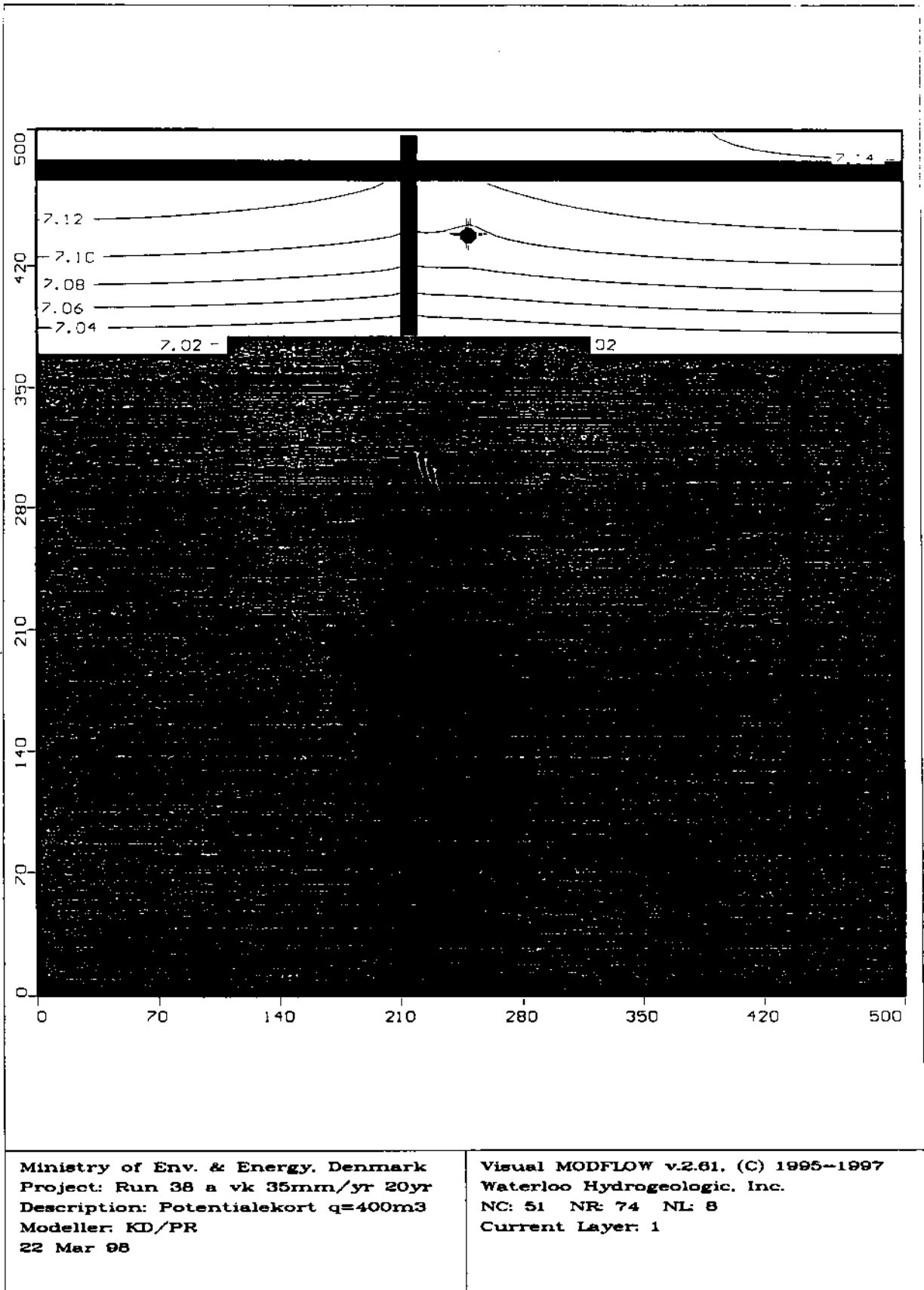
Figur 11.16



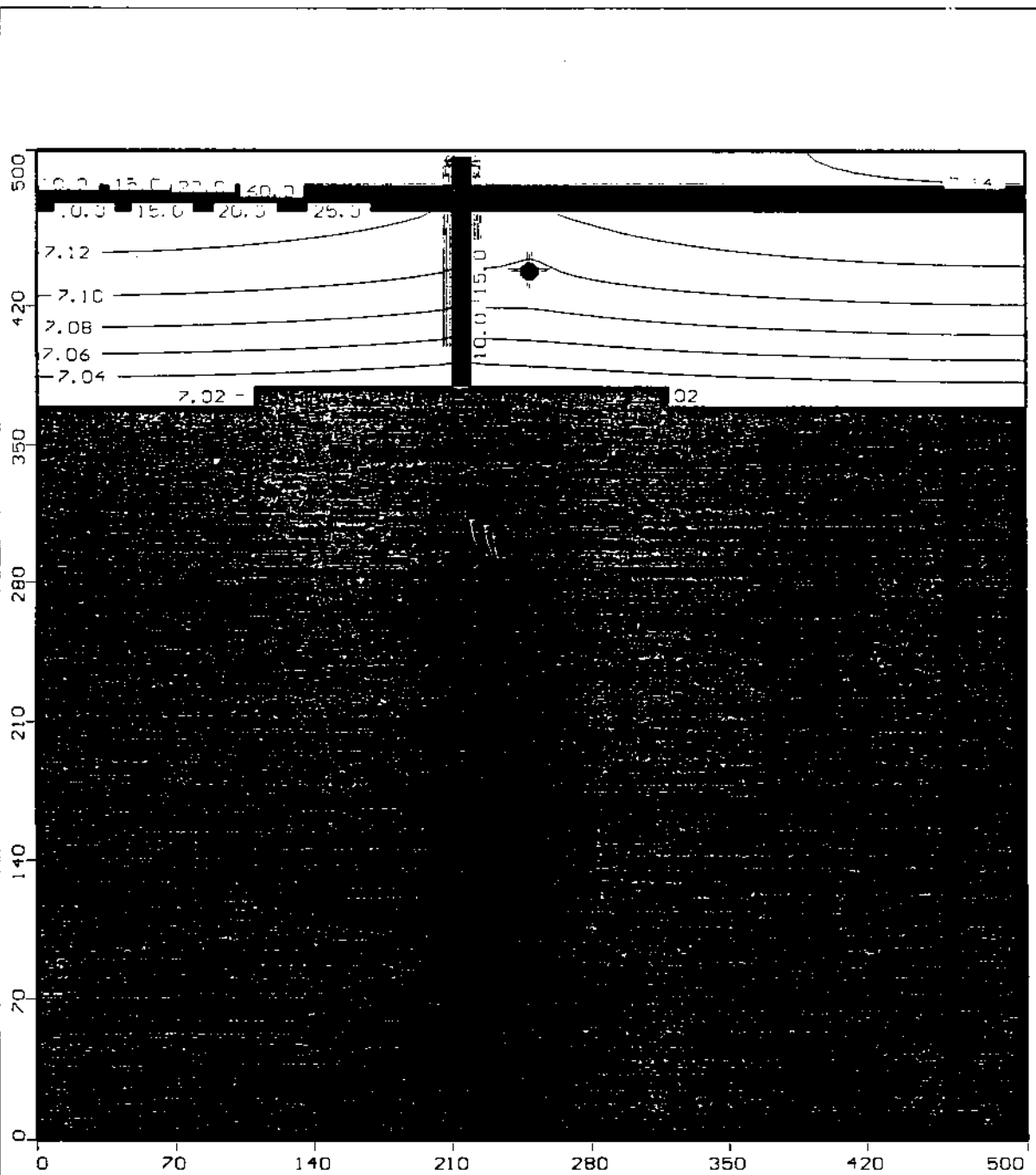
Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 37 e vk 175 mm 20 yr
Description: Stoftransport q=400m3
Modeller: KD/PR
20 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 1

Figur 11.17



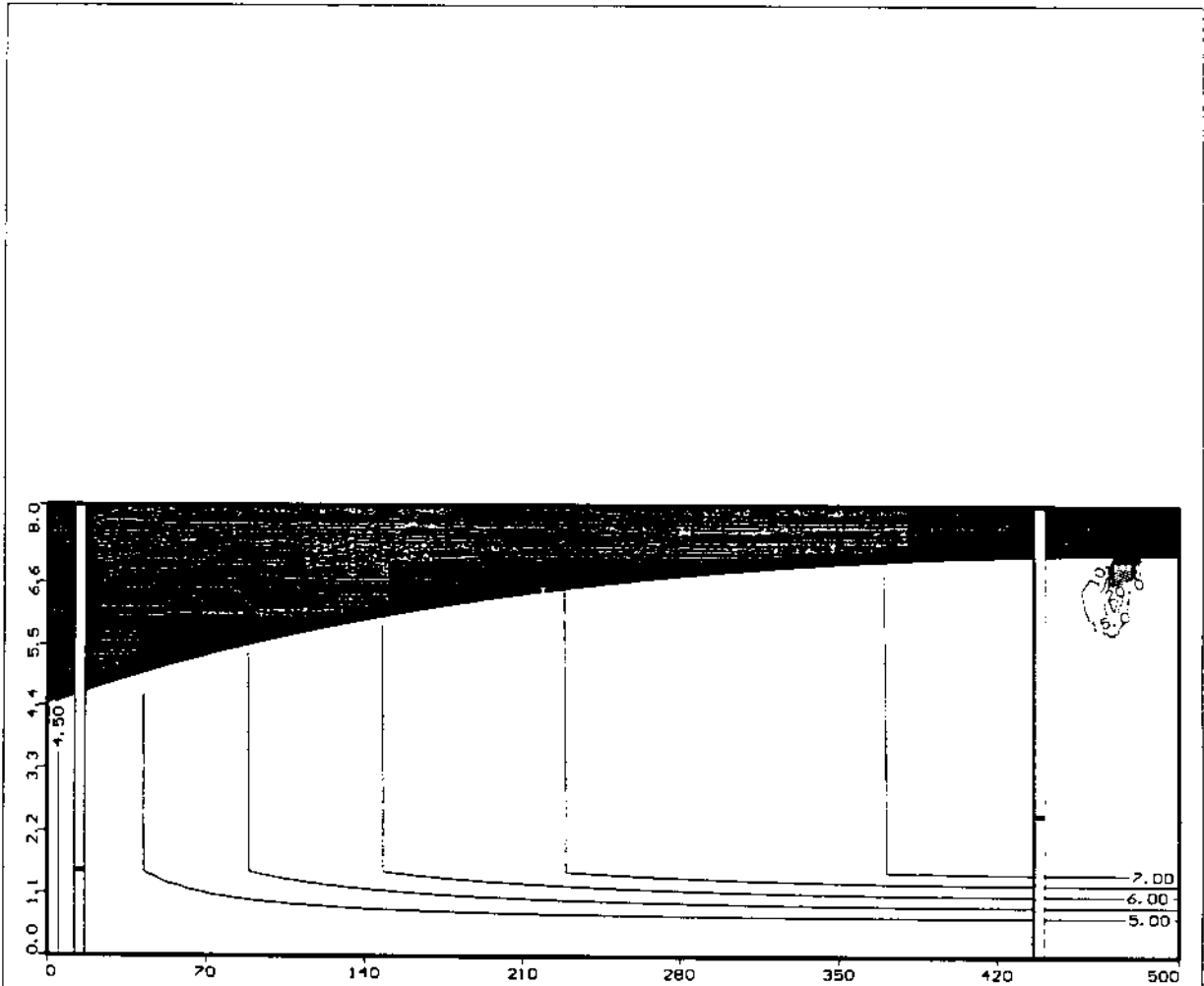
Figur 11.18



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 38 b vk 35mm/yr 20yr
 Description: Stoftransport q=400m3
 Modeller: KD/PR
 22 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Layer: 1

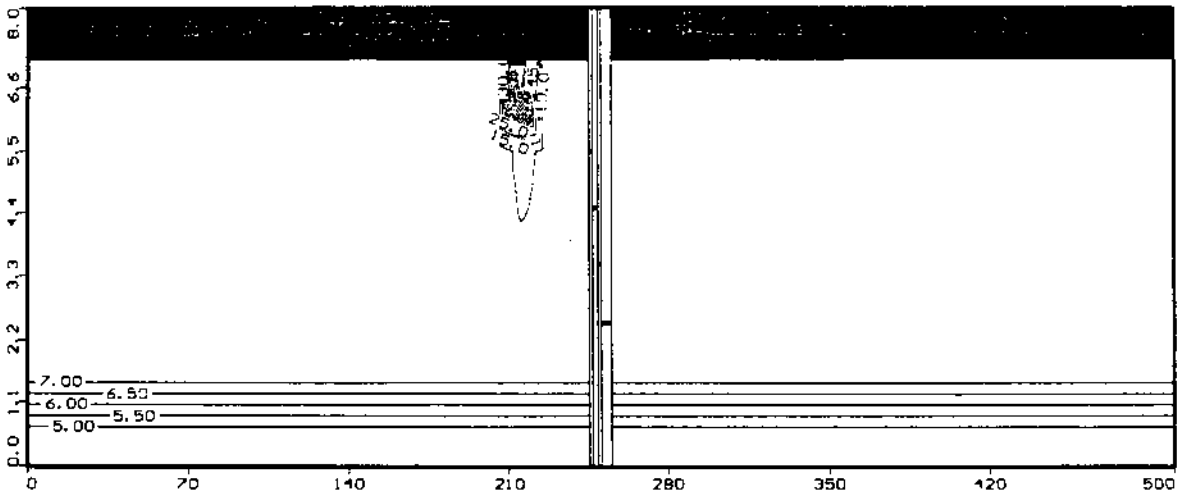
Figur 11.19



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 38 c vk 35mm/yr 20yr
Description: Stoftransport $q=400m^3$
Modeller: KD/PR
22 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 26

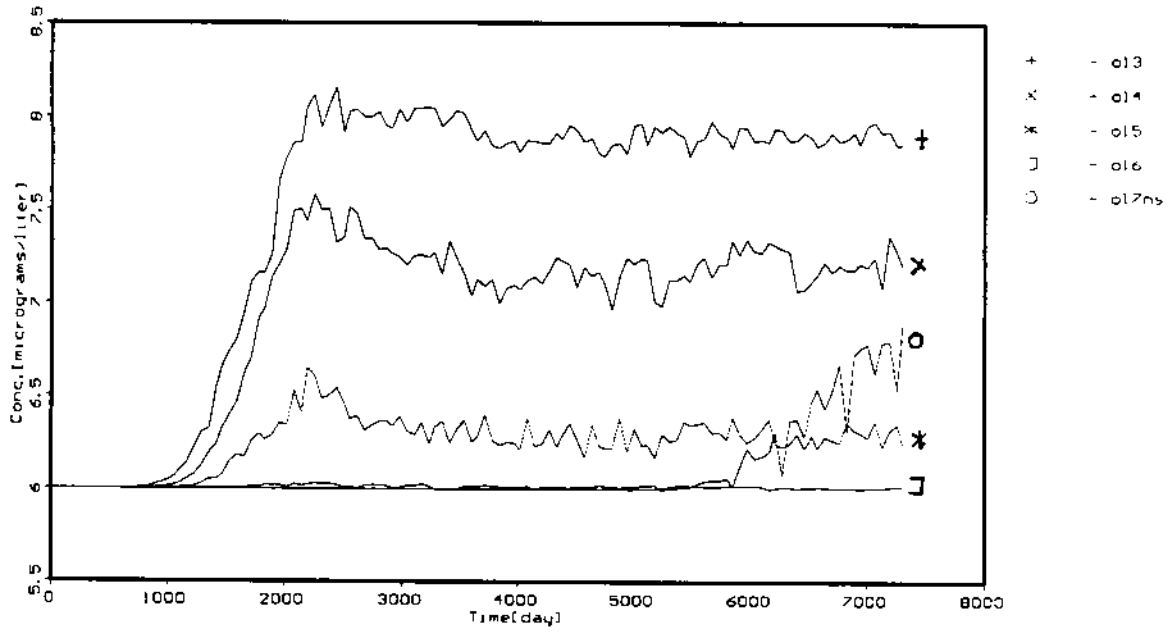
Figur 11.20



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 38 d vk 35mm/yr 20yr
Description: Stoftransport q=400m3
Modeller: KD/PR
22 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.81, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Row: 24

Figur 11.21



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 38 e vk 35mm/yr 20yr
 Description: Stoftransport q=400m3
 Modeller: KD/PR
 22 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.81. (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Layer: 1

12 Simuleringsresultat for sti

Denne simulering er foretaget for at undersøge påvirkningen af grundvandet og indvindingsvandet fra en sti anlagt med restprodukter/jord.

Hvorvidt stier etableres med eller uden afløb afhænger ofte af, om der allerede findes et afløbssystem i området.

Der er taget udgangspunkt i, at 50 % af nettonedbøren infiltrerer gennem stien. Stier med afløb vil give et mindre bidrag set i forhold til veje på grund af den mindre bredde. Hvis begge anlægsarbejder er forsynet med afløb vil påvirkningen være mindre for stier. Da veje med afløb overholder grundvandskvalitetskriteriet, vil stier med afløb således også gøre det. Derfor er der ikke foretaget simulering af dette scenarium.

12.1 Stationær strømning

Sti uden afløb

Fig. 12.2 viser potentialekurverne og placering af sti ved stationære strømningforhold. Vandet ved den opstrøms modelrand er stort set stillestående som for øvrige anlægsarbejder. Gradienten kan aflæses til 0,8 o/oo ved infiltration på 175 mm/år mellem sti og indvinding. Den gennemsnitlige porevandshastighed er aflæst til ca. 9 m/år i området mellem sti og observationsboringer og for hele modelområdet er den ca. 48 m/år.

12.2 Stationær stoftransport

Fig. 12.4 og 12.5 viser profiler gennem modelområdet efter 100 år ved en infiltration gennem vejen på 175 mm/år, hvor stofkoncentrationen er omkring 30 µg/l umiddelbart under vejen, mens koncentrationen er faldet til ca. 7 µg/l ved den nedstrøms rand i lag 7.

Fig. 12.6 viser koncentrationen af stof i de forskellige lag som funktion af tiden. Koncentrationen i ol3 og ol4 er højest og hhv. 9 µg/l og 8 µg/l i gennemsnit for 10 - 20 år. Der sker et gennembrud af stof efter ca. 3 år i observationsboringen. I den nedstrøms observationsboring ol7ns, ses intet klart gennembrud, idet den samlede mængde stof, der tilledes systemet er så lille, at værdien blot svinger omkring baggrunds niveau eller lige over. Koncentration i grundvandet ligger under grundvandskvalitetskriteriet i denne situation.

12.3 Filterinterval og niveau

Det mest kritiske filterniveau for en indvindingsboring placeret 30 meter fra anlægsarbejdet, er i lag 3 og 4, hvor koncentrationen af stof er højest ved infiltration på 175 mm/år gennem stien.

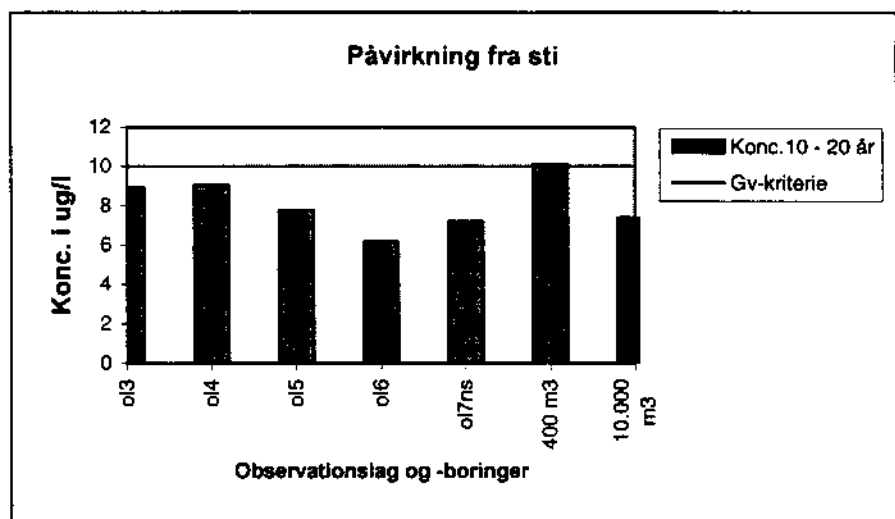
12.4 Variation af indvindingsmængden

Figur 12.7-12.11 og 12.12-12.16 viser profiler, koncentrationen over tid i observationsboringerne og potentialet efter 20 år ved en oppumpning på 400 m³/år og 10.000 m³/år.

Påvirkning af indvindingsvand

Koncentration stiger i forhold til situationen uden indvinding i lag 3 og 4, hvilket medfører, at koncentrationen i indvindingen bliver ca. 10 µg/l i gennemsnit for perioden 10 til 20 år ved en indvinding på 400 m³/år. Dette er det samme niveau som grundvandskriteriet. Når indvindingen stiger til 10.000 m³/år falder koncentrationen til ca. 7,4 µg/l som gennemsnit for perioden 10 - 20 år.

Den stigning der ses i fig 12. 1, som følge af oppumpning på 400 m³/år i forhold til simuleringen uden indvinding skyldes, at simuleringen uden indvinding varierer meget jf. fig. 12.6. Hvis koncentrationen for de enkelte lag var opgjort for en længere periode, havde der ud fra figuren været tale om værdier af samme størrelsesorden.

