



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R128:1979**

**Lokalisering av över-  
konsoliderad lera genom  
analys av landets nivå-  
och klimatförändringar  
efter istiden**

**Gösta Bjurström**

**Östen Hansson**

**Laimonis Lakka**

**Byggforskningen**

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

R128:1979

LOKALISERING AV ÖVERKONSOLIDERAD LERA  
GENOM ANALYS AV LANDETS NIVÅ- OCH KLIMAT-  
FÖRÄNDRINGAR EFTER ISTIDEN

Gösta Bjurström  
Östen Hansson  
Laimonis Lakka

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
770186-8 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Tyréns Företagsgrupp, Stockholm.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R128:1979

ISBN 91-540-3128-1  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

## INNEHÅLL

FÖRORD		5
1	BAKGRUND	7
2	KLIMATET UNDER POSTGLACIAL TID - ÖVERKONSOLIDERAD LERA	9
2.1	Tidigare forskning	9
2.2	Metoder för bestämning av värmeperiodens tidsschema	10
2.2.1	Analys av varvig lera	10
2.2.2	Pollenanalys	11
2.2.3	Diatoméanalys	15
2.2.4	Cl4-bestämningar	15
2.2.5	Analys av "bleke"-avlagringar (syreisotopmätningar)	16
2.2.6	Lichenometriska mätningar	17
2.2.7	Arkeologiska tidsbestämningar	17
2.2.8	Asklager som tidsindikatorer	19
2.2.9	Sammanfattning	19
3	LANDHÖJNING, HÖGSTA KUSTLINJEN OCH STRAND- FÖRSKJUTNINGSKURVOR	21
3.1	Landhöjning	21
3.2	Högsta kustlinjen (HK)	22
3.3	Strandförskjutning	25
3.4	Strandförskjutning och sedimentation	27
4	ÖVERKONSOLIDERAD LERA	31
5	LABORATORIEBESTÄMNING AV LERANS KONSOLI- DERINGSGRAD	37
6	KARTMATERIAL FÖR LOKALISERING AV OMRÅDEN MED ÖVERKONSOLIDERAD LERA	39
6.1	Geologiska kartor	39
6.2	Topografiska kartor	44
6.3	Strandförskjutningsdiagram	44
7	EXEMPEL PÅ OMRÅDE MED ÖVERKONSOLIDERAD LERA	47
7.1	Överkonsoliderad lera i Haninge kommun	47
7.1.1	Belastningsförsök 1	50
7.1.2	Belastningsförsök 2	54
7.1.3	Belastningsförsök 3	54
7.1.4	Utvärdering av resultaten från provbelast- ningarna	55
8	UNDERLAG FÖR DISKUSSION OM FORTSATTA UNDER- SÖKNINGAR	59
8.1	Allmän kartering	59
8.2	Studier av vissa utvalda områden	59
8.2.1	Umeåtrakten	59
8.2.1.1	Belastningsförsök på K4-området i Umeå	63
8.2.2	Gamlebyområdet	64
8.2.3	Säffleområdet	66
8.2.4	Göteborgsområdet	70
8.2.5	Anmärkning	70

		4
9	ÖVERKONSOLIDERAD LERA - BYGGNADS- ANVISNINGAR	71
9.1	Samhällsekonomiska reflektioner	71
9.2	Bestämmelser för grundläggning av byggnadsverk	71
10	ANGELÄGEN FORSKNING	73
10.1	Inventering, kontrollundersökningar	73
10.2	Vetenskapliga kontrollundersökningar	74
10.3	Simulering av värmetiden	75
11	SAMMANFATTNING	77
12	SLUTORD	79
13	LITTERATUR, REFERENSER	81
	BESKRIVNING AV BILAGA	83

## FÖRORD

Denna programutredning har utförts för att belysa förutsättningarna för författarens teori att övervägande delen av den överkonsoliderade lera som finns i vårt land har bildats under de värmeperioder efter den senaste istiden då i hav eller sjöar avsatt lera genom landhöjningen nått över vattenytan och exponerats för det varma klimatets inverkan. Under värmeperioderna låg dessutom grundvattenytan på större djup i förhållande till markytan än i våra dagar.

Programutredningen avser att ange riktlinjerna för en mera detaljerad, målinriktad forskning som syftar till att man i stort sett överallt i vårt land skall direkt kunna ange var överkonsoliderad lera kan förekomma och i bästa fall överkonsolideringens storlek.

Utredningen har i första hand omfattat studier av vad som tidigare publicerats om den framlagda teorin.

Redan i detta skede kan sägas att någon publikation som berör hela detta problemkomplex icke påträffats. Utredningen har därför måst inriktas på att finna de komponenter inom främst geologi och geoteknik, som har betydelse för teorin samt att visa hur man genom att kombinera dessa fakta kan få fram ett kunskapsmaterial, varur man kan analysera fram ett svar på frågan om hur, när och var den överkonsoliderade leran bildats.

I framställningen ingår ett konkret exempel som bevisar teorins giltighet.

Programutredningen har delvis finansierats genom forskningsanslag från Statens råd för byggnadsforskning (BFR).

I utredningsarbetet har förutom G Bjurström även deltagit Östen Hansson och Laimonis Lakka.





## 1 BAKGRUND

Vid grundläggning av en byggnad eller en anläggning uppstår sättningar, vilkas storlek och hastighet varierar.

Vid grundläggning på friktionsjord blir sättningarna som regel små och sker i stort sett i takt med att jorden belastas. Vid kohesionsjord - vanligen lera - kan sättningarna däremot bli stora. De sker i huvudsak i takt med att porvattnet i leran pressas ut, vilket normalt tar lång tid.

Vid grundläggning på lera är sättningarnas storlek främst beroende av det effektivtryck leran tidigare varit utsatt för, nedan benämnt förkonsolideringstryck. Ifall detta är större än nu rådande, är leran överkonsoliderad. Om detta tryck ej överskrids blir sättningarna små.

Enligt allmänt vedertagna teorier inom kvartärgeologin rådde bl a i vårt land under tiden efter den senaste nedisningen perioder, under vilka medeltemperaturen var högre än den nuvarande, samtidigt som nederbörden var mindre. Detta jämte den dåtida snabba landhöjningen medförde, att grundvattenytan sjönk ovanligt mycket under dessa perioder. Detta orsakade en konsolidering av leran, som kvarstod när grundvattenytan sedermera åter höjdes. Effektivtrycket i leran minskades härvid utan att lerans struktur väsentligt ändrades. Ytterligare sammanpressning av leran sker först sedan effektivtrycket ökas utöver det maximala tryck, som tidigare rått i leran. Intill dess detta sker är leran överkonsoliderad. Överkonsolideringens storlek växlar från plats till plats beroende främst på det klimat, den landhöjning och den grundvattensänkning som skett på den aktuella platsen under postglacial tid.

Överkonsoliderad lera förekommer i vårt land i väsentlig omfattning. En bristande tilltro till resultat från kompressionsförsök som visar svag överkonsolidering i leran ligger sannolikt till grund för att överkonsoliderad lera ofta har bedömts som normalkonsoliderad. Denna skeptiska tolkning beror dels på att geotekniska undersökningar ej utförts i erforderlig omfattning, dels på att laboratorieundersökningar ej utförts i direkt syfte att utreda konsolideringsförhållandena. Först under senare år har på vissa håll undersökningsrutiner ändrats och tekniken utvecklats vid undersökningens utförande varigenom det blivit möjligt att mera exakt klarlägga konsolideringsförhållandena.

Den överkonsolideringseffekt i leror, som naturen själv under 1000-tals år har skapat, bör utnyttjas. Den gör det möjligt att grundlägga framförallt småhus direkt på lera utan pålning och utan att skadli-

ga sättningar uppstår. Även anläggningar av skilda slag, exv vägar och ledningar, kan grundläggas utan risk för skadliga sättningar.

## 2 KLIMATET UNDER POSTGLACIAL TID - ÖVERKONSOLIDERAD LERA

### 2.1 Tidigare forskning

Tidigare forskning som berör problemkomplexet överkonsoliderad lera och dess bildning som en följd av att leran påverkats av postglaciala värmeperioder har mig veterligen icke förekommit. I problemkomplexet ingår bl a geologiska och geotekniska faktorer. De enskilda faktorerna har ingående behandlats av ett antal forskare. Geologer har bl a behandlat tidsbestämningar för olika klimatskeden i Skandinavien under postglacial tid samt hur havsstranden under denna tid förskjutits som en följd av nivåförändringar hos land och hav.

För att kartlägga möjligheten för bildning av överkonsoliderad lera måste man kunna bestämma den tidpunkt, då leran genom landhöjningen kom att exponeras för den postglaciala värmeperioden. I den mån lera, vars yta torrlades efter värmeperiodens slut, är överkonsoliderad, beror denna överkonsolidering icke på värmeperioden.

Rörande lera har geotekniker bl a ägnat sig åt att undersöka denna från konsolideringssynpunkt. Man har härvid funnit att lera kan vara under-, normal- eller överkonsoliderad. Man har även diskuterat orsakerna till att lera är överkonsoliderad.

Allmänt antas den grad av konsolidering, som en lera befinner sig i, beror på de spänningsförändringar som leran genomgått alltifrån tillblivelsen. Sådana förändringar (Alte B 1976) anses exempelvis bero på att

- a) leran tidigare varit belastad med jord som sedermera förts bort genom erosion
- b) grundvattenytan under någon geologisk tidsperiod legat lägre än idag - en grundvattensänkning medför som känt konsolidering av leran
- c) en långtidskrypning i lera kan framkalla en överkonsolideringseffekt
- d) lerans torrskorpa vittrat genom kemisk påverkan.

Något samarbete mellan geologer och geotekniker för att kartlägga orsakerna till en leras överkonsolidering har knappast förekommit.

## 2.2 Metoder för bestämning av värmeperiodens tidsschema

Värmetidens och de nederbördsfattiga periodernas tidsschema är av stor betydelse för lokalisering av de områden i vårt land, där överkonsoliderad lera kan förekomma. Det är därför av vikt att känna de metoder som används för bestämning av lerans ålder. I det följande berörs några idag kända metoder för tidsbestämningar.

Dessa metoder grundar sig på bl a:

- analys av varvig lera
- pollenanalys
- diatoméanalys
- C14-bestämningar
- analys av "bleke"-avlagringar
- lichenometriska mätningar (biologiska mätmetoder)
- arkeologiska tidsbestämningar
- tefrokronologi (asklager i sediment)

### 2.2.1 Analys av varvig lera

Den varviga leran - glacialleran - har visat sig vara en god parameter för bestämning av tiden för isrändens årliga tillbakavikande och därmed den tid det tog för isens avsmältning från Skåne upp till Norrland.

Glaciallera avsatt i sött eller bräckt vatten är i regel varvig. Under vår och sommar, då isavsmältningen var stor, utsvämmade från isrändens sediment, vars finaste delar, leran, avsattes på havsbotten utanför isrändens. Under vintern, då isavsmältningen var ringa eller ingen alls, utslammades avsevärt sedimentmängder än under sommaren. Vintersedimenten avlagrades på de under vår och sommar avsatta lersedimenten och kom på detta sätt att bilda två skikt, tillsammans utgörande ett årsvarv. De två skikten i ett årsvarv kan urskiljas bl a genom vinterskiktets mörka färg i förhållande till sommarskiktets ljusare. Att så verkligen är fallet påvisades genom den analys som utfördes av A G Högbom (1889).

Det var emellertid Gerard de Geer som insåg betydelsen av den årsregelbundenhet, på vilken han sedan byggde sin geokronologi, där lervarven används för tidsbestämning (de Geer G 1940).

Lervarvens tjocklek avtar högre upp i en lagerföljd. I djupa skärningar kan flera hundra varv vara direkt synliga. Sådana skärningar representerar således en avsättningsperiod av flera hundra år. Att man kunnat registrera i stort sett hela den lagerserie som finns i Sverige, beror på att samma varv har kunnat identifieras från en plats till en annan.

Den varviga leran avsattes i stort sett direkt på berggrunden, på morän eller på grövre sediment som grus, sand och mo, som avlagrats på morän. Vid landhöjningen bortspolades oftast den varviga leran när lerområdet påverkades av bränningar, från det "sjunkande" havet. Endast i sänkor eller sådana delar av terrängen, som icke påverkats av bränningar finns den varviga leran bevarad. Den är på stora delar täckt av lera, som bildats under senare tidsskeden.

På områden, där varvig lera saknas, har man stundom kunnat registrera tidsförloppet genom identifiering och mätning av avstånden mellan de ändmoräner, som bildades vid israndens oscillerande rörelser vid tillbakavikandet. Man har därvid utgått ifrån att tidsrymden mellan bildningen av två varandra närliggande ändmoräner är ett år.

Under senare år har man börjat ställa sig kritisk till exaktheten hos isavsmältningens tidsförlopp, byggd på mätning och identifiering av lervarven. Även om vissa fel skulle finnas, torde teorin enligt de flesta forskare i stort sett stå sig inför eftervärlden. Det kan här omnämnas att tidsbestämning genom varvräkning utnyttjas för kalibrering av andra tidsbestämningsmetoder (Königson 1975).

### 2.2.2 Pollenanalys

För Skandinavien har genom bl a Blytt, Sernander och von Post (se bilaga - en sammanställning av uppgifter i Sveriges Geologi av N H Magnusson, G Lundqvist och G Regnéll) uppgjorts ett klimatschema gällande från ca 12 000 år f Kr fram till våra dagar. Schemat bygger i stort sett på den förändring i växtligheten som skett under denna tid. Det är i huvudsak i torvmossarnas växtrester och pollenkorn som dessa förändringar kan avläsas.

I övre Norrland har man exempelvis i en myr belägen ca 200 m över den nuvarande skogsgränsen funnit rester av trädstubbar. Detta visar att trädgränsen tidigare nått högre än nu och att således klimatet tidigare varit varmare än i våra dagar. Sjönöten, Trapa natans, har man funnit i torvmossar kring Mälardalen. Denna växt har idag sin nordligaste hemvist i Polen, vilket visar, att mälarområdet haft ett varmare klimat än nu.

År 1909 iakttog G Lagerheim vissa olikheter i pollenfloran i torvprover. Detta blev upphovet till pollenanalysmetoden, enligt vilken man i en torvmosse kan tidsmässigt bestämma den växtlighet, som funnits på mossen under dess utvecklingsskede. Själva utvärderingsmetoden har utvecklats av L von Post.

Förekomsten av pollen av skilda slag står i ett visst förhållande till förekomsten av skilda trädslag. Ju fler pollen av ett visst trädslag man finner i ett speciellt skikt i mossen desto ymnigare bör detta trädslag ha växt i området. Detta är dock en sanning med viss modifikation då man vet, att olika trädslag producerar mycket olika pollenmängd samt att pollen kan förflyttas med vinden långa sträckor. Den procentuella förändringen av skilda pollen i ett vertikalsnitt i mossen ger en bild av hur trädbeståndet växlar på och omkring mossen under den tid denna uppbyggs.

En utmärkt illustration över pollenanalysens värde för bestämning av det postglaciala klimatet ger det pollendiagram som visas på fig 1. Det från författarens synpunkt mest värdefulla är att man ur diagrammet kan bestämma och datera olika klimatperioder. Dateringen kan göras genom jämförelse med arkeologiska föremål eller genom geologiskt kända postglaciala lager eller lagerföljder. Självfallet kan även C14-metoden användas vid kalibrering av pollendiagram.

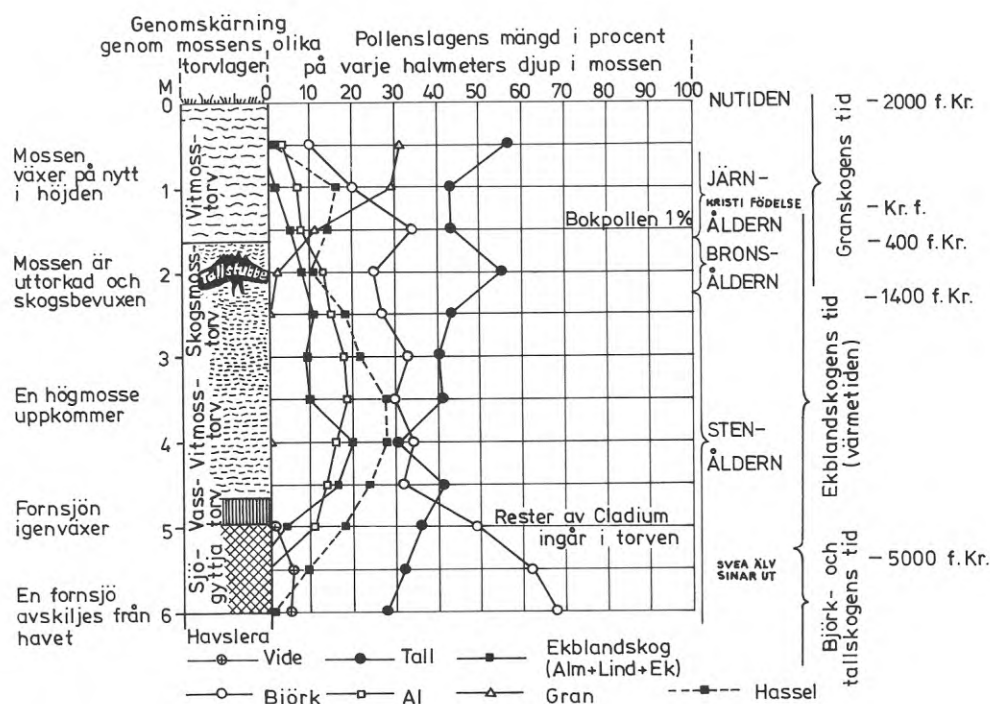


Fig 1. Pollendiagram från Nyckelmossen invid Östra Laxsjön i Tiveden, 131 m ö h (von Post L 1930). Speciellt intressant är främst ekblandskogens, alens och hasselns kurvor som speglar värmestidens höjdpunkt.

