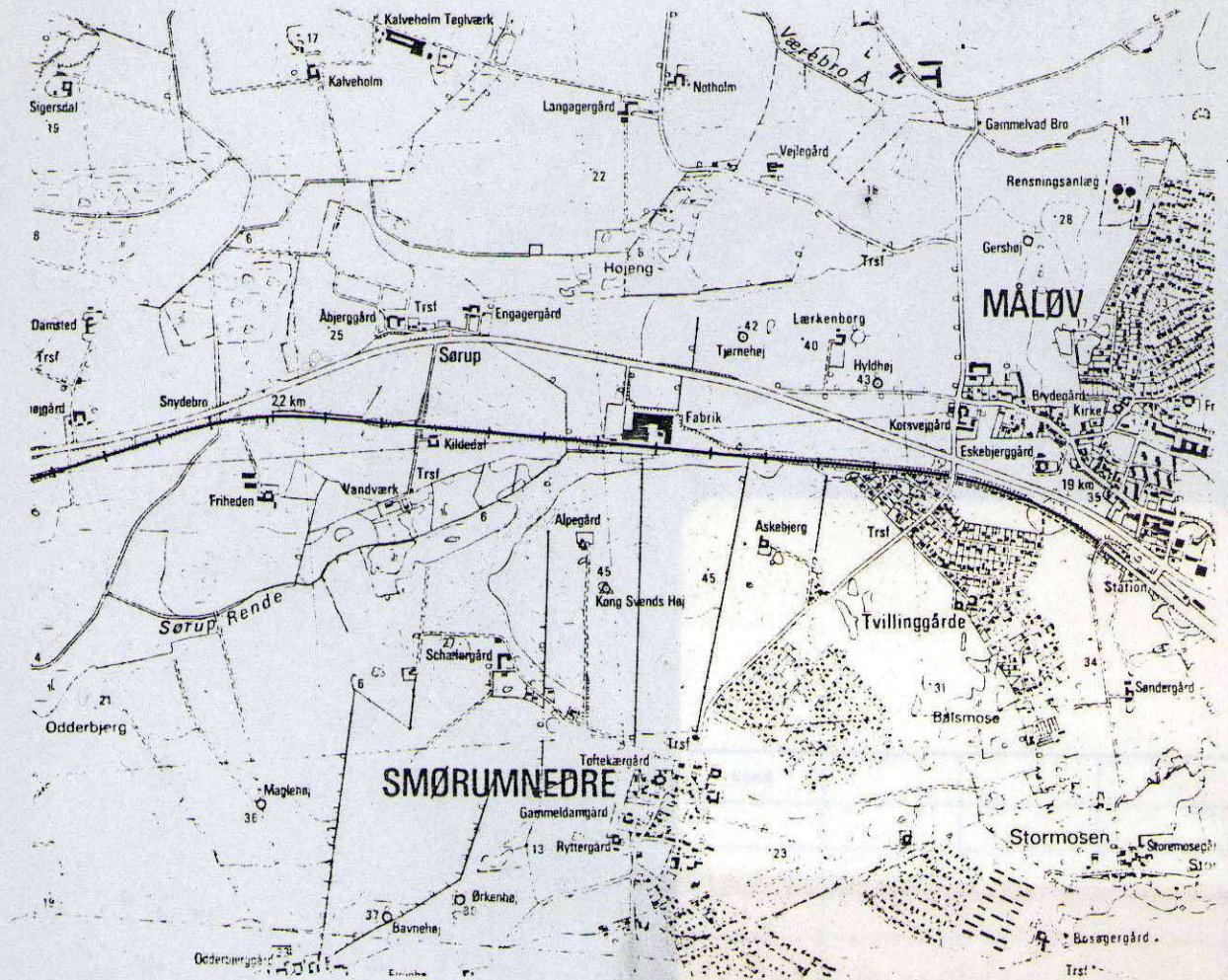


CHEMINOVA – SAGEN

HYDROGEOLOGISKE UNDERSØGELSER



GEOTEKNISK INSTITUT ATV
VANDKVALITETSINSTITUTTET ATV

Rapport til

M I L J Ø S T Y R E L S E N

vedrørende

HYDROGEOLOGISKE UNDERSØGELSER
I FORBINDELSE MED CHEMINOVA-
SAGEN, BALLERUP - MÅLØV

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K

GEOTEKNISK INSTITUT, ATV
Maglebjergvej 1 - 2800 Lyngby

VANDKVALITETSINSTITUTTET, ATV
Agern Allé 11 - 2970 Hørsholm

SAGSBEHANDLERE :

Civ.ing. Henning Kryger Hansen

Cand.scient. Leo Larsen

SAGSNUMRE :

K 7 7 4 9 9 Ballerup

7 0 . 6 . 8 8 7

1979-08-21 /LR

INDHOLDSFORTEGNELSE

side

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | INDLEDNING | 1 |
| 2. | BOREUNDERSØGELSER | 3 |
| 3. | SØRUP-OMRÅDETS GEOLOGI | 4 |
| 3.1 | DE PRÆKVARTÆRE AFLEJRINGER (KALKAF- LEJRINGERNE) | 4 |
| 3.2 | DE KVARTÆRE AFLEJRINGER (ISTIDSAF- LEJRINGER) | 5 |
| 4. | SØRUP-OMRÅDETS HYDROLOGI OG HYDROGEOLOGI .. | 7 |
| 4.1 | AFSTRØMNING I VÆREBRO Å OG SØRUP RENDE | 8 |
| 4.2 | GRUNDEVANDSRESERVOIRER | 11 |
| 4.2.1 | <i>Det primære grundvandsreservoir</i> | 12 |
| 4.2.2 | <i>De sekundære grundvandsreservoirer</i> | 15 |
| 4.3 | VANDUDVEKSLINGEN MELLEM GRUNDEVANDS- RESERVOIRERNE | 17 |
| 4.4 | GRUNDEVANDSINDVINDINGEN I SØRUP-OMRÅ- DET | 19 |
| 5. | RESUME AF DE KEMISKE ANALYSERESULTATER ... | 23 |
| 6. | VURDERING AF FORURENINGSRISIKOEN | 24 |
| 7. | KONKLUSION OG REKOMMANDATIONER | 30 |
| | REFERENCER | 33 |

BILAGSFORTEGNELSE

- BILAG 1 : KORT OVER GEOLOGI OG GRUNDEVANDSPOTENTIALE I SØRUP-OMRÅDET
- BILAG 2 : GEOLOGISK SNIT GENNEM KILDEDAL KILDEPLADS, DEPONERINGSOMRÅDE OG FABRIK (VSV - ØNØ)
- BILAG 3 : GEOLOGISK SNIT GENNEM KILDEDAL KILDEPLADS FRA SØRUP TIL SMØRUMNEDRE (NNV - SSØ)
- BILAG 4 : SNIT GENNEM FABRIKSHAL (BYGNING 5)
-

1. INDLEDNING

BAGGRUND

Ved et møde på Ballerup rådhus den 5. oktober 1977 mellem repræsentanter for *Miljøstyrelsen, Ballerup kommune, Københavns Vandforsyning, A/S Cheminova, A/S Lyfa, Kemikaliekontrollen, Civilforsvarets analytisk-kemiske Laboratorium, Civilforsvaret, Forsvaret og Embedslægeinstitutionen* blev det besluttet at iværksætte en forundersøgelse af arten og omfanget af problemerne vedrørende formodet nedgravet kemikalieaffald på A/S Cheminova's tidligere ejendom i Ballerup, som nu indehaves af A/S Lyfa.

Til gennemførelse af forundersøgelsen nedsattes en *kemikergruppe*, som fik til opgave at foretage en vurdering af de kemiske og toksikologiske effekter af den formodede nedgravning og udarbejde et analyseprogram for de videre undersøgelser, og en *geologgruppe*, som fik til opgave at foretage en vurdering af de geologiske og hydrogeologiske forhold på basis af eksisterende data og udarbejde oplæg til et undersøgelsesprogram omfattende opgravninger og/eller boringer i deponeringsområdet.

Resultatet af de to gruppers forundersøgelser og oplæg til videre undersøgelser foreligger i Miljøstyrelsens rapport af 4. november 1977 med titlen: "Rapport over oplysninger vedrørende nedgravet kemikalieaffald på A/S Cheminova's tidligere grund i Ballerup og forslag til undersøgelsesprogram". De væsentligste resultater fra ovennævnte rapport er indarbejdet i nærværende rapport over de videre hydrogeologiske undersøgelser i Sørup-området. Rapporten skal indgå som *afsnit 8* i den samlede rapport over Cheminova-undersøgelsen, for hvilken der er aftalt følgende hoveddisposition:

1. *Indledning*
2. *Foreløbige undersøgelser*
3. *Vandindvindingsforhold*
4. *Møde i Ballerup den 5. oktober 1977*
5. *Nedsættelse af styringsgruppe og endelig udformning af handlingsprogram for undersøgelse-
rnes videre forløb*
6. *Beskrivelse af undersøgelse-
rnes omfang inden for de
givne økonomiske rammer*
7. *Analytisk-kemiske resultater af de foretagne undersøgel-
ser på grundlag af den udarbejdede rapport*
8. *HYDROGEOLOGISKE FORHOLD*
9. *Samlet vurdering med eventuelle forslag og konklusion*
10. *Ballerup kommunalbestyrelses behandling og afgørelse.*

Ansvaret for administration og gennemførelse af forureningsundersøgelsen, herunder rapportering af delundersøgelser, påhviler styringsgruppen og koordineres af Ballerup kommunes repræsentanter i denne. Den endelige afgørelse i sagen påhviler kommunalbestyrelsen, og det er på denne baggrund man i styringsgruppen vedtog, at offentliggørelse af den samlede undersøgelsesrapport bør ske på kommunalbestyrelsens initiativ.

Ansvaret for udarbejdelsen af afsnittet om de hydrogeologiske undersøgelser blev overdraget til *Miljøstyrelsen*, som ved skrivelse af 30. maj 1979 har anmodet *Vandkvalitetsinstituttet, ATV, (VKI)* i samarbejde med *Geoteknisk Institut, ATV, (DGI)* om som konsulent at bistå styrelsen ved udarbejdelse af rapport over de hydrogeologiske undersøgelser. På grundlag af VKI's oplæg af 6. juni 1979

til Miljøstyrelsen har styrelsen bestemt følgende vedrørende konsulentopgavens

FORMÅL

Formålet med konsulentopgaven er,

- at foretage en sammenstilling af alle foreliggende hydrogeologiske data for området og en vurdering af reservoirforholdene omkring Kildedal - Lyfa,
- at foretage en vurdering af forureningens udbredelse i det sekundære reservoir og risikoen for forurening af det primære reservoir på grundlag af de hydrogeologiske og kemiske data og
- at foretage en beskrivelse af den anvendte undersøgelsesmetodik og udarbejdelse af en modelbeskrivelse for tilsvarende forureningsundersøgelser.

2. BOREUNDERSØGELSER

Til belysning af de hydrogeologiske forhold på deponeringsstedet vest for Cheminova's tidligere fabriksbygninger er der af Geoteknisk Institut i januar-februar 1978 udført 3 boringer. Boringerne er udført som tørboring med registrering af laggrænser og udtagning af jord- og vandprøver til kemiske analyser udført ved Kemikaliekontrollen og Civilforsvarets analytisk-kemiske Laboratorium. I boringerne 2 og 3 er der efterladt et 110 mm PVC-filtorrør og i boring 4 et 40 mm PVC-pejlerør.

