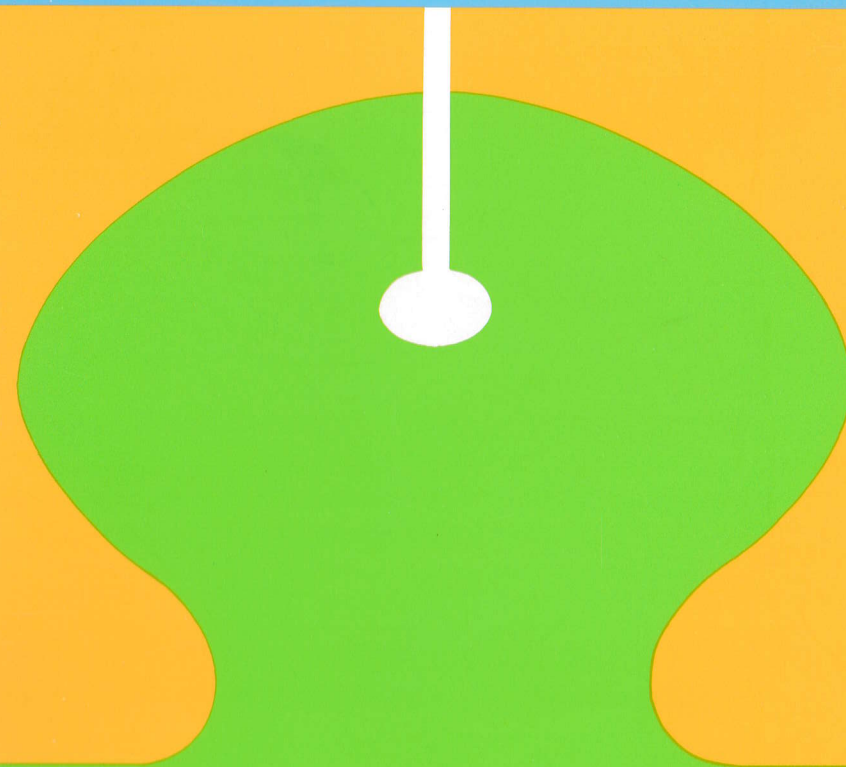


AP

Deponering af højaktivt affald fra danske kernekræftværker

En sammenfatning



Elkraft + Elsam

Baggrund og formål

I begyndelsen af 1977 besluttede ELKRAFT's og ELSAM's bestyrelser at starte en undersøgelse vedrørende deponering af højaktivt affald fra danske kernekraftværker.

Undersøgelsen skal ses på baggrund af, at regeringen i 1976 udsatte principbeslutningen om kernekraft i Danmark. Det skete bl.a. ud fra et ønske om yderligere at undersøge affaldsspørgsmålet.

Formålet med arbejdet har derfor været at skaffe større indsigt i forholdene vedrørende betryggende opbevaring af radioaktivt affald.

Konklusion

I undersøgelsen har man behandlet behovet og mulighederne for et dansk placeret deponeringsanlæg for højaktivt affald fra danske kernekraftværker. Arbejdet er udført af ELKRAFT og ELSAM i fællesskab.

Elværkerne finder, at det er nødvendigt at gennemføre undersøgelser vedrørende et dansk anlæg. Det skyldes, at man vil være forberedt på i givet fald at kunne deponere højaktivt affald i Danmark.

Man har i øvrigt koncentreret arbejdet om deponeringsanlæg i sten-salt. Salt frembyder nemlig en række fordele ved deponeringen, f.eks. tåler det varmeudviklingen fra det højaktive affald. Endvidere er tilsvarende anlæg planlagt bygget og idriftsat i udlandet i løbet af den næste halve snes år.

Undersøgelsen bekræfter, at et deponeringsanlæg kan realiseres i en egnet salthorst, og at sådanne med stor sandsynlighed kan findes blandt de danske horste.

Arbejdet viser, at deponering af affaldet i en salthorst er en meget sikker opbevaringsmetode. Desuden synes horstens opbygning og saltets sammensætning ikke at være særligt afgørende.

Undersøgelserne tænkes videreført i en etape 2, hvor man grundigt undersøger et mindre antal salthorste. Omfanget af arbejdet planlægges i samarbejde med myndighederne. Varigheden af etape 2 skønnes til et par år.

Brændselskredsløbet.