På fig 2 visas utbredningen av våra vanliga skogbildande trädslag vid olika tidsskeden och på olika områden i Skandinavien från Danmark upp till Ångermanland. Figuren är hämtad från Hugo Sjörs Nordisk växtgeografi (Sjörs H 1956) och omarbetad.

Värmetiden i Sverige avspeglas främst av utbredningen av trädslagen alm, lind samt hassel och al. Hed- och tundraväxtlighet saknas i stort sett under tiden 7 000 - 3 000 år f Kr, dvs under den extrema värmetiden. För Närkes och Ångermanlands del lägger man märke till att granens tillväxt i stort sett börjar när ek, alm och lind gick starkt tillbaka vid det klimatomslag som skedde ca 600 år f Kr.

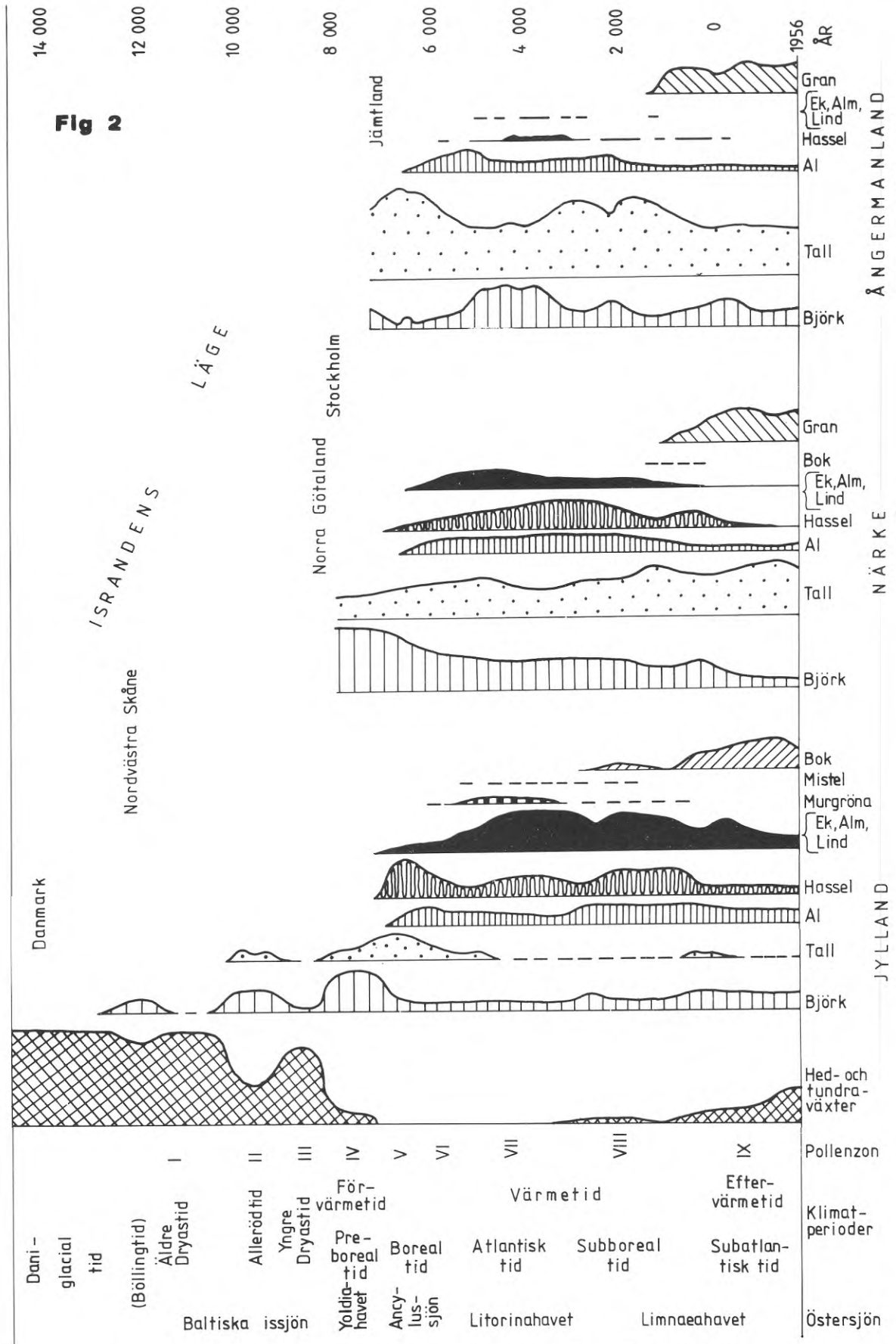


Fig 2. Utbredningen av våra vanliga skogbildande trädslag vid olika tidsskeden och på olika områden i Skandinavien från Danmark upp till Ångermanland.



### 2.2.3 Diatoméanalys

Ett sätt att bestämma åldern hos lera och gyttja är att identifiera de diatoméer som finns i de nämnda jordarterna. Diatoméerna härstammar från kiselalger, som levt i vattnet när leran eller gyttjan bildades. Diatoméerna, som är mikroskopiska till storleken, är mycket känsliga för vattnets salthalt. Vissa arter kan endast leva i sött vatten.

Diatoméanalysen tillgår så att man i mikroskop räknar antalet diatoméer av skilda arter i olika skikt i lera och gyttja och kan på detta sätt i samma snitt bestämma gränserna mellan exempelvis avlagringar från olika skeden i Östersjöns utvecklingshistoria (Yoldiahavet, Ancylussjön och Litorinahavet). Den högsta gräns till vilken Litorinahavet nått, dvs saltvatten-gränsen, bestäms exempelvis av gränsen för fynd av saltvattensdiatoméer.

För överkonsolideringsteorin har diatoméanalysen speciellt intresse då det gäller att åldersbestämma den betydelsefulla övergången av en havsvik till en insjö till följd av landhöjningen. Efter övergången kan inga nya saltvattensdiatoméer nå insjön med mindre än att en transgression ägt rum, varvid sjön återigen övergått till en havsvik.

### 2.2.4 C14-bestämningar

Den modernaste metoden för direkta åldersbestämningar är den s k C14-metoden som upptäcktes av W Libby och för vilken han tilldelades Nobelpriset 1960. Här ges i korthet en allmän orientering om metoden.

Den kosmiska strålningen påverkar atmosfären i de högre luftlagren så att neutroner bildas. Neutronerna ingår en förening med kvävet atomkärnor N14. Härvid utstöts en proton, varvid atomen C14 nybildas. Denna förener sig med luftens syre till koldioxid, CO<sub>2</sub>, vari C14 ingår. Genom kolsyreassimilation upp-tas koldioxid av växterna. Därvid bildas kolhydrater, som genom olika processer återgår till luften i form av koldioxid.

C14-atomen är emellertid instabil men på ett regelbundet sätt. Av en viss mängd C14-atomer sönderfaller halva antalet under en tidsrymd av ca 5 600 år. Vid sönderfallet utstöter C14-atomerna en elektron och återstoden blir en kväveatom.

Varje levande växt har en viss halt C14, som tillkommit genom assimilation. Om denna upphör när växten dör, upphör tillförseln av C14-atomer - i stället börjar dessa att sönderfalla så att hälften återstår efter ca 5 600 år. Genom att den döda växten inbäddas i en jordart har den bevarats och man kan bestämma den C14-halt som finns i växten. Med vetskap om att sönderfallshastigheten är proportionell mot den kvarvarande C14-halten kan man beräkna det

antal sönderfall, som ägt rum i kol från den avlagring, vars ålder man vill bestämma.

Rörande teorin om bildningen av den överkonsoliderade leran är C14-metoden av betydelse genom att man med denna metod på ett långt säkrare sätt än andra kan tidsbestämma strandförskjutningar under postglacial tid.

För norra Hälsingland har G Lundqvist (1961) konstruerat en sådan kurva. Lundqvist har härvid använt sig av s k isoleringskontakter i ett antal myrar med 10-15 m höjdskillnader. Förutom genom en direkt fältbestämning har kontakterna bestämts genom diatoméanalys. Undersökningen visar bl a att saltvattensgränsen under Litorinatid låg på nivåer mellan ca 103 och 108 m över nuvarande havsyta. Dessa nivåer intog havet enligt C14-metoden ca 5 000 år f Kr. Vid analysen har använts torv innehållande en snäcka, *Litorina litorea*, som endast kan leva i salt vatten.

#### 2.2.5 Analys av "bleke"-avlagringar (syreisotopmätningar)

Bleke är en jordart som bildats i vatten med mycket stor kalkhalt. Jordarten är vanligen ljusgul och innehåller skal av snäckor och musslor.

I Tingstäde träsk på Gotland har man funnit lager av bleke med upp till sex meters tjocklek och vars understa lager är bildade ca 9 000 år f Kr. Det märkliga är att man genom isotopundersökningar kan få en relativt exakt kännedom om vilken temperatur som rådde i vattnet när bleken bildades. Man undersöker härvid hur stor del av syreisotopen  $O_{18}$  som ingår i de olika snitten samtidigt med syreisotopen  $O_{16}$ .

Jordarten bleke bildas då kransalger upptar koldioxid från kalkrikt vatten. Eftersom processen sker sommartid kommer det syre, som ingår i bleken, att få en isotopsammansättning, som motsvarar den temperatur, som rådde i träsket under sedimentationen.

Kalibreringen av de skilda snitten har gjorts med hjälp av C14-metoden och dessutom genom mätning av magnetismen i sedimenten som jämförts med tidsdaterade förändringar i magnetfält i andra avlagringar. Undersökningarna av blekeavlagringarna har visat, att det var ett varmare klimat ca 4 000 år f Kr, samt att temperaturen sedan dess sjunkit fram till idag. Sjunkningen är särskilt markant vid ca 800 år f Kr.

Det sägs att temperaturkurvan från Tingstäde träsk är den bäst kända och mest detaljerade som finns, bl a av den orsaken, att den anger temperaturen i grader. Nedanstående kurva (fig 3) visar sommartemperaturerna i Tingstäde träsk sedan ca 9 000 år f Kr. Kurvan är uppgjord av N A Mörner.

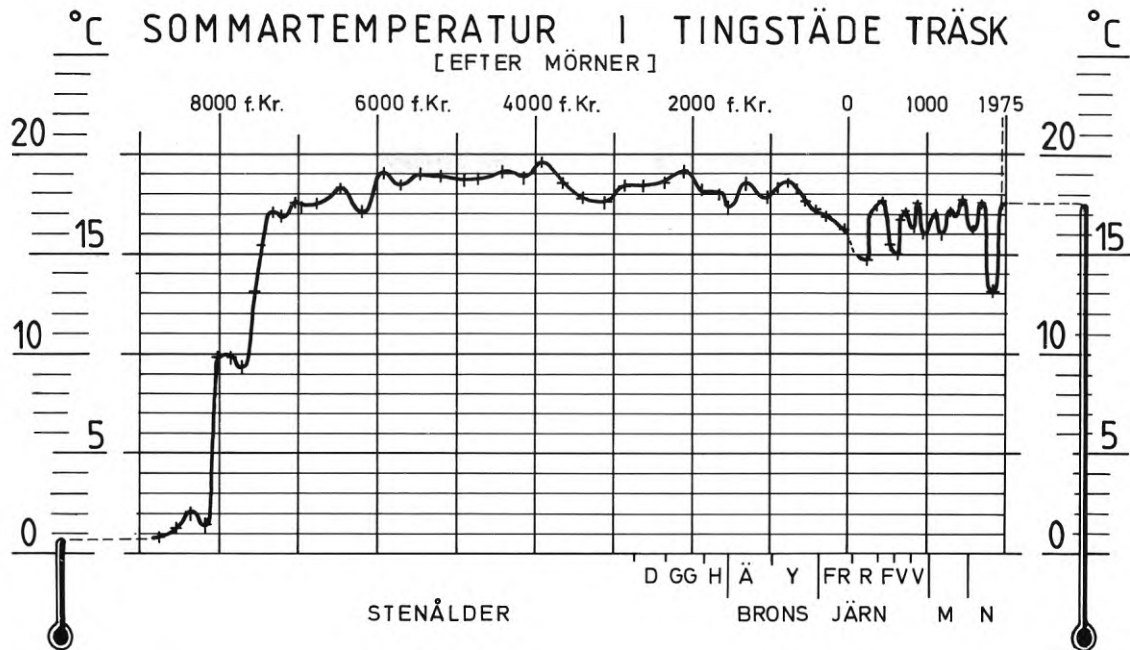


Fig 3. Temperaturkurva för nästan 11 000 år från Tingstäde träsk. Gradtalet (C) avser vattnets sommarmedeltemperatur (Philip A 1977).

Bleke finns på flera platser i vårt land. Dessa avsättningar är i de flesta fall tidsbundna i förhållande till blekeförekomsten i Tingstäde träsk. Det vore därför från dateringssynpunkt av värde att undersöka några av dessa blekeförekomster bl a med hänsyn till halten av  $O_{18}$  i förhållande till  $O_{16}$  för konnektion med bleken i Tingstäde.

## 2.6 Lichenometriska mätningar

Lichenometriska tidsbestämningar bygger bl a på den radiella tillväxten hos vissa lavaarter. I ett vetenskapligt arbete av W Karlén (Karlén W 1975) visar denne att man genom att kombinera fakta rörande sjösediment, trädgränsens variationer och lichenometriska mätningar kan få fram att sommartemperaturen varit ca  $1,5^{\circ}$  högre än idag ca 8 000 år f Kr, ca 7 000 - 6 000 år f Kr och ca 5 000 år f Kr. Undersökningarna är utförda i lapplandsfjällen.

### 2.2.7 Arkeologiska tidsbestämningar

Arkeologiska tidsbestämningar kan man göra så långt tillbaka i tiden som ca 9 000 - 8 000 år f Kr. Ca 8 000 år f Kr invandrade människan till den från is och hav frilagda Västerhavsstranden. Man anser att människan kunnat leva relativt nära den tillbakavikande isbräckan. Gränser för bebodda områden under stenåldern kan exempelvis fastställas genom bestämning av halten av lösliga fosfater i jorden (Arrhenius G 1945, Arrhenius O 1935).

Kännedom om att människor då bodde nära stranden ger möjligheter att i första hand lokalisera strandens läge. Allteftersom människan förändrade levnadssätt uppkom nya former av bosättningar. Byarna, som under bronsåldern i regel låg i en sänka, flyttades under järnåldern till toppen av en kulle. Inom denna period kan tiden grovt bestämmas genom identifiering av redskap och gravsättningsätt.

Det ligger i sakens natur att ju längre man når tillbaka i tiden desto osäkrare blir tidsbestämningarna. I första hand ger arkeologiska fynd en möjlighet att kontrollera strandlinjens läge för en bestämd tidsperiod. Härvid bör anmärkas att de geologiska kunskaperna även kan utgöra grund för planering av arkeologisk forskning och hembygdsforskning. Ett exempel från Södertörn på fig 4, visar att man har funnit ett stort antal boplatser från gånggrifttid, ca 2 500 år f Kr, vid motsvarande strandlinje.

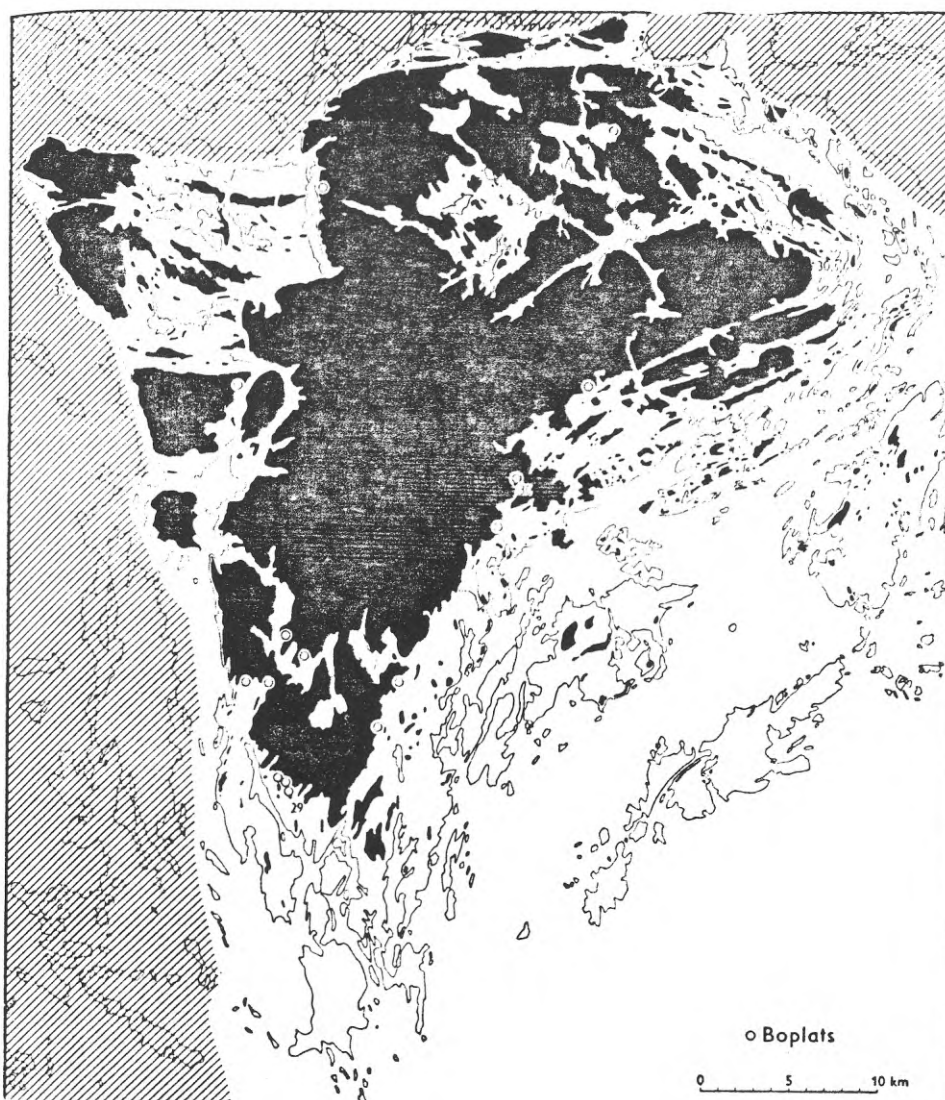


Fig 4. Södertörn vid början av gånggrifttid (ca 2 500 år f Kr). Svart anger land, vitt vatten. Området utanför Södertörn är streckat. (Enligt Nilsson E 1953).