Geoteknisk Institut's rapport af 1978-10-19 (Geoteknisk Institut, ATV, (1978)) indeholder en samlet beskrivelse af de udførte undersøgelser og resultater. Centrale afsnit fra denne rapport er indarbejdet i nærværende rapports afsnit 3.2 og 4.2.2.

3. SØRUP-OMRÅDETS GEOLOGI

Med henblik på en vurdering af risikoen for grundvandsforurening som følge af nedgravning af kemikalieaffald på A/S Cheminova's tidligere ejendom i Ballerup kommune vil der i det følgende blive gjort rede for de geologiske forhold på selve ejendommen samt i et større område omkring denne. Redegørelsen omfatter området mellem Veksø, Knardrup, Måløv, Smørumnedre og Smørumovre, i det følgende benævnt *Sørup-området*, med hovedvægt på en beskrivelse af forholdene i Kildedal - Lyfa området.

Afgrænsningen af Sørup-området er sket under hensyn til, at området dels skulle have en størrelse, der gør det muligt at sætte de lokale geologiske og hydrogeologiske forhold i en større regional sammenhæng, og dels at det afgrænsede område i det væsentlige skulle dække det ca. 12 km² store grundvandsopland til Københavns Vandforsyning's kildeplads ved *Kildedal*, jævnfør *bilag 1*. Afgrænsningen af grundvandsoplandet til Kildedal, det vil sige fastlæggelse af grundvandsskellene, er foretaget på grundlag af potentialkort af oktober 1975 udarbejdet af Københavns Vandforsyning for kildepladserne, der forsyner Søndersø vandværk, og nyere hydrogeologiske data stillet til rådighed af Hovedstadsrådet.

3.1 DE PRÆKVARTÆRE AFLEJRINGER (KALKAFLEJRINGERNE)

Sørup-området udgør en del af et større område på Østsjælland, hvor de yngste prækvartære aflejringer (de yngste undergrundsaflejringer) består af kalkbjergarter fra Danien-etagen. Kalkbjergarterne varierer en del inden for området, men er dog overvejende udviklet som kalksandskalk og bryozokalk, jævnfør *bilag 1, 2 og 3*.

Udformningen af den nuværende kalkoverflade, hvis beliggenhed kan fastlægges forholdsvis nøjagtigt på basis af det store antal vandforsyningsboringer, er et resultat af forskellige tektoniske hæn-

delser, dels formentlig præglacial tektonik (forkastninger) og dels glacial tektonik (gletchererosion) og smeltevandserosion.

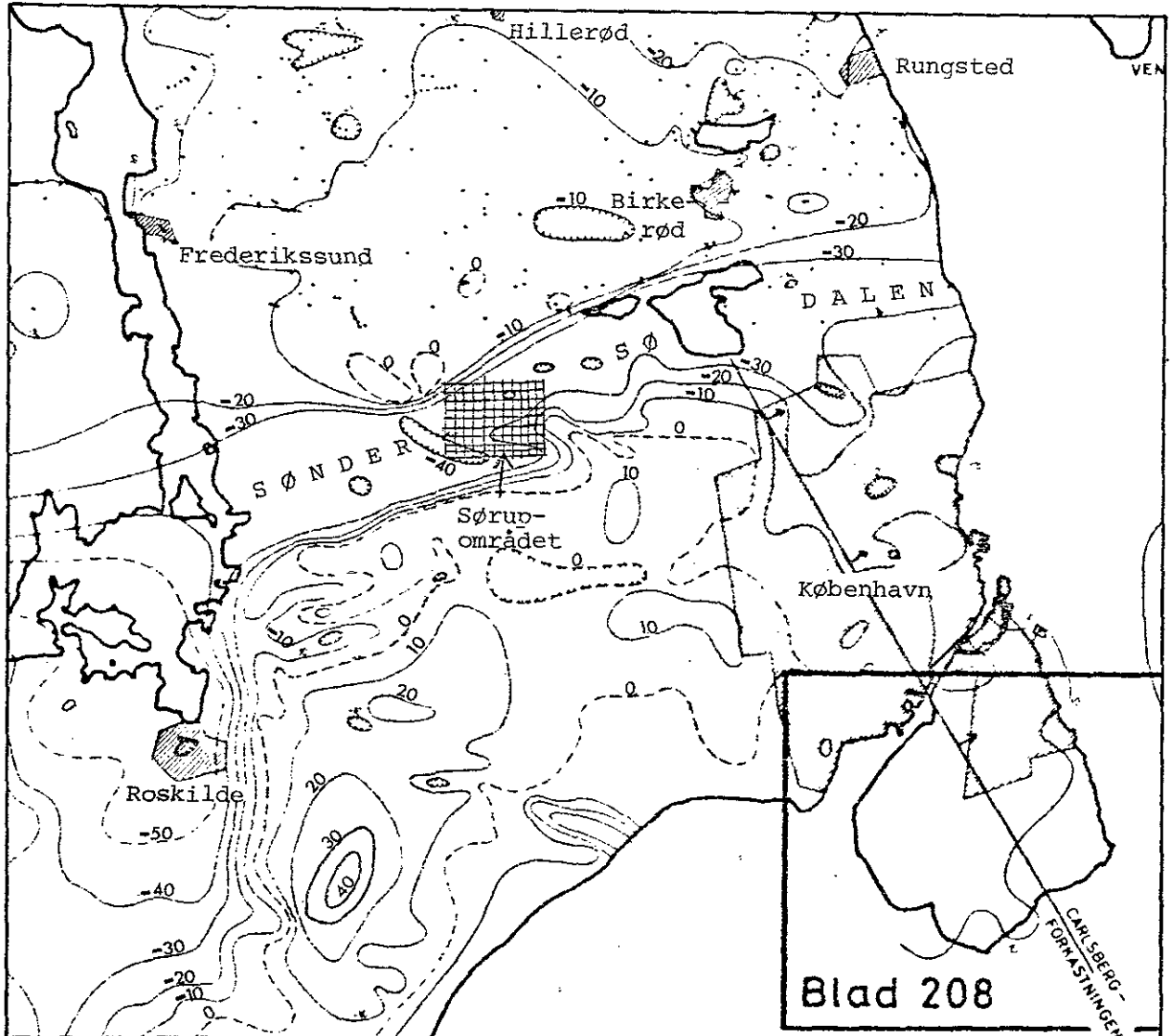
Den nordlige del af området tilhører et prækvartært dalsystem, *Søndersødalen*, der strækker sig fra Skodsborg ved Øresund over Furesø og videre mod vest gennem Veksø til Roskilde fjord, se *figur 1*. I den centrale del af dette dalsystem, som ifølge Sorgenfrei (1971) menes at være dannet hovedsagelig ved gletchererosion, ligger kalkoverfladen forholdsvis jævnt i kote - 30 til - 40, således i kote ca. - 33 i Sørup-området, ca. - 32 omkring Søndersø og den vestlige del af Furesø og ca. - 35 omkring den østlige del af Furesø og Vejle-Søllerød sø.

På såvel nord- som sydsiden af dalsystemet ("tunneldalsystemet") ligger kalkoverfladen ligeledes forholdsvis jævnt i kote + 5 til - 5, i Sørup-området således i kote 0 omkring Smørumnedre og Smørumovre. Længere mod øst, omkring Bagsværd sø og Lyngby sø, ligger kalkoverfladen i kote ca. - 6.

3.2 DE KVARTÆRE AFLEJRINGER (ISTIDSAFLEJRINGER)

Over Danien-etagens kalkaflejringer følger de kvartære aflejringer (istidsaflejringerne), der hovedsagelig er udviklet som moræneler og smeltevandssand og -grus, stedvis med indslag af morænesand og smeltevandsler og -silt. Inden for Sørup-området findes ca. 60 vandforsyningsboringer, hvoraf godt 40 er ført gennem de kvartære aflejringer ned i kalken. Mægtigheden af de kvartære aflejringer i Søndersødalen er ret konstant og ligger typisk på 40 - 45 m.

De kvartære aflejringer domineres af moræneler, mens smeltevands-sand og -grus i gennemsnit kun udgør ca. 1/3 af den kvartære lagserie. De tre boringer ved deponeringsstedet (boring 2, 3 og 4, jævnfør *bilag 1*) indledes under muldlaget med smeltevandsler, som er muldpræget, hvilket tyder på omgravning. Smeltevandsleret underlejres i kote +13,4 å +15,5 af gletcheraflejringer, som overvejende udgøres af meget sandet moræneler, lokalt beskrevet som moræne- (ler → sand) og morænesand og afbrudt af lag af let leret sand.



*Figur 1: Højdekort over de prækvartære aflejrings overflade.
(Efter Sorgenfrei, 1971.)*

Gletcheraflejringerne i de 3 boringer har en mægtighed på mellem 13 og 19 m og underlejres af smeltevandsaflejringer vekslende fra fedt ler til fint og mellemkornet sand.

I boringerne 2 og 4 er smeltevandsserien gennemboet og konstateret underlejret af siltrigt, humusholdigt ler, som på basis af pollenanalyser er bedømt som ferskvandsaflejring fra den sidste (eventuelt næstsidste) interglacialtid, hvilket viser, at der er glaciale aflejringer fra i det mindste to istider repræsenteret i området, nemlig øverst aflejringer fra Weichsel-istiden og nederst aflejringer fra Saale- og/eller Elster-istiden adskilt af interglaciale Eem- eller Holsten-aflejringer.

4. SØRUP-OMRÅDETS HYDROLOGI OG HYDROGEOLOGI

Sørup-området udgør en del af Værebros å's opland, der mod nord grænser op til Mølleå's opland og mod syd til Hove å - Nybølle å's opland. Alle tre oplande er præget af intensiv grundvandsindvinding, hvilket afspejles i et hidtil stadigt faldende grundvandspotentialer og derigennem i en faldende vandløbsafstrømning. Den direkte kontakt mellem Værebros å med tilløb og områdets grundvandsreservoirer forekommer udelukkende med de sekundære sand- og grusreservoirer i de kvartære aflejringer, mens det primære reservoir, kalkreservoiret, er adskilt fra vandløbene ved overliggende lerlag. Da der ved Cheminova-undersøgelsen er konstateret forurening af et sekundært grundvandsreservoir i Sørup-området, kan det have interesse at se lidt nærmere på afstrømningsforholdene i Værebros å-systemet i almindelighed og Sørup rende, der løber gennem Københavns Vandforsyning's kildeplads i Kildedal, i særdeleshed.

4.1 AFSTRØMNING I VÆREBRO Å OG SØRUP RENDE

Afstrømningen i Værebros å-systemet blev målt systematisk af Det danske Hedeselskab i 20-års perioden fra 1929/30 til 1948/49 på en målestation ved Øvre Værebros. Ifølge Det danske Hedeselskab (1978) dækkede målestationen Øvre Værebros et opland på 143 km², og der gælder for den omtalte 20-års periode følgende værdier for vandløbsafstrømningen:

| Værebros å | Opland km ² | Afstrømning, l/sek/km ² | | |
|---------------|---------------------------|------------------------------------|------------|------------|
| | | Middel | Medianmin. | Medianmax. |
| Øvre Værebros | 143 | 3,5 | 0,4 | 15,0 |

Tabel 1: Afstrømningsværdier for Værebros å.
(Efter Det danske Hedeselskab, 1978.)

En afbildning af middelaflstrømning mod tid for denne måleperiode viser en faldende tendens i middelaflstrømningen, der kan udtrykkes ved regressionsligningen

$$Q = -0,05 t + 4,0 \quad \text{l/sek/km}^2$$

hvor året 1928 svarer til $t = 0$, og t måles i år.

