

1985/218
DGF

F-08-5



SÅRBARHEDS- PROJEKTET Verifikation af præliminære sårbarhedskort

Slutrapport for delprojekt 1
i sårbarhedsprojektets 2. etape



DGU
Danmarks Geologiske Undersøgelse
1984

3
GU

SÅRBARHEDSPROJEKTET

Verifikation af præliminære sårbarhedskort



Slutrapport for delprojekt 1
i sårbarheds projektets 2. etape

Af Carsten Sønderskov og
Peter Heebo Hansen

Marts 1984

DGU-~~rapport~~serie D nr. 1 · 1984

ISBN 87 886 40 00 0

CC 13 EUROPA/DANMARK DGU

DGU
Danmarks Geologiske Undersøgelse

GEOLOGISK BIBLIOTEK
Geocentre København
Øster Voldgade 10
1350 København K.



FORORD

Sårbarhedsprojektet ved DGU påbegyndtes i foråret 1980. I Sårbarhedsprojektet søges der opnået erfaringer inden for operationel grundvandsbeskyttelsesplanlægning.

Det overordnede mål med Sårbarhedsprojektet er gennem undersøgelser af de naturbetingede og menneskeskabte faktorer, som har indflydelse på ændringer i grundvandets kvalitet, at udvælge, hvilke af disse faktorer, der har den dominerende betydning i vurderingen af grundvandets sårbarhed under forskellige hydrogeologiske og forureningsmæssige forhold samt at formidle denne viden til samfundet omkring DGU på en anvendelsesorienteret måde.

Sårbarhedsprojektet er opdelt i etaper. I etape 1, der forløb i 1980-1981, blev der udarbejdet præliminære sårbarhedskort for testområdet Djursland. Etape 1 er afrapporteret. Etape 2, som indledtes i 1982, er inddelt i følgende hovedområder:

1. Verifikation af de præliminære sårbarhedskort for testområdet.
2. Hydrogeologiske og kemiske processer i den umættede zone.
3. Detaljeret geologisk kortlægning og kortlægning af forureningsindikerende mikroorganismer i testområdet.

Hovedområderne udføres enten som selvstændige delprojekter eller de er opdelt i flere delprojekter.

På baggrund af de opnåede erfaringer udbygges Sårbarhedsprojektet i fornødent omfang løbende med nye delprojekter.

Projektet udføres i et samarbejde mellem følgende institutioner og myndigheder:

- Danmarks Geologiske Undersøgelse
- Statens Planteavlslaboratorium
- Hygiejnisk Institut, Århus Universitet
- Århus amtskommune.

Den overordnede ledelse af projektet varetages af en styringsgruppe i samarbejde med projektlederne for delprojekterne. Styringsgruppen består af repræsentanter fra landbrugsministeriet, miljøstyrelsen samt direktøren for Danmarks Geologiske Undersøgelse. En af DGU udpeget projektkoordinator varetager det praktiske arbejde i forbindelse med den tværgående samordning af delprojekterne.

Til vejledning og støtte til gennemførelse af Sårbarhedsprojektet er der tilknyttet en følgegruppe med repræsentanter fra Hygiejnisk Institut - Århus Universitet, landbrugsministeriet, miljøstyrelsen, Århus amtskommune samt en række faglige afdelinger ved Danmarks Geologiske Undersøgelse.

Projektet er finansieret i fællesskab af Kommissionen for de Europæiske Fællesskaber, miljøstyrelsen, miljøministeriets departement og de deltagende institutioner.

Nærværende rapport er led i den række slutrapporter, der udarbejdes ved afslutningen af delprojekterne i etape 2.

Ved afslutningen af etape 2 udarbejdes en fælles slutrapport for Sårbarhedsprojektet.

INDHOLDSFORTEGNELSE

	SIDE
FORORD	1
INDHOLDSFORTEGNELSE	3
ABSTRACT	5
1. INTRODUKTION	6
2. FORMÅL	9
3. BESKRIVELSE AF FREMGANGSMETODE I PROJEKTET	10
3.1 Forberedelse.	10
3.2 Prøveindsamling.	11
3.3 Analysearbejde.	13
3.4 Bearbejdning.	15
4. BESKRIVELSE OG DISKUSSION AF PROJEKTETS RESULTATER	16
4.1 Data.	16
4.1.1 Kemiske data.	20
4.1.2 Isotopdata.	21
4.1.2.1 Iltisotopdata.	21
4.1.2.2 Tritiumdata.	23
4.2 De kemiske analysers udsagn om sårbarheden.	24
4.3 Etablering af "kemiindeks".	32
4.4 Statistisk bearbejdning af datamaterialet.	39
4.4.1 Anvendte statistiske metoder.	39
4.4.2 Resultater af principal komponent analyse.	41
4.4.3 Resultater af lineær regression: Delindeks som funktion af sårbarhedsindeks.	47
4.4.4 Resultater af regression: Kemiske analyser som funktion af sårbarhedsindeks og dele heraf.	48

	SIDE	
4.4.5	Resultater af regression: Kemiske analyser og sammenstillede kemiindeks som funktion af sårbarhedsindekset, RT og dybde af filtermidte.	56
4.4.6	Konklusion på den statistiske behandling.	57
4.5	Øvrige kommentarer til sårbarhedskortlægningen.	57
5.	KONKLUSION	59
5.1	Angivelse af behov for videre undersøgelser.	60
6.	REFERENCER	61

BILAG: Figur 7. Grundvandskemisk oversigtskort af foretagne analyser.

ABSTRACT

Under første etape af Sårbarhedsprojektet blev udarbejdet de såkaldte præliminære sårbarhedskort, der forsøger at kortlægge sandsynligheden for at forurenende stoffer, der anvendes, deponeres eller udledes på eller i jordoverfladen, kan påvirke grundvandets kvalitet. Disse præliminære sårbarhedskort er blevet verificeret gennem sammenligning mellem sårbarheden indeholdt i sårbarhedskortene og sårbarheden indeholdt i kemiske analyseresultater af vand fra grundvandsreservoirer i det kortlagte område.

Der er foretaget analyser af 75 stikprøver i testområdet på Djursland. Prøverne er blevet analyseret for tritium og iltisotopforhold $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ samt de almindeligste vandkemiske parametre.

Sårbarhedsindekset er sammenholdt med analyseresultaterne og forskellige kombinationer af analyseresultaterne for at undersøge korrelationsmuligheder.

Der er foretaget en statistisk bearbejdelse af datamaterialet for at underbygge de sammenhænge, som er fundet.

1. INTRODUKTION

Sårbarhedsprojektets første etape blev gennemført i tiden 1. februar 1980 til 30. juni 1981 (se fig. 1). EF støttede projektet økonomisk (720.000 d.kr).

ETAPE OPDELING AF SÅRBARHEDS PROJEKTET

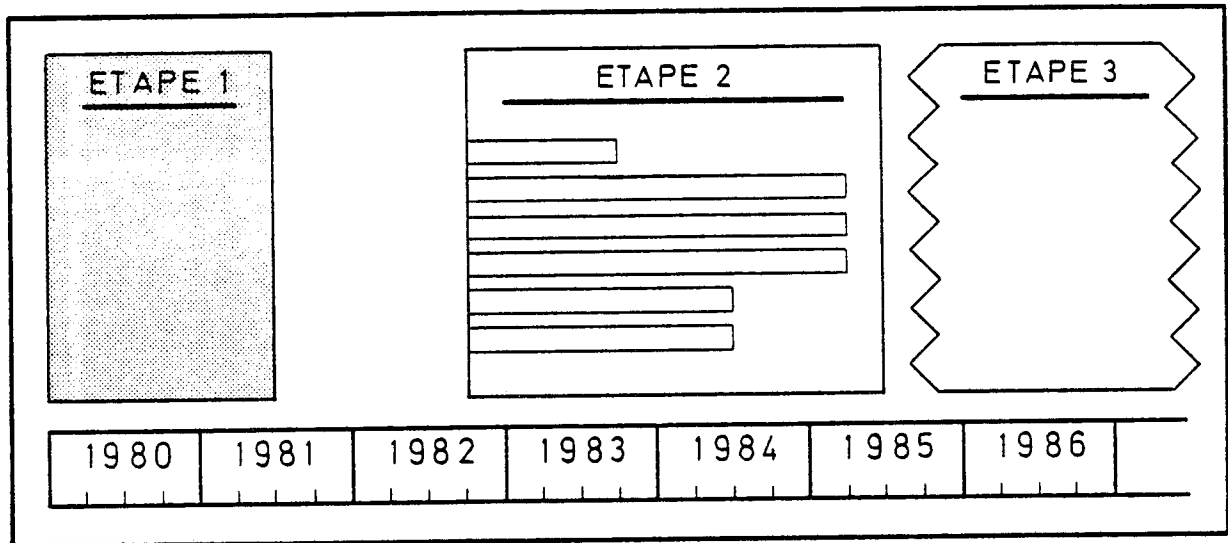


Fig. 1. Sårbarhedsprojektets etapeopdeling. Første etapes placering i projektforsløbet.

Djursland blev valgt som forsøgsområde (fig. 2) for Sårbarhedsprojektet af følgende grunde: Dels eksisterer der varierende geologiske og dermed også hydrologiske forhold, dels er der nogle steder på Djursland allerede antydning af en forureningssituation, idet der er konstateret nitrat i grundvandet. Endvidere ønskede Århus amtskommune en sårbarhedsvurdering gennemført i områder, hvor nedsivningsanlæg til bortskaffelse af spildevand overvejes.

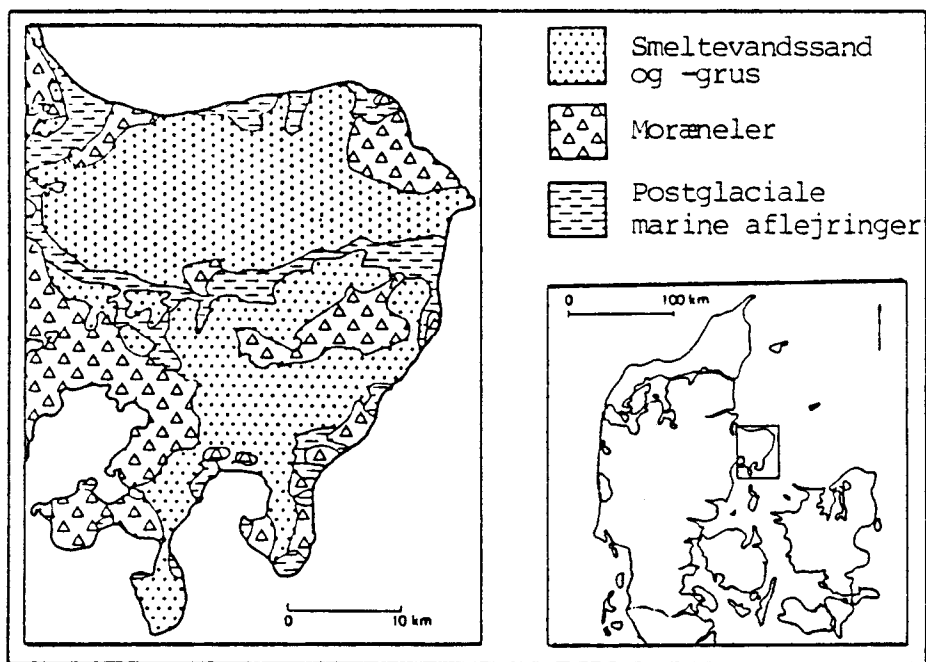


Fig. 2. Placering og kvartær geologi i testområdet, Djursland (simplificeret efter Bornebusch og Milther (1935) og Milthers (1948)).

Djursland rummer således indenfor et overskueligt areal en rimelig variation i nogle af de vigtigste forhold, der har betydning for sårbarhedsvurderingen, og der var følgelig grund til at tro, at erfaringer indhøstet fra dette område ville være anvendelige i andre dele af Danmark.

Som resultat af Sårbarhedsprojektets første etape er der udarbejdet en lang række forskellige tematiske kort samt et sæt præliminære sårbarhedskort (Villumsen et al., 1981 og Villumsen et al., 1983)

Grundvandets sårbarhed, defineret ved sandsynligheden for, at forurenende stoffer, der anvendes, deponeres eller udledes på eller i jordoverfladen, kan påvirke grundvandets kvalitet, er en funktion af mange faktorer.

Til brug ved Sårbarhedsprojektet er en række af disse faktorer anvendt til udtegnning af temakort og ved vurdering af sårbarheden. Til fremstilling af selve de præliminære sårbarhedskort

er der foruden den geografiske placering og områdets topografi kun anvendt faktorer, som kan sammenfattes i fire parametre nemlig ART, I, RA og SA (henholdsvis reservoirets type og trykforhold, lagfølgens permeabilitetsændring, bjergarternes reduktionskapacitet og bjergarternes adsorptionskapacitet koblet med perkolationsstid). I Villumsen et al. (1983) er der nærmere gjort rede for indholdet af disse parametre, samt givet et konkret eksempel på udregning af sårbarhedsindekset for en given boring for et givet grundvandsreservoir.

2. FORMÅL

Fremstillingen af de præliminære sårbarhedskort bygger således dels på konkret viden om de geologiske, hydrogeologiske og hydrokemiske forhold i området og dels på forudsætninger og antagelser om forhold som stadig ikke kendes til bunds. Der hersker derfor endnu tvivl om kortenes anvendelighed og denne kortlægningsmetodes berettigelse. Således er der opstået en erkendelse af behovet for en verifikation af kortene.

Denne erkendelse er mundet ud i en projektbeskrivelse af "Verifikationsprojektet" under etape 2 af Sårbarhedsprojektet (se fig. 3).

ETAPE OPDELING AF SÅRBARHEDS PROJEKTET

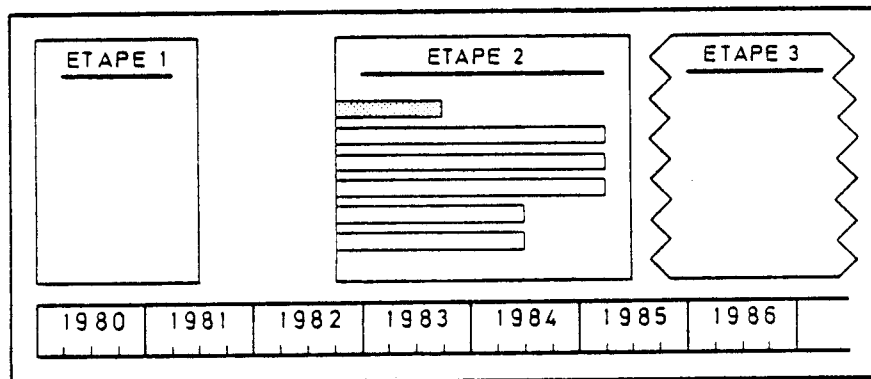


Fig. 3. Sårbarhedsprojektets etapeopdeling. Verifikationsprojektets (delprojekt 1) placering i projektforløbet.

Det har været projektets mål, at verificere de udsagn, som indeholdes i de præliminære sårbarhedskort.

Verifikationen er foretaget ved at inddrage nye eller hidtil ubenyttede data i en vurdering af de udsagn som de præliminære sårbarhedskort indeholder.

3. BESKRIVELSE AF FREMGANGSMÅDE I PROJEKTET

Verifikationen af de præliminære sårbarhedskort er foretaget ved at sammenholde sårbarhedsindikationer, som måtte ligge i kemiske analyseresultater af vandprøver fra området med sårbarhedsudsagnene fra de præliminære sårbarhedskort.

Det planlagte forløb af projektet er skitseret nedenfor (fig. 4):

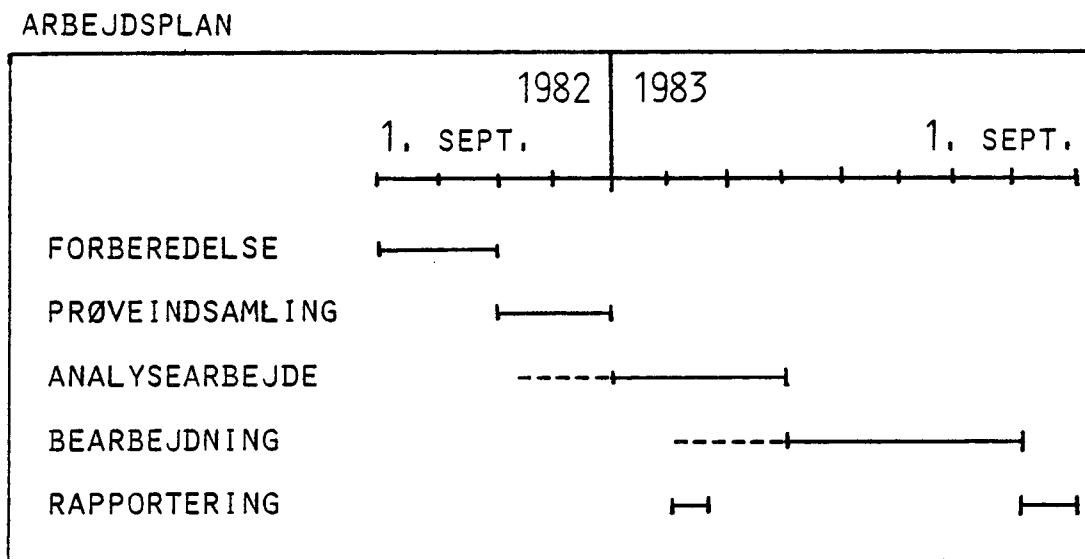


Fig. 4. Verifikationsprojektets planlagte forløb.

3.1 Forberedelse.

Ved projektets påbegyndelse etableredes rammen for projektet samt den nærmere planlægning for projektets udførelse.

Udvælgelse af boringer til indsamling af vandprøver blev foretaget efter følgende retningslinier:

Verifikationen blev tilrettelagt som en stikprøvetest (med indsamling af 75 prøver), men lokaliseringen af disse stikprøver blev tilstræbt placeret således, at resultaterne kan anvendes inden for repræsentative arealer af forskellige sårbarhedskategorier.

Dette sigtes opnået ved passende hensyntagen til:

1. geografisk placering
2. reservoirtype
3. sårbarhedskategori
4. prøvetagningsintervaller (så punktformige som muligt)
5. reservoirrets strømningsforhold (så tæt på vandskel som muligt).

Hermed fremkom en liste med 75 udvalgte prøvetagningslokaliteter i testområdet på Djursland.

3.2 Prøveindsamling.

Prøveindsamlingen foregik ved hjælp af DGU's mobile feltlaboratorium (se fig. 5) i de to sidste måneder af året 1982.



Fig 5. DGU's mobile feltlaboratorium ved en prøvetagningslokalitet på Djursland.