### 2.2.8 Asklager som tidsindikatorer

För tidsbestämning och stratigrafisk identifiering används asklager, som sprids genom vulkaner. Meteorologiska förhållanden kan stundom medföra att aska kan spridas över mycket stora områden och bli sedimentära som enskilda lager i en sedimentserie. De asklager som finns i Sverige och Skandinavien härrör bl a från vulkanen Hekla på Island samt Eifelområdet i Tyskland.

### 2.2.9 Sammanfattning

En del av i föregående kapitel berörda metoder möjliggör att man översiktligt kan bestämma det klimat som rått i Skandinavien under postglacial tid samt urskilja mycket varma tidsperioder samt perioder med mindre nederbörd än idag. Enligt vissa forskare kan man t o m ange hur mycket varmare det varit under vissa perioder i förhållande till våra dagars klimat. De maximala värdena torde ha varit ca 1,5° - 2,5° C högre än idag.

Andra beskrivna metoder gör det möjligt att kontrollera om lera inom det aktuella området kan vara påverkad av de nämnda klimatförhållandena.

Där det varma klimatet påverkat lera, som legat ovan havets yta, måste detta i den mån klimatet även varit relativt torrt under längre perioder ha medfört en ökad avdunstning från lera och därmed en ökning av tjockleken hos lerans torrskorpa. Denna torrskorpa har bevarats även vid efterkommande perioder med ett kallare och fuktigare klimat.

Det varmare klimatet måste också i samband med landhöjningen och de lokala topografiska och geohydrologiska förhållandena ha påverkat grundvattenytan så att denna sjunkit. Vid en sådan sjunkning har jorden påverkats av ett ökat vertikalt tryck som medfört sättningar i lera. En allmän grundvattensänkning av exempelvis 2 m i lera medför en konsolidering av lera för ett 20 kPa större effektivtryck. Sjunkningen torde ha varat under så lång tid, att detta har medfört en sättning i lera, som motsvarar slut-sättningen för 20 kPa ökad belastning.

När grundvattenytan under senare perioder åter stigit har konsolideringen bevarats. Lera är således idag trots de förändrade förhållandena överkonsoliderad och kan i det nämnda exemplet belastas med 20 kPa utan att nämnvärda sättningar sker.



### 3 LANDHÖJNING, HÖGSTA KUSTLINJEN OCH STRANDFÖRSKJUTNINGSKURVOR

För lokalisering av överkonsoliderad lera är förloppet hos landhöjningen, identifieringen av högsta kustlinjen (HK) och bestämning av strandförskjutningen av avgörande betydelse. I det följande behandlas dessa faktorer mer ingående.

#### 3.1 Landhöjning

Ett stort antal geologer har forskat rörande den landhöjning, som satte in i Skandinavien, när isen började smälta bort. Det skulle föra för långt att här gå in på historiken om landhöjningsteorin. Det må endast anföras att man i början inte visste om det var landet som höjde sig eller vattnet som sjönk undan.

Alltsedan isen smälte bort anses landet kontinuerligt ha höjts, den s k isostatiska nivåförändringen. Samtidigt har ständigt skett en förändring i havsytans nivå, den s k eustatiska nivåförändringen. Denna beror på de ständigt skeende förändringarna i ismassorna främst vid polerna. Bedömningar av de på så sätt uppkomna relativa nivåförändringarna mellan land och hav vid Östersjöns kustområden kompliceras i hög grad av de lokala förändringar, som under postglacial tid skedde i Östersjön genom landisens avsmältning.

Ramsay (Ramsay W 1924) framförde den sedan länge allmänt vedertagna åsikten att ett växelspel skedde mellan landhöjning och höjning av havsytan. Sålunda översvämmades - transgraderades - de delar av landet, som vid avsmältningen först blottades från is. Sedan landhöjningen fått verka på det från isen befriade landet höjdes detta ur vattnet - landet torrades genom vattnets regression. Vid det allt varmare klimat, som orsakade isens avsmältning, ökade vattenmängden i världshaven och en ny transgression skedde. Slutfasen kom när isen i stort sett försvunnit och intet nytt vatten tillfördes havet.

Landhöjningsprocessen har här beskrivits mycket enkelt och utan hänsyn till exempelvis de uppdämningar som skedde då Ancylussjöns avbördning genom Svea älv upphörde för att i stället avbördas genom Öresund.

Man finner att i den del av landet, som ligger norr om en tänkt linje mellan Gävle och Strömstad har landet alltid stigit hastigare än havet. Söder om denna linje är förhållandena annorlunda beroende på växlingar i havets nivå.

Idag pågår landhöjningen i övervägande delen av landet med undantag för Skåne där landet sänker sig något på delarna söder om en linje mellan Hanöbukten och

Kullen. På grund av vissa sjöars stora utsträckning i norr-söder, exempelvis Vänern och Vättern, sker en långsam transgression vid sjöarnas södra stränder.

På senare tid har man uppställt matematiska modeller för beräkning av landhöjningens hastighet. Det är emellertid inte helt självklart att landhöjningen skett kontinuerligt och med tiden avtagande hastighet. Jordskorpans återtagande av sin "ursprungliga" form har - sedan trycket från isen försvunnit - ibland skett språngvis, beroende på de ofantliga spänningar, som uppstått i berggrunden vid dess nedtryckande på grund av isen. Man har bl a i Lappland observerat en många mil lång förkastning (Lundqvist J och Lagerbäck R 1976). Det är ingenting som utesluter att likartade förkastningar kan ha förekommit på andra områden i Sverige, fastän dessa ännu ej observerats.

### 3.2 Högsta kustlinjen (HK)

Från överkonsolideringsteorins synpunkt är högsta kustlinjen (HK) av stor betydelse. HK utgör den linje, vartill vattnet som högst nått under glacial och postglacial tid. Denna gräns kan påvisas genom en serie indikationer. Från geoteknisk synpunkt har gränslinjen sin kanske största betydelse, därför att den bildar gränsen för hur långt in i landet i vatten avsatt lera kan förekomma.

I norra Sverige kan HK lätt identifieras på grund av att kustområdena här ofta är relativt höglänta. På de högsta delarna av ett bergområde, beläget i närheten av nuvarande kust, är berget ofta skogbeväxt. Detta beror på att den morän, som avsatts på bergplataerna under istiden icke nåtts av HK, varför skog kunnat växa på dessa områden. På de delar av berget, som ligger nedanför HK, har däremot moränen bortspolats, varför någon väsentlig grogrund för skog icke finns. Där terrängen icke ligger i alltför brant lutning markeras strandlinjen (HK) ofta av klapperstensfält, som bildats under bränningarnas inverkan.

Det är oftast svårt att lokalisera HK på områden, som ligger i svag lutning. Detta är bl a förhållandet i delar av syd- och mellansverige. På dessa områden får man ett mått på HK bl a genom identifiering av de deltan, som uppbyggdes där en isälva mynnat i havet. Härvid uppstod randdeltan, vars avlagringars yta kunde nå upp till vattenytan vid isranden. Där vattenytan låg i nivå med havets yta blev randdeltans högsta nivå HK. En serie sådana randdeltan är kända i Sverige.

Det bör anmärkas att HK inte är en i tiden sammanfallande kustlinje beroende på att den utbildats i takt med isens tillbakavikande.



Inom nuvarande Östersjöområdet söder om en linje Billingens nordspets - Södertälje utbildades högsta kustlinjen av Baltiska issjön. Detta hände ca 8 000 år f Kr. Issjöns gräns mot norr utgjordes då av den hundratals meter höga isvägg, som bildades av den tillbakavikande isfronten och gränsen mot väster av det sydsvenska höglandet. När isranden vek norrut från Billingen öppnades ett sund mellan bergets nordände och iskanten. Genom detta sund, som kontinuerligt vidgades, sänktes issjöns vattenyta. Sänkningen var ca 30 m, vilket innebär att HK efter ca 8 000 år f Kr måste ha fått en diskontinuitet i form av att HK norröver borde ha förskjutits mot lägre nivåer. Att trots detta HK påträffades på långt högre nivåer mot norr beror på, att landet på dessa områden var så starkt nedpressat av isen, att HK nådde mycket höga nivåer - kring Skuleberget i Ångermanland ca 285 m över nuvarande havsyta - innan landhöjningen, som här är störst i Sverige, hann påverka HKs nivå.

På fig 5, som är hämtad från Sveriges geologi (Magnusson, Lundqvist, Regnéll) visas havets största utbredning i Skandinavien.

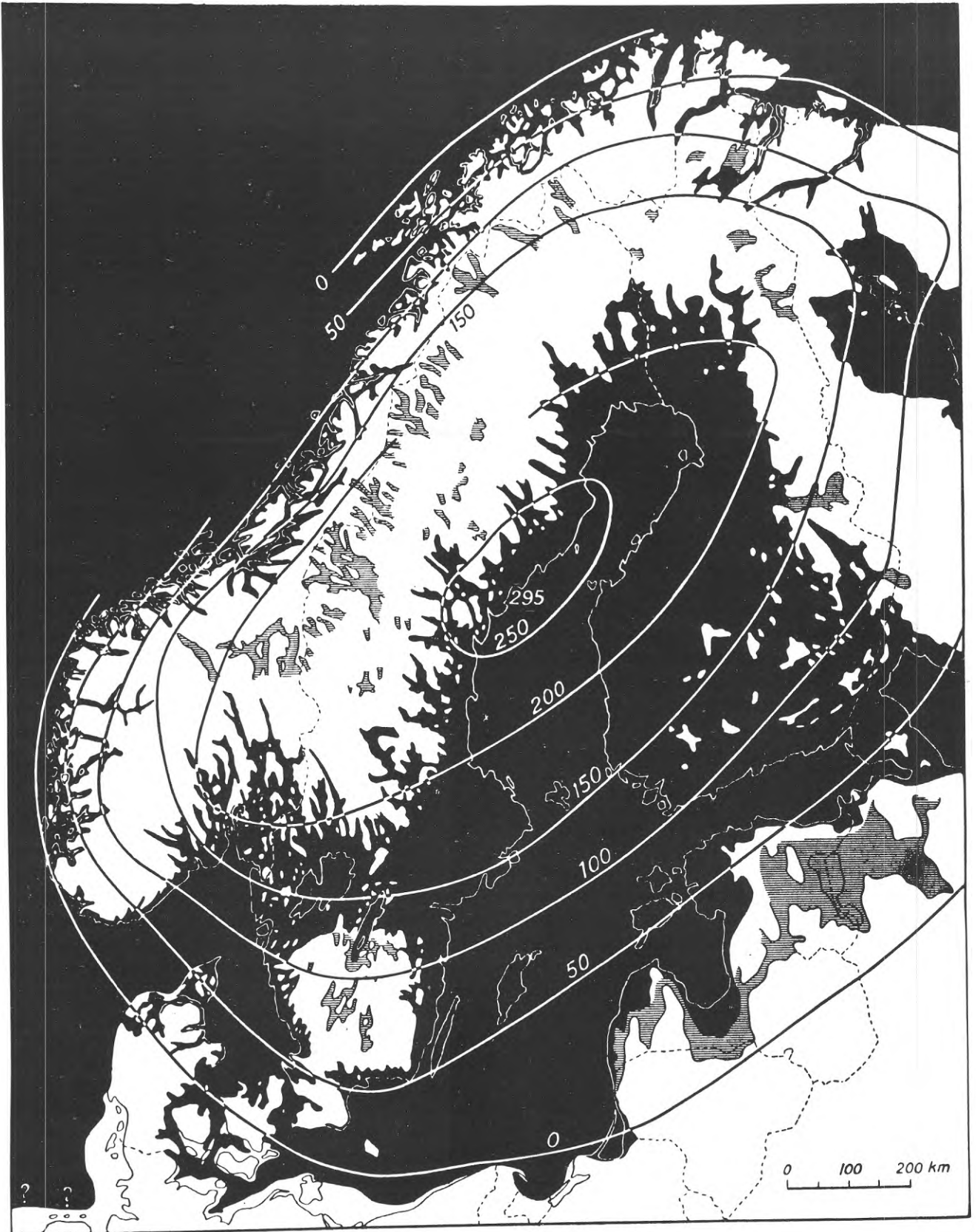


Fig 5. Högsta kustlinjen i Sverige och Skandinavien.

### 3.3 Strandförskjutning

I föregående avsnitt angående högsta kustlinjen (HK) omnämns främst de geologiskt sett komplicerade förhållandena kring Skandinavien's ostkust under Östersjöns olika utvecklingsskeden. Att dessa är komplicerade beror även på de växlingar som skett i klimatet och bl a påverkat isens avsmältning. Ett avbrott i denna skedde ca 9 200 - 8 000 år f Kr, varunder bl a de sk mellansvenska ändmoränerna bildades.

Förhållandena rörande HK och variationerna i strandlinjens nivåer har växlat starkt beroende på variationerna i eustatiska och isostatiska nivåförändringar. De eustatiska rörelserna under postglacial tid syns ha varit mer oregelbundna än de isostatiska. Förloppet mellan dessa skilda rörelser är i dagens läge icke klart utredda.

För Sveriges västkust inföll en transgressionsgräns under en del av den postglaciala tid, då klimatet var varmare än nutidens. Gränsen till vilken vattnet nådde vid transgressionens maximum har benämnts Tapesgränsen. Benämningen härstammar från en mussla, *Tapes decussatus*, som idag har sin hemvist i väsentligt varmare vatten än som nu finns i västkustområdet. Skalen från denna mollusk påträffas i postglaciala skalgrusbankar och indikerar härigenom transgressionens omfattning. Tapesgränsen når vid Uddevalla nivån +37, vid Göteborg +25, vid Halmstad +13 och vid Hälsingborg ca +10 i förhållande till det nuvarande Västerhavets yta. Det kan nämnas att i norra Bohuslän når HK ca 170 m över havet och vid Göteborg ca 95 m.

Ca 7 000 - 6 000 år f Kr anser man att de sista resterna av landisen smälte bort i Norrbotten och vid denna tid började den postglaciala värmetiden. Sedan Östersjöbäckenet genom landhöjningen avsnörts från Västerhavet utbildades Ancylussjön. Smältvattnet från isen orsakade en transgression i södra delen av landet. I och med att landisen i stort sett helt smälte bort förändrades förhållandena snabbt. Forskare som Sernander, Sundelin och andra anser att klimatet då var så varmt och torrt och därmed avdunstningen så stor, att vattenytorna i många havsvikar sjönk under befintliga passpunkter. Avsnörda vikar övergick då till sjöar. Klimatet som då rådde kallas borealt och kännetecknas bl a av att det var sommartorrt och således var grundvattenytan låg under sommaren. Den boreala tiden varade ca 7 000 - 5 000 år f Kr, således ca 2 000 år. Den omfattade ancylustid och ungefär de 500 första åren av litorinatid, den förra med sött och den senare med salt vatten i Östersjön.

Under borealtidens slutskede steg Litorinahavets yta - Litorinatransgressionen - som nådde sitt maximum vid den atlantiska tidens början, ca 5 000 år f Kr.

Lerområden, som tidigare legat över havsytan och under borealtidens värmskede bl a uttorkats i ytan och konsoliderats genom den allmänna grundvattensänkning som skett, kom åter att ligga under vatten.

De varierande förhållandena har medfört att strandförskjutningskurvorna är mycket olika längs Sveriges kust även om en viss likhet och kontinuitet kan spåras för närliggande platser. På fig 6 visas hur stranden förskjutits som en följd av växelspelet mellan isostatiska och eustatiska nivåförändringar för några platser. Flertalet av kurvorna (efter Granlund) är hämtade ur Sveriges Geologi av Magnusson, Lundqvist och Regnéll.