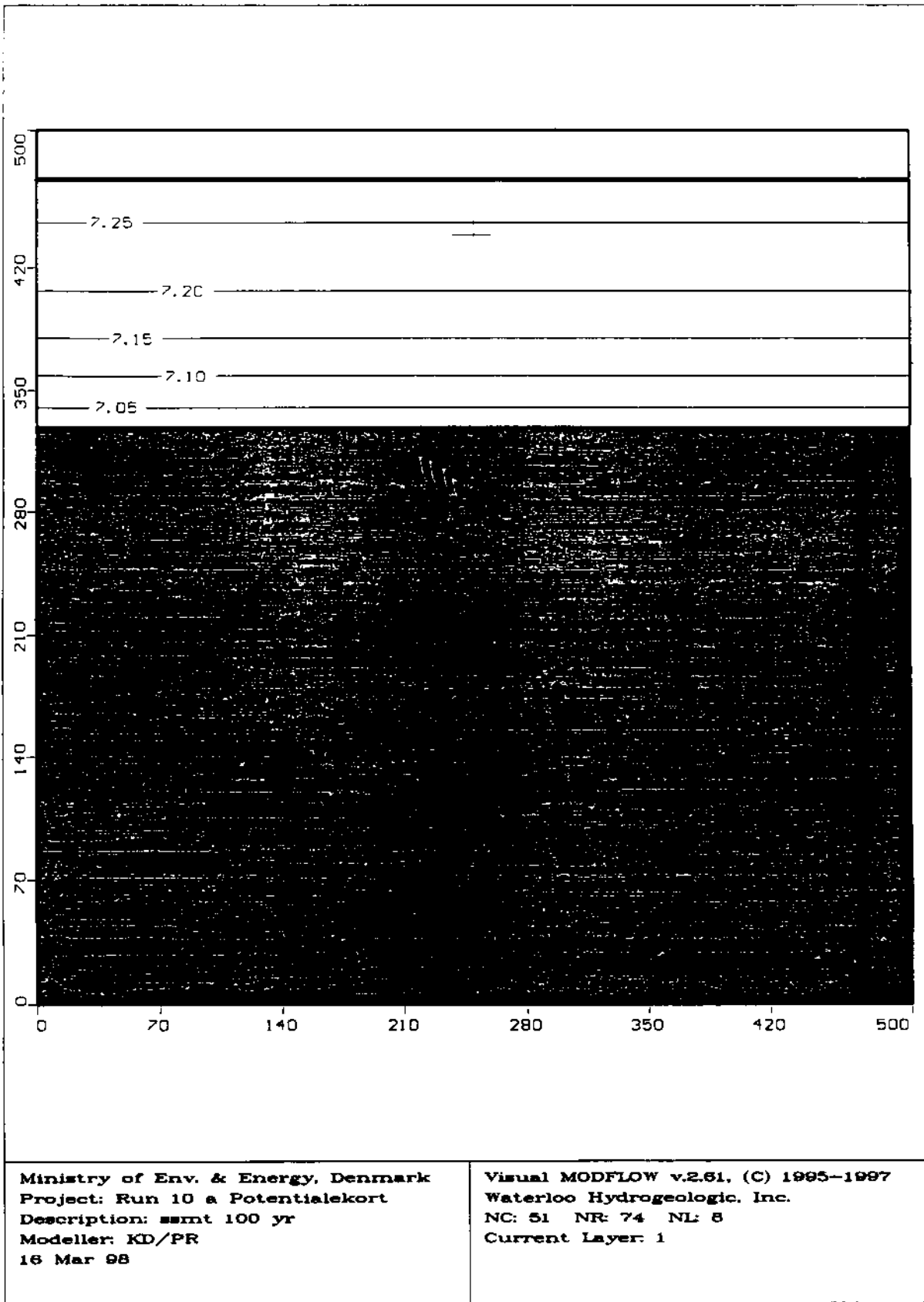


Figur 12.1 Stofkoncentrationen i grund- og indvindingsvand fra sti.

12.5 Vurdering af påvirkning fra sti

Ved anlæg af stier, hvor der anvendes restprodukt, skal overfladen være med fast belægning og tæt. Det antages, at halvdelen af den nedbør, der falder på stien, vil afstrømme og nedsive ved stiens sider. Stien er placeret i en afstand af 27,5 m fra den opstrøms modelrand. Stofudvaskningens størrelse fra stien overholder grundvandskvalitetskriteriet i magasinet uden indvinding og ved 400m³/år er koncentrationen i indvindingsvandet af samme størrelsesorden som grundvandskriteriet.

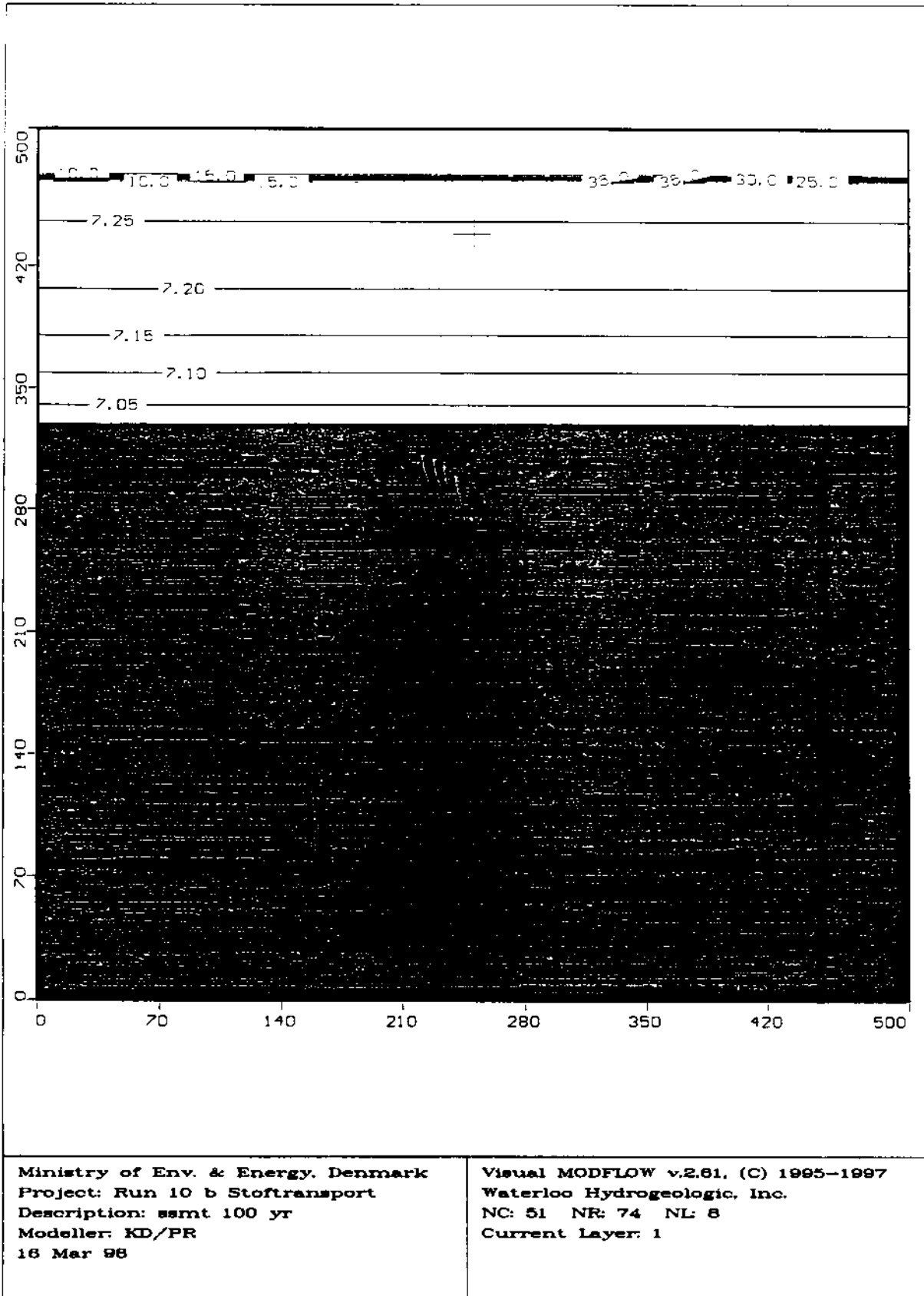
Figur 12.2



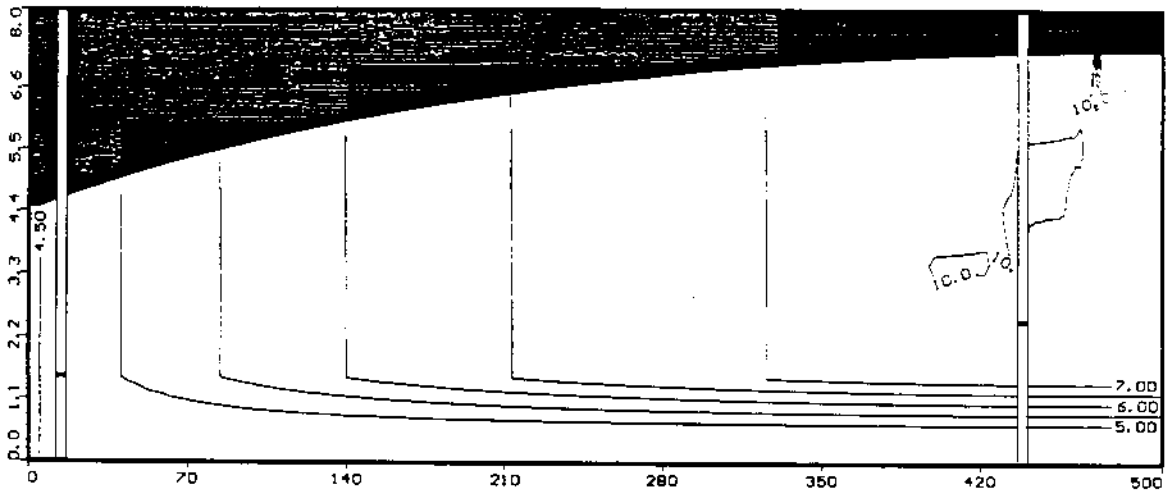
Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 10 a Potentialekort
Description: smnt 100 yr
Modeller: KD/PR
16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 1

Figur 12.3



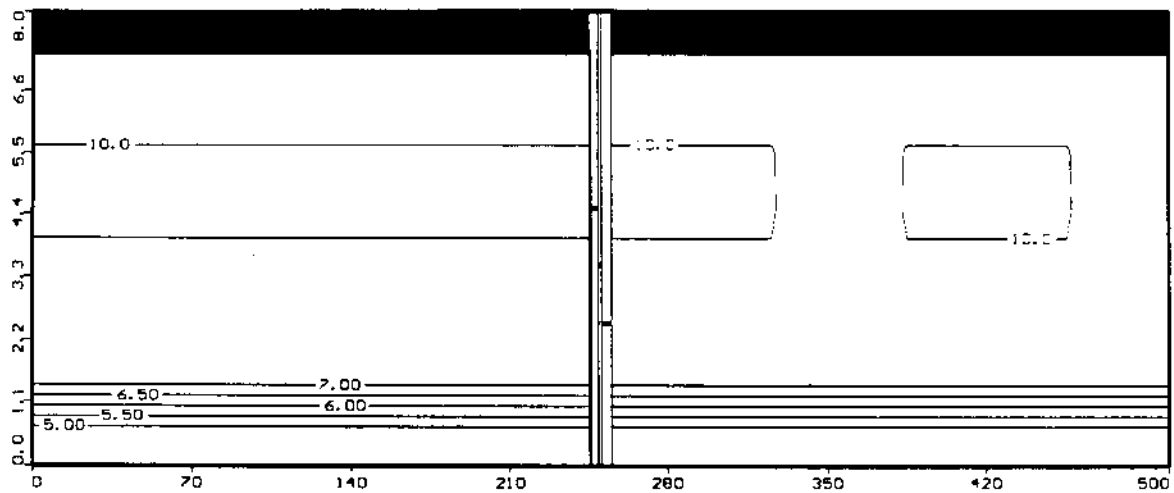
Figur 12.4



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 10 c Stoftransport
Description: ssmt 100 yr
Modeller: KD/PR
16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.81, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 28

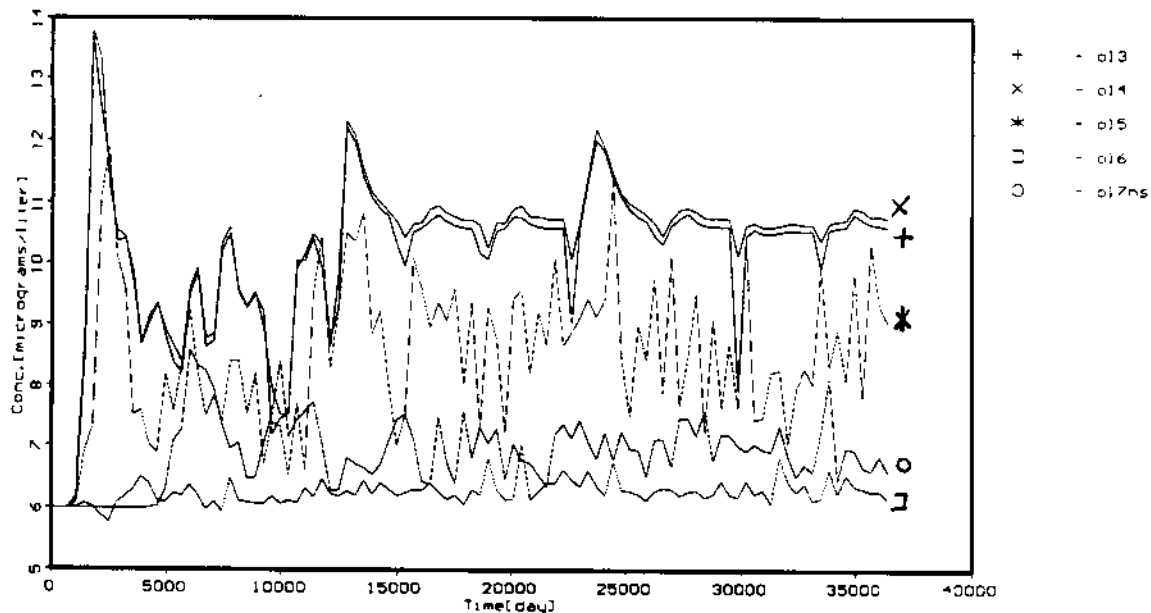
Figur 12.5



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 10 d Stoftransport
 Description: samt 100 yr
 Modeller: KD/PR
 16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61. (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Row: 24

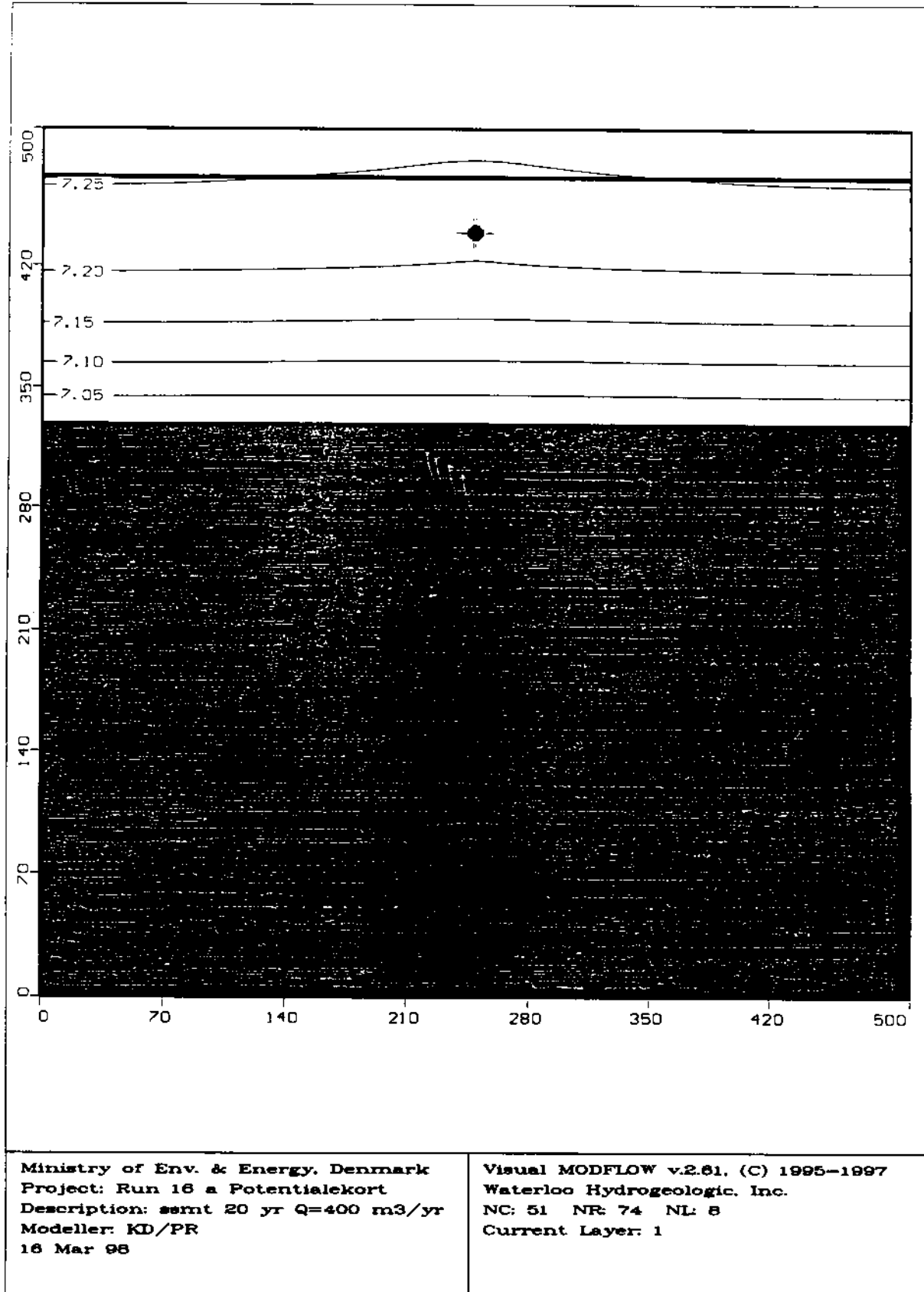
Figur 12.6



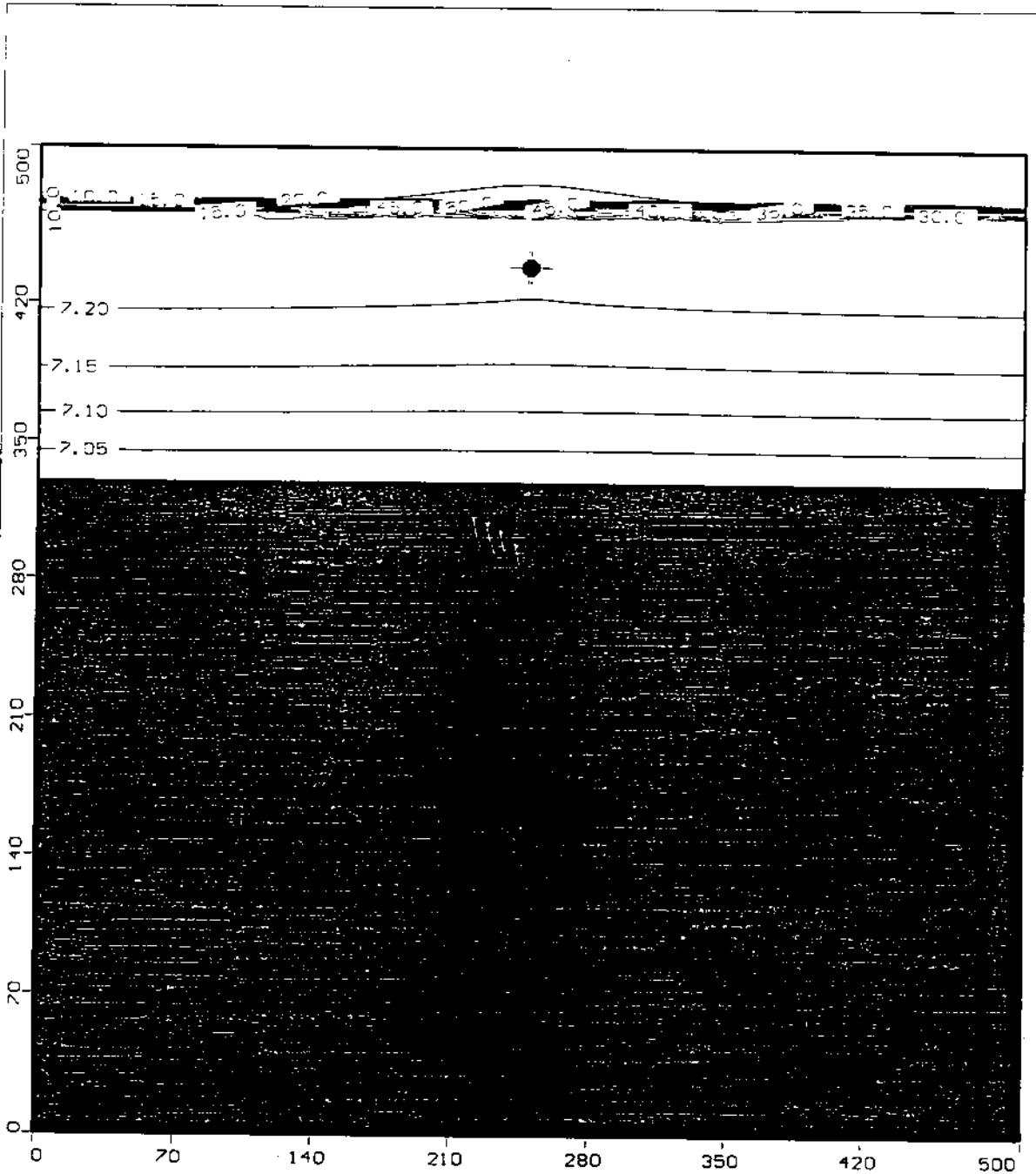
Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 10 e stoftransport
 Description: smt 100 yr
 Modeller: KD/PR
 18 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.81, (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Layer: 1

