

SKBF
KBS

TEKNISK
RAPPORT

79-25

Svenska torv- och lerlager

– Egenskaper av betydelse för slutlagring
av låg- och medelaktivt avfall

Ove Landström
Hans Trollbäck

Studsvik Energiteknik AB, November 1979

Mäktiga lerformationer i Sydsverige

– En litteraturstudie

Henrik Norlander

Kvartärgeologiska Institutionen
Stockholms Universitet, September 1979

SVENSK KÄRNBRÄNSLEFÖRSÖRJNING AB / PROJEKT KÄRNBRÄNSLESÄKERHET

POSTADRESS: Kärnbränslesäkerhet, Box 5864, 102 48 Stockholm, Telefon 08-67 95 40

Svenska torv- och lerlager -
Egenskaper av betydelse för slutlagring
av låg- och medelaktivt avfall
Ove Landström
Hans Tollbäck
Studsvik Energiteknik AB, November 1979

Mäktiga lerformationer i Sydsverige -
En litteraturstudie
Henrik Norlander
Kvartärgeologiska Institutionen
Stockholms Universitet, September 1979

Dessa rapporter utgör redovisning av arbeten
som utförts på uppdrag av KBS-projektet.
Slutsatser och värderingar i rapporterna är
författarnas och behöver inte nödvändigtvis
sammanfalla med uppdragsgivarens.

En förteckning över hittills utkomna rapporter
i denna serie, som påbörjades 1979, återfinns
i slutet av rapporten. Uppgift om KBS tekniska
rapporter nr 1 - 120 i en tidigare serie kan
erhållas från SKBF/KBS.

SVENSKA TORV- OCH LERLAGER:
EGENSKAPER AV BETYDELSE FÖR SLUTLAGRING AV
LÅG- OCH MEDELAKTIVT AVFALL

Ove Landström, Hans Tollbäck

Summary

Swedish research and development work on geological disposal of radioactive waste is focused on crystalline rocks, which are the only geological media available if deep sites are required, e.g. for high-level radioactive waste. Low and intermediate level radioactive waste may, however, be disposed near the ground surface. Peat and clay formations may then be of interest as they exhibit high ion exchange capacities and low permeabilities to water flow.

The aim of the present study which was made under a contract with the Swedish Nuclear Fuel Safety Project (KBS = Kärnbränslesäkerhet) was to investigate if peat and clay formations could be an alternative to crystalline rocks, as regards disposal of low and intermediate level waste.

To our knowledge, little attention has been paid in other countries to the utilization of peat formations for waste disposal. However, far-reaching plans on disposal of high-level radioactive waste into clay formations exist in some countries, e.g. Belgium and Italy. In Norway, low-level radioactive waste was buried in glacial clays ten years ago.

Peat

About ten per cent of the area of Sweden consists of peat land. Due to different inventories made of fuel resources, the distribution, types and sizes of peat formations in southern Sweden are fairly well known. The corresponding knowledge of peat lands in northern Sweden is, however, lacking. The peat formations are relatively shallow, usually less than ten meters in depth. In spite of this, it should be possible to find peat formations

in southern Sweden which are large enough to contain the whole volume of low and intermediate waste, i.e. about 60 000 m³, for the period up to 1993.

Knowledge of hydrology, hydrological parameters and sorption capacities of peat and peat formations is very limited and this makes it difficult to define proper selection criteria. Only some guidelines are mentioned:

The waste should be disposed into zones of highly disintegrated peat which is characterized by very low water flow and probably high ion exchange capacity. It is important that in selected zones no layers of more permeable peat (i.e. less disintegrated) or erosion channels occur. To prevent vertical migration, the peat formation should have impermeable bottom layers, e.g. compacted mud peat (which is found in peat formations originating from terrestrialized lakes) or underlying mineral soil, constituting clay.

Material problems may arise because of the acid conditions in many bogs (pH may be as low as 3-4 in so called ombrotrophic bogs). Peat with neutral or basic conditions is found in limestone areas. Such formations are, however, few and for different reasons probably not accessible.

Different technical problems in connection with the disposal must be solved. Important impediments to the use of peats are competition from other spheres of interest, e.g. use of peat as fuel, the conversion of peat land to farm land or forest areas etc.

Clay

Most clay formations in Sweden are geologically young, being formed in connection to the melting of the great ice (glacial clays) or later on (postglacial clays). Their properties are thus in many respects different (less consolidated, different pore water concentrations, etc) as compared to the much older clay formations which are being investigated in e.g. Belgium and Italy.

The glacial clays may exhibit a heterogeneous structure due to the presence of rhythmic layers (alternating fine and coarse material) and reworking after the primary sedimentation. The existence of more permeable layers may reduce the inherent advantage of clay formations.

A comparison between glacial clays and those from the Belgian and Italian work as regards the geotechnical and hydrological parameters is made in the present report. Quite few measurements of sorption capacities (K_d values) have been made on typical glacial and postglacial clays.

Most of the clay formations are situated in important farming districts or in urban areas which means that the conditions of radionuclide migration must be accurately known. More specific data of the clay properties and the hydrology of the formations are, however, needed for an adequate safety analysis. One must also seriously consider the potential risk for future landslides due to the existence of sensitive clays in at least some of the formations, selected in the inventory made by Nordlander.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

		<u>Sid</u>
1	INLEDNING	1
2	TORV	2
2.1	Allmänt	2
2.2	Klassificering av torvmarker	3
2.3	Kunskap om torvmarksförekomster	6
2.4	Egenskaper av betydelse för bedömning av torvmarkers lämplighet för deponering av radioaktivt avfall	8
2.4.1	Erforderliga volymer för lagring	8
2.4.2	Hydrologi och hydrologiska parametrar	10
2.4.3	Sorptionsegenskaper	12
2.4.4	Stabilitet och hållfasthet	14
2.4.5	Lokalisering	14
2.4.6	Förändring av torvformationens egenskaper under förvarings- lagringstiden	15
2.4.7	Miljöpåverkan	16
2.4.8	Konkurrens	16
2.5	Tekniskt tillvägagångssätt	17
2.5.1	Förutsättning	17
2.5.2	Utförande	17
2.6	Synpunkter på svenska torvformationers lämplighet för deponering	18
3	LERA	21
3.1	Inledning	21
3.2	Utländska projekt	22
3.2.1	Norge	22
3.2.1.1	Geologi, hydrologi m m	22
3.2.1.2	Avfallets sammansättning	23
3.2.2	Belgien	25
3.2.2.1	Geologi	25
3.2.2.2	Hydrologi och hydrogeologiska undersökningar	27
3.2.2.3	Karakterisering av lerformationen	27
3.2.2.4	Jonbyteskapacitet och K_d	27
3.2.2.5	Beräkningar av radionuklidens migration	29
3.2.2.6	Speciella problem i samband med deponering av högaktivt avfall i lera	30
3.2.2.7	Utformning av anläggningen och teknik vid byggande	31
3.2.3	Italien	34
3.2.4	Övriga länder	36
3.3	Utländska och svenska lerformationer - en jämförelse	39
3.3.1	Ålder - bildningsmiljö	39
3.3.2	Mäktigheter - struktur	40
3.3.3	Porvattnets sammansättning	40
3.3.4	Lerans egenskaper	41

3.4	Egenskaper av betydelse för avfalls- deponering och synpunkter på dessa	41
3.4.1	Erforderliga volymer	41
3.4.2	Hydrologi och hydrologiska parametrar	42
3.4.3	Sorptionsegenskaper	42
3.4.4	Stabilitet	44
3.4.5	Lokalisering	44
3.4.6	Miljöpåverkan	47
3.5	Tekniskt tillvägagångssätt	47
4	SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER	48
4.1	Torv	48
4.2	Lera	49
	REFERENSER	50

Bilaga 1 Nedgrävningsfältet vid Institutt for
Atomenergi, Kjeller, Norge

1 INLEDNING

På uppdrag av Kärnbränslesäkerhet, KBS, har Studsvik Energiteknik AB gjort en utredning om ler- och torvformationer med tanke på slutförvaring av låg- och medelaktivt avfall. Målsättningen för arbetet har varit att resultatet tillsammans med en rapport från Kvartärgeologiska Institutionen vid Stockholms Universitet "Kartläggning av svenska lerformationer" skall utgöra underlag för en bedömning av om slutförvaring av låg- och medelaktivt avfall i lera eller torv är ett användbart alternativ i Sverige.

Uppdraget har omfattat

- sammanställning av utländska projekt, undersökningar och utredningar om förvaring av aktivt avfall i ler- och torvformationer
- genomgång av egenskaper som påverkar möjligheten att utnyttja ler- och torvformationer för detta ändamål
- sammanställning av data om dessa egenskaper för formationer i Sverige.

Vad avser torv har arbetet i stor utsträckning bestått i att söka reda på relevanta uppgifter. Några utländska studier i anslutning till avfallsförvaring har vi ej kunnat finna. Dock har försök gjorts med användning av torv som jonbytar-material för rening av lågaktiva avfallslösningar.

För leran är vad beträffar bl a sorptionsegenskaper förhållandet snarast det motsatta. Undersökningar rörande användning av lerformationer för förvaring av högaktivt avfall eller som buffertmaterial i avfallslager har gjorts i stor omfattning. Inom ramen för denna utredning har därför huvudvikten lagts vid att kartlägga egenskaper av betydelse för bedömningen. Ett urval av data har infogats men för kvantitativa studier skulle en mer omfattande genomgång och behandling av data behöva göras.

2 TORV

2.1 Allmänt

Torv är en organogen jordart som bildas i syrefattig miljö genom ofullständig nedbrytning (förmultning) av växtdelar. Vatten förhindrar syretillförsel och är följaktligen nödvändigt för torvens bildning och för torvmarkers existens. Torv- och myrmarker täcker (enligt uppskattning i "Torv i Sverige", 1977) ca 10% av Sveriges totala landareal; totalarealen myr är 54 000 km², varav 70% i norra Sverige, 15% i mellersta Sverige och 15% i södra Sverige. Bland egenskaper hos torv som är attraktiva i samband med geologisk deponering av aktivt avfall kan nämnas hög jonbyteskapacitet.

I det följande diskuteras olika förutsättningar för deponering av låg- och medelaktivt avfall i torvmarker. I princip kan torv utnyttjas på två sätt:

- 1) det radioaktiva avfallet deponeras i lämplig form i torvformationer
- 2) torvmaterial användes eventuellt som fyllnads- eller tätningsmaterial i samband med andra deponeringsförfaranden (exempelvis marknedgrävning eller bergförvar).

I det följande behandlas det första alternativet, nämligen deponering i torvmark.

Vid bedömning av förutsättningarna för deponering av låg- och medelaktivt avfall i torvmark är bl a kunskap om följande parametrar viktiga:

- mäktighet (=djup) och areal hos aktuella torvformationer
- hydrologi och hydrologiska parametrar
- olika torvslags sorptionsegenskaper (Kd-värden, jonbyteskapacitet m m) vilket bl a är bestämmande för torvens förmåga att bygga upp barriärer mot radionuklidernas migration
- stabilitets- och hållfasthetsegenskaper hos torvformationer med tanke på möjligheten att över torvmark transportera tunga avfallsbehållare och att deponera dem i torv

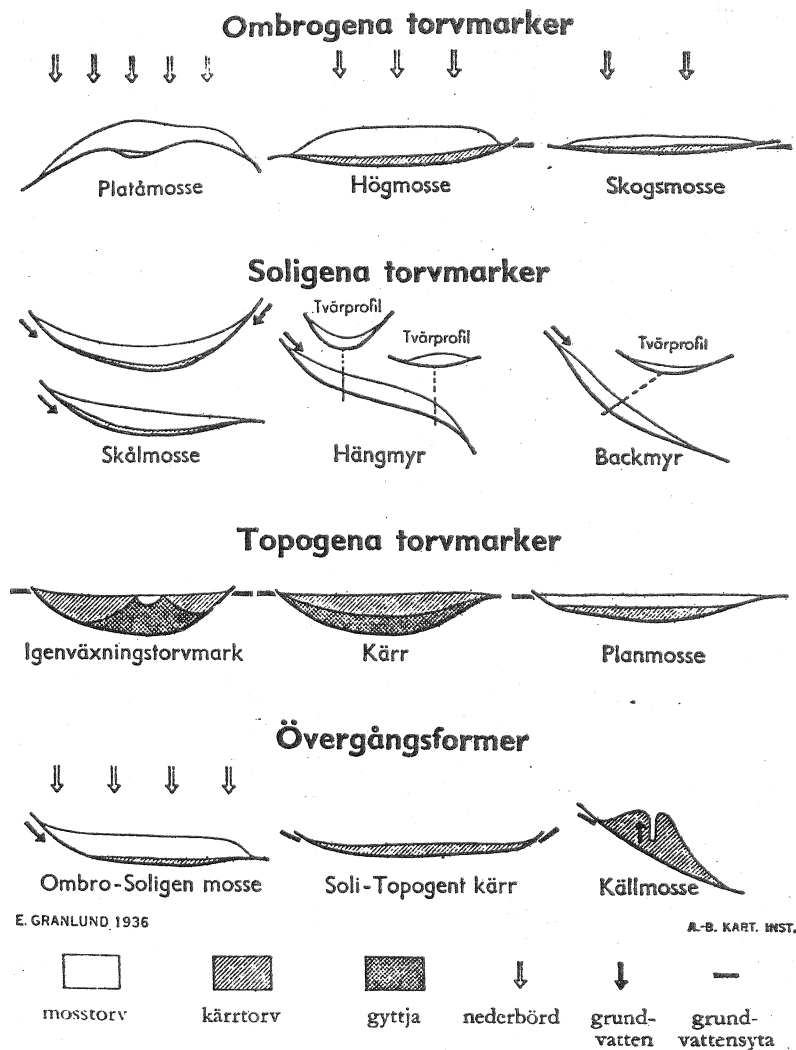
- geografiskt läge med hänsyn bl a till transporter, säkerhetssynpunkter, närhet till bebyggelse, grundvattentäcker etc
- eventuella förändringar i torvformationens egenskaper under aktuell lagringstid (\leq 500 år)
- miljöaspekter
- konkurrens om torvmarkernas utnyttjande (energiresurs etc).

En inledande databaserad litteratursökning lämnade ingen information om planer eller utförda försök rörande deponering av radioaktivt avfall i torvformationer. Schmid, E et al (1964) har i laboratorie-experiment (kolonn- och batchförsök) undersökt sorptionsegenskaper hos torv i samband med rening av radioaktivt vatten. (Se kap 2.4.3)

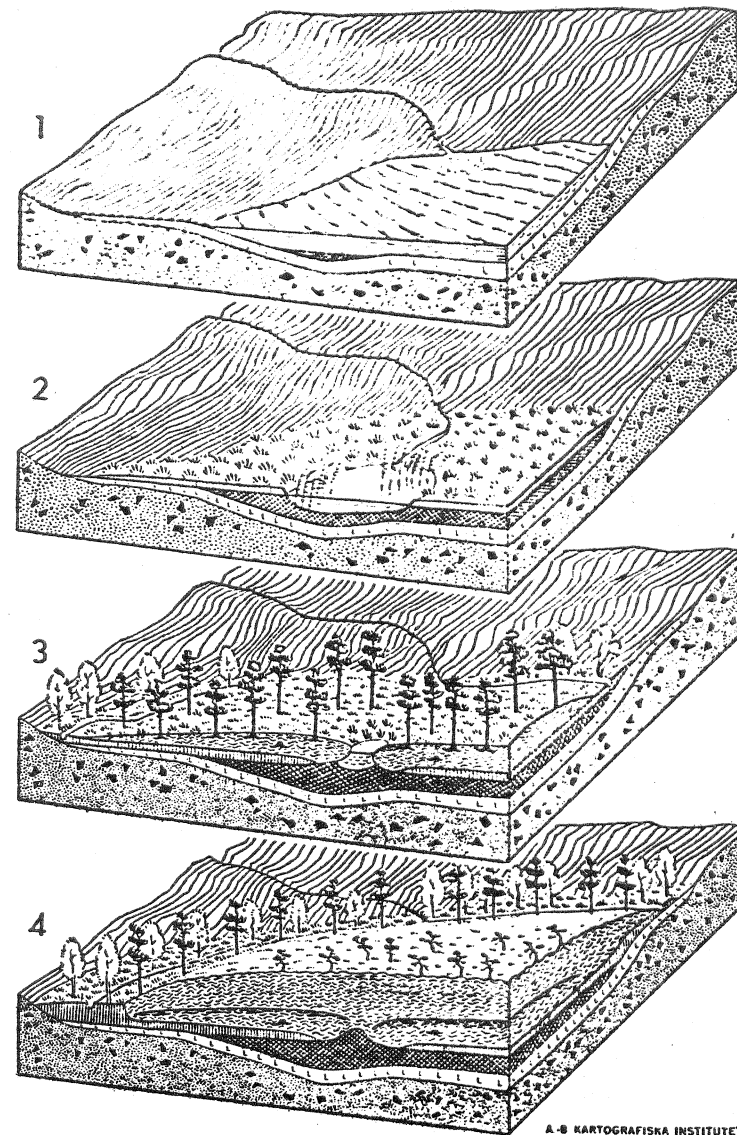
Bl a med tanke på att jordens största torvarealer (-resurser) finns i Ryssland vore information om ryssarnas bedömning av förutsättningarna för avfallsdeponering i torvmarker av stort värde. Sådan information har inte kunnat nås.

2.2 Klassificering av torvmarker

Torvmarkernas uppbyggnad (stratigrafi, torvslag, ytväxtlighet, hydrologiska förhållanden mm) varierar avsevärt och har påverkats av olika faktorer, såsom (topografiskt) läge i landskapet, geologin i området, klimatförhållanden (tidigare och nutida). Olika torvmarker och torvslag torde därför uppvisa väsentligt skilda förutsättningar för deponering av aktivt avfall. En kortfattad presentation av de klassificeringsprinciper som vanligen tillämpas på torvmarker kan därför vara befogad. (Jfr fig 1)



Torvmarkernas huvudtyper och deras beroende av nederbörd och grundvattens-tillrinning.



Fyra stadier i en vanlig svensk högmosses utvecklingshistoria. 1. En sjö med gyttje-avsättning på botten. 2. Ett starrkärr har växt ut över gyttjebotten. 3. Vitmossor har vandrat in och kärret har förvandlats till en mosse, vilken växt i höjden och transgredierat över omgivande fastmark samt slutligen fått tallvegetation på ytan. Endast en liten göl minner nu om den forna sjön. 4. Efter en klimatförändring har mossen växt vidare och en vanlig mellansvensk högmosse har utbildats med björk- och albevuxen lagg, tallskogsrand och plan med spridda martallar.

Fig 1 Torvmarkstyper ur "Sveriges Geologi", Magnusson-Lundqvist-Granlund

Olika indelningsgrunder tillämpas:

- 1) baserade på torvmarkernas uppkomstsätt
- 2) " på den levande växtligheten på ytan
- 3) " på vattenförsörjningen.

Utgående från uppkomstsättet (eller torvbildningens begynnelsefas) talar man om

- a) Igenväxningstorvmark, utvecklad i samband med igenväxt av en tidigare sjö (s k "fornsjö"). Den har som regel ett bottenlager av gyttja och/eller dy, ursprungligen avsatt i fornsjön och ofta sammanpressat, tätt och följaktligen med låg permeabilitet.
- b) Försumpningstorvmark som utvecklats på platser där marken av olika skäl vattendränkts, exempelvis genom översvämning av sjöar och åar vid högvattenstånd eller genom att framträngande grundvatten "översilar" marken (exempelvis i form av källor). Torvlagren kan i detta fall vila direkt på exempelvis morän, lera e d.

Med hänsyn till den karakteristiska florán i det levande växttäcknet indelas myrmarkerna i mossar och kärr. Artsammansättningen betingas därvid främst av vattnets sammansättning vilket i sin tur delvis är beroende av de geologiska förhållandena i området. Mossar karakteriseras av näringsfattigt vatten, med lågt pH (mellan 3 och 4) medan kärr karakteriseras av ett näringsrikare vatten med högre pH. Extremfall utgör kärren i kalkrika områden (s k "kalkkärr", bl a Gotland) där pH kan vara högt och artrikedomen mycket stor.

Utgående från vattenförsörjningen indelade von Post - Granlund (1926) torvmarkerna i

- a) topogena (topo (grek) = plats (i terrängen))
- b) soligena (solium (lat) = "mark")
- c) ombrogena (ombro (grek) = "regn")

Topogena torvmarker har bildats i sänkor, svackor och andra fördjupningar i terrängen i vilka grundvatten gått i dagen. Igenväxning av fornsjöar är exempel på uppkomsten av topogena torvmarker. Vattnet är i regel näringsrikt.

Soligena torvmarker har bildats genom att grundvatten trängt fram och "översilat" (försumpat) marken. Vatten kan exempelvis gå i dagen i form av källor eller längs foten av åsar. Vattnet är ofta mer eller mindre näringsrikt beroende på vilket geologiskt material som vattnet har varit i kontakt med. Soligena torvmarker är ofta sluttande.

Ombrogena torvmarker får sitt vatten i form av regn och snö (d v s näringsfattigt) och utbildas ofta till s k högmossar i områden där nederbörden är hög. Högmossen karakteriseras av att torvlagren växt över omgivande grundvattennivå och att mossytan är helt skild, isolerad, från omgivande fastmarksvatten. Nivån på mossplanet är ofta flera meter över omgivande grundvattennivå och Granlund (1932) har påvisat ett samband mellan mossplanets höjd och nederbördens storlek. En högmosses tillväxt avstannar (stagnerar) när den nått den höjd som motsvarar jämvikt med den rådande nederbörden.

I regel kan torvmarkerna inte indelas strikt efter ovanstående mönster; bl a kan de innefatta olika torvmarkstyper, "myrkomplex". Vidare kan betingelserna (hydrologi, klimat etc) ha förändrats under torvmarkens utveckling. En ombrogen högmosse kan exempelvis ursprungligen ha startat som en "topogen" igenväxnings-torvmark eller en "soligen" försumpningstorvmark.

2.3 Kunskap om torvmarksförekomster

Befintlig kunskap och dokumentation om våra torvmarker (såsom mäktighet, stratigrafi, torvslag, areal mm) har framförallt erhållits genom omfattande inventeringar av den energireserv (bränsle) som torven utgör men även i samband med jordartskarteringar, utförda av SGU för framställning av geologiska kartblad. Dessa verksamheter har koncentrerats till södra Sverige vars torvmarker därför bedöms relativt väl kända (se dock reservationen nedan) medan kunskapsluckorna är stora när det gäller de norrländska myr- och torvmarkerna.

Den största och viktigaste inventeringen genomfördes av SGU åren 1917 - 1923 och omfattade Göta- och Svealand utom Dalarna.

Resultaten har redovisats av von Post - Granlund i arbetet "Södra Sveriges torvtillgångar I" (1926). Undersökningen utfördes efter två huvudlinjer. Den ena innebar en kvalitativ rekognosering av större torvmarker, i regel belägna inom 5 km från viktiga kommunikationsleder. Ett resultat av denna rekognosering är torvmarkskartor i skala 1:100 000 (SGU ser. D) som dock på grund av resursbrist kom att omfatta endast ett begränsat antal blad (avsikten var att täcka södra Sverige).

Det andra delprojektet kallades en "förrådsstatistisk utredning" och innebar undersökningar efter på förhand uppdragna linjer, varvid en rad parametrar bestämdes för de torvmarker som övertvärades av dessa linjer. En stor mängd prover insamlades för analys i laboratoriet. Resultaten föreligger i ovan nämnda arbete av von Post och Granlund (1926), bl a i form av kartor, visande

Fördelningen av torvmarker (torvareal i % av total areal)		
"	av försumpningstorvmark (areal i % av total areal samt efter inventeringslinjerna)	
"	av fornsjötorvmark	(")
"	av mossmark	(")
"	av kärr- och gyttjemark	(")

I tabeller presenteras bl a arealer myrmark (uppmätt på geologiska kartblad) och arealer inventerad torvmark dels länsvis dels för de tio olika torvprovinser som von Post (1926) uppdelade södra Sverige i.