Hvorvidt den faldende tendens for Værebros å-systemet, der er ca. 10 gange større end faldet for andre sjællandske å-systemer, for eksempel Tryggevælde å, Saltø å, Harrested å og Tude å, er et udtryk for en langtidstendens fremkaldt af grundvandsindvindingen, kan ikke afgøres med sikkerhed og kan desværre heller ikke afgøres på grundlag af de sparsomme vandføringsmålinger fra 70-erne. Sammenholdes forholdet imidlertid med sænkningen af grundvandspotentiallet, jævnfør afsnit 4.2.1, må der siges at være begrundet formodning om, at den faldende tendens i afstrømningen hænger sammen med grundvandsindvindingen.

Ved en undersøgelse af Roskilde fjord's belastning m.v. (Dansk Hydraulisk Institut og Vandkvalitetsinstituttet, ATV, 1974) er der i det hydrologiske år juni 1972 / maj 1973 foretaget vandføringsmålinger på Værebros å. Målingerne viser, at middelaflstrømningen i Værebros å i 1972/73 var 3,0 l/sek/km², det vil sige nogenlunde svarende til den statistiske middelaflstrømning i 1948/49.

I forbindelse med Værebros å undersøgelsen 1973-74 (Vandkvalitetsinstituttet, ATV, 1975) blev der foretaget vandføringsmålinger i to runder, nemlig 1. runde den 15. - 16. august 1973 og 2. runde den 18. - 19. juni 1974. I begge målerunder er der målt vandføring på en række stationer på Værebros å og i 2. runde er der tillige målt vandføring på Sørup rende, som har et opland på ca. 8 km² og som dækker en betydelig del af grundvandsoplandet til Kildedal kildepladsen. Sørup rende er recipient for grundvandsafstrømningen fra især de sekundære grundvandsreservoirer i Sørup-området, herunder formentlig også afstrømningen fra det forurenede sandreservoir vest for Lyfa fabrikken.

Måleresultaterne fra Værebros å undersøgelsen er vist i *tabel 2*.

| Vandløb | Afstrømning , l/sek/km ² | | | | | |
|------------------------------|-------------------------------------|------|------|----------|------|------|
| | 1. runde | | | 2. runde | | |
| | max. | min. | mid. | max. | min. | mid. |
| Værebros å, Øvre Værebros | 1,4 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 0,9 | 1,0 |
| Sørup rende | - | - | - | 0,5 | 0,1 | 0,4 |

Tabel 2: Afstrømning i Værebros å og Sørup rende.
(Vandkvalitetsinstituttet, ATV, 1975.)

I 1978 gennemførte Det danske Hedeselskab for Hovedstadsrådet en række synkronmålinger på 6 vandløbssystemer, herunder Værebros å-systemet, i Hovedstadsområdet (Det danske Hedeselskab, 1979). Synkronmålingerne på Værebros å-systemet fandt sted den 17. juli 1978 og omfattede 8 målestationer på Værebros å's hovedløb, blandt andet stationen ved Øvre Værebros og en nyetableret permanent målestation ved Veksø bro samt en række af Værebros å's betydeligste tilløb, blandt andet Sørup rende. Måleresultaterne er vist i tabel 3.

| Vandløb | Opland km ² | Medianminimums- | | |
|------------------------------|---------------------------|-------------------|---------------|------------------------------------|
| | | Vandføring, l/sek | | Afstrømning, l/sek/km ² |
| | | incl. spv. | natur- lig | |
| Værebros å, Øvre Værebros | 144 | 106 | stuv- ning | (0,7) |
| Veksø bro | 108 | 107,4 | 24 | 0,2 |
| Sørup rende | 5,7 | 3,5 | 3,5 | 0,6 |

Tabel 3: Vandføring og afstrømning ved udvalgte målestationer på Værebros å-systemet den 17. juli 1978.
(Det danske Hedeselskab, 1979.)

Synkronmålingerne viste, at den mest intensive grundvandsafstrømning i hele Værebros å-systemet foregår i Sørup-området, og i dette område blandt andet til Sørup rende. I Sørup-området er medianminimumsafstrømningen således af Det danske Hedeselskab (1979) angivet at ligge i intervallet 0,5 til 1,5 l/sek/km², mens Værebros å's opland som helhed angives at ligge i intervallet -0,5 til +0,5 l/sek/km².

På baggrund af forureningen af det sekundære grundvandsreservoir i Sørup-området og den ovenfor beskrevne grundvandsafstrømning i området, synes der at være vægtige grunde til i fremtiden re-

gelmæssigt at undersøge vandkvaliteten i Værebros å i almindelighed og Sørup rende i særdeleshed, specielt med henblik på iagttagelse af visse af de ved nærværende forureningsundersøgelse fundne giftstoffer.

Den nøjagtige sammenhæng mellem grundvandsindvindingen og udviklingen i vandløbsafstrømningen (egentlig: grundvandsafstrømningen til vandløbene) kan ikke umiddelbart anføres på grundlag af de senere års spredte vandføringsmålinger. Denne sammenhæng burde dog i fremtiden gøres til genstand for større interesse, idet det for eksempel på grundlag af vandføringsmålinger og løbende pejlinger af grundvandspotentialer er muligt at beregne forholdet mellem den del af grundvandet fra de sekundære grundvandsreservoirer, der strømmer til vandløbene, og den del, der strømmer til det primære grundvandsreservoir. Sådanne beregninger ville indebære en væsentlig forbedring af grundlaget for bedømmelse af forureningsrisikoen.

I det følgende gives en gennemgang af reservoirforholdene i Sørup-området, specielt med henblik på en beskrivelse af vandudvekslingen mellem det primære og de sekundære grundvandsreservoirer.

4.2 GRUNDEVANDSRESERVOIRER

I nedenstående omtale af reservoirforholdene i Sørup-området vil der blive anvendt en række forskellige reservoirbetegnelser, hvoraf nogle er af konventionel karakter, mens andre udtrykker fysiske forskelle mellem reservoirtyperne. For at skabe fuld klarhed over reservoirbetegnelsernes betydning skal der indledningsvis gives følgende definitioner:

Primære grundvandsreservoirer: Konventionel betegnelse for grundvandsreservoirer af betydelig horisontal og vertikal udstrækning (af regional karakter). Primære reservoirer kan forekomme alene eller overlejret af sekundære reservoirer. Primære reservoirer kan være artesiske eller have frit grundvandsspejl.

Sekundære grundvandsreservoirer: Konventionel betegnelse for grundvandsreservoirer af mindre horisontal og vertikal udstrækning (af lokal karakter). Sekundære reservoirer forekommer kun sammen med primære reservoirer og overlejlrende disse. Sekundære reservoirer kan være artesiske eller have frit grundvandsspejl.

Artesiske grundvandsreservoirer: Reservoirtype, i hvilken grundvandet er under større tryk end atmosfæretrykket som følge af overliggende lavpermeable eller impermeable dæklag, og hvor grundvandets trykniveau er beliggende over underkanten af det lavpermeable lag. Et artesisk grundvandsreservoir er vandmættet i hele det vandførende lags tykkelse, og vandafgivelsen fra reservoiret foregår ved elastiske deformationer (elastisk sammentrykning af kornskelettet og elastisk udvidelse af vandet).

Grundvandsreservoirer med frit grundvandsspejl: Reservoirtype, i hvilken grundvandsspejlet udgør den øvre grænse for den mættede zone, og hvor der gennem den overliggende umættede zone er direkte forbindelse til atmosfæren (jordoverfladen). Grundvandsspejlet er den flade, i hvilken væsketrykket er lig atmosfæretrykket. Vandafgivelsen fra et grundvandsreservoir med frit grundvandsspejl foregår ved fri dræning af den vandmættede zone.

4.2.1 *Det primære grundvandsreservoir*

Kalkaflejringerne udgør det *primære grundvandsreservoir* i det meste af Nordøstsjælland, og det er fra disse aflejringer størstedelen af grundvandsindvindingen finder sted. I *Sørup-området*, hvor de kvartære aflejringer som nævnt i *afsnit 3.2* domineres af moræneler, er grundvandsindvindingen helt overvejende knyttet til det primære reservoir (kalkreservoiret), mens der i andre dele af Sønderødalen, for eksempel omkring Furesø, er knyttet betydelige vandindvindingsinteresser til de sekundære sand- og grusreservoirer (Vandkvalitetsinstituttet, ATV, 1979). Grundvandsindvindingen i Sørup-området, hvoraf den væsentligste foregår fra Københavns Vandforsyning's kildeplads ved Kildedal, er kort omtalt i *afsnit 4.4*.

Som tidligere nævnt varierer kalkaflejringerne en del i sammensætning og struktur, hvortil kommer en betydelig variation i den sekundære porøsitet og permeabilitet, der er opstået som følge af jordskorpebevægelser, gletchererosion m.v. Den sekundære porøsitet optræder i form af større og mindre spalter og revner i såvel horisontal som vertikal retning. Gletchererosionen afspejles i en knusningszone øverst i kalkaflejringerne. Knusningszonen har betydelig interesse for grundvandsindvindingen, idet den normalt er væsentlig mere vandførende end dybereliggende, uforstyrrede dele af kalken, hvilket fremgår af, at kalkboringers specifikke kapaciteter pr. gennemboret meter kalkinterval ($\text{m}^3/\text{sek}/\text{m}$ pr. m kalkboring) normalt aftager med dybden. Rent hydraulisk vil dette betyde, at en forurening, der strømmer ned til kalkreservoiret, vil bevæge sig væsentligt hurtigere mod vandindvindingsboringer end beregninger baseret på gennemsnitspermeabiliteten i kalkreservoiret umiddelbart vil vise.

Da permeabiliteten overvejende er knyttet til den sekundære porøsitet og kun for de mest sandede kalkaflejringer vedkommende tillige i betydelig grad til den primære (intergranulære) porøsitet, kan der forventes store variationer i kalkboringeres ydelse inden for området. En analyse af kalkboringerne på det geologiske kort, *bilag 1*, viser variation i boringsydelse svarende til transmissiviteter (vandledningsevne) i intervallet fra ca. 5×10^{-5} til ca. $3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sek.}$, et forhold der også kendes fra andre dele af Sønderødal og det øvrige østsjællandske kalkområde. En analyse af Københavns Vandforsyning's boringer på Kildedal viser, at kalkreservoiret her har en transmissivitet på $5,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sek.}$ og således svarer til et bredt gennemsnit af kalkreservoiret i hele Sørup-området.