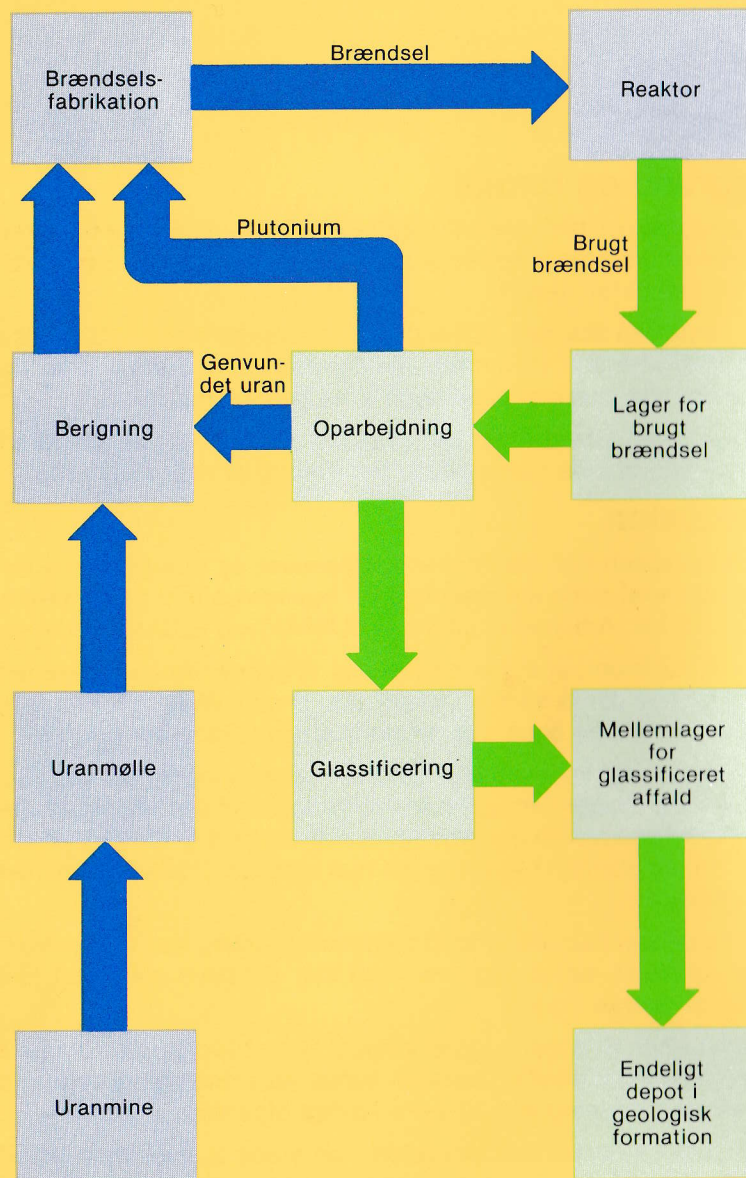


Fig. 1

Etape 3, der i givet fald tidligst skal påbegyndes efter år 2000, skal danne baggrund for en egentlig byggeansøgning for et sådant anlæg. I forbindelse med gennemførelsen af etape 3 er det væsentligt at bemærke, at man til den tid har gennemprøvede anlæg i drift i udlandet. Det medfører, at teknisk bistand og udstyr vil kunne købes hos velkvalificerede, udenlandske firmaer.

Undersøgelsen

Det nukleare brændselskredsløb er vist på fig. 1. De dele af kredsløbet, der indgår i arbejdet, er vist med grønt.

Produktion og behandling af højkaktivt affald

I forbindelse med den årlige revisionsperiode på et kernekraftværk udskiftes mellem en fjerdedel og en trediedel af brændselselementerne. De brugte elementers sammensætning fremgår af fig. 2.

Brugt brændsel.

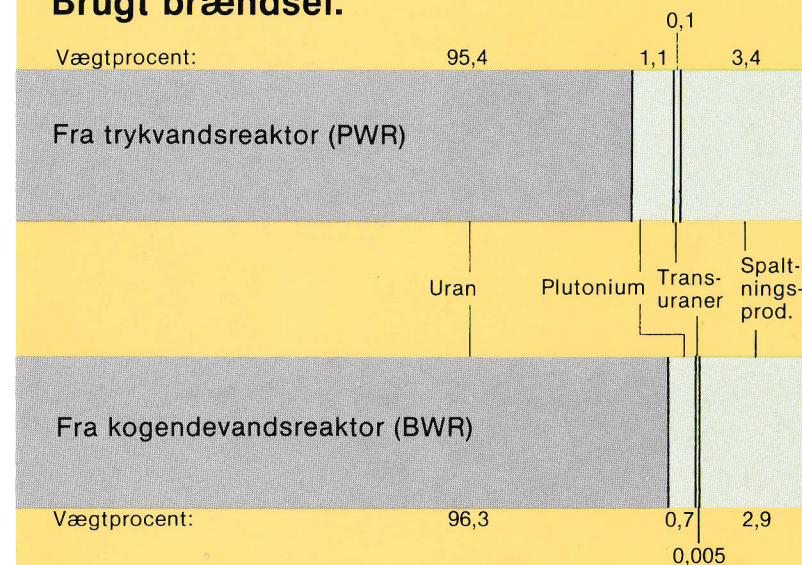


Fig. 2

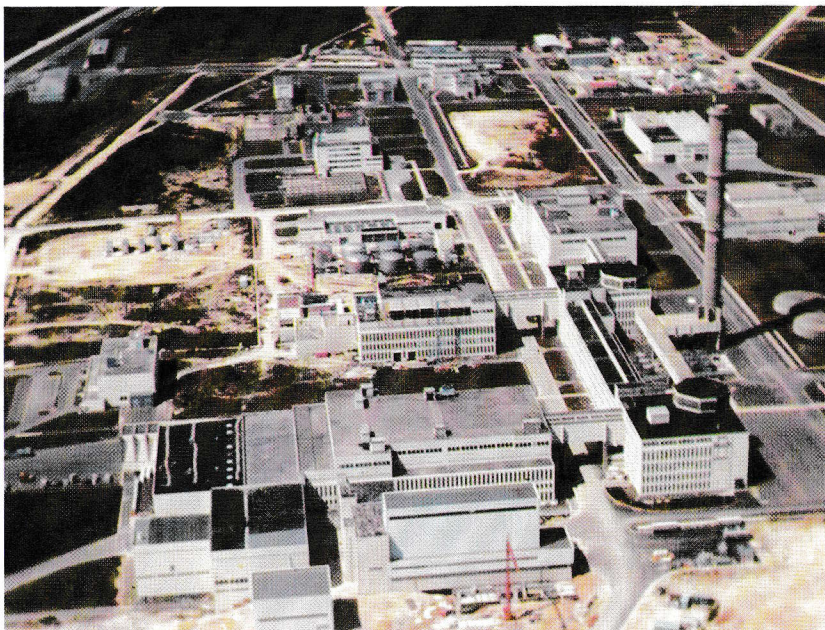


Fig. 3. Oparbejdningsanlægget ved la Haque i Frankrig.

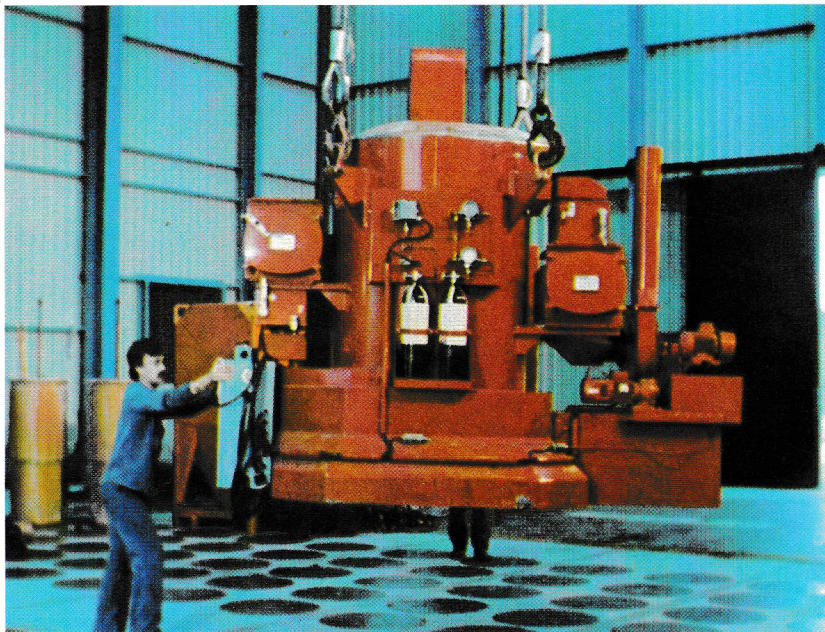


Fig. 4. Lager for højaktivt glas på glassificeringsanlægget i Marcoule i Frankrig.