Figur 12.7



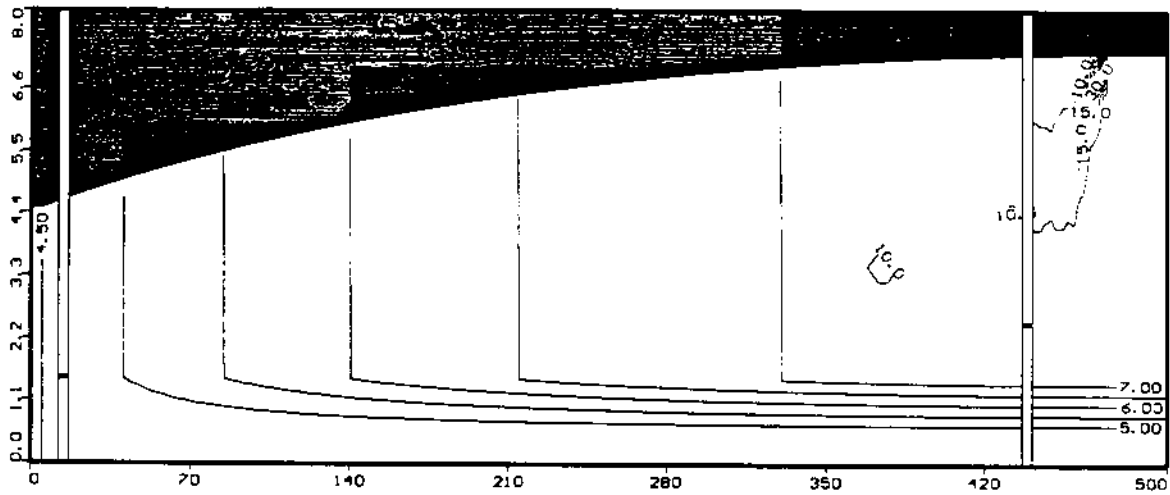
Figur 12.8



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 18 b Stoftransport
Description: asmt 20 yr Q=400 m³/yr
Modeller: KD/PR
16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61. (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: S1 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 1

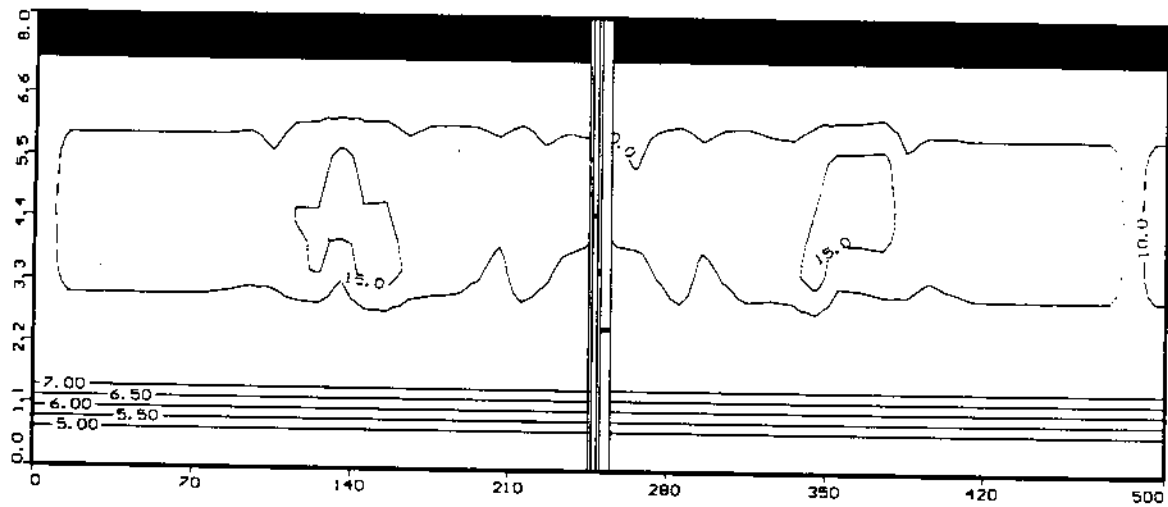
Figur 12.9



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 18 c Stofftransport
Description: ssmt 20 yr Q=400 m³/yr
Modeller: KD/PR
16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 26

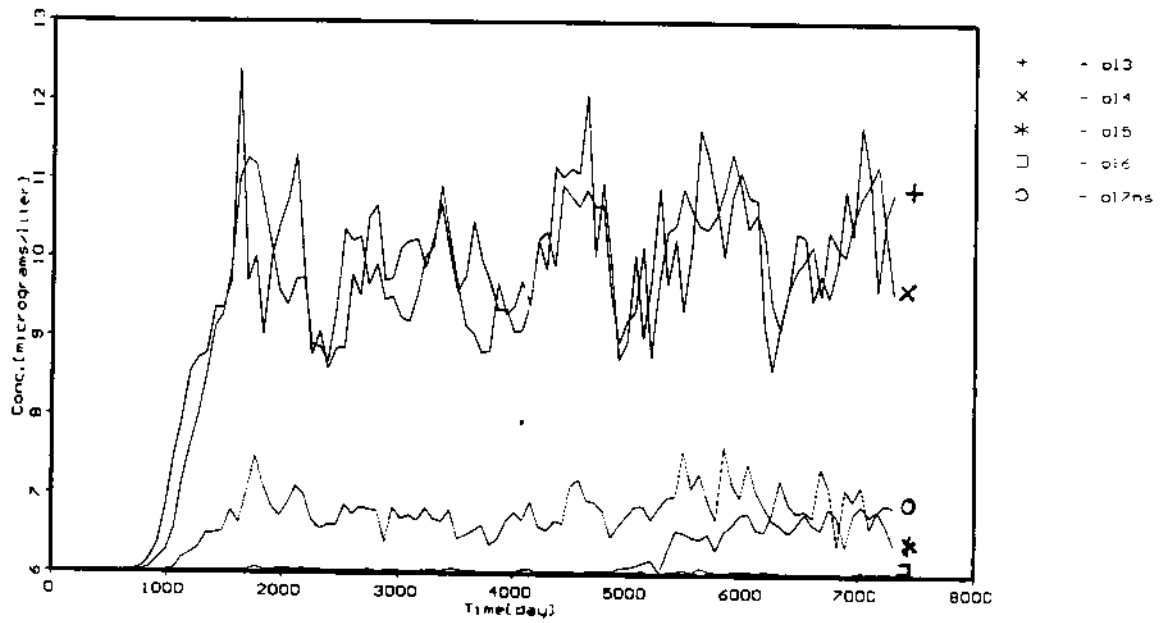
Figur 12.10



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 16 d Stoftransport
Description: ssmt 20 yr Q=400 m³/yr
Modeller: KD/PR
16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Row: 24

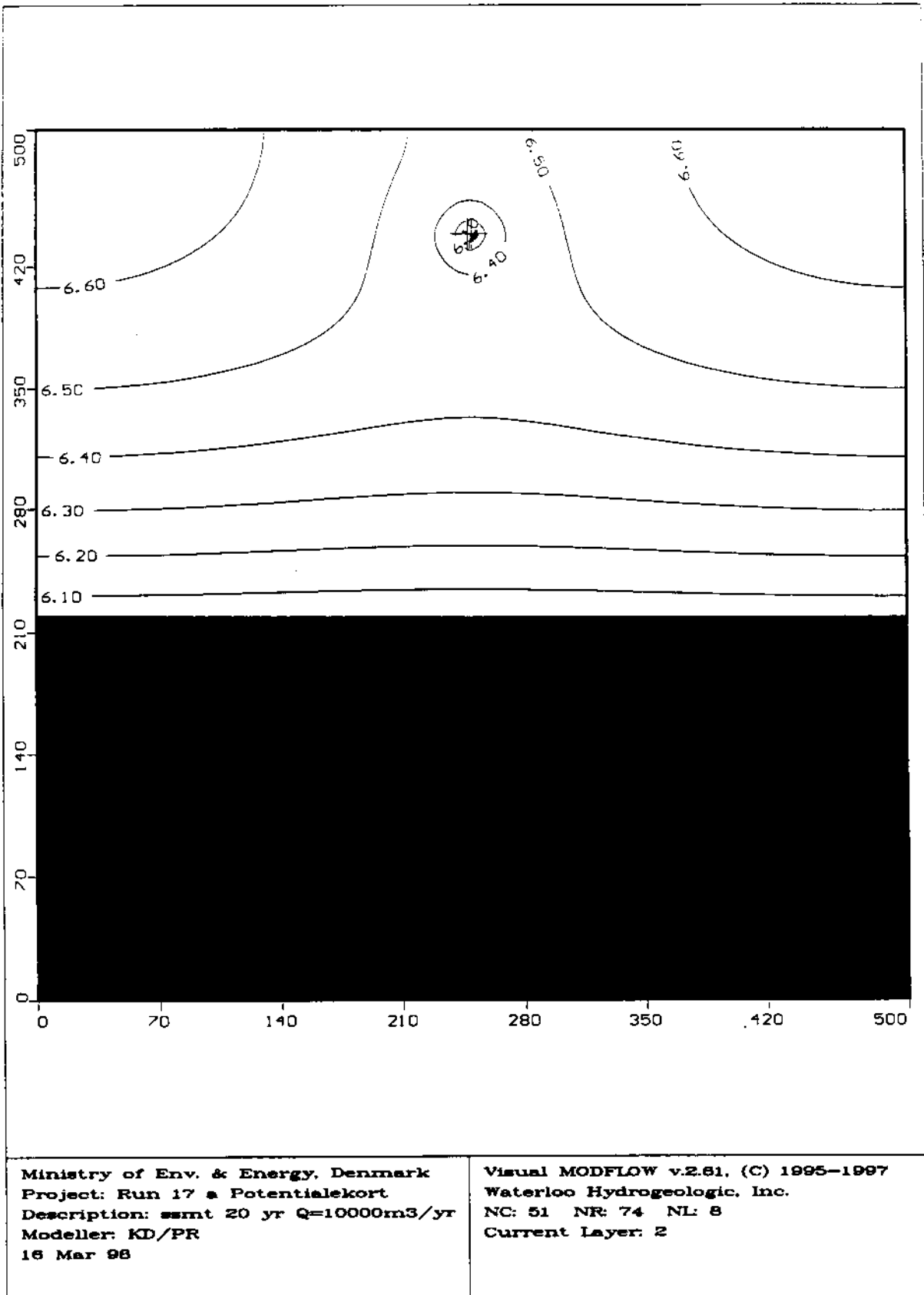
Figur 12.11



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 16 e Stoftransport
Description: ssmt 20 yr Q=400 m3/yr
Modeller: KD/PR
16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 1

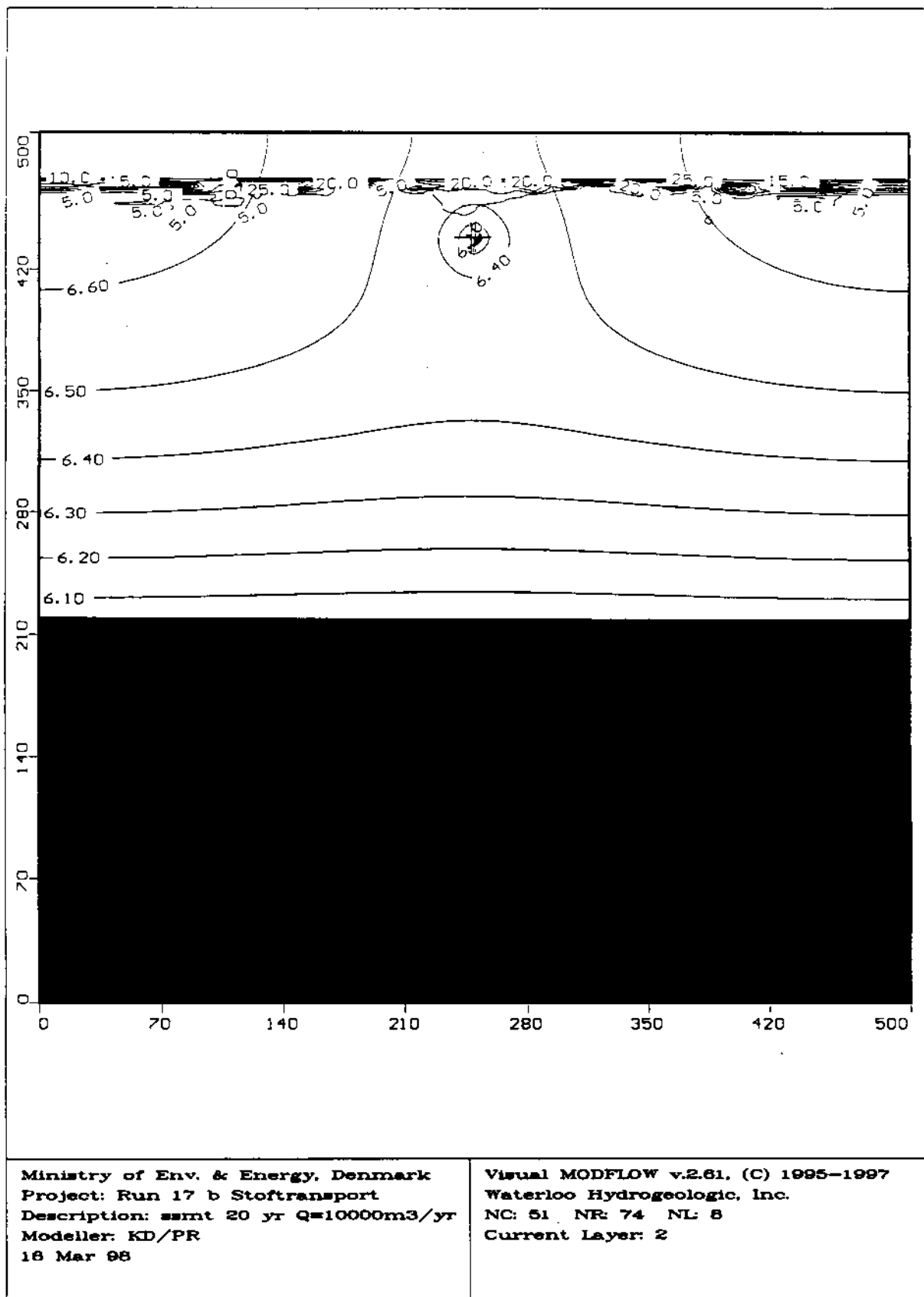
Figur 12.12



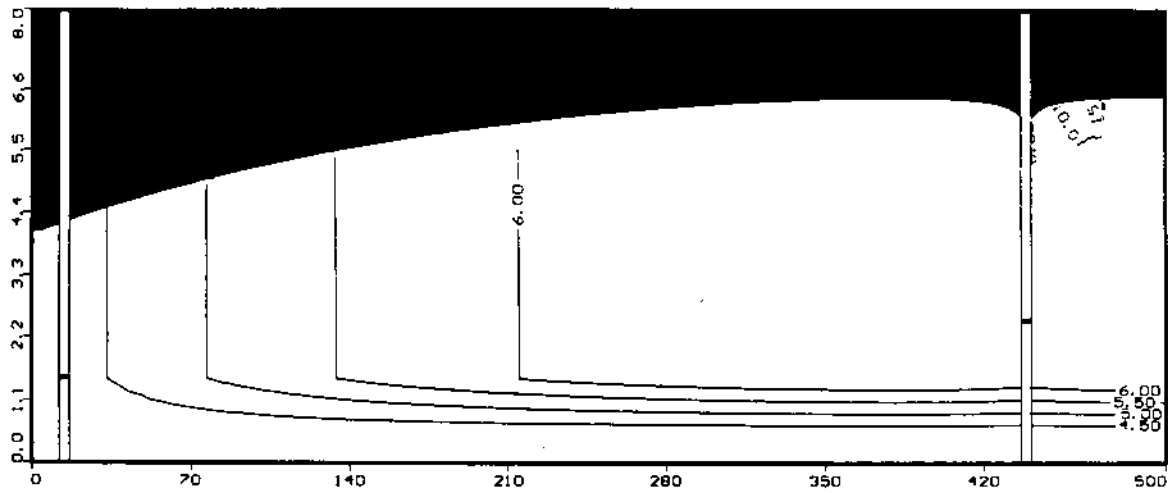
Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 17 a Potentialekort
Description: ssmt 20 yr Q=10000m3/yr
Modeller: KD/PR
16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 2

Figur 12.13



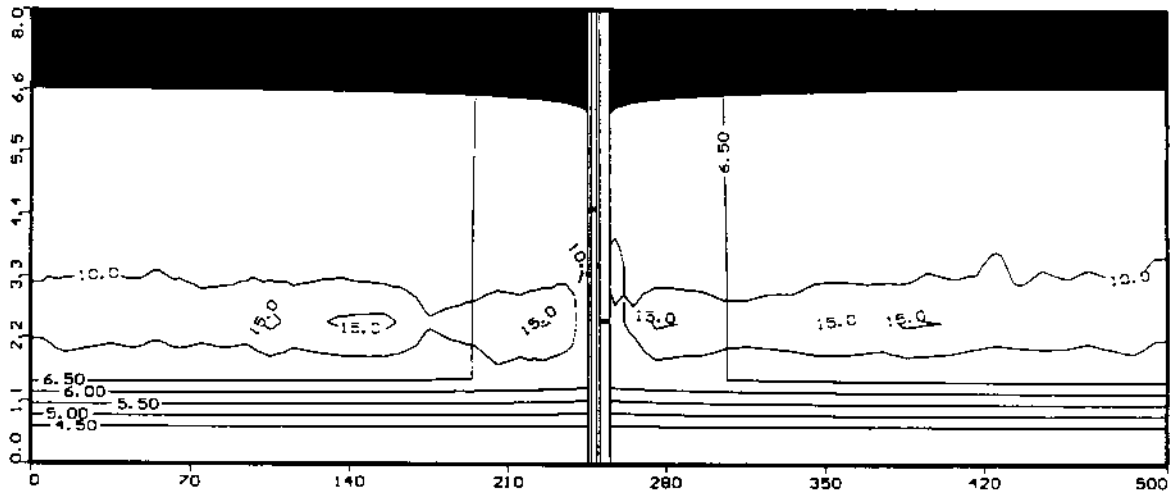
Figur 12.14



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 17 c Stoftransport
Description: ssmt 20 yr Q=10000m3/yr
Modeller: KD/PR
18 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 26

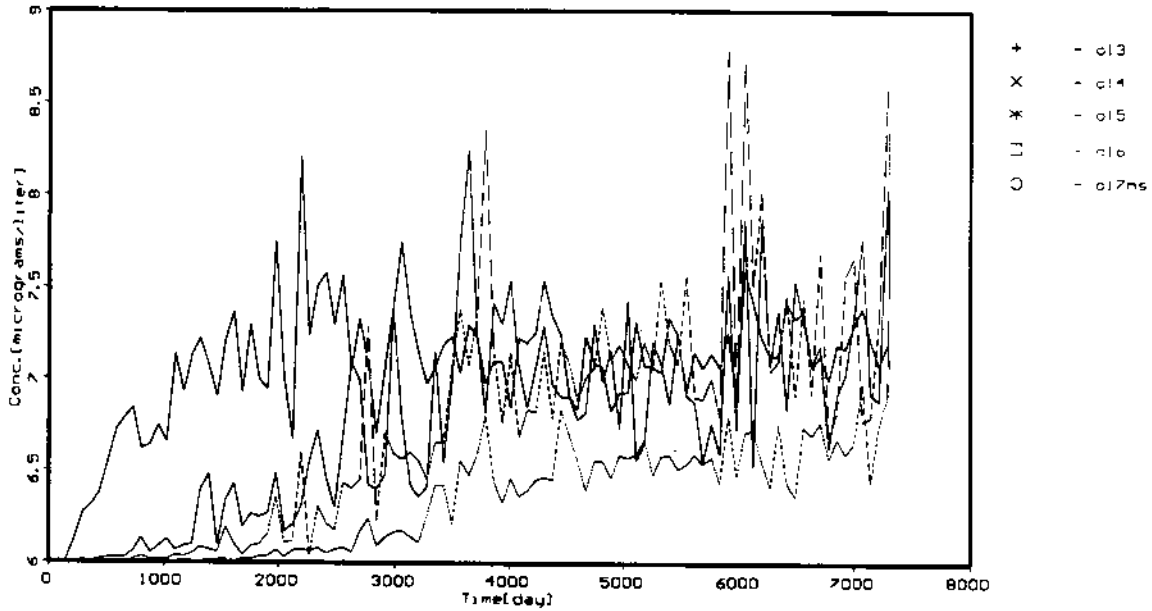
Figur 12.15



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 17 d Stoftransport
 Description: ssmt 20 yr Q=10000m³/yr
 Modeller: KD/PR
 16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Row: 24

Figur 12.16



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 17 e Stoftransport
Description: smt 20 yr Q=10000m³/yr
Modeller: KD/PR
16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61. (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 2

13 Simuleringsresultat for plads

Max. 2000 m²

Ved simulering af påvirkningen fra en plads er der taget udgangspunkt i et areal på 2.000 m². Kravet om, at en plads ikke må overstige 2.000 m² giver mulighed for at variere længden i forhold til bredden på mange måder. Det er valgt kun at undersøge en mulighed, hvor pladsen er placeret i det forventede indvindingsopland.

Den valgte plads har dimensionen 60 x 32,5 m, hvilket var den form, som gav et areal tættest på 2.000 m² i modelopsætning, når pladsen skulle være centreret i forhold til observationsboringer/ indvindingsboringer.

Pladser med afløb

Pladser forventes som hovedregel at blive etableret med afledning til regnvandssystem. Infiltrationen gennem pladsen er derfor sat til 10 % af nettonedbøren svarende til 35 mm/år.