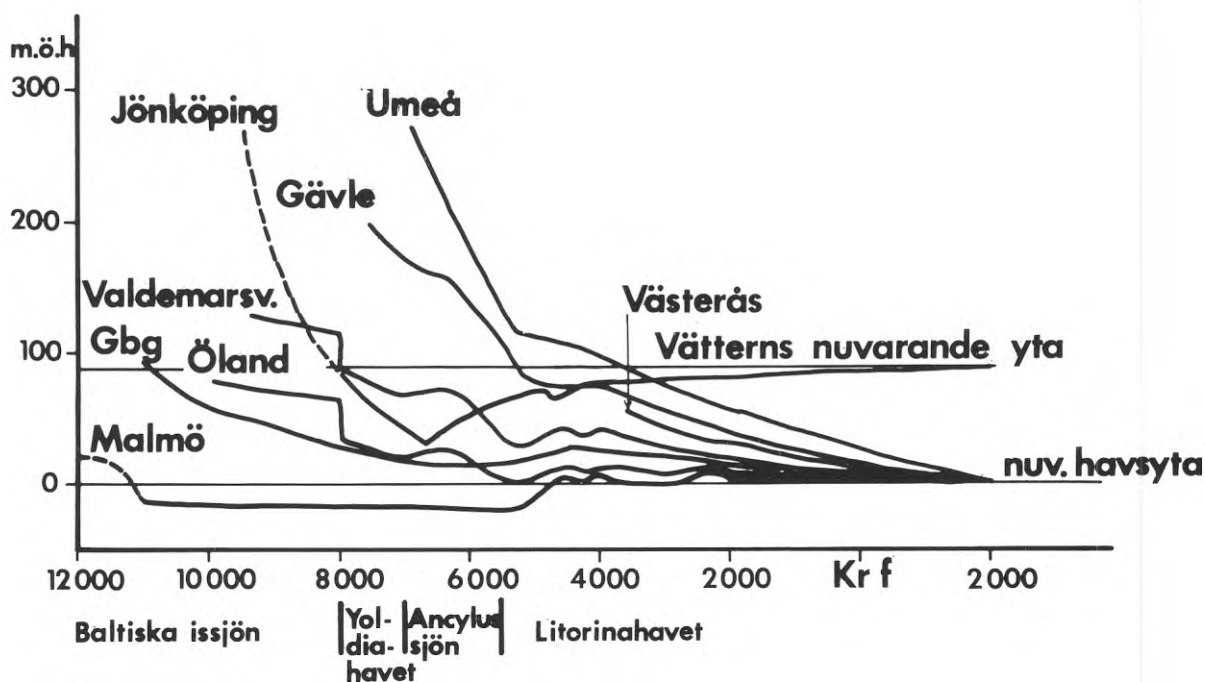


Fig 6. Strandförskjutningskurvor för några platser i Sverige.

Källor: Sveriges Geologi  
N Magnusson, G Lundqvist, G Regnéll 1963.  
Beskrivning till kartbladet Göteborg av  
R Sandegren SGU Aa 173 1931.  
Beskrivning till kartbladet Västerås av  
G Lundqvist (efter S Elvius 1930) SGU Aa  
196 1954).

### 3.4 Strandförskjutning och sedimentation

Avgörande betydelse för överkonsolideringsteorin har den strandförskjutning som skett under postglacial tid. Strandförskjutningen åskådliggörs genom strandförskjutningsdiagram, vars utseende - som framgår av fig 6 - växlar beroende på tid och rum. Sådana diagram finner man i den geologiska litteraturen.

Här må anmärkas att det kan vara en väsentlig skillnad mellan äldre och nyare strandförskjutningskurvor, även om de omfattar samma område. Den snabba tekniska utvecklingen har medfört att forskaren idag har hjälpmedel som tidigare icke stod till buds. Detta gäller främst dateringsmetodik. Den ökade forskningsintensiteten har också medfört, att många områden utsatts för en intensivare undersökning än tidigare. Detta hindrar dock icke att olika forskare även idag når relativt skilda resultat när det gäller strandförskjutningskurvans förlopp vid undersökning av samma område. För lokalisering av överkonsoliderad lera är det naturligtvis nödvändigt att strandförskjutningskurvan är så korrekt som möjligt. Detta gäller speciellt för områden, där landhöjningen varit liten. Med hjälp av strandförskjutningskurvor kan zoner kartläggas inom vilka sedimenten har påverkats av värmeperioder.

I föreliggande skrift visas ett nytt sätt att schematiskt framställa sedimentationsförutsättningarna för lera i ett terrängsnitt. Snittet omfattar området mellan HK och nuvarande strand.

För trakten mellan HK vid Överum och Östersjön vid Valdemarsvik anges på fig 7 en strandförskjutningskurva, som visar att vattendjupet vid Valdemarsvik var ca 135 m ca 9 400 år f Kr. Alltsedan denna tidpunkt avsattes olika sediment på den botten, som skapats vid isens tillbakavikande. Normalt bestod denna botten vid avsättningsens början av morän eller berg. Sedimenten består vanligen underifrån räknat av grus, sand, mo, mjåla och lera.

På fig 8 illustreras på det nya sättet avsättningen av lera under de olika perioderna i Östersjöns utvecklingsskede. Landytans nivå har fixerats till den nivå den har idag under det att vattenytans nivå visats i några karakteristiska skeden i Östersjöns utveckling i enlighet med fig 7.

Landkonturen har idealiserats till ett jämnt lutande plan, som följer de dalgångar i naturen, där jordarterna till övervägande del består av lera. Genom detta illustrationssätt är det enkelt att följa sedimentationsförloppet på grund av att det är direkt geografiskt bundet till identifierbara platser på en topografisk karta över sedimentationsområdet. Figuren visar de nivåer, till vilka olika lertyper kan ha

sträckt sig in i landet. Dessa lertyper är i lagerföljd uppifrån räknat litorinalera, ancyluslera, yoldialera samt underst baltisk issjölera. Glacialleran (baltisk issjölera och yoldialera) som avsattes då isfronten låg i vatten, är varvig om den avsattes i sött eller bräckt vatten. Den är diffust eller icke varvig om den avsattes i salt vatten. Östersjöområdet är således i princip hemvisten för den varviga och Västerhavsområdet för den icke varviga glacialleran. Med ökad salthalt i Yoldiahavet skulle teoretiskt sett varven av yoldialeran bli mera diffusa uppåt dvs mot den överlagrande postglacialleran. Denna lera som är avsatt då landisens rester icke nådde havet är homogen och innehåller ofta organiskt material. I princip har sedimentationen av ancyluslera skett i sött vatten och av litorinaleran i salt vatten.

Av diagrammet på fig 8 framgår även inom vilka höjdgränser (nivåer) det kan förekomma strandvallar, likaså var man kan söka spår efter skred som kan ha skett i leran vid den Baltiska issjöns tappning. Det framgår även exempelvis att strandlinjen låg på nivån ca +31 ca 3 000 år f Kr samt vilka lertyper, som kan ha berörts av värmeperioder.

Norr om det terrängblock som diagrammet representerar har landhöjningen skett snabbare och söder därom långsammare. Skillnaden i nivåer är inom en remsa med ca 10 km bredd tvärs kusten inte större, än att ett landhöjnings- och sedimentationsförlopp kan betraktas som likformigt.

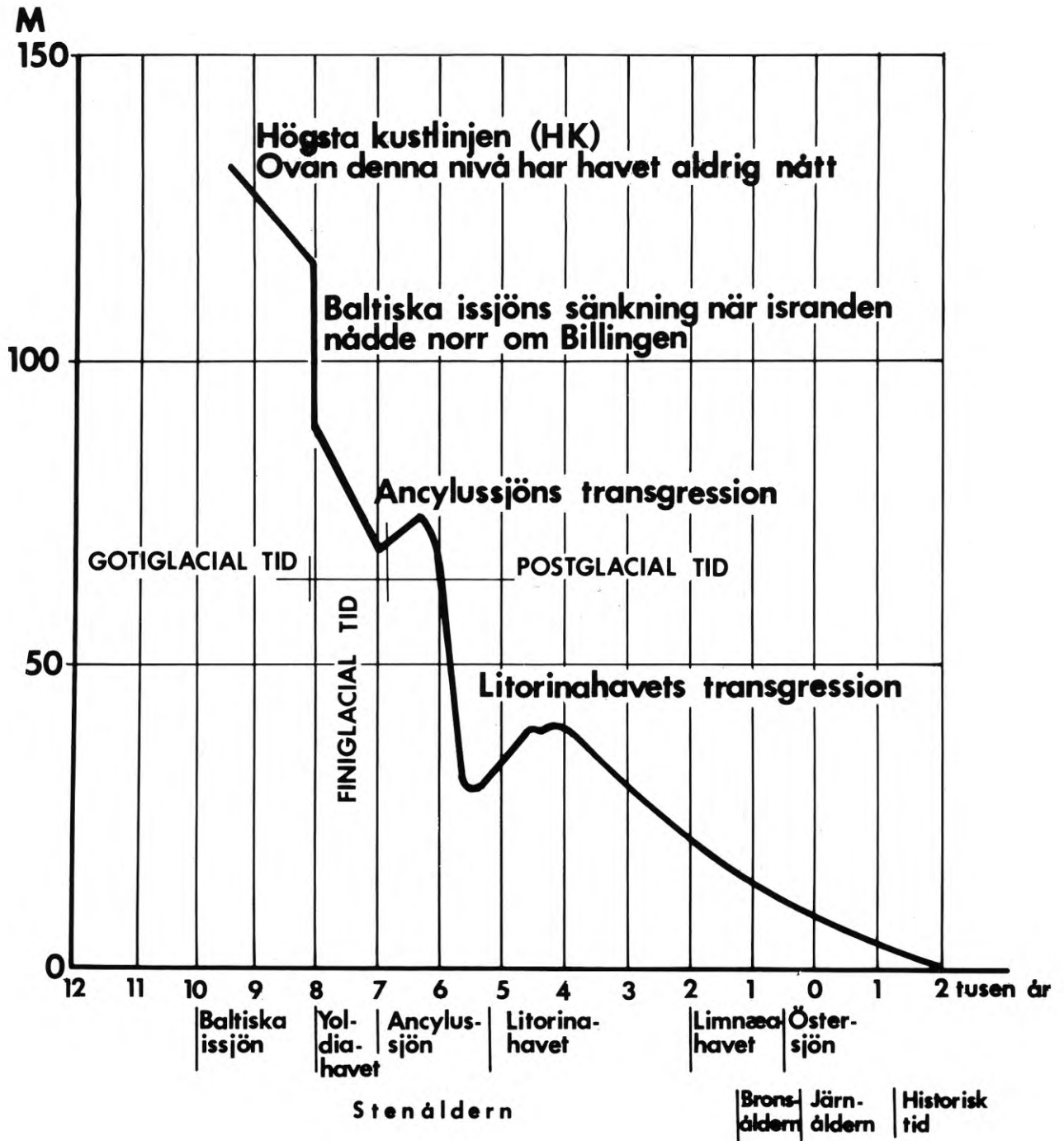


Fig 7. Strandförskjutningskurva över trakten mellan Valdemarsvik och högsta kustlinjen (HK).

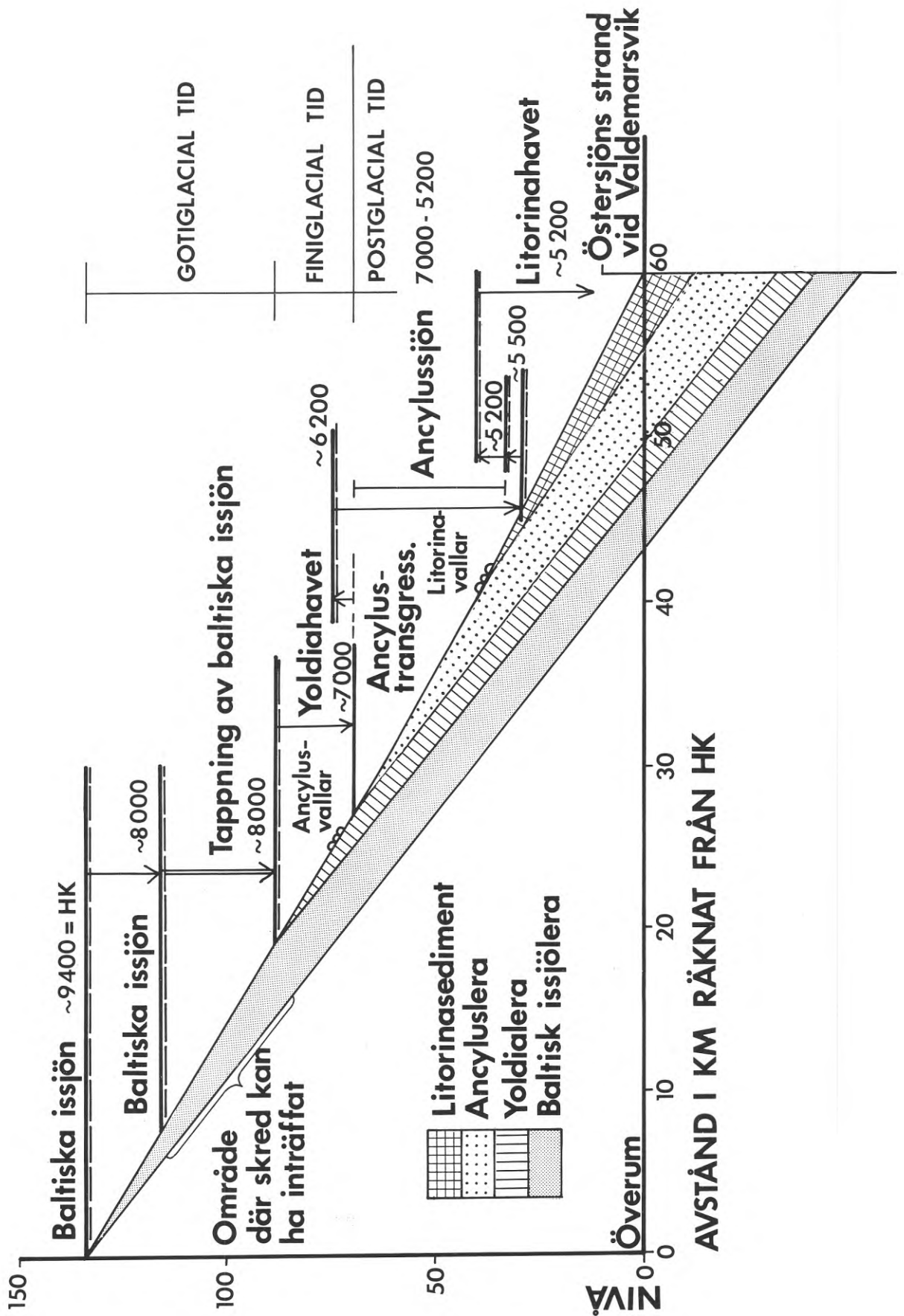


Fig 8. Schematiskt diagram över sedimentationsförutsättningar i terräng belägen utefter en linje från HK vid Överum till Östersjöns nuvarande strand utanför Valdemarsvik.



## 4 ÖVERKONSOLIDERAD LERA

Definitionsmässigt är överkonsoliderad lera en lera, vari det tidigare rått ett större effektivtryck än nu rådande. Detta innebär att sättningarna i leran blir mycket små vid tryckökningar upp till förkonsolideringstrycket.

I avsnitt 2.1 redovisas de orsaker till överkonsolidering i leran som konstaterades i den studerade delen av geologisk, hydrogeologisk och geoteknisk litteratur. Om man bortser från överkonsolidering orsakad av kemisk påverkan - ingående kunskap om detta saknas f n - och överkonsolidering som synes ha samband med lerans ålder, kan överkonsolidering uppstå på följande sätt. I detta sammanhang må anmärkas att i och med att den nu framförda teorin om värmeperiodernas betydelse för överkonsolidering i leran icke synes vara känd, kan man icke utesluta att orsaken till överkonsolidering i åldrad lera har samband med teorin, dvs överkonsolideringen har i verkligheten orsakats av att leran påverkats under värmeperioder.

1. Leran kan tidigare ha varit täckt av numera bort-eroderad jord.
2. I vissa delar av de strandnära landområdena har vattenytan i hav och i sjöar under vissa tidsperioder legat lägre än havsytan ligger idag. Detta har medfört att grundvattenytan i leran och därunder liggande lager av mo, sand och grus sjunkit till lägre nivå än den nivå grundvattenytan har idag. Detta har i sin tur medfört att leran utsatts för ett med grundvattensänkningen ökat vertikaltryck och därmed en konsolidering av leran. Där denna process skett under värmeperioder har konsolideringseffekten ytterligare ökats.

Nämnda förhållanden är kända bl a vid Västkusten och Kalmarsund, där starkt överkonsoliderad lera påträffats på avsevärt djup under markytan. Vid den sedermera inträffade eustatiska höjningen av vattenytan - varvid även grundvattenytan höjts - har konsolideringen i leran bibehållits och leran är idag starkt överkonsoliderad i förhållande till nu rådande effektivtryck.

3. Vid stark värme och vid torrt klimat ökar avdunstningen och minskar nederbörden, vilket medför att vattennivån i sjöar och vattendrag sjunker. Detta innebär i sin tur att grundvattenytan sjunker i den omgivande terrängen. Grundvattensänkningens storlek och omfattning beror av de lokala topografiska och geohydrologiska förhållandena.

I detta sammanhang bör det påpekas att t ex nuvarande torvmossar under andra klimattyper än nu rådande dels hade en väsentligt lägre marknivå och dels en annan typ av vegetation. Ett flertal exempel på sådana sjöar redovisas inom Stångåns och Svartåns vattenområden (Sundelin U 1917).