Opbevaring af brugt brændsel

Det brugte brændsel opbevares mindst seks måneder i brændselsbassinerne på kernekraftværket. Derefter transporteres det til et oparbejdningsanlæg. Man bygger i øvrigt rigelig lagerkapacitet, således at afsendelsestidspunktet fra værket kan udskydes, hvis det ønskes.

Oparbejdningen forventes at finde sted på et udenlandsk anlæg 2-10 år efter, at brændslet er taget ud af reaktoren. Se fig. 3.

Oparbejdning

Ved oparbejdningen af det brugte brændsel klippes brændselsstavene i 5-8 cm lange stykker. Disse overføres til et syrebade, hvor brændslet opløses. Af denne opløsning udvindes uran og plutonium.

Det udvundne uran anvendes til fremstilling af nye brændselselementer. Plutonium kan enten anvendes i brændsel til letvandsreaktorer, eller det kan gemmes til brug i hurtige formeringsreaktorer. Genanvendelsen af uran og plutonium reducerer forbruget af råuran med omkring en trediedel.

Den tilbageblevne opløsning, der indeholder alle spaltningsprodukter og transuraner samt små mængder uran og plutonium, udgør det højaktive affald. Det opbevares på oparbejdningsanlægget i specielle dobbeltvæggede tankanlæg.

Glassificering

Efter adskillige års opbevaring indampes og tørres det højaktive affald til et pulver. Pulveret smeltes sammen med glassdannende emner, hvorved affaldet bliver en del af selve glassmassen. Glasset fyldes i cylindre af rustfrit stål. Cylindrene lukkes ved påsvejsning af et gastæt låg. Se fig. 4 og 5.

Det glassificerede højaktive affald fra et stort kernekraftværk, hvor der udskiftes ca. 30 tons brændsel om året, udgør ca. 4,5 m³ glas pr. år svarende til 30 cylindre om året.

Mellemlager

Stålcylindrene opbevares på oparbejdningsanlægget i 10 til 20 år på et mellemlager, inden den endelige deponering i et geologisk deponeringsanlæg kan finde sted. Ved denne mellemlagring aftager affaldets varmeudvikling. Det er en fordel ved den endelige deponering, fordi varmepåvirkningen af de geologiske formationer derved bliver meget lille.

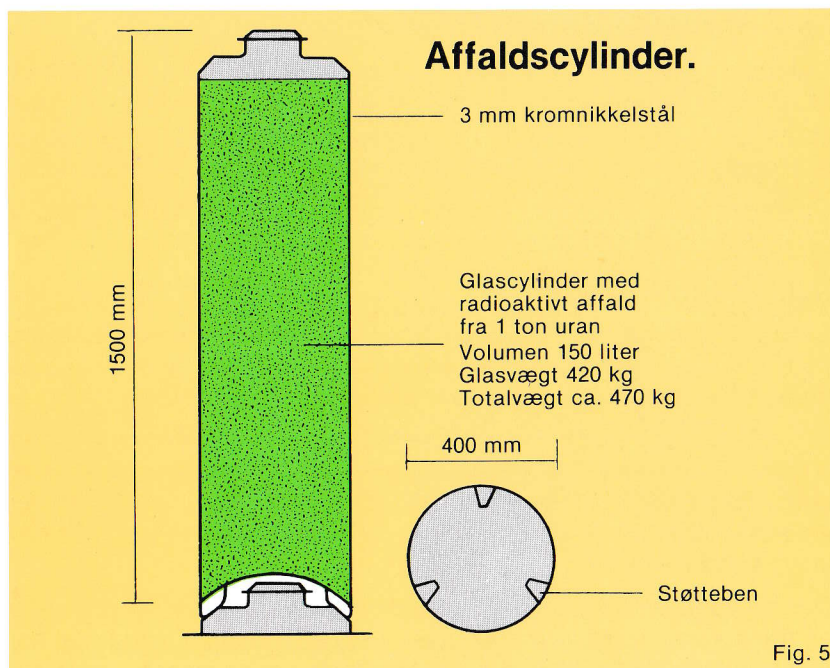


Fig. 5

År	Driftstart	Brugt brændsel (tons uran)		Stålcylindre med affald retur	
		Årligt	Totalt	Årligt	Totalt
1985	kraftværk				
1990	kraftværk	29	29		
91		29	58		
92	kraftværk	58	115		
93		58	174		
94	kraftværk	87	281		
95		87	348		
96	kraftværk	115	464		
97		115	580		
98	kraftværk	145	725		
99		145	870		
2000	mellemlager	174	1044	29	29
05		174	1914	87	348
10		174	2784	174	1044
15		174	3654	174	1914
20	depon.anlæg	174	4524	174	2784
30		174	6264	174	4524

Fig. 6

Mellemlager i Danmark

Returneres det højaktive affald til Danmark, vil affaldscylindrene blive opbevaret i et mellemlager af samme type som det, der findes på oparbejdningsanlægget.

Endelig deponering

Efter en opbevaringsperiode på mellemlageret på mindst 20 år deponeres affaldscylindrene.

Mængden af højaktivt affald fra et dansk kernekraftprogram

Udbygningstakten for kernekraftværker i Danmark antages at omfatte 6 letvandsreaktoranlæg. Anlæggene tænkes idriftsat i 1988, 1990, 1994, 1996 og 1998.

Mængderne af brugt brændsel og antallet af stålcylindre med glassificeret affald fremgår af fig. 6. De første stålcylindre med affald fremkommer i år 2000. Fra 2010 vil der årligt produceres 174 stålcylindre fra de seks reaktoranlæg.

Deponeringen af det højaktive affald skal i givet fald foregå fra omkring år 2020. Deponeringsforløbet fremgår af fig. 7.

Danske saltforekomster

I Danmark findes der to velkendte områder med saltforekomster. Det ene af områderne findes i den sydlige del af Danmark. Saltlagene her er en del af de store nordvesttyske saltforekomster. De findes i forskellige områder mellem Tønder og Rødby i varierende dybder fra 1500 meter og nedefter. Tykkelsen er ofte over 400 meter.

Det andet område findes i Nordjylland. Her findes salt i 4000-5000 meters dybde. Endvidere findes der en del salthorste, der i visse tilfælde ligger mindre end 300 meter under jordoverfladen. Se fig. 8.

Saltlagene i både Nordjylland og Syddanmark rummer sandsynligvis områder, hvor deponering af affaldet er mulig, men de højere liggende salthorste i Nordjylland frembyder konstruktive fordele. Man har derfor valgt at undersøge muligheden for et anlæg til slutdeponering i en salthorst.