SGU har, utöver arbeten i anslutning till jordartskarteringen, under åren 1951 - 1959 undersökt ett 70-tal större torvmarker i framförallt sydvästra Sverige. Undersökningen (beredskapsinventeringen) utfördes på uppdrag av Riksnämnden för ekonomiskt försvar. Svenska Mosskulturforeningen, Statens Bränslekommission och Domänverket har även utfört undersökningar och deras resultat och material förvaras (jämfte SGUs eget undersökningsmaterial) i SGUs torvarkiv. Även Naturvårdsverket har

företagit inventering av torvmarker, främst ur naturskyddssynpunkt.

Sammanfattningsvis kan konstateras att för södra Sverige (Götaland och Svealand förutom Dalarna) föreligger en relativt omfattande information om torvmarksförekomster och för ett stort antal torvmarker även relativt detaljerad sådan. Enligt R Lagerbäck (1977) bör man med hjälp av topografiska kartor och flygbilder kunna extrapolera fram information även om torvmarker som inte direkt undersökts. För Norrland och Dalarna anses dock informations- och kunskapsläget vara mycket bristfälligt.

2.4 Egenskaper av betydelse för bedömning av torvmarkers lämplighet för deponering av radioaktivt avfall

Huvudsyftet med hittills utförda inventeringar har i regel varit att beräkna mängder brännbar torv och att lokalisera för brytning gynsamma torvförekomster. Intresset fokuseras då bl a på torv med låg askhalt och högt värmevärde. Det bör dock påpekas att den stora torvinventering som utfördes av SGU 1917 - 1923, även om den hade ovannämnda syfte, ändå arbetade förutsättningslöst med tanke på kommande, ej specificerade behov.

När det gäller deponering av aktivt avfall ställs andra krav på såväl torvmarker som deras torvslag vilket i sin tur ger andra förutsättningar och principer för en torvmarksinventering. I detta kapitel redogörs för och diskuteras mera allmänt olika parametrar och egenskaper hos torvmarker som är viktiga för en allsidig bedömning av förutsättningarna att i dem deponera aktivt avfall. I ett följande kapitel ges ett, delvis skissartat, förslag till alternativa tekniska lösningar och lämpliga torvmarkstyper och i samband därmed diskuteras mer ingående konsekvenser och inverkan av de olika parametrarna.

2.4.1 Erforderliga volymer för lagring

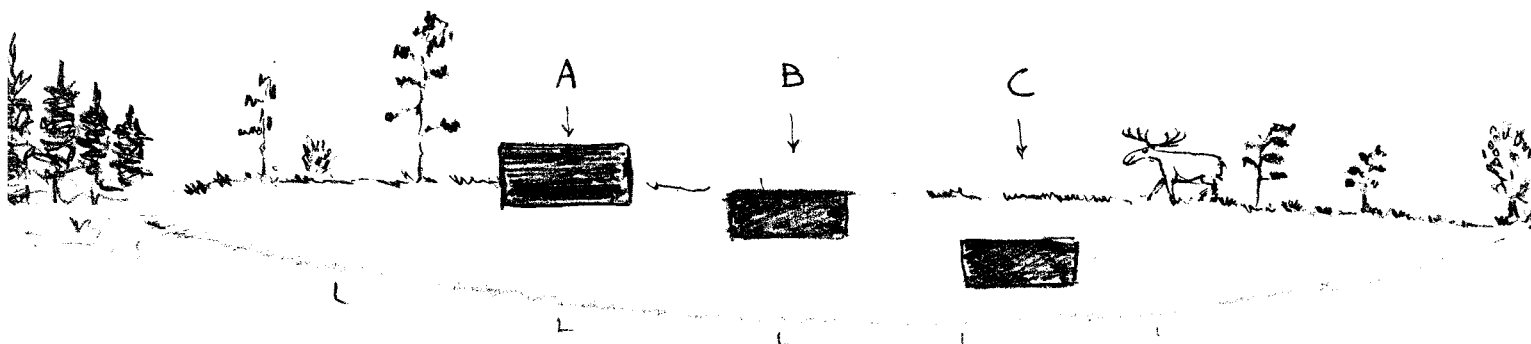
I ALMA-rapporten "Prav 1.18" (1978) anges volymen av det avfall som avses att deponeras i bergrum alternativt markförlagt lager. Avfallet är förbehandlat och inkapslat enligt följande:

- 1) Betongkokiller 1,2 x 1,2 x 1,2 m, vikt 4 ton,
volym 1,7 m³, totalt 30 000 m³
- 2) Betongtankar 3,3 x 1,3 x 2,1 m,
volym 9,2 m³, totalt 4 500 m³
- 3) Plåtfat, volym 200 l
totalt 12 500 m³
- 4) Plåtlådor, volym 600 l
totalt 500 m³

Det förutsättes att deponeringen sker i en lokal emedan en uppdelning på olika platser medför alltför stora olägenheter, ökade kostnader etc.

Kan då ovanstående volymer rymmas i en enda torvformation? I regel är torvmarkerna relativt grunda, av storleksordningen några till 10 meter och endast i undantagsfall förekommer mäktigheter av 15 - 20 meter. Dränerings- och avröjningsoperationer reducerar ytterligare disponibelt djup. Om man räknar med 3 meters höjd på avfallslagret kräver detta en miniyta på ca 20 000 m². Sammanhängande arealer av denna storlek finns i de större myrområdena men yt- och volymkraven måste kunna samordnas med övriga krav.

Erforderligt djup hos torvformationen beror även på hur deponeringen utformas. Figurskissen visar i princip tre alternativa utföranden A, B respektive C.



2.4.2 Hydrologi och hydrologiska parametrar

Relativt begränsade forskningsinsatser rörande torvmarkers hydrologi har gjorts. Malmström (1923, 1928) har studerat och beskrivit vattenrörelserna i torvmarker med bl a syfte att utreda dikningsproblem i samband med skogsproduktion. Den kanske största insatsen har gjorts inom den internationella hydrologiska dekadern (IHD) med en mycket omfattande undersökning av de hydrologiska förhållandena i Komosse. Ett stort datamaterial föreligger från denna undersökning (inst för Kulturteknik, KTH) men har dock inte kunnat bearbetas för slutlig publicering.

Som framgår av kap 2.2 baseras torvmarkernas typindelning delvis på deras hydrologiska särdrag. Granlund (1932) indelar (de ombrogena) högmossarnas vatten i

- a) kemiskt och kolloidkemiskt bundet vatten
- b) fysikaliskt bundet vatten (kapillärvatten, adsorptionsvatten och s k okkluderat vatten)
- c) "fritt" vatten, d v s sådant som endast står under inverkan av tyngdkraften.

De höghumifierade torvslagen har, enligt Granlund, huvudsakligen kolloidkemiskt bundet vatten och endast en mycket liten andel fritt (rörligt) vatten. Detta gäller även torvformationens understa lager som i regel utgörs av gjyttja-sjödy eller kärrdy-lövkärrtorv, beroende på om torvmarken bildats genom igenväxning eller försumpning. Dessa torv- och jordarter anser Granlund därför vara i det närmaste ogenomträngliga för fritt vatten. Högmossen utbildar följaktligen ett delvis "isolerat" vattenmagasin där vattenomsättningen (nederbörd-avdunstning-avrinning) huvudsakligen sker i de översta, i regel låghumifierade skikten.

Till skillnad från de ombrogena torvmarkerna får andra torvmarkstyper, förutom nederbördsvatten, även vatten från angränsande fastmark. Omgivningens geologi (berg- och jordartsammansättning) påverkar grundvattnets sammansättning vilken i sin tur är bestämmande för artsammansättning hos växtligheten på myren. Vattenflöden och -omsättning i sådana

torvmarker beror till stor del av den lokala topografin m m. Liksom för högmossar torde även i detta fall höghumifierad torv ha liten andel fritt vatten.

Man har observerat s k slukhål och "underjordiska" kanaler i torvmarker och även mätt upp höga vattenhastigheter i denna kanalströmning (Gert Knutsson, 1979). Även i ombrogena torvmarker kan ställvis näringsrikt vatten tillföras, troligen underifrån; detta visas genom lokala förekomster av växter som fordrar näringsrikt vatten för sin existens. Salmi (1967) ger exempel på migration av metalljoner från en malmförande berggrund genom moränlager upp i en överliggande torvmark, i vilka de sorberats och anrikats. Ovanstående exempel visar att man har anledning förvänta en komplex bild av en torvmarks hydrologi och att noggranna hydrologiska undersökningar erfordras i varje enskild aktuell torvformation innan en adekvat bedömning av dess lämplighet som deponeringslokal kan göras.

Få värden på hydrologiska parametrar för torvmark föreligger. Irwin (1968) har genom in situ experiment uppmätt $5.7 \cdot 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ för den hydrauliska ledningsförmågan (permeabiliteten) i torv. Torvarten är dock inte specificerad men värdet kan ge en uppfattning om förväntad storleksordning. Det är vanligt med växellagring mellan hög- respektive låghumifierad torv (den senare förutsättes vara mer genomsläpplig för vatten) och man kan därför förvänta sig skilda värden för den laterala och vertikala permeabiliteten.

Man trodde tidigare att en orörd torvmark verkar utjämnande på vattenavgången till omgivning under olika årstider (Hulmboldts "svamp" teori). Enligt Heikuranen (1976) stämmer inte denna teori med senare rön och hans egna undersökningar, i vilka jämförs en orörd och en utdikad (av likartat ursprung) torvmark, visar bl a att avrinningen var större under torrperioder och att maxflödet efter kraftiga sommarregn var lägre från den utdikade torvmarken. Som förklaring ges dels en ökad magasinskoefficient dels sänkt avrinningströskel genom utdikningen. Det tätare trädbeståndet på den dränerade torvmarken är även en orsak. Heikuranens slutsats är att utdikad torvmark har en utjämnande effekt på avrinningen (svamp-effekt).

2.4.3 Sorptionsegenskaper

Markpartiklars förmåga att sorbera i grundvattnet lösta joner beror av

- markpartiklarnas specifika yta
- grundvattnets pH (katjonbytesförmågan ökar med stigande pH)
- grundvattnets jonkoncentration
- det specifika jonslagets affinitet till omgivande markpartiklar.

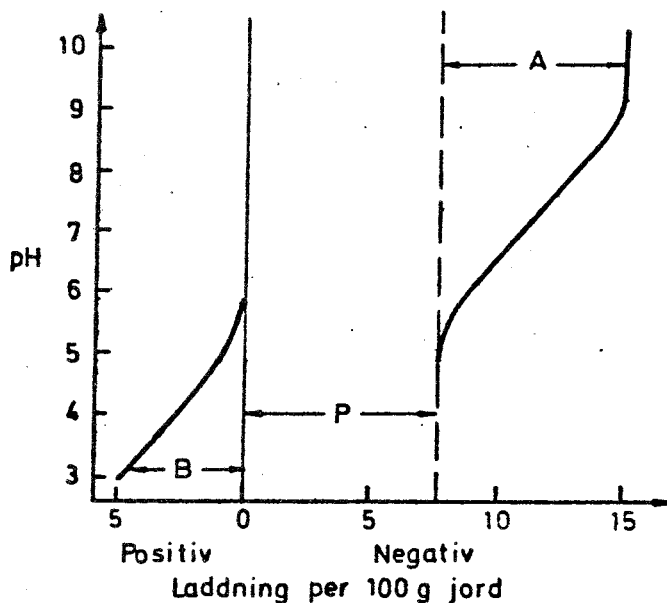
Den samlade effekten av ovannämnda förhållanden kan uttryckas som en för det specifika jonslaget karakteristisk jämviktskonstant, distributionskonstanten, K_d . Man förutsätter då att vattenrörelsen är tillräckligt långsam för att termodynamisk jämvikt skall råda i systemet.

$$K_d = \frac{\text{jonkonc g}^{-1} \text{ marksubstans}}{\text{jonkonc cm}^{-3} \text{ vatten}} \quad \left[\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1} \right]$$

Torvpartiklarna har stor specifik yta ($2-20 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) och som en följd därav är jonbyteskapaciteten också hög. Som ett riktvärde kan anges 200 mekv/100 g. Som jämförelse kan nämnas att för styv lera är motsvarande värde 25 och för sand 5 mekv/100 g.

Torvens höga jonbyteskapacitet ger ingen entydig uppfattning om vilka värden som kan väntas för distributionskonstanten K_d .

I en starkt förenklad framställning kan sägas att torvens viktigaste komponenter är "bruna" humussyror (molekylvikt ca 2000, pH 2.7) och fulvosyror (molekylvikt 640, pH 2.7). Myrens grundvatten (myrvattnet) har således lågt pH-värde som försämrar torvens jonbytesförmåga (se bilden) och indikerar ett lågt K_d -värde.



Den elektriska laddningen hos markpartiklarna som funktion av pH

P= permanent negativ laddning

A= negativ laddning genom dissociation av vätejoner från grupper bestående av Si-OH och COOH

B= positiv laddning genom dissociation av hydroxyljoner från basiska grupper, Fe-OH och Al-OH

(Ur Troedsson, Nykvist: Marklära och markvård, 1973)

Ovanstående figur beskriver förhållandet för oorganiska markpartiklar men kan i princip också gälla för torv. Humussyrorernas katjonbyte sker huvudsakligen från karboxylgrupper.

Schmid et al (1964) har i laboratorieexperiment studerat sorbtionsegenskaperna hos torv för olika radionuklider (Cs-137, Sr-89, Co-60 och Ba-140). Utbyteskapaciteten för enskilda joner (Fe, Ni, Cu och Mg) ökar starkt med pH; för exempelvis Fe 0,15, 0,32, 1,87 och 2,28 mval/g torvsubstans för pH-värdena 1, 3, 5 respektive 7. Vid batch-försök har för Sr-89 erhållits ett K_d -värde av 230 ml/g och vid kolonn-försök med relativt höga koncentrationer (mg/ml) har från redovisade värden följande K_d -värden kunnat härledas: Sr-89 \approx 30 ml/g, Ba-140 \approx 5 ml/g, Cs-137 och Co-60 \approx 10 ml/g.

2.4.4 Stabilitet och hållfasthet

Ett tekniskt problem vid exploatering av en torvmosse är dess låga bärighet, som kan göra det svårt att använda erforderliga maskiner. Svenska Torv AB anger som riktvärde en bärighet av 15 kPA (1.5 ton m^{-2}), som vanligen uppnås efter dränering. Man använder genomgående banddrivna maskiner med bandbredder upp till 1200 mm. Vid tjänlig väderlek kan arbetet utföras vintertid på tjälad mark.

Efter en regnperiod minskar hållfastheten starkt, och det kan då dröja flera veckor innan torvmossen dränerats på nytt. Detta förhållande har betydelse med hänsyn till vattenrörelsernas storlek under olika årstider.

2.4.5 Lokalisering

Lokalisering bör ske med hänsyn till följande parametrar

- Läget relativt avfallsproducenter
- Kommunikationer
- Befolkningstäthet
- Markens värde och tillhörighet
- Avstånd till utnyttjat område

Läget relativt avfallsproducenter

Läget relativt kärnkraftverken bör vara gynnsamt så att det leder till rimliga transportsträckor.

Kommunikationer

I första hand torde landsvägstransport komma i fråga. Då nuvarande kärnkraftstationer saknar direkt järnvägsanslutning är järnvägstransport inte särskilt lämplig. I princip kan sjötransport vara möjlig, men de måttliga volymerna gör att det är tveksamt om det kan vara ekonomiskt motiverat.

Befolkningstäthet

Avfallsdepån förutsätts ligga inom ett typiskt glesbygdsområde.

Avstånd till utnyttjat område

Deponeringsområdet måste väljas så att någon grundvatten-täkt ej ligger inom påverkbart område eller rimligen kan bli aktuell i framtiden.

Markens värde och tillhörighet

En torvmosses värde sammanhänger med många faktorer. Ett krav är att samhället på lång sikt kan kontrollera markens användning.

2.4.6 Förändring av torvformationens egenskaper under förvaringstiden (< 500 år)

Förändringar med tiden av deponeringsformationens egenskaper kan påverka de hydrologiska förhållandena så att icke önskvärda migrationsvägar för radionukliderna uppstår. Dräneringsdiken kan exempelvis slamma eller växa igen. Även klimatförändringar kan förändra de hydrologiska förhållandena. En ökning av nederbörden kan i princip ge upphov till nybildning av torv. Tillväxthastigheten för torvbildning uppskattas till storleksordningen 0,5 mm per år vilket ger ca 25 cm torv för en period om 500 år. Omvänt kan en sänkning av grundvattentytan successivt frilägga torv som genom påverkan av luftens syre bryts ned med följd att torvformationen "sjunker ihop".

2.4.7 Miljöpåverkan

Det kanske viktigaste och för deponering av radioaktivt avfall speciella miljöproblemet är risken för spridning av radionuklider till omgivningen. Eventuella läckage på avfallsbehållarna kan frigöra radionuklider till grundvattnet. Migrationshastigheten beror bl a på de hydrologiska förhållandena, den geokemiska miljön och torvmaterialets sorptionsegenskaper.

Av övrig miljöpåverkan (mer eller mindre betydelsefull) kan nämnas:

- konflikt med naturvårdens intresse att (som skyddsobjekt) bevara myrområden med exempelvis säregen fauna och flora. Även till deponeringsplatsen gränsande områden kan i detta avseende påverkas negativt.
- Dränering medför att vattenutflöden från torvmarken (som i regel har starkt sur reaktion) kan försura nedströms liggande sjöar och vattendrag med konsekvenser för fisk etc. Dränering medför även en förändring i de ursprungliga hydrologiska förhållandena.

2.4.8 Konkurrens

En väsentlig begränsning i möjligheterna att använda torvmarker för deponering av radioaktivt avfall torde vara den konkurrenssituation om torvens användning som finns råder. Torv och torvmarker utnyttjas (eller kan utnyttjas) för

- produktion av bränsle för energiförsörjning. Härvid är i första hand torvslag med högt värmevärde och med låga halter av aska, svavel, tungmetaller etc attraktiva
- skogsproduktion. Torvmarken dräneras och skog inplanteras (eventuellt s k energiskog). Näringsrik torvmark är önskvärd i detta sammanhang
- framställning av jordförbättringsmedel
- olika (potentiella) industriella tillämpningar av torv (ex vis som jonbytare, antibiotika, olja m m).
- bärplockning
- förvandling till jordbruksmark genom dränering.

2.5 Tekniskt tillvägagångssätt

2.5.1 Förutsättning

Som förutsättning gäller att ta hand om den avfallsvolym som beräknats för ALMAS första utbyggnadsetapp. Det innebär det låg- och medelaktiva avfall som producerats vid våra kärnkraftverk fram till år 1993.

Volymen är ca 60 000 m³ och avfallskollina är av fyra slag:

- Betongkokiller
- Betongtankar
- Plåtfat
- Plåtlådor

(Se vidare under 2.4.1)

2.5.2 Utförande

Arbetet med att bereda mossen för deponering av radioaktivt avfall inriktas i första hand på att öka mossens bärighet för de maskiner som krävs för iordningställandet. Detta sker genom dränering.

Dräneringen omfattar bl a avskärmning av området från tillrinnande ytvatten genom anläggning av avskärande diken eller genom uppläggning av vallar. Därpå följer s k primärdikning då ett system av huvuddiken anläggs med hjälp av lämpliga grävmaskiner (Se 2.4.4).

Det som karakteriserar deponering i en torvmosse är att depån kommer att ligga i vatten.

Myrvattnet är nästan helt syrefritt, innehåller hög halt humussyror och koldioxid, och därför aggressivt mot byggnadsmaterial som cement och kalksten. Det låga pH-värdet ger också en korroderande miljö för kolstål - trots bristen på syre.

Nyssnämnda miljöförhållanden gör att man måste skydda en betongkonstruktion för angrepp av den omgivande miljön.

Glasfiberarmerad, omättad polyesterplast är ett tänkbart material för ett sådant skydd. Plasten har god beständighet mot vatten och svaga syror. Miljön ger effektivt skydd mot ultraviolett ljus.

2.6 Synpunkter på svenska torvformationers lämplighet för deponering

Migration av från avfallsbehållare frigjorda radionuklider måste kunna uppskattas (koncentration och migrationsvägar) vilket bl a kräver kontrollerbara hydrologiska förhållanden i torvmarken och dess omgivning. Teoretiskt skulle, som föreslagits av Tullström (1958) en ombrogen torvmark under vissa förutsättningar vara lämplig. Om torvmarken bildats genom exempelvis igenväxning kan lagerföljden utgöras av ett impermeabelt bottenlager av gyttja - dy, som överlagras av höghumifierade torvskikt med mycket begränsad vattenrörelse och med hög sorptionsförmåga samt slutligen övre skikt med låghumifierad torv i vilka huvuddelen av vattenströmningen är koncentrerad. En dylik (idealiserad ?) torvmark utbildar ett från omgivningen "isolerat" vattenmagasin och torvmarkens vattenomsättning (nederbörd, avdunstning, avrinning) är koncentrerad till det översta skiktet.

Ombrogena torvmarker ("högmossar") med erforderlig volym bör det i princip vara möjligt att uppbringa. Som framgår av fig 2 har sådana torvmarker sin största utbredning i det nederbördsrika väst-Sverige. Den kemiska miljön i de ombrogena torvmarkerna karakteriseras av ett mycket lågt pH, vilket gör att betongkonstruktioner lätt angrips. Annat, mer beständigt material måste därför användas.

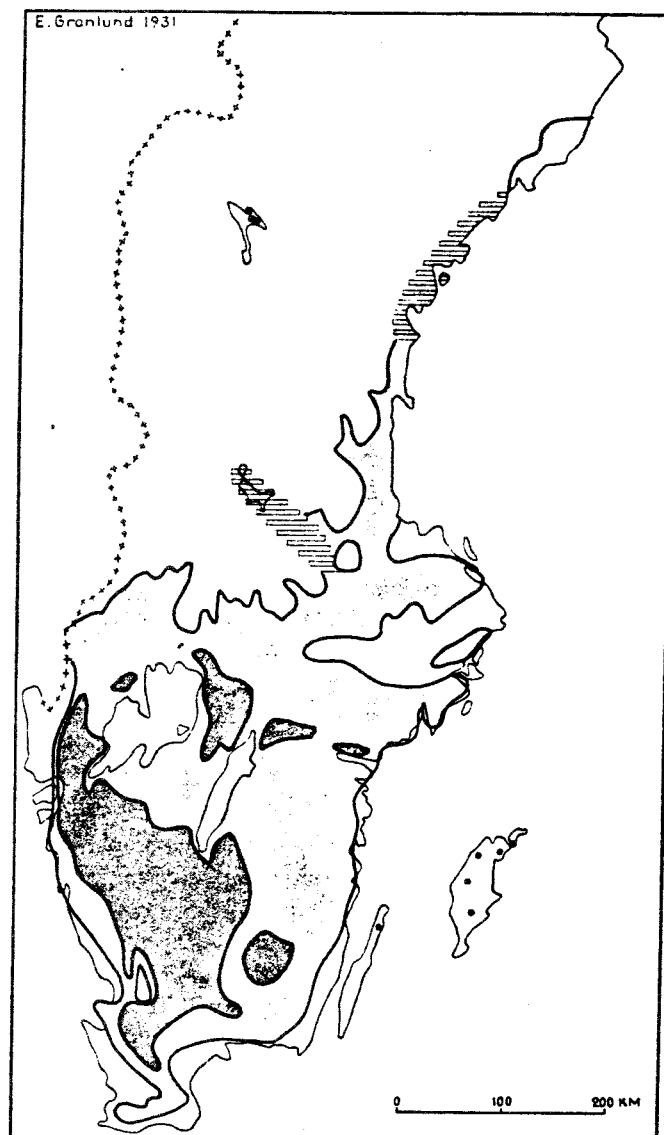


Fig. 11. Högmossarnas utbredning i Sverige. Mörkgrått = områden, där mer än 50 % av hela torvarealen består av högmossar. Svarta punkter = enskilda högmossar. Streckat = områden, där högmossgränsen ej är känd i detalj.