13.1 Stationær strømning

Fig. 13.2 viser potentialekurverne og placering af plads ved stationære strømningforhold. Vandet ved den opstrøms modelrand er stort set stillestående som for de øvrige anlægsarbejder. Gradienten kan aflæses til 0,8 o/oo mellem plads og indvinding. Den gennemsnitlige porevandshastighed er aflæst til ca. 8 m/år i området mellem plads og observationsboring og for hele modelområdet ca. 50 m/år.

13.2 Stationær stoftransport

Fig. 13.4 og 13.5 viser profiler gennem modelområdet efter 50 år, hvor koncentrationen af stof varierer fra 23 - 93 µg/l umiddelbart under pladsen, mens koncentrationen er faldet til ca. 16 µg/l ved nedstrømsrand i lag 7.

Fig. 13.6 viser koncentrationen af stof i de forskellige lag som funktion af tiden. Koncentrationen i ol3 og ol4 er højest og hhv. 34 µg/l og 36 µg/l i gennemsnit for 10 - 50 år. Der sker et gennembrud af stof efter ca. 3 år i observationsboringen. I den nedstrøms observationsboring ol7ns, ses gennembrud efter 11 år. Koncentration i grundvandet ligger over grundvandskriteriet i denne situation.

13.3 Filterinterval og niveau

Det mest kritiske filterniveau for en indvindingsboring placeret 30 meter fra anlægsarbejdet, er i lag 3 og 4, hvor koncentrationen af stof er højest.

13.4 Variation i indvindingsmængden

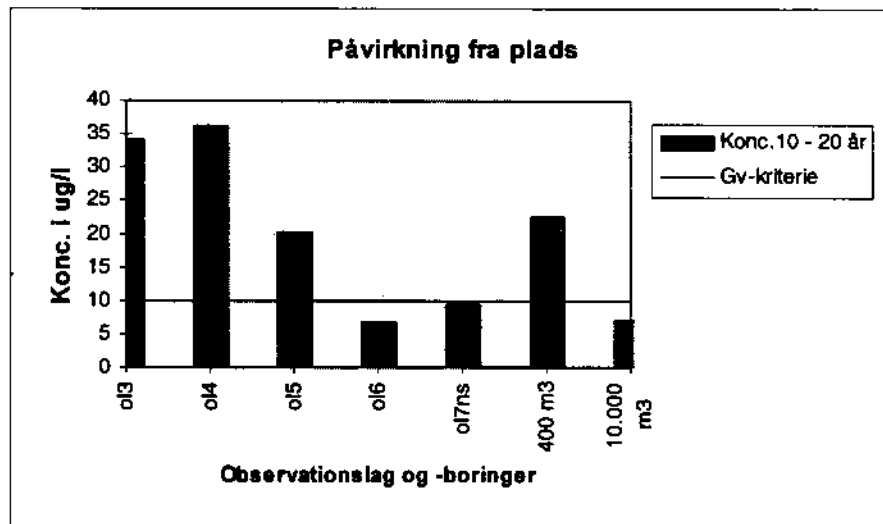
Figur 13.7 - 13.11 og 13.12 - 13.16 viser profiler, koncentrationen over tid i observationsboringerne og potentialet efter 20 år ved en oppumpning på 400 m³/år og 10.000 m³/år.

Påvirkning af indvindingsvand

Koncentration falder i forhold til situationen uden indvinding i lag 3 og 4, hvilket medfører, at koncentrationen i indvindingen bliver ca. 22 µg/l i gennemsnit for perioden 10 til 20 år ved en indvinding på 400 m³/år. Når indvindingen stiger til 10.000 m³/år falder koncentrationen til ca. 7 µg/l som gennemsnit for perioden 10 - 20 år. Dette markante fald ved indvinding skyldes, at selv om indvindingen har hele pladsen som opland udgør den samlede mængde af vand, der infiltrerer gennem pladsen kun ca. 1/6 af indvindingen ved 400 m³/år og en 1/142 ved 10.000 m³/år.

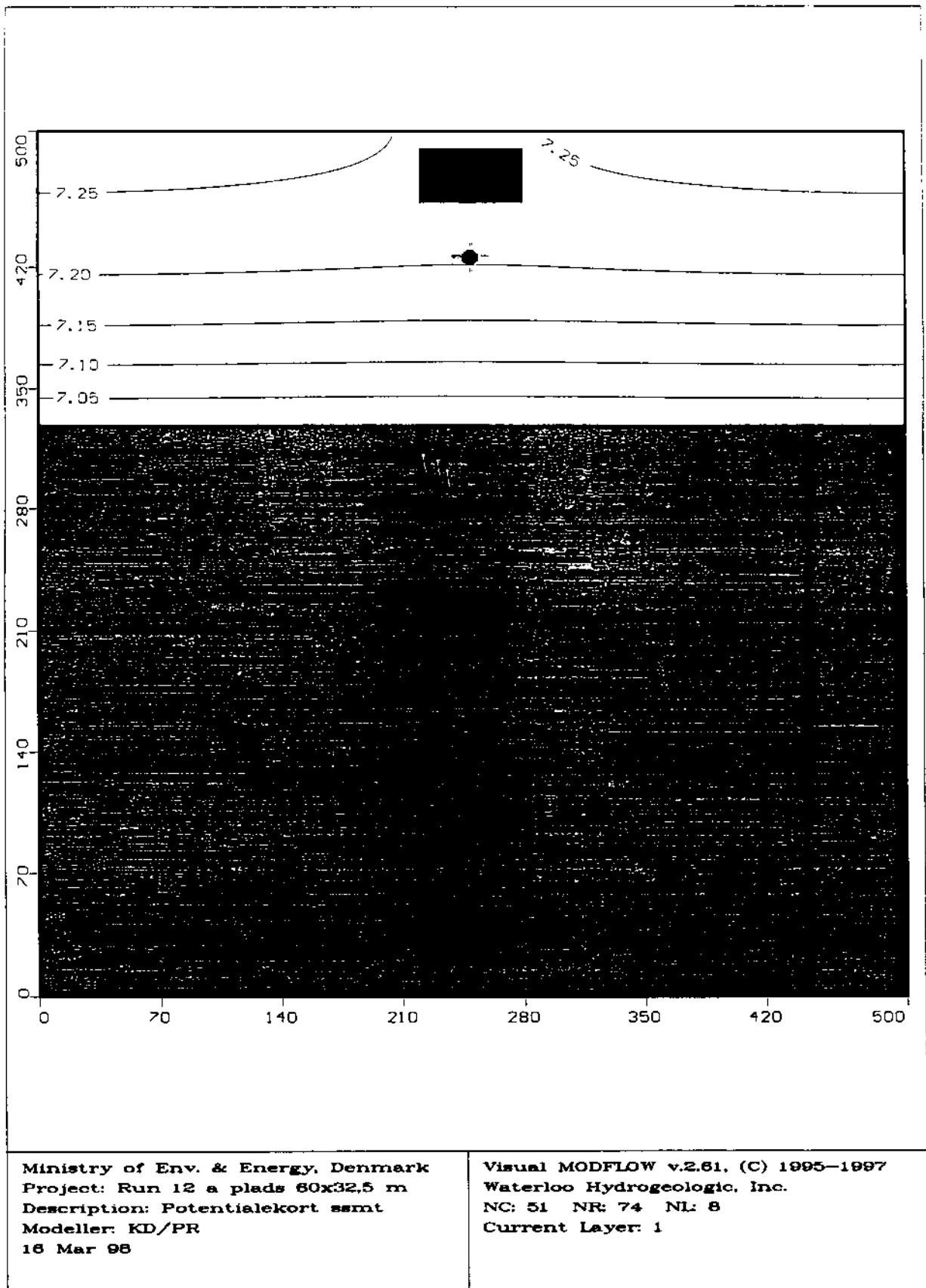
13.5 Vurdering af påvirkning fra plads

Med et krav om at pladser, hvor der anvendes restprodukter højest må udgøre et areal på 2.000 m², og etableres med fast belægning samt med afløb til overfladevand er infiltrationen sat til 10 % af nedbøren. Udvaskningen af stof fra pladsen ved en placering 6,66 m fra den opstrøms modelrand viser en overskridelse af grundvandskvalitetskriteriet i magasinet og ved en indvinding på 400 m³/år, mens kriteriet overholdes ved en indvinding på 10.000 m³/år jf. figur 13.1.

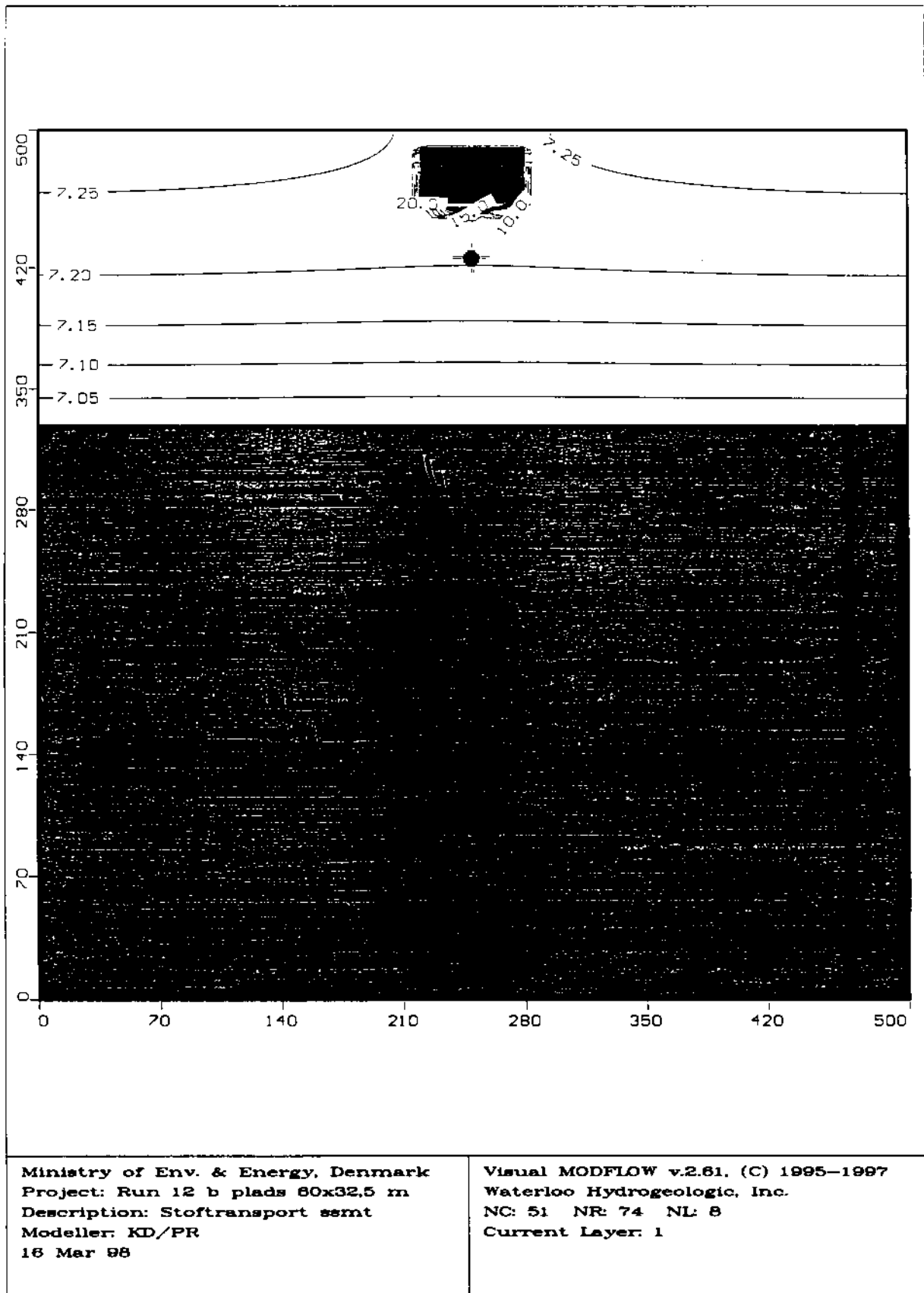


Figur 13.1 Stofkoncentrationer i grundvandsmagasinet og indvindingsvandet ved udvaskning fra plads.

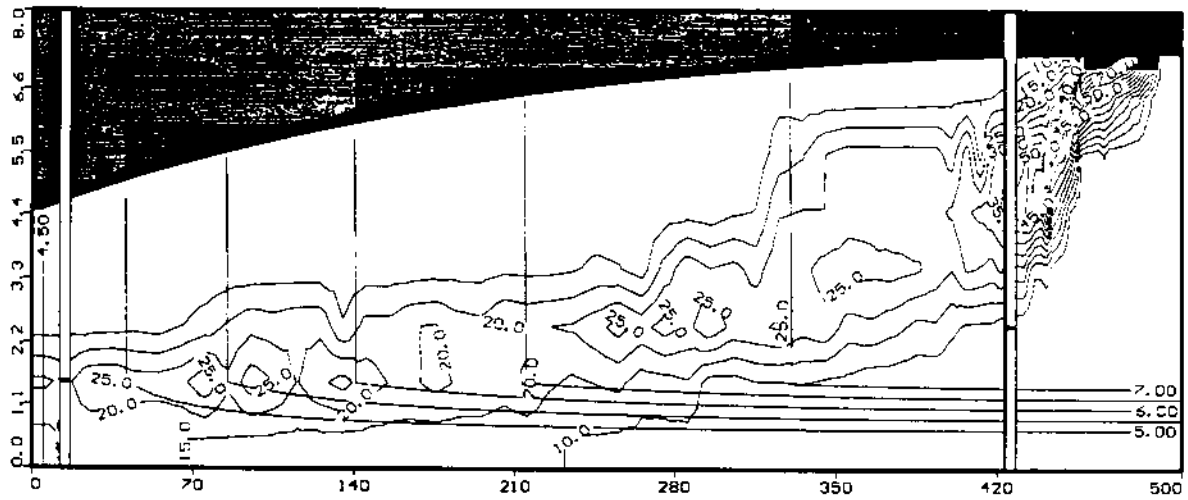
Figur 13.2



Figur 13.3



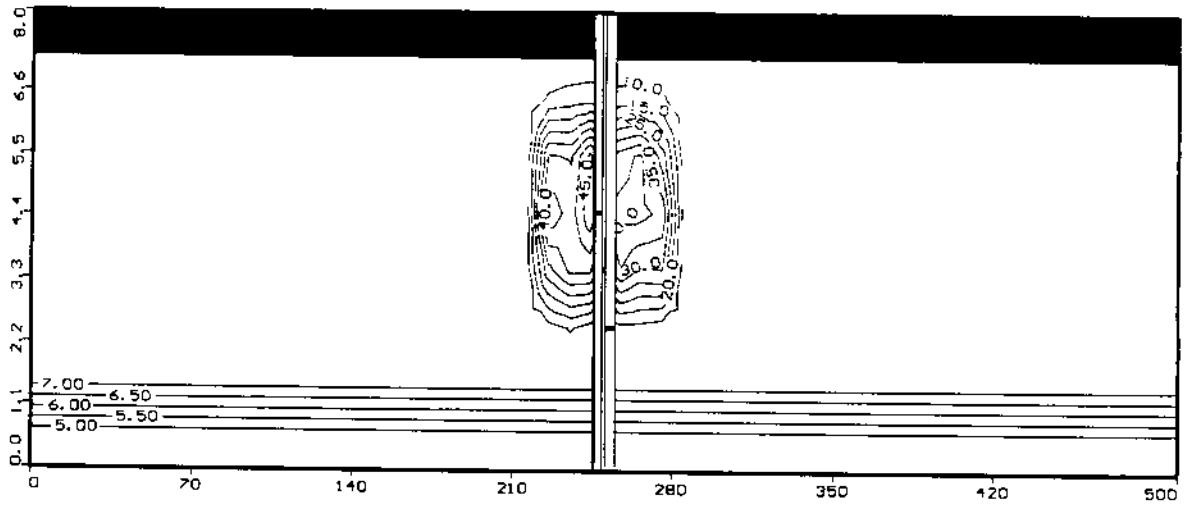
Figur 13.4



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 12 c plads 60x32,5 m
Description: Stoftransport ssmt
Modeller: KD/PR
16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 26

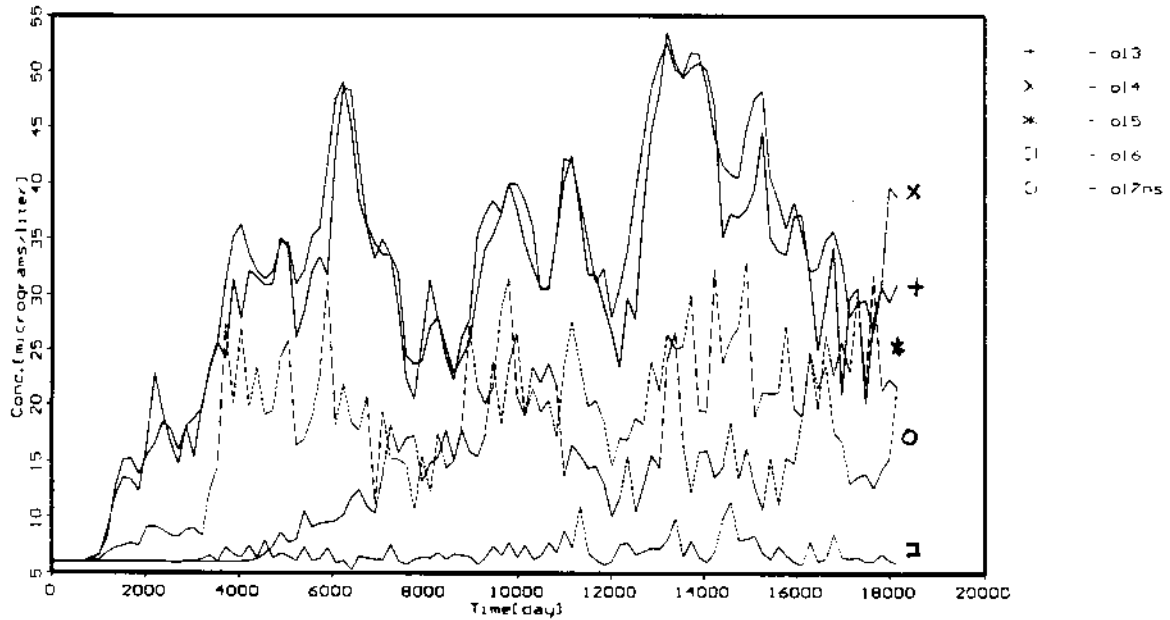
Figur 13.5



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 12 d plads 60x32,5 m
Description: Stoftransport ssmt
Modeller: KD/PR
16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Row: 29

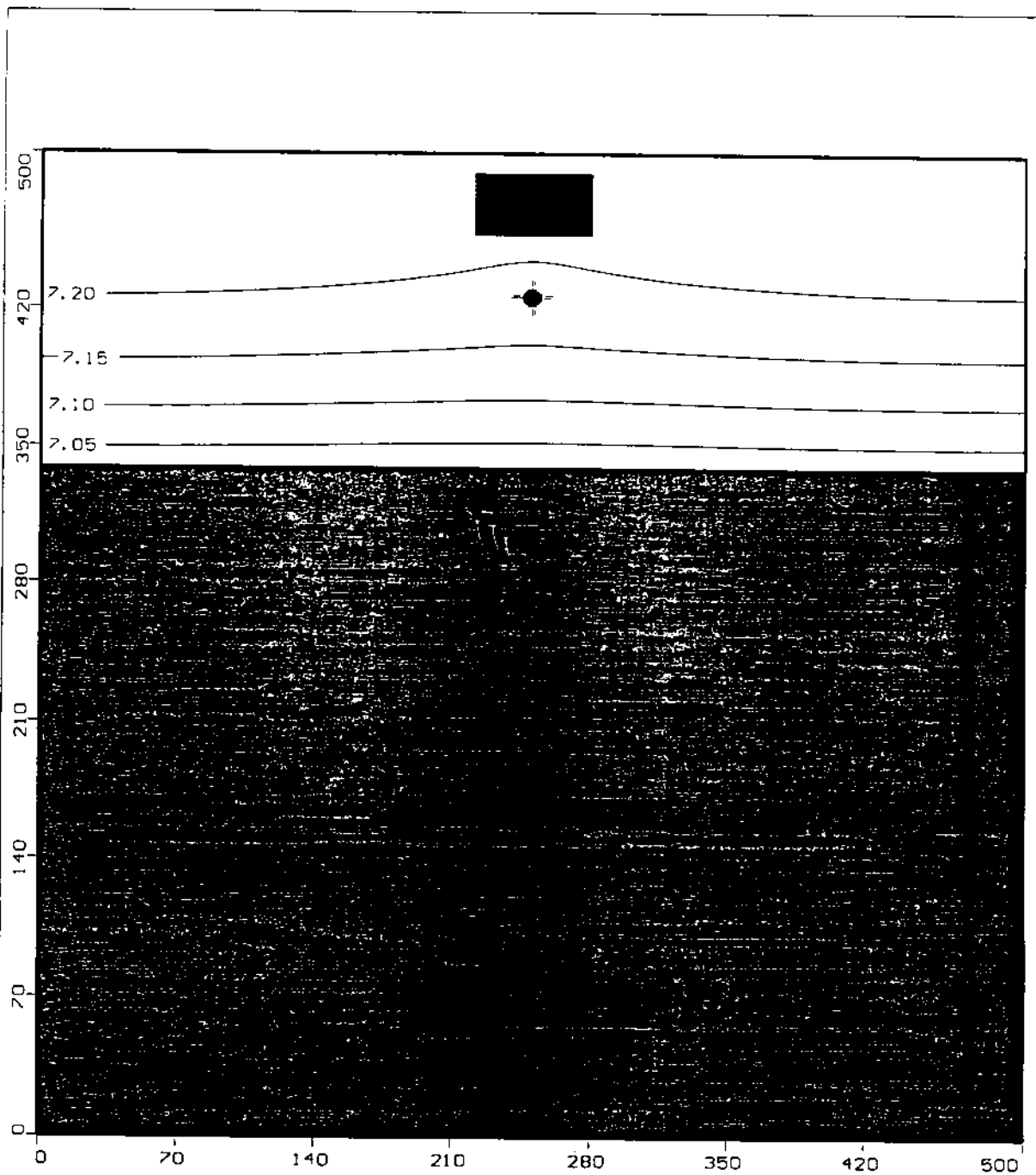
Figur 13.6



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 12 e plads 60x32,5 m
 Description: x-y-plot obs. bor. smt
 Modeller: KD/PR
 16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Layer: 1

