

AP

Deponering af højaktivt affald fra danske kernekræftværker

Salthorstundersøgelser

Rapport udarbejdet af
ELKRAFT og ELSAM
Juni 1981

bind I Sammenfatning

bind II Geologi

bind III Materialeprøvning

bind IV Deponeringsanlæg

bind V Sikkerhedsredegørelse



Deponering af højaktivt affald fra danske kernekræftværker

Salthorstundersøgelser

Bind I Sammenfatning

Rapport udarbejdet af ELKRAFT og ELSAM, Juni 1981.

Forord.

ELKRAFT og ELSAM har i fællesskab efter anmodning fra regeringen foretaget undersøgelser og udredninger vedrørende deponering af radioaktivt affald.

Nærværende rapport omhandler fase 2 af dette arbejde og har været rettet mod deponering af højaktivt, glassificeret affald i nordjyske salthorste. Resultaterne af geologiske undersøgelser ved seks horste pegede på Mors-horsten som lovende for fase 2 arbejdet, og hovedindsatsen har været sat ind her. Undersøgelserne har dannet grundlaget for udformning af to alternative deponeringsanlæg, deponering i enkeltstående dybe huller eller i minegange. Med et dybhulsanlæg placeret i Mors-horsten som eksempel er der gennemført en sikkerhedsanalyse med den hensigt at dokumentere, at deponering af højaktivt affald i Danmark kan ske på betryggende måde. Denne dokumentation, som elværkerne finder fyldestgørende, fremlægges til vurdering hos myndighederne.

Dokumentationen af saltstrukturen på Mors har givet grundlag for en mere detaljeret fortolkning af de andre horste i det pågældende område. Det fremgår heraf, at der i store horste som Batum, Mors, Uglev, Vejrum og Mønsted findes stensalt, som er særlig velegnet til etablering af deponeringsanlæg. Disse horste kan derfor indgå i valget, når der til sin tid skal udpeges en foretrukken placering. Forberedelserne til en egentlig byggefase kan henlægges til en periode om 40-50 år, når der eventuelt opstår et behov for et dansk placeret anlæg.

De samlede undersøgelser er gennemført i perioden 1977-1981 incl. en indledende fase 1-undersøgelse, der blev udført på basis af den foreliggende geologiske viden om salthorsten ved Vejrum. Det var resultatet af fase 1 og bedømmelsen heraf, som pegede på, at et deponeringsanlæg for højaktivt affald kan realiseres i en egnet salthorst, og at en sådan med stor sandsynlighed kunne findes blandt de danske horste. På den baggrund tilskyndede regeringen elværkerne til at gennemføre videregående undersøgelser over en 2-årig periode 1979-80. De samlede omkostninger herfor har beløbet sig til godt 80 Mkr.

Indholdsfortegnelse for alle fem bind.

Bind I. Sammenfatning.

1. Resumé.
2. Fase 2-arbejdets forudsætninger.
3. Geologiske undersøgelser.
4. Deponeringsanlæg.
5. Sikkerhedsredegørelse.
6. Referenceliste.

Bilag 1: Delrapporter udarbejdet i forbindelse med fase 2-projektet og løbende fremsendt til myndighederne.

Bilag 2: Liste over geologiske begreber, målemetoder mv.

Bind II. Geologi.

1. Indledning.
2. Geologi af de nordjyske salthorste.
3. Valg af salthorste til undersøgelser.
4. Forundersøgelseernes forløb.
5. Saltboringer incl. elektriske logs.
6. Sondemålinger og andre geofysiske undersøgelser.
7. Hydrogeologiske undersøgelser.
8. Geologisk beskrivelse af de enkelte horste.
9. Egenskaber af mineraler omkring og i salthorsten.
10. Sammenfatning af de geologiske undersøgelser.
11. Referenceliste.

Bilag 1: Delrapporter udarbejdet i forbindelse med fase 2-projektet og løbende fremsendt til myndighederne.

Bilag 2: Resumé af delrapporter vedr. geologi.

Bilag 3: Liste over geologiske begreber, målemetoder mv.

Bind III. Materialeprøvning.

1. Indledning.
2. Kemisk/mineralogiske undersøgelser af stensalt fra boringerne Erslev 1 og 2.
3. Bjergmekaniske undersøgelser af stensalt fra boringerne Erslev 1 og 2.
4. Fysisk/varmetekniske undersøgelser af stensalt fra boringerne Erslev 1 og 2.
5. Hydrogeologiske undersøgelser af formationen over Mors-horsten.
6. Karakterisering af affaldsglas.
7. Karakterisering af forseglingsmaterialer.
8. Karakterisering af indkapslingsmaterialer.
9. Kemisk analyse af stensalt fra Linde nr. 1.

Bilag 1: Delrapporter udarbejdet i forbindelse med fase 2-projektet og løbende fremsendt til myndighederne.

Bilag 2: Resumé af delrapporter vedr. materialeprøvning.

Bind IV. Deponeringsanlæg.

1. Indledning.
2. Højaktivt affald.
3. Affaldsbeholder.
4. Horsten og overliggende lag.
5. Varmespredning fra liniekilde.
6. Skakt-mineanlæg.
7. Dybhulsanlæg.
8. Sammenlignende vurdering af skakt-mine- og dybhulsanlæg.
9. Prækvalifikationstilbud på etablering af dybhulsanlæg.
10. Konklusion.
11. Referenceliste.

Bilag 1: Delrapporter udarbejdet i forbindelse med fase 2-projektet og løbende fremsendt til myndighederne.