Fig. 2 Ur Granlund E. De svenska högmossarnas geologi,
1932, SGU ser. C N:o 373

pH-värden som t o m överstiger 7 finns i s k kalkkärr, förekommande i områden med företrädesvis kalkberggrund (Gotland, Öland, Skåne, Västergötland och Östergötland). Enligt von Post är torvmarker i Skånes, Västergötlands och Östergötlands kalkområden enbart av s k igenväxningstyp och högmossebildningar är av underordnad betydelse. Tillgängligheten för deponering i kalkkärr (om övriga krav kan uppfyllas) torde dock begränsas bl a av naturskyddshänsyn; kalkkärren tillhör våra artrikaste marker och har redan blivit starkt decimerade genom omvandling till åkerbruksmark, vilket speciellt gäller Gotland.

Andra torvmarkstypers lämplighet för deponering är svårare att värdera (bedöma), då de inte kan renodlas på samma sätt som ombrogena torvmarker. Förutom via nederbörden erhåller dessa torvmarker vatten från omgivande fastmark (mer eller mindre näringsrikt grundvatten) och hur denna vattentillförsel i detalj sker (hydrologin) torde vara mycket avhängigt de lokala topografiska förhållandena m m. Tillförsel av näringsrikt vatten innebär ett högre pH än för ombrogena torvmarker och där pH beror av omgivande mineraljordar. Vissa s k soligena torvmarker (som uppstått av översilning och försumpning av marken genom framträngande grundvatten) har ofta bildats direkt på moränmark och kan sakna impermeabla bottenskikt av gyttja eller dy. Migration kan därför lättare ske mellan torvmark och underliggande moränmark, bl a påvisat av Salmi (1967).

Ett intressant förslag ger Tullström (1958), nämligen deponering i torvmarker som underlagras av lera. Sådana kombinationer finns enligt Tullström i Vänerbäckenet och i Mälars-Hjälmaren-sänkan. Avfallet skulle då till en del sänkas ned i leran och såväl torvens som lerans migrationshinderande egenskaper kan utnyttjas. Lersedimentens bättre bärighet utgör ytterligare en fördel i detta sammanhang.

3 LERA

3.1 Inledning

En litteratursökning, delvis databaserad och inriktad på olika länders insatser för förvar av radioaktivt avfall i lerformationer, har utförts.

Av litteraturstudien framgår att lera och lerformationer i regel rönt ett begränsat intresse i jämförelse med saltformationer och kristallina bergarter. En orsak till detta kan vara att valet av geologiska formationer för förvar av det aktiva avfallet är avhängigt respektive lands geologiska förhållanden (tillgång till lämpliga formationer). Mer aktiva insatser i form av experiment mm avseende lera har utförts i några få länder, däribland Belgien och Italien.

I det följande sammanfattas resultaten av litteraturstudien varvid en koncentrerad gjorts på de norska och belgiska projekten, vilka av olika skäl bedömts speciellt intressanta. För ett antal år sedan deponerades vid Kjeller i Norge aktivt avfall i lera. Då leror och lerformationer är geologiskt likartade i Sverige och Norge kan de erfarenheter som föreligger rörande urlakning, migration, förändringar i leran m m kanske bättre tillgodogöras än motsvarande från länder med annan geologisk bakgrund.

Den mest massiva insatsen på avfallsdeponering i lerformationer synes ske i Belgien där man avser att deponera medel- och högaktivt avfall på ca 200 meters djup. Även om det här också gäller högaktivt avfall där bl a värmeutveckling och långtidsaspekten ger problem som delvis är inaktuella för låg- och medelaktivt avfall, är detta belgiska projekt intressant då bl a långtgående tekniska lösningar presenteras.

För att lättare kunna överföra data, resultat och erfarenheter från utländska arbeten till våra svenska geologiska förhållanden görs i ett följande kapitel en jämförelse mellan utländska och svenska lerformationer i olika avseenden, såsom ålder, bildningsmönster, uppbyggnad, mineralsammansättning, materialdata m m.

3.2 Utländska projekt

3.2.1 Norge

Vid Instituttt for Atomenergi (IFA), Kjeller, deponerades under hösten 1970 1 000 st 210 liters stålfat i ett utschaktat utrymme i lera och som sedan täcktes med ca 2 meter lera (se fig 3). Det totala aktivitetsinnehållet var ca 240 Ci, fördelat på 70 Ci Sr-90, 70 Ci Cs-137, 100 Ci Co-60 och 2,2 Ci U och Pu (100 kg U, 35 g Pu).

3.2.1.1 Geologi, hydrologi mm

Jordlagren inom institutets område består huvudsakligen av lera med ett medeldjup av 10 - 12 meter över berggrunden. Från 3 - 4 m djup är leran fast, innehåller någon mjäla och mo (silt) och har lågt vatteninnehåll. Skärstyrkan på leran är omkring 3 - 4 ton m^{-2} och det tillåtna marktrycket är inom nedgrävningsområdet 25 ton m^{-2} (säkerhetsfaktor 2 - 3). Den seismiska aktiviteten i södra Norge är liten. Ett starkt skalv 1904 med epicentrum i Oslofjordsområdet märktes i Lillestrøm-området, dock utan skador på byggnader. Små jordras har förekommit i omgivningarna men risken för ras inom institutets område bedöms vara liten.

Kjeller-området dräneras mot Nitelva, som ligger 102 meter över havet (nedgrävningsgropens botten 122 meter ö h). Årsnederbörden vid nedgrävningsplatsen uppmättes 1972--73 till 537 mm. Vintertid snötäckt med ett tjäldjup som uppskattas till max 1 meter. Vatten från avfallsgropen uppsamlas i en ledning, genom vilken passerar ca 500 m^3 /år. Hastigheten genom leran uppskattas till $1,5 \cdot 10^{-6} m s^{-1}$ (spårförsök). Spårförsök med inaktivt jod och brom samt tritium har bl a visat en vattengenomströmningstid av 3 månader.

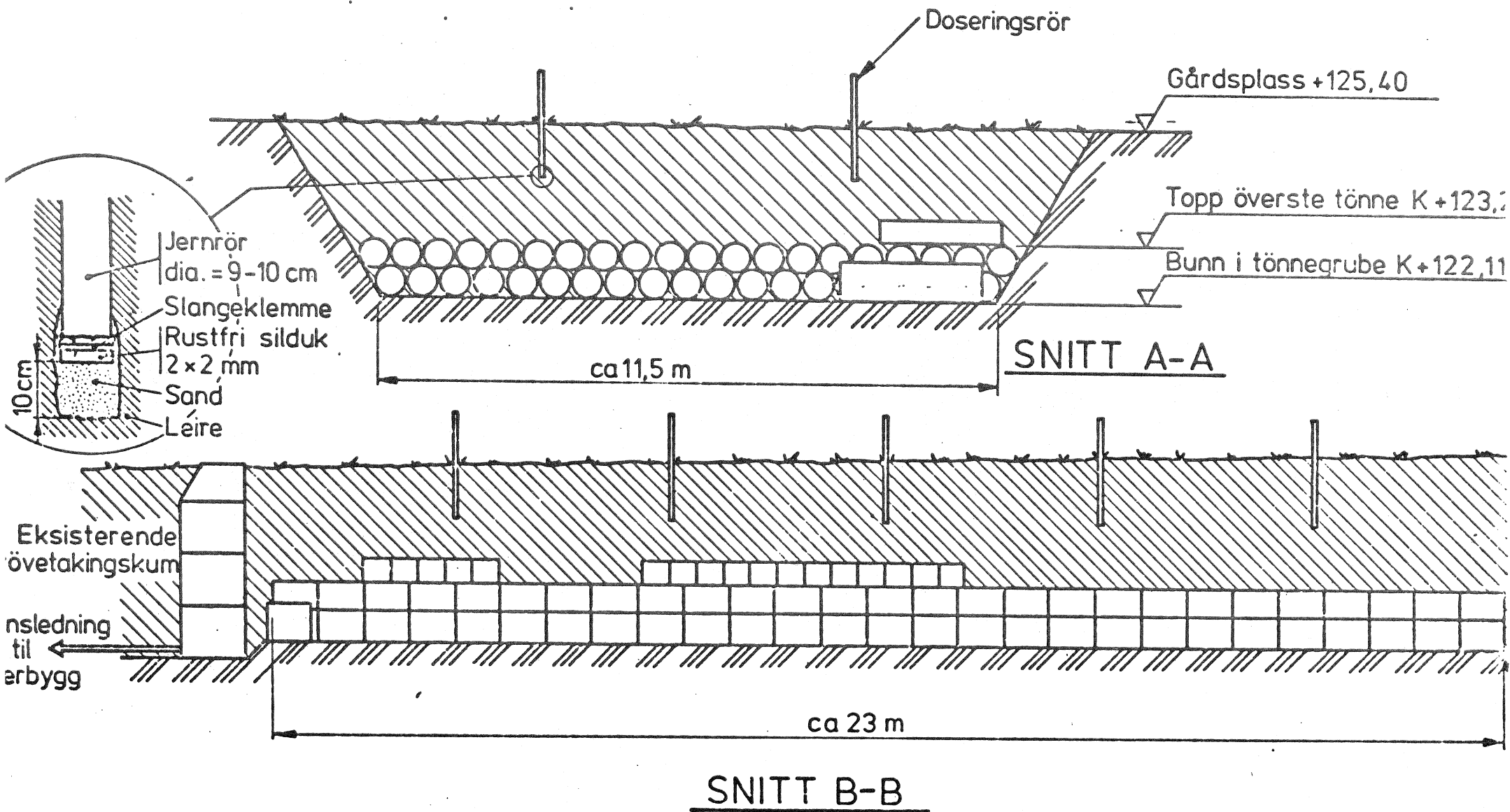
3.2.1.2 Avfallets sammansättning

I avfallet ingår fyra huvudtyper: kompakterat avfall, solidifierat (cement) vätskeformigt avfall, ingjutet (cement) metallavfall samt diverse avfall. Det kompakterade avfallet omfattar 580 kollin i 60 resp 110 liters stålfat, vilka i sin tur är ingjutna i cement i 210 liters fat. Aktivitetsmängden var vid nedgrävningen ≤ 30 Ci (varav ≤ 15 Ci Sr-90). Det vätskeformiga avfallet har överförts i fast form genom tillsats av cement direkt i 210 liters fat, infordrade med 2 mm polyten. Aktivitetsmängd vid nedgrävning ca 70 Ci (varav ca 35 Ci Sr-90). I detta avfall ingår även huvuddelen av Pu och U. Det ingjutna metallavfallet omfattar 130 tunnor med metallskrot, ingjutna med cement i 210 liters fat. Aktivitetsmängden uppgick vid nedgrävningen till ca 100 Ci med dominans av Fe-59 och Co-60 (av vilka Fe-59 nu helt avklingat). Diverseavfallet omfattar slutligen 60 tunnor innehållande bl a organiskt vätskeformigt avfall, jonbytarmassor, samt diverse metallavfall. Den totala aktivitetsmängden av diverse avfall är ca 40 Ci (varav ≤ 20 Ci Sr-90).

Kontrollåtgärder

Kontroll av anläggningen omfattar bl a provtagning och analys av vatten, markvegetation, jordbruksprodukter, fisk samt sediment. I samband med planeringen av nedgrävningen beräknades att ingen spridning till omgivningen skulle ske under de första 50 åren. Efter denna period innehåller avfallet ca 400 curie-ekvivalenter, av vilket huvuddelen utgörs av Sr-90. Kontinuerligt läckage därefter skulle innebära ca 40 curie-ekvivalenter per 10 årsperiod, vilket är av den storleksordning man har tillstånd att utsläppa i Nitelva. Hittills utförda kontroller har inte visat någon aktivitetsförhöjning jämfört med bakgrunden; de senaste mätningarna av dräneringsvattnet från avfallsdepån har dock tidvis visat svag förhöjning jämte en missfärgning av vattnet, som kan tyda på begynnande korrosion av plåtfaten.

I bil 1 ges en mer detaljerad redogörelse för det norska nedgrävningsprojektet.



Skala 1:100

FIGUR 3

ur J E Lundby, Nedgravingsfeltet ved Institutt for Atomenergi, Kjeller
som referansemodell vedrørende sluttlagring
A0(79)6

3.2.2 Belgien

Belgien har ett ambitiöst program för undersökning av förut-sättningarna för förvar av högaktivt avfall i lerformationer. Projektet startade 1974 och beräknas omkring år 1982 resultera i ett pilotförsök i en anläggning i lera på ca 215 m djup. Experimenten utförs i Mol, platsen för CEN/SCK's kärnforskningscentrum.

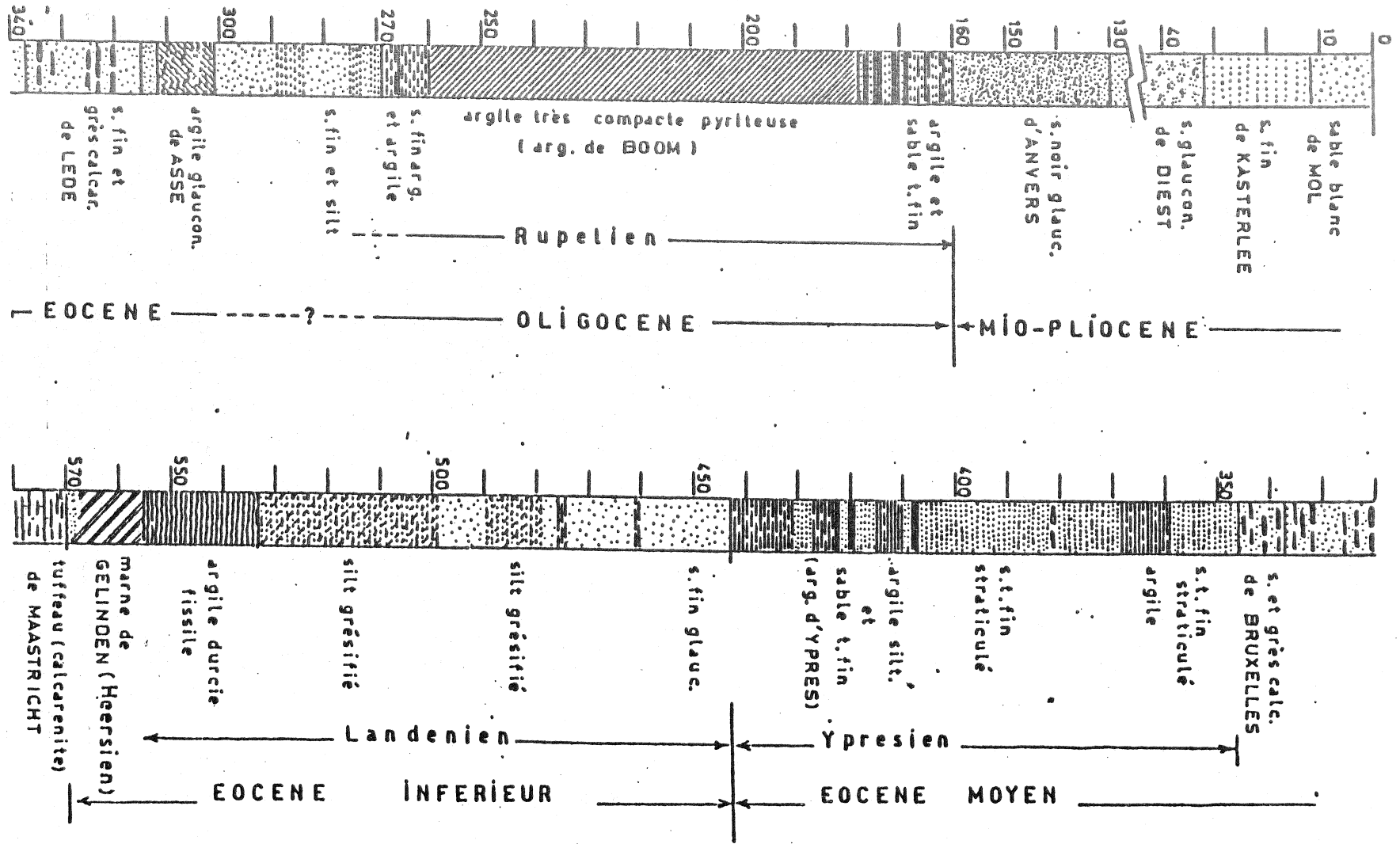
Underlag för följande framställning har hämtats ur bl a Heremans et al (1976), Bonne et al (1979) och Manfrey et al (1979).

3.2.2.1 Geologi

Relativt mäktiga, okonsoliderade sediment täcker i norra Belgien den kristallina berggrunden (som är av paleozoisk ålder, relativt plan med en svag lutning åt NNE). Dessa sediment har bildats i marin miljö under krit- och tertiär-tiden och har mäktigheter av storleksordningen 250 m (krita) respektive 550 m (tertiär). I de tertiära sedimenten, som huvudsakligen består av impermeabla lerformationer, ingår ett ca 80 meter mäktigt lager, s k "Boom-lera", vilket bedömts vara mest gynnsamt för en deponering av avfall. I Mol uppträder denna "Boom-lera" på djupnivåer mellan 160 och 260 meter, och det är följaktligen på dessa djup som pilotförsök och slutförvar kommer att utföras.

Över de tertiära sedimenten följer slutligen yngre (av miocen och plio-pleistocen ålder), permeabla sediment (sandiga). I dessa har utbildats mycket viktiga grundvattenmagasin med grundvattenytan i den övre akvifären liggande relativt nära markytan. Information om den regionala geologin och stratigrafien i området har bl a erhållits genom prospekteringsborrningar (för kol), fotosatellitstudier och reflexionsseismik. Kartering av kärnan från ett 550 meters hål borrar i Mol har gett en stratografisk profil enligt fig 4.

Fig 4 : COUPE STRATIGRAPHIQUE SUPPLÉMENTAIRE DU FORAGE GÉOLOGIQUE



M.S. 1976

3.2.2.2 Hydrologi och hydrogeologiska undersökningar

Som bl a framgår av fig 4 förekommer permeabla lager (sandiga) såväl ovanför den täta Boom-leran som under densamma, vilka utbildar grundvattenmagasin. Piezometrar har introducerats i de olika akvifärerna, och mätresultaten indikerar en svag hydraulisk gradient i Boom-leran. En mer omfattande undersökning planeras med målsättning att bl a uppmäta riktning och hastighet för vattenflöden på olika nivåer; man misstänker bl a att Boom-leran kan vara mer komplex än vad som tidigare antagits. I ett sandförande skikt under Boom-leran har genom pumpförsök uppmätts $4.2 \times 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$ för permeabiliteten och 4.3×10^{-4} för magasinskoefficienten. För de permeabla skikten ovanför Boom-leran erhöles värden mellan $1.1 \times 10^{-4} - 1.4 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ för permeabiliteten och $3 \times 10^{-3} - 4.9 \times 10^{-6}$ för magasinskoefficienten.

3.2.2.3 Karakterisering av lerformationen

Prover från Boom-leran har tagits i samband med borrhningarna och analyserats i avseende på kemisk sammansättning, mineralinnehåll, geomekaniska egenskaper etc. Värdena är sammanställda i tabell 1.

Sammansättningen av Boom-lerans porvatten har analyserats, och dessa resultat jämförs i kap. 3.3 med motsvarande från analys av porvatten ur en svensk glaciallera. Totala jonkoncentrationen i porvattnet uppges till $809 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ för katjoner och $803 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ för anjoner; senare bestämningar antyder dock lägre halter, 300 à $400 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$, och skälet till detta tros vara upplösning av salter (exempelvis gips) i samband med analysförfarandet.

3.2.2.4 Jonbyteskapacitet och K_d

Såväl batchförfarande som kolonnförsök har tillämpats vid bestämningarna. Katjonbyteskapaciteten för Boom-lera är av storleksordningen $0.2 - 0.35 \text{ meq g}^{-1}$. För K_d -bestämningarna har använts en moderlösning bestående av vatten från en högre uppliggande akvifär (- d'Anvers, jfr fig 4). Motiveringen

TABELL 1

SiO ₂	59,43	H ₂ O ⁺	7,82
Al ₂ O ₃	16,94	SO ₃	2,62
Fe ₂ O ₃	5,82	P ₂ O ₅	0,07
TiO ₂	0,87	C	1,32
CaO	1,58		
MgO	1,69		
K ₂ O	2,80		
Na ₂ O	0,53		
		H ₂ O ⁻ (humidité) 22,45 %	

- Natural water content (weight %) : ~26
- Chemical composition of dry material (%) : ~64 SiO₂, 14 Al₂O₃,
5.9 Fe₂O₃, 2.2 K₂O,
1.4 Na₂O, 0.6 CaO,
0.5 TiO₂, 0.7 MgO
weight loss at 1000 °C 9.8
- Mineralogical composition of the fraction <20μ (%) : illite 25, smectite 20,
vermiculite 30, illite-
montmorillonite interstratified
15, chlorite + chlorite-vermi-
culite interstratified 10
- Granulometric composition (%) : d < 2 μ : 49
2μ < d < 60 μ : 47
60μ < d < 200μ : 3.5
d > 200 μ : 0.5
- Bulk density (t.m⁻³) : ~1.93
- Dry density (t.m⁻³) : ~1.53
- Plasticity limit (%) : ~33
- Liquidity limit (%) : ~82
- Index of plasticity (%) : ~49
- Permeability (cm s⁻¹) : between 1.4.10⁻⁸ and 4.7.10⁻¹⁰
- Porosity (%) : between 34.6 and 44
- Saturation degree (%) : between 88.4 and 100
- Elasticity modulus at the origin (kg cm⁻²) : between 1000 and 3500
- Undrained shear strength -Cu (kg cm⁻²) : between 3.3 and 8.6
- Apparent cohesion C' (kg cm⁻²) : 1.1 average value
- Angle of shearing resistance φ'_u (°) : 19
- Thermal conductivity (Wm⁻¹C⁻¹) : ~1.3 at 20 °C, 0.3 at 100 °C
~0.45 at 300 °C
- Specific heat (Wh.kg⁻¹ °C⁻¹) : ~0.26 at 25 °C
~0.41 at 275 °C
- Natural radio-activity (μCi.100 g⁻¹ dry sample) : ⁴⁰K ~2.10⁻³
²²⁶Ra ~2.1 10⁻⁴
²³²Th ~1.2 10⁻⁴
- Ion exchange capacity : ~20 meq 100 g⁻¹

till detta är att man vid riskanalysen räknar med att detta vatten eventuellt kan "dränka" den underjordiska avfallsanläggningen och följaktligen kunna utgöra det vatten i vilket migration sker.

Med denna moderlösning och för elementkoncentrationer mellan 0.1 (0.02 för Pu) och 1000 mg l⁻¹ har för följande element erhållits nedanstående maxvärden för K_d :

Cs	max	6657 ml g ⁻¹
Sr	"	1061 "-
Eu	"	13089 "-
Pu	"	59000 "-
I	"	5 "-

Dessa värden gäller för en lera, som är obehandlad med undantag för torkning till 110°C och att den bringas i kontakt med lösningen vars pH initialt är 8.3.

Senare experiment har visat att K_d -värden för leran under "realistiska" förhållanden, dvs i kontakt med sitt porvatten, bör ligga lägre. Man betonar därför betydelsen av att väl känna de fysikaliskt-kemiska förhållandena, som råder "in situ".

3.2.2.5 Beräkningar av radionuklidens migration

En beräkning har gjorts av migrationen av några kritiska nuklider, som antas utlakade från förglasat högaktivt avfall, deponerat på 200 m djup i de aktuella lerformationerna i Mol och där kapslingen antas ha helt upplösts efter 5000 år. För grundvattnets hastighet antas värdet $2.3 \cdot 10^{-10}$ cm s⁻¹ och för diffusionskonstanten i lera värdet $5 \cdot 10^{-6}$ cm² s⁻¹.

Vid beräkning av fördröjningen R har använts sambandet $R = 1 + rK_d$, där r är förhållandet mellan lerans densitet och porvolym och K_d är distributionskonstanten. Värden för R visas i tabell 2 jämte T_s och x, där x är avståndet i meter inom vilket koncentrationen är mindre än den maximalt tillåtliga och T_s är den tid (år) efter upplösningen, då detta gränsvärde erhålls.

Tabell 2

Radionuklid	R	Ts	x
Cs-137	10^2	$6 \cdot 10^2$	2
Sr-90	10	$6 \cdot 10^2$	6
Pu-239	10^4	$3 \cdot 10^5$	3
Pu-240	10^4	10^5	1.5
Am-243	10^4	10^5	2
Np-237	10^4	10^7	20
I-129	1	$6 \cdot 10^5$	200

3.2.2.6 Speciella problem i samband med deponering av högaktivt avfall i lera

Värmeutvecklingen från avfallet kan förändra (till det sämre) den geologiska barriären genom bl a

- Uppkomst av konvektiva vattenrörelser (som dock ger ökad avledning av värme) med nya icke önskade migrationsvägar.
- Korrosiv gas kan bildas av organiskt material och vissa mineralkomponenter.
- Lermineralen kan förändras irreversibelt.