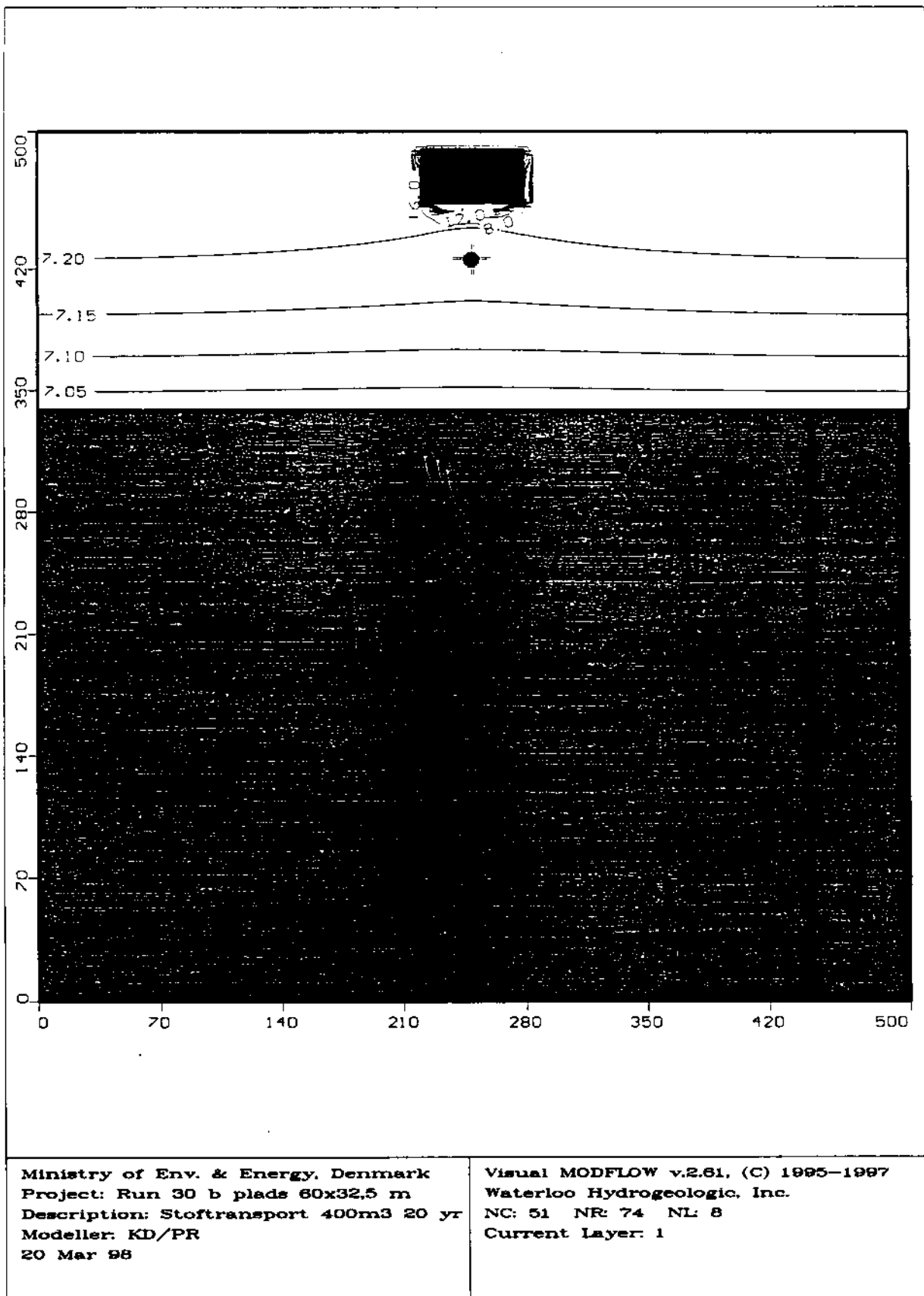
Figur 13.7



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 30 a plads 60x32,5 m
Description: Pot. kort 400 m3
Modeller: KD/PR
20 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 1

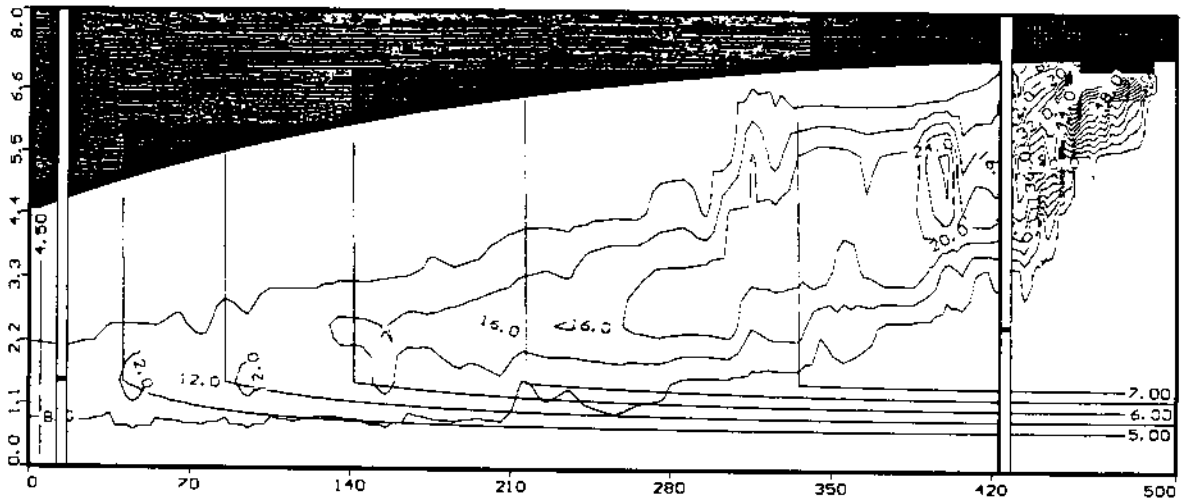
Figur 13.8



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 30 b plads 60x32,5 m
Description: Stoftransport 400m3 20 yr
Modeller: KD/PR
20 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 1

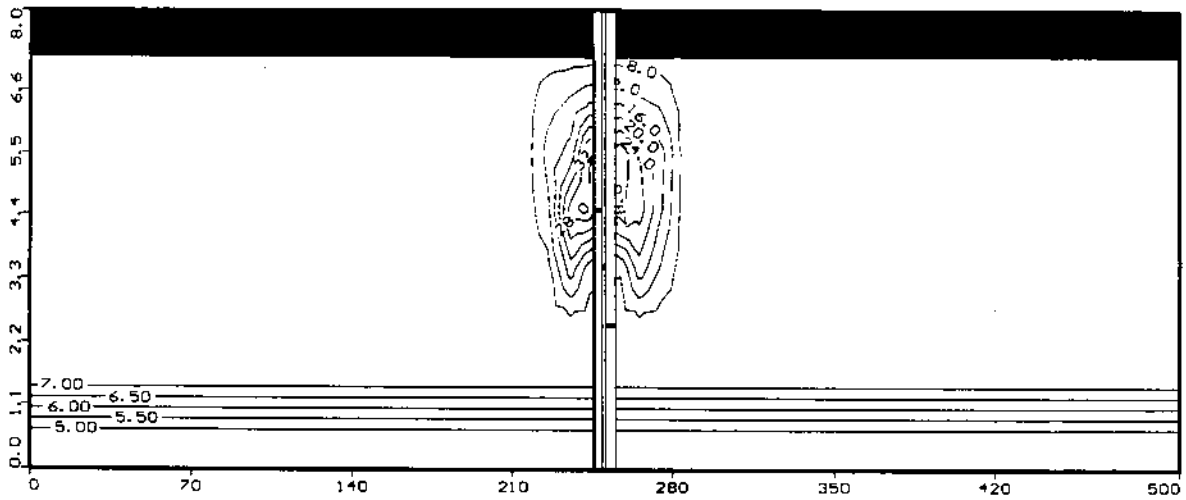
Figur 13.9



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 30 c plads 60x32,5 m
Description: Stoftransport 400m3 20 yr
Modeller: KD/PR
20 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61. (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 26

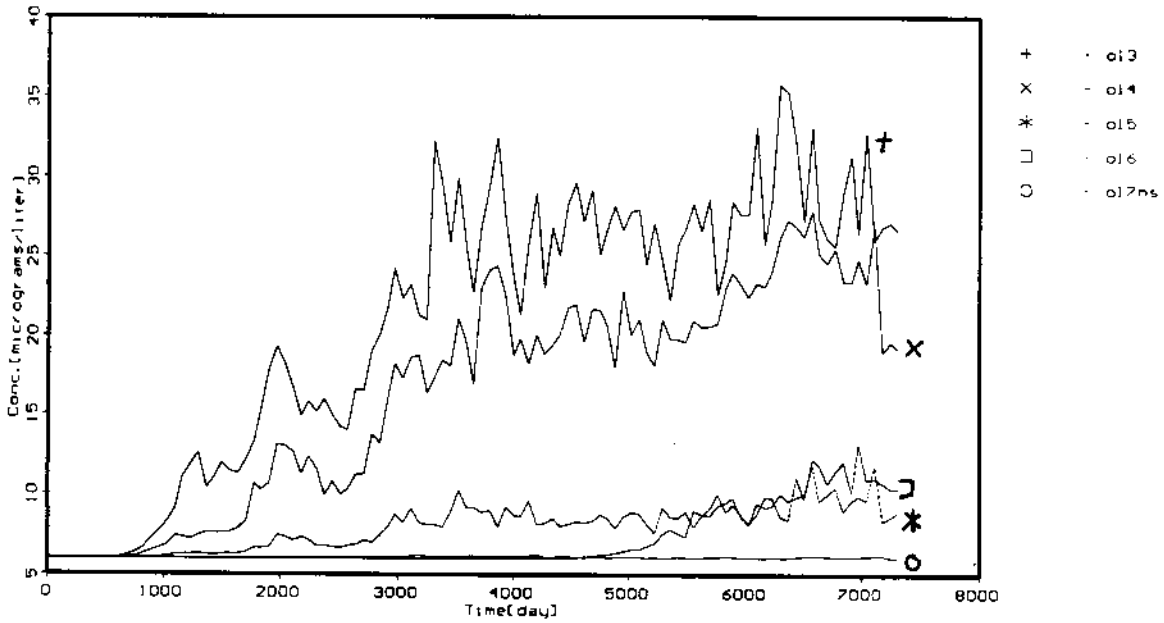
Figur 13.10



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 30 d plads 60x32,5 m
Description: Stoftransport 400m3 20 yr
Modeller: KD/PR
20 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Row: 29

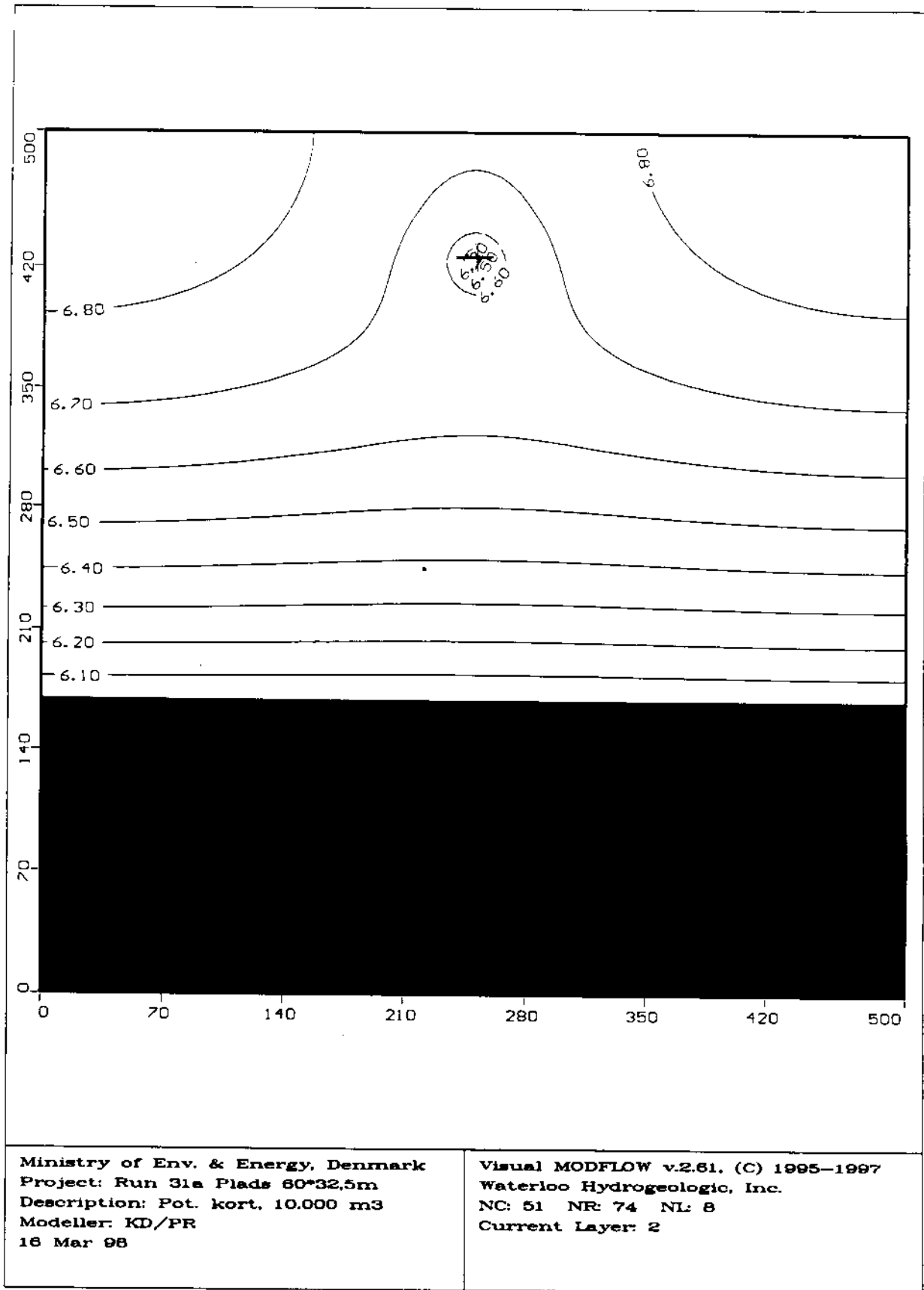
Figur 13.11



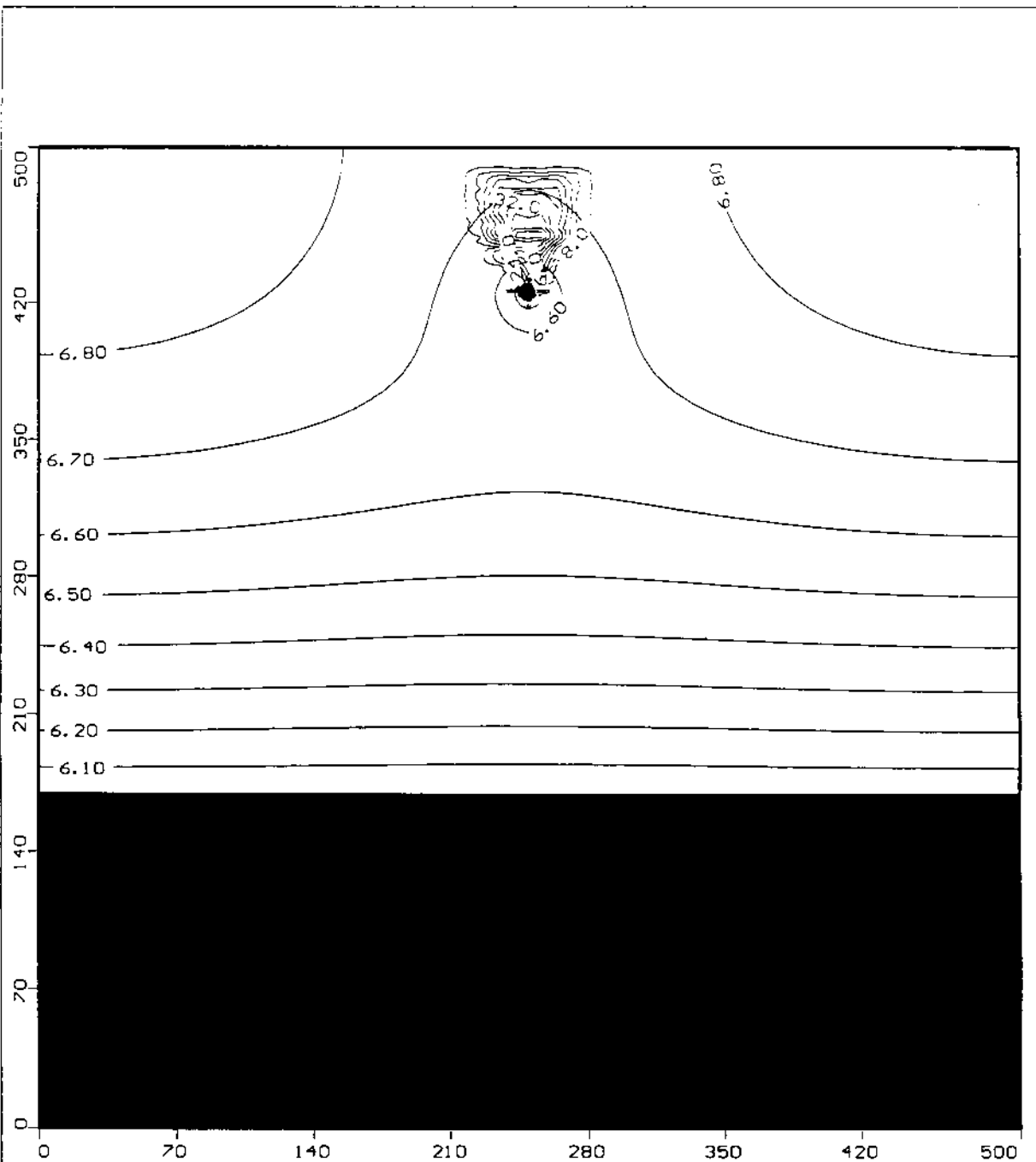
Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 30 e plads 60x32,5 m
Description: x-y-plot 400 m3 20 yr
Modeller: KD/PR
20 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 1

Figur 13.12



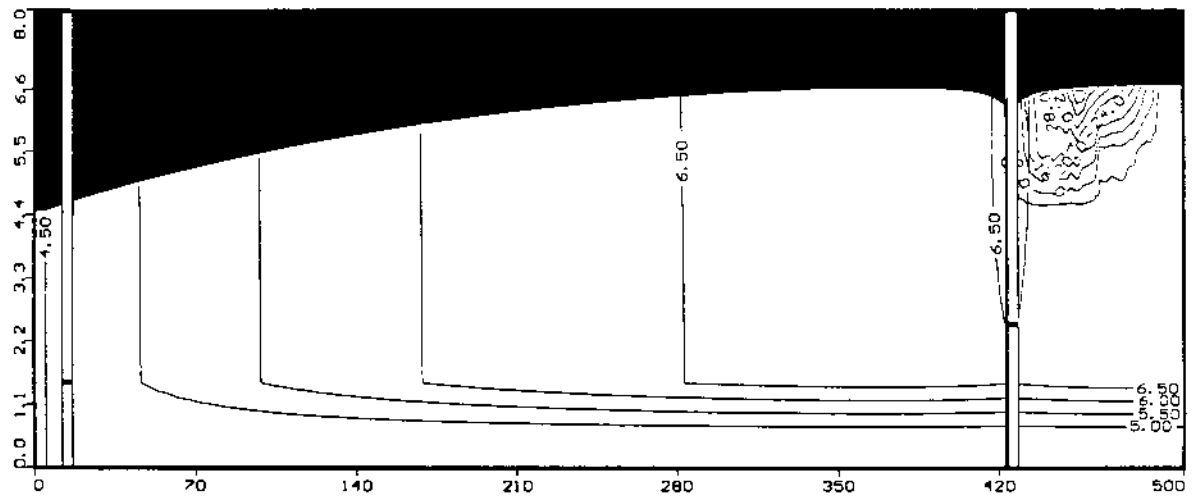
Figur 13.13



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 31b Plads 60*32.5m
Description: Stoftransport 10.000 m3
Modeller: KD/PR
16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 2