Ved hver udvalgt boring blev det overvejet om de aktuelle forhold, installationerne omkring boringen samt placering af eventuelle forureningskilder i forhold til boring, gav anledning til revurdering af lokalitetens egnethed. Hvis dette ikke var tilfældet kunne boringen benyttes med ejerens tilladelse. Prøverne blev altid aftappet så tæt ved kilden som muligt, altid før nogen form for vandbehandling og om muligt før eventuelle hydroforer.

Til aftapning anvendtes eksisterende haner (råvandshaner). I tilfælde, hvor råvandshaner ikke eksisterede anvendtes ofte en metode, hvor pumpens spædestuds blev fjernet og forsynet med fittings og en slange med hane, hvorfra en kontrolleret aftapning kunne foretages.

Oprindeligt var det tanken at udtage nogle prøver med et specielt udstyr for at udtage veldefinerede prøver i reservoiret. Desværre viste dette sig ikke muligt på grund af for lidt plads i boringerne. Derfor blev det nødvendigt at favorisere boringer med et lille filterinterval til prøveudtagning.

For at sikre vandprøvernes repræsentativitet for reservoiret blev boringen pumpet med eksisterende pumpe i tilpas lang tid før selve prøvetagningen.

Prøveindsamlingen blev foretaget i 7 forskellige beholdere (1 liter glasflaske, 1/2 liter glasflaske, 1 liter plastikflaske, 10 ml glasflaske og 3 stk. 100 ml plastikflasker) til de forskellige kemiske analyser (se fig. 6)

Endelig blev der i felten foretaget en kort beskrivelse af de tekniske installationer, pejling af vandstanden, måling af vandtemperaturen, registrering af eventuelle omkringliggende forureningskilder, registrering af eventuelle ikke infiltrationsbetingede tilførselsveje til reservoiret og fotografering af lokaliteten.

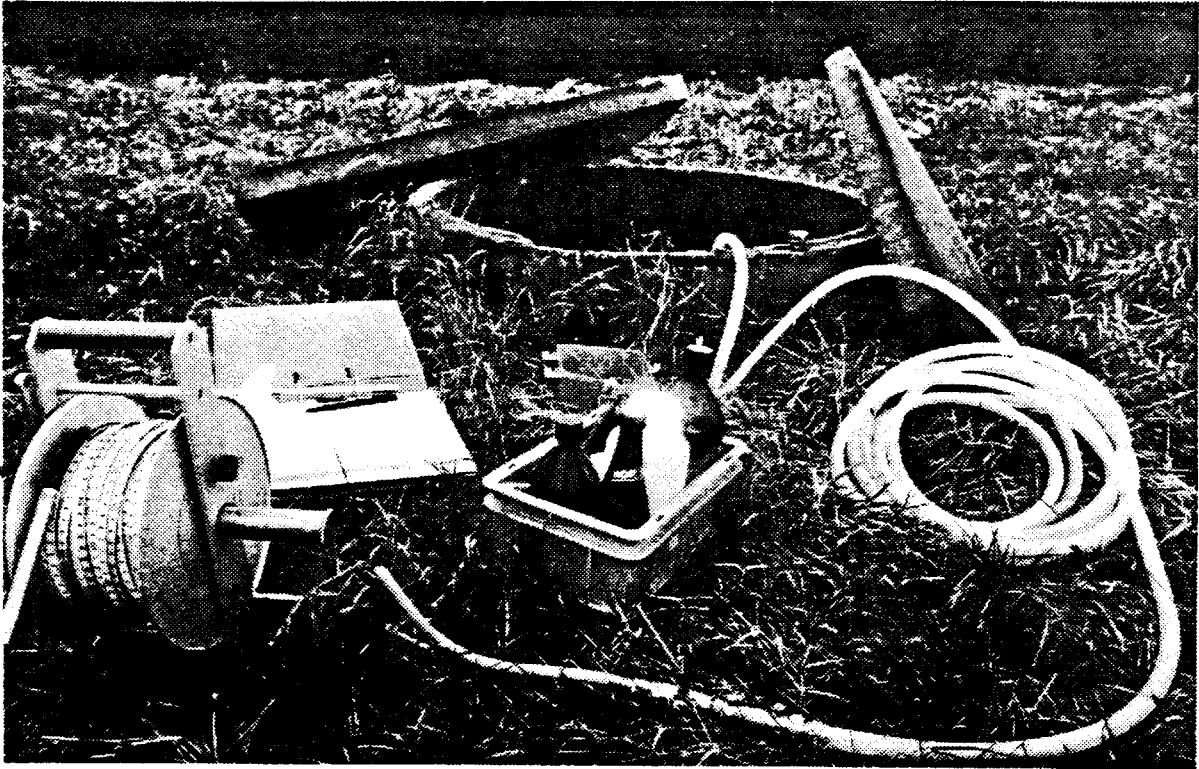


Fig. 6. Eksempel på en lokalitet, og det nødvendige udstyr til prøvetagning.

3.3 Analysearbejde.

Analysearbejde blev allerede påbegyndt i felten på selve lokaliteten. I det mobile feltlaboratorium blev foretaget en trykfiltrering, pH-måling, alkalinitetstitrering og en analyse af Fe^{2+} -indholdet (spektrofotometrisk, bipyridin).

I laboratorium blev senere analyseret for følgende parametre: SO_4 , Cl, NO_3 , Ca, Mg, Fe, Mn, NH_4 , Na, K, SiO_2 , PO_4 , F, CO_2 , CH_4 , H_2S (metoder se tabel 1).

Desuden analyseredes for miljøisotoperne tritium (^3H) (analyseret ved væskescintillationstalling efter elektrolytisk berigelse) og iltisotopforholdet $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ($\delta^{18}\text{O}$).

Parameter	Metode	Prøvepræparation/bevaring
Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺ Fe ⁺⁺⁺ Mn ⁺⁺	Atomic absorption spectroscopy (AAS), flame.	0.45 µm filtered (field), acidified.
K ⁺ Na ⁺	Flame Emission	0.45 µm filtered (field), acidified.
NH ₄ ⁺ NO ₃ ⁻ Cl ⁻ SO ₄ ⁻⁻	Spectroscopy, automatized.	0.45 µm filtered (field).
SiO ₂ PO ₄ ⁻⁻⁻	Spectroscopy.	8 µm filtered (lab).
H ₂ S	Spectroscopy.	Zn-acetate added (field).
CO ₂ aggr.	Titration.	CaCO ₃ added (field).
F ⁻	Ion-selective electrode.	8 µm filtered (lab).
CH ₄	Gas Chromatography.	Unfiltered, sealed vial.
Field analyses :		
pH	Combination electrode.	Unfiltered.
Alkalinity	Titration.	0.45 µm filtered.
Fe ⁺⁺	Spectroscopy.	0.45 µm filtered.

Tabel 1. Analysemetoder.

3.4 Bearbejdning.

De enkelte led i sårbarhedsudtrykket samt selve sårbarhedsudtrykket er blevet beregnet for de reservoirer, som de udvalgte 75 boringer til stikprøvetesten udnytter.

Disse data er foruden samtlige kemiske analysedata overført til Danmarks Geologiske Undersøgelses EDB-anlæg (VAX-11,782), hvorfra forskellige hensigtsmæssige output-faciliteter kan benyttes.

Bearbejdning af disse data er beskrevet i det følgende afsnit.

4. BESKRIVELSE OG DISKUSSION AF PROJEKTETS RESULTATER

4.1 Data.

Den samlede datamængde er præsenteret i tabel 2. Her er alle kemiske analyseresultater, sårbarhedsdata, de enkelte led i sårbarhedsudtrykket, reservoirparametre og boringsparametre anført ordnet efter DGU-boringsarkivnummer.

Forklaringer til Fig. 2 (se s. 17-19):

RESBJA = reservoirbjergart

VSP = vandspejl under terræn

FILTØ = top af filter

FILTM = midten af filter

SÅRBAR = sårbarhedsindeks

ART = parameter, der angiver trykniveau for reservoiret

I = parameter, der angiver interflow

RT = hydraulisk retentionstid

SA = relativ sorptionsevne

RA = relativ reduktionsevne

TRI1 = tritiumindhold i T.U.

TRI2 = usikkerhed ved målingen

O18O16 = iltisotopforholdet

TOPVFL = top af reservoir

FRA = filtertop

TIL = filterbund

Øvrige parametre er kemiske parametre.

ENR	BORENR	RESSJA	VSP	FILTØ	FILTM	TEMP	SARBAR	ART	I	RT	SA	RA	TRI1	TRI2	O18016	TOPVFL	FRA	TIL
1	71.379	K	15.13	30.00	31.50	9.0	3.29	2.50	3.30	37.88	3.62	3.73	7.	4.	-9.09	28.50	30	33
2	80.287	S	4.37	28.50	30.00	9.0	3.77	3.50	4.00	22.80	3.77	3.82	14.	5.	-8.96	4.37	29	32
3	30.87	DS	4.08	21.50	22.50	10.0	3.20	2.50	2.84	21.35	3.74	3.73	22.	6.	-9.47	13.50	22	24
4	80.266	S	< 1.03	14.50	16.00	9.0	3.23	2.50	3.30	24.43	3.64	3.68	37.	8.	-9.44	13.00	15	14
5	30.72	S	1.08	53.00	55.50	9.0	2.30	0.50	2.91	33.80	2.37	2.91	3.	2.	-9.18	47.00	47	53
6	80.70	DG	16.50	29.00	30.50	9.0	2.91	2.50	3.07	46.75	3.12	2.95	40.	8.	-9.41	24.00	29	32
7	80.269	KK	4.93	47.50	62.75	9.0	2.41	0.50	2.84	64.93	3.14	3.13	1.	2.	-9.19	42.00	49	38
8	80.274	S	7.00	14.50	16.00	9.0	3.77	3.50	3.77	11.20	3.89	3.91	83.	12.	-9.75	7.00	15	13
9	80.236	K	2.95	30.00	36.50	9.0	2.76	1.50	3.07	52.80	3.20	3.25	2.	2.	-9.08	21.00	30	43
10	30.265	S	2.00	8.00	9.50	9.0	3.85	3.50	4.00	6.40	3.94	3.95	15.	3.	-9.38	2.00	8	11
11	80.325	S	3.00	9.00	10.25	9.0	3.84	3.50	4.00	7.20	3.93	3.94	79.	12.	-9.61	3.00	9	12
12	81.80	S	13.10	35.50	37.75	8.0	3.75	3.50	4.00	28.40	3.72	3.77	41.	9.	-9.15	13.10	36	40
13	81.81	KK	16.12	58.00	63.00	8.0	1.68	0.50	2.37	119.77	1.90	1.95	4.	3.	-8.80	54.00	56	70
14	81.76	DS	27.07	57.00	58.50	9.0	3.05	2.50	2.60	64.21	3.40	3.71	0.	2.	-9.32	35.00	57	60
15	81.103	DS	2.49	15.00	17.00	9.0	3.12	2.50	2.37	14.64	3.82	3.81	126.	15.	-9.57	9.50	15	19
16	81.79	DS	11.00	28.50	31.50	8.0	3.50	3.50	3.07	25.90	3.71	3.71	42.	9.	-9.20	11.20	29	35
17	81.74	K	1.58	35.00	42.50	8.0	2.43	1.50	1.67	52.10	3.24	3.30	3.	2.	-9.62	33.00	35	50
18	81.95	G	13.22	29.00	30.50	9.0	3.27	2.50	3.07	27.10	3.73	3.76	32.	3.	-8.96	27.00	29	32
19	81.70	K	0.93	30.00	38.50	9.0	2.91	1.50	2.84	34.30	3.64	3.68	3.	2.	-9.34	26.00		
20	81.72	DG	7.25	26.50	28.50	9.0	2.78	1.50	4.00	55.00	2.92	2.70	40.	8.	-9.33	24.00	27	31
21	81.110	K	12.05	48.00	55.50	9.0	2.90	1.50	2.84	39.95	3.59	3.66	0.	2.	-9.36	43.00	48	63
22	81.112	KK	5.60	50.00	54.50	9.0	2.91	1.50	2.93	48.34	3.57	3.65	0.	2.	-9.05	34.00	50	59
23	70.213	DS	1.74	7.00	11.00	8.0	3.87	3.50	4.00	3.20	3.99	3.99	32.	8.	-9.51	1.74	7	15
24	70.246	S	2.50	25.00	28.00	9.0	2.81	1.50	2.60	31.60	3.56	3.60	0.	2.	-9.37	13.00	25	31
25	70.221	S	13.10	25.50	28.00	9.0	2.99	2.50	2.60	39.57	3.40	3.44	26.	6.	-9.20	23.00		
26	70.285	S	22.00	29.50	31.00	9.0	3.76	3.50	3.77	16.60	3.88	3.89	34.	3.	-9.39	22.00	30	33
27	70.131	DS	3.52	9.00	10.50	9.0	3.82	3.50	4.00	7.20	3.90	3.89	19.	2.	-8.97	4.00		
28	70.225	S	22.00	32.00	33.50	9.0	3.30	3.50	4.00	30.00	3.85	3.85	61.	3.	-9.45	22.00	32	35
29	80.250	DS	7.95	29.00	32.00	11.5	2.35	1.50	3.07	33.55	3.47	3.37	5.	2.	-9.16	25.00	29	35
30	70.8	K	22.32	24.20	25.60	8.0	3.76	3.50	3.84	28.08	3.86	3.86	76.	6.	-9.42	22.32	24	27
31	71.222	KK	6.60	21.00	22.50	10.0	3.30	2.50	3.30	27.05	3.72	3.66	6.	2.	-9.16	21.00	21	24
32	70.171	DS	1.86	9.50	11.00	8.0	3.85	3.50	4.00	7.60	3.95	3.97	28.	3.	-9.44	1.86	10	13
33	70.270	G	12.03	22.50	25.50	9.5	3.80	3.50	4.00	18.48	3.83	3.86	67.	6.	-9.40	12.03	23	29
34	71.336	KK	5.45	8.30	12.25	9.0	3.81	3.50	3.84	8.83	3.94	3.94	47.	4.	-9.38	6.20	8	16
35	71.358	S	20.00	23.30	25.80	8.5	3.82	3.50	4.00	22.40	3.90	3.90	58.	5.	-9.54	20.00		
36	71.285	DS	9.90	27.00	29.00	8.0	2.97	1.50	4.00	59.30	3.06	3.31	34.	3.	-8.99	26.50	27	31
37	71.305	S	30.00	32.50	34.50	9.0	3.81	3.50	4.00	32.10	3.88	3.86	64.	5.	-9.78	30.50	33	37
38	70.248	K	7.20	20.50	23.50	8.0	3.27	2.50	3.07	21.28	3.74	3.76	46.	4.	-9.50	18.00	21	27
39	70.179	DG	14.53	22.00	23.00	9.0	3.80	3.50	4.00	17.80	3.83	3.86	49.	4.	-9.47	18.50	22	24
40	70.231	G	9.18	12.90	15.40	8.0	3.71	3.50	3.77	15.01	3.79	3.80	56.	5.	-8.41	9.18	13	18
41	70.197	K	7.90	36.00	41.00	8.0	3.13	1.50	3.53	28.15	3.72	3.75	20.	2.	-9.02	34.00	36	46
42	70.226	G	4.67	18.00	19.50	8.0	3.79	3.50	3.77	9.20	3.94	3.95	86.	7.	-9.39	4.67	18	21
43	71.343	K	6.99	25.00	28.50	8.0	3.56	2.50	4.00	31.25	3.87	3.86	7.	2.	-9.32	21.50	25	32
44	71.339	K	6.25	39.30	43.15	9.0	2.31	0.50	2.37	56.28	3.17	3.21	0.	2.	-9.51	37.00	39	47
45	71.306	S	10.15	17.00	19.00	11.0	3.82	3.50	4.00	14.40	3.88	3.90	53.	5.	-9.69	10.15	17	21
46	71.298	DS	21.99	28.50	31.50	8.0	3.81	3.50	4.00	22.80	3.85	3.91	49.	4.	-9.45	21.99	29	35
47	71.27	S	27.50	28.30	30.50	9.0	3.82	3.50	4.00	28.30	3.91	3.89	55.	5.	-9.73	28.30	29	33
48	71.276	KK	13.27	35.00	38.50	8.0	2.81	1.50	3.37	53.63	3.25	3.11	3.	2.	-9.41	33.00		
49	71.356	KK	6.34	15.40	25.20	9.0	3.71	3.50	3.77	17.90	3.78	3.80	2.	2.	-9.19	6.34	15	35
50	71.7	K	10.60	20.70	22.60	8.0	3.08	2.50	2.37	23.04	3.71	3.74	27.	3.	-9.24	20.10	21	25
51	71.353	KK	5.35	16.30	20.65	9.0	3.73	3.50	3.53	11.41	3.95	3.94	0.	2.	-9.12	15.00	16	25
52	60.23	ZK	0.20	23.00	31.50	8.0	3.32	2.50	3.07	16.35	3.84	3.86	0.	2.	-9.09	21.00	23	40
53	61.25	S	3.25	62.50	67.50	8.0	2.15	0.50	1.91	71.15	3.06	3.14	0.	2.	-9.42	62.00	63	73
54	61.19	S	24.00	33.00	39.00	9.0	3.23	3.50	3.30	61.20	3.03	3.08	10.	2.	-9.49	26.00	33	45
55	61.15	DS	9.50	19.00	20.50	3.0	3.84	3.50	4.00	17.20	3.92	3.93	56.	5.	-9.03	10.00	19	22
56	71.284	LK	13.50	23.00	36.50	8.0	3.30	3.50	3.37	45.50	3.21	3.10	42.	4.	-9.19	18.00	23	50
57	71.93	K	3.67	10.00	12.50	9.0	3.83	3.50	4.00	11.50	3.91	3.92	61.	5.	-9.13	4.00		
58	71.347	KK	5.80	24.60	37.30	9.0	2.82	1.50	3.07	34.25	3.40	3.30	4.	2.	-8.92	22.00	25	50
59	71.321	S	9.34	18.00	20.00	8.0	3.81	3.50	4.00	14.40	3.86	3.88	61.	5.	-9.59	9.34	18	22
60	61.24	K	13.90	66.30	74.40	9.0	1.99	0.50	1.44	79.38	2.95	3.05	1.	2.	-8.96	58.80	66	83
61	60.21	DG	3.30	57.00	59.50	8.0	2.98	0.50	3.93	50.70	3.71	3.79	1.	2.	-9.05	56.50	57	62
62	60.30	S	11.00	21.70	24.70	8.0	3.13	2.50	3.30	41.29	3.34	3.37	8.	2.	-9.16	19.00	22	28
63	60.37	K	2.00	43.00	48.50	3.0	2.23	0.50	2.37	67.93	2.98	3.05	1.	2.	-9.23	41.00	43	54
64	70.172	DS	8.10	18.00	20.00	9.0	3.75	3.50	3.77	16.43	3.84	3.89	70.	6.	-9.28	8.10	18	22
65	70.216	KK	-0.45	33.00	38.00	8.0	3.31	1.50	4.00	30.40	3.86	3.88	0.	2.	-9.21	33.00	33	43
66	70.241	S	9.47	46.80	48.30	10.0	2.31	0.50	3.30	86.69	2.68	2.74	8.	2.	-8.71	46.00	47	50
67	70.163	K	3.30	46.40	48.50	9.0	2.54	0.50	3.30	61.24	3.15	3.22	2.	2.	-8.03	43.40	46	51
68	70.230	S	7.60	17.00	13.50	8.0	3.74	3.50	4.00	20.85	3.72	3.74	32.	3.	-9.33	7.60	17	20
69	70.142	S	33.00	38.00	39.50	9.0	3.70	3.50	4.00	33.88	3.63	3.69	33.	3.	-9.47	33.00	38	41
70	70.223	S	10.80	18.50	20.00	8.0	3.83	3.50	4.00	16.90	3.90	3.91	41.	4.	-9.49	10.80	19	22
71	61.17	DS	9.00	16.50	17.50	8.0	3.84	3.50	4.00	15.20	3.93	3.94	52.	5.	-9.43	10.00	17	19
72	71.141	DS	28.55	47.00	48.00	8.0	2.90	2.50	2.60	56.77	3.21	3.28	12.	2.	-9.84	37.00	47	49
73	71.300	KK	2.89	6.40	9.30	8.0	3.80	3.50	3.84	7.20	3.94	3.94	58.	5.	-9.16	3.20	6	12
74	81.83	KK	11.30	47.00	53.50	8.5	3.36	3.50	3.53	57.38	3.21	3.19	14.	2.	-9			