Utgående från uppmätta geotermiska parametrar för leran och med följande förutsättningar:

- Maximal temperaturstegring i leran 100°C
- Maximal temperaturstegring i omgivande vattenförande sandlager (akvifärer) 5°C
- Maximal temperaturstegring på markytan 0.5°C

har maximala termiska belastningen beräknats till 15 kW per hektar.

Lerans plasticitet kan vid konstruktion och byggnad förorsaka tekniska problem med avseende på bl a djupet till anläggningen, diametrar på tunnlar och inklädning av väggar. Utgående från geotekniska parametrar för leran räknar man med att kunna bygga tunnlar på 225 m djup och med en diameter på 3-4 meter.

Det anses nödvändigt att anläggningen (och avfallet) är tillgängligt under en viss tid med hänsyn till att erfarenhet saknas av byggnad av anläggningar liknande denna. Detta innebär att lagerutrymmena i tunnlarna inte kan utnyttjas maximalt.

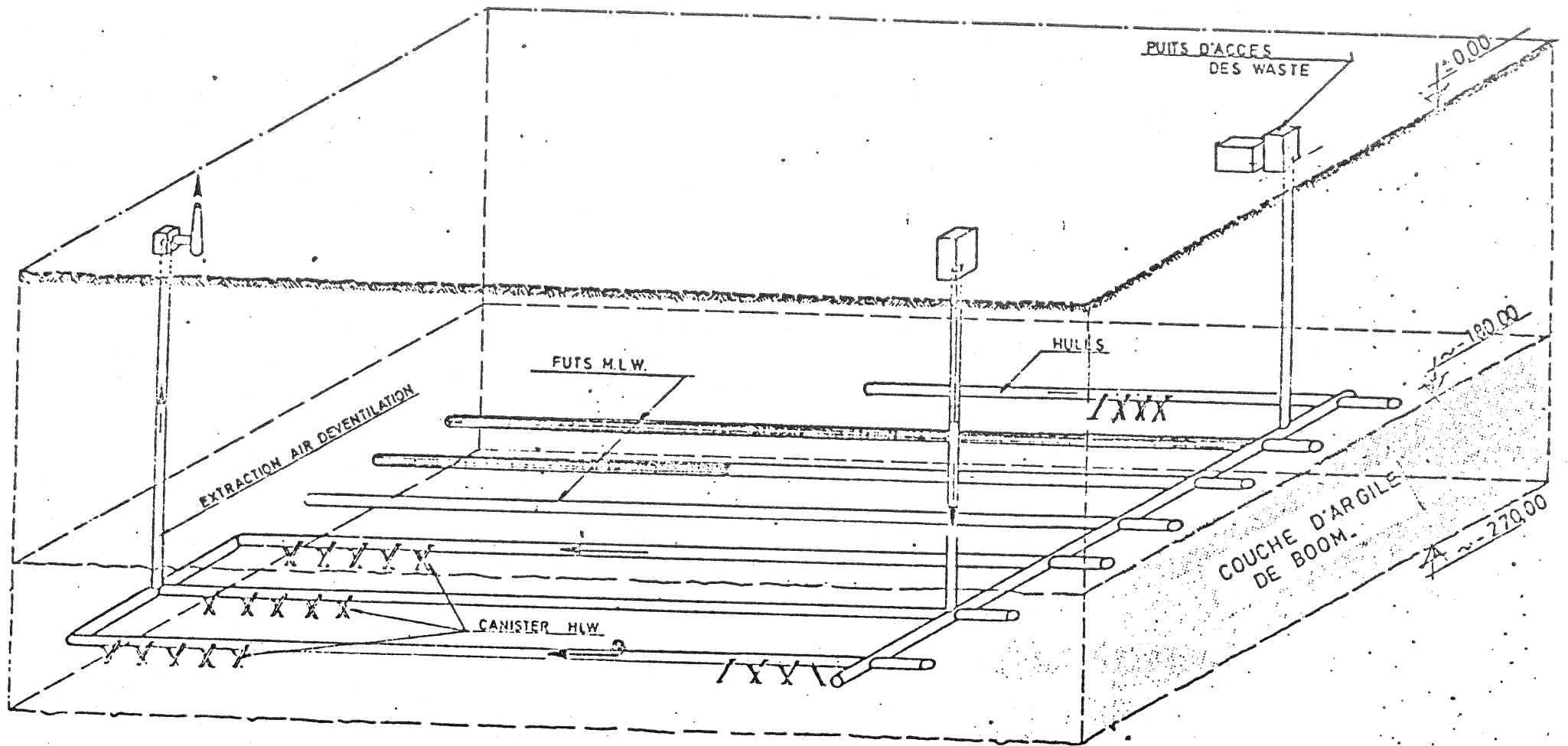
Lösandet av de olika tekniska problemen kräver en rad teoretiska och experimentella insatser, som inte specifikt redovisas i tillgängliga rapporter, avseende exempelvis lerans termiska utvidgning, lerans krypning, inverkan av temperatur och gammastrålning, termisk analys och korrosionseffekter på metaller, legeringar, oxider etc.

3.2.2.7 Utformning av anläggningen och teknik vid byggande


Utformning av den underjordiska deponeringsanläggningen framgår av fig. 5. Det höga trycket från den plastiska leran begränsar dimensionerna på schakt och orter och är skälet till en cirkulär utformning av densamma. De två vertikalschakten har en diameter på 4.5 meter. Samma dimension har den horisontella huvudorten, medan de sekundära orterna (från vilka förvaringshålerna för avfallsbehållarna tas upp) har diametern 3.5 meter.

Under grävning av schakten är det nödvändigt att välja en teknik, som hindrar lerlagren och vatten att tränga in. En metod är att stabilisera jordlagren genom frysning. Schaktet grävs innanför en skyddande "frusen vägg". För att uppnå detta placeras rör för kyld, cirkulerande saltlösning i hål som borrar runt schaktet. När den frusna väggen fått tillräcklig stabilitet kan grävning utföras med konventionella hjälpmedel.

Betonginfodringen av schaktet utförs med ett yttre och ett inre skikt. Det yttre skiktet gjuts mot den frusna väggen från schaktets topp till dess botten allt eftersom grävningen fortskrider. På betongytan appliceras ett vattentätt skikt. Slutligen gjuts det inre, armerade skiktet kontinuerligt från botten till toppen.



Figur 5

 Institut National de l'Énergie Atomique DIRECTION GÉNÉRALE DES REACTEURS	CEN/SCK	PROJET HADES
	Direction Générale des Réacteurs à Basse Pression	

Under gjutning av schakten kan kylrör införas i sidled så att cirkulära, tvärgående lagerrum kan byggas samtidigt med schakten.

Delar av de refererade rapporterna innehåller detaljerade beskrivningar av tekniska lösningar och problem avseende konstruktion och byggnad av anläggningen. Detaljbehandling av dessa problem har bedömts ligga utanför detta uppdrag.

3.2.3 Italien

Berggrunden i Italien är tektoniskt relativt instabil vilket bl a är skälet till att man vill deponera avfallet i plastiska geologiska formationer såsom lera och salt. Lerformationer förekommer rikligt i Italien. Som testområde (och referensområde) för bl a in situ experiment har valts kärnforskningsstationen vid Trisaia, belägen vid joniska havet i södra Italien.

Stationen ligger på en ca 1 000 meter mäktig lerformation av Plio-Pleistocene ålder (11 milj år). Under denna formation finns i sin tur sedimentformationer, som går under benämningen "the chaotic complex" och utgörs av, genom skred i samband med tektoniska rörelser i tidig pliocene tid, överskjutna och omlagrade äldre sediment. Under "the chaotic complex" finns autochtona (d v s på platsen avlagrade) leror från tidig pliocen och vilka vilar på kalkstensberggrund från kritepoken. Totala mäktigheten av plastiska sediment under Trisaia är ca 3 000 meter; undersökningarna koncentreras till den övre 1 000 meter mäktiga formationen.

I tidigare rapporter betonas att Trisaia inte utgör någon slutgiltigt vald plats för deponering utan endast valts p g a dess lämplighet som testplats. I senare rapporter anges dock att man eventuellt kommer att utföra pilotförsök här (i likhet med Mol, Belgien). Kunskap om stratigrafi m m har framförallt erhållits genom i grannskapet utförda borrhningar för oljeprospektering och den aktuella leran beskrivs som en massiv, blå-grå lera; dock med inslag av sandlinser innehållande saltvatten och metangas på 350 och 500 meters nivå.

Undersökningar och experiment har hittills koncentrerats till ytliga skikt av leran, mindre än 50 meter. Fysikaliska, kemiska och geotekniska parametrar hos leran från dessa ytliga nivåer framgår nedan:

Mineralogisk sammansättning

Kvarts	12%			
Plagioklas	< 2%			
Karbonater	20%			
Lermineral	66%	}		
			illit	60%
			montmorillonit	13%
			kaolinit + klorit	27%
Korndensitet	2,71 g/cm ⁻³			
Skrymdensitet	1,66 "-			
Vattenhalt	22,9%			
Flytgräns	45,1			
Plasticitetsgräns	22,1			
Plasticitetsindex	23,1			
Jonbyttekapacitet	10 - 50 meq/100 g			
Permeabilitet	10 ⁻¹⁰ m s ⁻¹	(från in situ försök med Br-82)		
Värmeledningsförmåga	3,8 10 ⁻³ cal cm ⁻¹ s ⁻¹ °C ⁻¹			

Värmeexperiment har utförts dels in situ och dels i laboratoriet. Laboratorieförsöken omfattade studium av temperaturfördelningen i ett lerblock, som under varierande betingelser upphettades med en värmestav. Vid in situ försöken introducerades en värmekropp (ca 40 W/liter), simulerande en avfallsbehållare på 8 meters djup i leran och omgavs med termoelement. Max temperatur översteg 500°C. Experimentet pågick ungefär 1 år. Viss tveksamhet råder beträffande resultaten p g a värmeavledning genom konvektion från den dåligt pluggade värmekroppen. Man rapporterar bl a

- reduktion av kalciumkarbonat, särskilt i fraktioner < 2 μm
- bildning av gips (troligen oxidation av FeS₂ och reaktion med Ca CO₃)
- lerfraktionen bestod nu nästan uteslutande av illit med starkt demolerad struktur. Ingen montmorillonit och endast spår av kaolinit och klorit fanns i den omvandlade leran.

I ett planerat försök in situ kommer förutom temperaturfördelningen även porvattentrycket att mätas. I övrigt anges följande program (Gera,1976)

- allmänna geologiska och geofysiska studier av området
- borrhning och provtagning av lerformationen med geofysisk loggning och hydrologiska tester
- mineralogisk, kemisk och geoteknisk analys av lerprover
- värmeexperiment i lab och in situ
- experimentella studier av strålningseffekter i lera
- studium av förkastningar och sprickor i lerformationen
- studium av effekter i på naturlig väg upphettad lera
- tekniska studier för deponering i lera
- säkerhetsanalyser.

Det italienska programmet finansieras delvis av EG.

3.2.4 Övriga länder

USA

Arida områden i västra USA täcker mycket stora landområden, som kan vara lämpliga för avfallsdeponering. Den stora sänkan vid Nevada och Utah är ett hydrologiskt slutet system utan något avlopp till havet. Testområdet i Nevada, som ligger inom denna sänka, har också varit centrum för ett omfattande arbete med kärnenergi under de senaste decennierna. Området innehåller flera media av potentiellt intresse för geologisk deponering.

Vulkanisk tuff och lerskiffrar undersöks för närvarande som tänkbara jordlager för framtida deponering av radioaktivt avfall (Heath, Batch -79).

Yttnära marknedgrävning i täta lerjordar har tillämpats t ex vid nedgrävningsfälten Maxey Flats, Kentucky och West Valley, New York.

Fördelarna med täta lerjordar bedömdes vara

- låg permeabilitet (låg infiltration av regnvatten i överliggande jordlager samt låg vandringshastighet för grundvattnet)
- hög jonbyteskapacitet och höga värden på distributionskonstanten K_d , för relevanta radionuklider (stark fördröjning av radionuklidernas migration)

De nämnda fördelarna är oomtvistliga men trots detta blev det praktiska utfallet negativt. Det visade sig nämligen att när de täta jordlagren grävdes upp och sedan återfylldes över avfallet, blev dessa jordlager ej så täta som de omgivande. Läget försämrades av att årstidernas temperaturcykling, d v s frysing - tining, gav upphov till sprickor med, relativt sett, hög infiltration av regnvatten. En bidragande omtändighet har varit den höga årsnederbörden, som för ovan nämnda platser ligger omkring 1 000 - 1 100 mm.

Resultatet blev att ett antal jorddiken fylldes med vatten och svämmade över, med kontamination av omgivningen som följd.

Schweiz

Ler- (och märgel-) formationer är vanliga i Schweiz såväl sådana som går i dagen som underjordiska. De senare kan förekomma ner till flera tusen meters djup.

Lagren kan ha en tjocklek av flera hundra meter, särskilt i alpina regioner, där de till följd av trycket vanligen transformeras till relativt spröda lerskiffrar.

Preliminära observationer i gångar och tunnlar indikerar att alpina lerskiffrar på större djup är tilltagande plastiska och ogenomsläppliga.

Lämpligheten hos leror, mörgel och skifferar för deponering av radioaktivt avfall kategori 2 och 3 (IAEA) kommer att studeras ytterligare genom "in situ" experiment och genom prov på borrhärlor. (H Issler, 1979)

Spanien

En studie har genomförts beträffande möjligheterna att deponera uppärlbetningsavfall i en djup geologisk formation. De lokaler som förefaller ge de bästa förutsättningarna är bl a lerskifferar och tertiära lerlager.

Lerskifferar

I Sierra Morena bergen är stora områden täckta med lerskifferar från paleocene tid. Några specifika lokaler har ännu ej utvärderats, men planer finns på att studera lerskifferarnas egenskaper med hänsyn till mineralogisk sammansättning, permeabilitet och jonbytesförmåga.

Leror

De jordlager från miocen tid, som täcker stora områden i det inre av Spanien och sänkorna kring floderna Ebro och Guadalquivir, består huvudsakligen av lera i horisontella skikt, 50 - 200 m tjocka.

Denna lera är vanligen täckt av ett lager kalksten, som skyddar mot erosion.

En mer detaljerad studie planeras beträffande lerlagren i områdena kring Las Bardenas och Los Monegros inom Ebro-sänkan. Området karakteriseras av mycket låg befolkningstäthet och en årsnederbörd omkring 300 mm. (Gera, Denver 1976)

3.3 Utländska och svenska lerformationer - en jämförelse

En svårighet att utnyttja utländska erfarenheter och resultat är att geologiska förhållanden och geokemisk miljö alltid är specifik för ett deponeringsområde; utländska data kan med andra ord inte okritiskt tillämpas på svenska förhållanden. I detta kapitel jämförs i olika avseenden testområden i Mol (Belgien), Trisaia (Italien), Kjeller (Norge) med potentiella deponeringsområden i Sverige varvid hänvisas till rapporten "Kartläggning av svenska lerformationer" (Nordlander, 1979).

3.3.1 Ålder - bildningsmiljö

Lerformationerna på försöksplatserna i Belgien (Mol) och Italien (Trisaia) har avsatts under oligocen respektive pliocen - pleistocen tid, d v s åldern på sedimenten är mer än 1 milj år. Aktuella svenska lerformationer har antingen avsatts i samband med den senaste inlandsisens avsmältning (glaciala) eller efter denna (postglaciala) och deras ålder är av storleksordningen 10 - 15 000 år eller yngre.

När ett lersediment bildas är porositeten i leran hög och vattenhalten kan vara 70 - 80%. Olika geologiska processer (kompaktion m m) kan sedan orsaka förändringar i leran såsom minskning av porositeten (och vattenhalt), nybildning av mineral, ändring i plasticitet och av porvattnets sammansättning etc. Sedimentets ålder spelar här en roll med tanke på långsamheten i geologiska processer och skillnader i egenskaper hos äldre och yngre sediment kan därför förväntas.

De belgiska och italienska lerornas bildningsmiljö är marin medan de svenska lerorna, beroende på läge och tidpunkt, kan ha bildats antingen i marin eller lacustrin (sötvattens) miljö. I vissa fall kan i svenska lerformationer marina och lacustrina leror växellagra, exemplifierat i vissa dalgångar på västkusten. Det har visat sig att bildningsmiljön (marin eller lacustrin) kan påverka sedimentets sammansättning och egenskaper; bl a i avseende på porvattnets sammansättning.

3.3.2 Mäktigheter - struktur

De kontinentala sedimentformationerna (i vilka ingår lerstrata), är avsevärt mäktigare än de aktuella svenska och av storleksordningen 1 000 meter mot 100 meter och mindre och man kan i de förra bygga förvar (om det är tekniskt utförbart) på stora djup vilket kan reducera risken för spridning till omgivningen av radioaktivitet (långa transportvägar). Aktuella leror i Mol och Trisaia uppges vara homogena och "kompakta" vilket ökar säkerheten mot spridning med tanke på långsam vattenrörelse. Glaciala leror har däremot p g a årsrytmen i isens avsmältning skiktats vid sedimentationen; ljusa sommarvarv (högre andel siltfraktion) växellagras med mörka, finkorniga vintervarv. Skillnader i horisontal och vertikal permeabilitet kan förväntas liksom överhuvud taget en högre permeabilitet (p g a siltinslaget) än i en homogen lera. P g a flockning utbildas inte distinkta varv i saltvattenmiljö (gäller framförallt lerformationer på västkusten) jämför även kap. 3.4.2.

3.3.3 Porvattnets sammansättning

Sammansättningen av lerans porvatten tillmäts stor betydelse vid de grundläggande undersökningarna i Mol (Bonne et al, 1979). I tabell 3 jämförs därför sammansättningen av porvatten från Boom-lera med motsvarande från glacial lera vid Uggleviken, Stockholm (Talme, 1968).

Tabell 3

Element	Boom-lera	Glaciallera, Uggleviken
Na mg l ⁻¹ (ppm)	7 300 - 10 500	1 360
K "-	1 250 - 2 450	67
Mg "-	1 650 - 4 950	103
Ca "-	1 600 - 7 400	100
Cl "-	140 - 350	2 080

3.3.4 Lerans egenskaper

I tabell 4 har sammanställts några tillgängliga data för en glaciallera vid Uggleviken, Stockholm (Talme, 1968) vilka jämförts med motsvarande värden för Boom-lera respektive lera från Trisaia.

Tabell 4

	Boom-lera	Trisaia-lera	Uggleviken
Partiklar < 2 μ m (%)	~ 49	~ 66	~ 83
Katjonbyteskap. mekv/100 g	~ 20	~ 50 - 60	~ 16
Plasticitetstal	~ 33	~ 10 - 25	~ 27
Skrymdensitet	1,9	1,7	1,5
Kompaktdensitet	2,7	2,7	2,7
Vattenhalt vikt%	26	23	51
Plasticitetsgräns	33	22	27

3.4 Egenskaper av betydelse för avfallsdeponering och synpunkter på dessa

Egenskaper som kanske i första hand gör lera attraktiv som deponeringsmedium är dess plasticitet (självläker vid tekniska störningar), goda sorptionsegenskaper (ger barriär mot migration) och låga permeabilitetsvärden (långsamma vatten-transporter). I det följande inventeras en rad egenskaper hos lera och lerformationer som är av större eller mindre betydelse för bedömning av förutsättningarna att i dem deponera aktivt avfall. Under varje avsnitt görs, i den mån data föreligger, även en värdering av respektive egenskaper hos svenska leror och lerformationer, i första hand de i Nordlanders rapport upptagna.

3.4.1 Erforderliga volymer

I likhet med avsnitt 2.4.1 (torv) gäller de avfallsvolymer som förutsetts för ALMA-projektet, d v s totalt ca 60 000 m³. Denna volym bör kunna rymmas i en avfallsanläggning och även här gäller att de under 2.4.1 skisserade principalternativen kan tänkas; delvis nedsänkt (A), nedsänkt med överdelen i höjd med marknivån (B) och helt omsluten av lera (C). Det sista

alternativet är analogt med det belgiska utförandet (Mol) och bör i princip vara möjligt med tanke på de i Nordlanders rapport redovisade mäktigheterna.

3.4.2 Hydrologi och hydrologiska parametrar

Permeabiliteten i lera är låg; för Boom-lera (Mol, Belgien) uppges värden mellan $1,4 \cdot 10^{-10}$ och $4,7 \cdot 10^{-12} \text{ m s}^{-1}$ och för lera från Trisaia-området $10^{-10} \text{ m s}^{-1}$. Knutsson (1978) anger karakteristiska gränser för permeabiliteten i lera till 10^{-8} - $10^{-11} \text{ m s}^{-1}$ vilket ger strömningshastigheter för grundvattnet av storleksordningen $3 - 0,003 \text{ mm år}^{-1}$ om $0,01$ antas som värde för den hydrauliska gradienten. Motsvarande strömningshastighet för Boom-leran i Mol har uppmätts till $0,07 \text{ mm år}^{-1}$ ($2,3 \cdot 10^{-12} \text{ m s}^{-1}$). Tullström (1958) anger som riktvärde för vattenströmning i lera 25 mm år^{-1} .

Den horisontella permeabiliteten är i regel större än den vertikala beroende på skiktning vid sedimentationen. Förekomst i de glaciala lerorna av linser med relativt permeabelt material (morän, sand, silt etc) kan ge upphov till lättframkomliga migrationsvägar till omgivande vattentäckter m m. Karakteristiska värden på permeabilitet och strömningshastighet för grundvatten i de inventerade lerformationerna finns säkerligen men har inte kunnat införskaffas inom projektets ram.

3.4.3 Sorptionsegenskaper

Allmänt om sorption, se under 2.4.3. Lermineralen karakteriseras av stor specifik yta, av samma storleksordning som för torv. För vissa typer av montmorillonit kan den specifika ytan överstiga $100 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$; för illit är specifik ytan av samma storleksordning och för kaolinit är storleksordningen $10 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (van Olphen, 1979).

Som riktvärde på jonbyteskapaciteten för kaolinit kan anges $2 - 3 \text{ mekv}/100 \text{ g}$, för montmorillonit $70 - 100 \text{ mekv}/100 \text{ g}$ och för illit $25 \text{ mekv}/100 \text{ g}$ (van Olphen, 1979). För svensk styv lera anges värdet $25 \text{ mekv}/100 \text{ g}$ (Troedsson, 1973).

I litteraturen finns många bestämningar på K_d för leror redovisade. De kanske intressantaste i detta sammanhang torde vara de vid Universitet i Helsingfors utförda bestämningarna (Kohtala, 1979), då de bl a omfattar lera från Kjeller. Erhållna resultat för leror redovisas i tabell 5.

Vid Cadarache-centret, Frankrike, har K_d -bestämningar utförts på lerjordar med värden mellan 15 - 60 ml/g för Sr-90 och mellan 20 000 - 50 000 ml/g för Cs-137.

Tabell 5 K_d -värden ur Kohtala (1979)

Sr-85, Cs-134 och Am-241 sorptionsprocenter och K_d -värden för styvlера, gyttjelera och sand i grundvatten (medelvärden).

	Sr-85		Cs-134		Am-241	
	%	K_d (ml/g)	%	K_d (ml/g)	%	K_d (ml/g)
Styvlера	94,6	174	98,6	723	99,9	31 240
Gyttjelera	96,1	245	95,0	188	99,6	2 800
Sand	32,6	4,83	38,0	6,12	97,3	362

Zn-65, Co-58 och Fe-59-isotopernas sorptionsprocenter och K_d -värden för olika jordtyper i grundvattenlösning (medelvärden).