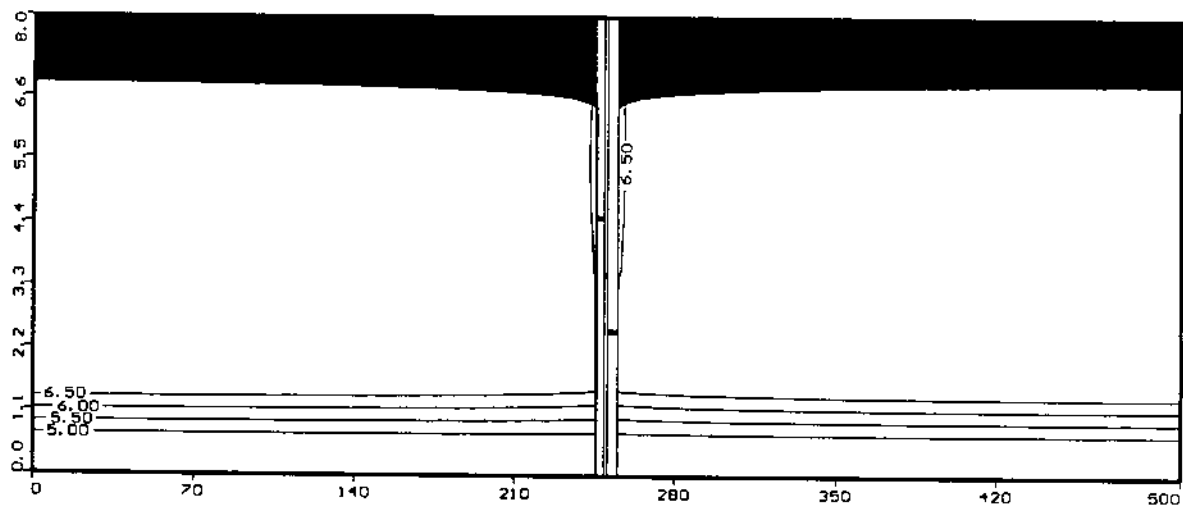
Figur 13.14



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 31c Plads 80*32.5m
Description: Stoftransport 10.000 m3
Modeller: KD/PR
16 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Column: 28

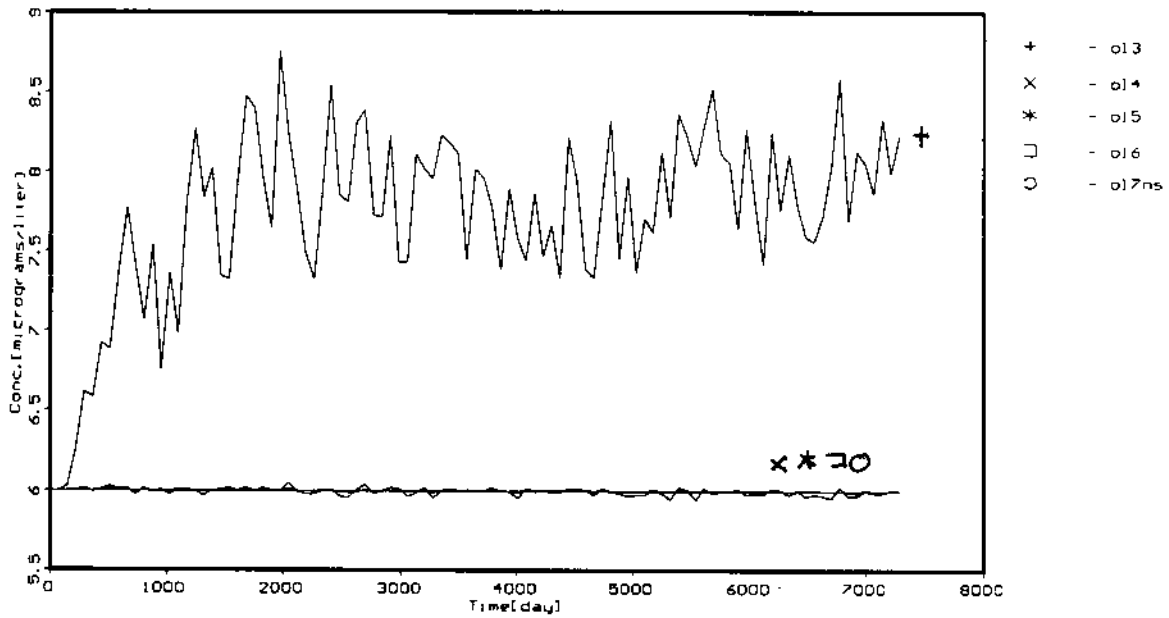
Figur 13.15



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 31d Plads 60*32.5m
Description: Stoftransport 10.000 m3
Modeller: KD/PR
18 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Row: 29

Figur 13.16



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 31e Plads 60*32.5m
 Description: X-y-plot obs., 10.000 m3
 Modeller: KD/PR
 20 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.81. (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Layer: 2

14 Modellens følsomhed

For at få en fornemmelse af modellens følsomhed, er ændringen i koncentrationen belyst, når følgende varieres: Placering af anlægsarbejdet i forhold til den opstrømsrand, længden og placeringen af filtersætningen, dispersionen og infiltrationen gennem anlægsarbejdet.

14.1 Placering i modelområde

Anlægsarbejdets placering i forhold til den opstrømsrand har betydning, idet gradienten er lavere jo tættere på randen det placeres. Dette vil afspejle sig i koncentrationen i de forskellige lag, idet stoffet der udvaskes vil blandes op i en stigende mængde grundvand, når gradienten stiger.

Placering i forhold til vandskel

Følsomheden af placeringen er vist ved at parallelforskyde vejen (uden afløb) og indvindingsboring 20 og 40 m nedstrøms, hvor afstanden mellem boring og vej er holdt konstant på 30 m.

Der er foretaget simulering med og uden indvinding. Koncentrationen uden indvinding, angivet i tabel 14.1, viser den højeste gennemsnitlige koncentration i modellens lag. Der ses en lille stigning, som skyldes modellens vertikale diskretisering i forhold til stoffets fordeling - stoffmængden deles stort set mellem to celler, så koncentrationen bliver mindre.

Ved en indvinding på 400 m³/år er koncentrationen i indvindingsvandet, som angivet i tabel 14.1.

M fra opstrømsrand	30	50	70
Konc. µg/l, uden oppumpning	22,4	24,8	14,8
Konc. µg/l, 400m ³ /år	18,75	13,05	11,00

Tabel 14.1 Gennemsnitlige koncentrationer i perioden fra 10-20 år.

Det ses, at en flytning af vejen på 20 m, betyder at koncentrationen falder 30 % og at yderligere 20 m giver en reduktion på yderligere 11 %.

Forklaringen er, at gradienten efter 50 m giver større indstrømning af grundvand og derfor mindre afsækning. Ved 70 m "trækkes" der således lidt mindre stof fra anlægsarbejdet ned i boringen.

14.2 Filtersætning

Filtersætningens længde og placering har betydning for koncentrationen i indvindingsvandet. Koncentrationens følsomhed ved valg af filterlængde og placering er belyst ved sammenligning af simuleringer, hvor filterlængde og -placering er varieret.

Der sammenlignes med koncentrationen, hvor der indvindes 400 m³/år 30 m nedstrøms en vej uden afløb, hvor filter på 2 m er placeret i lagene med højest koncentration ved stationær stoftransport.

Ved en indvinding på 400 m³/år har filterlængde og -placering ikke samme store effekt på koncentrationen, som placeringen af anlægsarbejdet jf. tabel 14.2. Dette skyldes til dels, at boringen er placeret forholdsvis tæt på anlægsarbejdet og at anlægsarbejdet er etableret i hele modelens bredde.

Filterlængde, m	Filterplacering	Konc. µg/l
2	ol4, ol5	18,75
1	ol7	18,50
1	ol4	19,40
3	ol3, ol4, ol5	18,60
2	ol6, ol7	14,1

Tabel 14.2 Variation af filterlængde og placering og den resulterende koncentration.

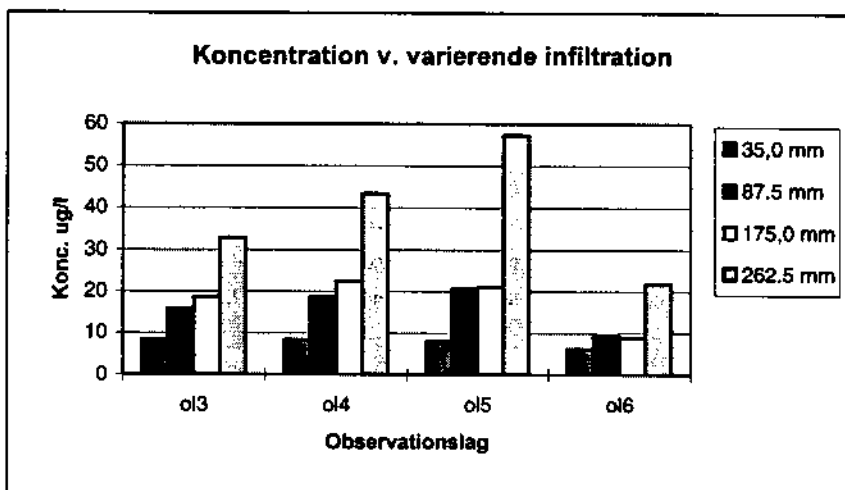
14.3 Infiltration gennem anlægsarbejde

Med og uden afløb

Størrelsen af infiltrationen gennem restproduktet/jord har betydning for tilførelsen af stof til grundvandet og dermed koncentrationen i grundvandet.

Mængden af vand som medfører en udvaskning af stof fra restproduktet afhænger af anlægstypen. Den er størst for støjvolde og mindst for veje og pladser, som etableres med afledning af nedbøren til kloak.

I modellen er grundvandsdannelsen sat lig nettonedbøren svarende til 350 mm/år. For at vise hvor følsom koncentrationen er i forhold til infiltrationen, er den varieret mellem 10, 25, 50 og 75 % af grundvandsdannelsen jf. figur 14.1.



Figur 14.1 Koncentration i observationslag 3, 4, 5 og 6 ved forskellig infiltration gennem vej ved stationær stoftransport.

Infiltrationens betydning

Det kan ses, at placeringen af filter har størst betydning, når infiltrationen gennem restproduktet er stor. Det kan også ses, at diskretiseringen i ver-

tilkalretningen fra betydning i forhold til stoffanens form. Ved 262,5 mm/år har lag 5 den højeste koncentration, dvs. observationslag 5 passer med den højeste koncentration i fanen, men ved en infiltration på 175 mm/år, er der stort set samme koncentration i lag 4 og 5.

14.4 Dispersion

Dispersionens størrelse har også indflydelse på koncentration. Det er valgt at variere den longitudinale dispersion fra 0,45 m til hhv. 4,5 m og 45 m, mens forholdet mellem den transversale dispersion/longitudinale dispersion og den vertikale dispersion/longitudinale dispersion er fastholdt. Forholdene mellem dispersionen i de 3 retninger svarer til dem, som er bestemt fra Vejen Losseplads.

Dispersivitetens størrelse

Fra feltforsøg /5/ vides, at dispersiviteten ligger mellem 0.4 og 3 m for en transportafstande fra 15 til 250 m. Da spredning stiger med dispersivitetskonstanter, vil en lille dispersivitet give en mere samlet fane med højre koncentration. Den langsgående dispersivitet har betydning for, hvornår der sker et gennembrud af forurening, men ingen indflydelse på koncentrationsniveauet ved stationære forhold. Den vertikale dispersivitet har indflydelse på opblandingen over magasinet i dybden, og den på tværs har en underordnet betydning her, da anlægsarbejdet er udstrakt i hele modelområdet.

For at belyse modellens følsomhed over for ændring af dispersionen, er der foretaget simuleringer med følgende angivet i tabel 14.1.

Uden indvinding	Run 8	Run 18	Run 19	Run 50
Indvinding 400 m ³ /år	Run 11	Run 40	Run 41	-
Longitudinal, m	0,45	4,5	45	0,45
Transversal, m	0,001	0,01	0,1	0,001
Vertikal, m	0,0005	0,005	0,05	0,005
Trans./Longitudinal	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022
Vertikal/Longitudinal	0,0011	0,0011	0,0011	0,011

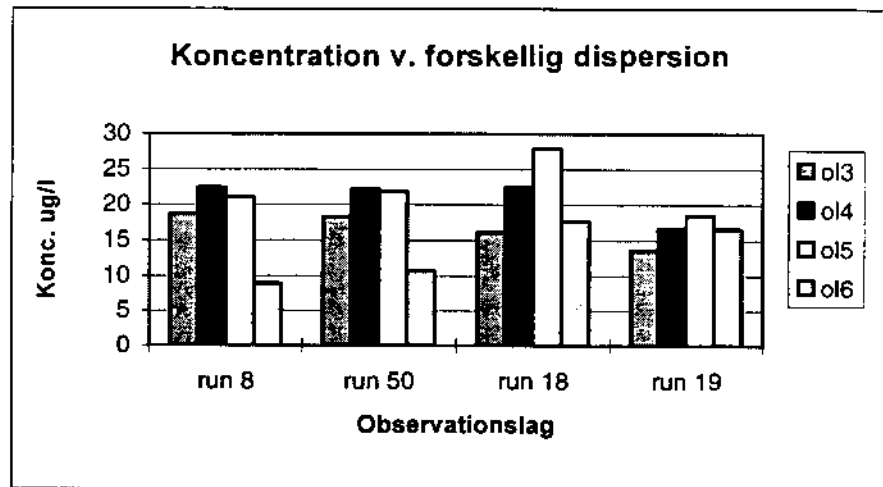
Tabel 14.1 Variation af dispersionen ved følsomhedsanalyse.

Dispersivitetens betydning

Når den longitudinale dispersions øges, skal stofgennembruddet i den nedstrøms observationsboring ske hurtigere. Dette ses tydeligt i figur 14.8 - 14.12 for de enkelte simuleringer.

I de simuleringer, hvor der ikke foretages indvinding har den transversale dispersion ingen effekt, da strømningshastigheden er nul i den retning.

Når dispersion i vertikalretningen er øget, skal stoffet fordeles hurtigere i magasinet, dvs. mindre koncentrationsforskel mellem lagene og lavere koncentration.



Figur 14.2 Stofffordelingen fra en vej i observationslagene, når der ikke foretages indvinding.

Ved sammenligning af run 8 og run 50, hvor run 50 har 10 gange større vertikal dispersion, ses det, at koncentrationen i de enkelte lag bliver mere ensartede. Den højeste koncentration i run 50 er også lidt lavere end i run 8. Forskellen i koncentration i lag 6 er 2 µg/l og lille i forhold til dispersionsændringen.

Ved sammenligning mellem run 8, 18 og 19 kan det ses, at stoffanens placering og koncentrationen oscillerer over tid jf. figur 10.7, hvilket betyder at, der kan findes højere koncentrationer i et enkelt lag selv om dispersion er øget.

14.5 Vurdering af simuleringresultat

14.5.1 Massebalancen

I Visual ModFlow er WHI solver'en anvendt til strømmingen, mens MT3D'96 er anvendt til stoftransporten. Tidskridtet som er anvendt, er beregnet af modellen forud for selve eksekveringen af modellen.

Partikel model

Præcisionen af stoftransporten er forsøgt øget ved at anvende 16 partikler i 2 planer i hver celle, dvs. i alt 32 partikler. De øvrige parametre er standardvalg foretaget af modellen.

Som algoritme er MOC valgt, da denne metode giver lav numerisk dispersion, gælder for Peclet's tal >10. Metoden har dog nogen fejl på massebalancen, som dog anses for acceptable, hvis den er under 10 - 15 %, og hvis den er faldende gennem simuleringstiden.

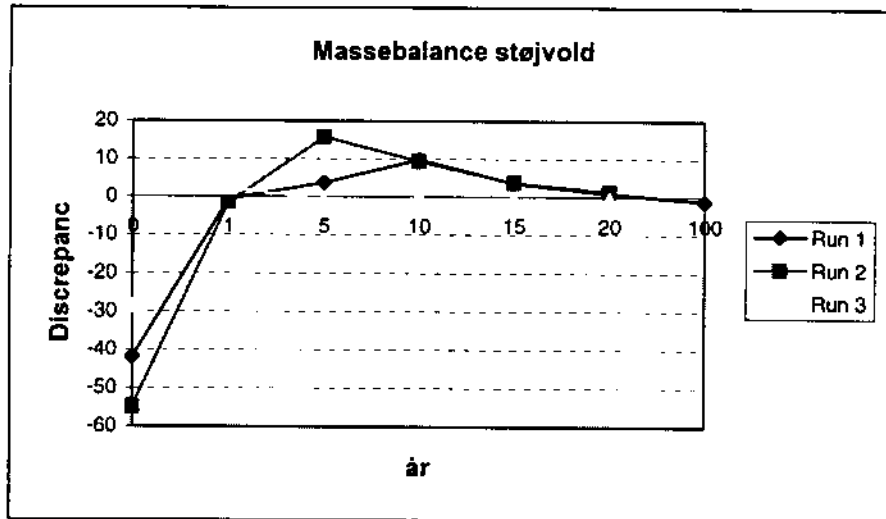
Eulers 1. ordens algoritme er anvendt, da den som udgangspunkt er tilstrækkelig præcis for et relativt ensartede strømningsfelt. Eulers metode håndterer dispersion effektivt. Ved mere advektions dominerede problemer er Eulers metode sårbar over for numerisk dispersion og oscillation samt begrænset af lille celledimension og tidskridt.

Gode massebalancer

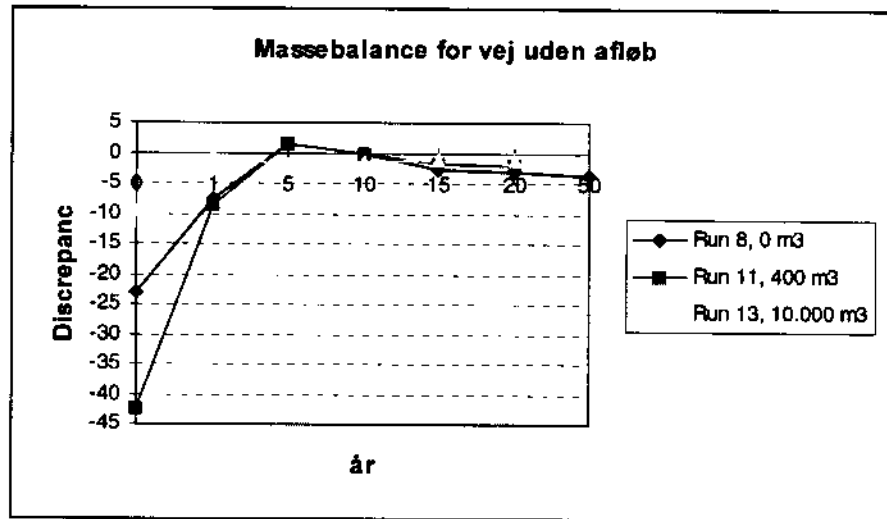
Massebalancen er plottet som funktion af tiden og alle kørsler har tilfredsstillende lav fejl på massebalancen. Massebalancen er angivet, som

forskellen mellem total masse ind og ud af modellen, beregnet som en procentafvigelse efter følgende formel:

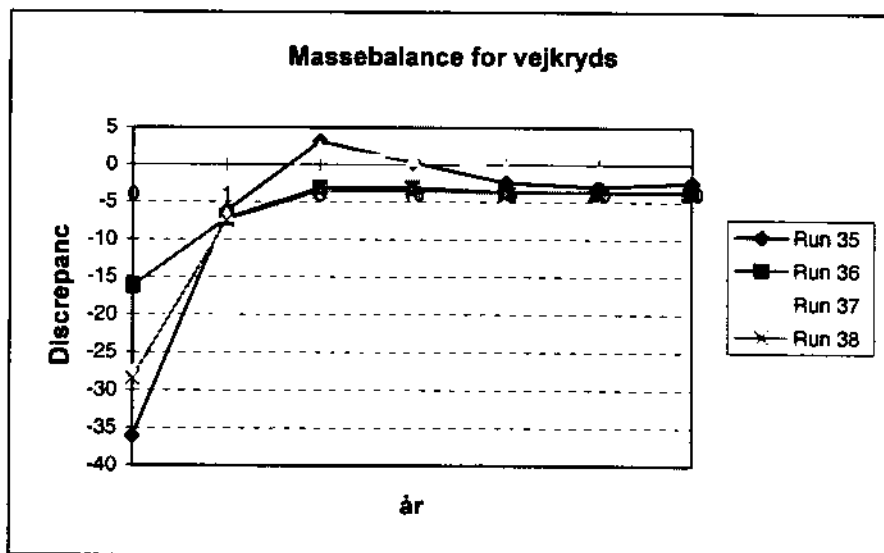
$$\text{Massebalance (\%)} = (100(\text{in-out})/(\text{in+out})/2)$$



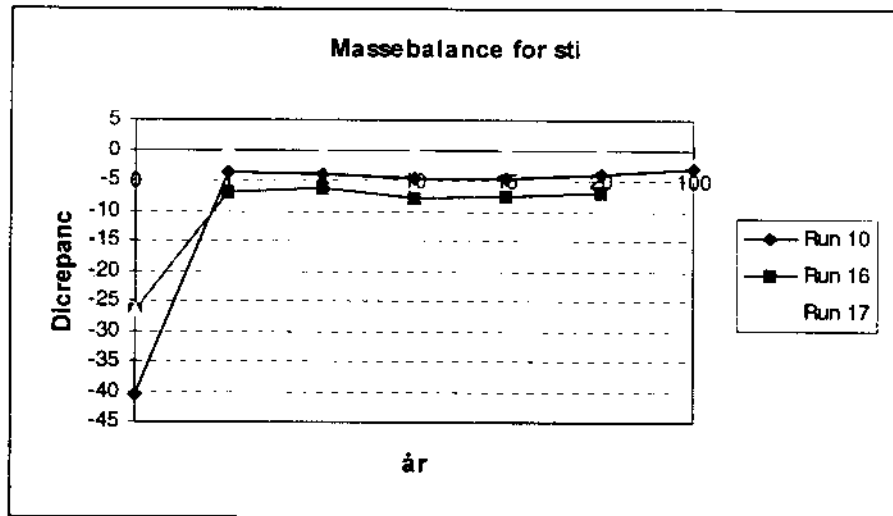
Figur 14.3 Massebalance for støjvold



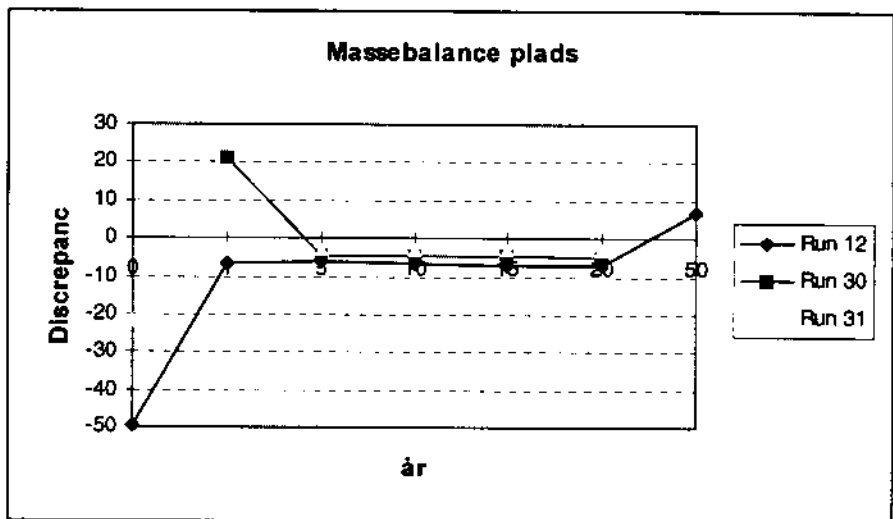
Figur 14.4 Massebalance for vej



Figur 14.5 Massebalance for vejkræds



Figur 14.6 Massebalance for sti



Figur 14.7 Massebalance for plads

14.5.2 Estimering af udvaskningstiden:

Som eksempel beregnes et groft estimat over udvaskningstiden for bly fra en støjvold med en gennemsnitshøjde på 2 m bestående af en affaldsforbrændingslagge. Beregningen er baseret på følgende:

Stort potentiale

1 m³ restprodukt vejer 1800 kg og har en blykoncentration på 1200 mg/kg dvs., at der er 1200 * 1800 mg Pb svarende til 2.160.000 mg/Pb i 1 m³ restprodukt. Hvert år er der en grundvandsdannelse på 350 mm nedbør (0,35 m/år) svarende til 350 l/m² med en koncentration på 100 µg Pb/l, hvorfor der i alt udvaskes 35 mg Pb/m³. Det vil tage (2.160.000/35) ca. 61.714 år før alt bly er udvasket fra 1 m³ restprodukt, hvorfor det vil tage ca. 124.000 år fra 2 m³. Formodentlig vil koncentrationen blive mindre med tiden pga. "preferential flow", men dette vil samtidig forøge udvaskningsperioden.