Bilag 2: Resumé af delrapporter vedr. deponeringsanlæg.

Bind V. Sikkerhedsredegørelse.

1. Indledning.
2. Affald.
3. Hydrologiske modelberegninger for Mors-området.
4. Undersøgelse af potentielle frigørelsesmekanismer.
5. Vurdering af konsekvenser.
6. Sammenfatning.
7. Referenceliste.

Bilag 1: Delrapporter udarbejdet i forbindelse med fase
2-projektet og løbende fremsendt til myndighederne.

Bilag 2: Resumé af delrapporter vedr. sikkerhedsredegørelse.

INDHOLDSFORTEGNELSE FOR BIND I.

1. RESUMÉ.
 - 1.1. Indledning.
 - 1.2. Undersøgelsernes baggrund og forudsætninger.
 - 1.3. Geologiske undersøgelser.
 - 1.4. Deponeringsanlæg.
 - 1.5. Sikkerhedsredegørelse.
 - 1.6. Vesttyske og amerikanske projekter.
 - 1.7. Hovedresultater.

2. FASE 2-ARBEJDETS FORUDSÆTNINGER.
 - 2.1. Baggrund.
 - 2.2. Etapeinddeling af forarbejder vedr. deponering.
 - 2.3. Tilrettelæggelse af arbejdet.
 - 2.4. Samarbejde med myndighederne.
 - 2.5. Internationale kontakter.

3. GEOLOGISKE UNDERSØGELSER.
 - 3.1. Arbejdets forløb.
 - 3.2. Mors-horsten.
 - 3.3. Linde-horsten.
 - 3.4. Vejrum-horsten.
 - 3.5. Andre horste.

4. DEPONERINGSANLÆG.
 - 4.1. Udformning af anlæg.
 - 4.2. Etablering af anlæg.
 - 4.3. Drift af anlæg.
 - 4.4. Forsegling af anlæg.
 - 4.5. Temperaturfordeling ved anlægget.

5. SIKKERHEDSREDEGØRELSE.

- 5.1. Sikkerhedsfilosofi.
- 5.2. Sikkerhedsundersøgelsernes struktur.
- 5.3. Normale forhold.
- 5.4. Hypotetiske hændelser.
- 5.5. Sammenfatning.

6. REFERENCELISTE.

Bilag 1: Delrapporter udarbejdet i forbindelse med fase 2-projektet og løbende fremsendt til myndighederne.

Bilag 2: Liste over geologiske begreber, målemetoder mv.

1. Resumé.

1.1. Indledning.

I et samarbejde har ELKRAFT og ELSAM foretaget undersøgelser og udredninger vedrørende deponering af radioaktivt affald i nordjyske salthorste. Arbejdet er udført i to etaper. I en første periode 1977-1978 blev der udført indledende undersøgelser, som var baseret på den forhåndenværende geologiske viden (fase 1). Derefter blev der i en periode frem til begyndelsen af 1981 udført omfattende geologiske undersøgelser med tilhørende materialeprøvning (fase 2). På basis af resultaterne herfra er der udarbejdet en sikkerhedsredegørelse med den hensigt at dokumentere, at deponering af højaktivt affald kan ske på betryggende vis i salthorsten på Mors. Det har ikke været hensigten hermed at udpege Mors-horsten til den foretrukne horst. Det endelige valg skal i givet fald først udføres om 40-50 år i en tredje arbejdsfase, som endvidere omfatter egentligt projekteringsarbejde med tilhørende dokumentation af en byggeansøgning til miljøministeren.

Som det fremgår af afsnit 1.7 vil adskillige horste kunne indgå i det endelige valg.

1.2. Undersøgelsernes baggrund og forudsætninger.

Godkendelse med tilhørende vilkår af en ansøgning om bygning og drift af et kernekraftværk i Danmark skal ske ifølge lov om sikkerhedsmæssige og miljømæssige forhold ved atomanlæg mv. fra maj 1976. Kun en del er gældende i dag, idet loven som helhed først træder i kraft ved særlig lov. I sommeren 1976 vedtog den daværende regering at udsætte behandlingen af sidstnævnte lov. Samtidig fremsatte regeringen krav om, at der bl.a. skulle fremskaffes større indsigt i spørgsmål vedrørende en betryggende opbevaring af radioaktivt affald fra et kommende dansk kernekraftprogram.

Efter samråd mellem elværkerne og myndighederne blev det besluttet, at elværkerne skulle gennemføre en indledende undersøgelse af behovet for og mulighederne for et dansk placeret geologisk deponeringsanlæg for højaktivt affald. Arbejdet blev udført på grundlag af den eksisterende geologiske viden om de nordjyske salthorste. Det blev vendt mod deponering af glassificeret højaktivt affald, fordi en aftale om oparbejdning i udlandet af fremtidigt brugt kernebrændsel kan tænkes at indeholde et krav om returnering af sådant affald til Danmark. Undersøgelsen omfattede såvel anlægstekniske som sikkerhedsmæssige forhold, og resultaterne blev fremlagt i en rapport fra juli 1978, ref. 1. Den konkluderede, at deponering af glassificeret affald vil kunne ske i en egnet salthorst, og at en sådan horst med stor sandsynlighed vil kunne udpeges blandt de danske horste i Nordjylland.