	Zn-65		Co-58		Fe-59	
	%	K_d (ml/g)	%	K_d (ml/g)	%	K_d (ml/g)
Kjellers lera	99,8	4 160	98,4	597	100,0	$>10^4$
Styvlера	99,9	7 490	99,6	2 240	100,0	$>10^4$
Mjällig lera	99,8	4 990	97,9	456	100,0	$>10^4$
Molera	99,3	1 420	97,8	445	99,8	4 990
Gyttjelera	97,9	456	96,3	257	98,6	708

3.4.4 Stabilitet

Olika geotekniska krav på aktuella lerformationer (Nordlander, 1979) när det gäller byggnad av en avfallsanläggning behandlas inte i föreliggande rapport. Som framgår av kartläggningen av svenska lerformationer (Nordlander, 1979) innehåller 3 områden lera med hög sensitivitet (kvicklera). Detta gäller områden vid Bohuskusten, Götaälvdalen och Säve- och Lärjeåns dalgångar.

3.4.5 Lokalisering

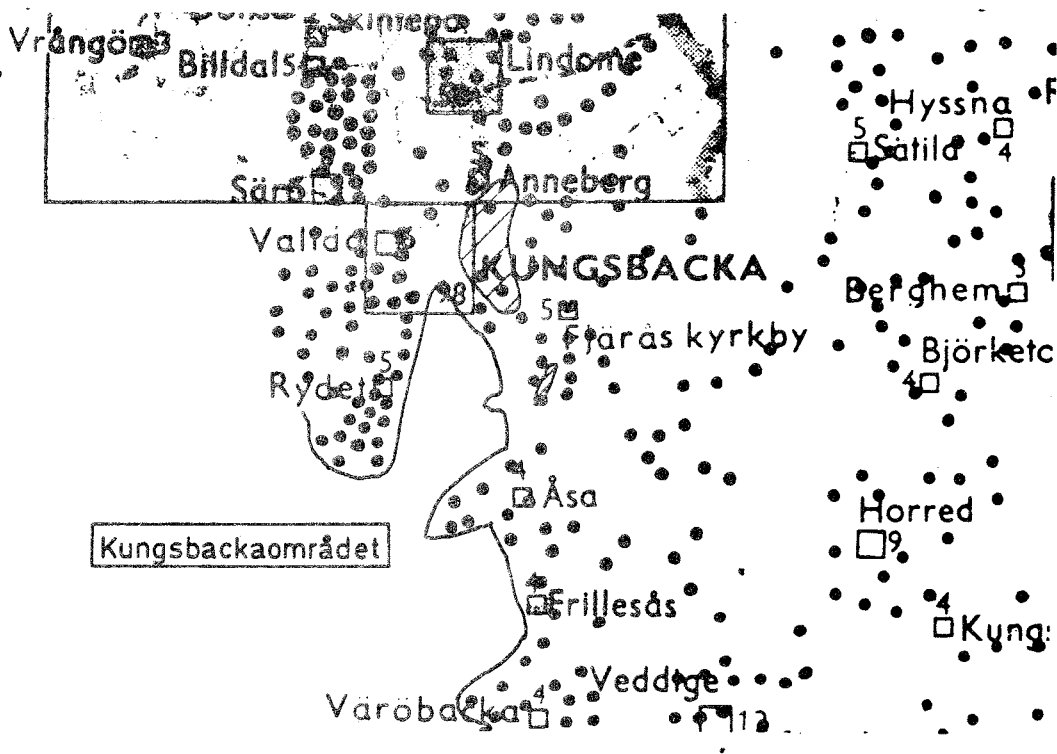
Utöver de generella synpunkter som framförts under 2.4.5 gäller att aktuella lerformationer ligger inom relativt tätbefolkade områden. Detta framgår av i fig 6 - 9 redovisade befolkningskartor där fem områden från Nordlanders rapport inritats, nämligen

- 1 Kungsbackaområdet (även ett mindre område vid Fjärås)
- 2 Ängelholm och Laholmsområdet (två områden)
- 3 Vikbolandet
- 4 Västgötaslätten

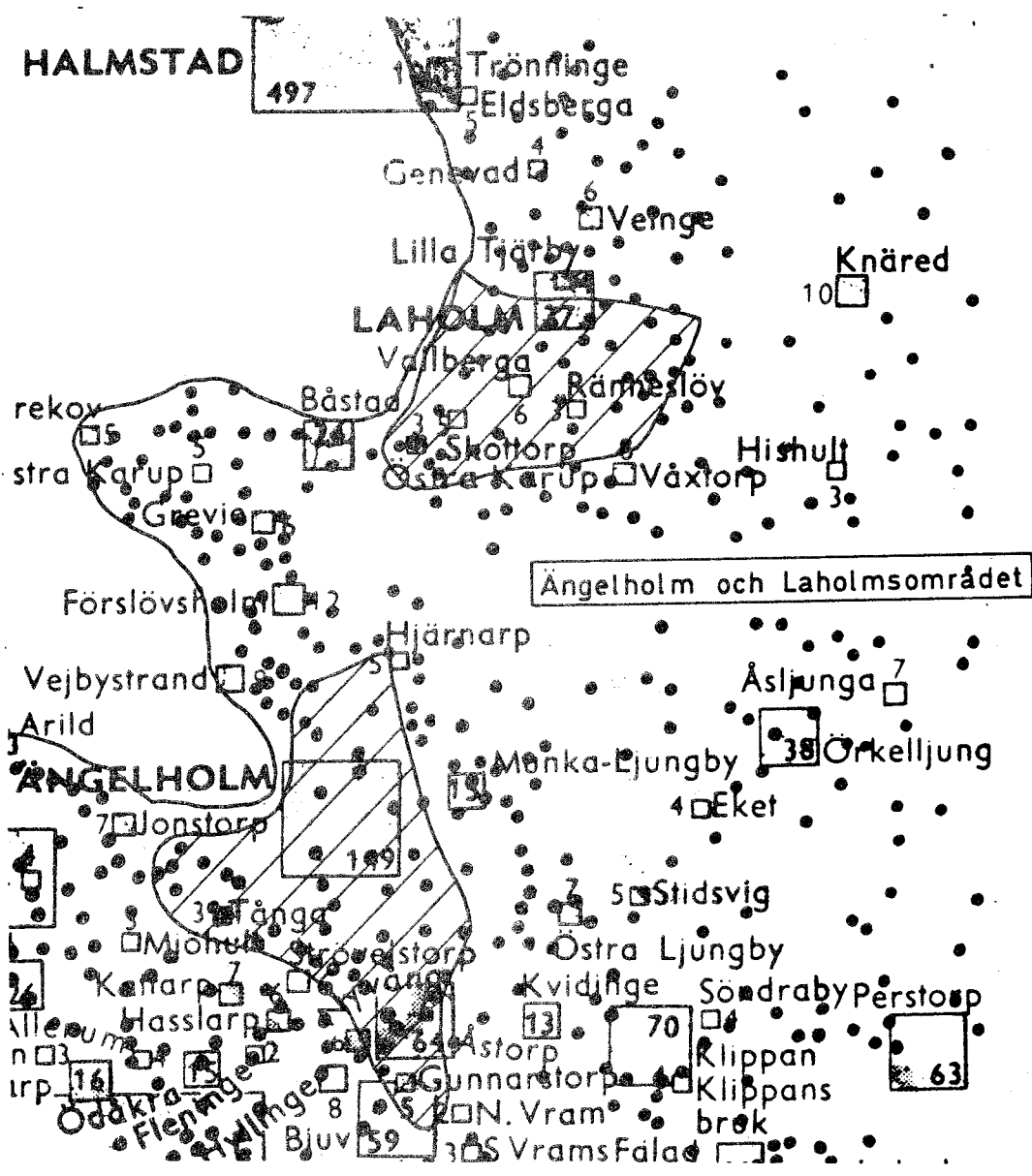
Varje punkt markerar 100 inv och siffran inom en ruta 100-tal invånare.

Två större områden från Nordlanders rapport, Götaälvdalen och Säve- och Lärjeåns dalgångar redovisas ej här eftersom leran i dessa områden har hög sensitivitet.

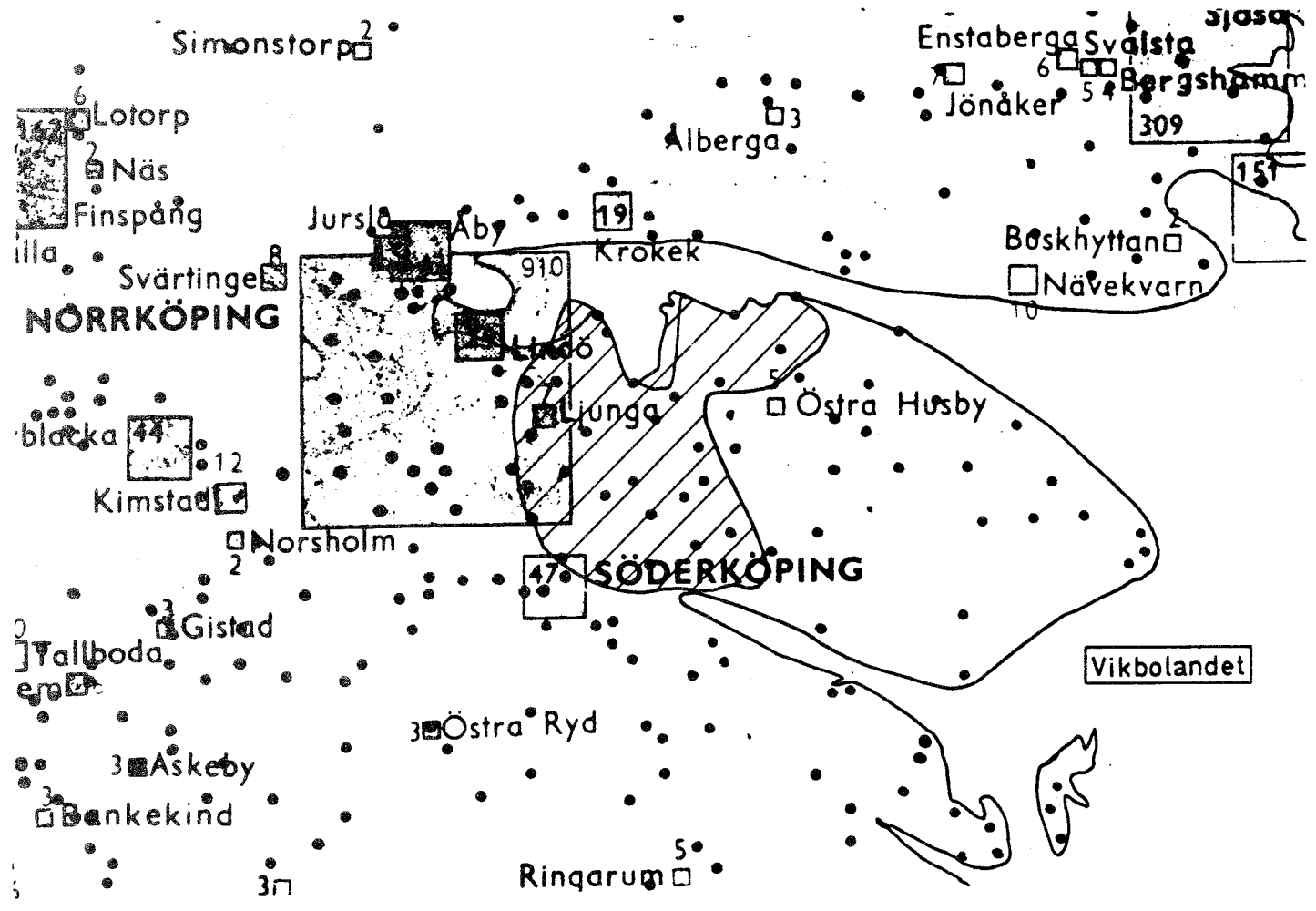
Potentiellt intressanta lermäktigheter är mestadels värdefull jordbruksmark och deras användning för deponering av radioaktivt avfall skulle därför leda till "allvarliga intressekonflikter". (Bostadsdepartementet använder i sin rapport "Hushållning med mark och vatten" - SOU 1979:54-55 - uttrycket "utan resp med allvarliga intressekonflikter" för tänkbara områdets disponibilitet.)



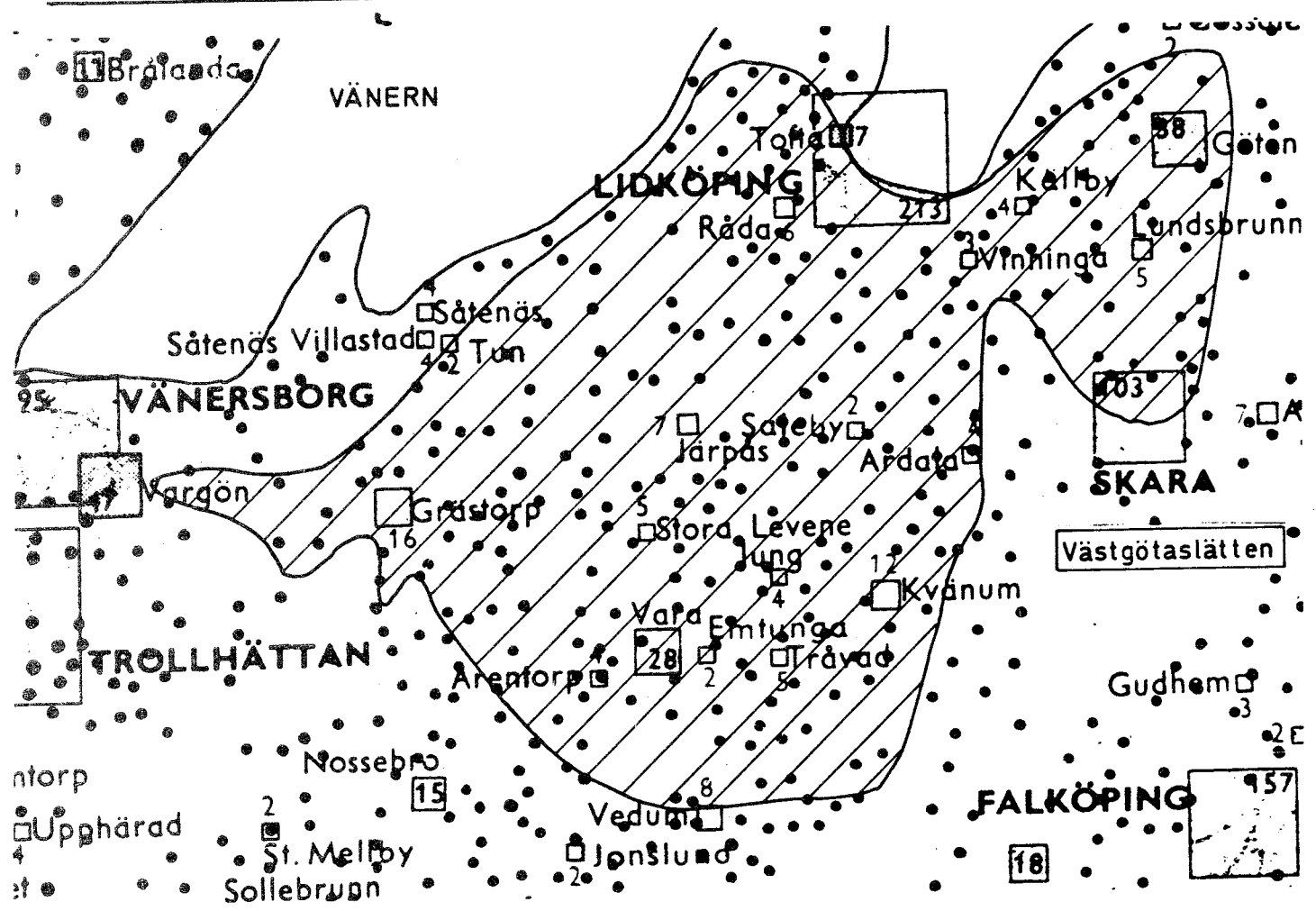
Figur 6



Figur 7



Figur 8



Figur 9

3.4.6 Miljöpåverkan

Till skillnad från torvmarker ligger aktuella lerformationer som regel i tätbebyggda områden, i flera fall samtidigt viktiga jordbruksdistrikt. Detta ökar kraven på att inga snabba migrationsvägar mot biosfären finns eller kan uppstå inom de närmaste 500 åren. Lerans låga permeabilitet i kombination med goda sorptionsegenskaper ger under ideala betingelser (homogen lera m m) radionukliderna en mycket låg vandringshastighet (jfr kap. 3.2.2.4). Med tanke på de glaciala sedimentens ofta oregelmässiga uppbyggnad (exempelvis linser av permeabelt material i leran m m) är ideala betingelser mindre sannolika och ett ovillkorligt krav måste vara att för spridningsberäkningar få en fullständig bild av hydrologi, hydrologiska parametrar samt sorptionsparametrar för aktuellt sedimentmaterial.

Ett speciellt problem uppstår vid kraftiga regn om de inträffar efter torkperioder. Vatten kan då infiltrera i torrspäckor, fånga upp ur avfallet primärt utlösta radionuklider och (genom översvämning) kontaminera markytan.

Hydrologiska förändringar (grundvattensänkning, urlakning av porvatten m m) kan ge upphov till skred, sättningar m m. Orsaken till sådana förändringar kan vara geologiska processer eller, mera vanligt, ingrepp av människan. Sannolikheten för väsentliga förändringar orsakade av pågående geologiska processer (landhöjning seismisk aktivitet etc) torde vara låg. Vid utvärdering av en deponeringsplats får hänsyn tas till förutsättningen för framtida förändringar (hydrologiska och geologiska).

3.5 Tekniskt tillvägagångssätt

Beträffande aktuella avfallsvolymer se under 2.4.1 och 2.5.1. Här förutsätts tillgång till en homogen lerformation med en mäktighet av 30 m. Byggnadens utförande framgår av "ALMA-rapporten" sid 30, alternativ C (Degerman, 1978). Det innebär att den 25 m höga byggnaden är till ett djup av 19 m nedsänkt i leran. Takhöjden över mark blir sålunda 6 m. Byggnadsyta är i första etappen planerad till 140 x 65 m.

4 SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

En strikt värdering av förutsättningen för deponering av låg- och medelaktivt avfall i torv- eller lerformationer ligger utanför uppgiften. För detta krävs ytterligare insatser i form av insamling av tillgängliga data, framtagning av nya sådana, beräkningar etc. Några sammanfattande synpunkter ges dock nedan.

4.1 Torv

Information om torvmarker i Götaland och Svealand (med undantag för Dalarna) bedöms tillräcklig för att (utan stora fältinsatser) kunna specifikt lokalisera någon eller några torvmarker som i avseende på volym och areal kan härbärgera allt avfall i en depå. Kunskap om Norrlands torvmarker är bristfällig och motsvarande selektiva val av torvmarker skulle kräva att aktiva inventeringsinsatser görs alternativt att man avvaktar kommande inventeringar som med stor sannolikhet måste göras i andra sammanhang (energiresurs m m).

Med hänsyn till den begränsning i kunskap om torvmarkers hydrologi, torvs sorptionsegenskaper m m som synes föreligga bör torvmarksvalet innefatta några olika huvudtyper av torvmark exempelvis av ombrogen respektive soligen typ, kalkkärr etc. Provtagnings-, analys- och mätinsatser måste sedan göras för val av lämplig torvmarkstyp.

Såsom mer eller mindre väsentliga nackdelar med en deponering i torvmark kan nämnas

- konkurrens från användare av torv som bränsle. Kraven i avseende på bl a areal och volym torde sammanfalla med motsvarande för deponering
- miljövård, speciellt vissa torvmarker såsom kalkkärr
- oklarhet om de hydrologiska förhållandena (avgörande för potentiella migrationsvägar).

4.2 Lera

En marknära (ytlig) deponering i lera kan sannolikt utföras med befintlig teknik. Deponering på större djup i likhet med pågående projekt i Mol, Belgien innebär svåra byggnadstekniska problem och kräver utveckling av ny teknik. Det är därför viktigt att följa särskilt den tekniska utvecklingen i Mol varvid tillgodogörandet av erfarenheter m m samtidigt kräver anpassning till aktuella svenska lerformationer och leror med annorlunda bildningsmönster, sammansättning och egenskaper.

Ett djupt liggande förvar är troligen fördelaktigt ur migrationssynpunkt (längre migrationsvägar) men de relativt ringa mäktigheterna hos svenska lerformationer utgör en begränsning. De byggnadstekniska aspekterna på ett ytnära förvar har inte berörts. Problem och möjligheter torde ligga inom ramen för svenska byggnadsteknikens kunskap och erfarenheter.

Det som gör alternativet lera attraktivt för avfallsdeponering är egenskaper som plasticitet, hög sorptionsförmåga samt låg permeabilitet. Heterogenitet i glaciala lerformationer, åstadkommen bl a genom omlagring av sedimenten, årsrytm vid inlandsisens smältning etc kan starkt reducera dessa fördelar genom förekomst av snabba migrationsvägar. Omsorgsfulla geotekniska, hydrologiska och geologiska undersökningar måste därför utföras i aktuella områden varvid bl a olika data, nödvändiga för en spridningsstudie, beaktas.

Som eventuella nackdelar med deponering i lerformationer kan anföras:

- heterogenitet, vilket kan ge snabba spridningsvägar
- aktuella lerformationer ligger som regel i tätbebyggt område och i jordbruksdistrikt
- risk för skred i vissa lertyper p g a kombinationen tung belastning och en förändring av de hydrologiska förhållandena.

REFERENSER

1. BONNE, A et al
Investigations entreprises pour preciser les
caracteristiques du site argileux de Mol comme
lieu de rejet souterrain pour les dechets
radioactifs solidifies
International Symposium on the underground
disposal of radioactive wastes.
Otaniemi near Helsinki, 2-6 July, 1979
IAEA-SM-243/2
2. CARTER, M W et al
Management of Low-level Radioactive Waste
Based on papers presented at a symposium sponsored
by Georgia Institute of Technology and others
held May 23-27, 1977, in Atlanta
3. Centre d'Etude de l'Energie Nucleaire (CEEN
Belgian working draft on a repository of solidified
nuclear waste in a deep terriary clay formation
Mol, January, 1979
4. DEGERMAN, O, RYDELL, N, THEGERSTRÖM, C
Central anläggning för låg- och medelaktivt avfall,
ALMA
En förstudie. Rapport Prav 1.18,1978
5. Geologic Isolation Programs in other Countries
Proceeding of int symp Management of wastes from
the LWR fuel cycle
Denver Colorado, juli 1976. Conf 76-07-01
6. GERA, F et al
Disposal of long-lived radioactive wastes in
Italy
IAEA-SM-207/88,1976
7. GRANLUND, E
De svenska högmossarnas geologi
Sveriges Geologiska Undersökning, Stockholm 1932,
Ser C, Nr 373
8. HEATH, C A, BATCH, J M
US Programme for disposal of radioactive waste
IAEA-SM-243/77, 1979
9. HEIKURAINEN, L
Comparison between runoff conditions on a virgin
peatland and a forest drainage area
The Polish National Committee of IPS, Poznan, 1976
Proc of 5th Peat Congress
10. HEREMANS, R, DEJONGHE, P, WILLOCKX, J
Investigations sur la possibilite de rejet definitif
de dechets radioactifs dans une formation argileuse
souterraine
IAEA-SM-207/9, 1976

11. IRWIN
Soil water characteristics of Ontario Peats
Proc of 3:d Int Peat Congress, 1968 p 219-223
12. ISSLER, H
Concept and realization programme of final nuclear
waste storage in Switzerland
IAEA-SM-243/160, 1979
13. KNUTSSON, G
Statens Väg- och Trafikinstitut, Stockholm
(personligt meddelande)
14. KNUTSSON, G, MORFELDT, C O
Vatten i jord och berg
Ingenjörsläroverket, 1978
15. LAGERBÄCK, R
Torvmängder i Sverige. Nuvarande kunskap och behov
av nyinventering
Sveriges Geologiska Undersökning, Stockholm, 1977
(Stencil)
16. LINDER, P, TOLLBÄCK, H
Deponering av lågaktivt avfall i mark
Utländska erfarenheter (Dsf/P20) Studsvik/SA-78/26
17. LUNDBY, J E
Nedgravningsfeltet ved Institutt for Atomenergi,
Kjeller, som referensemодell vedrørende sluttlagring
Institutt for Atomenergi, Kjeller, Januar 1979
AO(79)6
18. MALMSTRÖM, C
Meddelande från Statens Skogsförsöksanstalt
1923 h 20, Stockholm
1924 " 24, "
1928, Stockholm
19. NORDLANDER, H
Kartläggning av svenska lerformationer
Utredning för KBS, 1979
20. NÄMNDEN FÖR ENERGIPRODUKTIONSFORSKNING (NE)
Torv i Sverige, planeringsrapport
21. van OLPHEN, H, FRIPIAT, J
Data handbook for clay materials and other non-
metallic minerals
Pergamon Press, 1979
22. von POST, L, GRANLUND, E
Södra Sveriges torvtillgångar 1
Sveriges Geologiska Undersökning, Stockholm 1926,
Ser C, Nr 335

23. de REGGE, P et al
Experimental investigation of the behaviour of
long-living radioisotopes in a natural water
clay system
Paper prepared for the workshop on the migration
of long-lived radionuclides in the geosphere
NEA/CEC-Brussels, 29th-31st January 1979
24. SALMI, M
Peat in Prospecting: Applications in Finland
in Geochemical Prospecting in Fennoscandia
Interscience Publishers, 1967
25. SCHMID, E at al
Verwendung von Torf als Kationeraustauscher bei
der Aufarbeitung radioaktiver Abwässer
Österreichische Chem-Zeit 65 (1964):1 pp 9-13
26. TALME, O
Clay sensitivity and chemical stabilization
Byggforskningen 56/68, 1968
27. TROEDSSON, T, NYKVIST, N
Marklära och markvård
Almqvist & Wiksell, Stockholm, 1973
28. TULLSTRÖM, H
Disponering av fast radioaktivt avfall i jorden
Sveriges Geologiska Undersökning, Stockholm, 1958
(stencil)

NEDGRÄVNINGSFÄLTET VID INSTITUTT FOR ATOMENERGI,
KJELLER, NORGE

Vid Institutt for Atomenergi (IFA), Kjeller, genomfördes under hösten 1970 en nedgrävning av 1000 st 210 liters stål-fat i en utgrävd lergrop och täcktes med ca 2 m lera (se fig 1-2).