14.5.3 Beregning af indvindingsoplandet

For at vurdere indvindings størrelse på 10.000 m³ kan følgende størrelser angives: Indvindingsprocenten i forhold til nettonedbøren, afsænkningen i boringen, indvindingsoplandet og gradienten. Som eksempel anvendes scenariet med støjvolden.

Indvindingsprocenter

Nettonedbøren, som i modellen er sat lig grundvandsdannelse, er 0,35 m/år over modelarealet på 500x500 m. I alt dannes der 87.500 m³ grundvand pr. år, og indvindingen på 10.000 m³ /år svarer til en indvindingsprocent på 11,5 %. Under naturlige forhold, hvor der ikke ønskes for store afsænkninger pga. medfølgende kvalitetsændringer i selve grundvandsmagasinet og udtørring af vandløb, bør en indvindingsprocent på 20 ikke overskrides.

Afsænkningen i boringen er 0,77 m, hvilket ikke er uacceptabelt, gradienten er ca. 13,1 ‰ målt mellem boringen og den opstrømsrand. Indvindingsoplandet er beregnet efter /6/.

Oplandsbredden ved boringen = $Q/2KBI = 211$ m, hvor

$Q = 0,0003171$ m/s

$K = 10^{-4}$ m/s

$B = 6,25$ m

$I = 7,29 - 7,12 / 500 - 360 = 0,0012$

Boringens stagnationspunkt = $Q/2\pi KBI = 67$ m

Oplandsbredden ved vandskel = $2\pi \times 67 = 423$ m

Oplandets areal

Herefter kan indvindingsoplandets areal tilnærmet beregnes som afstand til stagnationspunkt + afstand mellem boring og opstrømsrand x $\frac{1}{2}$ oplandsbredde v. vandskel = $67 + (500 - 438) \times \frac{1}{2} \times 423 = 27219$ m².

Grundvandsdannelsen på areal er: $0,35$ m x $27,219$ m² = 9.526 m³, hvilket passer fint med indvindingens størrelse på 10.000 m³.

Hvis indvindingsoplandet præcist afbalanceres med grundvandsdannelsen, skal arealet være 28.571 m², arealet af volden inde for indvindingsoplandet er målt til 8.600 m² (430 m x 20 m). Nu kan forureningskoncentration i indvindingsvandet beregnes vha. massebalancen.

14.5.4 Beregning af koncentration i indvindingsvandet

Den resulterende koncentration kan nu beregnes for scenariet for støjvolden.

C_{res} = Resulterende koncentration

A_v = Areal af vold

A_o = Areal af opland -vold

A_{tot} = Det totale opland

N_n = Nettonedbør = grundvandsdannelse

C_v = Nedsivningskoncentration fra volden

C_o = Nedsivningskoncentrationen fra oplandet

$C_{res} = ((A_v \times N_n \times C_v) / A_{tot} \times N_n) + ((A_o \times N_n \times C_o) / A_{tot} \times N_n)$

$$\begin{aligned} &= 8.600 \times 0,35 \times 100 / 10.000 + 19.971 \times 0,35 \times 6 / 10.000 \\ &= 34,2 \mu\text{g} / \text{l} \end{aligned}$$

I forhold til den bestemte koncentration i modellen på omk. $26 \mu\text{g}/\text{l}$, er der rimelig overensstemmelse. Afvigelsen kan skyldes, at arealet af volden er bestemt for lille.

14.5.5 Risikovurdering jf. oprydningsvejledningen

Oprydningsvejledning /3/ er der opstillet en metode til risikovurdering af en jordforurening i forhold til grundvandet.

Den varierende parameter i risikovurderingen er porevandshastigheden, som ændres med gradienten. De øvrige parametre er konstante.

Risikovurdering foretages for situationen uden oppumpning for at gøre sammenligningen med modelsimuleringen lettere, igen anvendes scenariet med støjvolden.

Inddata

Mellem restproduktet og 30 m nedstrøms indgår følgende parametre i risikovurderingen:

$$I = 0,67 \text{ o/oo (7.27-7.25/468-438)}$$

$$K = 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$\alpha x = 0,45 \text{ m}$$

$$n = 0.2$$

$$t = 1 \text{ år}$$

$$Pv = 10,6 \text{ m/år}$$

$$Dm(\text{opblandingsdybden}) = (72/900 \times 0,45 \times 10,6 \times 1) e^{-0.5} = 0,38 \text{ m}$$

Beregnet på et område svarende til 1 m vinkelret på grundvandsstrømmen med en bredde på 20 m.

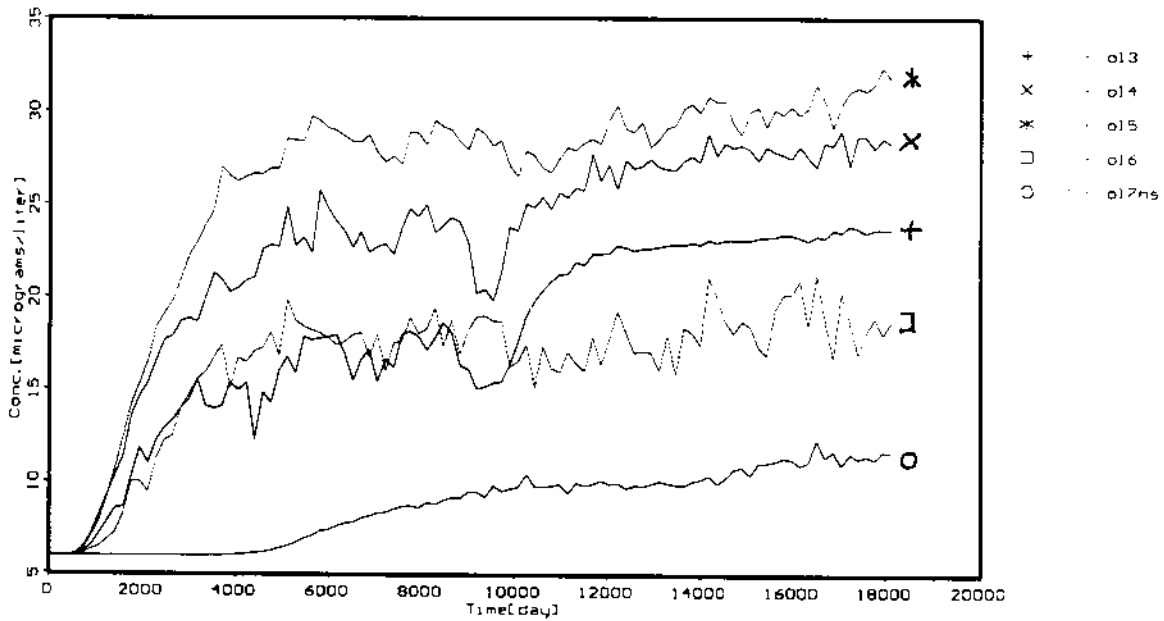
$$\begin{aligned} C_{res} &= 20\text{m}^2 \times 0,35\text{m} \times 100 \mu \text{ g/l} + 1\text{m} \times 0,38\text{m} \times 10,6\text{m} \times 6\mu \text{ g/l} / 20 \text{m}^2 \times 0,35\text{m}^3 + \\ & 0,38 \text{m}^2 \times 10,6 \text{m} \\ & = 65,67 \mu \text{g/l} \end{aligned}$$

Sammenligning med modelresultat

Ved sammenligning med koncentrationsfordelingen ved stationære stoftransport kan det ses, at der er rimelig overensstemmelse, da den højeste koncentration 10 m fra støjvolden er 44,7 $\mu\text{g/l}$.

Koncentrationen er bestemt som den midlede værdi over laget med højeste koncentration, som er 1 m tykt. Koncentrationen på de 65,67 $\mu\text{g/l}$ er bestemt over en dybde på 0,38 m.

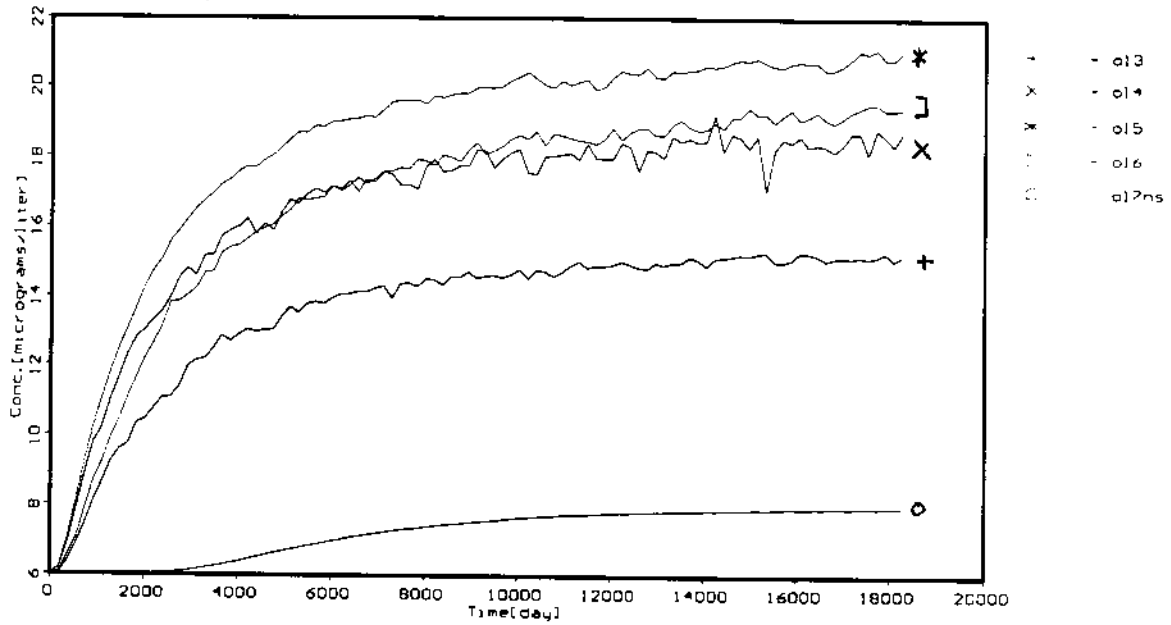
Figur 14.8



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 18e vej 175mm/yr ssmt
 Description: X-y-plot HMOC Disx=4.5m
 Modeller: KD/PR
 20 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61, (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Layer: 8

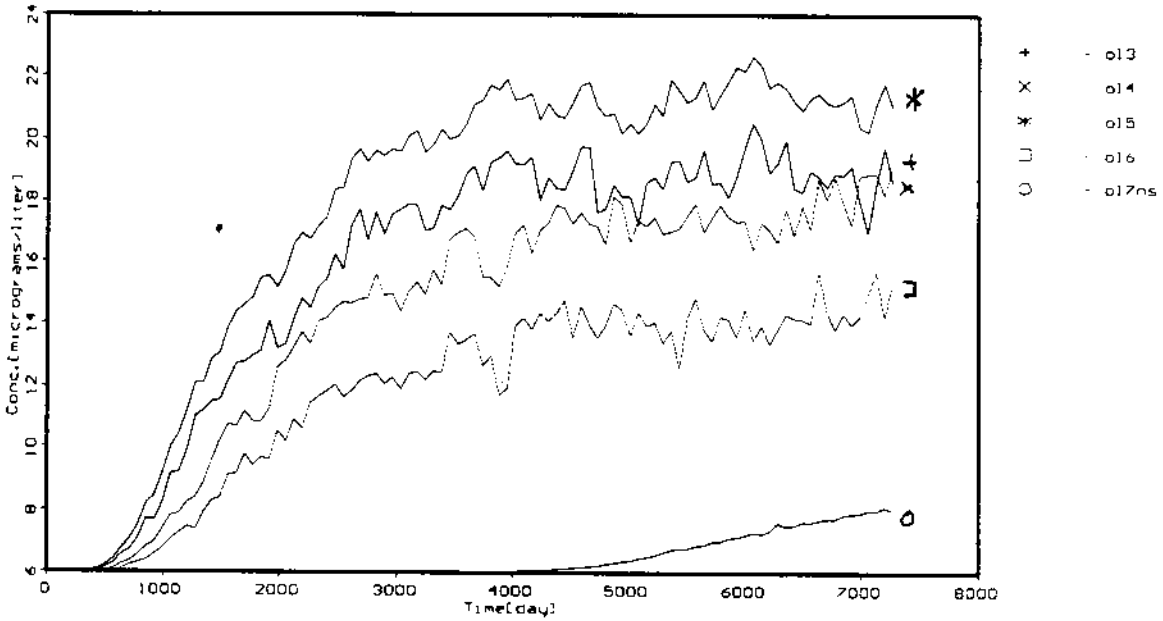
Figur 14.9



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 19e vej 175mm/yr ssm
 Description: X-y-plot HMOC Disx=45 m
 Modeller: KD/PR
 20 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.81, (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Layer: 8

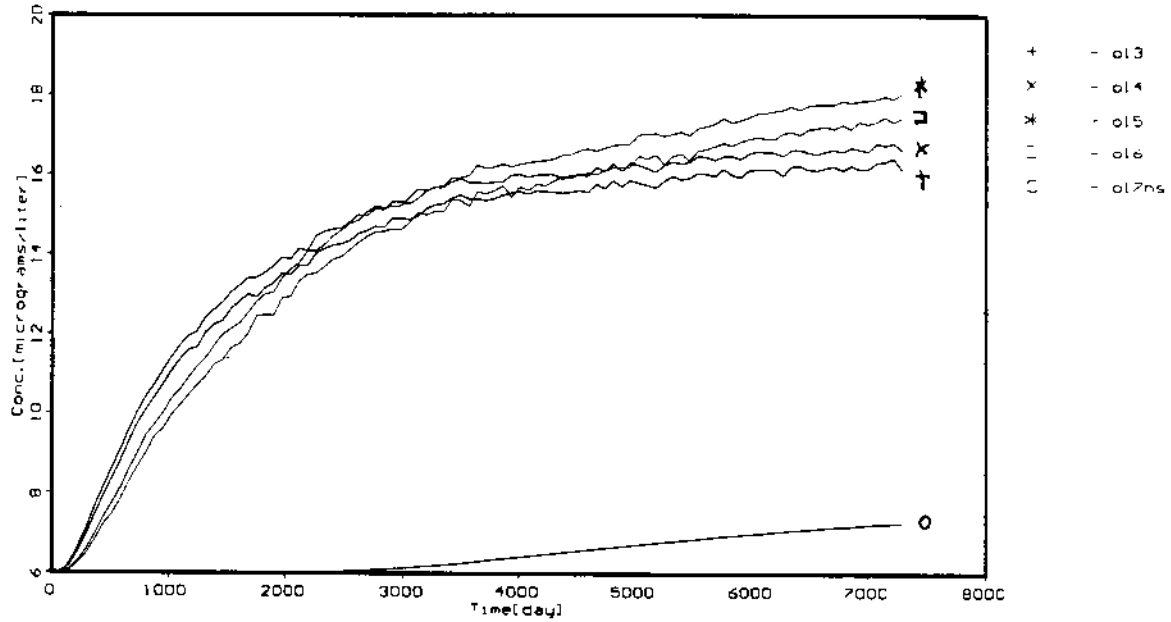
Figur 14.10



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run40e vej 175mm/yr 400m3
 Description: X-y-plot HMOC Disp α =4.5 m
 Modeller: KD/PR
 20 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.81, (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Layer: 8

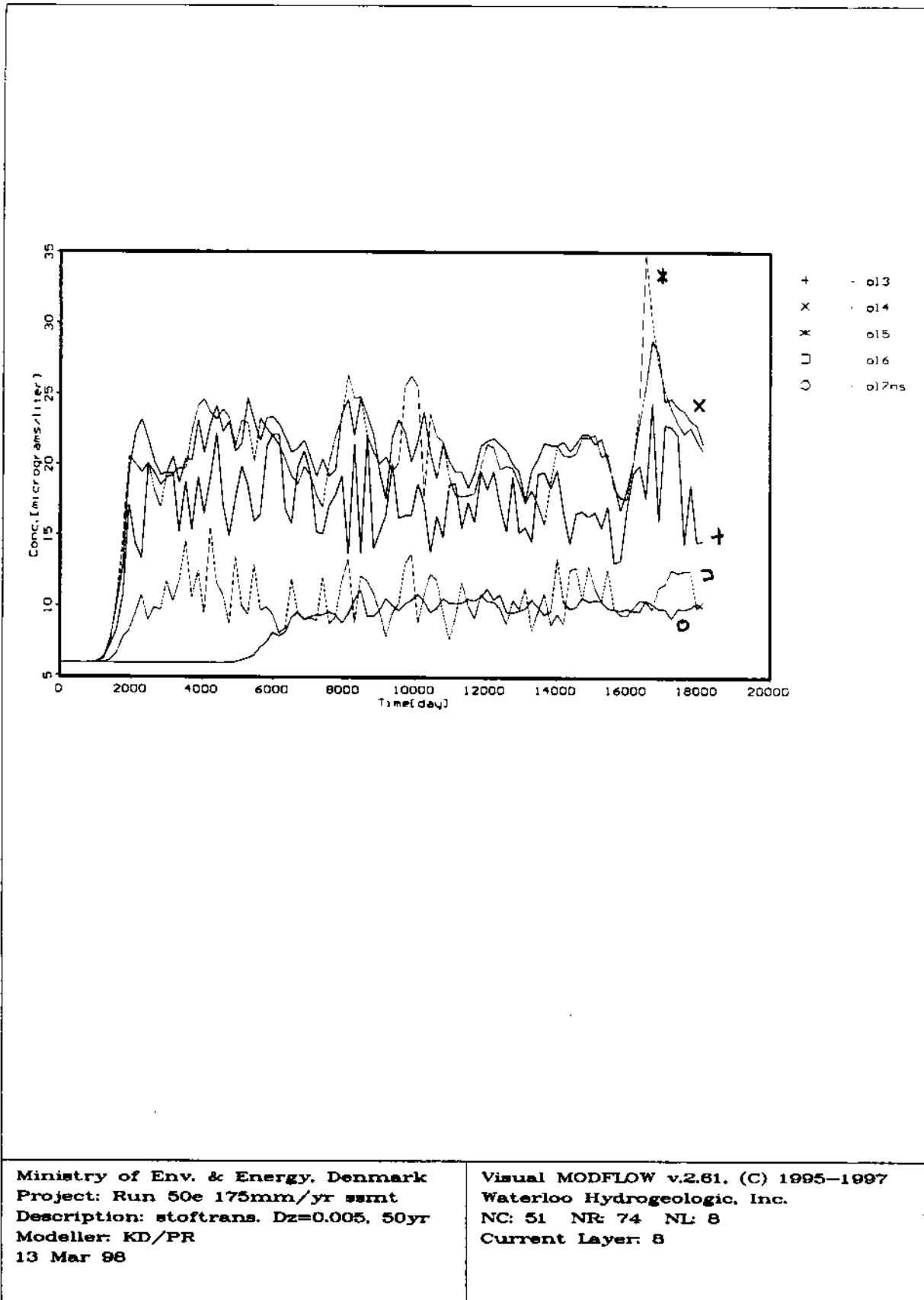
Figur 14.11



Ministry of Env. & Energy, Denmark
 Project: Run 41e vej 175mm/yr ssmt
 Description: X-y-plot HMOc Disx=45 m
 Modeller: KD/PR
 20 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61. (C) 1995-1997
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 51 NR: 74 NL: 8
 Current Layer: 8

Figur 14.12



Ministry of Env. & Energy, Denmark
Project: Run 50e 175mm/yr ssmt
Description: stoftrans. Dz=0.005, 50yr
Modeller: KD/PR
13 Mar 98

Visual MODFLOW v.2.61. (C) 1995-1997
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 51 NR: 74 NL: 8
Current Layer: 8

15 Konklusion

Den opstillede grundvandsmodel giver en meget konservativ vurdering af påvirkningen af grundvandet og indvindingsvandet.