LØBENR	BORENR	ALK	HCO3	SO4	CL	NO3	CA	MG	FE	MN	NH4	NA	K	SiO2	PH
1	71.379	2.20	134.0	79.0	29.0	0.1	64.0	11.0	0.3	0.08	0.1	14.0	1.6	24.0	7.70
2	80.287	4.95	302.0	28.0	22.0	0.1	78.0	9.6	1.7	0.19	0.4	30.0	4.9	25.0	7.50
3	80.87	1.44	38.0	17.0	18.0	0.1	36.0	1.7	0.2	0.19	0.1	7.0	1.1	21.0	7.40
4	80.266	1.98	121.0	19.0	15.0	8.5	42.0	3.8	< 0.1	0.01	0.1	9.1	1.0	22.0	7.70
5	80.72	4.56	278.0	15.0	19.0	0.2	69.0	11.0	1.9	0.14	0.5	19.0	3.6	25.0	7.60
6	80.70	3.27	199.0	53.0	19.0	0.2	68.0	6.0	0.8	0.21	0.3	17.0	2.6	25.0	7.70
7	80.269	3.71	226.0	54.0	605.0	0.2	47.0	30.0	0.2	0.01	1.1	380.0	15.0	26.0	7.80
8	80.274	2.99	182.0	44.0	44.0	85.0	109.0	6.0	0.1	< 0.01	0.1	12.0	0.7	22.0	7.70
9	80.236	3.74	228.0	17.0	18.0	0.1	69.0	8.2	0.9	0.06	0.2	10.0	3.4	25.0	7.70
10	80.255	2.67	163.0	42.0	22.0	32.0	75.0	4.1	< 0.1	0.01	< 0.1	11.0	0.9	21.0	7.80
11	80.325	2.43	148.0	36.0	29.0	71.0	76.0	5.1	< 0.1	0.01	< 0.1	10.0	13.0	22.0	7.60
12	81.80	3.70	226.0	71.0	32.0	5.6	86.0	9.0	0.8	0.24	0.1	15.0	12.0	19.0	7.70
13	81.81	3.52	215.0	5.0	25.0	2.0	59.0	7.8	< 0.1	0.02	0.1	14.0	3.9	21.0	7.90
14	81.76	4.01	245.0	50.0	22.0	< 0.1	86.0	7.6	1.3	0.09	0.1	13.0	2.3	18.0	7.60
15	81.103	2.27	138.0	49.0	32.0	112.0	85.0	4.6	0.1	0.02	13.0	15.0	1.3	20.0	7.60
16	81.79	3.16	193.0	36.0	29.0	40.0	90.0	5.4	< 0.1	< 0.01	< 0.1	10.0	1.1	19.0	7.70
17	81.74	2.10	128.0	14.0	12.0	0.6	39.0	7.2	0.2	0.04	< 0.1	7.0	1.4	25.0	7.80
18	81.95	5.75	351.0	89.0	69.0	59.0	130.0	16.0	0.1	0.02	0.1	41.0	29.0	21.0	7.40
19	81.70	3.38	206.0	12.0	15.0	0.2	36.0	24.0	0.4	0.02	0.1	9.0	3.0	23.0	7.70
20	81.72	3.20	195.0	48.0	23.0	< 0.1	78.0	4.8	0.8	0.05	< 0.1	12.0	1.0	21.0	7.50
21	81.110	3.57	218.0	16.0	16.0	< 0.1	74.0	4.8	0.9	0.04	0.1	8.0	1.4	25.0	7.60
22	81.112	4.15	253.0	10.0	22.0	< 0.1	64.0	15.0	1.3	0.04	0.3	13.0	2.7	26.0	7.60
23	70.213	3.02	184.0	47.0	40.0	< 1.8	75.0	7.0	0.1	0.13	0.1	16.0	7.3	20.0	7.60
24	70.246	3.92	239.0	14.0	310.0	< 0.1	63.0	23.0	0.9	0.05	0.8	175.0	6.3	23.0	7.80
25	70.221	2.91	178.0	38.0	31.0	34.0	75.0	7.6	< 0.1	< 0.01	0.1	18.0	10.0	19.0	7.80
26	70.285	2.34	143.0	68.0	29.0	9.5	76.0	5.4	< 0.1	0.03	< 0.1	14.0	0.9	21.0	7.80
27	70.131	2.99	182.0	183.0	32.0	0.1	130.0	4.4	3.3	0.30	0.4	19.0	0.9	21.0	7.40
28	70.225	1.76	107.0	25.0	21.0	16.0	50.0	2.5	< 0.1	< 0.01	0.1	11.0	0.9	24.0	7.30
29	80.250	2.56	156.0	40.0	18.0	1.9	59.0	4.4	0.3	0.08	0.1	13.0	1.8	23.0	7.30
30	70.8	2.53	154.0	36.0	30.0	35.0	78.0	4.1	0.1	< 0.01	< 0.1	14.0	1.1	24.0	7.50
31	71.222	3.62	221.0	36.0	23.0	0.3	73.0	9.6	1.1	0.10	0.1	12.0	1.4	25.0	7.50
32	70.171	3.10	189.0	27.0	31.0	3.6	62.0	6.8	0.6	0.23	0.2	21.0	2.2	23.0	7.40
33	70.270	3.23	197.0	50.0	58.0	51.0	100.0	5.7	< 0.1	< 0.01	0.1	28.0	1.6	23.0	7.40
34	71.336	3.96	242.0	62.0	42.0	39.0	100.0	10.0	< 0.1	< 0.01	0.1	22.0	3.9	24.0	7.30
35	71.358	3.16	193.0	43.0	24.0	51.0	92.0	7.0	< 0.1	< 0.01	0.1	10.0	1.4	28.0	7.60
36	71.285	2.54	155.0	85.0	31.0	0.1	79.0	8.0	0.3	0.12	0.1	15.0	1.4	25.0	7.60
37	71.305	2.74	167.0	63.0	41.0	87.0	104.0	8.0	< 0.1	< 0.01	0.1	13.0	1.5	25.0	7.00
38	70.248	3.35	204.0	67.0	31.0	46.0	100.0	7.5	< 0.1	< 0.01	0.1	14.0	1.8	27.0	7.50
39	70.179	2.58	157.0	37.0	30.0	38.0	79.0	4.1	< 0.1	< 0.01	0.1	13.0	1.2	29.0	7.40
40	70.231	2.85	174.0	46.0	37.0	< 0.1	80.0	3.5	1.4	0.10	0.3	13.0	1.1	28.0	7.30
41	70.197	3.40	207.0	24.0	33.0	< 0.1	71.0	5.3	0.5	0.09	0.6	13.0	1.7	29.0	7.30
42	70.226	2.58	157.0	58.0	32.0	1.2	71.0	4.6	1.2	0.20	0.2	18.0	1.5	24.0	6.80
43	71.343	2.78	170.0	26.0	19.0	< 0.1	58.0	5.6	0.7	0.06	0.2	9.0	1.4	29.0	7.50
44	71.339	3.61	220.0	47.0	25.0	0.8	74.0	12.0	0.1	0.05	0.1	12.0	6.9	29.0	7.50
45	71.306	2.73	167.0	57.0	61.0	106.0	115.0	6.3	< 0.1	0.02	0.1	19.0	5.7	26.0	7.30
46	71.298	3.18	194.0	55.0	38.0	69.0	110.0	4.4	< 0.1	< 0.01	0.1	15.0	0.7	26.0	7.30
47	71.27	3.48	212.0	48.0	39.0	69.0	108.0	6.0	< 0.1	< 0.01	0.1	19.0	1.4	27.0	7.40
48	71.276	3.33	203.0	50.0	29.0	< 0.1	84.0	5.8	1.2	< 0.01	0.2	11.0	1.6	30.0	7.40
49	71.356	3.27	199.0	24.0	17.0	0.3	59.0	12.0	0.2	< 0.01	0.2	9.0	1.8	30.0	7.50
50	71.7	3.09	188.0	64.0	26.0	4.9	83.0	9.0	< 0.1	< 0.01	< 0.1	11.0	1.2	28.0	7.20
51	71.353	4.22	257.0	59.0	31.0	0.1	91.0	12.0	2.1	< 0.01	0.1	14.0	2.2	30.0	7.30
52	60.23	4.42	270.0	13.0	27.0	< 0.1	56.0	22.0	0.3	< 0.01	0.3	16.0	4.1	32.0	7.40
53	61.25	2.81	171.0	15.0	19.0	< 0.1	44.0	7.8	0.2	0.10	0.5	14.0	3.2	29.0	7.60
54	61.19	2.08	127.0	22.0	31.0	0.2	50.0	4.8	1.5	0.09	0.3	11.0	1.4	27.0	7.40
55	61.15	3.95	241.0	67.0	37.0	50.0	100.0	18.0	< 0.1	< 0.01	0.1	19.0	1.3	22.0	7.30
56	71.284	3.47	212.0	74.0	29.0	7.6	96.0	7.0	< 0.1	< 0.01	0.1	11.0	1.6	28.0	7.20
57	71.93	4.28	261.0	68.0	52.0	84.0	135.0	8.0	0.1	< 0.01	0.1	23.0	9.0	31.0	7.30
58	71.347	5.04	307.0	27.0	20.0	0.2	55.0	34.0	0.3	< 0.10	0.4	10.0	4.0	31.0	7.70
59	71.321	1.04	63.0	55.0	38.0	95.0	70.0	8.0	< 0.1	< 0.01	0.1	13.0	1.4	22.0	7.80
60	61.24	4.34	265.0	16.0	46.0	< 0.1	40.0	21.0	0.1	< 0.01	0.4	48.0	4.0	32.0	7.90
61	60.21	5.18	316.0	72.0	375.0	< 0.1	90.0	41.0	2.2	0.13	0.9	222.0	11.0	30.0	7.70
62	60.30	2.33	142.0	60.0	29.0	15.0	66.0	8.0	< 0.1	0.07	0.1	15.0	1.6	18.0	7.70
63	60.37	2.41	147.0	11.0	16.0	< 0.1	45.0	3.6	0.6	0.13	0.1	10.0	1.1	30.0	7.70
64	70.172	2.14	131.0	26.0	20.0	9.6	46.0	5.0	0.1	0.04	0.1	15.0	2.6	22.0	7.90
65	70.216	3.04	185.0	19.0	18.0	< 0.1	55.0	6.8	1.0	0.07	0.1	13.0	1.7	30.0	7.60
66	70.241	4.68	285.0	14.0	25.0	< 0.1	47.0	26.0	1.3	0.03	0.5	26.0	3.7	28.0	7.70
67	70.163	5.70	348.0	11.0	19.0	< 0.1	79.0	13.0	1.8	0.06	0.5	17.0	4.0	31.0	7.40
68	70.230	3.77	230.0	57.0	46.0	9.1	95.0	3.0	0.8	0.20	< 0.1	23.0	1.7	20.0	7.50
69	70.142	2.32	142.0	43.0	33.0	36.0	72.0	5.8	< 0.1	< 0.01	< 0.1	17.0	1.7	29.0	7.60
70	70.223	2.88	176.0	26.0	29.0	3.2	64.0	5.6	< 0.1	< 0.01	< 0.1	15.0	1.5	28.0	7.70
71	61.17	4.71	287.0	57.0	32.0	28.0	110.0	9.0	< 0.1	0.03	< 0.1	21.0	1.2	26.0	7.50
72	71.141	3.10	189.0	37.0	37.0	27.0	79.0	10.0	< 0.1	< 0.01	0.1	16.0	0.9	21.0	7.50
73	71.300	3.73	228.0	63.0	52.0	86.0	132.0	7.0	< 0.1	< 0.01	0.1	20.0	1.5	22.0	7.40
74	81.83	3.78	231.0	42.0	29.0	15.0	86.0	9.0	0.1	< 0.01	0.1	15.0	3.1	20.0	7.60
75	71.330	3.84	234.0	66.0	46.0	67.0	114.0	14.0	< 0.1	< 0.01	1.0	16.0	1.6	12.0	7.80

Tabel 2. fortsat.

LØBENR	BØRENR	PO4	HARDHED	NAHCO3	F	AGGCO2	CH4	H2S
1	71.379	0.04	11.5		0.15	0.	< 0.1	< 0.1
2	30.287	0.64	13.1	23.	0.32	0.	< 0.1	< 0.1
3	30.37	0.32	5.4		0.11	0.	0.1	< 0.1
4	30.266	0.23	6.7		0.11	0.	< 0.1	< 0.1
5	30.72	0.35	12.2	18.	0.30	0.	0.1	< 0.1
6	30.70	0.25	10.9		0.21	0.	0.1	< 0.1
7	30.259	< 0.02	13.5		0.98	0.	< 0.1	< 0.1
8	30.274	0.04	16.6		0.07	0.	< 0.1	< 0.1
9	30.236	0.07	11.5		0.33	0.	0.1	< 0.1
10	30.265	0.21	11.4		0.08	0.	< 0.1	< 0.1
11	30.325	2.40	11.3		0.07	0.	< 0.1	< 0.1
12	31.80	0.07	14.1		0.13	0.	< 0.1	< 0.1
13	31.81	0.14	10.0		0.29	0.	< 0.1	< 0.1
14	31.76	0.07	13.7		0.19	0.	< 0.1	< 0.1
15	31.103	0.14	12.9		0.08	0.	< 0.1	< 0.1
16	31.79	0.09	13.8		0.09	0.	< 0.1	< 0.1
17	31.74	0.03	7.1		0.22	0.	< 0.1	< 0.1
18	31.95	< 0.02	21.9		0.21	0.	< 0.1	< 0.1
19	31.70	< 0.02	10.4		1.20	0.	0.1	< 0.1
20	31.72	< 0.02	12.0		0.18	0.	< 0.1	< 0.1
21	31.110	< 0.02	11.4		0.17	0.	< 0.1	< 0.1
22	31.112	< 0.02	12.5		0.40	0.	< 0.1	< 0.1
23	70.213	< 0.02	12.1		0.18	0.	< 0.1	< 0.1
24	70.246	< 0.02	14.1		0.96	0.	< 0.1	< 0.1
25	70.221	0.14	12.2		0.20	0.	< 0.1	< 0.1
26	70.285	< 0.02	11.8		0.16	0.	< 0.1	< 0.1
27	70.131	< 0.02	19.2		0.13	0.	< 0.1	< 0.1
28	70.225	0.16	7.6		0.10	0.	< 0.1	< 0.1
29	80.250	0.07	9.2		0.17	0.	< 0.1	< 0.1
30	70.8	0.14	11.8		0.11	0.	< 0.1	< 0.1
31	71.222	< 0.02	12.4		0.20	0.	< 0.1	< 0.1
32	70.171	0.14	10.2		0.22	4.	< 0.1	< 0.1
33	70.270	0.04	15.3		0.16	0.	< 0.1	< 0.1
34	71.336	< 0.02	16.3		0.18	0.	< 0.1	< 0.1
35	71.35B	0.05	14.5		0.11	0.	< 0.1	< 0.1
36	71.285	0.05	12.9		0.14	0.	< 0.1	< 0.1
37	71.305	0.07	16.4		0.10	0.	< 0.1	< 0.1
38	70.248	0.05	15.7		0.20	0.	< 0.1	< 0.1
39	70.179	0.07	12.0		0.11	0.	< 0.1	< 0.1
40	70.231	0.03	12.0		0.14	0.	0.1	< 0.1
41	70.197	0.05	11.2		0.18	0.	< 0.1	< 0.1
42	70.226	0.07	11.0		0.21	0.	< 0.1	< 0.1
43	71.343	< 0.02	9.4		0.20	0.	< 0.1	< 0.1
44	71.339	0.03	13.1		0.18	0.	< 0.1	< 0.1
45	71.306	0.09	17.5		0.10	0.	< 0.1	< 0.1
46	71.298	0.03	16.4		0.10	0.	< 0.1	< 0.1
47	71.27	0.07	16.4		0.08	0.	< 0.1	< 0.1
48	71.276	< 0.02	13.1		0.15	0.	< 0.1	< 0.1
49	71.356	< 0.02	11.0		0.25	0.	< 0.1	< 0.1
50	71.7	< 0.02	13.7		0.14	0.	< 0.1	< 0.1
51	71.353	< 0.02	15.5		0.24	0.	< 0.1	0.2
52	60.23	< 0.02	12.9		0.72	0.	< 0.1	< 0.1
53	61.25	0.14	8.0		0.42	0.	0.4	< 0.1
54	61.19	0.03	8.1		0.18	0.	< 0.1	< 0.1
55	61.15	0.07	18.1		0.19	0.	< 0.1	< 0.1
56	71.284	< 0.02	15.0		0.13	0.	< 0.1	< 0.1
57	71.93	0.10	20.7		0.14	0.	< 0.1	< 0.1
58	71.347	< 0.02	15.5		0.78	0.	< 0.1	< 0.1
59	71.321	0.14	11.6		0.10	0.	< 0.1	< 0.1
60	61.24	< 0.02	10.4	51.	1.00	0.	< 0.1	< 0.1
61	60.21	< 0.02	22.0		0.34	0.	< 0.1	< 0.1
62	60.30	0.19	11.1		0.18	0.	< 0.1	< 0.1
63	60.37	0.07	7.1		0.18	0.	< 0.1	< 0.1
64	70.172	0.26	7.6		0.13	0.	< 0.1	< 0.1
65	70.216	< 0.02	9.2		0.19	0.	< 0.1	< 0.1
66	70.241	< 0.02	12.6	16.	0.88	0.	0.9	< 0.1
67	70.163	< 0.02	15.2	24.	0.41	0.	1.1	< 0.1
68	70.230	< 0.02	15.1		0.17	0.	< 0.1	< 0.1
69	70.142	0.05	11.4		0.16	0.	< 0.1	< 0.1
70	70.223	0.14	10.2		0.15	0.	< 0.1	< 0.1
71	61.17	< 0.02	17.4		0.19	0.	< 0.1	< 0.1
72	71.141	< 0.02	13.3		0.18	0.	< 0.1	< 0.1
73	71.300	0.09	20.1		0.14	0.	< 0.1	< 0.1
74	81.83	< 0.02	14.1		0.19	0.	< 0.1	< 0.1
75	71.330	< 0.02	19.2		0.15	0.	< 0.1	< 0.1

Tabel 2. fortsat.