Myndighederne vurderede det indledende arbejde positivt og konkluderede bl.a., at undersøgelsen "giver grundlag for en ubetinget positiv vurdering af mulighederne for ved de foreslåede undersøgelser at finde en til betryggende deponering egnet salthorst", ref. 2. Efter anmodning fra regeringen besluttede elværkerne derfor at videreføre arbejdet i en fase 2. Den skulle omfatte feltundersøgelser incl. dybe prøveboringer til udtagning af kerneprøver, hvorpå der kunne udføres materialeprøvning mv. De indvundne data skulle indgå i videregående konstruktions- og sikkerhedsmæssige undersøgelser med den hensigt at dokumentere en egnet salthorst. Til arbejdet er medgået en periode på ca. 2½ år.

Arbejdet videreførtes med samme forudsætninger som for det indledende arbejde i fase 1. I salthorsten skal der kunne deponeres højaktivt affald fra et begrænset dansk kernekraftprogram, der omfatter seks værker á 1000 MW, som idriftsættes igennem 1990'erne og tænkes anvendt som grundlastværker i 25 år. Det brugte brændsel sendes til et oparbejdningsanlæg, hvor det højaktive affald bringes på fast form og udsmeltes med glas i en tyndvægget stålbeholder. Før deponering opbevares kanistrene, se fig. 1.1., med det glassificerede affald på et mellemlager, og derefter vil disse tidligst skulle deponeres 40 år efter, at det brugte brændsel er udtaget fra reaktoren. Det medfører, at deponering ikke er aktuel før år 2040, altså på et tidspunkt, hvor deponeringsteknologi er gennemprøvet i stor målestok i udlandet. Det betragtes derfor som givet, at deponeringsanlægget ikke skal udformes med henblik på at kunne udtage beholderne på et senere tidspunkt, når forsegling af anlægget er udført.

Under arbejdets gang er myndighederne løbende holdt orienteret om undersøgelsen. De har desuden modtaget dokumentationsmaterialet, efterhånden som det er blevet udarbejdet. Efter aflevering af nærværende rapportering til myndighederne vil Miljøstyrelsen gennemføre en vurdering af arbejdets resultater.