Veje og stier

Ud fra de koncentrationer, som er anvendt for modelstoffet, kan det konkluderes, at grundvandskvalitetskriteriet kan overholdes i magasinet ved anvendelse af restprodukt til anlæg af vej med afløb, vejkryds med afløb og stier jf. bilag 2 tabel 18.1.

Pladser

Hvis det er acceptabelt, at påvirke grundvandet i et omfang, så vand fra indvindinger på 10.000 m³/år kan overholde grundvandskvalitetskriteriet, kan der også anvendes restprodukter ved anlæg af pladser forsynet med afløb jf. bilag 2 tabel 18.1.

Da grundvandsmodellen er opstillet med henblik på at beskrive det værste tilfælde, vil der være en lang række situationer, hvor påvirkning af grundvand og indvindingsvand er mindre.

Kravværdier

I bilag 2 er der anvisninger på, hvordan kravværdien for stoffer i perkolat fra restprodukt og jord kan fastsættes ud fra opblandingsforholdet i den opstillede grundvandsmodel for de forskellige anlægstyper.

Som eksempel er kravværdien for arsen i perkolatet beregnet, og på tilsvarende vis kan kravværdien bestemmes for de øvrige stoffer, hvis perkolatkoncentrationen, det naturlige baggrundsniveau og grundvandskvalitetskriteriet kendes.

Alternativer

Hvis der skal kunne anvendes restprodukter til anlæg af veje uden afløb og støjvolde, som vil give den største påvirkning af grundvandet og indvindingsvandet, er der følgende muligheder:

- at den acceptable påvirkning af grundvandet lempes, hvilket ikke kan anbefales,
- at der stilles krav om præbehandling af restproduktet, inden det kan anvendes til støjvolde og veje uden afløb. Dette kunne eksempelvis være stabilisering og/eller vaskning med opsamling af perkolat, indtil kravværdien kan overholdes.
- at afstandskravet på de 30 m øges,
- at der stilles krav om maksimal tilladelig bredde af støjvold og maksimalt tilladeligt totalt areal for pladser,
- at der kun kan anvendes restprodukter efter en konkret vurdering.

Afstand til grundvandsskel

Ud fra følsomhedsanalysen kan det ses, at påvirkningen af grundvand og indvindingsvand især afhænger af placering af anlægsarbejdet i forhold til den opstrøms modelrand. Stoffkoncentrationen i grundvandet bliver mindre, når afstanden til den opstrøms modelrand øges.

“Værste tilfælde”

En af konsekvenserne af, at grundvandsmodellen er opstillet med henblik på at repræsentere den værste situation, og at 90 % fraktilen fra Grumo

anvendes, som det naturlige baggrunds niveau er, at vurderingen er meget restriktiv i forhold til anvendelsen af restprodukter og jord.

Hvis eksempelvis medianværdien fra Grumo anvendes som baggrunds niveau i stedet for koncentrationen svarende til 90 % fraktilen, vil scenariet for vej uden afløb, hvor der foretages en indvinding på 400 m³/år, overholde grundvandskvalitetskriteriet.

Bilag 1. Inddata til model

Kørsels parametre. Ved valg af *File - New* fås dialogboks *Unit Selection* her er valgt :

Length unith	: m
Conductivity	: m/second
Time unith	: days
Pumping rate	: m ³ /d
Recharge	: mm/year

herefter fås dialog boks *MT3D Units Window* her er valgt

Mass units	: kg
Concen. units	: µg/l

herefter fås dialog boks til *grid* hvor der er valgt et gitter med 50 * 50 * 8 celler med en fysisk udstrækning på 500 / 500 / 8 m dvs. celler der har en dimension på 10 * 10 * 1 m.

Modellen er herefter ændret således :

at række 1 (490 - 500 m) er del i 3 rækker a 3.33 m,
at række 2 - 7 (4430 - 490 m) er delt i 24 rækker a 2.5 m,
at række 8 er delt i 3 rækker a 3.33 m,
at række 9 og 10 er delt i 3 rækker a 6.66 m.
at kolonne 25 og 26 (240 - 260 m) er delt i 3 kolonner a 6.66 m.

Således at modellen består af 74 rækker, 51 kolonner og 8 lag.

Herefter er følgende input givet

Well

name	: pw1
x-location	: 250.00 m
y-location	: 438.00 m
Screen from	: 5 m
to	: 3 m
Pumping schedule	
Start day	: 0
Stop day	: 36500
Rate	: -1.096 m ³ /d eller -27.397 m ³ /d

Properties

K Properties 1:

Kx	: 0.0001
Ky	: 0.0001
Kz	: 0.00001

K Properties 2:

Kx	: 0.0001
Ky	: 0.0001
Kz	: 1*10 ⁻¹²

S Property 1

Ss (l/m)	: 0
----------	-----

Sy : 0.2
Eff. Por : 0.2
Tot. Por. : 0.3

Hvor K 1 og S 1 er påtrykt hele modellen dog er lag 8 tillagt K 2.

Boundaries

Constant Head

Der er indlagt et Constant Head i række 50 hvor lag 4 - 8 er påtrykt

Start : 0 day
Stop : 36500 day
Constant Head : 4.5 m

Wall

Der er indlagt wall i kolonne 1 og 51 og række 1 i de 8 lag.

Thickness : 10 m for kolonner og 3.33 m for rækken 1
Conductivity : 0 m/s

Recharge

Multiply values by : 1.0
Copy schedule from : 1
Start : 0 day
Stop : 36500 day
Recharge : 350.00 mm/yr

Particles (ikke anvendt)

Calibrate (ikke anvendt)

Zbud (ikke anvendt)

MT3D (metal-værdier)

Initial Conc.

Property 1
Concentration : 6 µg/l

Boundaries

Code 1 :

Start : 0 day
Stop : 36500 day
Recharge conc. : 6 µg/l

Code 2 :

Start : 0 day
Stop : 36500 day
Recharge conc. : 100 µg/l

Hvor det område der svarer til anlægsarbejdet har fået code 2 og resten har code 1.

Calibrate

Der indlagt 5 observations brønde.

Navn : ol3
kolonne : 26
række : 24
Obs point z-location : 5.5 m

Navn : ol4
kolonne : 26
række : 24
Obs point z-location : 4.5 m

Navn : ol5
kolonne : 26
række : 24
Obs point z-location : 3.5 m

Navn : ol6
kolonne : 26
række : 24
Obs point z-location : 2.5 m

Navn : ol7ns
kolonne : 26
række : 73
Obs point z-location : 1.5 m

Dispersion

Property 1
L.Dispersivity : 0.45 m

Horizontal dispersivity ratio

lag 1 - 8 : 0.00222

Vertical transverse dispersivity ratio

lag 1 - 8 : 0.00111

Molecular diffusion (ikke anvendt)

Chem. Reaction (ikke anvendt)

Under *Run* fås dilaog boks *Slect Run Type*, her er valgt *Steady State*.

Basic

Initial Heads Options : Constant by layer

Solver valgt *WHS* - solver med

Maximum number for

outer iterations : 50

inner iterations : 100

Head change crit. : 1e-5

Residual crit. : 1e-6

Damping factor for outer : 1

Relativ residual crit : 0

Factorization level : 1

Recharge

Recharge options : Recharge is applied to heighs active celle in each vertical column.

Layers

Lag 1 : typ1
Lag 2 - 8 : type 3

BCF

Rewetting Options

Avtivate cell wetting : aktiv
Cell wetting interval : 1
Celle wetting factor : 1
Cell Wetting valgt : Wett cells from sides and below
Weet/dry threshold : 0.1 m
Rewet Option valgt : Reweting using Reweting factor

Ansitropy Factor

Anisotropy by layer
lag 1 - 8 Ty/Tx factor : 1.0

OC

Output control
Heads, DDown, og F.Tem : aktiv
Save FLO file : aktiv

Partlines (ikke anvendt)

MT3D

Advection

Advection Type : Metode of Characteristics (MOC)
Particel Tracking Method : First-order Euler algorithm
Courant Number : 0.75
Max Particles : 1.250.000
Conc. weighting factor : 0.5
Number of Planes : 4
Critical Cons gradient : 0.0001
Min Particeles/Cell : 2
Max Particeles/Cell : 40
Particle # mulitiplier : 1
Negligiible Gradient : 1-e5
Number of initial Particles in cell with Negligible Concentrations Gradient : 0
Number of initial particles for Random Pattern : 64

*For run 18, 19, 40 og 41 er HMOC anvendt. Begrundelsen er størrelsen af Peclets tal. MOC anvendes, hvis Peclets tal er > 10, mens HMOC kan anvendes uafhængig af størrelse af Pecelsts tal. MOC, men HMOC kræver udvælgelse af tilpasningskriterie i modsætning MOC. Der henvises i øvrigt til //.

Peclet's tal er i den opsatte model med longitudinal dispersion:

$P_x = L(m) / \alpha_L(m)$, hvor L =cellelængde i x retning, α_L =dispersion i x-retning

$= P_v * L (m/\text{år} * m) / DL(m^2/\text{år})$, hvor P_v =porevandshstigheden, DL =dispersionskoefficienten

$= P_v * L (m/\text{år} * m) / P_v(m/\text{år}) * \alpha_L(m)$.

$P_x=10/0,45=22$, hvilket medfører at Peclets tal >10 , hvorfor MOC anvendes.

For run 18 og 40 er Peclets tal for den mindste celle: $P_x=2,5/4,5=0,55$, og for run 19 og 41 er Peclets tal for den mindste celle: $P_x=2,5/45=0,055$, hvorfor HMOC er valgt.

Output/Time steps:

Simulation time : 7300/18250/36500 days
Max transport steps : 100.000
Specify max stepsiz : ikke aktiv
Save simulations results : 1, 2, 3 20 år

Initial Concs.

Initial concentration options : Use specified concentrations

Bilag 2. Beregnings af opblandingsforhold

Massebalancen for cellen med observationsboring/indvindingsboring er givet ved ligning 1

$$(1) C_{\text{bag}} * Q_{\text{bag}} + C_{\text{rp}} * Q_{\text{rp}} = C_{\text{res}} * Q_{\text{tot}}$$

Hvor C_{bag} er baggrundskoncentrationen, C_{rp} er perkolatkoncentrationen og C_{res} er den resulterende koncentration og hvor Q_{bag} er den mængde vand der stammer fra omgivelserne, Q_{rp} er mængden af perkolat og Q_{tot} er mængden af vand gennem den aktuelle celle.

Desuden gælder der, at

$$(2) Q_{\text{bag}} + Q_{\text{rp}} = Q_{\text{tot}}$$

hvor C_{bag} er sat til 6 µg/l, C_{rp} er sat til 100 µg/l og C_{res} kan aflæses af kørslerens koncentrations / tid-plot eller beregnes for en periode ved hjælp af et regneark, hvilket har været benyttet her.

Af ligning 1 og 2 kan forholdet mellem Q_{bag} og Q_{rp} bestemmes (F_{op})

$$(3) Q_{\text{rp}}/Q_{\text{bag}} = (C_{\text{res}} - C_{\text{rp}})/(C_{\text{bag}} - C_{\text{res}}) = F_{\text{op}}$$

Herefter kan kravværdier for perkolatet fra restproduktet/jord C_{rpkrav} beregnes efter ligning 4 for hvert scenarie, når grundvandskravet og baggrundskoncentrationen er fastlagt. C_{gk} er grundvandskvalitetskriteriet

$$(4) C_{\text{rpkrav}} = C_{\text{gk}} + F_{\text{op}} (C_{\text{gk}} - C_{\text{bag}})$$

De fundne resulterende koncentration er gengivet i tabel 18.1, og de tilhørende opblandingsforhold (F_{op}) er gengivet i tabel 18.2.

Anlægstype	I magasinet	Indvinding, 400 m ³ /år	Indvinding, 10 ⁴ m ³ /år
Støjvold	43,7	30,1	26,65
Vej uden afløb	22,4	18,75	12,9
Vej uden afløb 20 m	24,8	13,05	ikke modelleret
Vej uden afløb 40 m	14,8	11,00	ikke modelleret
Vej med afløb	8,59	ikke modelleret	ikke modelleret
Vejkryds uden afløb	23,6	17,3	ikke modelleret
Vejkryds med afløb	8,59	6,735	ikke modelleret
Sti	9,03	10,1	7,395
Plads med afløb	36,02	22,35	6,91

Tabel 18.1 Modelstoffets koncentration i µg/l ved de forskellige anlægstyper, hvor perkolatkoncentrationen er 100 µg/l og baggrundskoncentrationen er 6 µg/l.

Ved ligning 3 er opblandingsforholdet, F_{op} , bestemt. Som eksempel er F_{op} for støjvold beregnet på følgende måde $(C_{res}-C_{rp})/(C_{bag}-C_{res}) = F_{op}$, hvor $(43,7-100)/(6-43,7) = 1,49$

Anlægstype	I magasinet	Indvinding, 400 m ³ /år	Indvinding, 10 ⁴ m ³ /år
Støjvold	1,49	2,9	3,55
Vej uden afløb	4,37	6,37	12,6
Vej uden afløb 20 m	4,00	12,3	ikke modelleret
Vej uden afløb 40 m	9,68	17,8	ikke modelleret
Vej med afløb	38,5	ikke modelleret	ikke modelleret
Vejkryds uden afløb	4,34	7,31	ikke modelleret
Vejkryds med afløb	35,3	127	ikke modelleret
Sti	30,0	21,9	66,4
Plads med afløb	2,13	4,75	102

Tabel 18.2 Anlægstypernes opblandingsforhold. Jo større opblandingsforholdet er, jo større vil perkolatkoncentrationen kunne være, mens grundvandskvalitetskriteriet overholdes.

Ud fra ligning 4 kan kravværdierne til perkolatet ved hvert anlægsarbejde beregnes. Dette er gjort for arsen i ligning (5) for støjvold uden indvinding, hvor der som baggrundsværdi er brugt 6 µg/l og hvor grundvandskvalitetskriteriet er 8 µg/l jf. tabel 5.1. Resultatet for de øvrige anlægsarbejder er gengivet i tabel 18.3.

$$(5) C_{pkrav} = 8 \mu\text{g/l} + 1,49(8 \mu\text{g/l} - 6 \mu\text{g/l}) = 10,98 \mu\text{g/l}$$

Anlægstype	I magasinet	Indvinding, 400 m ³ /år	Indvinding, 10 ⁴ m ³ /år
Støjvold	10,98	13	15,1
Vej uden afløb	17,5	20	33
Vej med afløb	85	ikke modelleret	ikke modelleret
Vejkryds uden afløb	16,7	23	ikke modelleret
Vejkryds med afløb	78	261	ikke modelleret
Sti	68	52	141
Plads med afløb	12,3	17,5	213

Tabel 18.3 Anlægstypernes kravværdi til perkolat for arsen i µg/l. Det ses, at perkolatkoncentrationen for arsen højst må være 11 µg/l ved anlæg af en støjvold, mens det må være 68 µg/l for en sti, hvis grundvandskvalitetskriteriet skal kunne overholdes.

Bilag 3. Referencer

- /1/: Larsen et al. (1998): Tungmetaller i jord og grundvand, Vand & Jord nr. 1, Feb. 1998, s. 10-15.
- /2/: Carsten Langtofte, GEUS. Personlig kommunikation.
- /3/: Miljøstyrelsen (1997): Vejledning om oprydning af forurenede lokaliteter. Udkast til vejledning.
- /4/: Miljøstyrelsen (1998): Grundlag for nyttiggørelse af forurenede jord og restprodukter, Udkast til arbejdsrapport.
- /5/: Miljøstyrelsen (1996): Kemiske stoffers opførsel i jord og grundvand: Bind 1, nr. 20 1996, Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen.
- /6 /: Miljøstyrelsen (1995): Metoder til udpegning af indvindingsopland, nr. 8 1995, Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen.
- /7/: Waterloo Hydro-geologic. Inc User's manual, Visual Modflow p. 230.

Registreringsblad

Udgiver: Miljø- og Energiministeriet. Miljøstyrelsen
Strandgade 29, 1401 København K
telefon 32660100 telefax 32660479 <http://www.mst.dk>

Serietitel, nr.: Miljøprojekt, 467

Udgivelsesår: 1999

Titel:

Restprodukters påvirkning af grund- og indvindingsvand

Undertitel:

Forfatter(e):

Dahlstrøm, Kim; Rasmussen, Povl Olsbjerg

Udførende institution(er):

Miljøstyrelsen

Resumé:

I forbindelse med udfærdigelse af en ny bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder er der opstillet en 3- dimensional model med henblik på at finde grænseværdier for acceptabel påvirkning fra restprodukter og jord. Modellen beskriver udvaskning af et modelstof, der repræsenterer metaller og salte. Med modellen beregnes opblandingsforhold for et terrænnært grundvandsmagasin under konservative betingelser. Opblandingsforholdene beregnes for forskellige scenarier, hvori der indgår veje, stier, pladser og støjvolde.

Emneord:

restprodukter; jord; genanvendelse; deponering; byggematerialer; anlæg; veje; perkolat; grundvand; grænseværdier; udvaskning; modulberegninger; scenarier

Andre oplysninger:

Baggrundsrapport for : Bekendtgørelse om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder

Md./år for redaktionens afslutning: marts 1999

Sideantal: 146

Format: A4

Oplag: 300

ISBN: 87-7909-221-7

ISSN: 0105-3094

Tryk: Miljøstyrelsen

Pris (inkl. moms): 150 kr.

Kan købes i: Miljøbutikken, Læderstræde 1-3, 1201 København K
telefon 33379292 telefax 33927690 e-post milbut@si.dk

Må citeres med kildeangivelse

Trykt på 100% genbrugspapir **Cyclus**

Miljøprojekt (Environmental Project)

- Nr. 428: Development of a Bunker Norm for Ships
- Nr. 429: Miljøevaluering af organotin i plastprodukter
- Nr. 430: Substitution af PVC i plastkort
- Nr. 431: Konsekvenser ved brug af vandfortyndbare produkter til autoreparationslakering
- Nr. 432: Effects of Organic Chemicals in Sludge Applied to Soil
- Nr. 433: Økologisk råderum - en sammenfatning
- Nr. 434: A Scenario Model for the Generation of Waste
- Nr. 435: Blågrønalg toksiner i bade- og drikkevand
- Nr. 436: Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler og toksiske metabolitter
- Nr. 437: Evaluering af miljøbevidst indkøbspolitik i staten
- Nr. 438: Pendlercykler
- Nr. 439: Vurdering af UV-hærdende trykfarver og -lakker i et miljøperspektiv
- Nr. 440: Miljøkapacitet som grundlag for byplanlægning - Lokal del
- Nr. 441: Barrierer for genanvendelse af forbrændingsegnet erhvervsaffald
- Nr. 442: Enzymatic Bonding of Lignocellulosic Materials
- Nr. 443: Cadmium, DEHP og NPE i kildesorteret, forbehandlet og afgasset dagrenovation
- Nr. 444: Renere teknologi og miljøledelse i træ- og møbelbranchen
- Nr. 445: Reduktion af biltransportens miljøbelastning med faktor 4 og faktor 10
- Nr. 446: Undersøgelingsprogrammer for søer
- Nr. 447: Impact of regulations of traffic emissions on PAH level in the air
- Nr. 448: Færger og færgeruter i livscyklusperspektiv - forprojekt
- Nr. 449: Statistisk 3-D beregning af sandsynligheden for at finde en jordforurening
- Nr. 450: Modelling Herbicide Use in Genetically Modified Herbicide Resistant Crops - 2
- Nr. 451: Tributyltin
- Nr. 452: Benzidine-based Dyes
- Nr. 453: Paraquat
- Nr. 454: Mercury
- Nr. 455: Parathion
- Nr. 456: Erstatning af kraftige drivhusgasser - slutrapport
- Nr. 457: Mikrobiologiske bekæmpelsesmidlers effekter på invertebrater
- Nr. 458: Mobility Management konference - maj 1998
- Nr. 459: Reduction of Environmental Pressure from Car Transport - Extended Summary
- Nr. 460: Intensified Product-orientated Environmental Initiative
- Nr. 461: Kvælstofanvendelsen i dansk landbrug
- Nr. 462: Erstatningsmaterialer for amalgam til tandfyldning
- Nr. 463: Udvikling af et biologisk bejdsemiddel til frø
- Nr. 464: Ozonlagsnedbrydende stoffer og visse drivhusgasser - 1997
- Nr. 465: "Råd & Vink" om gebyrfastsættelse på affaldsområdet
- Nr. 466: Cleaner Technology Transfer to the Polish Textile Industry
- Nr. 467: Restprodukters påvirkning af grund- og indvindingsvand

I forbindelse med udfærdigelse af en ny bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder er der opstillet en 3- dimensional model med henblik på at finde grænseværdier for acceptabel påvirkning fra restprodukter og jord. Modellen beskriver udvaskning af et modelstof, der repræsenterer metaller og salte. Med modellen beregnes opblandingsforhold for et terrænnært grundvandsmagasin under konservative betingelser. Opblandingsforholdene beregnes for forskellige scenarier, hvori der indgår veje, stier, pladser og støjvolde.

ISSN 0105-3094 ISBN 87-7909-221-7

Pris (inkl. 25% moms): kr. 150,-

Kan købes i Miljøbutikken

Telefon: 33 37 92 92 Fax: 33 92 76 90

e-post milbut@si.dk

Miljø- og Energiministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29 · DK-1401 København K · Denmark

Phone + 45 32 66 01 00