Kalkreservoiret er artesisk overalt inden for det undersøgte område, jævnfør *bilag 1*. For Københavns Vandforsyning's boringer ved Kildedal findes lange tidsserier for grundvandspotentialiet. Pejlingerne er påbegyndt omkring 1916, det vil sige væsentligt før den intensive grundvandsindvinding blev iværksat, og er fortsat uafbrudt gennem hele indvindingsperioden. Som det måtte forventes har indvindingen på Kildedal skabt et markant sænkingsområde med sænkninger på 10 - 12 m i den centrale del af sæk-

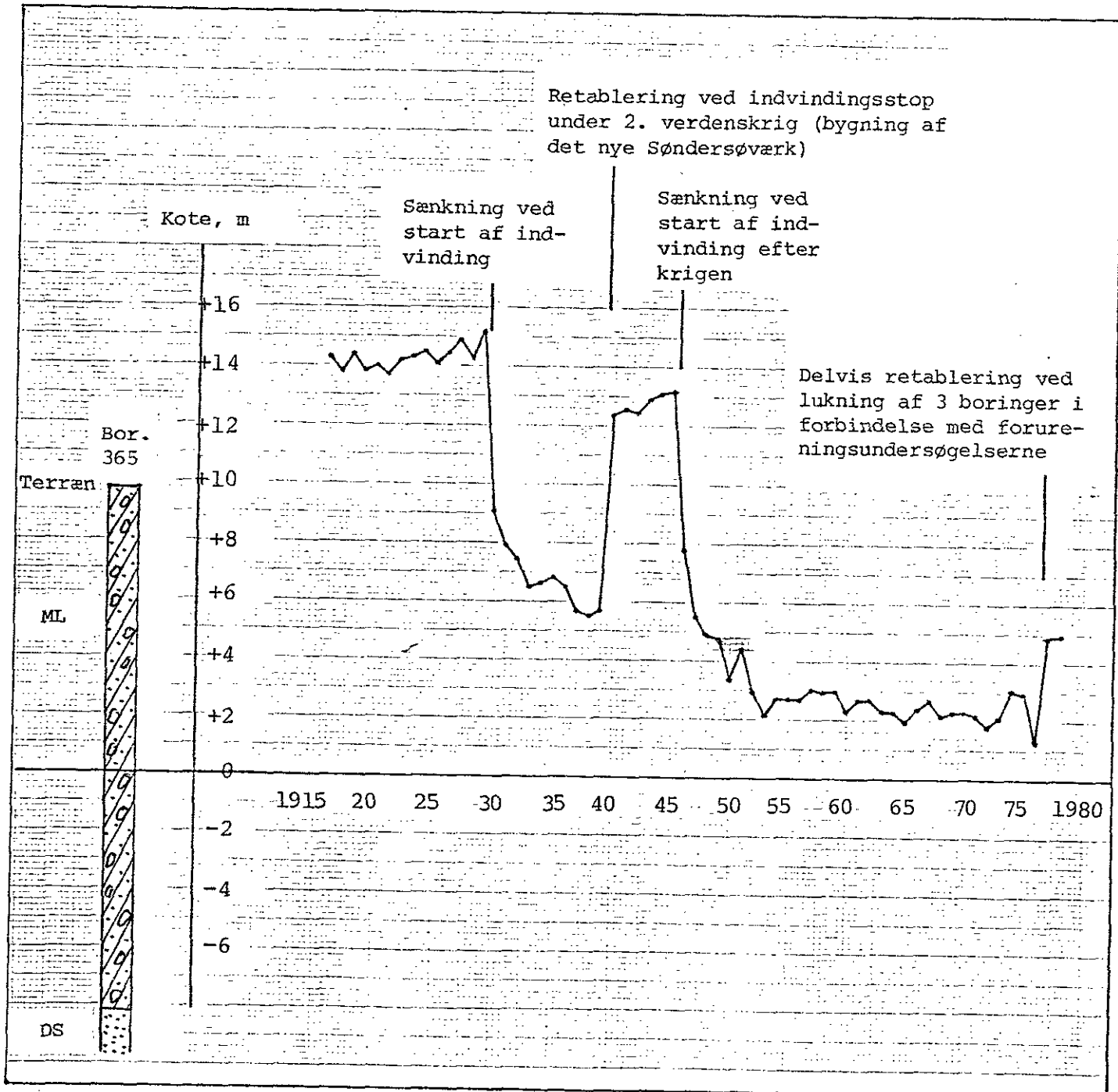
ningen. Som eksempel på udviklingen i grundvandspotentialiet er på *figur 2* vist en afbildning af boring DGU ark.nr. 200.102 (Københavns Vandforsyning's observationsboring nr. 365), som i denne sammenhæng kan siges at være repræsentativ for hele kildepladsen.

Det fremgår af figuren, at sænkingsforløbet endnu ikke er afsluttet efter ca. 50 års grundvandsindvinding, hvilket betyder, at der endnu er ikke-ligevægt i systemet, og hvilket yderligere betyder, at der fremtidig må forventes reduktion af vandløbsafstrømningen indtil en ligevægt er etableret. Bortset fra letforklarlige afbrydelser kan der konstateres en jævn sænkning af grundvandspotentialiet fra kote ca. +14 ved indvindingens start til kote +1 á +2 i 1976. I 1977 sker der en mindre retablering som følge af lukningen af de tre østligste indvindingsboringer på Kildedal (de tre boringer tættest ved boring 365). Ved lukningen af de tre boringer er kapaciteten på Kildedal-anlægget, der er udført som et hævertanlæg, faldet fra ca. 1,16 mill. m³/år som gennemsnit for 1973 - 1977 til ca. 1,06 mill. m³ i 1978. Når kapacitetsfaldet ikke bliver proportionalt med antallet af lukkede boringer, skyldes det blandt andet, at der ved lukningen sker en vis retablering i naboindvindingsboringerne, som derved får en tilsvarende kapacitetsstigning (jævnfør også *figur 2*).

Udviklingen i grundvandspotentialiet i Sørup-området og især omkring Kildedal svarer helt til udviklingen omkring de øvrige store kildepladser i området, som for eksempel Egholm, Bjellekær, Bogøgård, Søndersø m.fl. De således dannede sænkingsområder bevirker, at det med ret stor sikkerhed kan afgøres, i hvilken retning grundvandsstrømmen foregår, og for Sørup-området betyder dette en grundvandsstrøm rettet mod Kildedal sænkningen, og en grundvandsafstrømning til Sørup rende, der løber gennem Kildedal, jævnfør *afsnit 4.1*.

4.2.2 De sekundære grundvandsreservoirer

De sekundære grundvandsreservoirer i Sørup-området udgøres af forekomster af smeltevandssand og -grus fra kvartærtiden (istiden). Som beskrevet i *afsnit 3.2* domineres de kvartære aflej-



Figur 2: Grundvandspotentialet i boring 365 (DGU ark.nr. 200.102) i perioden 1916 - 1978 (december-pejlinger).

(Efter Københavns Vandforsyning.)

ringer af moræneler, og de sekundære grundvandsreservoirer har derfor ikke den store betydning for vandindvindingen, idet også størstedelen af de lokale enkeltindvindinger finder sted fra kalkreservoiret.

Det fremgår af det geologiske kort, at der i mange boringer er konstateret sandlag over kalken. I nogle boringer ligger sandlagene i direkte kontakt med kalken og tilhører derfor hydraulisk set det primære reservoir, mens der i andre boringer forekommer lerlag mellem kalken og sandlagene, der således danner egentlige sekundære reservoirer. Ved en sammenligning mellem boringerne fremgår det imidlertid også, at de sekundære reservoirer forekommer på forskellige niveauer, og det er derfor vanskeligt at vurdere, om reservoirerne har direkte hydraulisk forbindelse med hinanden, eller om de - mere sandsynligt - er delvis afspærret af lerlag. I sidstnævnte tilfælde vil der ikke være tale om sekundære reservoirer med en entydig grundvandsstrøm, men om et lagsystem, hvor grundvandsstrømmen gentagne gange afbøjes ved passage af lag med forskellig permeabilitet.

De kvartære aflejringer bør derfor opfattes som et system, hvor artesiske sandreservoirer - ofte af meget begrænset udstrækning - og lerlag veksler mellem hinanden, og hvor alle lag er vandmættede under en vis dybde svarende til et frit grundvandsspejl i de kvartære aflejringer.

Som beskrevet i *afsnit 4.2.1* findes der et omfattende materiale til vurdering af udviklingen i det primære reservoirs grundvandspotentiale, hvorimod der ikke findes systematiske pejlinger, der kan vise den generelle udvikling af grundvandsspejlet i de kvartære aflejringer, og specielt udviklingen af grundvandspotentialet i de sekundære sandreservoirer.

I selve deponeringsområdet er der i undersøgelsesboring 2 og 3 konstateret et sekundært reservoir med artetiske trykforhold, dækket af et 13 - 19 m mægtigt morænelerslag og underlejret af interglacialt ferskvandsler, hvis mægtighed ikke er bestemt.

Reservoiret udgøres af fint til mellemkornet sand. På basis af pumpeforsøg udført på boring 2 og 3 kan det skønnes, at laget i disse boringer, som er i indbyrdes hydraulisk kontakt, har en transmissivitet af størrelsesordenen $5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sek}$. Sandlaget i boring 4 er derimod næppe i direkte hydraulisk kontakt med laget i boring 2 og 3. Boringerne på deponeringsområdet giver således ikke tilstrækkeligt grundlag for at beskrive grundvandsstrømmen i det sekundære reservoir, men med en så markant uddybning af sænkningen i det primære reservoir, som kendes ved Kildedal, og i betragtning af det mere end 50-årige tidsrum, i hvilket sænkningen er udviklet, er der imidlertid næppe tvivl om, at en tilsvarende, men mindre markant sænkning er udviklet i de kvartære aflejrings grundvandsspejl. Sænkningen af grundvandsspejlet vil være nogenlunde konform med sænkningen i det primære reservoir, og det kan derfor med rimelig sikkerhed antages, at grundvandsstrømmen i de sekundære lag ligeledes i hovedtræk er rettet mod Kildedal, omend der som beskrevet kan forekomme lokale afbøjninger af grundvandsstrømmen.

4.3 VANDUDVEKSLINGEN MELLEM GRUNDVANDSRESERVOIRERNE

Som følge af de meget sparsomme målinger af grundvandspotential i de sekundære grundvandsreservoirer er det ikke muligt at udføre egentlige beregninger over vandudvekslingen mellem grundvandsreservoirerne. På grundlag af de få eksisterende data samt kendskabet til de generelle hydrologiske og hydrogeologiske forhold i Sørup-området er det imidlertid muligt at give en rimelig korrekt kvalitativ fremstilling af disse forhold.

Det vides fra Københavns Vandforsyning's pejlinger, at grundvandspotential i det primære reservoir på tidspunktet for etableringen af Kildedal kildepladsen lå omkring kote +14 eller 5 - 8 m over terræn på selve kildepladsen. På dette tidspunkt var potential i det primære reservoir givetvis højere end potential i de sekundære sandreservoirer og med sikkerhed højere end det frie grundvandsspejl, der formentlig har stået nær terræn. Der har således været en opadrettet lækagestrømning fra det primære til de sekundære reservoirer og derfra videre ud i Sørup rende.

Med den meget betydelige sænkning af det primære reservoirs grundvandspotentiale, som i dag ligger 3 - 6 m under terræn, må det antages, at grundvandspotentialet i de sekundære reservoirer og det frie grundvandsspejl er større end eller af samme størrelse som grundvandspotentialet i det primære reservoir, hvilket betyder, at der i dag sandsynligvis foregår en nedadrettet strømning også i selve kildepladsområdet.

I nogen afstand fra kildepladsen har grundvandspotentialet i det primære reservoir formentlig altid været lavere end i de sekundære reservoirer, hvorfor der i disse områder må antages at have foregået en nedadrettet strømning hele tiden. Nøjagtige oplysninger om potentialforskellen mellem det primære og de sekundære reservoirer kendes kun fra få boringer i området og normalt kun fra boringernes udførelsesår. I de 3 undersøgelsesboringer på A/S Lyfa's ejendom ligger det sekundære reservoirs grundvandspotentiale i kote ca. +9, mens kalkreservoirets potentiale ifølge potentialkortet er ca. +4 å +5 på samme sted, hvilket giver en potentialforskel på 4 - 5 m, jævnfør *bilag 1*.