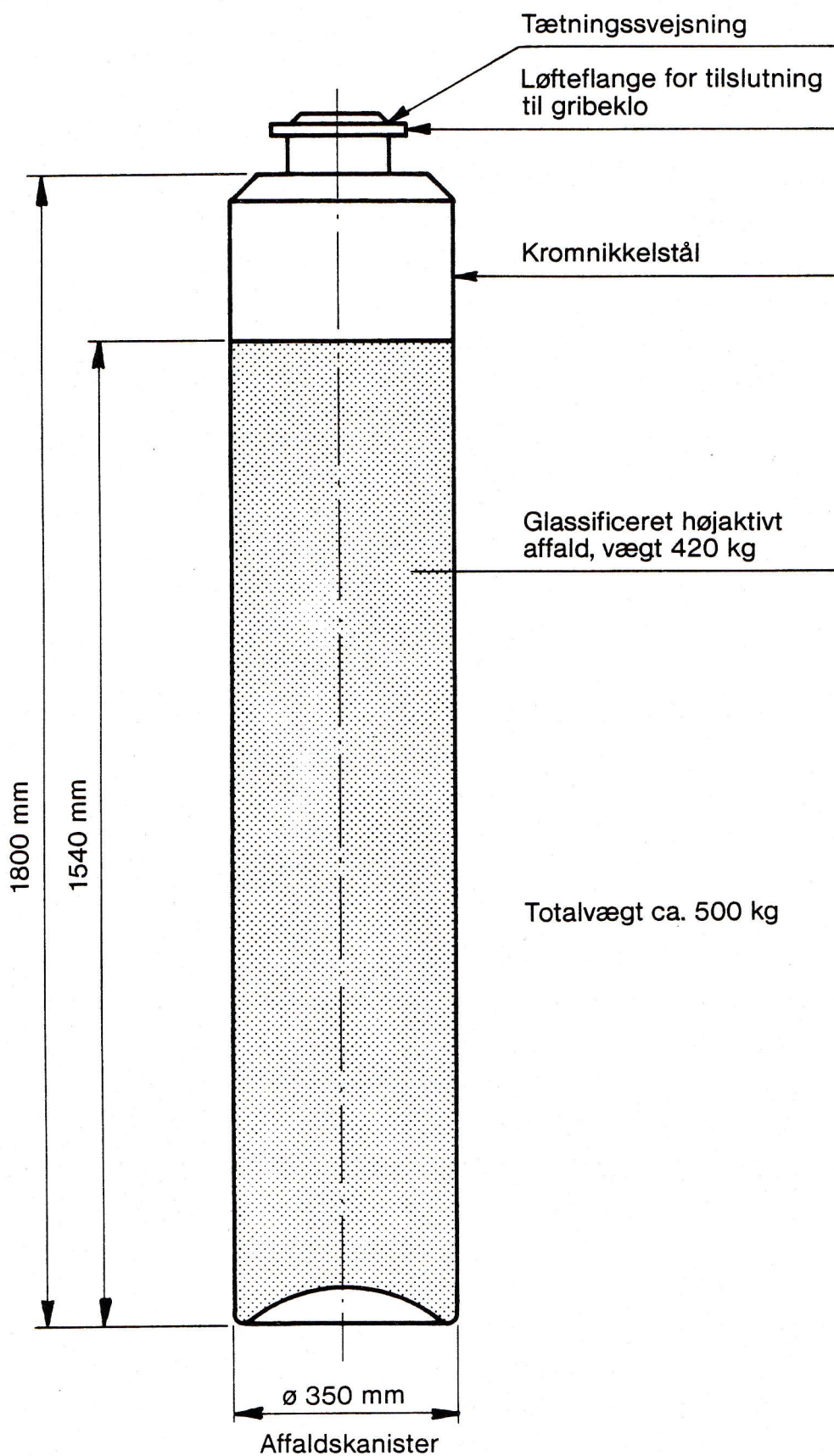


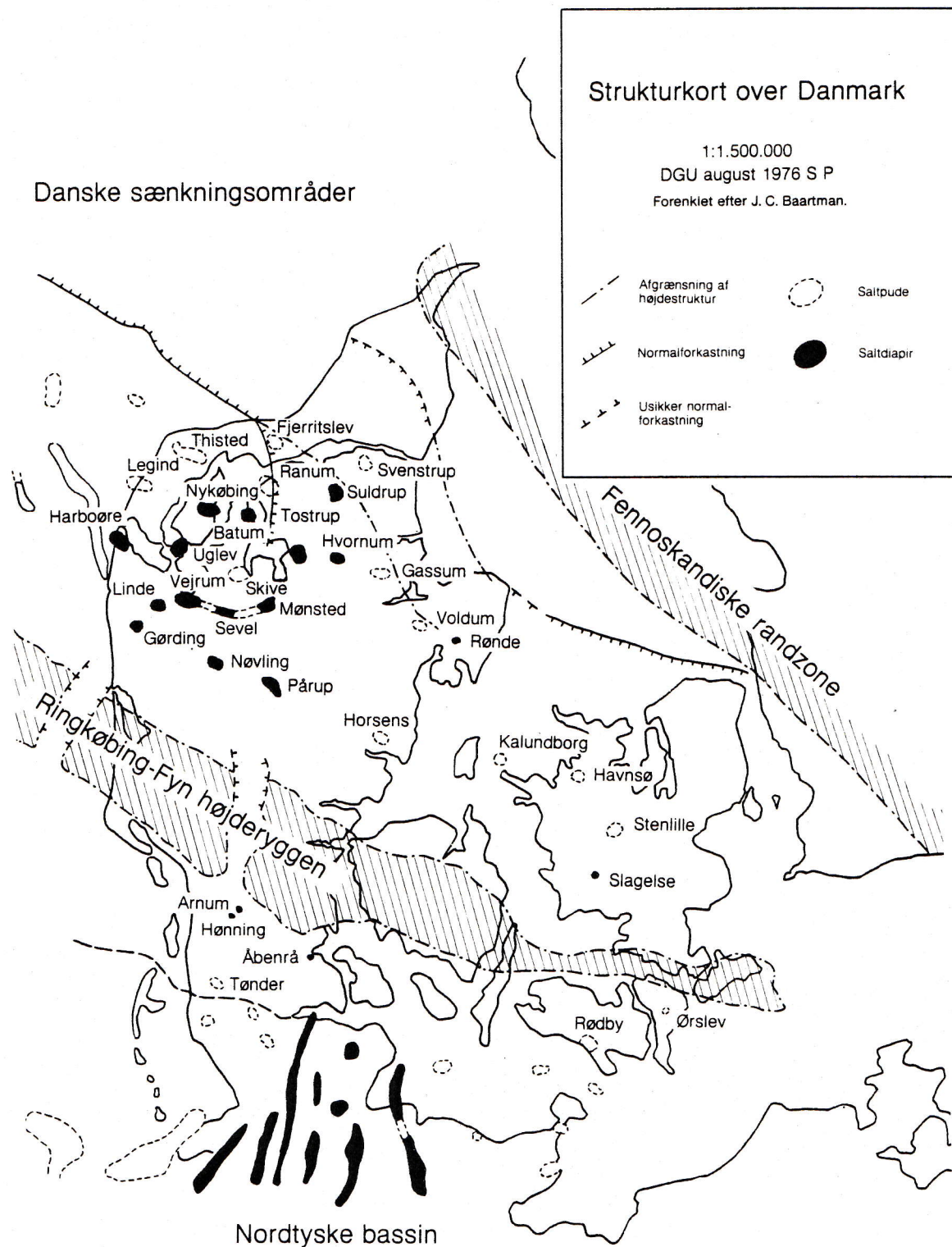
Fig. 1.1.

1.3. Geologiske undersøgelser.

Den indledende fase 1 blev udført på grundlag af materialedata, som var indhentet fra tre dybe prøveboringer i salthorsten Vejrum i 1973, se fig. 1.2. Her undersøgte ELSAM muligheder for at bygge et luftmagasin til et gasturbine-kraftværk. Der er tale om en stor og højtliggende horst, hvor saltet i den centrale del når op til ca. 250 m under terræn. Kerneprøverne fra de tre boringer ned til 1000 m viste, at der blev truffet på meget rent stensalt (natriumklorid).

Horstens top viste tegn på erosion fra grundvand, og det ville derfor i givet fald være nødvendigt at gennemføre et omfattende hydrogeologisk måleprogram, hvis der skulle fremskaffes dokumentation for, at horsten er egnet til et deponeringsanlæg for højaktivt affald. Et sådant program ville sandsynligvis beslaglægge omkring halvdelen af de midler, der var stillet til rådighed for fase 2. Det blev derfor besluttet at iværksætte en efterforskning efter andre salthorste, hvor man forventelig kunne fremskaffe dokumentation for den overliggende hydrogeologi med en mindre indsats end på Vejrum. I hele fase 2 arbejdet har Vejrum derfor spillet rollen som en reserve for det tilfælde, at det ikke skulle lykkes at finde tilfredsstillende resultater andetsteds. Som omtalt senere er kendskabet til Vejrum-horsten blevet udbygget i fase 2 ved hjælp af geofysiske målinger. Resultaterne viser, at der kan lokaliseres et stort område med rent stensalt som forudset i fase 1. Uanset horstens placering i fase 2 arbejdets tilrettelæggelse vil den være selvskreven til at indgå i fremtidige undersøgelser.