4.1.1 Kemiske data.

De kemiske analyseresultater for hver boring fremgår af tabel 2, men er ligeledes vist i fig. 7 (vedlagt som bilag), et såkaldt grundvandskemisk basisdatakort (Villumsen og Jacobsen, 1977). Kortet viser dels placeringen af de enkelte prøvetagningslokaliteter indenfor testområde (centrum af hver cirkel) og dels ionkoncentrationen afbildet som en cirkelflade, hvis areal er proportionalt med den totale ionkoncentration. De enkelte ioners procentvise andel af koncentrationen (målt i milliækvivalenter) er angivet ved cirkeludsnit med kationer i den øvre og anioner i den nedre cirkelhalvdel. En række stofkoncentrationer og øvrige parametre er anført som talværdier udenfor cirklen. Kemikortet giver et hurtigt overblik over det aktuelle område på Djursland og en række detailinformationer om den enkelte vandanalyse. For at få det fulde udbytte af dette kort skal oplysningerne dog sammenholdes med det geologiske basisdatakort.

Her skal blot bemærkes nogle enkelte generelle træk ved kemien i grundvandsreservoirerne på Djursland, som den fremgår af det kemiske basisdatakort.

Grundvandet på Djursland er generelt middelhårdt (mellem 8° og 16° tyske hårdhedsgrader), men enkelte steder dog hårdere (op mod ca. 22° for DGU arkivnr. 60.21, 71.300, 71.93 og 81.95). Kun få områder (her ialt 5 analyser ud af 75) er præget af ionbyttet vand (indhold af NaHCO_3). I områder findes forhøjede kloridindhold (3 analyser, DGU arkivnr. 60.21, 70.246 og 80.269 viser forhøjede kloridindhold, og en enkelt heraf ligger ca. 1,5 gange over smagsgrænsen).

Der findes et betydeligt antal analyser med høje nitratindhold, f.eks. har 13 analyser ud af 75 et nitratindhold, som overstiger den maksimalt tilladelige værdi (50 mg/l) ifølge kvalitetskrav til drikkevand i Danmark. Enkelte analyser vidner om en lokal belastning, som ikke er naturligt betinget, som f.eks. analysen for DGU arkivnr. 80.325 med et PO_4 -indhold på 2,4 mg/l.

Dette korte rids af grundvandskemien på Djursland afspejler tydeligt de geologiske forhold i området. De prækvartære af-

lejringer består af kalkbjergarter, som stedvis ligger meget overfladenært. Over disse findes kvartære aflejringer, som overvejende består af sand og grus og kun i mindre grad ler. Endelig findes der store områder som i postglacial tid var dækket af hav.

4.1.2 Isotopdata.

4.1.2.1 Iltisotopdata.

Iltisotopen ^{18}O er en stabil isotop, som forekommer i naturligt vand (i form af et vandmolekule H_2^{18}O) i en koncentration på ca. 2 g/l. De fysiske egenskaber af dette vandmolekule afviger lidt fra vandmolekulet af formen H_2^{16}O . På grund af forskelle i damptryk vil der ske en fraktionering gennem fordampning eller kondensering (Dansgaard, 1964).

Kondensering af atmosfærisk vanddamp er en smule mere effektiv for H_2^{18}O end for H_2^{16}O . Dette betyder, at der kan genfindes en forskel i iltisotopforhold i nedbør, som er betinget af geografisk placering. Da damptryk i atmosfæren er tæt knyttet til lufttemperatur, kan man ydermere ofte finde en god korrelation mellem iltisotopforhold og temperaturforhold på en lokalitet.

Iltisotopforholdet måles i forhold til en standard (SMOW, Standard Mean Ocean Water):

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{R \text{ prøve} - R \text{ standard}}{R \text{ standard}} \times 1000 \text{ (o/oo)}$$

Disse forhold gjorde, at det blev besluttet at inddrage analyse af iltisotopforholdet i projektet.

Der ville være en mulighed for, at paleoklimatiske forhold kunne genfindes i isotopforholdet i vandprøverne og således give et fingerpeg om vandets oprindelse.

Ydermere kunne et grundvandsreservoir, som står i umiddelbar hydraulisk forbindelse til en overfladerecipient afsløres ved en analyse af iltisotopforholdet.

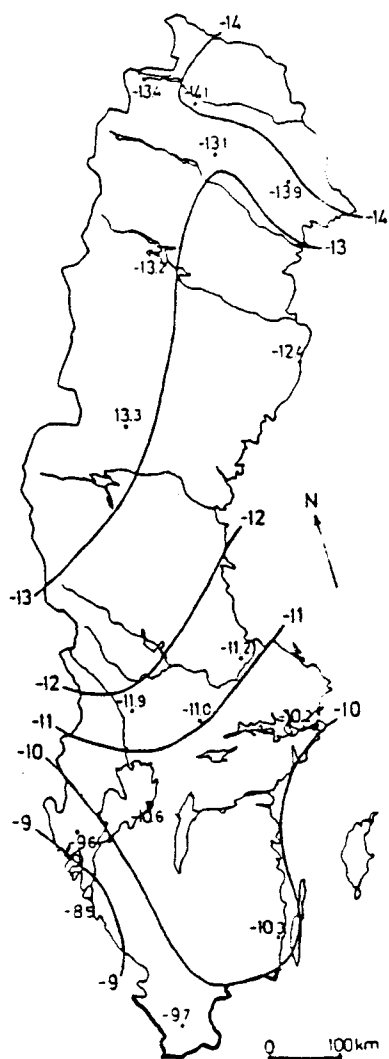


Fig. 8. Middelværdier for $\delta^{18}\text{O}$ og isolinie-mønster (efter Burgman et al., 1981).

De målte iltisotopforhold findes i tabel 2. Det fremgår heraf, at alle værdier ligger mellem -8 og -10 o/oo. Disse værdier synes at falde godt sammen med de gennemsnitsværdier, som kan forventes i nedbør i Danmark.

Der er ikke foretaget systematiske iltisotopmålinger af nedbøren i Danmark, men i Sverige viser det sig at isolinien for iltisotopværdien -9 o/oo strækker sig i sydøstlig retning ned tværs gennem Gøteborg og videre ned mod Sjælland (Burgman et al., 1981). Mod nordøst aftager værdierne yderligere (se fig. 8)

Desværre findes ingen betydelige variationer i datamaterialet, som kunne give håb om anvendeligheden af disse data i retning af en sårbarhedsvurdering.

4.1.2.2 Tritiumdata.

Tritium (^3H) er en brintisotop, hvis tilstedeværelse skyldes såvel naturlige processer som menneskeskabte indgreb.

Naturligt tritium dannes i jordens atmosfære ved kosmisk stråling af neutroner mod kvælstofatomer. Mennesket har produceret den "kunstige" tritium ved sprængning af termionukleare bomber. Tritiumindhold måles i tritiumenheder T.U. (tritium unit \sim 1 tritium atom for hver 10^{18} atomer brint).

Det naturlige tritiumindhold i nedbør på den nordlige halvkugle udgjorde før de første prøvesprængninger i 1952 ca. 5-20 T.U. Efter 1952 steg tritiumkoncentrationen i nedbøren drastisk (se fig. 9).

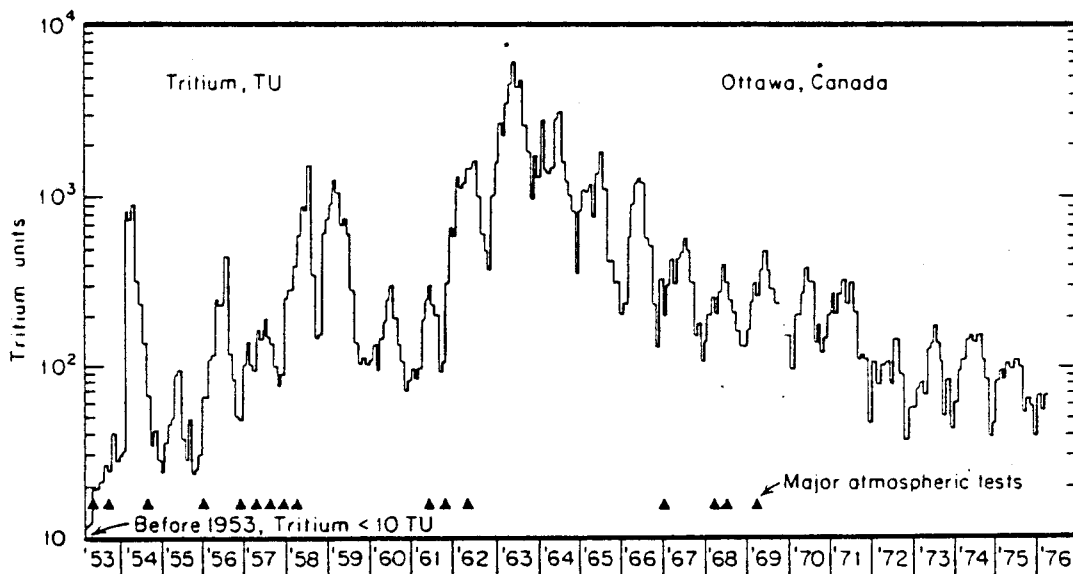


Fig. 9. Variationen af tritiumindholdet i nedbøren (gennemsnit af månedlig koncentration i T.U.) ved Ottawa, Canada (efter Freeze and Cherry, 1979).

Efter hver ny større prøvesprængning steg tritiumkoncentrationen yderligere. I begyndelsen af 60'erne fandt tritiumkoncentrationerne sit maksimum efter et antal kraftige prøvesprængninger. Siden er koncentrationen langsomt aftaget (dog med betydelige fluktuationer) på grund af at tritium er en ustabil isotop, som har en halveringstid på 12,3 år.

Disse forhold betyder, at tritiumindholdet i grundvand kan anvendes til en vurdering af alderen, hvilket også tidligere er udført i Danmark (Andersen, 1966, Andersen and Sevel, 1974 og Andersen et al., 1980).

Med forbehold for at blanding af vand med forskelligt tritiumindhold kan finde sted i naturen, kan det generelt antages, at grundvand med store koncentrationer af tritium (flere hundrede til tusinde T.U.) stammer fra begyndelsen af 1960'erne, at grundvand med små tritiumindhold (< 5-10 T.U.) stammer fra før 1953, og at grundvand med et tritiumindhold derimellem stammer fra perioden 1953 til 1960 eller fra perioden 1960 til i dag. Det er således indlysende, at tritiumanalyser er anvendelige til at vurdere et grundvandsreservoirs sårbarhed.

Resultaterne af tritiumanalyserne for grundvandet på Djursland er anført i tabel 2. Det ses heraf, at værdierne spænder over intervallet fra 0 T.U. til ca. 135 T.U., og at spredningen er relativt jævn over intervallet 0 T.U. til ca. 80 T.U.

4.2 De kemiske analysers udsagn om sårbarheden.

Det er ikke alle de grundvandskemiske parametre, som fortæller noget om reservoirernes sårbarhed eller forureningsmæssige tilstand; men alle grundvandskemiske parametre er med til at beskrive reservoirets tilstand og de processer, som har præget reservoirret.

De få parametre, som kan give et fingerpeg om et sårbart reservoir eller en forureningsmæssig tilstand er grundvandets indhold af nitrat (NO_3), aggressiv kuldioxid (agg. CO_2) og sulfat (SO_4) (et udtryk for oxiderende forhold i lagene over grundvandsreservoirret) foruden isotopindholdet af tritium (^3H)

og ilt ($\delta^{18}\text{O}$), hvis betydning tidligere er omtalt (side 21). Desuden kan der være tale om grundvandets indhold af kalium (K) og fosfat (PO_4), der kan være et udtryk for overfladebelastning af kalium og fosfatholdig gødning. Endelig kan kloridindholdet (Cl) måske give et fingerpeg, idet det naturlige indhold af klorid i infiltrerende vand (nedbør minus fordampning) kan skønnes (Kristiansen, 1978), og et øget indhold af klorid kan således skyldes gødsning i form af kaliumklorid, tilstedeværelsen af salt grundvand eller evt. vejsalt.

For at skabe et overblik over de ovenfor nævnte parametres relation til hinanden, sårbarhedsindekset og de enkelte led i sårbarhedsindekset er der foretaget en lang række to-dimensionale plot af disse parametre som funktion af hinanden i ortogonale koordinatsystemer.

Det fremgår af disse plot, at der findes en relation mellem sårbarhedsindeks og nitratindhold (fig. 10) og sårbarhedsindeks og tritiumindhold (fig. 11) bortset fra en enkelt værdi, som for begges vedkommende må tilskrives en forurening. Der eksisterer en relativt god relation mellem sårbarhedsindeks og kloridindhold (fig. 12) (når de 3 analyser fra salt grundvand er frataget), mens relationen mellem sårbarhedsindeks og henholdsvis fosfat (fig. 13), sulfat (fig. 14) og iltisotopforhold (fig. 15) er meget dårlig eller slet ikke eksisterende. Der er ikke foretaget noget plot af aggressiv kuldioxid, idet kun en enkelt analyse indeholder aggressiv kuldioxid.