Potentialforskellen mellem det primære og det sekundære reservoir bestemmer sammen med den vertikale permeabilitet i moræneleret (og evt. andre underliggende lerlag) hastigheden af den nedadrettede lækagestrømning, jævnfør *afsnit 6*. Den vertikale strømning har ikke den store betydning i selve forureningsområdet, hvor den horisontale strømning i det sekundære reservoir er helt dominerende. Betragtes imidlertid som tidligere beskrevet de kvartære aflejringer som et uregelmæssigt lagsystem med forskellig permeabilitet, vil grundvandsstrømmen afbøjes i lodret retning ved passage af lerlagene, hvorfor den vertikale strømningskomponent får væsentlig betydning i systemet som helhed.

Kun en begrænset del af den totale grundvandsdannelse (infiltration), som i dette område formentlig er af størrelsen 200 mm/år, når ned i det primære reservoir. Resten vil strømme til vandløb (Sørup rende) via markdræn og som grundvandsafstrømning fra de sekundære reservoirer. Sammenholdes tallene for grundvandsindvindingen i Sørup-området, som helt overvejende udgøres af de ca. 1,2 mill. m³/år svarende til 100 mm, der indvindes på Kilde-

dal, med vandføringsmålingerne, der antyder, at afstrømningen i Sørup rende er på mindst 100 mm/år (100 mm/år er gennemsnittet for hele Værebros å-systemet) ses, at det med rimelighed kan antages, at ca. 50% eller 100 mm af det grundvand, der passerer de sekundære reservoirer strømmer til Sørup rende, mens resten strømmer til det primære grundvandsreservoir.

4.4 GRUNDVANDSINDVINDINGEN I SØRUP-OMRÅDET

Grundvandsindvindingen i Sørup-området finder som ovenfor nævnt helt overvejende sted fra Københavns Vandforsyning's kildeplads Kildedal. Ud over denne indvinding findes der en række private indvindinger i området, og der skal i det følgende gives en kort beskrivelse af de samlede indvindingsforhold omkring det forureningsramte område. Beskrivelsen er baseret på en redegørelse fra Københavns Vandforsyning (1978).

Det fremgår af redegørelsen, at Sørup-området er en del af "fællesområdet for vandværket ved Søndersø", hvorfra Københavns Vandforsyning har ret til at indvinde 19 mill. m³ grundvand pr. år. Den kildeplads, der ligger nærmest fabriksområdet, er som før nævnt Kildedal, der er udført som et hævertanlæg med 15 indvindingsboringer. Af de 15 indvindingsboringer er 13 ført ned i kalken og filtersat i denne, 1 boring er filtersat i den øverste del af kalken og en del af et overliggende sand- og gruslag, mens den sidste boring er filtersat udelukkende i et gruslag, der ligger umiddelbart over kalken. Alle boringer indvinder således fra det tidligere beskrevne primære grundvandsreservoir.

Størrelsen af grundvandsindvindingen fra Kildedal gennem de sidste 13 år er vist i *tabel 4*. Til sammenligning er ligeledes vist den samlede grundvandsindvinding til Søndersø-værket.

Fra Kildedal pumpes råvandet sammen med råvand fra kildepladserne Egholm, Bjellekær og Bogøgård til Søndersø vandværket, hvor vandet behandles sammen med råvand fra 3 kildepladser omkring Søndersø. På Søndersø vandværk blandes grundvandet yderligere med behandlet overfladevand, og endelig pumpes vandet fra Søndersø vandværk sammen med behandlet grundvand fra vandværket ved

| År | Indvinding fra Kildedal mill. m ³ | Samlet grundvandsindvin- ding til Sønder sø-værket mill m ³ |
|-------------|--|--|
| 1966 - 1967 | 1,70 | 18,1 |
| 1967 - 1968 | 1,60 | 18,6 |
| 1968 - 1969 | 1,71 | 18,5 |
| 1969 - 1970 | 1,62 | 18,4 |
| 1970 - 1971 | 1,59 | 18,1 |
| 1971 - 1972 | 1,49 | 18,3 |
| 1972 - 1973 | 1,33 | 17,7 |
| 1973 - 1974 | 1,21 | 17,1 |
| 1974 - 1975 | 1,13 | 17,0 |
| 1975 - 1976 | 1,13 | 17,1 |
| 1976 | 1,22 | 16,9 |
| 1977 | 1,13* | 16,5 |
| 1978 | 1,06** | 17,1 |

*, ** : Indvindingen delvis (*) og fuldt (**) påvirket af lukningen af 3 indvindingsboringer.

Tabel 4: Grundvandsindvinding fra Kildedal.
(Kilde: Københavns Vandforsyning.)

Slangerup gennem en fællesledning til højdebeholderen ved Tinghøj i Gladsaxe kommune. Undervejs leveres vand til kommunerne Værløse, Ballerup og Herlev. Grundvandet fra Kildedal kildepladsen bliver således opblandet ca. 30 gange med vand fra andre kildepladser, før det når ud til forbrugerne, et forhold der må indgå i vurderingen af den sundhedsmæssige risiko ved en eventuel forurening af det primære grundvandsreservoir ved Kildedal.

De private indvindinger i nærheden af Lyfa fabrikken er anført i tabel 5 og tillige vist på bilag 1, hvor de er angivet med Københavns Vandforsyning's sagsnumre (V 43, V 59, etc.).

| Københavns Vandforsy- nings sagsnr. | Stednavn matr. nr. | Brønd/ boring | Terræn- kote | Kote til bund af brønd/ boring | Dybde under terræn |
|--|--|------------------|-----------------|---|--------------------------|
| | | | m | m | m |
| V 43 | Smørumedre vandværk | boring | ca. +33 | ca. + 2 | ca. 31 |
| V 59 | Engagergård 4 <u>a</u> , Sørup | boring | ca. +16 | ca. -11 | ca. 27 |
| V 71 | Kildedal led- vogterhus | boring | ca. +15 | ca. - 7 | ca. 22 |
| V 86 | Alpegården 2 <u>a+b</u> , Smør. nr. | boring | ca. +36 | ca. -39 | ca. 75 |
| V 90 | Schæfergården 14 <u>a</u> , Smør. nr. | boring | - | - | ca. 52 |
| V 94 | 4 <u>f</u> , Smør.nedre | boring | ca. +35 | ca. -38 | ca. 73 |
| V 160 | 4 <u>d</u> , 4 <u>e</u> , Sørup | brønd | ca. +18 | ca. +15 | ca. 3 |
| V 169 | Lærkenborg 9 <u>a</u> , Måløv | brønd | ca. +37 | ca. +12 | ca. 25 |
| V 192 | Askebjerggård 3 <u>b</u> , Smør.nedre | brønd | ca. +38 | ca. +27 | ca. 11 |
| V 202 | Åbjerggård 1 <u>a</u> , Sørup | brønd | ca. +19 | ca. +15 | ca. 4 |
| V 210 | 7 <u>b</u> , Sørup | brønd | ca. +17½ | ca. +12 | ca. 5½ |

Table 5: Private grundvandsindvindinger i Sørup-området.
(Kilde: Københavns Vandforsyning.)

Risikoen for forurening af disse indvindingsanlæg med forurenede grundvand fra Lyfa-området hænger direkte sammen med retningen af grundvandsstrømmen i de sekundære reservoirer. På grundlag af pejlinger i undersøgelsesboring 2 - 4 blev der for dette område skønnet en strømningsretning mod VNV. I nogen afstand i vestlig retning må det antages, at denne strømretning ændres til VSV, således at strømmingen foregår direkte mod Kildedal sænkningen.

Ud fra ovennævnte betragtninger må alle indvindinger fra sekundære reservoirer beliggende syd og øst for Lyfa-området kunne lades ude af betragtning ved vurderingen af en eventuel forureningsrisiko. Tilbage bliver de private indvindinger V 59, V 160, V 202 og V 210, der alle ligger i Sørup umiddelbart nord for Frederikssundsvej, samt V 71, som tilhører Kildedal ledvogterhus lige nord for kildepladsen.

Det fremgår af *tabel 5*, at V 160, V 202 og V 210 er lave brønde med bundkote i henholdsvis +15, +15 og +12 m og givetvis gravet i det moræneler, som de fleste steder i området udgør den øverste del af de kvartære aflejringer. Grundvandspotentialet i undersøgelsesboring 2 - 4 er lavere end bundkoterne i de tre brønde, og det må betragtes som udelukket, at forurenede grundvand fra Lyfa kan indebære en risiko for vandet i disse brønde.

Med hensyn til V 59 og V 71 er forholdet det, at disse boringer dels er beliggende i omtrent samme kote som undersøgelsesboringerne (omkring kote +15 m) og dels, at de indvinder grundvand fra et sandlag i omtrent samme dybde som det forurenede sandreservoir ved Lyfa fabrikken. Ved boringernes udførelse i 1930 var grundvandspotentialet henholdsvis i kote ca. +9 og i kote ca. +7,5, og under hensyn til den generelle sænkning i Sørup-området, må det forventes, at disse grundvandspotentialer i dag er noget lavere. Begge disse boringer må derfor med i en vurdering af forureningsrisikoen, men det må dog ud fra en almindelig vurdering af strømningsforholdene antages, at V 71 er udsat for en væsentlig større forureningsrisiko end V 59.

5. RESUME AF DE KEMISKE ANALYSERESULTATER

De kemiske analyseresultater foreligger resumeret i en rapport fra Civilforsvarets analytisk-kemiske Laboratorium og Kemikaliekontrollen (1978).

Af tabel 1 i ovennævnte rapport fremgår det, at der i referenceboringen (boring 3), som ligger nord for selve deponeringsområdet er konstateret et kloridindhold på op til 50 ppm. I boring 4, som ligger øst for selve deponeringsområdet, er kloridindholdet tilsvarende bestemt til mindre end 50 ppm. I boring 2, som er udført under deponeret affald, er der i en dybde mellem 3,5 og 7,0 m under terræn konstateret et kloridindhold på mellem 50 og 200 ppm, medens der i resten af profilet er målt mindre end 50 ppm.

Da klorid hverken omdannes eller bindes i jorden, kan et forhøjet kloridindhold tages som et udtryk for kemisk forurening, som i det aktuelle tilfælde således er konstateret til en dybde af 7 m under terræn og med et maksimum omkring 6 m under terræn.

At der ikke er konstateret forhøjet kloridindhold i større dybde kan skyldes, at nedsivningen fra deponiet ikke er nået dybere, men mere sandsynligt, at en eventuel nedsivning er ført med en horisontal grundvandsstrøm i sandlaget under denne dybde.

Af tabel 4 fremgår det, at der i boring 2 er konstateret et indhold af organisk-kemiske forbindelser (DDT, 4-klor-2-methylphenol og MCPA (4 klor-2-methylphenoxy eddikesyre)) i prøver i indtil 10 m under terræn, med maksimumkoncentrationer i mindre dybder end for klorid, hvilket kan tages som et udtryk for, at disse stoffer i modsætning til klorid til en vis grad kan bindes til jordpartikler, hvorved deres vandringshastighed reduceres i forhold til grundvandets vandringshastighed.

Af tabel 5 fremgår det, at også en række andre organiske stoffer er påvist i de øverste 10 m, men i lav koncentration.

I forbindelse med prøvepumpning af boring 2 og 3 er der udtaget vandprøver, som viser, at der i det sekundære reservoir i disse boringer blandt andet kan påvises mulige nedbrydningsprodukter af MCPA, jævnfør *tabel 6* i nærværende rapport.