Med nævnte formål for øje blev der udvalgt et antal horste, hvor der blev udført geofysiske forundersøgelser. Der var først og fremmest tale om seismiske målinger, men også om gravimetriske og geoelektriske undersøgelser. Fortolkningen af de mange data ledte frem til en beslutning om at byggemodne for to dybe saltboringer på hver



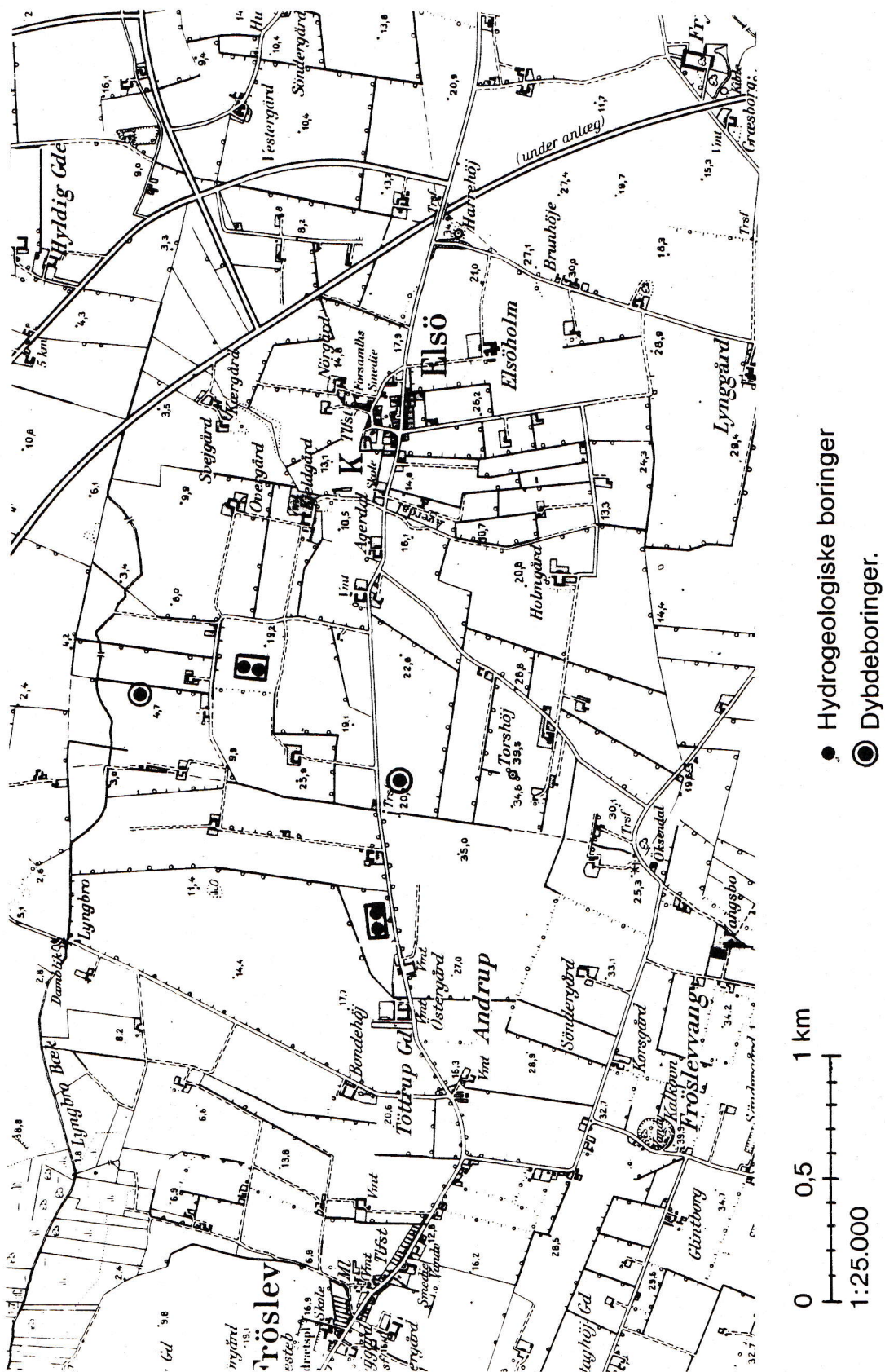
Salthorste i Danmarks undergrund.

Fig. 1.2.

af horstene Linde og Mors. De seismiske fortolkninger af disse viste, at der var tale om dybereliggende horste uden tegn på erosion af horstens overflade. Linde var dybestliggende med saltet op til 1200 m under terræn, mens Mors-horstens salt nåede op til ca. 600 m under terræn.