FIG. 10 : Sårbarhedsindeks som funktion af nitratindhold

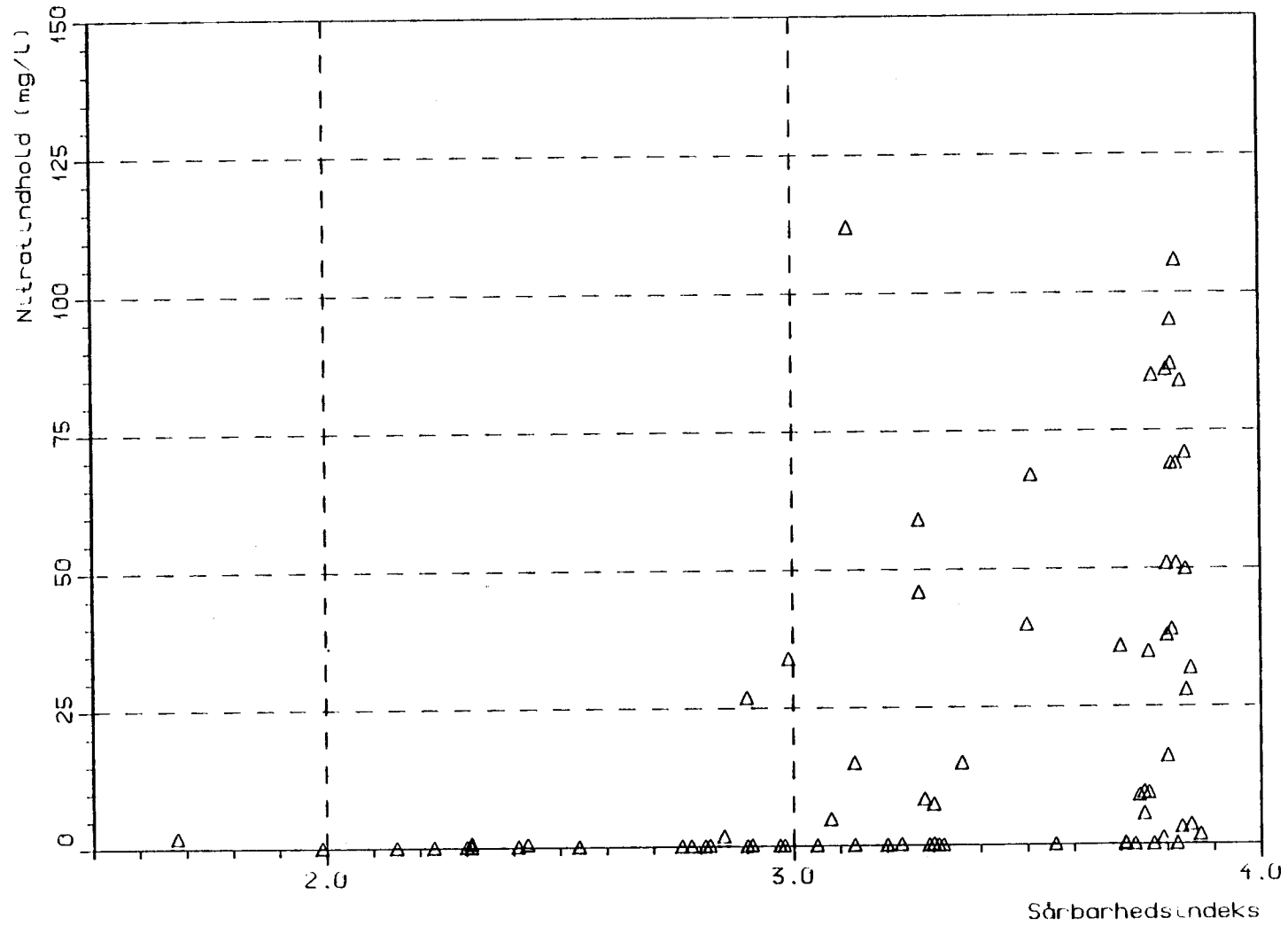


FIG. 11 : Sårbarhedsindeks som funktion af tryklumendhold

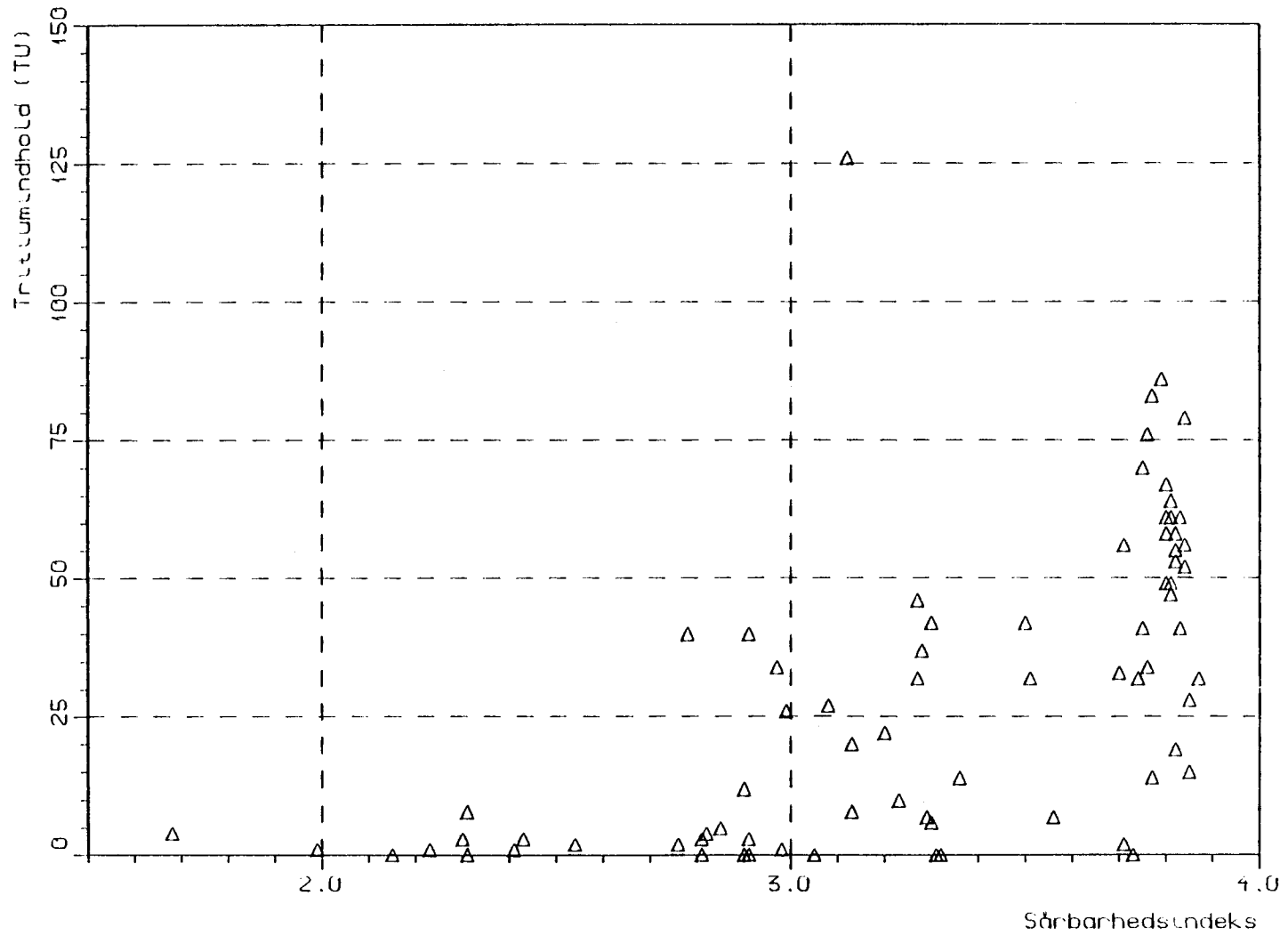


FIG. 14 : Sårbarhedsindeks som funktion af sulfatindhold

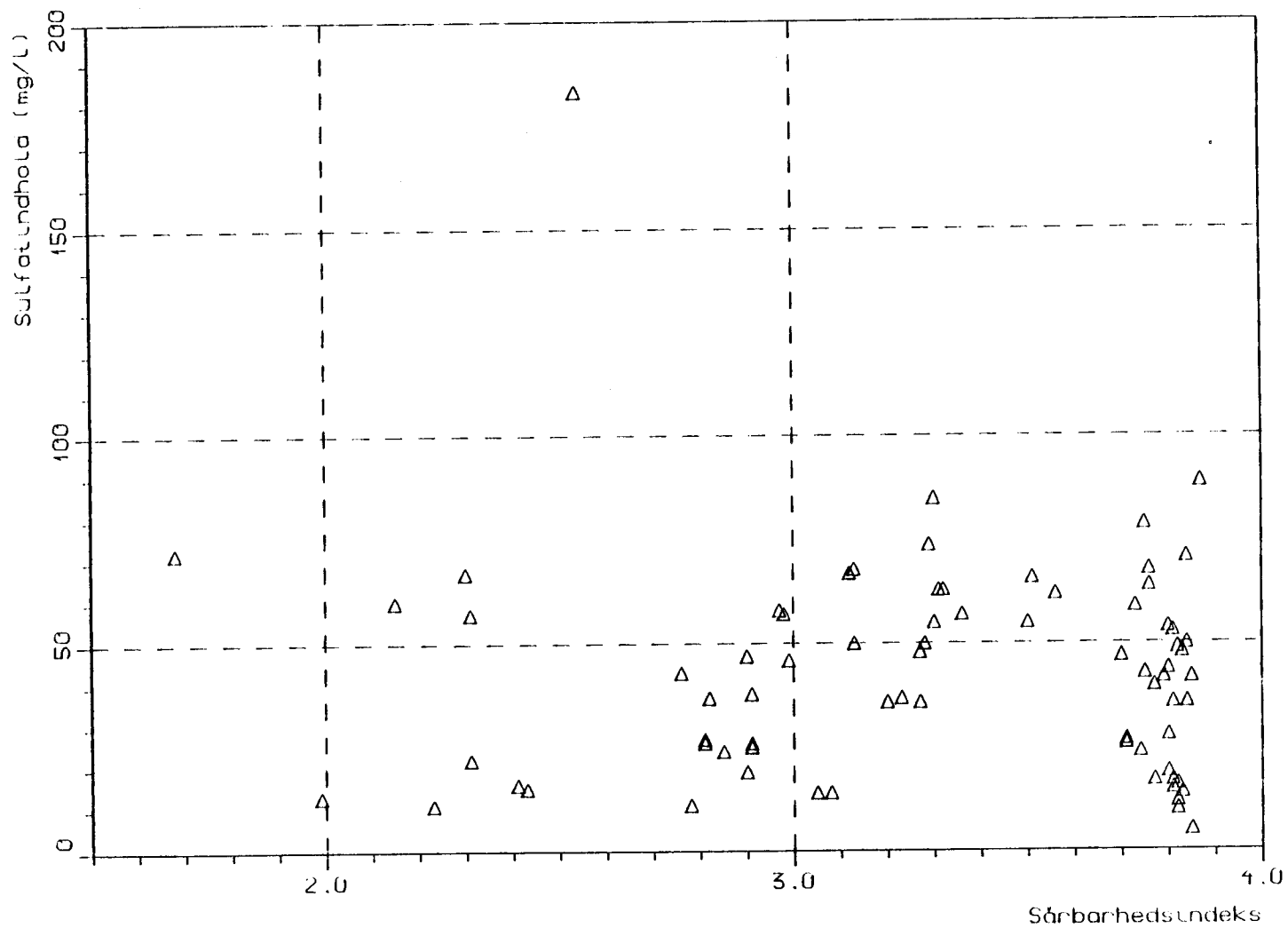
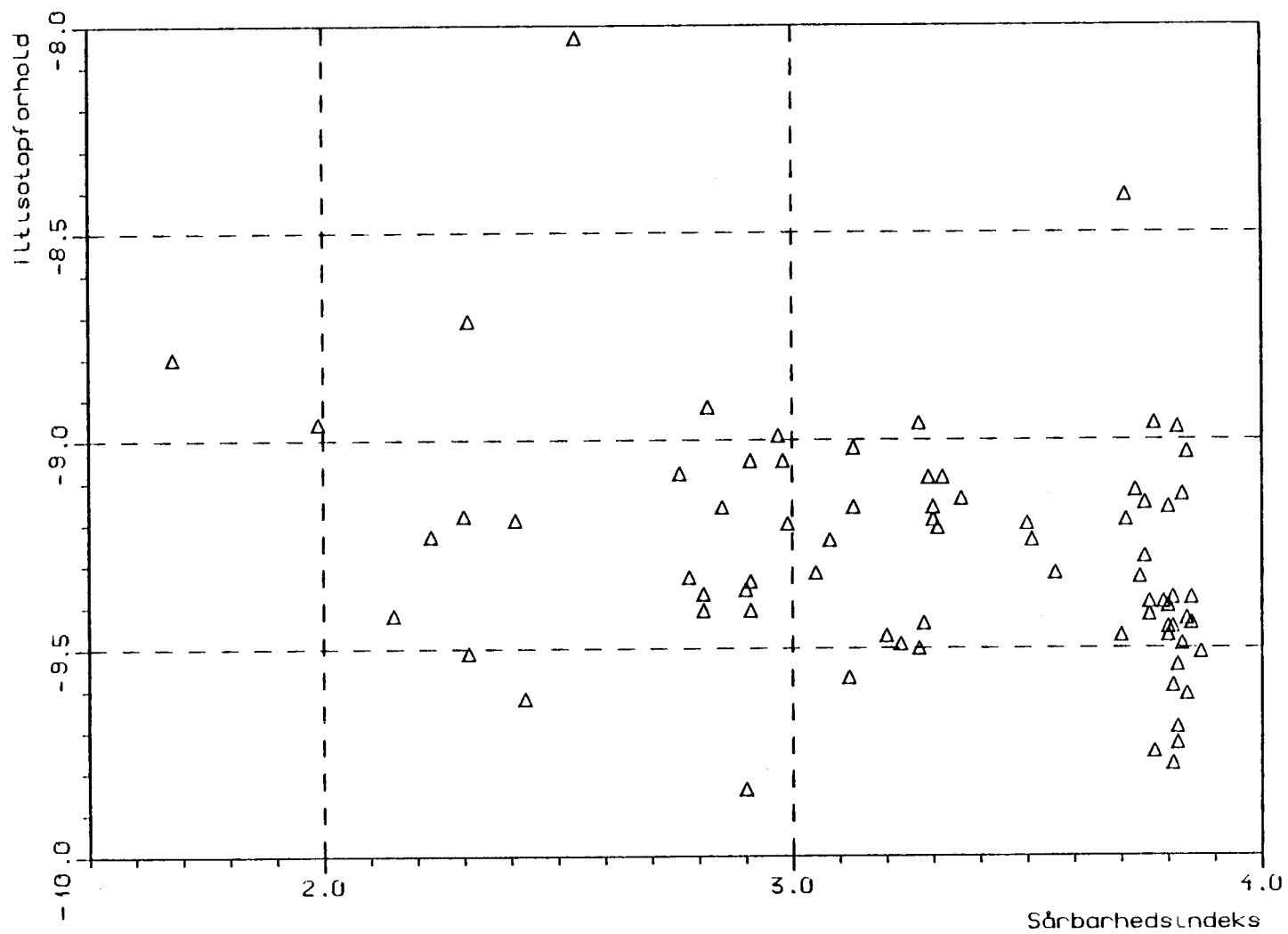


FIG. 15 : Sårbarhedsindeks som funktion af U135/U137 forhold



4.3 Etablering af kemiindeks.

Det ses af fig. 10, at der generelt findes en overensstemmelse mellem sårbarhedsindeks og nitratindhold, men at der også findes mange analyser, hvor sårbarhedsindekset er højt og nitratindholdet alligevel lavt. Dette forhold er ikke overraskende, men sandsynligvis kun et udtryk for, at belastningen ikke overalt er lige stor.

I et forsøg på at imødegå dette problem er der her opstillet en række "kemiindeks", dvs. indeks beregnet på grundlag af de kemiske analyseresultater, som indeholder eller teoretisk kunne indeholde udsagn om reservoירים sårbarhed eller forureningsmæssige tilstand. Nedenfor er anført fem forskellige forslag til et sådant "kemiindeks":

$$\text{Kemiindeks 1} = \frac{(\text{NO}_3 + \text{SO}_4 + \text{PO}_4 + \text{agg. CO}_2 + \text{K} + {}^3\text{H})}{n}$$

$$\text{Kemiindeks 2} = \frac{(\text{NO}_3 + {}^3\text{H})}{2}$$

$$\text{Kemiindeks 3} = \text{MAX} (\text{NO}_3, \text{SO}_4, \text{PO}_4, \text{agg. CO}_2, \text{K}, {}^3\text{H})$$

idet hver parameter værdi er angivet som den procentuelle værdi i forhold til den maksimale værdi indenfor hver parameter

$$\text{Kemiindeks 4} = \frac{{}^3\text{H} + \text{NO}_3 + \text{SO}_4 + \text{agg. CO}_2 + \text{K} + \text{Cl}}{n}$$

$$\text{Kemiindeks 5} = \text{MAX} ({}^3\text{H}, \text{NO}_3, \text{SO}_4, \text{agg. CO}_2, \text{K}, \text{Cl})$$

idet parameter værdierne er angivet efter følgende definitioner:

^3H T.U.	SO_4 mg/l	K mg/l	NO_3 mg/l	agg. CO_2 mg/l	Cl mg/l
0- 5 = 0	0-20 = 0	0- 5 = 0	0- 5 = 0	0 = 0	<20 = 0
5-10 = 1	20-60 = 1	5-10 = 1	5-50 = 1	0-4 = 1	
>10 = 2	>60 = 2	>10 = 2	>50 = 2	>4 = 2	

Ingen af disse "kemiindeks" gør krav på at være fyldestgørende for en beskrivelse af de kemiske parametres udsagn om sårbarheden, men er blot ment som et forsøg på at kunne behandle datamaterialet samlet og overskueligt.

Det ses af fig. 16-20, at der eksisterer en tydelig overensstemmelse mellem sårbarhedsindeks og alle 5 kemiindeks; mest udtalt mellem sårbarhedsindeks og kemiindeks 2 og kemiindeks 4.