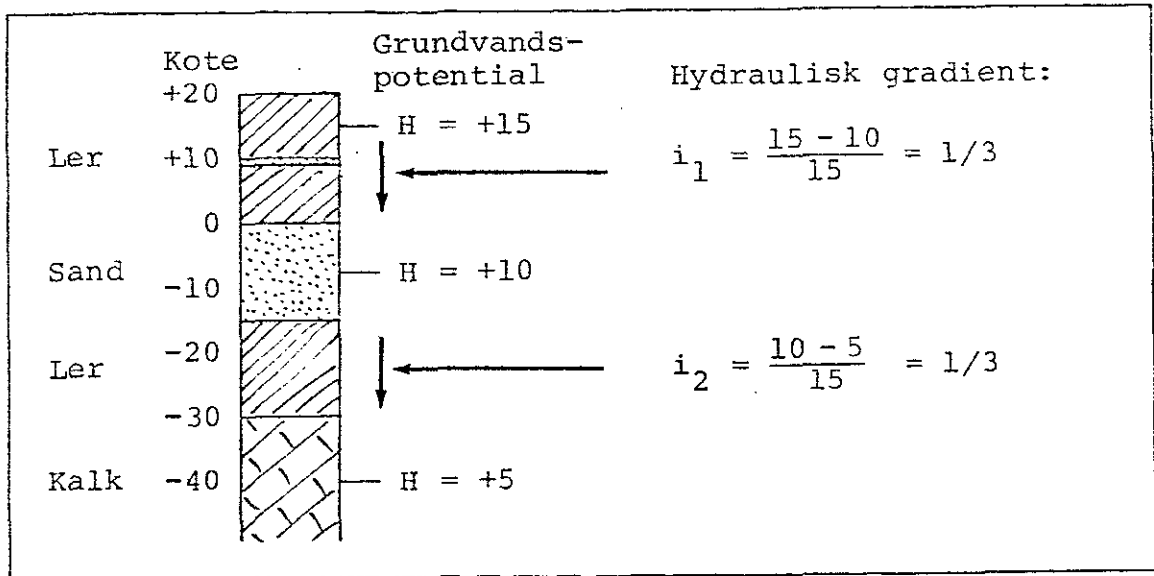
| | 4-klor-2-methylphenol ppm | o-toluensulfonamid ppm | p-toluensulfonamid ppm |
|------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Boring "2" | 0,51 | 0,05 | |
| Boring "3" | 0,35 | 0,35 | spor |
| Boring "4" | 0,044 | | |

Tabel 6: Stoffer fundet i prøver fra sekundært grundvandsreservoir.

Det kan konstateres, at der under deponiet kan eftervises stoffer, som efter al sandsynlighed stammer fra kemikaliedeponering i området, og at forureningen har nået det sekundære reservoir under deponeringspladsen, uden at det dog er muligt at påvise forureningens vej til det sekundære reservoir.

6. VURDERING AF FORURENINGSRISIKOEN

I de foregående afsnit er der givet en redegørelse for en række af de forhold, der har betydning for vurderingen af forureningsrisikoen, men denne har hidtil kun været omtalt rent kvalitativt, og der skal derfor i dette afsnit gøres et forsøg på at udføre en kvantitativ vurdering af forureningsrisikoen. Til denne vurdering er geologien og reservoirforholdene i Kildedal - Lyfa området fremstillet ved en forenklet profilmudel, som vist på *figur 3*.



Figur 3: Profilmodel af Kildedal-området.

Isolerede sandlag (sandlommer) i det øvre moræneler, som blandt andet mødt i boring 2, vil ikke påvirke den lodrette strømning væsentligt, men kun indebære en lokal vandret strømning, således at forureningen ikke registreres vertikalt under forureningsstedet, jævnfør også afsnit 4.3. Det bemærkes, at mægtigheden af det nedre lerlag er uden betydning for de endelige konklusioner vedrørende forureningsrisikoen.

Den vertikale strømning gennem lerlagene kan skønsmæssigt beregnes til

$$v = k \times i = 3,15 \times 10^7 \times 10^{-8} \times 1/3 = 0,1 \text{ m/år} \quad (100 \text{ mm/år})$$

$k = 10^{-8}$ m/sek. er en høj værdi for morænelers permeabilitetskoeficient, som ofte kan antage værdier af størrelsesordenen 10^{-10} til 10^{-9} m/sek. I nærværende beregninger er den høje værdi anvendt for at tage højde for eventuelle sprækker eller sandede partier i moræneleret.

Ved indførelse af porøsiteten kan den ovenfor beregnede filterhastighed omsættes til transporthastighed ved

$$\underline{\underline{\bar{v} = \frac{v}{n} = \frac{0,1}{0,2} = 0,5 \text{ m/år}}}$$

Ved at sætte $n = 0,2$ er der kompenseret for, at kun en del af porene er effektive ved vandtransporten (den effektive porøsitet).

Den vertikale strømning kan ligeledes beregnes på grundlag af de kemiske analyseresultater fra forureningsundersøgelsen. Det fremgår således af *afsnit 5*, at der ved de kemiske analyser af jord- og vandprøver fra undersøgelsesboringerne er konstateret en forureningsfront, hvis maksimum ligger ca. 6 m under terræn, det vil sige ca. 5 m under deponiet. Det nøjagtige tidsrum for nedsivningens start kendes ikke, men det kan ud fra kendskabet til det omtrentlige nedgravningstidspunkt, emballagens karakter m.v. skønnes, at

$$\text{nedsivningstiden} = 25 \pm 5 = 20 - 30 \text{ år}$$

På dette grundlag fås følgende hastighed for den vertikale strømning

$$v = \frac{5 \text{ m}}{20 \text{ \AA } 30 \text{ år}} = 0,17 \text{ \AA } 0,25 \text{ m/år}$$

Sammenholdes dette med den teoretiske beregning ses, at der er god overensstemmelse, og det bemærkes, at et valg af $k = 0,5 \times 10^{-8}$ m/sek. for morænelerets permeabilitetskoefficient ville have bragt fuld overensstemmelse mellem de to beregninger.

Nettonedbøren inden for deponeringsarealet kan skønnes til

$$Q = I \times A = 0,2 \times 10.000 = 2.000 \text{ m}^3/\text{år}$$

hvor

$$I = 0,2 \text{ m/år er infiltrationen}$$

$$A = 10.000 \text{ m}^2 \text{ er arealet af deponiet (skønnet).}$$

Den anførte nettonedbør må antages at udgøre en absolut øvre grænse for grundvandsdannelsen, idet den svarer til en infiltration på 200 mm/år til de sekundære grundvandsreservoirer, jævnfør afsnit 4.3. En del af infiltrationen må imidlertid formodes at strømme direkte til vandløb via markdræn, således at den andel, der rent faktisk passerer grundvandsreservoirerne, bliver noget mindre.

Antages grundvandsdannelsen at være $2.000 \text{ m}^3/\text{år}$, skal det sekundære reservoir mellem kote 0 og -15 kunne borttransportere denne vandmængde plus det grundvand, der passerer deponiet opstrøms fra. Grundvandsstrømmen i reservoiret kan beregnes ud fra følgende forudsætninger:

$$\text{Reservoirets transmissivitet } T = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sek.}$$

Gradienten i det sekundære reservoir skønnes til $0,5 \times$ gradienten i det primære reservoir, det vil sige $i = 10 \text{ ‰}$.

Grundvandsstrømmen beregnes efter Darcy's lov til

$$\begin{aligned} Q &= B \times T \times i = 100 \times 5 \times 10^{-4} \times 0,01 = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sek} \\ &= 16.000 \text{ m}^3/\text{år} = 8 \text{ gange grundvandsdannelsen.} \end{aligned}$$

Det fremgår af beregningen, at det nedsivende vand vil kunne transporteres horisontalt i det sekundære sandreservoir.

Det kan som nævnt i afsnit 4.3 antages, at ca. halvdelen af vandet fra det sekundære reservoir strømmer til vandløb, mens den resterende del via lækagestrømning ender i det primære reservoir, og dermed på et tidspunkt i en indvindingsboring på Kildedal eller en lokal indvindingsboring. På Kildedal opblandes de ca. $1.000 \text{ m}^3/\text{år}$ med den øvrige vandmængde, der indvindes på kildepladsen ($\sim 1,2 \text{ mill. m}^3/\text{år}$), således at koncentrationen bliver

$$\text{koncentration} = \frac{1.000 \text{ m}^3}{1.200.000 \text{ m}^3} = 8 \times 10^{-4}$$

Sandsynligheden, for at en forurening når frem til et lokalt indvindingsanlæg i det primære reservoir, må anses for uhyre ringe under hensyn til de strømningsforhold, der hersker i området som følge af Kildedal sænkningen.

Under uheldige omstændigheder, og kun for indvindingsanlæg placeret i et sekundært reservoir, jævnfør afsnit 4.4, vil opblandingen svare til det som opnås, ved at nedslivningen blandes med det vand, som strømmer forbi i det sekundære reservoir, det vil sige

$$\text{koncentration} = \frac{2.000 \text{ m}^3}{16.000 \text{ m}^3} = 0,13$$

Med baggrund i ovennævnte beregninger kan den forventede forureningskoncentration beregnes, for eksempel for 4-klor-2-methylphenol.

1. I jorden under deponiet (boring 2)
målt maksimumkoncentration: 0,95 ppm (mg/kg våd jord)
2. I det sekundære grundvandsreservoir
målt i vand fra boring 2: 0,51 ppm.
3. Forventet koncentration i pkt. 2 på basis af pkt. 1:
 $0,95 \text{ ppm} \cdot 0,13 = 0,12 \text{ ppm}$
idet det antages, at koncentrationen i porevandet og jorden er ens.
4. Forventet koncentration i primært grundvandsreservoir på basis af pkt. 1:
 $0,95 \text{ ppm} \cdot 8 \cdot 10^{-4} = 0,76 \text{ } \mu\text{g/l}$
idet det antages, at koncentrationen i porevandet og jorden er ens.
5. Forventet koncentration i primært grundvandsreservoir på basis af pkt. 2:
 $0,51 \text{ ppm} \cdot 8 \cdot 10^{-4} : 0,13 = 3,1 \text{ } \mu\text{g/l}$.

Ifølge EF's direktiv om kvaliteten af drikkevand (EF, 1979) er den maksimalt tilladte koncentration i drikkevand 0,1 $\mu\text{g/l}$.

Det ses, at denne værdi under de antagne ugunstige forudsætninger kan blive overskredet betydeligt, såvel i det sekundære som i det primære reservoir.

I det sekundære reservoir vil overskridelsen kunne blive meget betydelig (~5000 gange), men en effekt heraf vil være afhængig af, om der er placeret indvindingsboringer nedstrøms deponeringspladsen (jævnfør *afsnit 4.4*).

I det primære reservoir vil overskridelsen være mindre, men dog markant (~30 gange), men det bemærkes, at vandet fra Kildedal opblandes ca. 30 gange inden det leveres til forbrugerne som drikkevand, hvorved koncentrationen skulle komme ned på niveau med den fastsatte TMK-værdi.

7. KONKLUSION OG REKOMMANDATIONER

I forbindelse med forureningen på A/S Lyfa's ejendom i Ballerup kommune er der foretaget en undersøgelse af de geologiske og hydrogeologiske forhold i Sørup-området. Undersøgelserne har vist, at vandindvindingsinteresserne i området helt overvejende er knyttet til det primære grundvandsreservoir (kalkreservoiret), mens de sekundære sand- og grusreservoirer kun udnyttes af mindre lokale indvindingsanlæg (såvel borer og brønde). Grundvandsafstrømningen i området foregår især til Sørup rende, som løber igennem Københavns Vandforsyning's kildeplads ved Kildedal.