4. Vid stark värme och vid torrt klimat avgår vatten ur leran och i denna utbildas en torrskorpa, som når minst så djupt under lerans yta som vattenavdunstning kan ske. Under långvariga, varma och nederbördsfattiga perioder kan uttorkningen nå avsevärda djup. Den mer eller mindre vattenmättade leran krymper. Spänningar orsakar sprickbildning i leran och bidrar till att vattnet i leran kan avdunsta till ännu större djup. Leran innehåller i detta stadium mer eller mindre luft. Växternas rötter tvingas samtidigt djupare och ökar uttorkningen. Även om de klimatiska eller hydrologiska förhållandena senare ändras, bibehåller leran den torrskorpa den fått under de varma och nederbördsfattiga perioderna, dvs ingen nämnvärd volymökning sker då leran blir vattenmättad på nytt. Denna lera, den s k torrskorpeleran, är i stort sett inkompressibel ("maximalt överkonsoliderad").
5. Den enligt pkt 4 bildade torrskorpan har fått en ökad densitet från ca  $1,6 \text{ t/m}^3$  i den vattenmättade lösa leran till ca  $1,9 \text{ t/m}^3$ . Torrskorpeleran utövar således genom sin tyngd en belastning på underliggande lös lera, en tyngd som ökar med torrskorpans tillväxt. På grund härav medför torrskorpebildningen en konsolidering av den underliggande leran och denna konsolidering kvarstår, även om belastningen minskar, exempelvis genom att lerområdet senare översvämmas. Vid vattenavdunstning från torrskorpan (eller under bildning av denna) minskar vattenmängden i ett mer eller mindre tjockt lager under torrskorpan. Även om leran i detta lager - sekundär torrskorpa - är vattenmättad medför vattenförlusten en konsolidering. Den bestående överkonsolideringen i lagret är större än i leran under detta. Överkonsolideringsgraden minskar med djupet under den uttorkade torrskorpan.

Orsaken till överkonsolideringen har ovan sammanfattats i fem punkter. Som regel beror överkonsolideringen endast i undantagsfall av enbart en av dessa punkter. Exempelvis är enbart en grundvattensänkning av större mått knappast tänkbar utan att sprickbildningar uppstår i lerans yta, varigenom uttorkning av ytan underlättas.

Den långt övervägande delen av den överkonsoliderade leran bör enligt den framförda överkonsolideringsteorin finnas inom den remsa av Skandinavien vars högst belägna gräns sammanfaller med HK och vars lägsta bildas av den kustlinje, som havet nådde ca 3 000 år f Kr. Denna remsa har på fig 9 betecknats svart. Den svagt överkonsoliderade leran bör återfinnas på en remsa, vars högst belägna gräns bildas av kustlinjen vid ca 3 000 år f Kr och vars lägsta gräns utgör kustlinjen vid ca 600 år f Kr. Överkonsolideringsgraden minskar från de högst belägna gränserna mot havet.

Enligt teorin borde det icke finnas förutsättningar för bildning av överkonsoliderad lera på grund av värmeperioder etc (punkt 3 till 5 ovan) mellan kustlinjen vid ca 600 år f Kr och nuvarande stränder såvida inte en transgression skett tidigare än 600 år f Kr. Således finns överkonsoliderad lera i verkligheten även mellan kustlinjen vid ca 600 år och nuvarande stränder - i första hand i landets södra del och vid Västkusten. Detta beror på att landet före transgressionen i Östersjöområdet (Ancyclus- och Litorinatransgressionen) och Västerhavet upp till tapesgränsen var frilagt t o m utanför nuvarande strandlinje. (Överkonsolidering enligt punkt 2). Lera med torrskorpefasthet under havets nivå har konstaterats bl a vid Halmstad (Caldenius C och Linnman G 1949). I Kalmarsund har författaren i samband med en geoteknisk undersökning påträffat lera med torrskorpefasthet på flera meters djup under havsbotten.

Konsolideringsgrad	Överkonsolideringens omfattning	Orsaker till överkonsolidering
Mycket starkt överkonsoliderad lera	Torrskorpelera	Överkonsolideringen huvudsakligen orsakad av uttorkning. Leran är uppsprucken och luften har trängt in i leran. I översta delen påverkas leran av klimatiska faktorer (exv tjäle).
Starkt överkonsoliderad lera	Sekundär torrskorpa	Vattenavdunstning från ytan - varvid torrskorpan bildats - har minskat vattenhalten under torrskorpan och bildat sekundär torrskorpa. Vid den sekundära torrskorpans undre gränser råder balans mellan den vattenmängd som bortförs uppåt och den som tillförs underifrån. Skjuvhållfastheten har sitt lägsta värde vid denna gräns.
Överkonsoliderad lera	Lera med konstant överkonsolidering under torrskorpan och ev sekundär torrskorpa	Grundvattenytan har varit nedsänkt under torrskorpe- lerans undersida. Överkonsolideringstrycket är lika stort som trycket från den vattenpelare, vars höjd är lika med det vertikala avståndet mellan grundvattenytans nivå före grundvattensänkningen och den nuvarande grundvattennivån.
Delvis överkonsoliderad lera	Lera med sjunkande överkonsolidering under torrskorpan och ev sekundär torrskorpa	Grundvattenytan har varit nedsänkt under torrskorpe- lerans undersida under så kort tid, att leran icke hunnit konsolideras för den belastning som grundvattensänkningen medför på lerans yta. De lokala topografiska och geohydrologiska förhållandena har inverkat. I regel sjunker överkonsolideringsgraden under torrskorpan resp sekundära torrskorpan. Den skulle öka igen vid lerans undersida om leran underlagras av mera genomsläppligt material. Svårigheter att ta upp ostörda prover från denna del av leran har medfört att uppgifterna om detta är få.

Tabell 1. Förslag till definitioner. Pågående forskning enligt denna programutredning och om torrskorpebildning kan framöver ge ytterligare underlag för definitioner (Johansson B, Lakka L, Palm R, Svensson B 1978).



Fig 9. På det svarta området, som ligger mellan den högsta kustlinjen (HK) och den vita remsan innanför nuvarande Östersjön och Västerhavet, finns den överkonsoliderade lera, som bildats under den postglaciala värmetiden fram till ca 3 000 år f Kr.



## 5 LABORATORIEBESTÄMNING AV LERANS KONSOLIDERINGSGRAD

Som regel bestäms en leras kompressionsegenskaper genom ödometerförsök. Lerprovets höjd vid undersökningen är vanligen 20 mm. I princip tillgår försöket så att lerprovet belastas, varvid provet sammanpressas utan möjlighet till sidoutvidgning. Genom att belastningen påförs stegvis under samtidig mätning av den sammanpressning, som varje belastningssteg medför, får man underlag för uppritning av en kompressionskurva. Vanligen finner man att kurvan - ritad i halvlogaritmisk skala - vid försökets begynnelse skede bildar en svagt lutande linje men att denna vid ett visst belastningssteg får en stark lutning som i fortsättningen bibehålles vid ökad belastning. Kurvan får således en "knyck", vars läge i diagrammet är bestämmande för lerans förkonsolideringstryck, dvs det tryck för vilket leran tidigare varit utsatt. För bestämning av detta tryck används metoder vilka icke redovisas i föreliggande skrift.

Vid den metod - den s k standardmetoden - man hittills använt vid ödometerförsök har man vid belastningsändringarna stegvis fördubblat laststegen (exempelvis enligt modellen 20, 40, 80, 160 etc kPa) per dygn.

Vid uppritning och tolkning av kompressionskurvan visar det sig emellertid vara svårt att exakt bestämma förkonsolideringstrycket, bl a på grund av att kurvdragningen inom "knyckzonen" blir mer eller mindre subjektiv. För bedömning av överkonsolideringens storlek är en korrekt bestämning av förkonsolideringstrycket en nödvändighet. Man har därför enligt en modell börjat förtäta laststegen. Datateknikens och den tekniska utvecklingen i övrigt har medfört att man kan utföra ödometerförsöken enligt den s k CRS-metoden (Constant Rate of Strain). Enligt denna metod mäter och datorritar man samtidigt sambandet mellan last och sammantryckning. Vid försöken utvärderas även lerans kompressionsmodul, konsolideringskoefficient och permeabilitet.

Med hjälp av konsolideringskoefficienten beräknas sättningarnas tidsförlopp. Vid kontroll av sättning rörelser kan ofta konstateras mindre god överensstämmelse mellan beräknat och verkligt förlopp. Bättre överensstämmelse har man uppnått efter bestämning av konsolideringskoefficienten in situ (Hartlén J, Sällfors G, Törneback G 1975).





## 6 KARTMATERIAL FÖR LOKALISERING AV OMRÅDEN MED ÖVERKONSOLIDERAD LERA

I det föregående har framhållits att de nivåer, mellan eller över vilka överkonsoliderad lera kan förekomma, varierar med det geografiska läget. Under förutsättning att uppgifter om landhöjning och strandförskjutning kan erhållas ur geologisk litteratur kan man konstruera gränser för områden med överkonsoliderad lera. Härför erfordras

- geologiska kartor som visar var lera förekommer
- topografiska kartor med nivålinjer med lämplig ekvidistans
- strandförskjutningsdiagram.

Om de geologiska kartorna innehåller nivålinjer erfordras icke kartor med nivålinjer.

### 6.1 Geologiska kartor

I Sveriges Geologiska Undersöknings (SGU) arbetsuppgifter ingår bl a att kartlägga de geologiska förhållandena i landet. Uppgifter angående lerans utbredning kan därför erhållas från SGU:s publikationer. Likartade uppgifter kan även fås från SGI, universitet, högskolor samt från vissa statliga och kommunala institutioner. Av nämnda grupper utanför SGU skall speciellt nämnas SJ och Statens Vägverk samt kommunernas sammanställningar över de s k byggnadsgeologiska förhållandena. De senare har vanligen utförts av ingenjörsfirmor med geologisk och geoteknisk expertis.

Av SGU:s publikationer må främst nämnas kombinerade jord- och bergartskartor i skala 1:50 000 med beskrivningar, serie Aa. Denna serie påbörjades 1862 med kartblad Aa 1 Westerås och avslutades 1974 med kartblad Aa 201 Levene. Likartade kartor i skala 1:200 000 (serie Ab) påbörjades 1877 med kartblad Ab 1 Huseby och avslutades 1893 med kartbladet Ab 15 Lenhofda samt kartor i skala 1:100 000 (serie Ac) påbörjades 1902 med Ac 1 Strömstad med Koster och avslutades 1905 med kartblad Ac 9 Hamra (utan beskrivning). Områden för vilka geologin redovisas i utgåvor enligt ovan framgår av figur 10 (kopia av SGU:s bladindelningsskarta). Som framgår av figuren finns större delen av detta kartmaterial icke längre tillgängligt i handeln.

Beskrivningarna till kartbladen har under årens lopp skiftat karaktär bl a beroende på den med tiden alltmer ökande kunskapen om de geologiska skeendena och sammanhangen, men även på grund av nya målinriktningar.

I serie Ad (agrogeologiska kartblad) i skala 1:20 000 har utgivits Ad 1 Hardeberga 1947 fram till Ad 10 Bjärred 1966. Vidare har i serie D utgivits torvmarkskartor i skala 1:100 000 för en landremsa väster om Vättern, från Göteborg i söder till Fjällbacka / Strömstad i norr och i serie Bb specialkartor. I serie Ae, som påbörjades 1964, har utgivits jordartsgeologiska kartblad i skala 1:50 000 med beskrivningar. Omfattningen av denna serie framgår av fig 11. Som underlag för serie Ae har använts nya topografiska kartor. Det bör anmärkas att de senast utgivna kartbladen försetts med nivålinjer. På kartbladen finns även uppgifter av geoteknisk karaktär exempelvis om kohesionsjordens och torvens tjocklek. Textdelen till de senast utgivna kartorna har systematiserats så att den innehåller en allmän del, gällande samtliga kartblad.

Slutligen kan nämnas översiktliga jordartskartor och berggrundskartor, serie Ba samt avhandlingar och uppsatser, serie Ca. Publikationer, som visar kartor med uppgifter om lerans utbredning (länsvis och i vissa fall begränsade delar av länet) framgår av fig 12. Figuren - kopia av SGU:s bladindelningsskarta över länen i Norrland - har kompletterats med uppgifter om skalor.

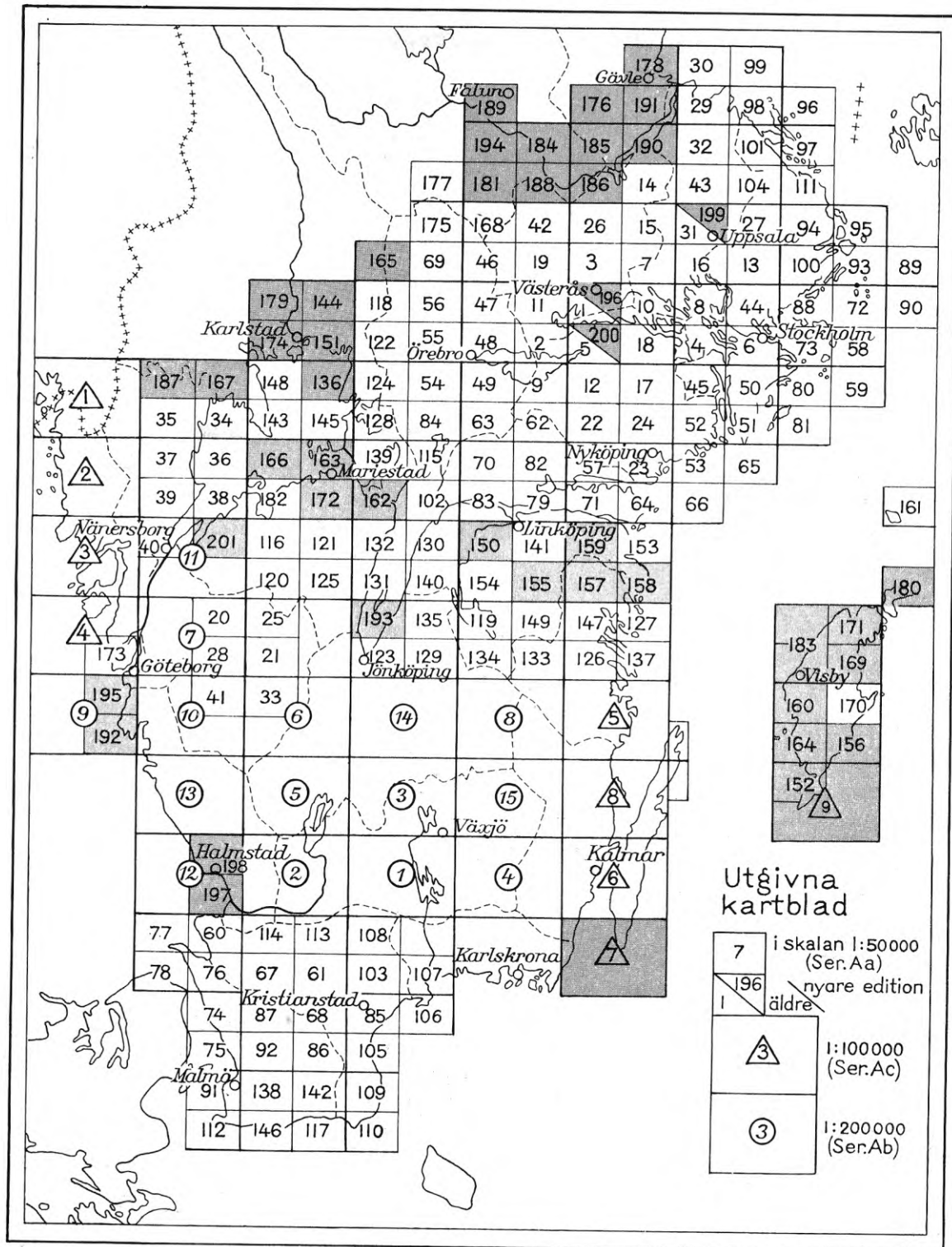
Övervägande del av ovan nämnda geologiska kartblad saknar nivålinjer, vilket medför svårigheter för direkt kartläggning av områden med överkonsoliderad lera. Vissa hållpunkter finns dock i form av nivåangivelser för exempelvis sjöar, berg, randdeltan, ändmoräner, randmoräner etc.

En god översiktlig bild av tidsskedena för landisens avsmältning ges i "Beskrivning till karta över landisens avsmältning och högsta kustlinjer i Sverige" jämte 3 kartblad i skala 1:1 000 000 (G Lundqvist 1961).

En svårighet att med utgångspunkt från enbart de geologiska kartbladen lokalisera lera beror på att de geologiska kartbladen normalt redovisar jordarterna till endast 0,5 m djup under markytan. Detta medför exv att ett lager mo med tjocklek större än 0,5 m på kartan redovisas som mo även om lera förekommer därunder.

## SERIENA Aa, Ab &amp; Ac

## ÄLDRE KOMBINERADE JORDARTSGEOLOGISKA OCH BERGGRUNDSGEOLOGISKA KARTBLAD, SÖDRA OCH MELLERSTA SVERIGE



Kartblad som fortfarande finns till försäljning är markerade med rasterton.