Det totala aktivitetsinnehållet vid nedgrävningstillfället var ca 240 Ci, fördelat på 70 Ci Sr-90, 70 Ci Cs-137, 100 Ci Co-60 och 2.2 Ci U och Pu (100 kg U, 35 g Pu).

Nedgrävningen utfördes i samarbete med "Statens Institutt for strålehygiene" och kontrollverksamheten följs upp av IFAs "Strålevernavdeling".

Under punkt 1 ges en kort sammanfattning av områdets topografiska, geologiska, hydrologiska och klimatologiska förhållanden, samt en allmän karaktäristik av seismologin i området. Punkt 2 redovisar naturresurser, som utnyttjas i området. Punkt 3 handlar om avfallets sammansättning och hur det har inneslutits. Punkt 4 behandlar kontrollverksamheten med redovisning av vissa mätresultat och vunna erfarenheter.

1 Karaktäristik av området

Topografi

IFA, Kjeller, ligger i utkanten av ett flackt landområde, som utbreder sig i nordvästlig riktning från sjön Øyerens norra strand mot Nitelva. Efter Nitelva höjer sig landskapet upp mot institutets område, där nedgrävningssfältet ligger ca 130 m över havet. Institutets omgivning i riktning från Nitelva består av platåliknande leråsar, som kringgärdar området.

De viktigaste älvarna i närheten av institutet är Nitelva, som passerar ca 1 km i sydvästlig riktning, samt Leira och Glomma 2 resp 9 km i östlig riktning. Älvarna mynnar ut i sjön Øyeren, som har en längd av 38 km i sydlig riktning. Øyerens närmaste (nordliga) del ligger ca 10 km från institutet.

Geologi

De aktuella jordlagren fram till Nitelva består huvudsakligen av lera, medan det flacka området mellan Øyeren och Nitelva täcks av myrmark.

Vid grundborrningar inom institutets område har man kunnat fastslå att lerlagren har ett medeldjup av 10 - 12 m över tät berggrund. Från 3 - 4 m djup är leran fast, innehåller någon mjåla och mo (slit) och har lågt vatteninnehåll.

Skärstyrkan på lermassan ligger omkring 3 - 4 ton/m². Små jordras har förekommit i omgivningarna, men sannolikheten för ras på institutets område bedöms vara liten. Inom nedgrävningsområdet är det tillåtna marktrycket 25 ton/m² (säkerhetsfaktor 2-3).

Hydrologi

Grundvattnet i Kjeller-området dräneras mot Nitelva, som ligger ca 102 m över havet. Nedgrävningsgropens botten ligger 122 m över havet.

Man har genom mätningar kunnat konstatera att vattengenomströmningen i området sker periodiskt. Snösmältningen på våren ger efter 2 - 3 veckor en ökande genomströmning. Under sommaren minskar flödet och upphör t o m helt efter torra perioder. Variationer i nederbörden medför också att vattenströmmen kommer i "vågor".

Genom uppsamlingsledningen för vatten från avfallsgropen (se fig 1) passerar ca 500 m³/år. Vattnets vandringshastighet har genom spårförsök bestämts till $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$.

Seismologi

Norge och övriga Skandinavien tillhör ett seismologiskt lugnt och stabilt område. Några mindre jordskalv med sprickor i jordskorpan har förekommit i södra Norge. I området runt den yttre delen av Oslo-fjorden har registrerats 20 jordskalv med en intensitet av 3 - 5 på Mercalliskalan under perioden 1891 - 1950. Den seismologiska stationen i Bergen har rapporterat ett starkt jordskalv (intensitet 6,4) med epicentrum i Oslofjordsområdet 1904. Detta skalv märktes också i Lillestrøm-området, men det uppstod inga skador på byggnader.

Klimatförhållanden

Antal dagar med nederbörd över 1 mm varierar mellan 6 och 14 dagar per månad och uppgår i medeltal till 120 dagar per år. Årsnederbörden över nedgrävningsplatsen har under 1972-73 uppmätts till 537 mm.

De nedgrävda avfallstunnorna ligger på ca 3,5 m djup och är täckta med ett 2 m tjockt lerlager. Vintertid är området täckt med snö, och man antar därför att tjälen går maximalt 1 m djupt. Runt faten beräknas temperaturen vara 5 - 8°C.

2 Naturresurser som utnyttjas i området

Jordbruk

I institutets omedelbara närhet finns lantbruk med både mjölkproduktion och sädesodling. Inom berörda områden i institutets omedelbara närhet tas gräs- och mjölkprover etc.

Fisk

I Nitelva förekommer ett visst sportfiske. På grund av älvens allmänna förorening har fisken ej använts som människoföda under de senaste 20 åren. Man får dock anta att den kan användas som djurföda.

I Øyeren där vattenkvaliteten är relativt god kan man räkna med att fisk används som människoföda.

Dricksvatten

Øyerens mellersta och sydliga del är dricksvattenkälla. Man har här icke kunnat påvisa koncentrationer av radioaktiva nuklider över naturlig bakgrunds nivå.

Naturresurserna kontrolleras regelbundet enligt ett särskilt kontrollprogram. Något om detta under punkt 4.

3 Avfallens sammansättning och inneslutning

Fyra huvudtyper av avfall ingår i nedgrävningsprojektet:

- Kompakterat avfall
- Solidifierat (cement) vätskeformigt avfall
- Ingjutet (cement) metallavfall
- Diverse avfall.

Kompakterat avfall

Deponeringen omfattar 580 kollar med kompakterat avfall i 60 resp 110 liters stålfat, som gjutits in med cement i 210 liters fat.

Aktivitetmängden uppgick vid nedgrävningen till ≤ 30 Ci, därav ≤ 15 Ci Sr-90.

Solidifierat vätskeformigt avfall

Deponeringen omfattar 230 tunnor med vätskeformigt avfall (huvudsakligen från Silexanläggningen), som överförts i fast form genom tillsats av cement. Solidifieringen har genomförts direkt i 210 liters fat, som infodrats med 2 mm tjock polyeten.

Aktivitetmängden uppgick vid nedgrävningen till ca 70 Ci, varav ca 35 Ci Sr-90. I detta avfall ingår också huvuddelen av de 100 kg U och 35 g Pu, som nämnts i inledningen.

Ingjutet metallavfall

Deponeringen omfattar 130 tunnor med metallskrot. Tunnorna har gjutits in med cement i 210 liters fat. Aktivitetsmängden uppgick vid nedgrävningen till ca 100 Ci och dominerades av Fe-59 och Co-60. (Fe-59 har nu helt klingat av.) Innehållet av Sr-90 är obetydligt.

Diverse avfall

60 tunnor diverse avfall som

- Organiskt vätskeformigt avfall, absorberat i vermikulit före ingjutning. Avfallet innehåller 2 kg U och 2 g Pu.
- Jonbytarmassa, efter avvattning överförd i 60 resp 110 liters fat, som sedan gjutits in i 210 liters fat med cement.
- Diverse metallavfall och dekontaminationslösningar som efter förbehandling placerats i innerbehållare och gjutits in i 210 liters fat med cement.

Total aktivitetsmängd diverse avfall ca 40 Ci, därav
< 20 Ci Sr-90.

4 Kontrollåtgärder

Institutets strålskyddsavdelning har av myndigheterna ålagts en omfattande kontroll, som omfattar provtagning och analys av

- Vatten (nederbörd, markvatten, ytvatten)
- Markvegetation
- Jordbruksprodukter
- Fisk
- Sediment

Den övergripande värdering av nedgrävningsprojektet, som gjordes när projektbeslutet togs, har följande innehåll.

Man räknar icke med att få någon spridning av aktivitet till omgivningen under de första 50 åren. Med hänsyn till det radioaktiva sönderfallet kommer avfallet efter denna period att innehålla ca 400 Curie-ekvivalenter. Huvuddelen av denna aktivitet hänförs till Sr-90. Ett kontinuerligt läckage från gropen under en 10-års period därefter skulle följaktligen leda till ett utsläpp av 40 Curie-ekvivalenter per år. Detta är av samma storleksordning som den aktivitetsmängd institutet har tillåtelse att släppa ut i Nitelva.

Generell erfarenhet av kontrollverksamheten

Fram till januari 1979 har man icke kunnat påvisa en koncentrationer av radioaktiva nuklider överstigande den naturliga bakgrunden i prov tagna utanför institutets område.

Kontroll av nedgrävningsplatsen

Provtagning görs av dräneringsvattnet från uppsamlingsledningen två-fyra gånger per år. Man har vid vissa tillfällen funnit högre värden än normalt, men man har icke kunnat hänföra dessa värden till ett direkt läckage från avfallstunnorna.

En kontroll utöver de rutinmässiga mätningarna genomfördes under senare halvåret 1974 för att studera genomströmningen och mäta effekten av dräneringsledningen från gropen. Man använde sig av tre vattentrogna spårämnen: Inaktivt jod (I^-) och brom (Br^-) samt tritium ($H-3$).

Resultatet har sammanfattats på följande sätt:

- Vattengenomströmningen i området minskar snabbt vid torr väderlek och man tillgrip därför vattning för att hålla en kontinuerlig genomströmning. Trots detta var genomströmningen så låg vid vissa tillfällen att jod och brom till en del hann sorberas i jordlagren. Tre månader efter tracertillsats hade all tritium registrerats i dräneringsledningen. Ifråga om brom och jod var motsvarande värden 25 resp 38 %.

- Vid fortsatt kontroll våren 1975 har någon tritium ej kunnat påvisas. Däremot kunde brom och jod i små mängder fortfarande registreras. Enligt planeringen skall försök av detta slag upprepas vart femte år.
- Försöksresultatet har tolkats så att kontrollsystemet för dräneringsvattnet fungerar tillfredsställande, men att genomströmningstiden tre månader kan göra det lämpligt med något tätare aktivitetskontroller.

Fortsatta kontrollinsatser

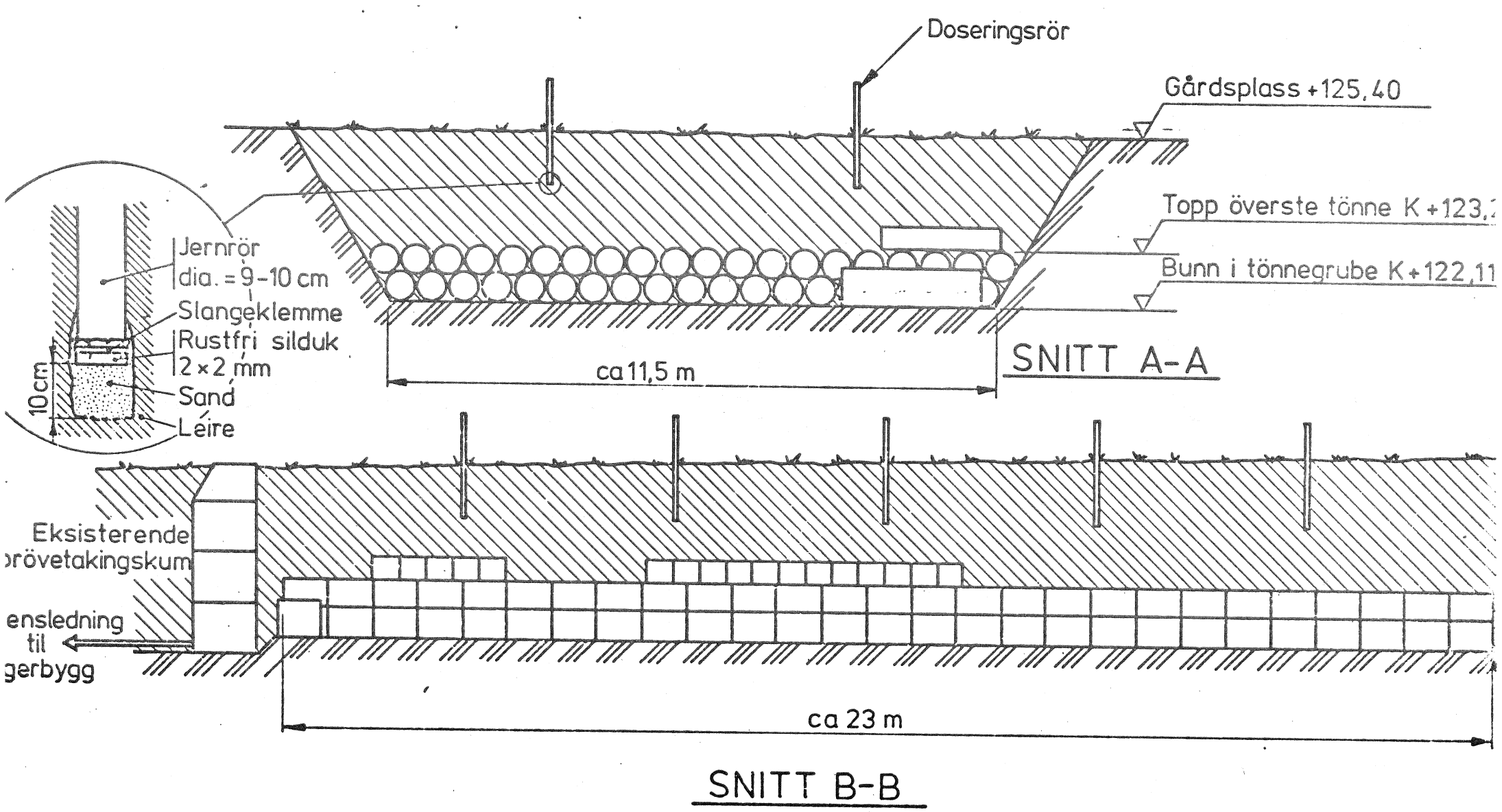
Under 1978 har observerats förhållanden, som tycks ge anledning till utökad kontrollverksamhet:

- Periodvis registreras en ökning av aktivitetsnivån i dräneringsvattnet från gropen.
- Slam från dräneringsvattnet har hög järnhalt och samma färg som plåtfaten. Det yttre plåtfatet antas ha korroderat till en del. Slammet visar en högre koncentration av radioaktivitet.
- Laboratorieförsök planeras för att studera migration av radioelement i jordlagren. Vidare planeras uttag av jordprov i horisontella och vertikala positioner över och kring gropen.

Man har vidare projekterat en insats för att avleda markvatten som passerar gropen från angränsande områden /4/.

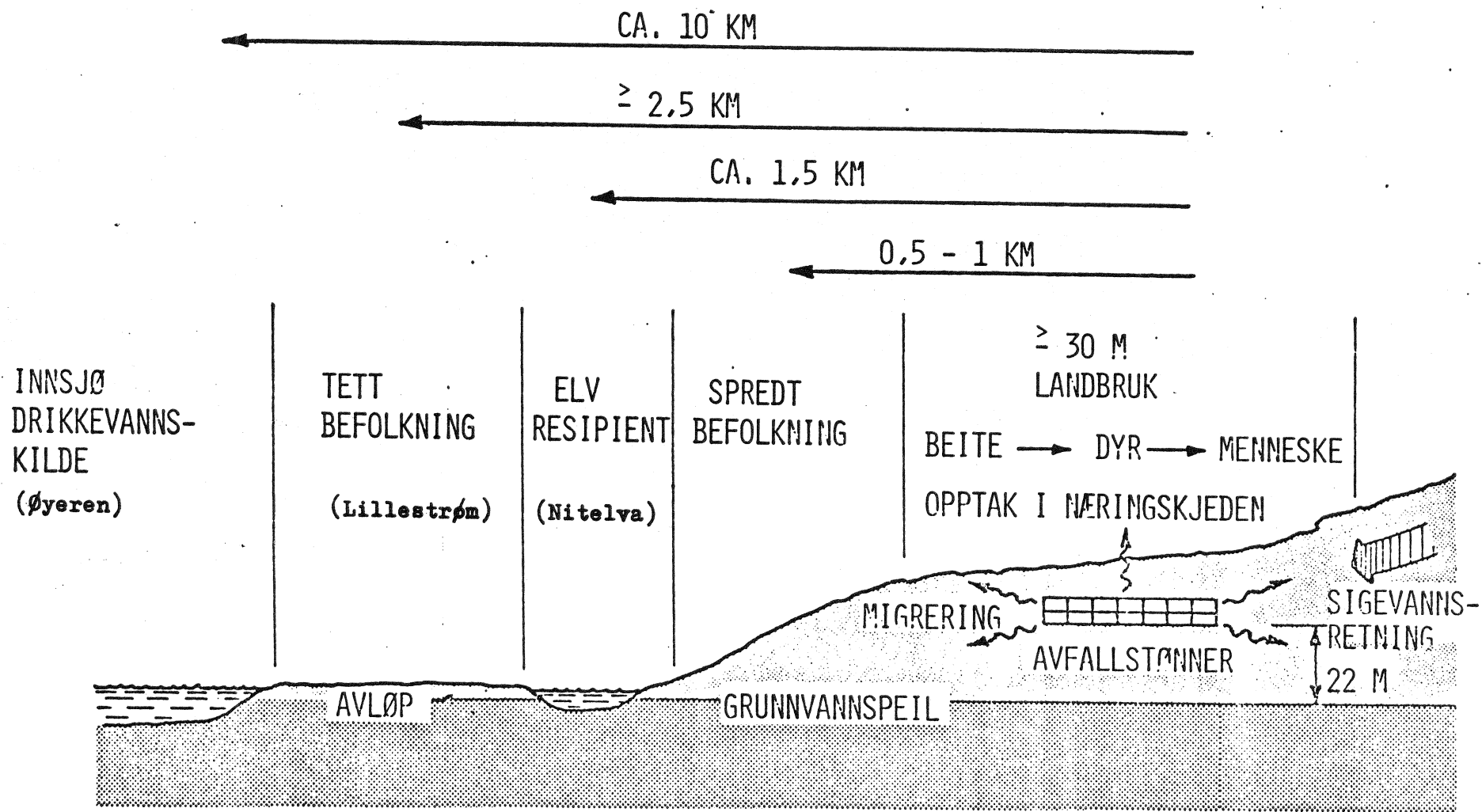
Referenser

- 1 J E Lundby, Institutt for Atomenergi, Kjeller
Nedgraving av tønner med radioaktivt avfall
Work Report CH-91. 1971
- 2 Ibid
Tracerförsök for kontroll av vanngjennomstrømning
i området med nedgravde avfallstønner
Work Report Ch-162, 1975
- 3 Ibid
Nedgravingsfeltet ved Institutt for Atomenergi,
Kjeller, som referansemødell vedrørende slutlagring
AO(79)6, 1979
- 4 Personlig information
J E Lundby



FIGUR 1.

Skala 1:100



FIGUR 2 PRINSIPPSKISSE OVER OMRÅDE RUNDT NEDGRAVDE TØNNER MED RADIOAKTIVT AVFALL

MÄKTIGA LERFORMATIONER I SYDSVERIGE

En litteraturstudie

Henrik Norlander
Kvartärgeologiska institutionen
Stockholms Universitet

1979-09-19

INNEHÅLL

	SUMMARY	1
	INLEDNING	2
1	UNDERLAGSMATERIAL	3
2	MÄKTIGHETSUPPGIFTER	3
3	GLACIAL OCH POSTGLACIAL LERA	4
4	LERORNAS SENSITIVITET	8
5	OMRÅDESBESKRIVNINGAR	8
5:1	Ängelholmsområdet	9
5:2	Laholmsområdet	10
5:3	Kungsbackaområdet	10
5:4	Bohuskusten	11
5:5	Götaälvdalen	11
5:6	Säve och Lärjeåns dalgångar	12
5:7	Västgötaslätten	13
5:8	Vikbolandet	14
5:9	Mindre områden	15
6	BILAGOR	16
7	REFERENSER	21

SUMMARY

This investigation encloses a perspicuous inventory over areas in southern Sweden, where the thickness of the clay deposits exceed 15 m. The investigation was made at the request of KBS.

Material for this investigation consisted of soil-maps and descriptions published by SGU (Swedish Geological Survey), wellboring documents from Brunnsarkivet (well archives) SGU, geotechnical investigations made by SJ (Swedish State Railways) and information from Viak AB (engineering firm).

The clay in the investigated areas consists of two different types, namely glacial and postglacial clay. The glacial clay was deposited during the melting of the last inland ice sheet and this clay is normally varved. The postglacial clay consists mostly of redeposited glacial clays.

Great parts of the investigated areas are covered by old geological maps, which contain imperfect information as to thickness of the soil deposits. This has limited the investigation to cover areas which are relatively well substantiated. These areas are shown in figure 3.

INLEDNING

I vissa länder, exempelvis Belgien och Italien, studeras möjligheten att slutförvara radioaktivt avfall i lera, en jordart där grundvattnet rör sig mycket långsamt och som har en stor jonbytesförmåga. I dessa fall rör det sig uteslutande om mycket mäktiga lerformationer där avfallet kan förvaras på flera hundra meters djup. Några sådana formationer finns inte i Sverige. För låg- och medelaktivt avfall från kärnkraftverk kan dock slutförvaring på grundare djup komma ifråga.

För att ge underlag för att bedöma om detta är en slutförvaringsmetod, som är tillämpbar i Sverige, har föreliggande undersökning utförts på uppdrag av KBS. Den omfattar en översiktlig inventering av formationer med en lermäktighet som överstiger 15 meter.

1 UNDERLAGSMATERIAL

Den grundläggande uppgiftskällan beträffande förekomster av lera är de geologiska kartorna. Moderna jordartskartor i skala 1:50000 (SGU Ser Ae) som finns utgivna över några tätortsregioner ger en mycket god bild av sedimentens mäktigheter. Av de äldre kartorna som täcker stora delar av landet är många alltför småskaliga och beskrivningarna innehåller sällan uppgifter om mäktigheter. Samtliga jordartskartor och beskrivningar över Syd- och Mellansverige söder om linjen Arvika - Gävle har systematiskt studerats med undantag av de områden som ligger ovanför högsta kustlinjen samt smålandskusten.

Från SJ:s geotekniska avdelning har uppgifter om djup och hållfasthet erhållits. Borrprotokoll och ritningar över följande bansträckor har gått igenom:

Ängelholm - Halmstad - Varberg - Göteborg
Göteborg - Uddevalla - Strömstad
Varberg - Kinna
Vänersborg - Vara - Herrljunga
Levene - Lidköping
Kristinehamn - Karlstad - Kil
Uppsala - Enköping

Dessutom har en stor mängd brunnsborrningsprotokoll studerats i SGU:s brunnsarkiv. Från Viak AB har kompletterande uppgifter om förhållanden på västgötaslätten erhållits.