Ved grave- og boreundersøgelser på marken vest for Lyfa-fabrikken er der konstateret et større deponi for affaldsprodukter fra den produktion af kemikalier (pesticider m.v.), som fandt sted, da ejendommen ejedes af A/S Cheminova. Rester af pesticider og forskellige nedbrydningsprodukter er således fundet i den umættede zone under deponiet samt i det sekundære grundvandsreservoir derunder. Stofkoncentrationerne i grundvandet antyder, at deponiet omkring undersøgelsesboring 2 ikke kan være eneste kilde til forureningen af grundvandsreservoiret. Der er ikke konstateret forurening af det primære grundvandsreservoir, men de hydrogeologiske undersøgelser viser, at en del af det forurenede grundvand fra det sekundære reservoir med tiden vil strømme til det primære grundvandsreservoir og således forårsage en forurening af dette.

Ved udgravningen til fundament for ny fabrikshal på Lyfa-fabrikken er der fundet betydelige kemikalierester i den umættede zone under fabrikshallens gulv. *Under forudsætning af at disse kemikalierester bibeholdes immobile i den umættede zone,* det vil sige under forudsætning af at der ikke forekommer vandgennemstrømning under fabrikshallen, vil de ikke udgøre nogen forureningsrisiko for grundvandet.

Det må på det foreliggende grundlag konkluderes, at der er risiko for forurening af

1. vandindvindingsanlæg i det primære grundvandsreservoir,
 2. vandindvindingsanlæg i de sekundære grundvandsreservoirer
- og
3. Sørup rende.

ad 1

Det anbefales, at der i de 3 nærmeste boringer på Kildedal kildepladsen, som for øjeblikket er lukkede, men som bør genåbnes, udtages vandprøver 2 gange årligt til analyse for de vigtigste pesticider, fenoler m.v., der er fundet i jord- og grundvandsprøver fra deponiet og det sekundære grundvandsreservoir. Den forventede forurening vil indtræffe gradvis og formentlig blive af samme størrelsesorden eller en størrelsesorden større end de fastsatte TMK-værdier i EF's direktiv om kvaliteten af drikkevand.

Ved overskridelse af TMK-værdierne i drikkevandsdirektivet bør der fortsat pumpes på de østligste boringer på Kildedal og det oppumpede grundvand afledes til Sørup rende. En fortsat pumpning på de 3 østligste boringer vil forhindre forureningen i at brede sig til den øvrige del af kildepladsen, som derfor vil kunne fortsætte i normal drift.

ad 2

Der er konstateret forurening af det sekundære grundvandsreservoir vest for Lyfa fabrikken, og denne forurening kan være udbredt til andre sekundære reservoirer i tilknytning til dette. Der er en vis risiko for, at forurenede grundvand vil nå frem til eksisterende boringer i de sekundære grundvandsreservoirer. De to vandforsyningsboringer, der ifølge undersøgelserne må formodes at være udsat for størst forureningsrisiko, er V 59 og V 71, jævnfør bilag 1.

Det anbefales, at der 2 gange årligt og samtidig med den øvrige prøvetagning udtages vandprøver fra de to nævnte vandforsyningsboringer og foretages analyser som nævnt under 1. Såfremt der

konstateres forurening med de nævnte stoffer bør anlæggene straks lukkes og offentlig (fælles) vandforsyning etableres på ejendommene. Der bør kun efter nøjere overvejelser udføres yderligere vandforsyningsboringer i de sekundære grundvandsreservoarer i området.

For at forbedre grundlaget for risikovurderingen anbefales det, at der 2 gange årligt foretages prøveudtagning og analyse af vand fra undersøgelsesboring 2 og 3. Koncentrationsniveauerne i disse prøver vil give information om forureningens udvikling, ligesom de vil give mulighed for at vurdere, om de nedgravede kemikalier under og umiddelbart omkring Lyfa fabrikken bibeholdes immobile som følge af en effektiv befæstning af området eller gradvis udvaskes som følge af vandgennemstrømning (ekstraordinær høj grundvandsstand, utætte vand- eller kloakledninger eller andet). En eventuel udvaskning under eller umiddelbart omkring fabrikken vil bevirke en (konstant) tilførsel af forurening til det sekundære grundvandsreservoir og dermed en forlængelse af forureningsproblemet.

ad 3

Sørup rende, der er recipient for grundvandsafstrømningen i området, bør kontrolleres jævnligt for indhold af de i jord- og grundvandsprøver konstaterede stoffer. Kontrol og prøveudtagning bør indgå i en løbende kontrolrutine af vandløbene i området. Prøveudtagning og analyse som beskrevet under 1. bør dog foretages mindst 1 gang årligt.

Med den viden, der i dag er til rådighed om forureningens udbredelse i de sekundære grundvandsreservoarer og andre dele af de kvartære aflejringer, *skønnes det ikke hensigtsmæssigt at foretage direkte indgreb mod forureningskilden* i form af opgravning af tønder og forurenede jord m.v. Skulle kontrolanalyserne og det øvrige kontrolprogram, der er anbefalet i det foregående, vise, at forureningen øges, kan et indgreb mod forureningskilden (-kilderne) eventuelt komme på tale.

REFERENCER

Geoteknisk Institut, ATV, (1978),

"Ballerup. Lyfa. Forureningsundersøgelse. Geoteknisk rapport med bilag 1 - 16". DGI.

Sorgenfrei, T. (1971),

"En sammenfattende oversigt over de hydrogeologiske forhold i SV-Skåne og Sjælland". I "Grundvattenförekomst i Sydvästra Skåne". Symposium vid Lunds Tekniska Högskola 7 - 8 juni 1971. Lund.

Det danske Hedeselskab (1978),

"Afstrømningsmålinger i Danmark 1917 - 70". 10. beretning. Hydro-metriske Undersøgelser, Slagelse.

Dansk Hydraulisk Institut og Vandkvalitetsinstituttet, ATV, (1974),

"Roskilde fjord's og Isefjord's hydrauliske forhold og belastning med organisk stof, fosfor og kvælstof", DHI og VKI.

Vandkvalitetsinstituttet, ATV, (1975),

"Varebro å undersøgelsen 1973-74". VKI.

Det danske Hedeselskab (1979),

"Hovedstadsrådet. Synkronmålinger 1978". Hydrometriske Undersøgelser, Slagelse.

Vandkvalitetsinstituttet, ATV, (1979),

"Mølleåsystemet. Undersøgelser 1977 - 1978". VKI.

Københavns Vandforsyning (1978),

Redegørelse af 12. september 1978 til Ballerup kommune vedrørende vandindvindingsforholdene omkring fabrikken Lyfa i Måløv.

Civilforsvarets analytisk-kemiske Laboratorium og Kemikaliekontrollen (1978),

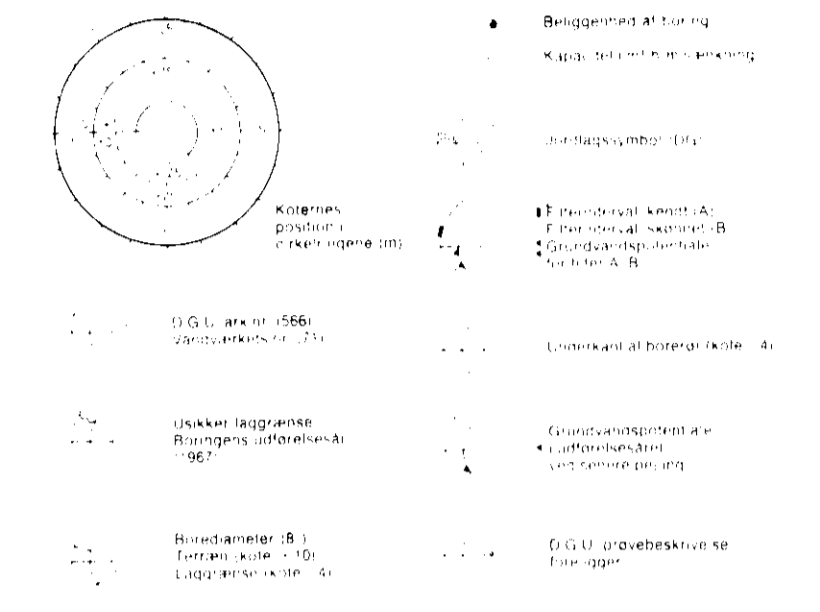
"Rapport over analytisk-kemiske undersøgelser af prøver fra A/S Cheminova's tidligere grund i Ballerup". Upubliceret delrapport.

De Europæiske Fællesskaber, Rådet (1979),
"Rådets direktiv af om kvaliteten af drikkevand".
Dok. 5830/79 (ENV 50). (Direktivet er vedtaget på ministerråds-
møde, men endnu ikke færdigbehandlet på sekretariatsplan.)

KORT OVER GEOLOGI OG GRUNDVANDSPOTENTIALE I SØRUP-OMRÅDET

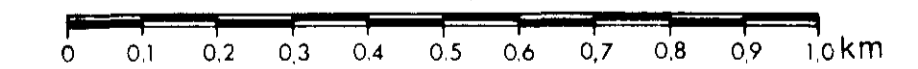
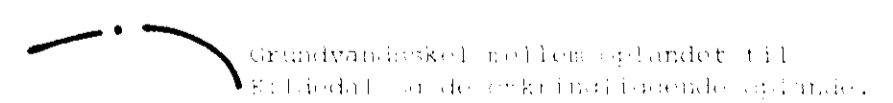
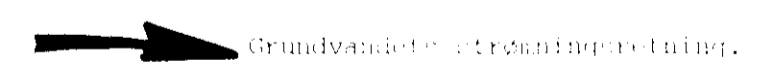
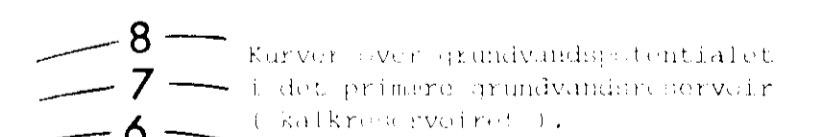
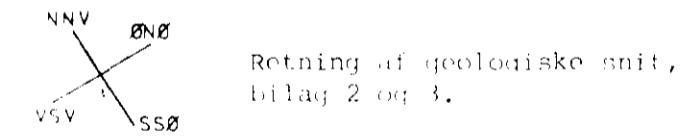
SIGNATURFORKLARING