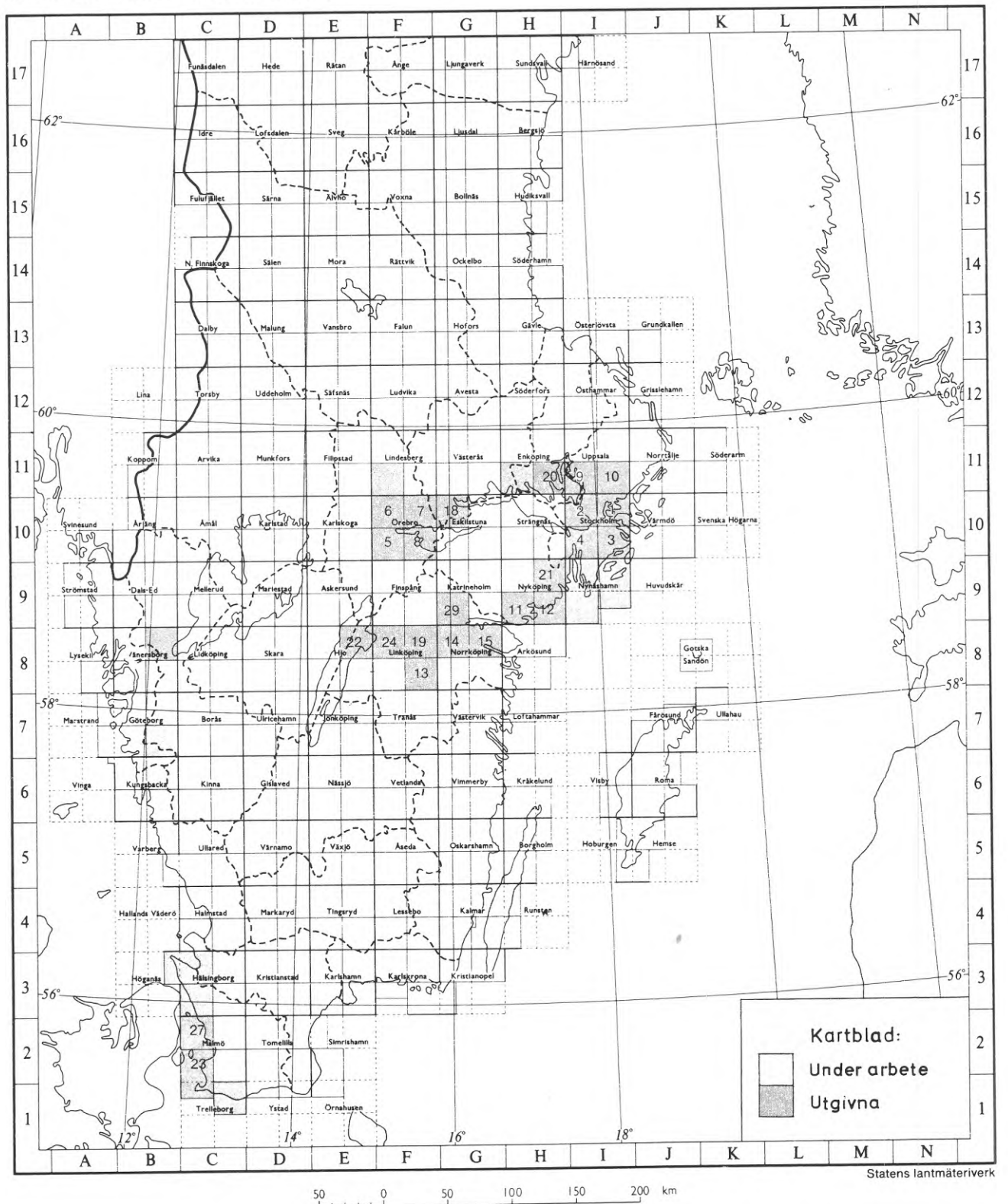
Underlaget till kartbladen utgörs av generalstabskartan.

Serien Aa utkom 1862–1965, serien Ab 1877–1893 och serien Ac 1902–1905.

Över Blekinge län finns en kombinerad jordartsgeologisk och berggrundsgeologisk karta i skala 1:100 000, utgiven 1900 som nr 1 i serie Ca (utgången).

**Fig 10**

SERIE Ae  
 JORDARTSGEOLOGISKA KARTBLAD I SKALA 1:50 000,  
 SÖDRA OCH MELLERSTA SVERIGE



Underlaget till kartbladen utgörs av Topografisk karta över Sverige.  
 Det första kartbladet utgavs 1964.

**Fig 11**

## SERIERN Ba &amp; Ca

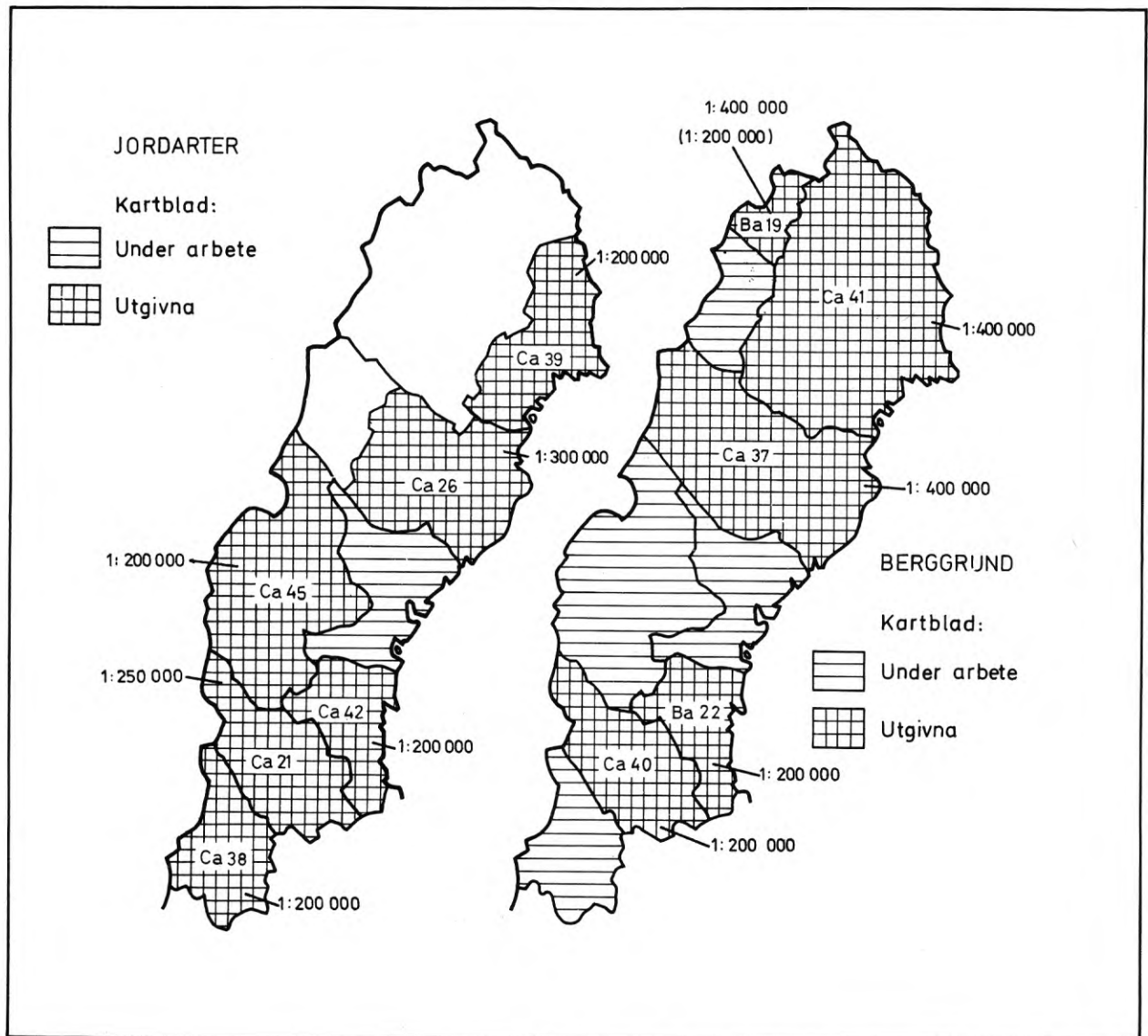
ÖVERSIKTLIGA JORDARTSGEOLOGISKA OCH BERGGRUNDSGEOLOGISKA  
KARTOR ÖVER LÄNEN I NORRLAND, SKALA 1:200 000—1:400 000.

Fig 12

## 2 Topografiska kartor

Lantmäteriverket har i sin information (nr 5 april 1977) redovisat att det över Sverige finns bl a 567 kartblad i skala 1:50 000 och 30 blad i skala 1:100 000. Samtliga blad innehåller nivålinjer, vilka således kan överföras till de geologiska kartorna.

Redan för en översiktlig redovisning av det geografiska läget för överkonsoliderad lera fordras en relativt storskalig karta. Mindre skala än 1:500 000 kan dock knappast komma ifråga. Vid denna skala (1 cm motsvarar 5 km) fordras att lerområdena är relativt stora för att de skall kunna speciellt utmärkas. Dock kan man på blad i denna skala införa och särskilja de nivålinjer för de forna stränderna 3 000 och 600 år f Kr, mellan vilka leran bör vara svagt överkonsoliderad.

Andra lämpliga kartor är de som finns över Sveriges kommuner och tätorter samt de ekonomiska kartbladen. Dessa kartbladstyper har skalor växlande mellan 1:400 och 1:20 000. Det skall dock anmärkas att endast ett fåtal av de ekonomiska kartbladen är försedda med nivålinjer.

### 6.3 Strandförskjutningsdiagram

Av texten i 3.3 och 3.4 framgår att man behöver strandförskjutningskurvor för att bestämma zoner där klimatet under värmeperioder kan ha orsakat överkonsolidering. Det anges även att uppgifter om strandförskjutningen kan erhållas bl a ur beskrivningar till SGU:s jordartskartor.

Den tekniska utvecklingen, som exempelvis möjliggör noggrannare tidsbestämning av sk isoleringsnivåer, har medfört att man vid SGU:s nykartering av områden för kartbladen i serie Ae har funnit, att strandförskjutningen har annat förlopp än som tidigare antagits (Möller H 1964). I vissa beskrivningar till SGU:s kartblad saknas helt uppgifter om strandförskjutning inom kartområdet. Sådana uppgifter kan i flera fall fås från avhandlingar, exempelvis från universitet, högskolor, institutioner. Men även i publikationer som Geologiska föreningens förhandlingar Stockholm (GFF), Svenska Turistföreningens årsböcker och Sydsvenska Geografiska Sällskapetets årsböcker (Svensk Geografisk årsbok) kan man finna ytterst värdefulla uppgifter om bl a strandförskjutningen. En del uppgifter kan även fås från hembygdsföreningars årsböcker.

Det ligger i sakens natur att exaktheten hos den lokala strandförskjutningskurvan måste vara speciellt stor inom de delar av landet, där landets höjning över havets (eller de stora insjöarnas) nivå har skett långsamt.

Som framgår av figur 13 i nästa avsnitt skulle kustlinjen i stockholmstrakten 600 år f Kr ligga på nuvarande nivå ca +12 enligt äldre uppgifter och på ca +8 enligt nyare C14-dateringar. I svagt sluttande områden kan dessa nivålinjer ligga på avsevärt avstånd från varandra. Ännu större noggrannhet i uppgifter erfordras för Sydsverige och områden vid Väneren och vid Vättern. T ex har landhöjningen vid Vänersborg orsakat uppdämning av Väneren och därigenom relativt sett minskat landhöjningen i storlek och hastighet.

Av fig 11 framgår vilka delar av landet som SGU f n karterar. Här föreligger möjlighet att genom direktkontakt med SGU:s geologer erhålla de mest aktuella uppgifterna, ännu ej publicerade, om strandförskjutningen inom sådana områden.





## 7 EXEMPEL PÅ OMRÅDE MED ÖVERKONSOLIDERAD LERA

### 7.1 Överkonsoliderad lera i Haninge kommun

I samband med en byggnadsgeologisk undersökning av ett område i Norra Jordbro i Haninge kommun undersöktes bl a kompressibiliteten hos leran. Undersökningen visade att leran är överkonsoliderad. Detta ingav förhoppningar om att man skulle kunna grundlägga planerade småhus i jorden utan åtgärder i form av pålning eller kompenserad grundläggning. För att verifiera att leran i verkligheten är överkonsoliderad utfördes ett belastningsförsök, försök 1, genom att en sandhög som ökade belastningen strax under det konstaterade förkonsolideringstrycket utlades på en plats inom området. Trots den påförda belastningen uppstod praktiskt taget inga sättningar i leran under högen. Detta kan endast förklaras av att leran är överkonsoliderad. Senare ökades belastningen så att förkonsolideringstrycket överskreds med sättningar som följde.

Orsaken till överkonsolideringen syntes till en början svår att finna. Området kan inte tidigare ha varit täckt av större mo- och sandmassor, som sedermera borteroderats.

Vid jämförelse mellan tidsförloppet för strandförskjutningen inom området (Möller 1964) och de skilda klimat som därvid rått visade det sig, att klimatet varit väsentligt varmare inom området under tidigare geologiska skeden än under senare tid. Det förefaller då naturligt att jordarterna och naturen på området påverkats av detta klimat. Den jordart som starkast påverkats är leran.

Av nedanstående strandförskjutningskurva, fig 13, framgår hur området påverkats av olika klimat och nederbörd allteftersom terrängen höjts över havets yta.

Området i norra Jordbro har en gång i tiden - liksom många andra områden i kustbandet - utgjort en havsvik som genom landhöjningen avsnörts från havet. Enligt den nämnda strandförskjutningskurvan, fig 13, baserad på C14-daterade isoleringsnivåer, avsnördes förbindelsen mellan området på nivån ca +37 och havet ca 3 200 år f Kr. Nederbörden var då mindre och temperaturen högre än idag. Högre temperaturer än idag varade ca 1 000 år, dock med växlande nederbördsmängder. Denna jämförelse synes visa att den konstaterade överkonsolideringen kan ha orsakats av landhöjningen i samband med värme och grundvattensänkning.

Sedermera utfördes genom konsultfirman Kjessler & Mannerstråle (KM) försorg två nya belastningsförsök, försök 2 och 3, på platser belägna norr om försöksplats 1.

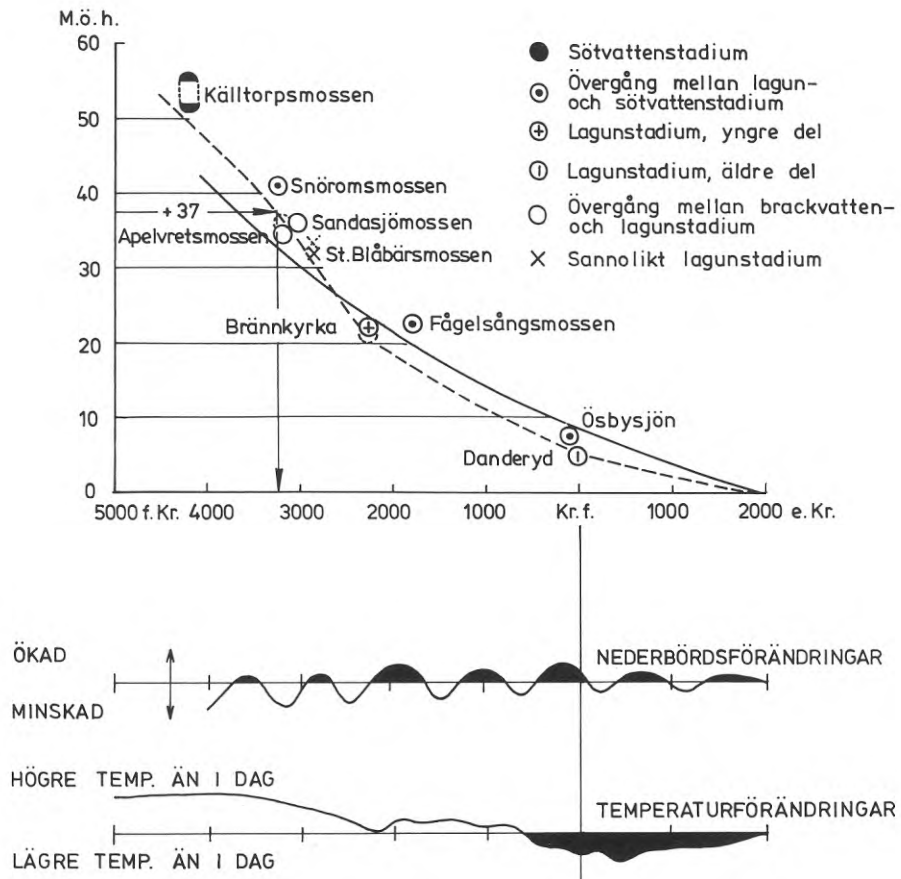


Fig 13. Strandförskjutningsdiagram för stockholmstrakten (Möller 1964) och klimatförhållandena (Sveriges Geologi). Anm: Heldragen linje enligt Granlund (1928) streckad linje dragen genom C14-daterade isoleringsnivåer enligt Möller (1964).