FIG. 16 : Sårbarhedsindeks som funktion af kemilindeks 1

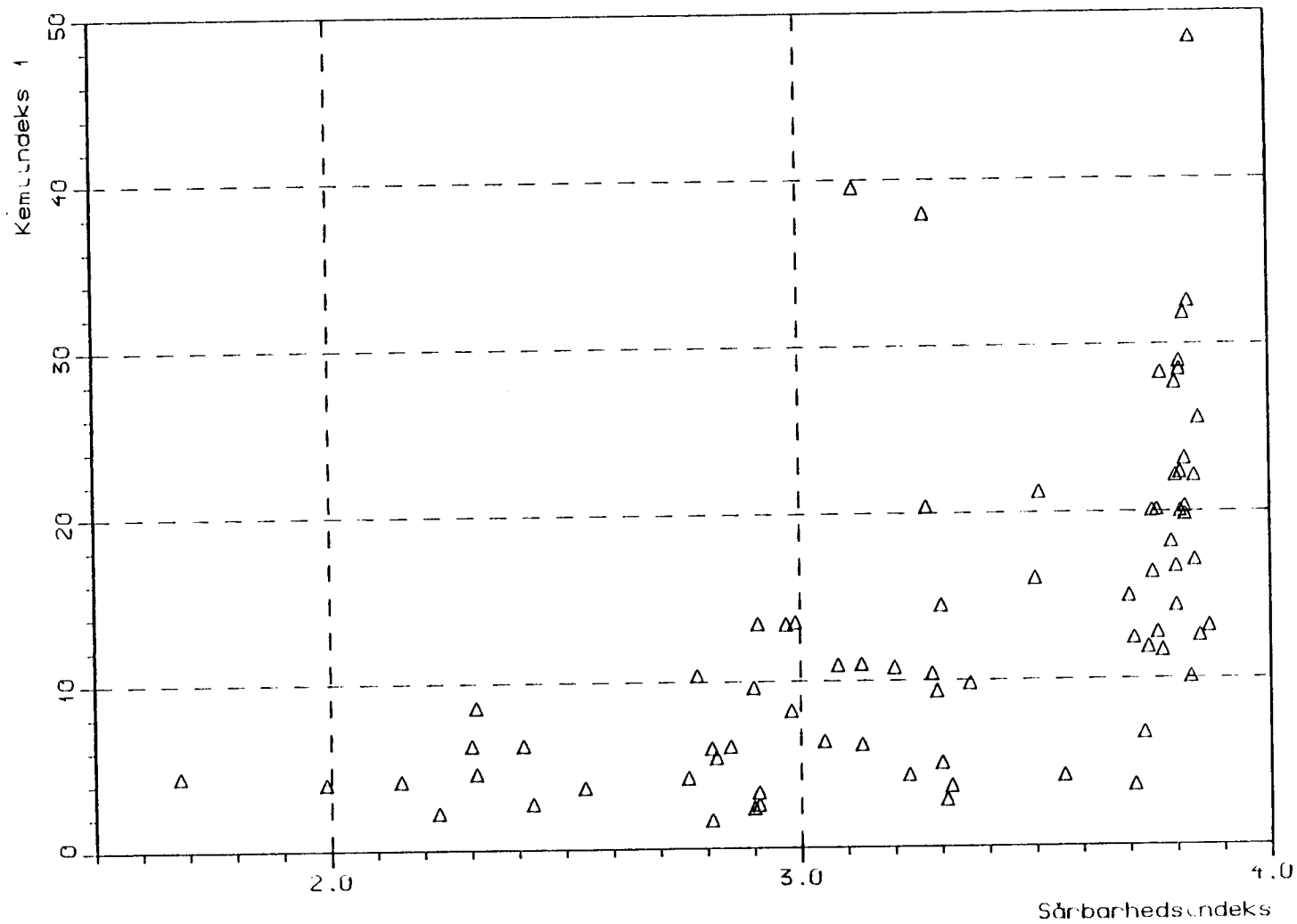


FIG. 17 : Sårbarhedsindeks som funktion af kempeindeks 2

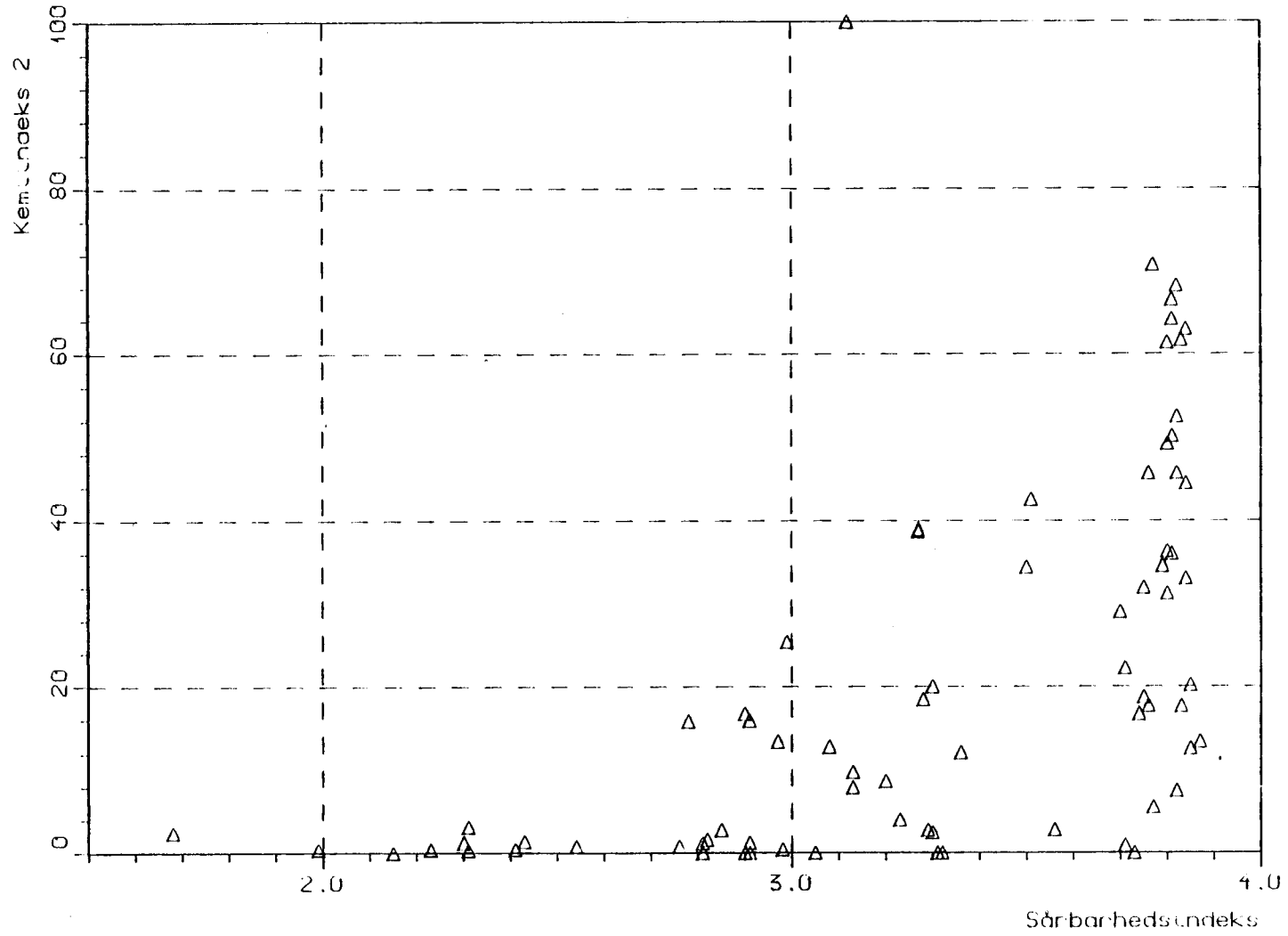


FIG. 10 : Sårbarhedsindeks som funktion af kemisindeks 3

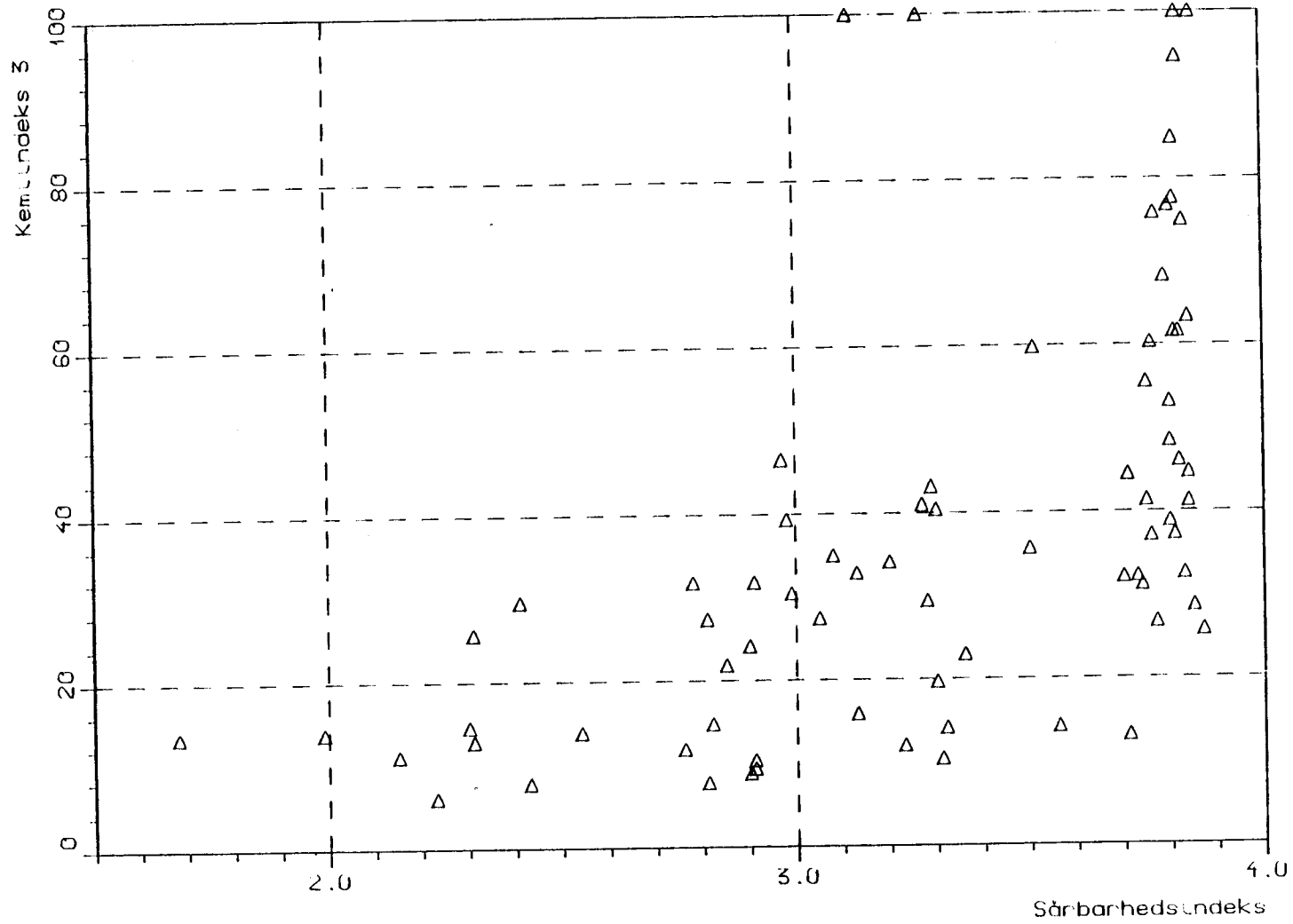
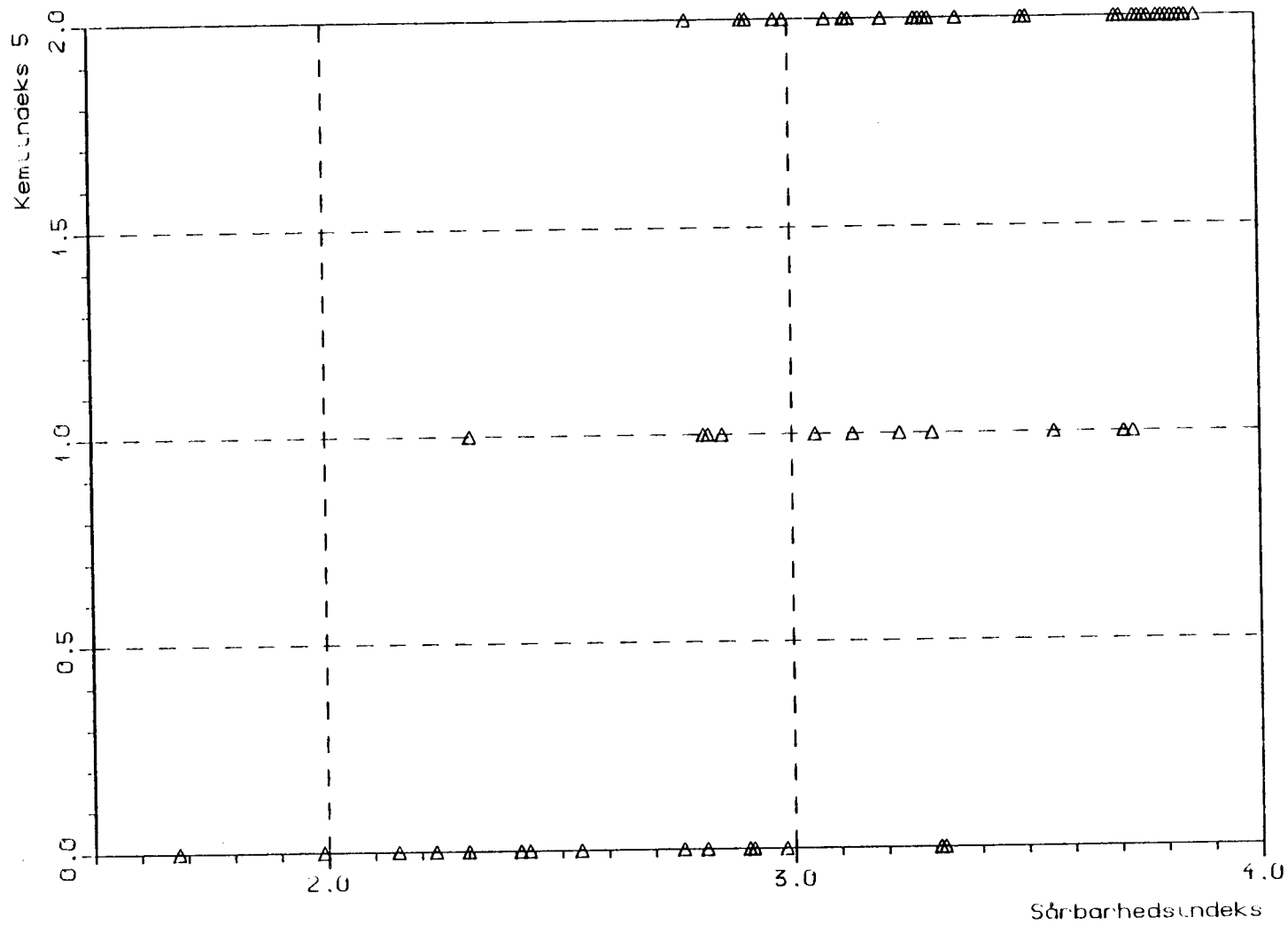


FIG. 20 : Sårbarhedsindeks som funktion af kemisindeks 5



4.4 Statistisk bearbejdning af datamaterialet.

I det foregående er der konstateret visse sammenhænge i det store talmateriale, som er fremkommet ved indsamling, analyse og bearbejdning. Disse sammenhænge er i det følgende underkastet en nærmere statistisk behandling.

4.4.1 Anvendte statistiske metoder.

Ved undersøgelsen af talmaterialet er det statistiske programmel GENSTAT (NUMERICAL ALGORITHMS Group Ltd., 1980) anvendt til såvel lineær som kurvi-lineær regression samt principal komponent analyse. Beskrivelser af disse metoder findes i Davis (1973), kap. 5 og 7.

En udvidet F-test for signifikans (Davis (1973), s. 204-217) er udført for at vurdere værdien af sårbarhedsindekset i forhold til andre mulige måder, hvorpå man kan forudsige indholdet af forureningsindikerende stoffer. I denne F-test er det forskellen mellem to måder (uafhængige variable) at afbilde en afhængig variabel på, der giver regressionsleddet ved testen:

$$F = MS_{reg}/MS_{res}$$

MS = mean sum of squares = summen af kvadrerede afvigelser divideret med antal frihedsgrader.

reg = fra regressionen

res = som residual

I andre tilfælde er signifikans af forskelle mellem 2 afbildninger vurderet ved at betragte forskelle mellem korrelationskoefficienter (R) eller procent varians dækket ved regression (V), der begge fås ved kørsler med GENSTAT. Relationer mellem de 3 størrelser fås ved at benytte:

$$R = \sqrt{SS_{\text{reg}}/SS_{\text{tot}}}$$

$$V = (MS_{\text{tot}} - MS_{\text{res}})/MS_{\text{tot}}$$

sammen med $MS = SS/DF$, $SS_{\text{tot}} = SS_{\text{reg}} + SS_{\text{res}}$ og den ovennævnte definition på F.

SS = sum of squares = summen af kvadrerede afvigelser, enten fra middelværdien (SS_{tot}) eller fra regressionsværdierne (SS_{reg}).

DF = degrees of freedom = antal frihedsgrader, defineret som det antal observationer, der er nødvendige for at beskrive datamaterialet fuldstændigt, minus 1.

tot = totalværdi

$$F = MS_{\text{reg}}/MS_{\text{res}} = (SS_{\text{reg}} \cdot DF_{\text{res}})/(SS_{\text{res}} \cdot DF_{\text{reg}})$$

og idet $DF_{\text{res}}/DF_{\text{reg}}$ sættes lig Q:

$$F = (SS_{\text{reg}}/SS_{\text{res}}) \cdot Q.$$

Indsætter man $SS_{\text{res}} = SS_{\text{tot}} - SS_{\text{reg}}$, fås:

$$F = SS_{\text{reg}}/(SS_{\text{tot}} - SS_{\text{reg}}) \cdot Q = (SS_{\text{reg}}/SS_{\text{tot}})/(1 - SS_{\text{reg}}/SS_{\text{tot}}) \cdot Q$$

Idet ligningen for R omformes til

$R^2 = SS_{\text{reg}}/SS_{\text{tot}}$ og indsættes i ovenstående, fås:

$$F = Q \cdot R^2 / (1 - R^2)$$

$$F = Q / (1/R^2 - 1)$$

$$R = 1 / \sqrt{Q/F + 1}$$

På tilsvarende måde fås:

$$V = (F-1)/(Q+F)$$

og

$$V = (R^2(Q+1)-1)/Q$$

Den kritiske værdi for en F-test afhænger af det valgte signifikansniveau og antallet af frihedsgrader totalt og ved regression. Denne værdi kan slås op i tabeller over kritiske F-værdier (Davis, 1973). Observerede F-værdier skal være større end den kritiske F-værdi for at signifikans kan fastslås. Ovenstående beregninger viser, at det er muligt ved kendskab til den kritiske værdi for F-test for et bestemt signifikansniveau, samt antallet af frihedsgrader at regne sig frem til den signifikante størrelse for korrelationskoefficient og procent varians dækket ved regression. Ved vurdering af forskelle mellem 2 måder at afbilde en afhængig variabel på, kan disse ligninger dog kun give retningslinier og udførelse af udvidet F-test må tilrådes.

4.4.2 Resultater af principal komponent analyse.

Sårbarhedsindekset er som tidligere nævnt sammensat af fire forskellige variable ART, I, RA og SA. For at få et overblik over betydningen af disse fire variable til beskrivelsen af sårbarhedsindekset er der foretaget en principal komponent analyse. I fig. 21-24 er afbildet sårbarhedsindeks som funktion af hver af de fire variable.

FIG. 21 : Sårbarhedsindeks som funktion af ART (indeks for trykniveau)

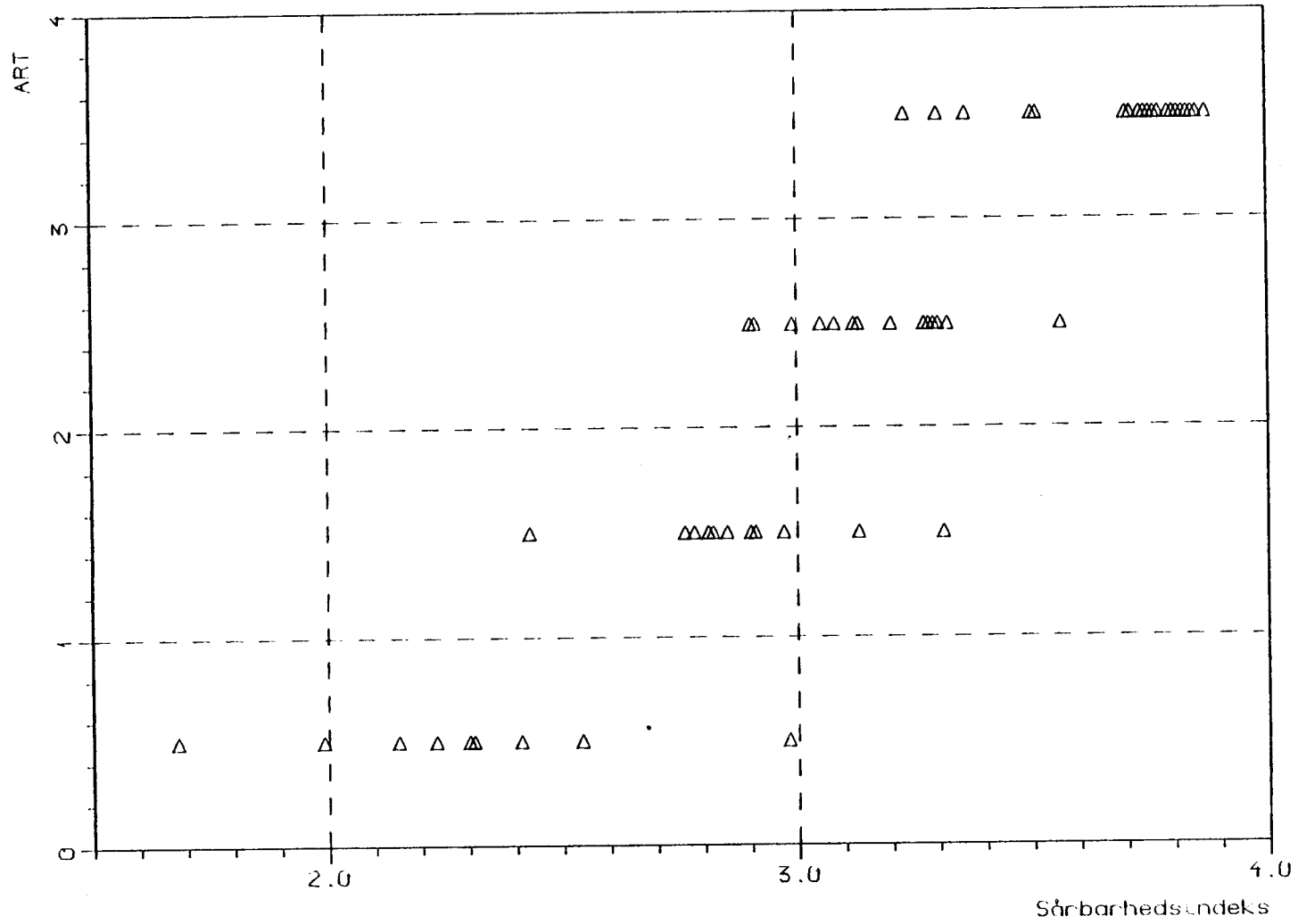


FIG. 23 : Sårbarhedsindeks som funktion af RA (Indeks for redukt.evne)