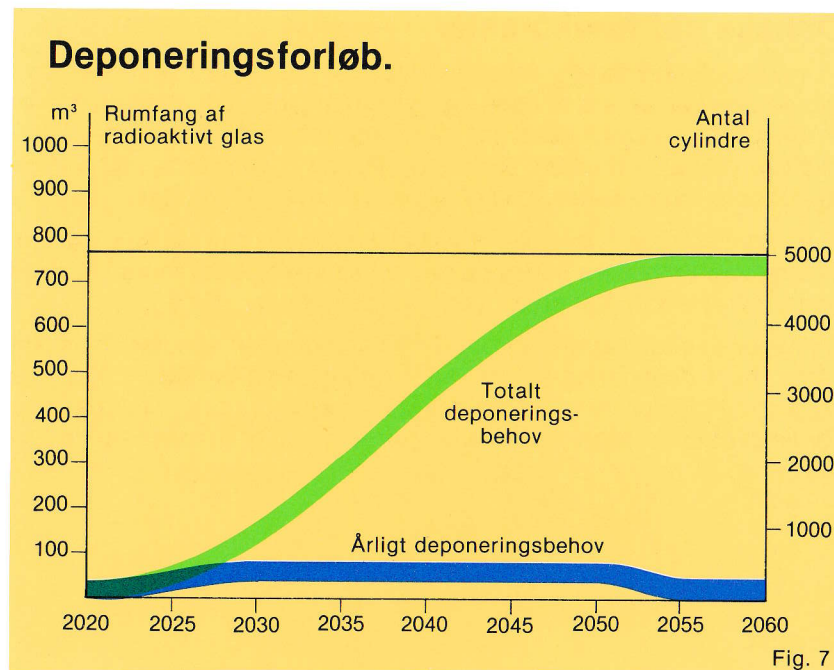
Udformning af et slutdeponeringsanlæg i en dansk salthorst

I 1973 foretog ELSAM prøveboringer til 1000 meters dybde i en salthorst for at undersøge muligheden for at bygge et luftmagasinkraftværk. Ved undersøgelsen anvendte man det franske firma GEOSTOCK som rådgiver. Geologien og saltets egenskaber er således tilstrækkeligt kendt til, at man har kunnet udarbejde et forslag til et deponeringsanlæg. GEOSTOCK har medvirket i arbejdet.

Krav til deponeringsanlægget

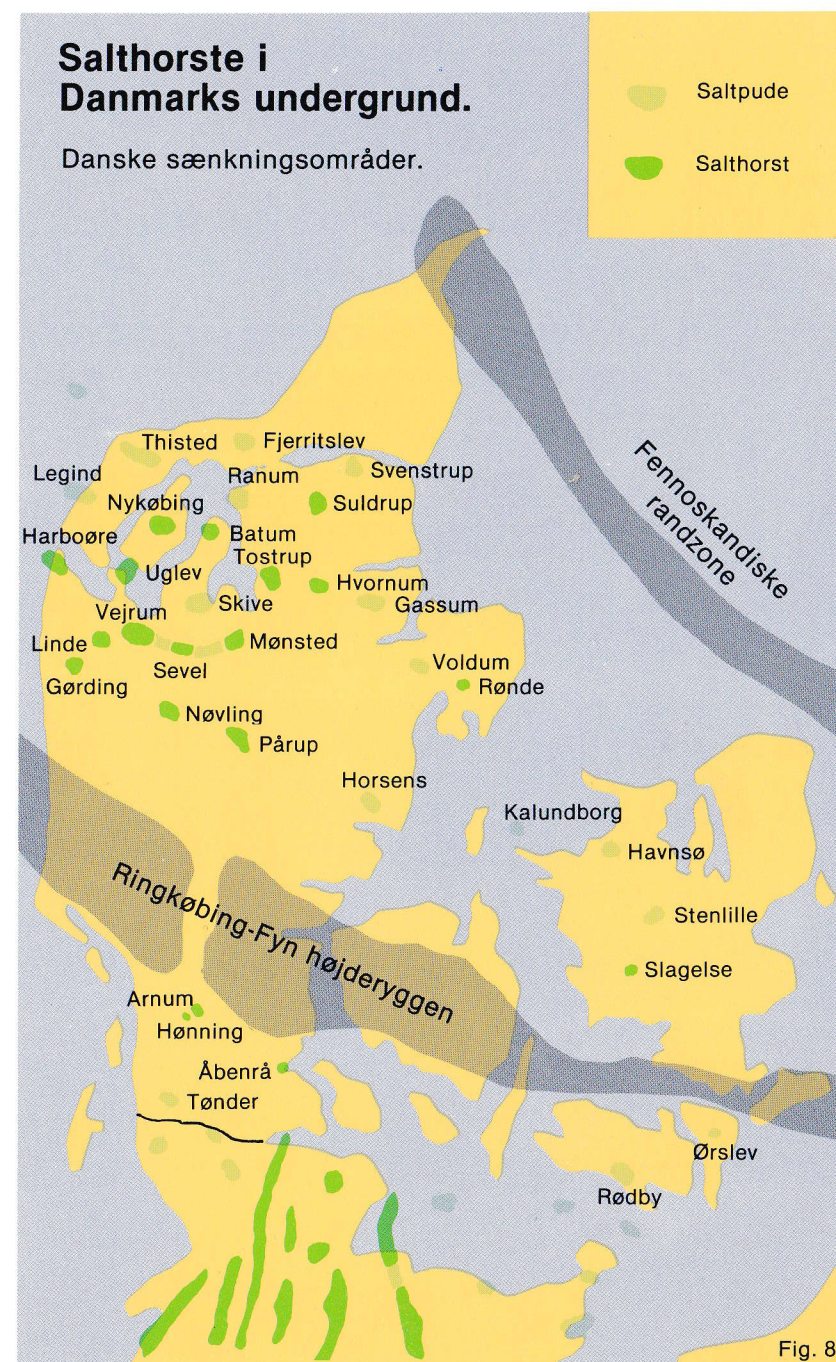
Hovedkravet til deponeringen er, at forurening af miljøet undgås. Dette opnås først og fremmest gennem saltets tæthed og ved den forsegling, som de omgivende lag yder.