2 MÄKTIGHETSUPPGIFTER

De uppgifter om mäktighet som redovisas i områdesbeskrivningarna gäller endast för de punkter där borrh-

ningar genomförts. Inom begränsade områden kan mäktigheten variera kraftigt beroende på underlagets topografi. Vad beträffar mäktighetsangivelserna på de moderna jordartskartorna särskiljes endast två olika typer av jordarter, nämligen friktions- och kohesionsjordar. Den sistnämnda omfattar kornstorlekarna <0.002-0.06 mm d v s lera - mjäla - finmo. Detta kan innebära att grundvattnets flöde är större än vad som är önskvärt och att jordartens jonbytande förmåga är mindre god om man hamnar i den grövre fraktionen.

De sonderingar som SJ gjort i och omkring järnvägens omedelbara närhet har i allmänhet skett ca 30 - 40 m vinkelrätt ut från järnvägen.

Uppgifter som hämtats från brunnsarkivet kan vara något osäkra eftersom protokollen förs av brunnsborrhare som ofta inte har tillräckliga kunskaper i geologi.

3 GLACIAL OCH POSTGLACIAL LERA

Under landisens avsmältningstid frigjordes en mängd vatten från isens yta. Genom sprickor och håligheter rann detta vatten ned mot isens botten och samlades i tunnlar till isälvar som sökte sig ut mot iskanten. De finaste materialen, mo, mjäla och ler som isälvarna förde med sig, transporterades långt ut från tunnelmynningen och avsattes på relativt stort vattendjup. På grund av smältvattnets årsrytm fick det finaste materialet en årsrytmisk avsättning i varv (figl). Varje vår och sommar, då smältvattenströmmen var kraftig, utsvämmades en mängd slam, finare såväl som grövre. Under hösten och vintern när strömmen och slamtillförseln avstannat, höll sig endast de allra finaste partiklarna svävande under en längre tid innan de sedi-

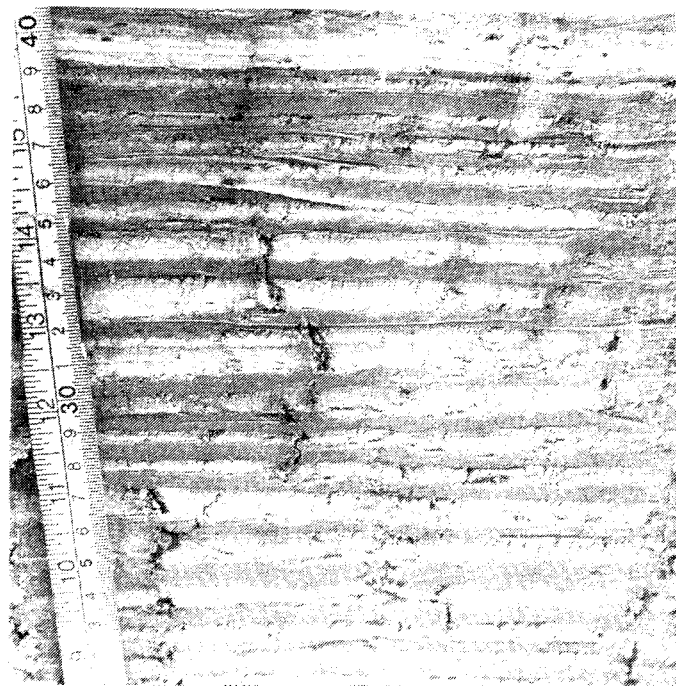


Fig. 1. Varvig lera. De mörka skikten består av lera, de ljusa av mera mjäligt material.

menterade. Slutligen avstannade sedimenteringen fullständigt för att börja på nytt nästa vår. Varven i den glaciala leran återspeglar avsättningen under ett år. Underst i varje årsavlagring är materialet relativt grovt medan kornstorleken minskar högre upp och färgen blir mörkare. Inom varven blev tillfälliga väderleksförändringar registrerade som mindre sand- och lerlager. De understa varven i lagerföljden kan vara mer än decimetertjocka men uppåt minskar tjockleken till en och annan millimeter.

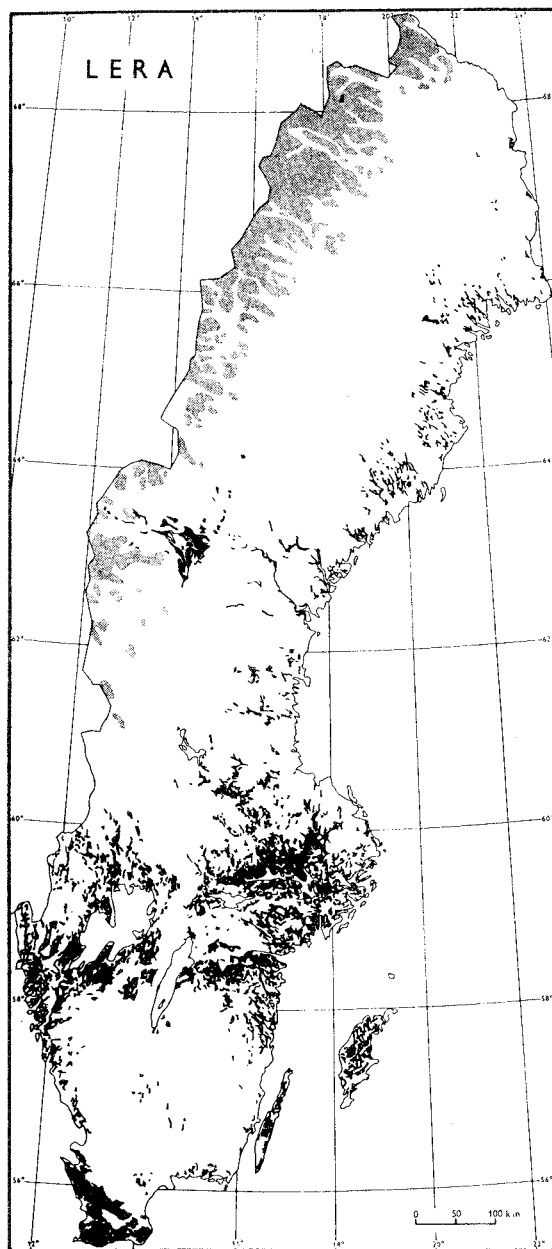


Fig.2. Glacial och post-glacial lera i Sverige. Moränlera i Skåne, Öland, Gotland och Storsjö-området. I Norrland markerar lerbeteckningen till stor del mjåla och finmo. Grått= kalfjäll
Efter Atlas över Sverige.

Tydliga varv har endast utbildats i en söt eller föga salt sedimentationsmiljö. I ett salthaltigt vatten har lerpartiklarna flockats samman till aggregat som snabbt sjunkit till botten och därför gett upphov till en mycket diffus skiktning. Den glaciala leran förekommer endast under högsta kustlinjen och i forna issjö-områden (fig 2.). I Norrland ersätts den varviga leran

i stor utsträckning av mjåla. Detta beror på landskaps fjordmorfologi, de stora älvarna hade en så stark strömsättning att de finaste partiklarna fördes långt bort.

Glacialleran innehåller varierande mängd lera (<0.002 mm). För att karakterisera den och andra leriga jordarter bestäms lerhalten, som har stor betydelse för lerans kemiska och fysikaliska egenskaper. Grundvattnets transporthastighet är mycket beroende på lerhalten. Lerhalten anges i viktprocent av allt material med mindre kornstorlek än 20 mm.

Lerhalt	Benämning
< 5%	Lerfri eller svagt leriga jordarter
5 - 15%	Leriga jordarter
15 - 25%	Grovlera
25 - 40%	Mellanlera
40 - 60%	Styv lera
>60%	Mycket styv lera

Om inte annat anges används termen "lera" i sin vidsträcktaste mening i denna undersökning. Detta innebär att lerhalten varierar mellan 15% och >60%.

Under landisens avsmältningsskede och därefter har landet höjt sig. De jordarter som tidigare avsatts under högsta kustlinjen utsattes för vågornas omlagrande påverkan. Vid svallningen blev det finaste materialet i moränen och de glaciala lerorna, som täckte de högre belägna delarna av terrängen omlagrade till postglacial lera, mjåla och finmo. Den postglaciala leran skiljer sig från glacialleran i färg och sammansättning. Någon tydlig skiktning är oftast inte utbildad och den har

en högre halt av organiskt material, vilket bl a är orsak till den mörkare färgen. Vanligtvis är glacialleran mäktigare än den postglaciala leran.

4 LERORNAS SENSITIVITET

Förhållandet mellan en leras odränerade hållfasthet i ostört och fullständigt omrört tillstånd brukar anges av det s k sensitivitetstalet. Svenska leror har normalt en sensitivitet av storleksordningen 10-12 och överstiger det 50 benämns leran kvicklera. Dessa kvickleror är i vissa fall mycket skredbenägna. Orsaken till dessa lerors bildning och egenskaper anses bero på kemiska processer och urlakning av salter i lerans porvatten.

5 OMRÅDESBESKRIVNINGAR

Som tidigare nämnts är stora delar av de undersökta områdena täckta av geologiska kartor av äldre datum. Enligt dessa utbreder sig glacial och postglacial lera över stora arealer. Information om jordlagrens mäktighet är emellertid bristfällig på dessa kartor och ofta obefintlig. Uppgifter av detta slag måste därför hämtas från andra källor, såsom beskrivits i kapitel 1. Detta har begränsat inventeringen till att omfatta områden som är relativt väldokumenterade. Med utgångspunkt från de äldre kartornas uppgifter kan man anta att en noggrann inventering med fältstudier skulle visa fler platser än de som redovisas här, där lermäktigheten är stor.

De områden för vilka ett flertal uppgifter om stora lermäktigheter erhållits beskrivs närmare nedan.

Dessa är (fig 3):

Ängelholmsområdet	(5:1)
Laholmsområdet	(5:2)
Kungsbackaområdet	(5:3)
Bohuskusten	(5:4)
Götaälv dalen	(5:5)
Säve och Lärjeåns dalgångar	(5:6)
Västgötaslätten	(5:7)
Vikbolandet	(5:8)

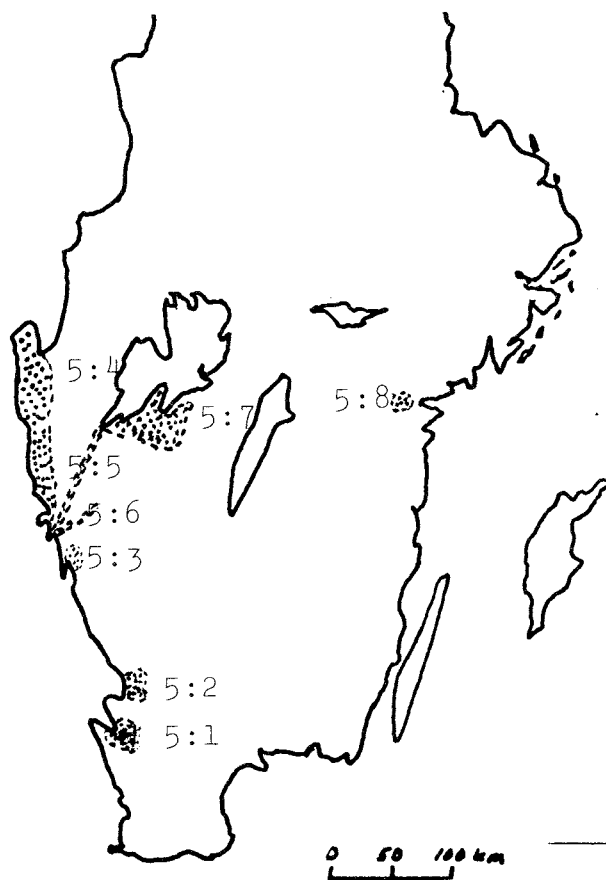


Fig 3. Kartan visar var de beskrivna områdena är belägna.

5:1 Ängelholmsområdet (bilaga 6:1 och 6:2)

Området karakteriseras av den plana Ängelholmsslätten som i den norra delen ligger mellan 15 - 35 m över havet och i den södra delen 15 - 25 m ö.h. Ur den yt-täckande glaciala leran och den lokalt mycket utbredda postglaciala sanden reser sig moränhöjder. N och SO om Ängelholm är glacialleran en styv lera med lerhalt mellan 40 och 70%.

Lerans mäktighet varierar stort. I ett område SO om staden har de största mäktigheterna påträffats. Där har mer än 60 m genomborrats och endast tunna skikt av silt (mjäla - finmo) förekommer. N och S om staden är mäktigheten av storleksordningen 20 - 40 m. Även i trakterna av Åstorp och Bjuv är 20 - 25 m inte ovanligt. Lagerföljden är på många ställen komplex. Morän täcker lokalt leran som också mellanlagras av tjocka bäddar morän och sand vars mäktighet kan uppgå till flera tiotals meter.

5:2 Laholmsområdet (bilaga 6:1)

Området mellan Hallandsåsen i söder och Halmstad i norr utgörs av en jämn och öppen kustslätt som sakta höjer sig mot öster. Stora delar täcks av postglacial sand och glacial lera i ytan påträffas endast fläckvis. Leran är varvig och skikt av silt är vanligt förekommande. Mot botten blir varven allt mäktigare och sandigare. Brunnsborrningsprotokoll har angivit för några lokaler att den överlagrade sandens mäktighet är betydande, 20 - 30 m, men i allmänhet är den endast yt-täckande. Lerans mäktighet är stor i området. Norr om Hallandsåsen omkring Ö. Karup och Skummeslöv har 20-30 m uppmätts. I Ränneslöv och Våxtorp är mäktigheten 20 - 40 m och i Laholm 20 - 30 m. Längre norrut minskar dock djupen, i Genevad och Trönninge ca 15 - 20 m. På vissa platser är leran sandig eller moig lera med tämligen låg lerhalt. Vanligtvis är leran avlagrad på sand och gruslager, vars mäktighet är ofullständigt utredd. Sensitiviteten är oftast låg, mellan 2 - 12. Lera med högre sensitivitet förekommer dock som skikt i lager med normalsensitiva leror.

5:3 Kungsbackaområdet (bilaga 6:3)

Norr om Kungsbacka, längs Kungsbackaån och Lillån i

dalgången mot Älvsåker har mycket mäktiga lager av kohesionära jordarter påträffats. Största kända djup är 93 m och på många platser har det sonderats till 30 - 60 m. Om hela lagerföljden utgörs av lera är dock oklart. Även SO och O om staden finns mäktigheter med djup >20 m. S om Fjärås längs järnvägen har 18-20 m relativt homogena lager iakttagits.

5:4 Bohuskusten

Bohuskusten präglas av kala bergsplatåer och djupt nedskurna dalar fyllda med lösa avlagringar. Dalarna är mestadels sprickdalar som uppkommit längs större sprick- och krosszoner i berggrunden. I stort sett går dalarna i 3 huvudriktningar, NO - SV, N - S samt NV - SO och de är relativt smala, 1 - 2 km, men på några håll utbreder de sig till större fält. Inventeringen i detta område har skett längs järnvägen Göteborg och Strömstad.

Mäktigheterna varierar mycket och stora variationer inom mycket begränsade områden är vanligt. Lerdjup mellan 20 - 25 m påträffas ofta längs linjen och på några ställen har ännu större djup iakttagits. Leran överlagras ofta av sand och mo och dessa lager kan ibland vara 6 - 8 m tjocka. Siltskikt förekommer allmänt i leran och ställvis uppnår dessa skikt betydande mäktigheter. Leran är ofta normalsensitiv eller strax däröver men på flera platser är den mycket kvick. I Uddevalla har värden mellan 400 och 500 uppmätts.

5:5 Götaälv dalen

Götaälv dalen sträcker sig från Göteborg upp till Trollhättan. Den är utbildad i djupa sprickdalar och dess nedre del följer förkastningen mellan Hisingsblocket och Västgötablocket. Dalens bredd växlar mellan några

hundra meter och upp till 3 km. I norra delen är höga strandbrinkar utbildade medan de är låga eller saknas helt i den södra. Borrningar har visat att dalens djup är betydande. På många platser har sedimentmäktigheter på 50 m konstaterats. Mäktigheterna sammanhänger med berggrundstopografin och varierar mycket, mellan några fåmeter upp till 50 à 60 m. Det är inte alltid de mäktigaste lagren förekommer intill älven utan de kan lika väl påträffas mellan dalsidorna och älven. Leran mellanlagras ofta av sand och molager som är flera m mäktiga. Grundvattnet i dessa skikt står vanligtvis under artesiskt tryck. Dessa lager är oftast mäktigast intill dalsidorna och tunnare ut mot älven. Lerornas bottenlager är skiktade men uppåt ökar lerhalten successivt för att i de övre delarna av lagerföljden återigen minska där mängden mo och sand ökar. I Götaälvdalen har leran mycket ofta hög sensitivitet och framför allt längs sträckan Lilla Edet - Trollhättan förekommer kvicklera allmänt. Värden upp till 600 har uppmätts vid Vesten där hela lagerföljden består av kvicklera.

5:6 Säve och Lärjeåns dalgångar

Dessa dalgångar som har en längd av ca 20 km och en bredd av 0.5 - 2 km löper i NO - SV riktning mellan Göteborg och sjön Mjörn. Den glaciala leran når ofta betydande mäktigheter. I Gunnelse - Angeredsområdet är 50 m inte ovanligt. Längre norrut i Lärjeåns dalgång har 67 m påträffats, som dock innehåller mycket silt i undre delen. Största kända mäktighet är 100 m i Säveåns dalgång, V om Partille. Den postglaciala leran är också relativt mäktig i dessa trakter och är svår att skilja ifrån den glaciala som här är otydligt skiktad. Vanligen är glacialleran homogent sammansatt med lerhalt

som avtar mot djupet. Vid de geotekniska undersökningar som gjorts har det konstaterats att leran är kvick och överkonsoliderad. Liksom i Götaälvdalen har det inträffat en mängd skred även i dessa dalgångar.

5:7 Västgötaslätten (bilaga 6:4)

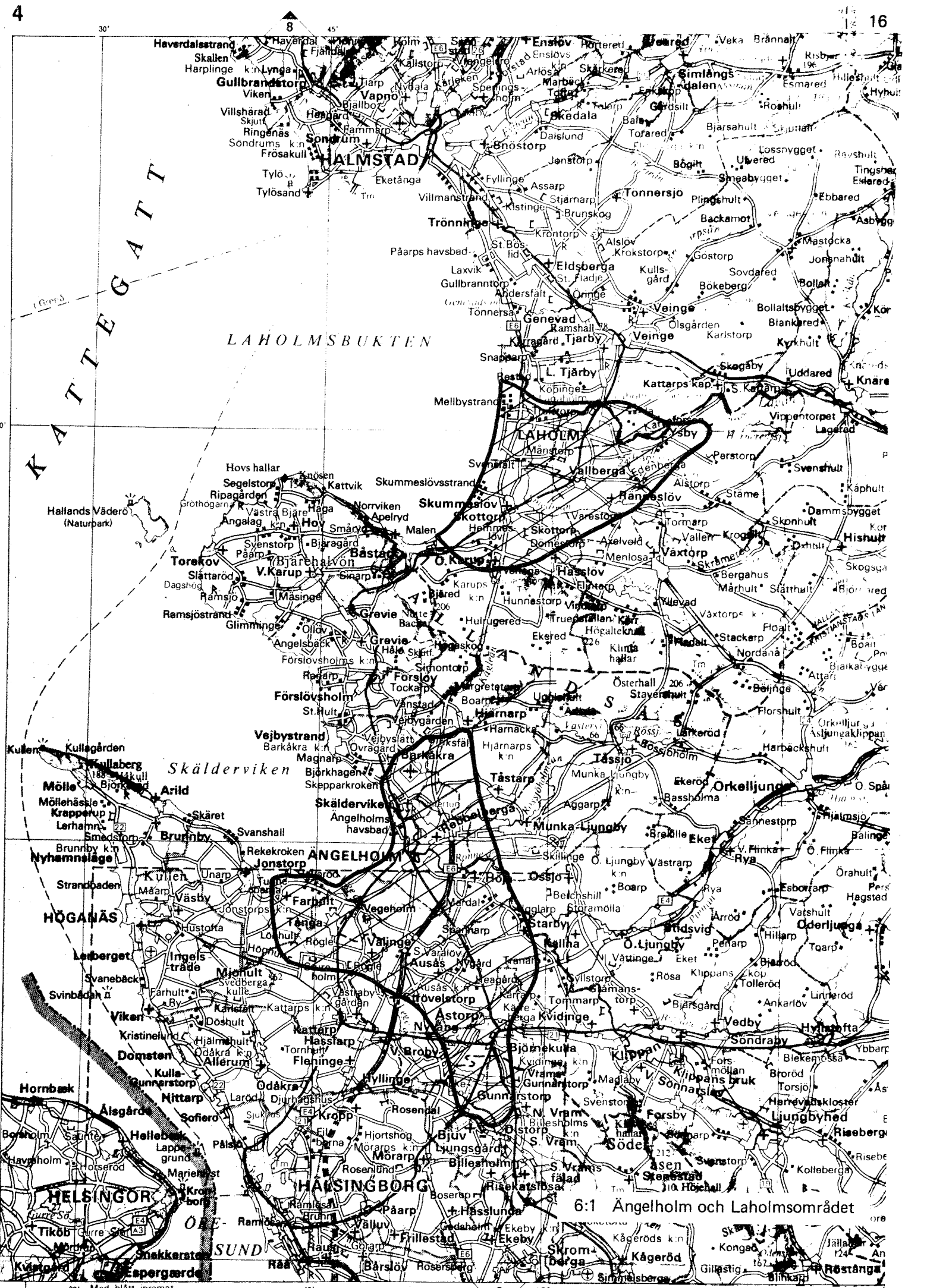
Området som omfattar Skaraborgs läns västra och södra delar utgörs av ett större slättland. Slätten framträder som ett jämnt plan som sakta höjer sig mot söder. Denna topografi bryts av Kedumbergen som sträcker sig i SSV - NNO riktning samt av en mängd mindre bergknallar som sticker upp några meter ovan lertäcket. Slättens sediment är avsatta på en tämligen jämn berggrundsytta, det subkambriska peneplanet. Leran är inte speciellt varvig i dessa trakter men sandiga och moiga lager och skikt förekommer, vars omfattning och utbredning varierar från plats till plats. Lerornas sensitivitet är vanligtvis normal utom i ett område omkring Hunneberg där kvicklera förekommer ställvis. I sänkan mellan Halle-och Hunneberg finns leror, delvis siltiga, med mäktighet omkring 18 - 26 m. Söder om Dettern finns uppgifter om lermäktighet på mer än 20 m. I området öster härom går berggrunden i stor utsträckning i dagen och man kan misstänka att några större djup inte är att finna. Det har dock visat sig att bara en kort sträcka ifrån en uppstickande häll kan djupet vara betydande. Av borrhprotokoll och fig 4 framgår att de största mäktigheterna påträffas öster om Kedumbergen, ute på Varaslätten. Längs en smal zon, från Stallberg till Järpås intill bergens fot, har mäktigheter upp till 50 å 60 m påträffats. Även runt Vara, Naum och Kedum har lerlager omkring 30 m genomborrats och likaså något längre österut vid Kvänum, Långjum, Edsvära samt Larv har mäktigheter

kohesionära jordarterna har en mäktighet av ca 15 - 25 m och på enstaka platser i djupare sänkor och dalstråk mer än 25 m.