Ved Linde findes et flere hundrede meter mægtigt lag af tertiært ler ned til 500 m under terræn. Da et sådant lag kan betragtes som uigennemtrængeligt for grundvandet, repræsenterer det en barriere mod spredning af radioaktivt materiale fra et dybereliggende deponeringsanlæg af samme kvalitet som selve horsten. Dette forhold medførte, at den første dybe saltboring blev udført ved Linde i tiden november 1979 - januar 1980. Linde 1 blev ført ned til 2200 m under terræn, hvor der blev fundet rent stensalt. Resultaterne fra kerneprøverne viste imidlertid, at der var tale om uventede og komplicerede geologiske forhold. Det ville ikke være muligt at udføre en anden dybdeboring ved Linde, før der var udført nye, tidskrævende geofysiske undersøgelser på stedet. Boreriggen blev derfor flyttet til Mors.

Mors-horsten er omtrent cirkulær med en diameter på ca. 8 km. Der er blevet udført to dybe saltboringer ned til ca. 3400 m under terræn. Den sidst udførte boring Erslev 2 ligger i det centrale område af horsten, mens den første boring, Erslev 1, ligger ca. 1000 m sydligere, se fig. 1.3. Ved Erslev 2 er der boret i en blanding af stensalt fra de ældste inddampningszoner, Zechstein 1 og 2, ned til ca. 3200 m, hvor boret gik gennem en overgangszone og ned i Zechstein 2. Fortolkning af borekerner og måleresultater fra sondemålinger med elektromagnetisk måleudstyr og borehulsgravimetri viser, at der findes et stort område ved Erslev 2, som består af meget rent natriumklorid med spor af anhydrit (kalciumsulfat), 1-3%. Dette område er blevet benyttet ved de anlægstekniske og sikkerhedsmæssige undersøgelser af et deponeringsanlæg, som nærmere omtalt i afsnit 1.4 og 1.5.



Borepladser på Mors.

Fig.1.3.

De hydrogeologiske forhold i lagene over horstens dæklag (caprock) er udforsket ved hjælp af to borepladser, hver med to boringer ned til 550 m under terræn. De to pladser ligger nær de to dybdeboringer Erslev 1 og Erslev 2. Efter det øverste kvartærslag på ca. 50 m findes lag fra Øvre Kridt, som strækker sig ned til caprock. De dybereliggende kridtlag under ca. 350 m under terræn udviser meget lave permeabiliteter. Dette forhold er gunstigt for sikkerhedsberegningerne for et dybereliggende deponeringsanlæg i horsten, men det har vanskeliggjort udførelse af prøvepumpning og udtagning af repræsentative vandprøver. Måleprogrammerne er derfor blevet udvidet med laboratoriemålinger på kernestykker af 10 cm længde og 1 cm diameter, som udtages af det centrale område af borekernerne. Ved hjælp af disse analyser er der for kernestykker fra forskellige dybder målt data såvel vedrørende hydrologi (porøsitet og permeabilitet) som vedrørende de geokemiske forhold. Alle resultaterne indgår i vurderingen af de sikkerhedsmæssige forhold som omtalt i afsnit 1.5.

Samtidig med de omfattende undersøgelser på Mors blev der udført geofysiske målinger ved Linde og Vejrum. På Linde blev der gennemført gravimetriske målinger såvel fra overfladen som nede i Linde 1 dybdeboringen. Fortolkning af måleresultaterne viser, at Linde er en saltryk med tre toppe. Linde 1 boringen ligger ved den midterste top, som imidlertid først under ca. 2200 m under terræn består af rent stensalt, mens der herover op til ca. 1200 m findes et område, der består af blandet salt og ler. Ved Vejrum blev der udført sondemålinger i dybdeboringen V7, som har stået urørt siden 1973. Der blev udført såvel gravimetriske som elektromagnetiske målinger, som tilsammen bekræfter undersøgelsesresultaterne fra 1973, nemlig at der er tale om et stort område omkring V7, som består af meget rent natriumklorid.

De geofysiske målinger og de mange kerneprøver fra saltboringerne i Mors-horsten har ikke blot givet nye data om saltstrukturen i denne ene horst. De har tillige givet mulighed for en mere detaljeret fortolkning af de oprindelige saltaflejringer i det pågældende område og af de andre horste, som er dannet der i tidens løb. Det mest betydningsfulde resultat er en erkendelse af, at der i nogle af de store horste i området som Batum, Mors, Uglev, Vejrum og Mønsted findes saltområder, som stammer fra de to ældste aflejringer i det gamle havområde fra Perm-tiden. Disse stensalte rummer hverken kalium eller magnesiumholdige mineraler og er derfor særlig velegnede til etablering af et deponeringsanlæg.

1.4. Deponeringsanlæg.

Kendskab til hovedprincipperne for den anlægstekniske indretning af deponeringsanlægget er en nødvendig forudsætning for at kunne redegøre for de sikkerhedsmæssige forhold i forbindelse med deponering af højaktivt affald. Derfor er der udført en indledende skitseprojektering af et anlæg. På baggrund heraf er det muligt at bedømme vekselvirkningen mellem anlægget og den omgivende geologi. Endvidere åbnes der mulighed for at indbygge supplerende barrierer til de geologiske barrierer, som skal forhindre spredning af radioaktivt materiale væk fra anlægget.

Fase 1 behandlede især et skakt-mine-anlæg. Minegangene var tænkt anlagt i et niveau omkring 500m under terræn. Der blev også arbejdet på alternative udformninger, herunder en såkaldt dybhulsløsning bestående af enkeltstående lodrette huller boret fra jordens overflade ned til ca. 3000 m dybde. Skakt-mineanlægget blev foretrukket, da det ville kunne udføres med konventionel teknik i en højtliggende horst som Vejrum.