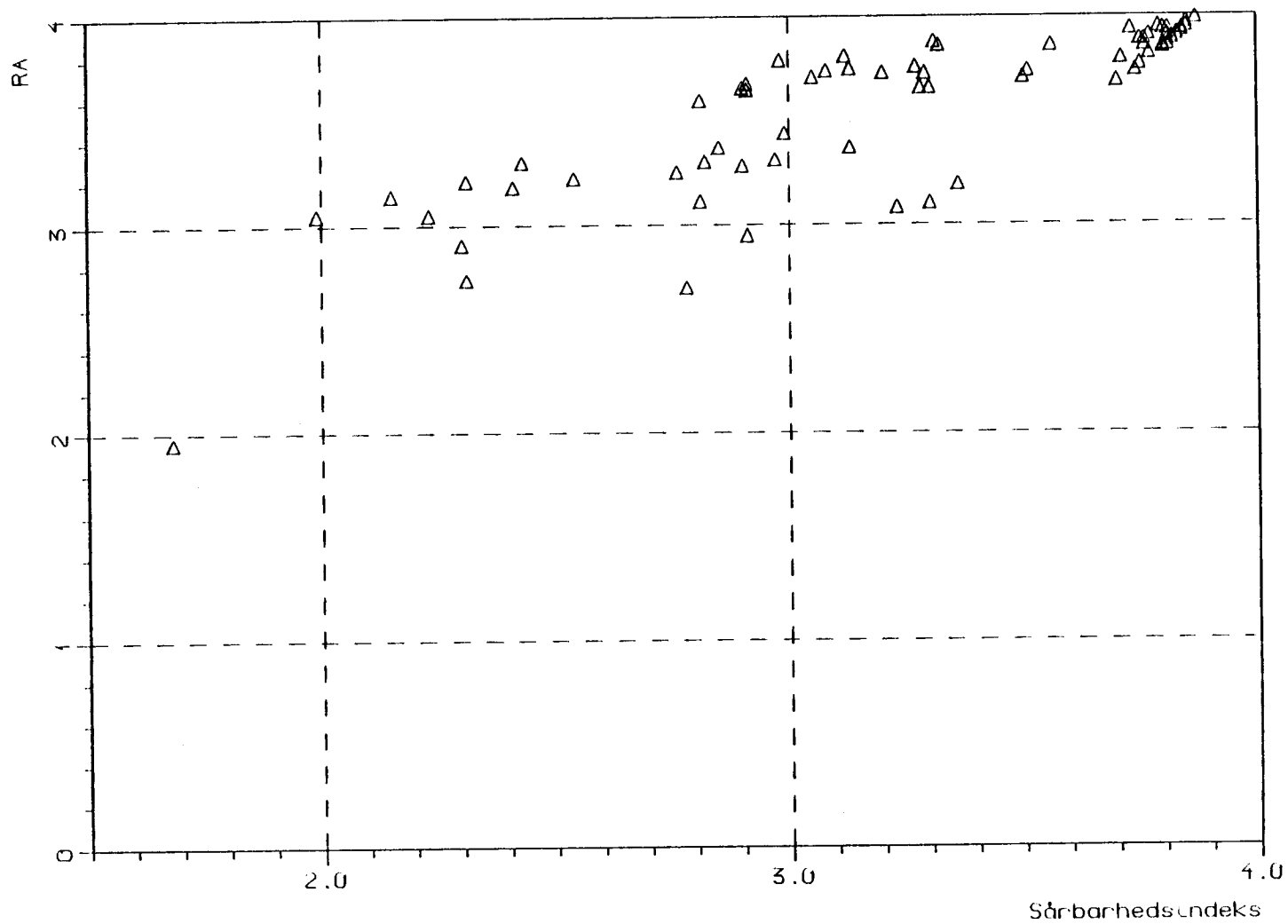
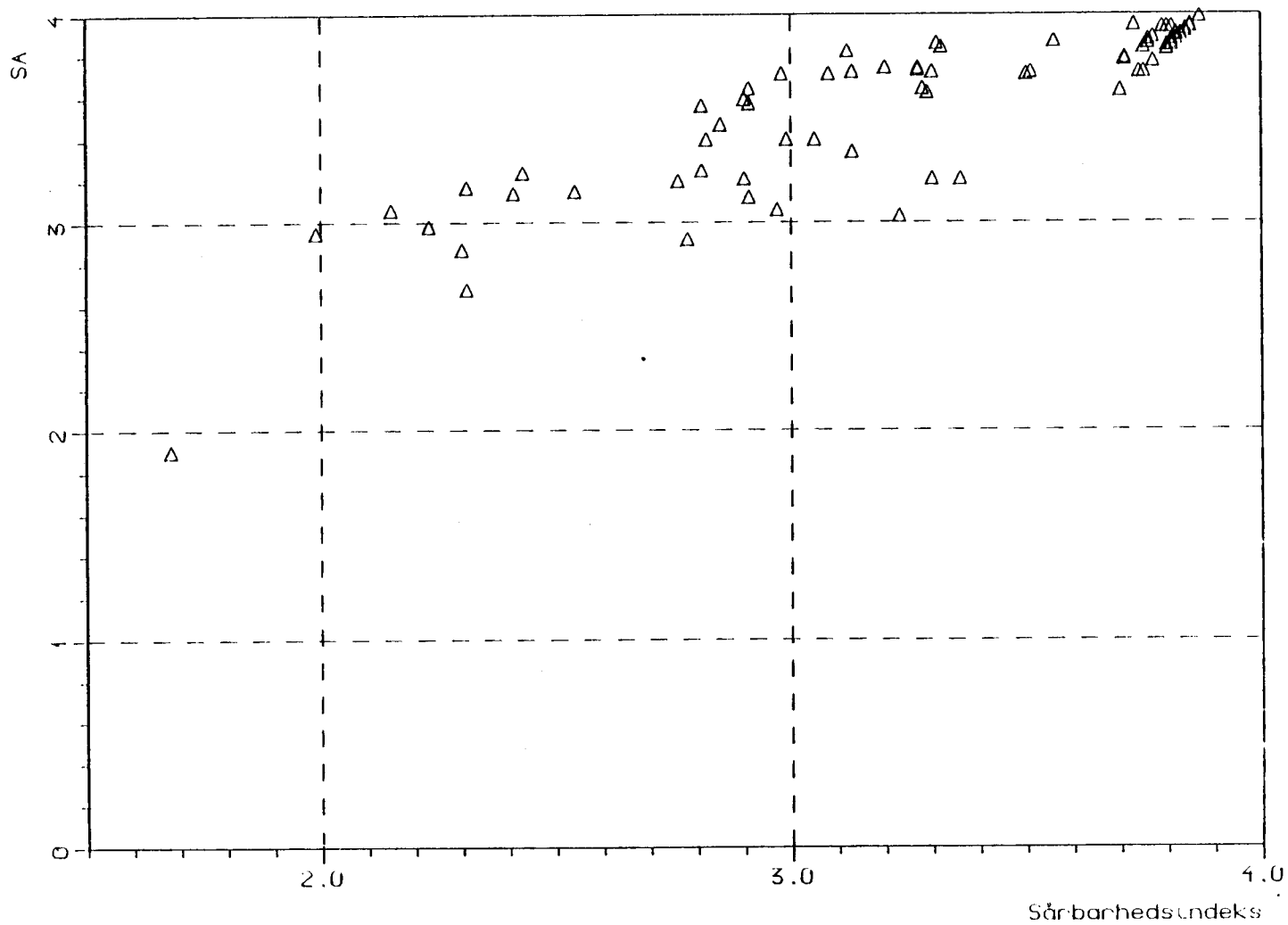


FIG. 24 : Sårbarhedsindeks som funktion af SA (indeks for sorptivitet)



Principal komponent analyse er udført for samtlige 75 prøver og for de 73 af prøverne, der er udvalgt som beskrevet i afsnit 4. Variablene ART, I, RA og SA indgår i analyserne. I begge tilfælde er analysen udført både på rådata og på normaliserede data. Normalisering foregår ved at fratække middelværdien fra hver observation og dividere resultatet med standardafvigelsen. De normaliserede data vil herved få en middelværdi på 0 og en varians på 1. Normalisering benyttes specielt for at kunne sammenligne data i forskellige størrelsesordener.

I udskriften fra GENSTAT er korrelationerne (R) mellem de involverede variable to og to opstillet i en matrice.

Korrelationsmatricen viser for både 75 og 73 prøver, at der er næsten perfekt (0.9834 og 0.9833) overensstemmelse mellem RA og SA, mens øvrige korrelationer ligger mellem 0.54 og 0.72.

Variansen i materialet kan stort set beskrives ved brug af 3 vektorer (principale komponenter). Disse dækker

a) for 75 prøver, rådata:	99.8815 %
b) for 75 prøver, normaliserede data:	99.6230 %
c) for 73 prøver, rådata:	99.8813 %
d) for 73 prøver, normaliserede data:	99.6243 %

af variansen.

Ingen af disse 3 vektorer kan undværes uden betydeligt tab af varians, hvilket bl.a. understreges af, at 2. og 3. vektor i begge tilfælde bytter plads, når man går fra rådata til normaliserede data.

Betydningen af de 4 opgivne vektorer ses af GENSTAT-programmets opgivne "Latent vectors". (Rangordning af vektorer i det følgende er fra rådata.)

Den første af disse vektorer peger ud i et rum udspændt af alle 4 variable. Man bemærker dog, at variablene RA og SA er tilnærmelsesvis lige store. Sporet af vektor 1 på RA-SA fladen vil således forløbe i 45° .

Den anden vektor angiver primært forholdet mellem ART og I. RA og SA er underordnede, men stadig af samme retning og størrel-

sesorden.

Den tredje vektor angiver forholdet mellem ART+I og RA+SA. Denne vektor er mere betydningsfuld end vektor 2 for normaliserede data. RA og SA er stadig tilnærmelsesvis lige store.

Den fjerde vektor, der altså kun bidrager med en ganske lille del af variansen, beskriver overalt forholdet RA/SA. De er her af samme størrelsesorden og modsatrettede.

Da denne vektor er forholdsvis betydningsløs for beskrivelsen af data, kan man konkludere, at det nævnte forhold sandsynligvis kan undlades ved opstilling af sårbarhedsindekset. Dette indebærer, at en af de to parametre RA og SA vil kunne udelades. Den meget høje korrelation mellem disse 2 understøtter dette.

Mere nærliggende vil det måske være at udskifte de to parametre RA og SA med en tredje, nemlig RT. Dette forhold bestyrkes af, at værdierne af RA og SA kun afviger meget lidt fra hinanden og fra variabelen RT, samt at reduktionskapaciteter og sorptionskapaciteter for de aktuelle bjergarter på nuværende tidspunkt er meget ringe kendte.

4.4.3 Resultater af lineær regression: Delindeks som funktion af sårbarhedsindeks.

De 4 delelementer i sårbarhedsindekset ART, I, RA og SA samt de 4 kombinationer af 3 af disse elementer adderet og divideret med 3 er afbildet mod sårbarhedsindekset for samtlige 75 prøver. Dette giver følgende sammenhæng.

SÅRBARHEDSINDEKS		
	KORRELATIONS- KOEFFICIENT	% VARIANS, DÆKKET VED REGRESSION
ART	0.9304	86.4
I	0.8107	65.2
RA	0.8460	71.2
SA	0.8727	75.8
(ART+I+RA)/3	0.9950	99.0
(ART+I+SA)/3	0.9941	98.8
(ART+RA+SA)/3	0.9761	95.2
(I+RA+SA)/3	0.9466	89.5

Parameteren ART giver signifikant bedre sammenhæng med sårbarhedsindekset end de øvrige enkeltparametre. En forskel på 3.87% varians dækket er signifikant for 75 prøver.

Ligeledes giver de 3 delindeks, hvor enten I, RA eller SA er udeladt en signifikant bedre sammenhæng, end det delindeks, hvor ART er udeladt. Forskellen mellem de 3 delindeks er ikke signifikant, men der er en tendens til, at delindeksene med I giver den bedste sammenhæng.

Endelig ses, at der fås en signifikant bedre sammenhæng ved at benytte et delindeks med 3 parametre end ved at benytte en enkelt parameter.

4.4.4 Resultater af regression: Kemiske analyser som funktion af sårbarhedsindekset og dele heraf.

Analyser af nitrat-, sulfat- og tritiumindhold er undersøgt med lineær regression som funktion af sårbarhedsindekset, parametrene ART, I, RA og SA, der indgår i dette indeks, samt kombinationer af 2 og 3 af disse parametre. Kombinationen

foregår ved, at værdierne for de benyttede parametre lægges sammen og divideres med antallet. Analysen er først udført for 75 prøver. Korrelationskoefficienter og procent varians dækket ved regression for disse afbildninger er sammenfattet i tabel 3.

For en af prøverne er værdierne for nitrat og tritium langt højere end for de øvrige prøver. For en anden prøve er værdien for sulfat langt højere. Da disse 2 prøver således medfører en skæv fordeling i materialet, blev det besluttet at fjerne dem fra data. De samme regressioner, som er beskrevet ovenfor, udførtes nu for de resterende 73 sæt kemiske analyser. Korrelationskoefficienter og procent varians dækket ved regression er sammenfattet i tabel 4.

Procenttallene i tabel 3 (SUM1) og 4 (SUM2) er lagt sammen for at få et skøn over "generel anvendelighed" af de benyttede indeks over for de kemiske analyser. Summen (TOTAL) er anført i tabel 3.

For at kunne sammenligne anvendeligheden af de forskellige indeks er der udført en simpel rangordning af tallene for procent varians dækket i tabel 3 og 4 (se tabel 5).

Tallene for procent varians dækket ved regression for nitrat, sulfat, tritium og summen af disse 3 (SUM) er rangordnet for de forskellige indeks, som regressionen er foretaget med. Dette er gjort for både 75 og 73 prøver. For hvert indeks er disse tal summeret og lagt sammen med en rangordning af de samlede procenttal (Total). De herved fremkomne tal (IALT) er så igen rangordnet (RANG).

Når man sammenligner denne sidste rangordning med tabel 3 og 4 ses, at 7 af indeksene skiller sig klart ud fra de øvrige: ART+I+SA, ART+I+RA, ART+I, ART+SA, ART+RA, ART og sårbarhedsindekset.

Fra de grafiske afbildninger af punktfordelinger og regressionslinier ved lineær regression (af formen $y=a+bx$) ses tydeligt, at der specielt for nitrat og tritium vil kunne fås en bedre regression ved brug af eksponentielle funktioner (af formen $y=a+b \cdot (c^x)$ eller $y=a+b \cdot (x^c)$). Sådanne regressioner er foretaget for sårbarhedsindekset, ART+I+SA (bedste 3-leddede

indeks) og ART+I (bedste 2-leddede indeks). Resultaterne er opsummeret i tabel 6. Her viser det sig, at sårbarhedsindekset giver højere tal end ART+I og at ART+I+SA stadig er bedst. Sammenfattende kan siges, at:

- forskellene mellem de 7 bedste måder at danne indeks af 1 til 4 af parametrene ART, I, RA og SA ikke er signifikante.
- den bedste sammenhæng mellem indeks og kemiske analyser synes at være for et 3-leddet indeks, hvor enten RA eller SA er udeladt.
- denne tendens peger mod et 3-leddet sårbarhedsindeks.

n = 75	SARBARHEOSIDA	ART, I, RA	ART, I, SA	ART, RA, SA	I, RA, SA
NO ₃	0.4628 20.3	0.4573 19.8	0.4572 19.8	0.4868 22.7	0.3990 14.8
SO ₂	0.4089 15.6	0.4147 16.1	0.4148 16.1	0.3876 13.9	0.3788 13.2
Tri	0.6049 35.7	0.6063 36.3	0.6128 36.7	0.6072 36.0	0.5214 26.2
SUM1	71.6	72.2	72.6	72.6	54.2
SUM2 ⁺	90.3	93.4	93.6	85.1	70.4
TOTAL	161.9	165.6	166.2	157.7	124.6

n = 75	ART, I	ART, RA	ART, SA	I, RA	I, SA
NO ₃	0.4416 18.4	0.4881 22.8	0.4885 22.8	0.3695 12.5	0.3711 12.6
SO ₂	0.4157 16.1	0.3928 14.3	0.3938 14.4	0.3844 13.6	0.3858 13.7
Tri	0.6089 36.2	0.6173 37.3	0.6231 38.0	0.5065 24.6	0.5161 25.6
SUM1	70.7	74.4	75.2	50.7	51.9
SUM2 ⁺	94.8	88.7	89.5	71.3	72.2
TOTAL	165.5	163.1	164.7	122.0	124.1

n = 75	RA, SA	ART	I	RA	SA
NO ₃	0.4143 16.0	0.4753 21.5	0.2808 6.6	0.4059 15.3	0.4193 16.5
SO ₂	0.3136 8.6	0.3900 14.0	0.3626 12.0	0.3055 8.1	0.3190 8.9
Tri	0.4762 21.6	0.6214 37.8	0.4455 18.7	0.4560 19.7	0.4923 23.2
SUM1	46.2	73.3	37.3	43.1	48.6
SUM2 ⁺	50.5	89.6	81.8	47.3	52.8
TOTAL	96.7	162.9	99.1	90.4	101.4

Tabel 3. Korrelationskoefficienter (til venstre i felterne) og procent varians dækket (til højre) for lineær regression. 75 prøver. ⁺: overført fra tabel 2.

n = 73	SARBARHEDSDIX	ART, I, RA	ART, I, SA	ART, RA, SA	I, RA, SA
NO ₃	0.5189 25.9	0.5210 26.1	0.5201 26.0	0.5215 26.2	0.4579 19.9
SO ₄	0.4353 17.8	0.4438 18.6	0.4430 18.5	0.4122 15.8	0.3990 14.7
Tri	0.6883 46.6	0.7031 48.7	0.7061 49.1	0.6626 43.1	0.6056 35.8
SUM2 ⁺	90.3	93.4	93.6	85.1	70.4

n = 73	ART, I	ART, RA	ART, SA	I, RA	I, SA
NO ₃	0.5140 25.4	0.5274 26.8	0.5272 26.8	0.4466 18.8	0.4466 18.8
SO ₄	0.4471 18.9	0.4202 16.5	0.4201 16.5	0.4090 15.6	0.4084 15.5
Tri	0.7152 50.5	0.6796 45.4	0.6851 46.2	0.6146 36.9	0.6229 37.9
SUM2 ⁺	94.8	88.7	89.5	71.3	72.2

n = 73	RA, SA	ART	I	RA	SA
NO ₃	0.4280 17.2	0.5201 26.0	0.3849 13.6	0.4200 16.5	0.4325 17.6
SO ₄	0.3265 9.4	0.4195 16.4	0.3922 14.2	0.3201 9.0	0.3302 9.6
Tri	0.4994 23.9	0.6921 47.2	0.5906 34.0	0.4788 21.8	0.5159 25.6
SUM2 ⁺	50.5	89.6	61.8	47.3	52.8

Tabel 4. Korrelationskoefficienter (til vestre i felterne) og procent varians dækket (til højre) for lineær regression. 73 prøver. ⁺: overføres til tabel 1.