Salthorstene er opstået ved, at salt fra 3-5 km's dybde er trængt op gennem de overliggende aflejringer, hvilket især skyldes saltets opdrift og plasticitet. Ved saltoverfladen opløses saltet af grundvandet, og de uopløselige mineraler bliver tilbage. Disse uopløselige mineraler danner et uigennemtrængeligt lag over salthorsten. Saltets plastiske egenskaber medfører desuden, at opståede revner og kløfter lukkes igen og således forseglor horstens indre fra omgivelserne.

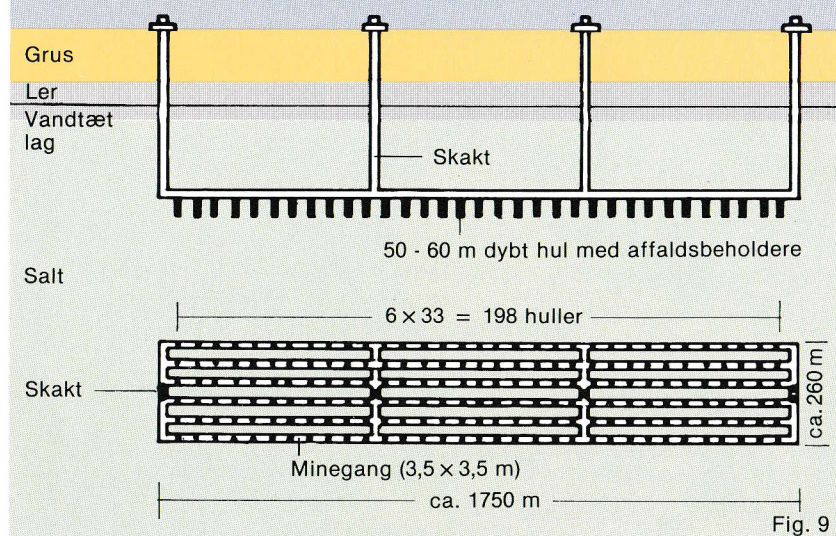


Salthorste i Danmarks undergrund.

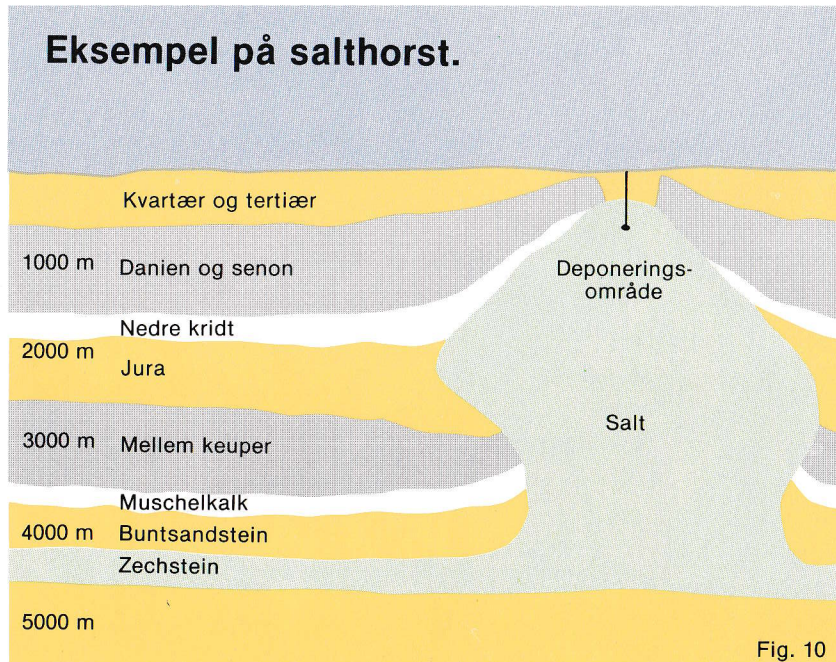
Danske sænkingsområder.



Depotudformning.



Eksempel på salthorst.



Salthorstenes stabilitet fremgår af, at de har eksisteret i ca. 200 millioner år, og at de har overlevet enorme geologiske forandringer. De danske salthorste vil derfor fortsat eksistere i en fjern fremtid.

I en egnet salthorst vil et deponeringsanlæg kunne udføres, såfremt følgende krav er opfyldt:

- Der er tilstrækkelig tykkelse af ren salt mellem affaldet og de omgivende jordlag. En minimumstykkelse på 200 meter tilstræbes.
- Det tilstræbes, at stråling og varme fra affaldet ikke ændrer saltets egenskaber.
- Der sørges for, at menneskeskabte konstruktioner, som f.eks. borehuller, minegange og skakte, er sikre, og at forseglingen af disse er bestandig og tæt.
- Temperaturen i glascylindrene holdes så lav, at glasset ikke beskadiges.

Beskrivelse af deponeringsanlægget

Med udgangspunkt i de omtalte krav beskrives et forslag til et deponeringsanlæg i en salthorst. Forslaget er et af flere mulige. Den endelige udformning må selvfølgelig tilpasses den udvalgte salthorst. Depotudformningen fremgår af fig. 9 og 10.

De viste skakte benyttes til transport af affald, personer, materialer, serviceudstyr og til ventilation.

I forslaget er deponeringsdybden 500 meter under jordoverfladen. I den endelige udformning vil man sandsynligvis placere anlægget i en dybde mellem 500 og 1000 meter.

Adgangsskaktene

Bygningen af skakte er velkendt teknologi og kan udføres på flere måder. Skaktene udføres vandtætte ved foring med stålringe. Når skakten er ført ca. 50 meter ned i et tæt saltlag, bygges der en ny selvstændig skakt med vægge af vandtæt jernbeton. Hulrummet mellem den udvendige stålforing og jorden cementeres, medens rummet mellem stålforing og jernbetonvæg fyldes med asfalt. Se fig. 11.