I fase 2 arbejdet blev undersøgelserne som omtalt i afsnit 1.3 vendt mod mere dybtliggende horste som Linde og Mors. I en sådan situation bliver der tale om minegange i dybder, der ligger på grænsen af det som kendes fra konventionel saltminedrift. Derfor blev hovedindsatsen her rettet mod undersøgelser vedrørende et dybhulsanlæg, således som det er blevet gennemarbejdet for Erslev-2-området på Mors. En nærmere redegørelse for, hvorledes de to typer anlæg adskiller sig fra hinanden, er givet i afsnit 4.1.

Dybhulsanlægget antages udført som 8 dybdeboringer fra terræn ned til en dybde af 2500 m. De 8 boringer ligger på en cirkel med en diameter af 500 m. I hullerne indstøbes et 32" foringsrør ned til 950 m og herfra bores et fritstående hul i salt med en diameter på 75 cm. Det glassificerede affald returneres fra oparbejdningsanlægget i en rustfri stålbeholder med en diameter på 35 cm og en højde på 180 cm. Før deponeringen placeres tre sådanne kanistre i en ydre stålbeholder med 15 cm vægtykkelse. Denne stålbeholder beskytter glasset imod det geostatiske tryk i deponeringshullet. Samtidig afskærmer den saltet mod den radioaktive stråling og sikrer dermed mod radiolyse af evt. vand ved stålbeholderens overflade. I hvert deponeringshul placeres 215 sådanne stålbeholdere oven på hinanden fra 2500 m til 1200 m under terræn. Herefter forsegles de øverste 1200 m af hullet.

Ud over hovedindsatsen på et dybhulsanlæg er der gennemført anlægstekniske undersøgelser af betydning for et evt. skakt-mineanlæg på Mors. På basis af de geologiske data ved Erslev 2 er der gennemført en undersøgelse af, hvorledes der kan bygges en skakt og et minegalleri på stedet. Endvidere er der udført undersøgelser vedr. boring af huller i gulvet i minegangene. Under indtryk af resultaterne fra denne undersøgelse er det i stedet blevet foreslået at placere affaldsbeholderne i langsgående rør i selve minegangene.

1.5. Sikkerhedsredegørelse.

For det forseglede deponeringsanlæg, som det er blevet beskrevet i afsnit 1.4, er der foretaget en systematisk gennemgang af de hændelser, der ville kunne medføre, at radioisotoper når frem til ferskvandsområderne oven over salthorsten. Disse hændelser kan sammenfattes i to hovedgrupper. Den ene omfatter processer, som påvirker salthorstens indre og ydre integritet. Den anden gruppe omfatter hændelser, der er karakteriseret ved alle at være tænkelige, men for hvilke det gælder, at sandsynligheden for, at en sådan hændelse indtræffer, dels er meget lille, og dels er umulig at beregne. Et typisk eksempel fra denne gruppe er en hypotetisk fremtidig prøveboring, som rammer deponeringsanlægget og efterlades med ringe forseglings.

Processerne, der omfatter den første hovedgruppe, rummer geologiske foreteelser som den fortsatte saltopskydning (diapirisme), opløsning af horstens overflader o.lign. Hertil er også indregnet påvirkninger fra isbevægelser i fremtidige istider, som forventes at ville indtræffe. Gruppen rummer desuden fysisk-kemiske foreteelser hidrørende fra vekselvirkningen mellem deponeringsanlægget og dets omgivelser. Hertil hører f.eks. brinemigration som følge af det svage temperaturfelt, der skabes af de radioaktive materialer. Alle disse processer er blevet undersøgt med udgangspunkt i de materialedata og geologiske data, som er blevet indvundet fra Mors-horsten. Resultaterne viser, at disse processer ikke kan frigøre radioisotoper fra det skitseprojekterede deponeringsanlæg og medføre en transport af radioaktivt materiale op til ferskvandsområder.

Hvad angår jordskælv betragtes Danmark som et fredeligt sted i lighed med Skandinavien og Nordtyskland. Der er registreret ca. 50 jordskælv i Danmark, og det største indtraf i 1841 med en intensitet på VII (MKS-skala). Det menes at have haft sit epicentrum i Thy og at være udløst i en dybde af ca. 30 km. Nordvestjylland er det område i Danmark, hvorfra der er registreret flest jordskælv. Herfra eller måske snarere fra Nordsøen nordvest for Thy stammer halvdelen af de danske jordskælv. De største jordskælv ved de dansk-norsk-svenske landområder har haft intensiteter VII til VIII, hvor der netop begynder at optræde synlige bygningsskader i det ramte område. De kan imidlertid ikke beskadige underjordiske konstruktioner i en delvis plastisk salthorst. Virkninger på deponeringen af selv endnu kraftigere jordskælv end de hidtil kendte kan også bedømmes ved at undersøge indflydelsen af eventuelle fremtidige forkastninger i lagene under eller over horsten. Som omtalt i det følgende vil selv en meget stor hypotetisk forkastning under salthorstens bund imidlertid være uden betydning for anlægget.

Resultaterne af den seismiske opmåling af Mors-horsten og de omgivende lag har givet grundlag for en geologisk bedømmelse af horstens udviklingshistorie og dermed dens diapirisme. Det har tillige været muligt at undersøge horstens opskydning ved hjælp af en regnemaskinmodel, som er blevet udviklet hos forskningsinstituttet Battelle i Vesttyskland. Den beregner den rumlige fordeling af horstens opskydning på grundlag af horstens geometri og materialedata for saltet og de omgivende og overliggende lag. Resultaterne viser, at den lodrette bevægelse i det centrale område af horsten nu er meget lille, 0,6-1 mm pr. 1000 år. Med regnemaskinmodellen er det også eftervist, at såvel temperaturfeltet, der hidrører fra deponeringsanlægget, som en hypotetisk forkastning i salthorstens bund med en resulterende lodret forskydning på 50 m vil være uden betydning for anlæggets integritet.