CIRKELDIAGRAMMER



JORDLAGSSYMBOLER

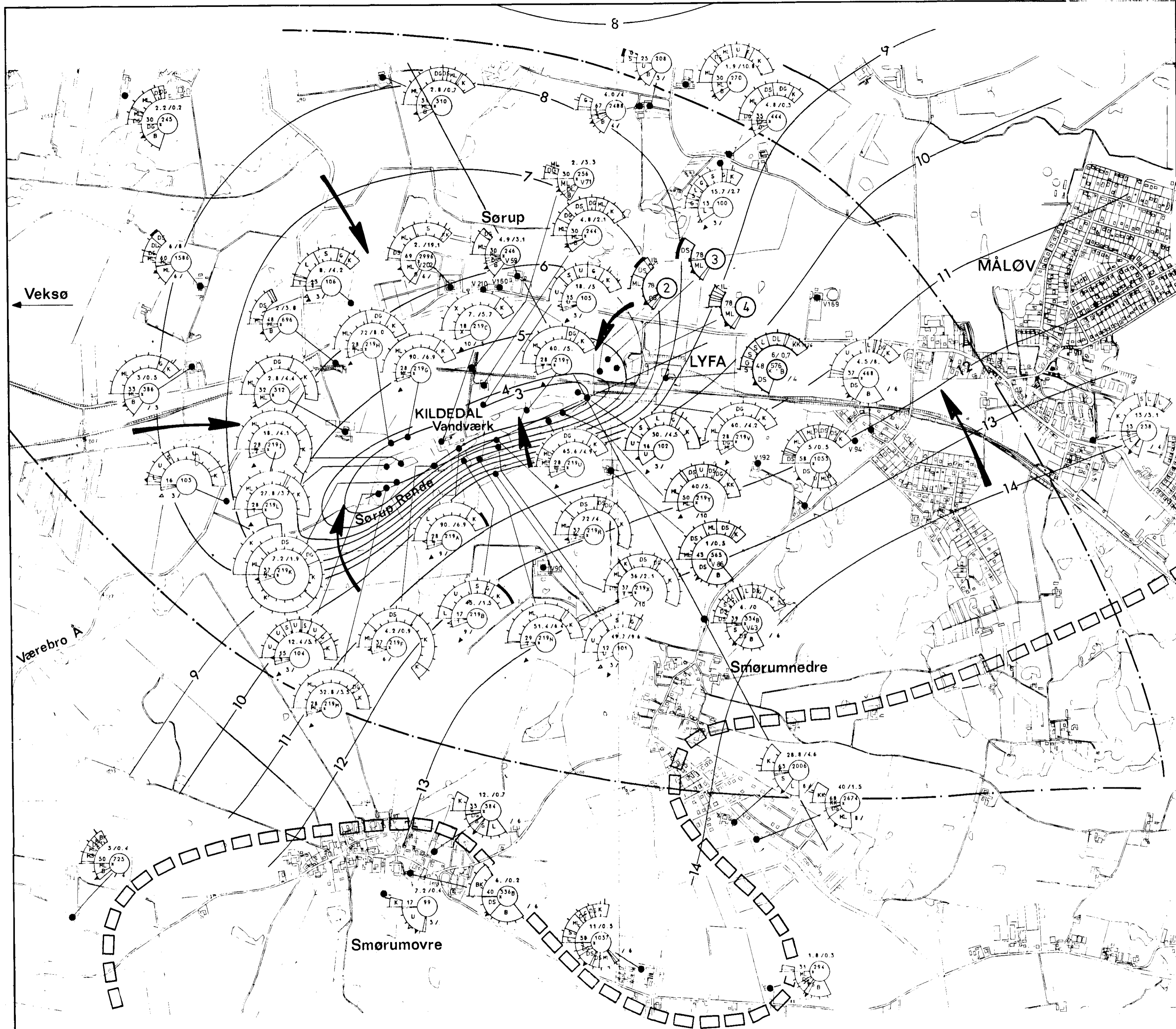
- B Brønd
- BK Danien bryozokalk, koralkalk
- DK Smeltvandssorus
- DL Smeltvandssiler
- DS Smeltvandsand
- G Grus, sand og grus
- IL Interglacial ferskvandsler
- K Kalk, kridt, kalksten
- KK Danien kalksandkalk
- L Ler, mergel
- ML Mørneler (forst. till)
- MS Mørnesand (sandet till)
- S Sand
- T Tørv
- U Ler, sand og grus
- X Ukendt lag, oplysninger mangler

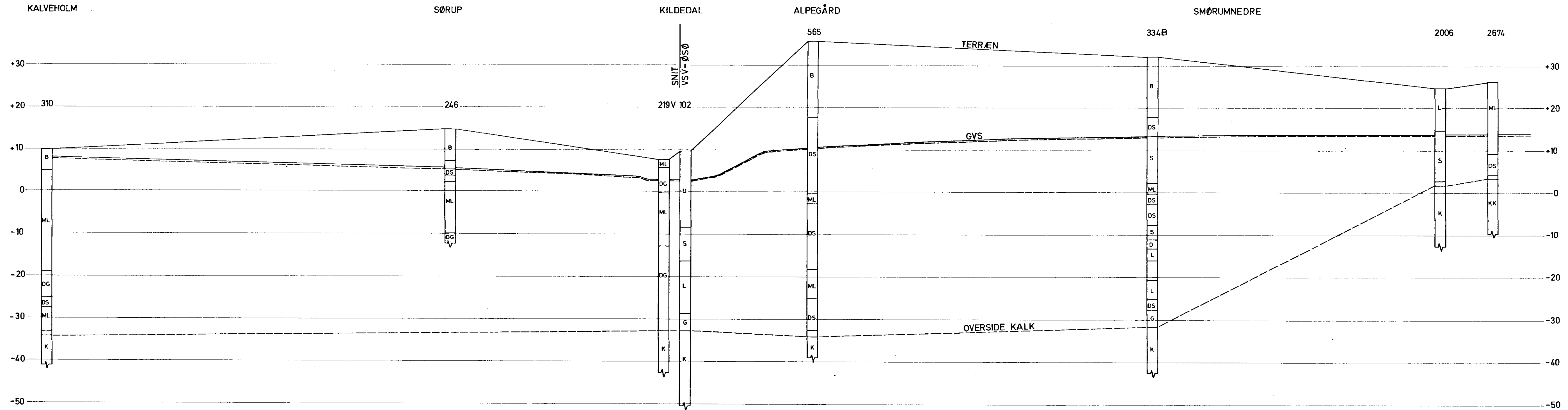


VANDKVALITETSINSTITUTTET

1979

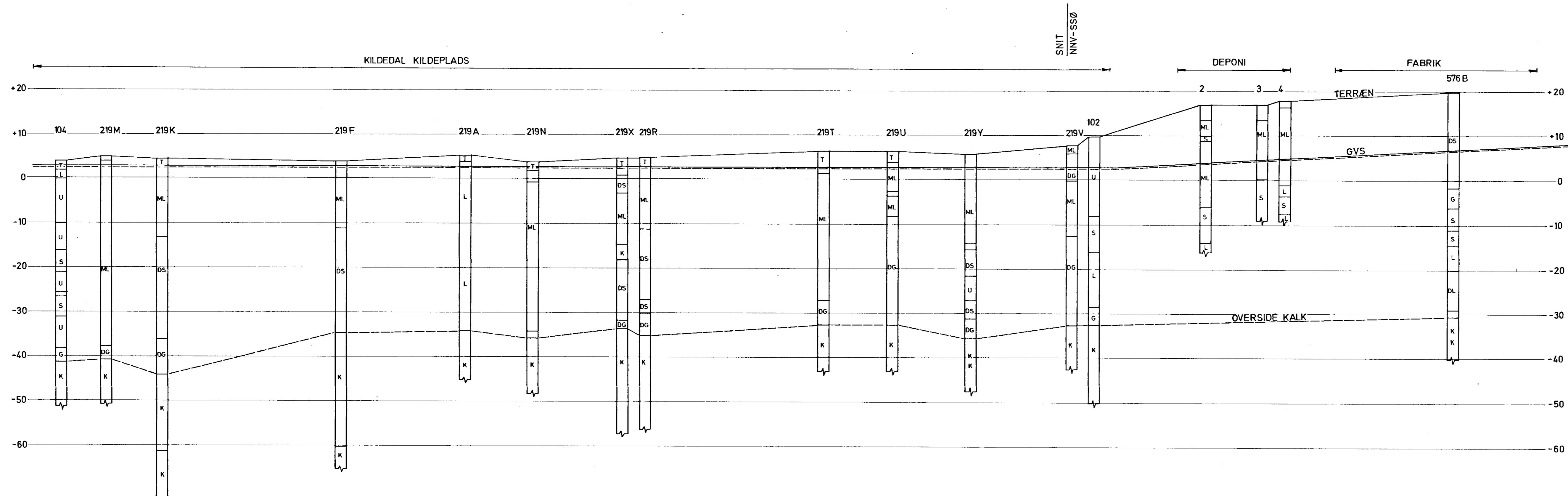
Topografisk grundmateriale er Geodætisk Instituts kortmanuskript. Reproduceret med tilladelse (A.464/76) af Geodætisk Institut.





SIGNATURFORKLARING - SE BILAG 1

| | | | |
|--|-------------|--------|---------|
| GEOTEKNISK INSTITUT | | | |
| GEOLOGISK SNIT GENNEM SØRUP OG SMØRUMNEDRE (NNV-SSØ) MÅL: L: 1:5000 / H: 1:500 | | | |
| Sag: K 77499 BALLERUP | | | |
| d. 12.07 1979 | Udf. | Kontr. | Godk. ✓ |
| Rev. | Bilag no. 3 | | |



SIGNATURFORKLARING - SE BILAG 1

GEOTEKNISK INSTITUT

GEOLOGISK SNIT GENNEM KILDEDAL KILDEPLADS, DEPONI OG FABRIK (VSV-ØNØ) MÅL: L:1:2000 / H:1:500

Sag: K 77499 BALLERUP

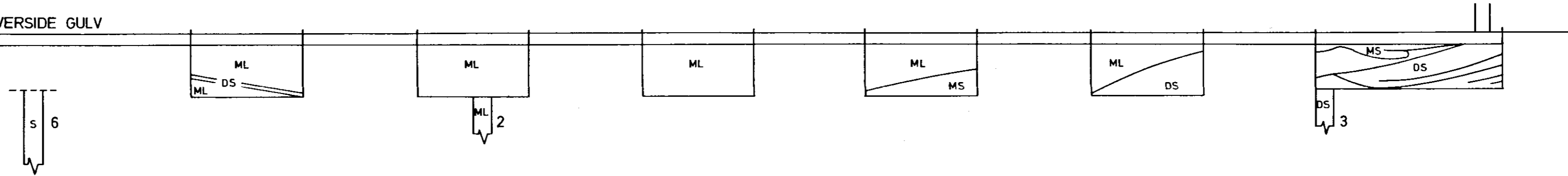
d. 12.07 1979 Udf. Kontr. Godk. *[Signature]*

Rev. Bilag no 2

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

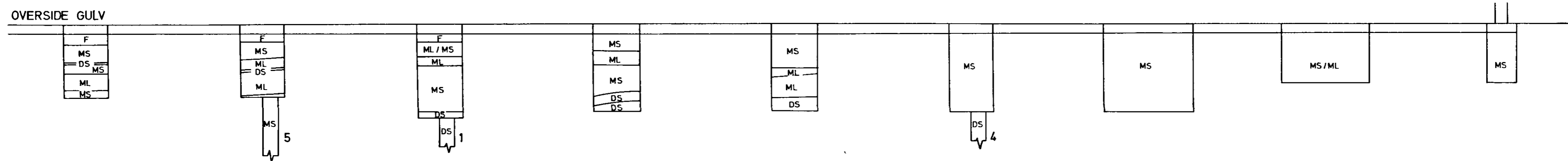
SNIT LINIE (A) (NORD)

OVERSIDE GULV



SNIT LINIE (C) (SYD)

OVERSIDE GULV



SIGNATURFORKLARING - SE BILAG 1

| | | | |
|----------------------------|------------|--------|-----------------|
| GEOTEKNISK INSTITUT | | | |
| SNIT I HAL (BYGNING 5) | | | |
| MÅL 1:100 | | | |
| Sag: K 77499 BALLERUP | | | |
| d. 12.07 1979 | Udf. | Kontr. | Godk. <i>KH</i> |
| Rev. | Bilag no 4 | | |