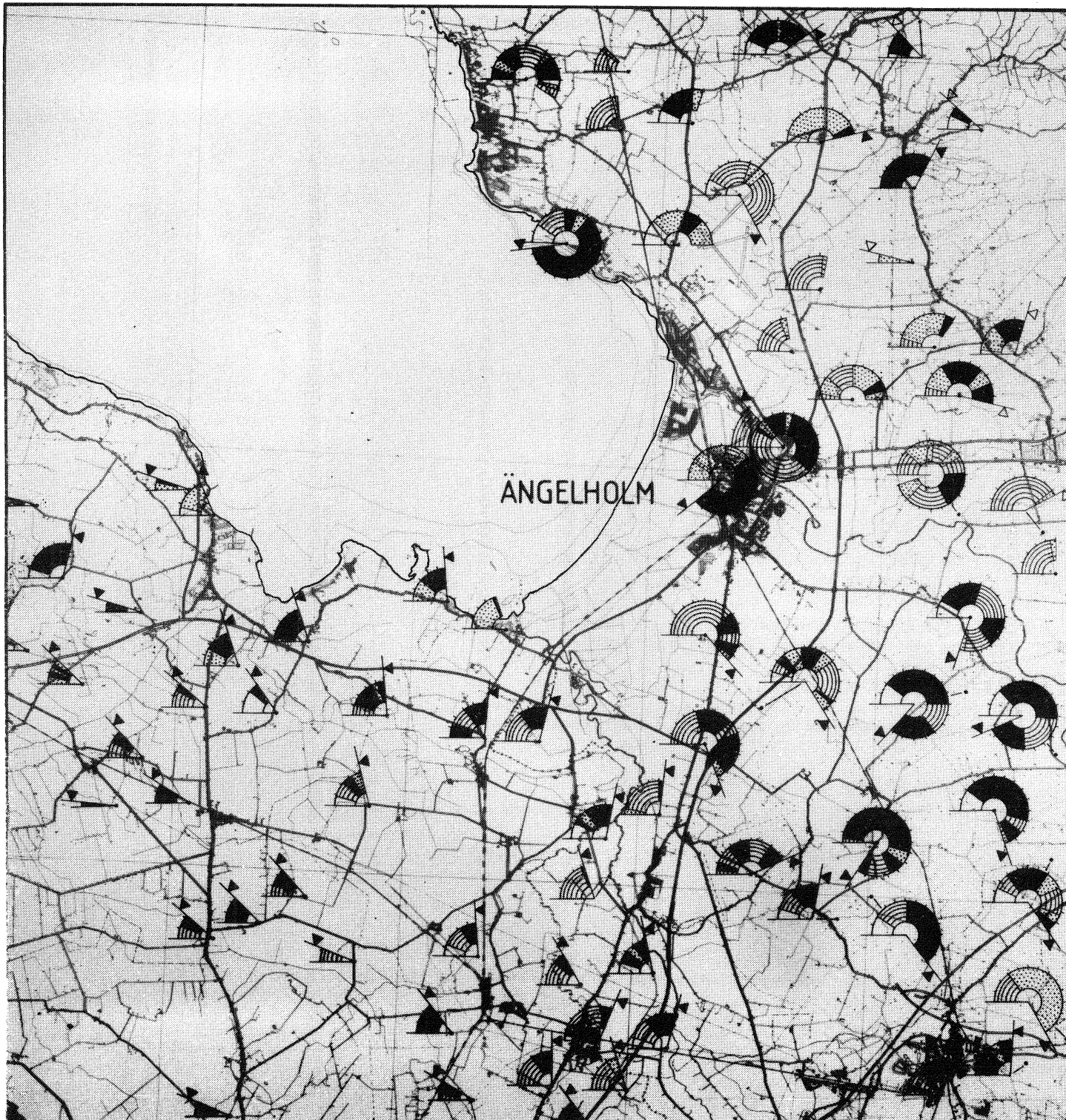
5:9 Mindre områden

Följande områden är till ytan tämligen små och/eller endast ett fåtal uppgifter om djup har kunnat erhållas.

- Skövdeslätten
Öster om Billingen utbreder sig ett slättlandskap och inom Skövde kommun har lermäktigheter av storleksordningen 10 - 20 m påträffats. Skikt av silt som ställvis är tjocka förekommer och vanligtvis överlagrar sand med mäktighet av 4 - 5 m lera.
- Ölmeslätten
10 km V om Kristinehamn, vid Ölme och norr därom har det på slätten observerats 15 - 25 m lera vid grävningar. Sensitiviteten är hög, 40 - 120.
- Kil
Omkring samhället Kil, några mil NV om Karlstad, har SJ intill järnvägen sonderat lera till 15 - 20 m. Även här har lera hög sensitivitet.
- Altuna
Några mil NN om Enköping i den s k Altunasänkan, som sträcker sig från Heby till Altuna, har det vid två brunnsborrningar påträffats lera med 18 resp 46 m mäktighet.
- Kilaån
Några mil V om Nyköping, längs Kilaån, finns ca 20 m lera på flera platser. Det är framför allt mellan orterna Tuna, Lunda och Jönåker som lera med inte alltför kraftiga siltskikt förekommer. Längre österut mot Nyköping förekommer också mäktiga lerlager men i dessa är det vanligt med kraftiga siltskikt.



6:1 Ängelholm och Laholmsområdet



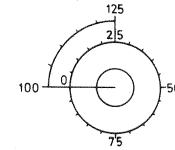
Jordarten okänd
Unknown deposit

Lera-mjåla
Clay-fine silt

Morån
Till

Mo-grus
Coarse silt-gravel

Borrningens djup i meter under markytån
The depth of the boring in metres below ground-surface



Borrningen har gått ned i urberg
The boring has reached Precambrian bedrock



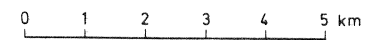
Borrningen har gått ned i sedimentär berggrund
The boring has reached sedimentary bedrock



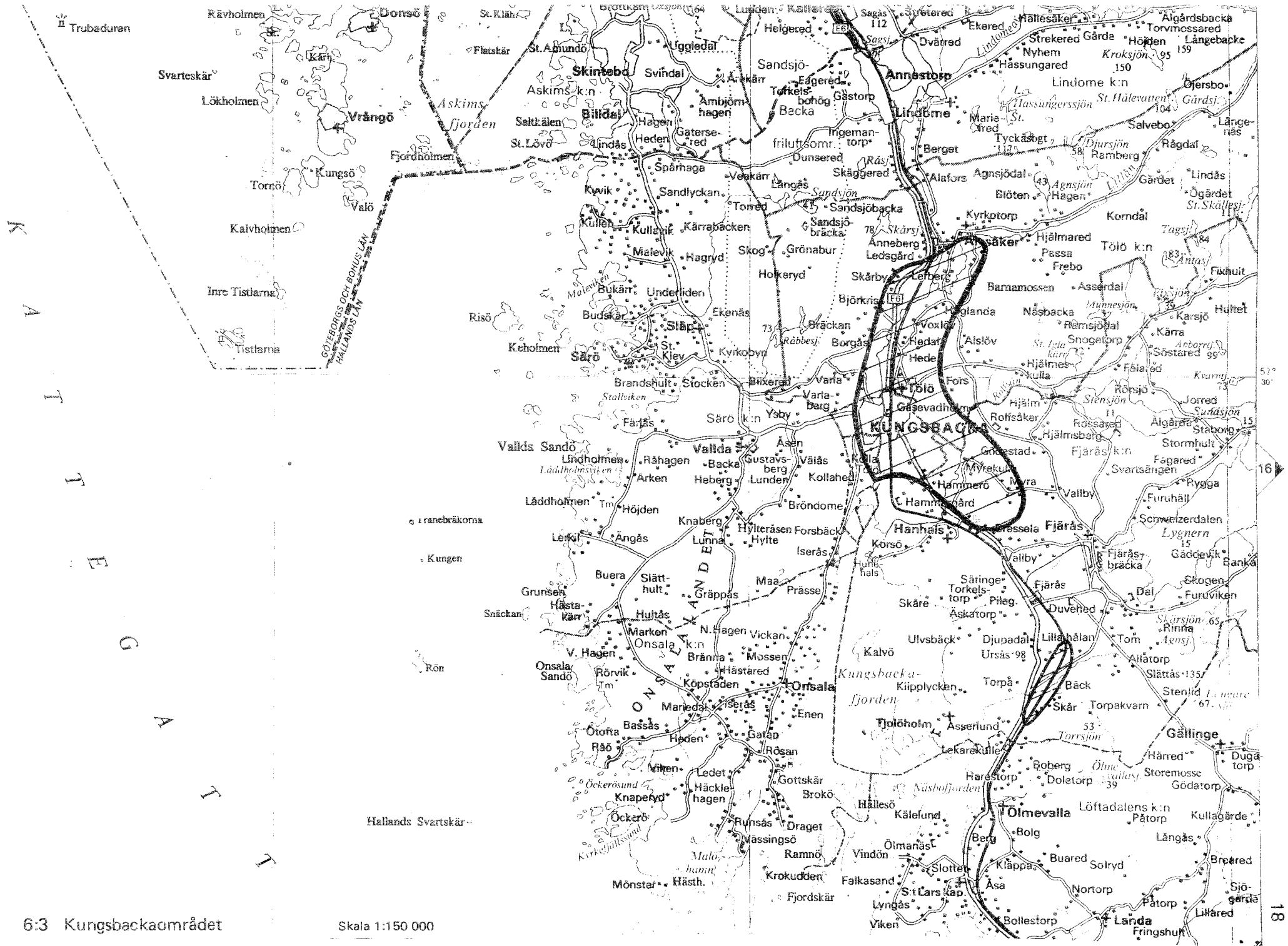
Borrningen har ej nått berggrunden
The boring has not reached the bedrock



Borrpunkternas läge
The position of the borings

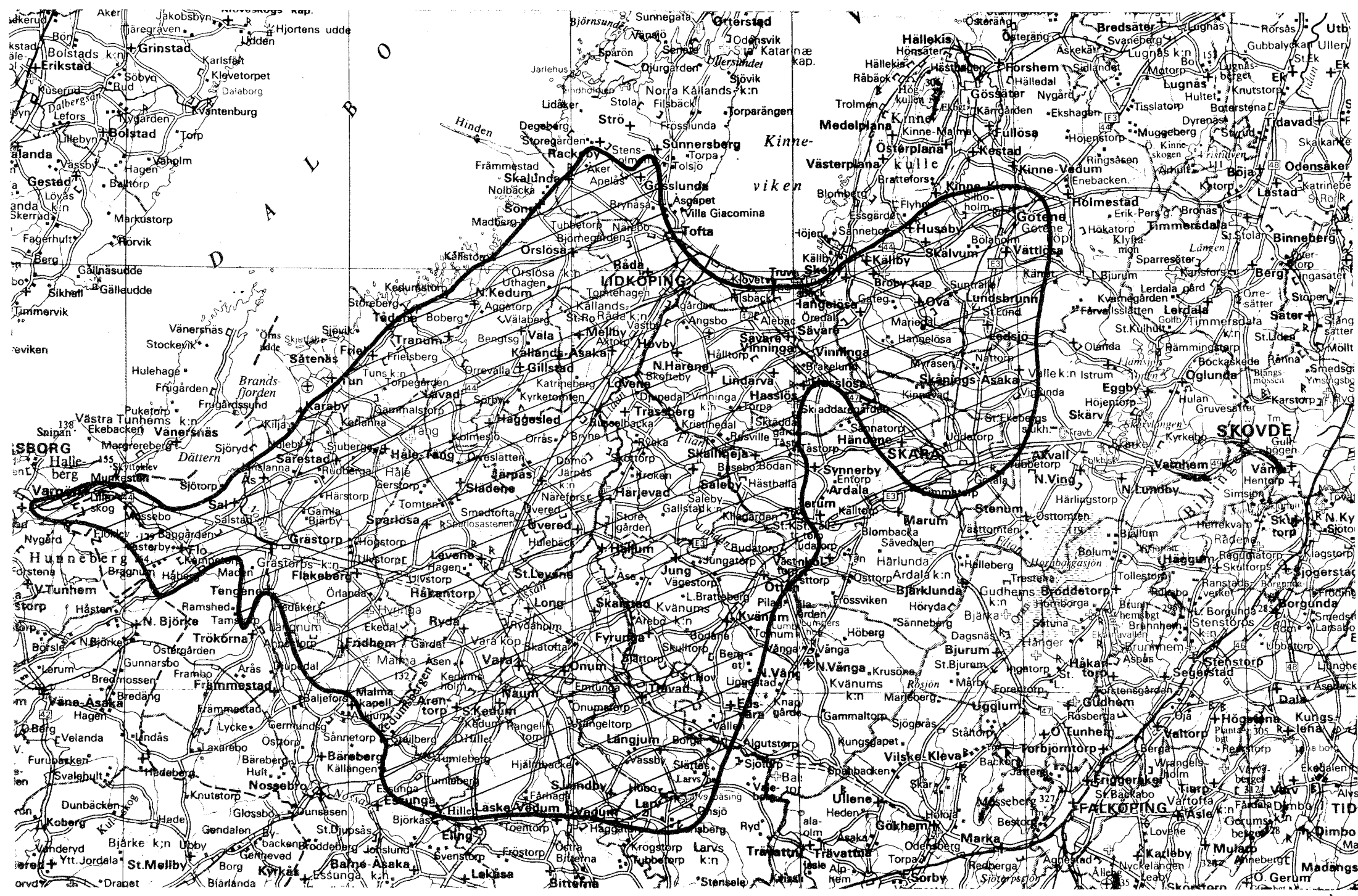


6:2 Borrningar i Ängelholmsområdet
(SGU Ser Ae 25)

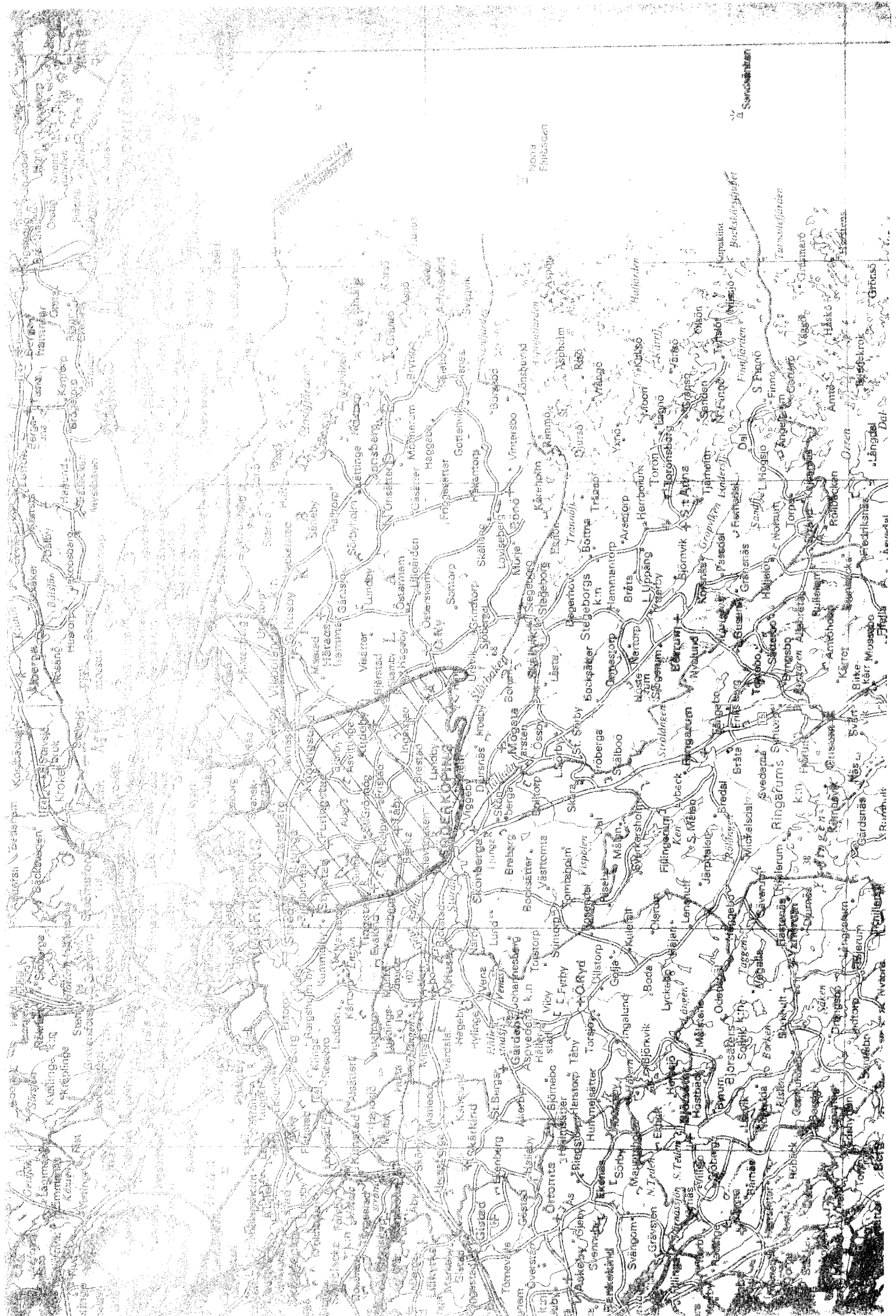


6:3 Kungälvområdet

Skala 1:150 000



Skala 1:300 000 0 5 10 15 20 km



7 REFERENSER

- BERGSTRÖM, R. och WIKSTRÖM, A.
Beskrivning till geologiska kartbladet Norrköping NO.
-SGU Ae 15. (1975)
- CALDENIUS, C. mfl.
Beskrivning till kartbladet Halmstad - SGU Aa 198 (1966)
- DANIEL, E.
Beskrivning till jordartskartan Höganäs NO/Helsingborg NV.
- SGU Ae 25 (1978)
- ERICSSON; B.
Kvartärgeologi. Kompendium för grundkurs A1 i geovetenskap.-
Kvartärgeologiska avd. Uppsala Universitet (1974)
- JÄRNEFORS, B.
Jordartskarta över Götaälvdalen. Karta i 3 blad. - SGU Ba20
(1959)
- MAGNUSSON; B.E.
Beskrivning till kartbladet Göteborg SO. - SGU Ae 26 (1978)
- MAGNUSSON, N., LUNDQVIST, G. och REGNELL, G.
Sveriges geologi (1963)
- MOHRÉN, E. och LARSSON, W.
Beskrivning till kartbladet Levene. - SGU Aa 201 (1974)
Beskrivning till kartbladet Laholm.- SGU Aa 197 (1968)
- SANDEGREN, R., HÖGBOM, A. och SVENONIUS, F.
Beskrivning till kartbladet Väse. - SGU Aa 151 (1922)
- Statens Järnvägars Geotekniska arkiv, Stockholm
- Statens offentliga utredningar:
Rasriskerna i Götaälvdalen - 1962:48 (1962)
- Sveriges Geologiska Undersökning, Brunnsarkivet, Uppsala
- SÖDERBLOM, R.
Salt in Swedish clays and its importance for quick clay
formation. - SGI, Proceedings 22 (1969)
- TALME, O. och ALMÉN, K-E
Jordartsanalys. Laboratorianvisningar, del 1.
Kvartärgeologiska inst, Stockholms Universitet.(1975)
- WENNER, C-G,
Fakta om Sveriges lerförekomster - GFF, Bd 71, H.3. (1949)
- VIAK AB
Sydvästra Skaraborgs vattenförsörjning. Redogörelse för
översiktliga geohydrologiska undersökningar i sydvästra Skara-
borgs län. - Stencil.(1971)

FÖRTECKNING ÖVER KBS. TEKNISKA RAPPORTER

1977-78

121 KBS Technical Reports 1 - 120.
Summaries. Stockholm, May 1979

1979

- 79-01 Clay particle redistribution and piping phenomena in bentonite/
quartz buffer material due to high hydraulic gradients
Roland Pusch
University of Luleå 1979-01-10
- 79-02 Försöksområdet vid Finnsjön
Beskrivning till berggrunds- och jordartskartor
Karl-Erik Almén
Lennart Ekman
Andrzej Olkiewicz
Sveriges Geologiska Undersökning november 1978
- 79-03 Bergmekanisk bedömning av temperaturbelastning vid slutförvaring
av radioaktivt avfall i berg
Ove Stephansson
Bengt Leijon
Högskolan i Luleå 1979-01-10
- 79-04 Temperatur- och spänningsberäkning för slutförvar
Taivo Tarandi
VBB Vattenbyggnadsbyrån, Stockholm februari 1979
- 79-05 Kompletterande berggrundsundersökningar inom Finnsjö- och
Karlshamnsområdena
Andrzej Olkiewicz
Sören Scherman
Karl-Axel Kornfält
Sveriges Geologiska Undersökning 1979-02-02
- 79-06 Kompletterande permeabilitetsmätningar i Karlshamnsområdet
Gunnar Gidlund
Kenth Hansson
Ulf Thoregren
Sveriges Geologiska Undersökning februari 1979

- 79-07 Kemi hos berggrundvatten i Blekinge
Gunnar Jacks
Institutionen för Kulturteknik, KTH, februari 1979
- 79-08 Beräkningar av grundvattenrörelser inom Sternöområdet i Blekinge
John Stokes
Institutionen för Kulturteknik, KTH, februari 1979
Preliminär utgåva
- 79-09 Utvärdering av de hydrogeologiska och berggrundsgeologiska
förhållandena på Sternö
Kaj Ahlbom
Leif Carlsson
Gunnar Gidlund
C-E Klockars
Sören Scherman
Ulf Thoregren
Sveriges Geologiska Undersökning, Berggrundsbyrå, februari 1979
- 79-10 Model calculations of groundwater condition on Sternö peninsula
Carl-Lennart Axelsson
Leif Carlsson
Geological Survey of Sweden september 1979
- 79-11 Tolkning av permeabilitet i en befintlig berganläggning
Ulf Lindblom
Alf Norlén
Jesús Granero
Kent Adolfsson
Hagconsult AB februari 1979
- 79-12 Geofysisk borrhålmätning i 2 st borrhål på Sternö
Kurt-Åke Magnusson
Oscar Duran
Sveriges Geologiska Undersökning februari 1979
- 79-13 Bildning av fritt väte vid radiolys i lerbädd
Trygve Eriksen
Johan Lind
Instituttet för Kärnkemi KTH 1979-03-28
- 79-14 Korrosionsprovning av olegerat titan i simulerade
deponeringsmiljöer för upparbetat kärnbränsleavfall.
Slutrapport.
Sture Henrikson
Marian de Pourbaix
Studsvik Energiteknik AB 1979-05-07
- 79-15 Kostnader för hantering och slutförvaring av högaktivt avfall
och använt kärnbränsle
Arne W Finné
Åke Larson Byggare, april 1979
- 79-16 Beräkning av permeabilitet i stor skala vid berggrum i Karlshamns
hamn
Ulf Lindblom
J J Granero
Hagconsult AB Göteborg, 23 augusti 1979

- 79-17 Water percolation effects on clay-poor bentonite/quartz buffer material at high hydraulic gradients
R Pusch
Div. Soil Mechanics, University of Luleå, 1979-05-31
- 79-18 Sammanställning och utvärdering av genomförda GETOUT- och BIOPATH-körningar
M Elert
B Grundfelt
C Stenquist
Kemakta AB, Studsvik Energiteknik AB, 1979-08-13
- 79-19 Diffusion in the rock matrix - An important factor in radionuclide retardation?
Ivars Neretnieks
Royal Institute of Technology May 1979
- 79-20 Hydraulisk konduktivitet bestämd i stor skala i ytliga partier av Blekinge kustgnejs
Ulf Lindblom, Hagconsult AB, Göteborg
Torbjörn Hahn, Fortifikationsförvaltningen, Stockholm
Göteborg juni 1979
- 79-21 Teknik och kostnad för rivning av svenska kärnkraftverk
Utarbetad av en särskild arbetsgrupp inom SKBF/KBS,
oktober 1979
- 79-22 Technology and costs for dismantling a Swedish nuclear power plant. Prepared by a special working group within SKBF/KBS,
October 1979
- 79-23 Release of ^{129}I to the coolant
Hilbert Christensen
Studsvik Energiteknik AB 1979-07-20
- 79-24 Development of glass compositions with 9% waste content for the vitrification of high-level waste from LWR nuclear reactors
Tibor Lakatos
Swedish Glass Research Institute, Växjö October 1979
- 79-25 Svenska torv- och lerlager - Egenskaper av betydelse för slutlagring av låg- och medelaktivt avfall
Ove Landström
Hans Tollbäck
Studsvik Energiteknik AB, November 1979
- Mäktiga lerformationer i Sydsverige - En litteraturstudie
Henrik Norlander
Kvartärgeologiska Institutionen
Stockholms Universitet, September 1979
- 79-26 Leakage of Niobium-94 from an Underground Rock Repository
K Andersson
B Torstenfelt
J Rydberg
Department of Nuclear Chemistry
Chalmers University of Technology, 1979-11-05