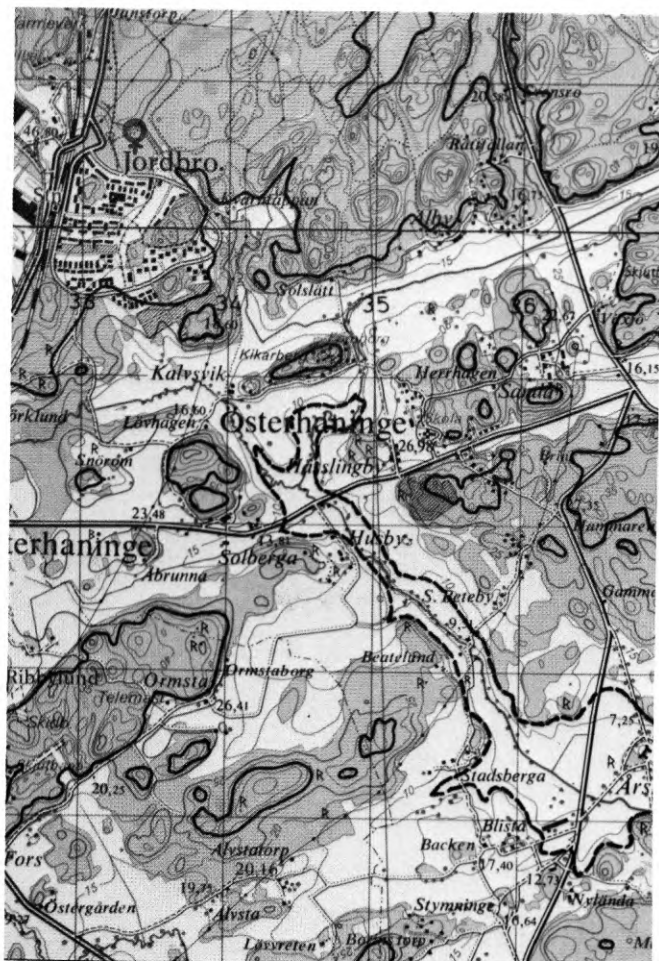


Fig 14a. Del av topografiskt kartblad  
10 I, Stockholm SO Skala 1:50 000

Ungefärliga lägen hos kustlinjen  
(stranden)

- ~ 3 000 år f Kr
- ~ 600 år f Kr
- ♀ belastningsprov 1



Fig 14b. Del av geologiskt kartblad,  
Stockholm SO SGU Ae nr 3, 1968  
Skala 1:50 000

Beteckning, fig 14b (se arm 8.2.5)

- 31 Mosse (gråbrun)
- 32 Kärr (gråbrun med blå punkter)
- 33 Postglacial finlera (gul)
- 34 Postglacial grovlera (gul med blå punkter i grupper på 3 ...)
- 35 Finmo (gul med blå punkter)
- 36 Glacial lera samt varvig mo och mjäla med lerskikt (gul med röda streck)
- 37 Grovmo (mörkgul)

Kustlinjen 3 000 respektive 600 år f Kr motsvarar ungefär nuvarande nivåer +32 och +8. Av kartorna framgår hur landhöjningen under motsvarande tid och fram till nutid förvandlat den forna skärgårdsnaturen till land. Omkring 600 år f Kr nådde den nuvarande Blistrafjärden som en smal havsvik upp mot Österhaninge. Överkonsoliderad lera bör förekomma vid Jordbro. På jordartskartan har delar av området markerats som mo. Geotekniska undersökningar visar att mon underlagras av lera. Belastningsförsök har visat att leran är överkonsoliderad för en last av ca 20 kPa.

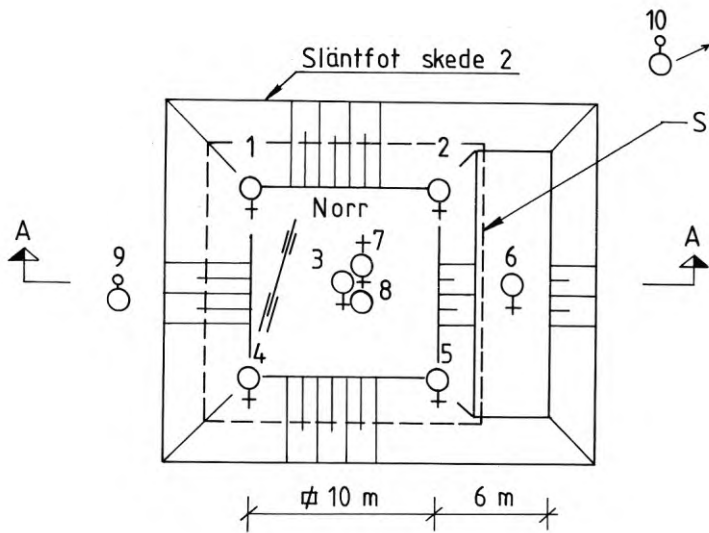
### 7.1.1 Belastningsförsök 1

Platsen för belastningsförsök 1 framgår av fig 14a och b.

Jorden består överst av ett tunt vegetationsskikt, mestadels skogstorf och därunder av ett 1,6 m tjockt fast lager av huvudsakligen grovmo (silt). Därunder följer ca 6 m lera. Lerhalten minskar mot djupet, där leran övergår i mjåla och mo. Grövre friktionärt material finns inlagrat i leran i den understa delen. Vattenytans nivå växlar med årstiden men låg under mätperioden helt inom det ytliga molagret.

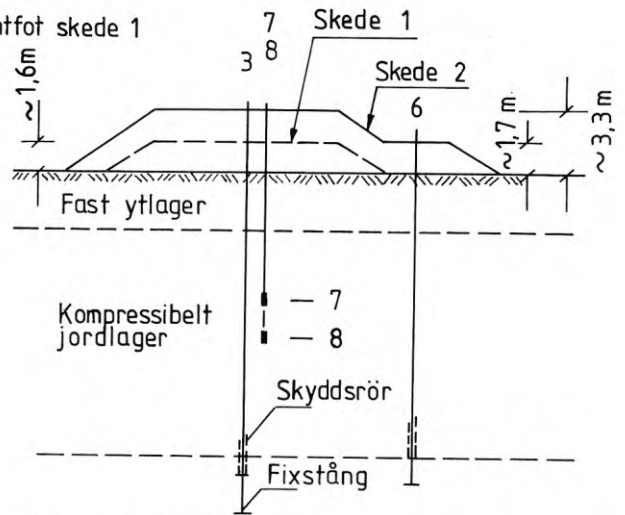
På försöksplatsen borttogs stubbar och vegetations-skikt. På det planade området utlades en sandhög i form av en stympad kvadratisk pyramid med 1,6 m höjd och 10 m krönsidor. Innan fyllningen utlades, monterades på området fem sättningspeglar (1-5) med lägen enligt plan och sektion, fig 15a och b. På och kring försöksplatsen hade tidigare utförts viktsondering och spadborrning. I en punkt ca 60 m sydsydost om platsen hade dessutom utförts kolvborrprovtagning (upptagning av ostörda jordprover). Genom laboratorieundersökning hade lerans densitet, skjuvhållfasthet, sensitivitet, vattenhalt, konflytgräns och kompressionsegenskaper bestämts. Bestämning av kornstorleksfördelning hade utförts för jordprover tagna nordost om provbelastningsplatsen. Resultaten visas på fig 16 a-e.

Vid ökning av belastning efter skede 1 nedsattes två öppna rör (9 och 10) för observation av vattenytans nivå i jorden, två porvattentryckmätare (7 o 8) samt monterades ytterligare en sättningspegel (6). Sättningarna mättes med indikatorklockor och skjutmått.



BELASTNINGSHÖG AV SAND  
PLAN 1: 400

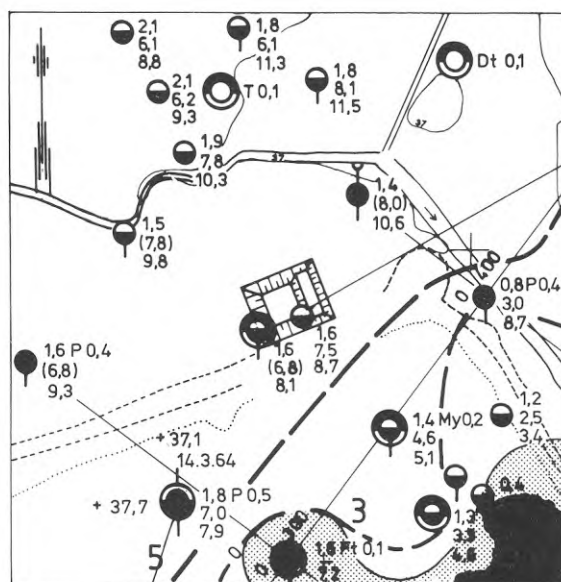
Fig. 15a



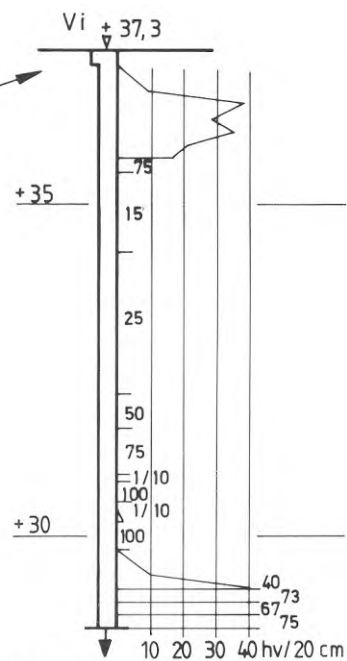
SEKTION A - A  
1: 400

Fig. 15b

Fig 15a och b. Belastningshög 1 i plan och sektion samt mätpunkter för skede 1 och 2.



PLAN  
DETALJ  
1:2000  
Fig. 16a



RESULTAT AV VIKTSONDERING  
Fig. 16b

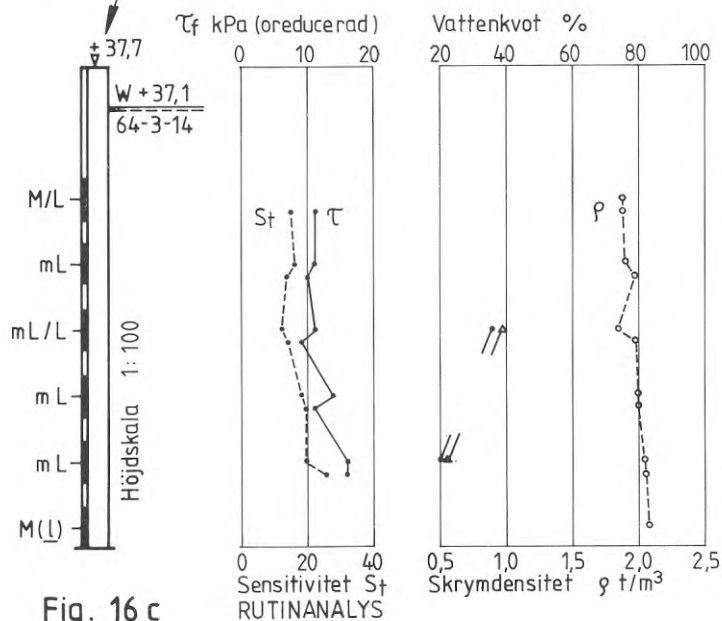


Fig. 16c

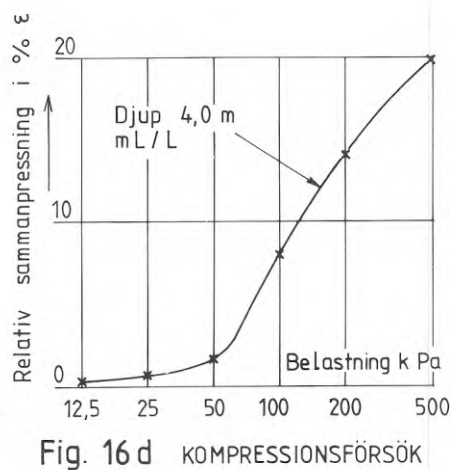


Fig. 16d KOMPRESSIONSFÖRSÖK

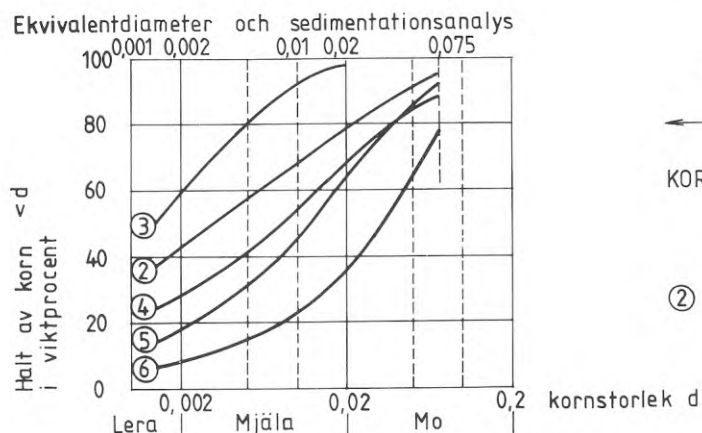


Fig. 16e

KORNSTORLEKSFÖRDELNING

② Markerar provtagningsdjup i meter under markytan

Observationerna under skede 1 omfattade ca 490 dygn med början i slutet av februari 1973. Under och omedelbart efter fyllningens utläggning skedde sättningar, som var väsentligt större än efterföljande långtidssättningar. De i stort sett "momentana" sättningarna visar rörelser i fyllningsmassorna och rörelser som kan bero på den relativt ojämna rövda ytan vid anpassningen till den nya belastningen under utläggningsskedet samt elastiska sättningar. Långtidssättningarna under denna tid framgår av kurva 3 på fig 17a, och blev som väntat mycket små - endast några få mm.

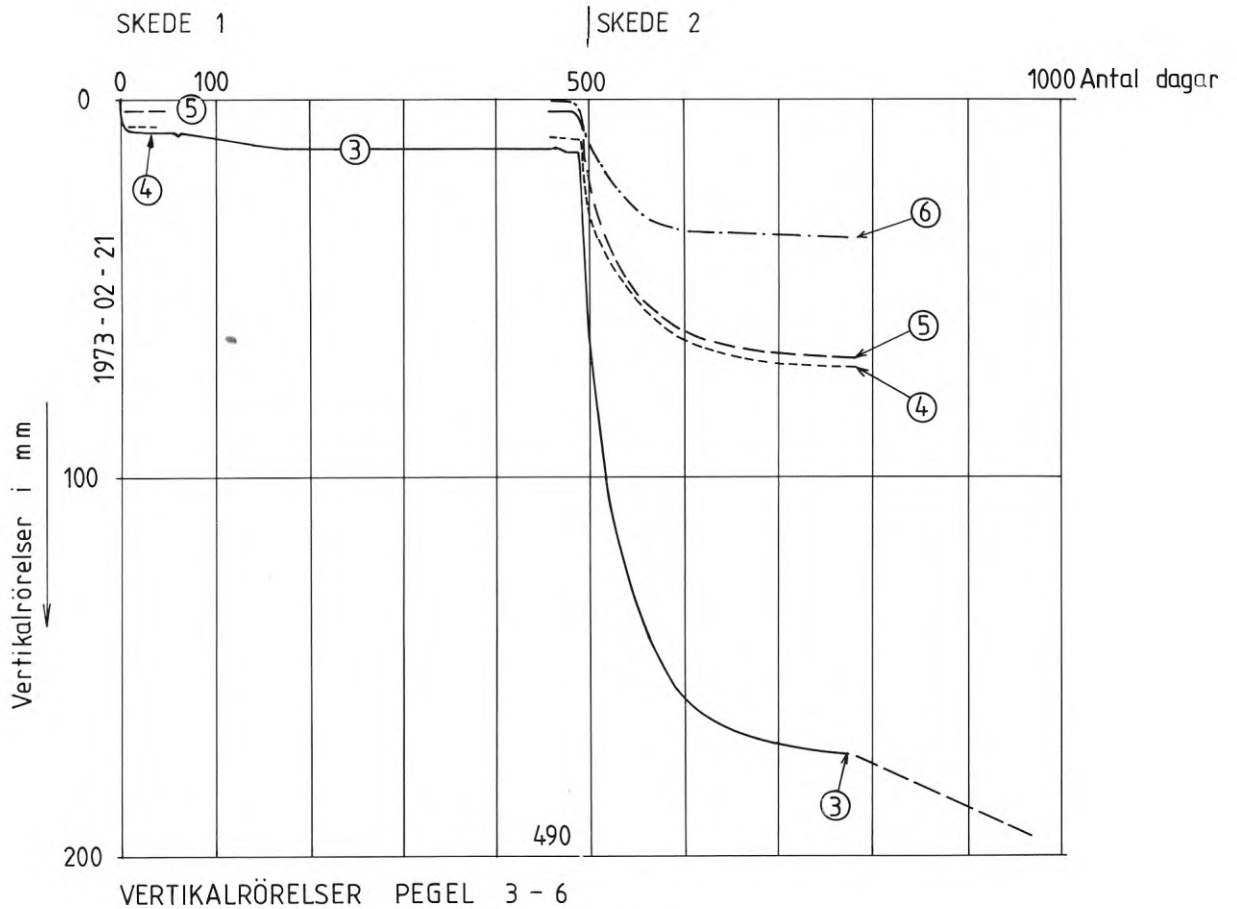


Fig. 17 a

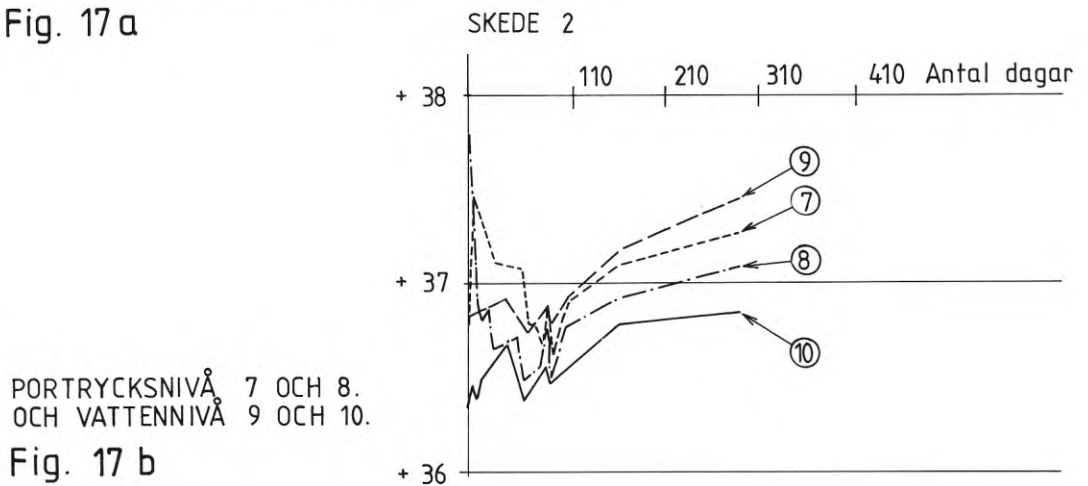


Fig. 17 b

Under skede 2 ökades den ursprungliga höjden till totalt 3,3 m. Åt ena sidan gjordes en breddning med 6 m med en höjd av 1,7 m. Mätningarna påbörjades i början av juni 1974 och varade ca 300 dygn.