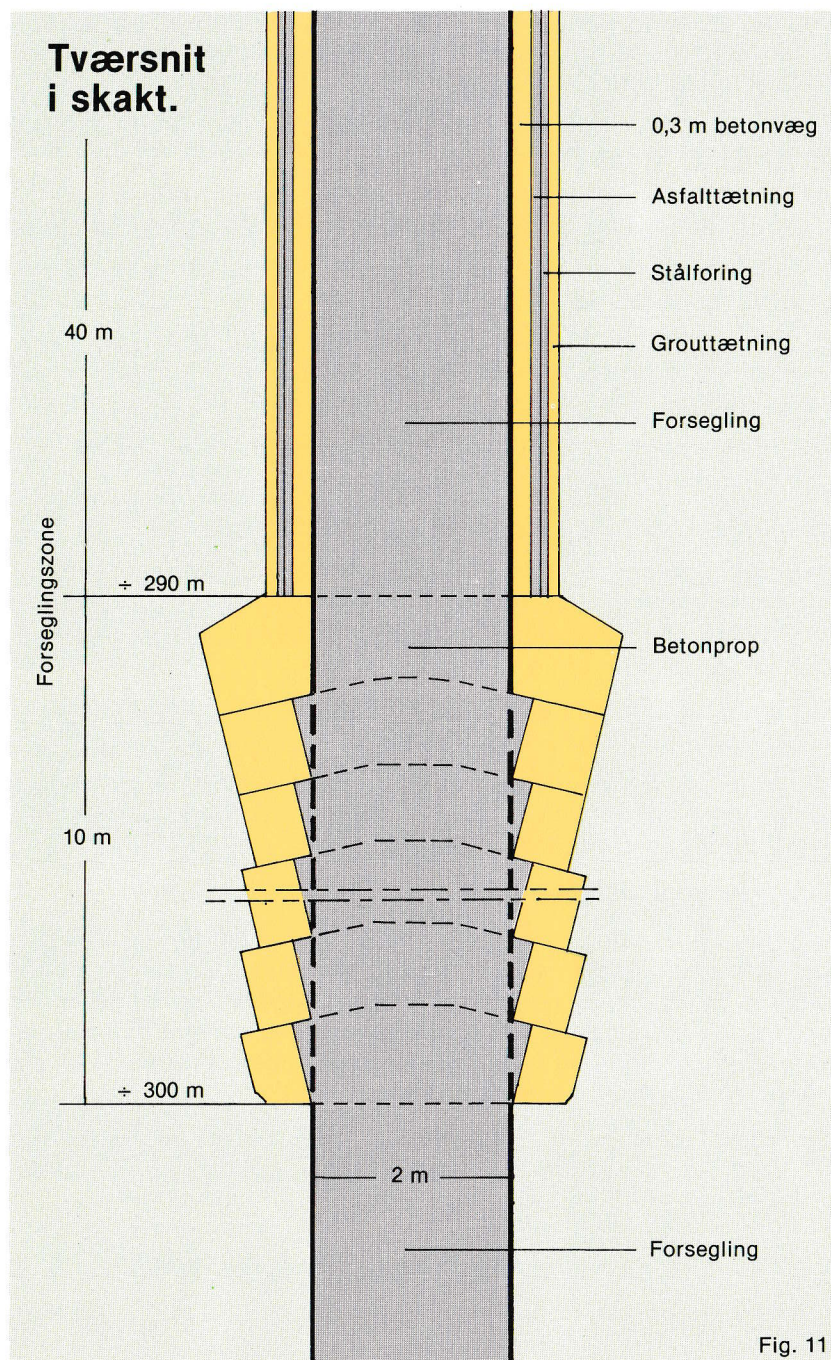


Fig. 11

Minegange og borehuller

Minegangene hugges til det tværsnit, der er vist på fig. 12. Der udføres seks parallelle minegange placeret med en indbyrdes afstand på 50 meter. Minegangene placeres med mindst 200 meter salt af god kvalitet til alle sider.

Fra minegangene bores der 50-60 meter dybe huller med en diameter på 60 cm til affaldscyindrene. Efter boringen kontrolleres saltkvaliteten. Er den acceptabel, sænker man 27 affaldscyindrene i hullet, hvorefter hullet forsegles med salt. Kombinationen af denne forsegling og den tætning, som automatisk opnås gennem saltets plasticitet, sikrer en fuldstændig lukning af borehullet.

Affaldscyindrene er placeret så dybt i saltet, at strålingsniveauet i minegangene efter forsegling af borehullet vil være betydningsløst. Se fig. 12.

Endelig forsegling af anlægget

Deponeringsanlægget vil blive endeligt forseglet, når man efter en passende kontrolperiode har opnået sikkerhed for, at anlægget fungerer, som det skal.

Forseglingen af minegangene udføres med salt, der sprøjtes ind i gangene for at opnå god tæthed. Andre materialer kan også komme på tale, f. eks. beton og asfalt. Skaktene (fig. 11) forsegles på tilsvarende måde.

Forseglingen af minegangene er vist på fig. 13.

Anlægsudgifter

Anlægsudgifterne efter dagens pris og uden tillæg af byggerenter, men inklusive udgifter til forsegling af mineanlægget, skønnes at beløbe sig til omkring 1,5 milliarder kr.

Opspares de nødvendige midler over kWh-prisen i de 6 kernekraftværkers driftsperiode, bliver ekstrabeløbet ca. 0,2 øre pr. kWh i 1978-kr.