	SARBARHEDSIDA		ART, I, RA		ART, I, SA		ART, RA, SA		I, RA, SA	
NO ₃	5	7	6½	4	6½	5½	3	3	12	9
SO ₄	4	4	2	2	2	3	8	8	11	11
Tri	8	5	5	3	4	2	7	8	9	11
SUM	7	4	6	3	4½	2	4½	8	9	11
TOTAL	7		2		1		8		9	
IALT	51		33½		30½		57½		92	
RANG	7		3		1		8		10	

	ART, I		ART, RA		ART, SA		I, RA		I, SA	
NO ₃	8	8	1½	1½	1½	1½	14	10½	13	10½
SO ₄	2	1	6	5½	5	5½	10	9	9	10
Tri	6	1	3	7	1	6	11	10	10	9
SUM	8	1	2	7	1	6	11	10	10	9
TOTAL	3		5		4		11		10	
IALT	38		38½		31½		96½		90½	
RANG	5		4		2		11		9	

	RA, SA		ART		I		RA		SA	
NO ₃	10	13	4	5½	15	15	11	14	9	12
SO ₄	14	14	7	7	12	12	15	15	13	13
Tri	13	14	2	4	15	12	14	15	12	13
SUM	13	14	2	4	15	12	14	15	12	13
TOTAL	14		6		13		15		12	
IALT	119		43½		121		128		109	
RANG	13		6		14		15		12	

Tabel 5. Rangordning af procent varians dækket. Tallene fra tabel 1 (til venstre i felterne), tabel 2 (til højre) og samlet (i midten).

n = 73	x^3	x^5	x^6	5^x	10^x
NO ₃	0.5519 29.5	0.5664 31.1	0.5699 31.5	0.5705 31.6	0.5737 32.0
SO ₄	0.4036 15.1	0.3727 12.7	0.3594 11.7	0.3597 11.7	0.3346 9.9
Tri	0.7222 51.5	0.7339 53.2	0.7355 53.4	0.7359 53.5	0.7341 53.2
SUM	96.1	97.0	96.6	96.8	95.1

n = 73	x^3	x^5	x^6	5^x	10^x
NO ₃	0.5532 29.6	0.5659 31.1	0.5686 31.4	0.5694 31.5	0.5722 31.8
SO ₄	0.4056 15.3	0.3703 12.5	0.3556 11.4	0.3579 11.6	0.3312 9.7
Tri	0.7369 53.7	0.7430 54.6	0.7421 54.4	0.7427 54.5	0.7372 53.7
SUM	98.6	98.2	97.2	97.6	95.2

n = 73	x^3	x^5	x^6	5^x	10^x
NO ₃	0.5449 28.7	0.5518 29.5	0.5526 29.6	0.5542 29.7	0.5550 29.8
SO ₄	0.3993 14.8	0.3573 11.5	0.3414 10.4	0.3476 10.8	0.3195 8.9
Tri	0.7394 54.0	0.7348 53.3	0.7301 52.6	0.7323 53.0	0.7209 51.3
SUM	96.5	94.3	92.6	93.5	90.0

n = 73	x = SÅRBAR	x = ART, I, SA	x = ART, I
NO ₃	10^x 32.0	10^x 31.8	10^x 29.8
SO ₄	x 17.8	x 18.5	x 18.9
Tri	5^x 53.5	5^x 54.5	x^3 54.0
SUM	103.3	104.8	102.7

Tabel 6. Korrelationskoefficienter (til venstre i felterne) og procent varians dækket (til højre) for ikke-lineær regression. 73 prøver.

- x = sårbarhedsindeks
- x = (ART+I+SA)/3
- x = (ART+I)/2
- sammenstilling af de højeste tal fra a, b og c og angivelse af hvilken ligning, der er benyttet.

n = 73	LIGNING A	LIGNING B	MS _{REG(A-B)}	MS _{RES(A)}	F-TEST
NO ₃	x1 ⁶	x2 ³	7157	597.5	11.98
SO ₄	x1	x2	2225	365.9	6.08
Tri	x1 ⁶	x2 ³	8250	302.9	27.24
K-idx1	x1 ⁶	x2 ³	653	51.9	12.58
K-idx2	x1 ⁶	x2 ³	5450	234.1	23.28
K-idx3	x1 ⁵	x2 ³	3935	332.3	11.84
K-idx4	x1 ³	x2	2.549	0.09654	26.40
K-idx5	x1	x2	8.54	0.3286	25.99
NO ₃	x1 ⁶	x3 ³	9948	597.5	16.65
SO ₄	x1	x3	2389	365.9	6.53
Tri	x1 ⁶	x3	7681	302.9	25.36
K-idx1	x1 ⁶	x3 ³	721	51.9	13.89
K-idx2	x1 ⁶	x3	6606	234.1	28.22
K-idx3	x1 ⁵	x3 ³	4892	332.3	14.72
K-idx4	x1 ³	x3	2.268	0.09654	23.49
K-idx5	x1	x3	4.05	0.3286	12.33

Tabel 7. Benyttede ligninger, MS-værdier og F-værdier for forskelle mellem regressioner.

x1 = sårbarhedsindeks

x2 = MAX(RT) - RT

x3 = MAX(FILTM) - FILTM

F_{KRIT} = 3.98 for DF=1 og 73 og signifikansniveau 5%.

4.4.5 Resultater af regression: Kemiske analyser og sammenstillede kemiindeks som funktion af sårbarhedsindekset, RT og dybde af filtermidte.

For at vurdere sårbarhedsindeksets værdi er regressionsberegninger udført med sårbarhedsindekset, RT og dybden af filtermidte som uafhængige variable og nitrat, sulfat, tritium og 5 sammensatte kemiindeks som afhængige variable.

Den bedste regressionsligning er fundet for hver af sammenhænge mellem hhv. sårbarhedsindekset, RT og filtermidte og hver af de 8 afhængige variable. F-test af forskelle mellem resultaterne af disse regressioner er benyttet til at vurdere fordelene ved at benytte sårbarhedsindekset frem for RT eller filtermidte. Da både RT og filtermidte ved de laveste værdier viser størst indhold af de målte kemiske stoffer, har det været nødvendigt at vende kurverne ved at trække tallene for RT og filtermidte fra de maksimale værdier for RT og filtermidte.

Resultaterne af disse analyser er sammenstillede i tabel 7, der for hver af de 8 afhængige variable (y) viser, hvilken ligning der giver den bedste regression med hhv. X1 (sårbarhedsindekset), X2 (MAX(RT) - RT) og X3 (MAX(FILTM) - FILTM) som uafhængig variabel. Hvis der f.eks. står X1⁶ i tabellen ud for NO₃, betyder det, at den bedste ligning til at vise en sammenhæng mellem sårbarhedsindekset og nitratindholdet på er:

$NO_3 = a + b \cdot (\text{sårbarhedsindeks})^6$, hvor a og b er konstanter, der tilpasses af GENSTAT.

I tabel 7 findes endvidere MS værdierne for forskellen mellem de to regressioner og for residualen efter den bedste regression, og den deraf beregnede F-værdi. Denne F-værdi skal sammenlignes med den kritiske F-værdi, der for hhv. 1 og 73 DF (frihedsgrader) og et valgt signifikansniveau på 5% er 3.98 (Davis, 1973, s. 102).

De sammenfattede resultater af F-test (tabel 7) viser overalt, at sårbarhedsindekset giver en signifikant bedre sammenhæng end både RT og filtermidte. Forskellen er mindst for sulfat og størst for tritium, kemiindeks 2 og kemiindeks 4.

4.4.6 Konklusion på den statistiske behandling.

Statistisk behandling af målinger af kemiske parametre overfor forskellige metoder til at forudsige deres størrelse viser, at

- en ikke-signifikant tendens peger på, at udeladelse af RA eller SA (specielt det første) vil give et forbedret sårbarhedsindeks. Dette støttes af principal komponent analyse for ART, I, RA og SA og lineær regression af sammensætning af 3 af disse parametre som funktion af sårbarhedsindekset.
- bortset fra sulfat og kemiindeks 5 kan en signifikant bedre tilpasning opnås ved at bruge eksponentled i regressionsligningen. Sammenhængen er altså ikke lineær.
- sårbarhedsindekset er signifikant bedre end RT og dybden for midten af filter til at angive en sådan sammenhæng.

4.5 Øvrige kommentarer til sårbarhedskortlægningen.

Foruden resultaterne af de allerede gennemgåede stikprøvetest på kemiske analyser af 75 vandprøver spredt over et stort område af Djursland skal der yderligere knyttes et par kommentarer til sårbarhedskortlægningen og verifikationen heraf.

For det første skal det nævnes, at brintisotopen tritium, som indgår som en meget væsentlig del af verifikationsprojektet, principielt ikke er nogen ideel variabel at verificere med, idet reduktions- og sorptionsforhold ikke belyses heraf. Til den ende må øvrige kemiske variable anvendes (f.eks. nitrat).

For det andet er det i det foregående konstateret, at parameteren ART er den bedst egnede til beskrivelsen af sårbarheden i forhold til de øvrige parametre i forskellige kombinationer. Dette forhold er dog lidt af et tilfælde, idet parameteren ART er defineret som en størrelse, der er proportionel med trykniveau over top af reservoir. Det er dog kendt, at det snarere er trykforskel mellem reservoirer, der ligger over hinanden, som er afgørende for retningen af det potentielle

flow mellem reservoirerne.

For det tredje er parameteren I i sin definition proportional med antallet af lagskift med lag af forskellig kornstørrelse over top af reservoir. Det er indlysende, at en sådan parameters størrelse således er meget afhængig af kendskabet til og detaljerne i de geologiske forhold. Derfor vil parameterens størrelse også være meget afhængig af boringens indberetningskvalitet.

Endelig må det anføres, at denne stikprøvetest kun omfatter en test af kortlægningen i punkter, hvor den forudsagte sårbarhed er direkte beregnelig. Sårbarhedskortlægningen af områderne mellem borerne, som udgør datapunkterne, er ikke undersøgt nærmere. Det er dog klart, at denne kortlægning er fuldstændig afhængig af nøjagtigheden af den geologiske model, som kan opstilles for det aktuelle område, idet det er den geologiske model, som redegør for grundvandsreservoirernes rumlige udbredelse.

5. KONKLUSION

Verifikationen af de præliminære sårbarhedskort udarbejdet under Sårbarhedsprojektets første etape fører til følgende konklusioner:

1. Det er godtgjort, at der eksisterer en korrelation mellem sårbarhedsindekset, som er anvendt til den præliminære sårbarhedskortlægning og de udsagn om sårbarhed, som er indeholdt i de kemiske analyseresultater af 75 udvalgte vandprøver fra Djursland.
2. Korrelationen mellem sårbarhedsindekset og sårbarheden indeholdt i de kemiske analyseresultater findes væsentligst for parametrene tritium (^3H), nitrat (NO_3) og til dels klorid (Cl), mens parametrene fosfat (PO_4), sulfat (SO_4) og iltisotopforhold ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) kun udviser meget dårlig korrelation om nogen overhovedet.
3. Der eksisterer en tydelig korrelation mellem sårbarhedsindekset og sårbarheden indeholdt i 5 nyetablerede "kemiindeks", beregnet på grundlag af de kemiske analyseresultater, som indeholder eller teoretisk kunne indeholde udsagn om sårbarhed eller forureningsmæssig tilstand for de aktuelle grundvandsreservoirer.
4. En statistisk behandling af datamaterialet synes at vise, at en af parametrene RA eller SA kan udelades eller helt erstattes af parameteren RT i sårbarhedsindekset.
5. Sårbarhedsindekset er signifikant bedre end parametrene RT eller dybden til midten af filter (FILTM) til at angive en sammenhæng med de kemiske analyseresultaters indhold.
6. Parametrene ART og I, som indgår i sårbarhedsindekset, bør i deres definition ændres.

7. Den præliminære sårbarhedskortlægning er fuldstændig afhængig af nøjagtigheden af og detaljerigdommen i den geologiske model, som kan opstilles for det aktuelle område.

5.1 Angivelse af behov for videre undersøgelser.

Med afslutningen af dette delprojekt under etape 2 af Sårbarhedsprojektet er det klart, at der stadig eksisterer en del uløste problemer og dårligt kendte eller ukendte parametre af betydning for sårbarheden eller grundvandsbeskyttelsen af grundvandsreservoirer i Danmark.

Et afgørende usikkerhedspunkt er indarbejdelsen af en detaljeret geologisk model i bestræbelserne på at planlægge en grundvandsbeskyttelse.

Til beregning af grundvandsressourcers størrelse og til vurdering af grundvandsforureningsforløb er det af afgørende betydning, at grundvandsdannelsens parametre, herunder nedsivningshastighed og mængde, kendes eller kan bestemmes.

Disse parametre kan muligvis bestemmes på en hensigtsmæssig måde ved hjælp af detaljerede iltisotopundersøgelser i overfladenære dele af den geologiske lagsøjle.

6. REFERENCER

Andersen, L.J., 1966: Tritiumindholdet i grundvandet og dets betydning ved geohydrologiske undersøgelser. Medd. fra Dansk Geol. Forening, København, bd. 16.

Andersen, L.J., Kelstrup, N. and Kristiansen, H., 1980: Chemical Profiles in the Karup Water-table Aquifer, Denmark. In "Nuclear Techniques in Groundwater Pollution Research". IAEA, Vienna, 1980.

Andersen, L.J. and Sevel, T., 1974: Six Years' Environmental Tritium Profiles in the Unsaturated and Saturated Zones, Grøn-høj, Denmark. In "Isotope Techniques in Groundwater Hydrology, 1974", Vol. I. IAEA, Vienna, 1974.

Burgman, J.O., Eriksson, E., Kostov, L. and Westman, F., 1981: Oxygen-18 variation in monthly precipitation over Sweden. Report from Hydrology Division, University of Uppsala.

Dansgaard, W., 1964: Stable isotopes in precipitation. Tellus, 16, 436-468.

Davis, J.C., 1973: Statistics and Data Analysis in Geology. Wiley, New York, 550 pp.

Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1979: Groundwater. - Prentice-Hall Inc., 604 p.

Kristiansen, H., 1978: Vejsaltningens indflydelse på vandrecipienter. Foredrag i Dansk Ingeniørforening, Hygiejneteknisk Faggruppe.

Numerical Algorithms Group Limited, 1980: Genstat. A General Statistical Program. Rothamsted Experimental Station.

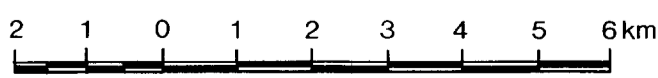
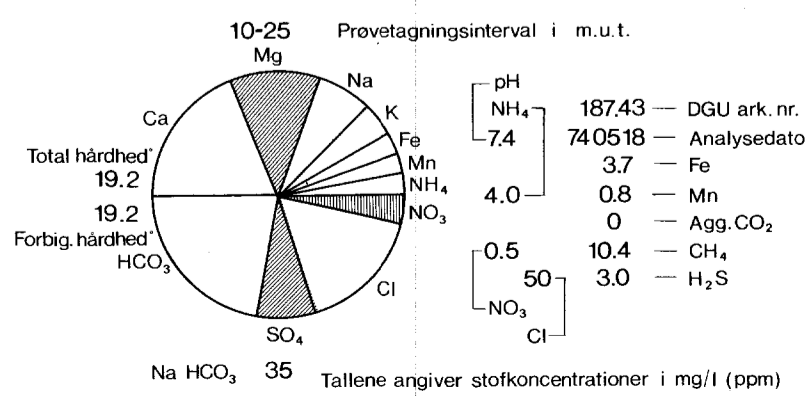
Villumsen, A. og Jacobsen, J., 1977: Mapping of hydrochemical data by computer at the Geological Survey of Denmark. - Danm. geol. Unders. III Række, 46, 26 p.

Villumsen, A., Jacobsen, O.S. and Sønderskov, C., 1981: Mapping the Vulnerability of Aquifers with regard to Surface Pollution. EEC - contract No. ENV 412 DK. Geological Survey of Denmark, October 1981.

Villumsen, A., Jacobsen, O.S. and Sønderskov, C., 1983: Mapping the Vulnerability of Ground Water Reservoirs with regard to Surface Pollution. Danm. Geol. Unders., Årbog, 1982: 17-38, 2 pls., København, 1983.



Figur 7



1:100 000

GRUNDVANDSKEMISK BASISDATAKORT

DGW

Danmarks Geologiske Undersøgelse

I etape 1 af Sårbarhedsprojektet blev der udarbejdet »præliminære sårbarhedskort« for testområdet, Djursland, Danmark. Sårbarhedskortene blev udteget på basis af beregnede sårbarhedsindices på grundlag af data om geologi og grundvandspotentiale.

I dette delprojekt i etape 2 af Sårbarhedsprojektet er det gennem en stikprøvetest godtgjort, at der findes en korrelation mellem sårbarhedsindices og de sårbarhedsudtryk, der er indeholdt i de kemiske analyser af grundvand fra testområdet.

Det konkluderes dog, at berettigelsen af de »præliminære sårbarhedskort« afhænger af selve sårbarhedsindeksets konstruktion, arten af det forurenende stof, hvis »sårende« effekt ønskes forudsagt, samt kendskabet til grundvandsreservoirforholdene – dvs. kendskabet til den geologiske opbygning af det aktuelle område.

GEOLOGISK BIBLIOTEK
Geocenter København



3685781319

Danmarks Geologiske Undersøgelse
Thoravej 31
DK 2400 København
Danmark
Telefon 01 10 66 00

ISBN 87 88640 00 0