Resultaterne af de hydrogeologiske målinger og materialeprøver fra kridt- og kalklagene over horsten har givet grundlaget for en bedømmelse af den opløsningsmekanisme, som fungerer hen over horstens øvre dæklag (caprock) på grund af de eksisterende grundvandsforhold. Det fremgår af undersøgelserne, at de tætte kridt- og kalkformationer kun giver plads for en meget langsom ydre opløsning af den eksisterende saltoverflade svarende til ca. 2-4 mm salt pr. 1000 år. Ved udformning af anlægget udlægges en zone af stensalt på 500 m mellem horstens top og de øverste beholdere. Herved er der bl.a. taget højde for virkningerne fra en sådan ydre opløsning.

Målinger på kerneprøverne fra Erslev 2-salt viser et lille vandindhold varierende mellem 0-0,1%, og kerneprøverne sammenholdt med sondemålingerne viser ingen gennemgaaende anhydritlag. Det må derfor antages, at et vandindbrud til deponeringsområdet kun kan ske i forbindelse med fremtidige prøveboringer eller lignende. I tilfælde af, at en prøveboring rammer deponeringen og senere efterlades uden forsegling, ville der være skabt en forbindelsesvej mellem deponeringsområdet og de dybe grundvandsområder over horsten via en vandsøjle. Forbindelsesvejen vil med tiden lukkes igen på grund af saltets plasticitet. Mens den er åben, vil der ske en tæring af beholdervæggene. Beregninger viser, at tæringen næppe når igennem. I tilfælde af, at det postuleres, at beholdervæggen er virkningsløs, kan der sive radioaktive stoffer gennem en evt. defekt forsegling og op til de dybtliggende kalklag. Her tilbageholdes de og henfalder med det resultat, at kun ubetydelige mængder ville kunne nå op til ferskvandsområder.

1.6. Vesttyske og amerikanske projekter.

I hele fase 2 arbejdet har der været nær kontakt med tilsvarende undersøgelser specielt i Vesttyskland og i USA.

Det vesttyske projekt omfatter dybe saltboringer og hydrogeologiske boringer ved salthorsten Gorleben, ref. 3. Her planlægger man et skakt-mine-anlæg, som skal kunne tages i brug fra midten af 1990'erne. De i denne rapport omtalte salthorstundersøgelser er gennemført med indsats af nogle af de samme konsulentfirmaer og boreentreprenører, som arbejder på Gorleben. Der har desuden været faglig kontakt med Bundesanstalt für Geowissenschaft und Rohstoffe, som forestår de geologiske undersøgelser ved Gorleben.

Det amerikanske projekt ONWI (Office of Nuclear Waste Isolation) omfatter et meget bredt anlagt arbejde, idet man undersøger en række forskellige bjergarter som Basalt og Granit. Også salt og salthorste omfattes af ONWI's arbejde, ref. 4. Fra det danske projekt har der været foretaget flere studierejser til nogle af de laboratorier, som arbejder for ONWI. Herigennem har det tillige været muligt at få kontakt med det arbejde, som udføres af Nuclear Regulatory Commission for at udforme sikkerhedskriterier, der skal anvendes ved anlæg og drift af deponeringsanlæg for højaktivt affald, ref. 5 og 6.

1.7. Hovedresultater.

Et stort saltområde bestående af rent natriumklorid med spredte spor af anhydrit (kalciumsulfat) og lavt vandindhold varierende mellem 0 og 0,1% er lokaliseret ved to dybe saltboringer i horsten på Mors. Med dette område som eksempel er det anlægsteknisk dokumenteret, at der her med brug af kendt teknologi vil kunne placeres et deponeringsanlæg i form af otte dybe boringer med stor diameter til 2500 m dybde. Det er endvidere teknisk muligt at indkapsle affaldet i stålbeholdere, sådan at affaldet bliver beskyttet mod saltformationens mekaniske påvirkninger samt mod udludning.

For det forseglede anlæg med den omgivende geologi er der udført en sikkerhedsredegørelse omfattende glasset, hvori det højaktive affald er indlejret, stålbeholderen, saltet, horsten og kalklagene over horsten. Den viser, at kun begivenheder, som indbefatter vandindtrængning til anlægget f.eks. via fremtidige menneskeskabte forstyrrelser, har potentiel betydning for sikkerheden. Undersøgelsesresultaterne viser, at selv ekstreme situationer medfører så små lækager af radioaktivitet fra systemet, at der efter opblanding i ferskvandsområder er tale om koncentrationer, som er ubetydelige i forhold til de værdier, der hidrører fra det naturlige indhold af radioaktivitet.

Kerneprøverne fra de to saltboringer er tillige indgået i en fornyet gennemgang af eksisterende kerneprøver fra tidligere saltboringer i andre større horste i området. Det fremgår heraf, at horste som Batum, Mors, Uglev, Vejrum og Mønsted rummer saltområder, som er særlig velegnet til placering af et deponeringsanlæg. Disse horste kan derfor indgå i valget, når der til sin tid skal udpeges en foretrukken placering af et evt. dansk anlæg.