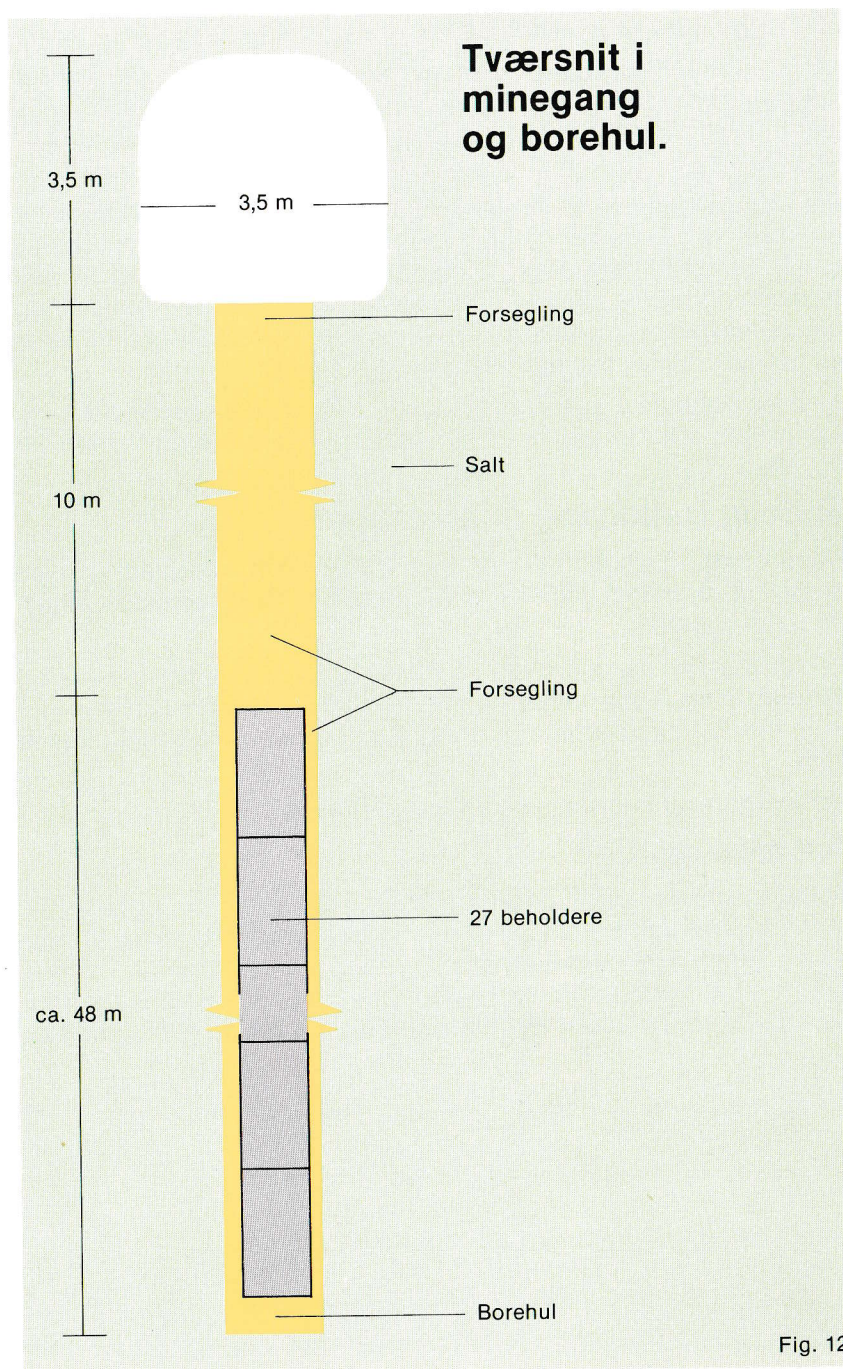


Fig. 12

Spredning af radioaktive stoffer fra depotet

Under normale forhold findes der to muligheder for transport af radioaktive stoffer væk fra depotet i salthorsten.

Den ene mulighed består i, at lommer af mættet saltvand i saltet bevæger sig hen til affaldet og opløser en begrænset glasmængde svarende til opløseligheden i den pågældende vandmængde.

Den anden mulighed for spredning under normale forhold hidrører fra den uhyre langsomme opadgående bevægelse af saltet, der eksisterer i de fleste horste.

Normalt betragtes det uigennemtrængelige lag over salthorsten og de omliggende lerlag som tætte overfor vand. Der findes ingen eksempler på forurening af drikkevandsboringer med salt fra de nordjyske salthorste. Eventuelle radioaktive stoffer, der ved de to spredningsmuligheder når op under de vandtætte lag, må således fortsat anses for at være isoleret.

Antager man imidlertid, at en revne eller en porøsitet er opstået i såvel laget over salthorsten som i de overliggende lerlag, så vil spredning af de radioaktive stoffer kunne tænkes. Forudsætter man endvidere, at de radioaktive stoffer er opløst i det mættede saltvand, der når op til omgivelserne, og at de opblandes direkte i en drikkevandsboring på ca. 100.000 m³/år (svarende til 1000 menneskers årlige vandforbrug), så vil man få koncentrationer af neptunium, thorium og radium i dette drikkevand, der er sammenlignelige med det naturlige indhold af radioaktive stoffer som uran, thorium og radium i grundvand.

Vesttyske og amerikanske undersøgelser af mere uheldsprægede forhold som f. eks. naturkatastrofer viser, at de situationer, der vil kunne påvirke depotet, alle har den konsekvens, at vand udefra kunne trænge ind i salthorsten. Dette vil dog ikke uden videre have nogen indflydelse på depotet. Selv i det tilfælde, hvor vand trænger ind i de åbne minegange og efterlades uden indgreb, er der ingen mulighed for, at vandet kommer i kontakt med affaldet i de forseglede borehuller. Først hvis dette antages at være sket, og indkapslingen af affaldscylinerne samtidig forudsættes gennemtæret, vil der være mulighed for en spredning af de radioaktive stoffer.

Heller ikke dette behøver dog at få nogen konsekvenser. Spredningen vil kun have betydning, hvis der er åben forbindelse til de øverste jordlag 500-600 meter over deponeringsstedet. I modsat fald vil de radioaktive stoffer forblive i de dybere jordlag og vil ligesom det saltvand, der findes i disse lag i dag, ikke forurene det udnyttelige grundvand.

Forsegling af minegang.

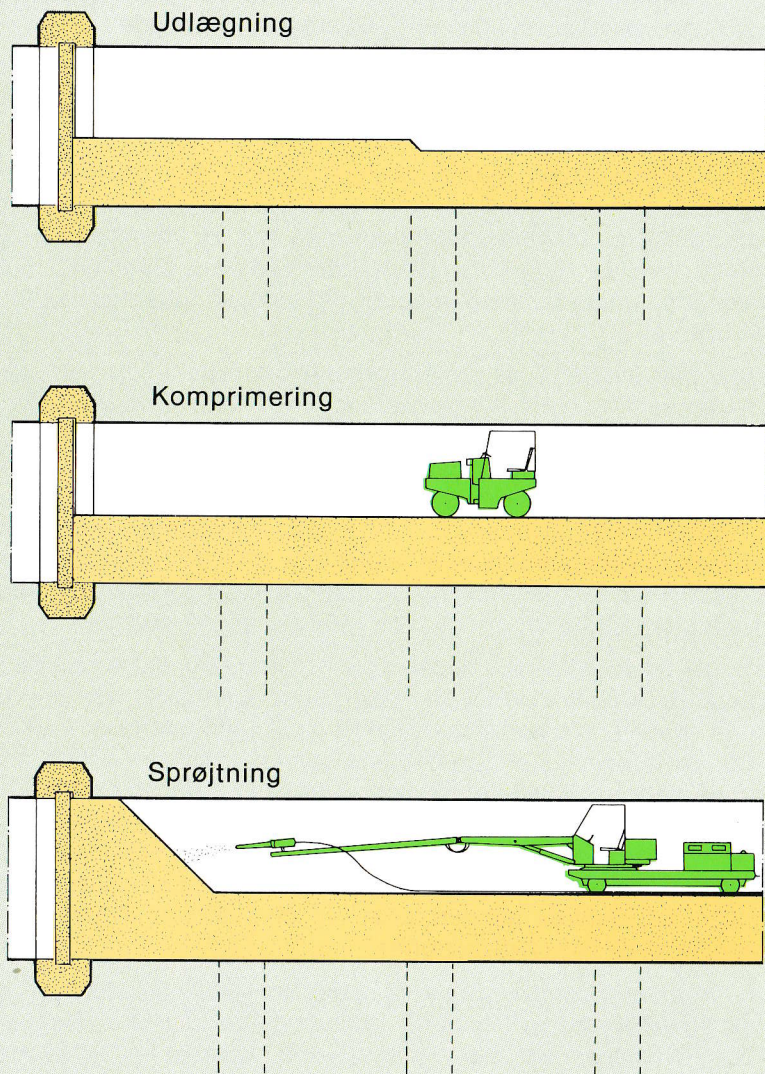


Fig. 13

Konsekvenserne af et sådant tænkt uheld, hvor de nævnte forudsætninger for spredning er opfyldt, vil være, at de mennesker, der får deres drikkevand fra en nærliggende brønd, årligt vil indtage omkring 1/3 af det tilladte årlige indtag af de pågældende radioaktive stoffer.

Følgerne af sådanne uheld ligger således indenfor fastsatte grænser. Det gælder, selv om man har benyttet grove og forenklede antagelser. Man kan derfor konkludere, at deponering af affaldet i en salthorst er en meget sikker opbevaringsmetode.

Udenlandsk virksomhed

En række lande verden over og organisationer som OECD, IAEA og EF har undersøgelser løbende vedrørende deponering af højaktivt affald. Af særlig interesse er undersøgelserne i vore nabolande, hvorfor Sverige's og Vesttyskland's arbejde vil blive omtalt i det følgende.

Sverige

I Sverige blev den såkaldte vilkårslov vedtaget i 1977. Heraf fremgår det, at tilladelse til at tilføre uranbrændsel til en ny reaktor kun kan gives, såfremt reaktorens ejer

- har fremvist en aftale, som på en betryggende måde tilfredsstiller behovet for oparbejdning af brugt uranbrændsel og desuden har bevist, hvordan og hvor en helt sikker slutdeponering af det højaktive affald kan ske,
- eller
- har bevist, hvordan og hvor en helt sikker slutdeponering af brugt, men ikke oparbejdet uranbrændsel kan ske.

For at opfylde disse krav etableredes KBS-projektet (Kärn-Bränsle-Säkerhet) af de fire elselskaber Staten Vattenfallsverk, Oskarshamn-verkets Kraftgrupp AB, Sydkraft AB og Forsmark Kraftgrupp AB. De nævnte selskaber er alle ejere af kernekraftværker.

I december 1977 offentliggjorde man første del af undersøgelsen. Den viser, hvorledes elselskaberne har til hensigt at opfylde vilkårslovens krav om oparbejdning af brugt brændsel og deponering af højaktivt affald. Den anden del af arbejdet blev offentliggjort i juni 1978. Heri viser man, hvorledes vilkårslovens krav om sikker deponering af ikke-oparbejdet brændsel kan tilfredsstilles.

I KBS-undersøgelsen arbejder man også med geologisk deponering. Her regner man med deponering i grundfjeld.

Fig. 14 viser de strålingsdoser, man i værste fald kan forvente fra et svensk deponeringsanlæg for højaktivt affald fra oparbejdet brændsel. Der gælder tilsvarende tal for deponering af ikke-oparbejdet brændsel.

KBS-undersøgelsen.

Individuos
pr. år i millirem

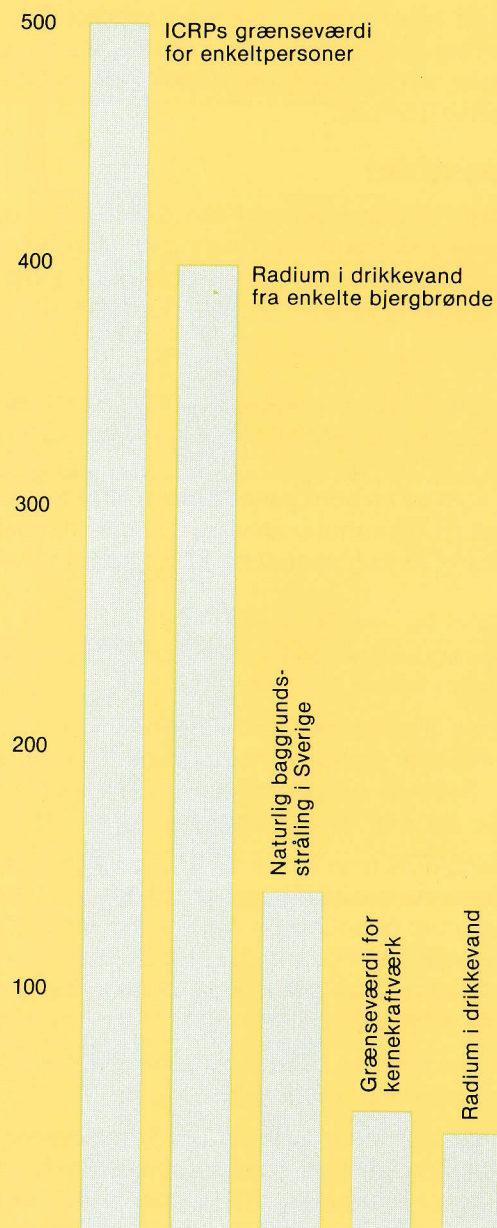


Fig.
14

KBS-rapporten sammenfatter resultatet af det udførte arbejde i følgende konklusion:

»Den udformning af kernebrændselskredsløbets sluttrin, som der her redegøres for, tilfredsstiller således de krav, vilkårsloven stiller om en helt sikker deponering af det højaktive affald, som fås ved oparbejdning af kernebrændsel«.

Vesttyskland

Den vesttyske forbundsregering har besluttet at samle hele den afsluttende del af brændselskredsløbet på et centralt anlæg, et såkaldt »Entsorgungszentrum«.

Ud fra de erfaringer, man har erhvervet sig i Vesttyskland med salthorsten i Asse, har man valgt at ville deponere det højaktive affald i en salthorst. Placeringen af det samlede anlæg er fastlagt til delstaten Niedersachsen, som har de geologiske forudsætninger for et sådant anlæg. Den udvalgt plads er ved byen Gorleben tæt ved grænsen til DDR.

Sikkerhedsrapporten vedrørende hele det centrale anlæg er blevet vurderet af Reaktor-Sicherheitskommissionen (RSK) og Strahlenschutzkommissionen (SSK).

Disse kommissioner har principgodkendt saltdeponeringsforslaget og udtaler:

»Ved sagkyndig behandling og deponering af radioaktivt affald i dertil egnede salthorste og ved iagttagelse af de af RSK fremførte anbefalinger kan en sikker forsegling mod miljøet etableres«.