Vid belastningsökningen överskreds - som framgår av fig 18 b och c - lerans förkonsolideringstryck väsentligt. Därvid uppkom en snabb ökning av sättningarna som framgår av fig 17 a.

Det är av intresse att konstatera att porvattenstrycket vid belastningsökningens begynnelse skede ej låg så högt över trycknivån i jorden under leran som väntat med hänsyn till effektivtryckets ökning. Tryckutjämnningen skedde snabbt, som framgår av diagram fig 17 b.

### 7.1.2 Belastningsförsök 2

Undersökningen, som utförts av Kjessler & Mannerstråle (KM) påbörjades i september 1977. Provplatsen ligger ca 320 m NNO om provplats 1. Den utlagda jordhögen, som består av sand, har krönmåtten 12 x 12 m och höjden 2 m. Den naturliga jorden består av 0,1 m torv på ett 1,4 m tjockt fast ytlager av mo. Det underliggande lerlagrets tjocklek har bedömts till 4,5 m. Vattenytan låg vid försökets början ca 0,6 m under markytan.

De verkliga sättningarna uppgick efter ca 223 dygn till 69 mm i högens mitt och mellan 36 och 58 mm i övriga mätpunkter. Kontakttrycket mot jorden under högens mitt uppgår till ca 36 kPa. Som framgår av fig 18 e är lastökningen under samtliga mätpunkter, beräknade bl a med hänsyn till ytlagrets tjocklek och sandhögens form, överallt större än 20 kPa. Detta innebär att effektivtrycket i leran efter högens utläggning överallt överstiger lerans förkonsolideringstryck.

### 7.1.3 Belastningsförsök 3

Undersökningen, som utförts av KM påbörjades i mars 1977. Provplatsen ligger ca 600 m NNO om provplats 1. Den utlagda jordhögen har krönmåtten ca 15 x 15 m och höjden 1,5 m. Den naturliga jorden består av ca 0,1 m torv på ett ca 1,5 m tjockt lager mo. Därunder följer ca 4,5 m lera. Vattenytan låg vid undersökningstillfället ca 0,3 m under markytan.

De totala sättningarna, reducerade med avseende på utjämnings-sättningarna mot den framschaktade markytan, uppgick efter 248 dygn till ca 25 mm i belastningshögens mitt och ca 23-29 mm i övriga punkter. Som framgår av fig 18 f medförde en lastökning, som var större än 20 kPa, att effektivtrycket i leran



blev något större än lerans förkonsolideringstryck. Kontakttrycket mot jorden i högens mitt uppgår till 28 kPa.

#### 7.1.4 Utvärdering av resultaten från provbelastningarna

Resultaten av belastningsförsöken har utvärderats på följande sätt. För varje mätpunkt har influensvärdet för vertikaltrycket från respektive belastningshög beräknats. Förfarandet har sedan förenklats genom att vertikaltrycket enligt influensvärdena omräknats till ett genomsnittligt tryck för hela det kompressibla lagret, (punktstreckade linjer -.-.-). Se fig 18a, e, f. Den så beräknade tryckökningen i jorden - benämnd jämförelselast - och de observerade sättningarna redovisas i diagramform i fig 19. Med hänsyn bland annat till att lerans kompression minskar mot djupet och kan variera från plats till plats är en sådan jämförelse ej fullt korrekt, men metoden synes dock vara tillfyllest för att visa lerans överkonsolidering.

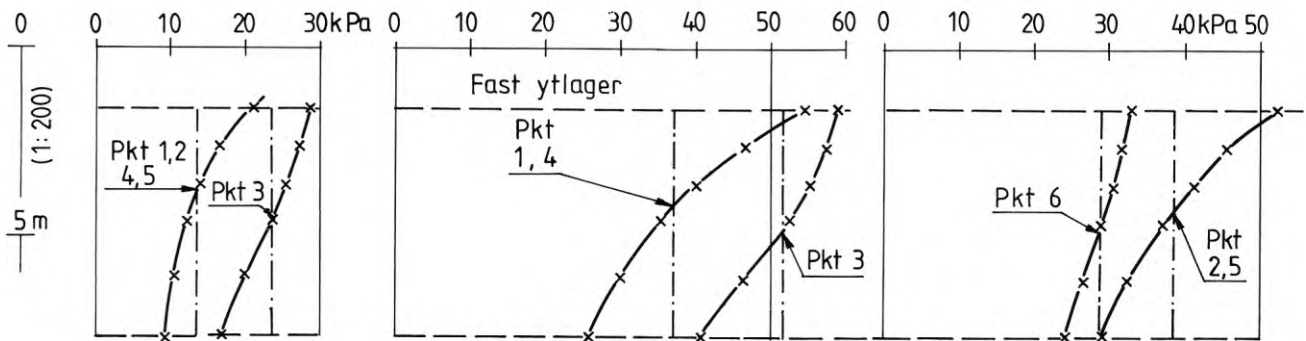
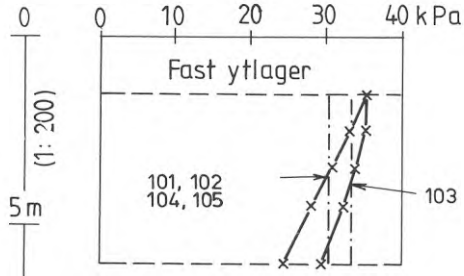
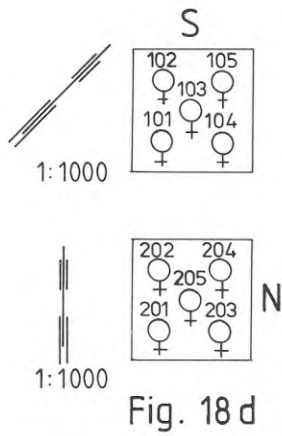


Fig. 18a Skede 1

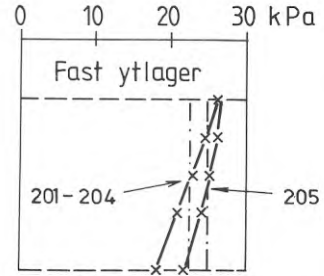
Fig. 18b Skede 2

Fig. 18c Skede 2

Fig 18 a-c visar belastningsförsök 1 under skede 1 (pkt 1-5) samt skede 2 (punkt 1, 3 och 4), skede 2 (pkt 2, 5, 6). I varje diagram har utritats vertikaltryck och jämförelselast. I sammanfattande diagram 19 har jämförelselasterna från de tre diagrammen betecknats med  $\odot$  för mittpunkt(3) och med  $\triangle$  för övriga punkter.



Belastningsförsök 2  
Fig. 18 e



Belastningsförsök 3  
Fig. 18 f

Fig 18 d-f. Fig d visar mätpunkterna vid belastningsförsök 2 (överst) och belastningsförsök 3. I fig 18 e och f har utritats vertikaltryck och jämförelselast. I sammanfattande diagram 19 har jämförelselasterna från försök 2 markerats med punkter  $\bullet$  och från försök 3 med kryss  $\times$ . Jämförelselast för mittpunkterna 103 och 205 har betecknats  $\odot$  resp  $\otimes$

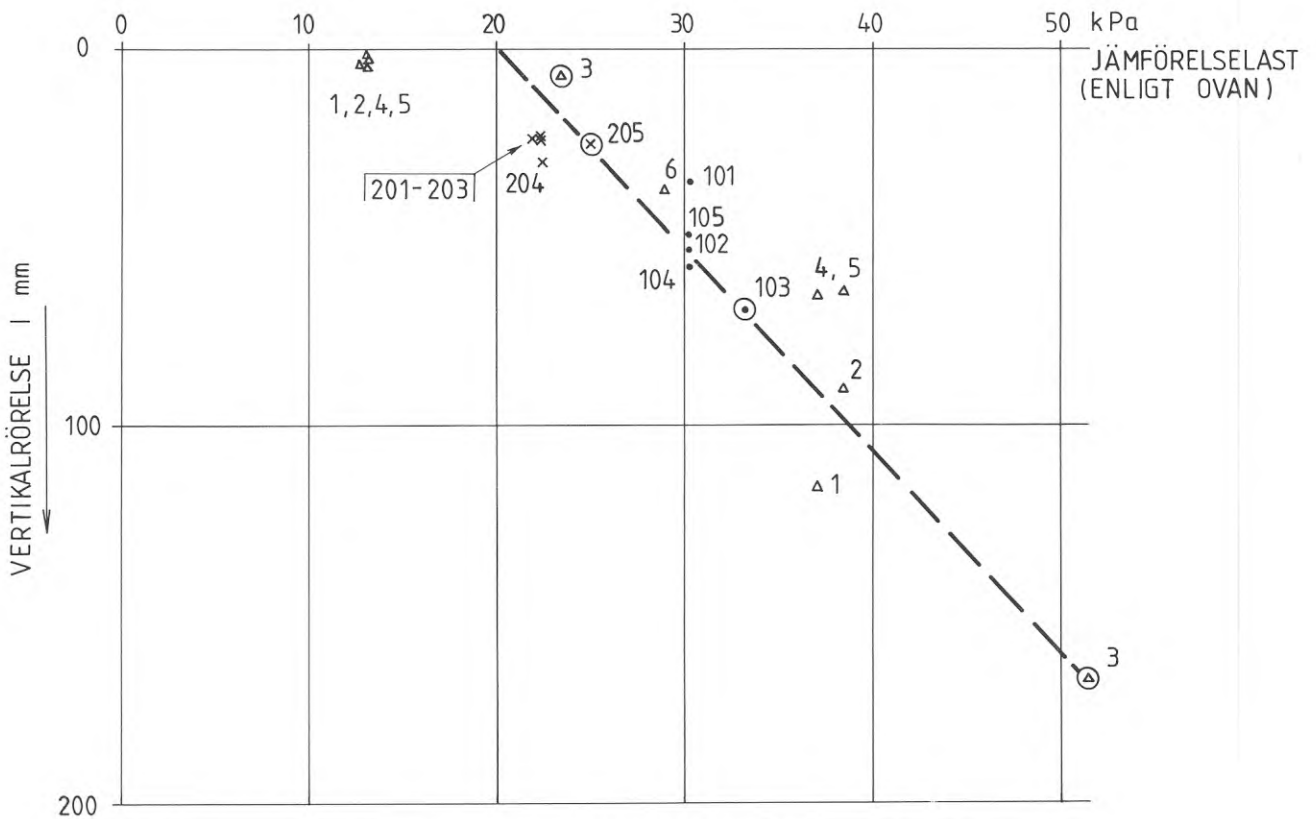


Fig. 19 SAMBAND MELLAN JÄMFÖRELSELAST OCH SÄTTNING

Av diagrammet (fig 19) framgår att spridningen av värdena för uppmätta sättningar för punkter med likartade belastningsförutsättningar är relativt stor. Härvid må dock anmärkas att lerans tjocklek vid KM:s försök ej direkt mätts utan värden från närbelägna punkter har använts. Det bör även beaktas att yt-skiktets fasthet (hög elasticitetsmodul) kan bidra till större verklig spridning av lasten - speciellt vid belastningsgränser - än som erhålles enligt influenslinjer beräknade enligt Newmark. (Newmark 1942).

I princip gäller att sättningen i leran under en högs centrala del påverkas mindre av högens exakta form o d än under perifera delar. Om man i diagrammet markerar resultaten från sättningsmätningarna i mitt-punkterna finner man att markeringarna ligger på en rät linje, som börjar vid jämförelselasten (belastningsökningen) 20 kPa ( $2 \text{ t/m}^2$ ). Se fig 19.

Praktiska försök har således visat att leran är överkonsoliderad samt att bedömningen av överkonsolideringens storlek baserad på resultat av laboratorieundersökningar är korrekt.

De sättningar som observerades under tiden för lastens påförande är i stort sett momentana. De minsta initialsättningarna inträffade vid belastningsproven 1 och 3, som båda påbörjades i februari-mars, de största vid belastningsförsök 2, som påbörjades i september. Detta kan ha sin förklaring i att grundvattenytan ligger lågt i februari-mars och högt i september och att jordlagren vid markytan har helt olika uttorkningsgrad vid dessa tidsmässigt skilda tillfällen.

De momentana sättningarna vid belastning av jorden utöver de mer eller mindre elastiska sättningarna beror sannolikt även på att ytan under fyllningen var uppluckrad vid avbaning av vegetationsskiktet.



## 8 UNDERLAG FÖR DISKUSSION OM FORTSATTA UNDER- SÖKNINGAR

### 8.1 Allmän kartering

Kännedom om var överkonsoliderad lera finns i Sverige är av betydelse från många synpunkter. Främst kan framhållas betydelsen vid samhällsplanering och grundläggning av de skiftande objekt, som ingår i den fysiska samhällsplanen.

En allmän och detaljerad kartering av alla de lerområden som uppfyller förutsättningarna för bildning av överkonsoliderad lera skulle bli mycket kostsam. En sådan kartering är emellertid ej nödvändig, bl a på grund av att de långt övervägande delarna av Sveriges lerterräng med största säkerhet aldrig kommer att byggas.

Det är av intresse att man inriktar en fortsatt forskning på de lerområden, där bebyggelse eller andra aktiviteter är eller kommer att bli aktuella och där lerans sättningsbenägenhet är mindre väl känd.

### 8.2 Studier av vissa utvalda områden

För att visa hur en lokalisering av områden med överkonsoliderad lera kan ske i verkligheten har utvalts ett antal områden, varav det redan behandlade Haningeområdet utgör ett. Som andra exempel har valts områden från

Umeåtrakten  
Gamlebytrakten  
Säffletrakten  
Göteborgstrakten.

Dessa områden behandlas nedan var för sig.

Det bör anmärkas att man efter lokalisering av områden med överkonsoliderad lera med hjälp av kartmaterial och strandförskjutningskurvor måste undersöka lerans överkonsolideringsgrad. Detta sker genom geotekniska fält- och för ändamålet anpassade laboratorieundersökningar.

#### 8.2.1 Umeåtrakten

På fig 20a visas en del av generalstabens höjdkarta över umeåtrakten i skala 1:500 000. Den heldragna linjen visar strandlinjen ca 3 000 och den streckade ca 600 år f Kr. Enligt strandförskjutningskurvan för området (se bilaga) ligger respektive strandlinjer på nivåerna ca +76 och +32. Högsta kustlinjen (HK) ligger på nivån ca +270. Endast några mindre områden

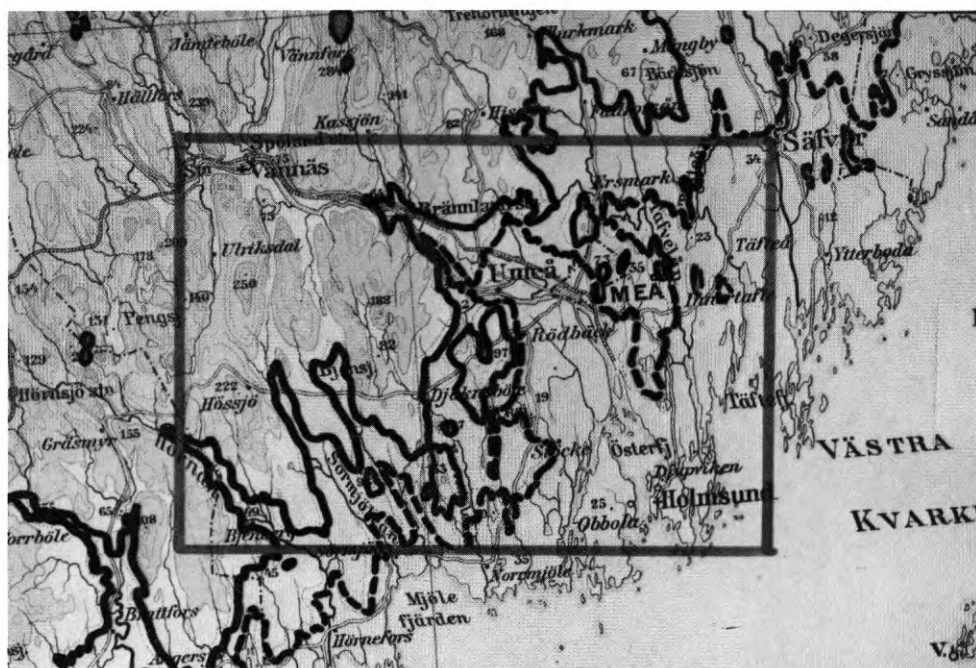
i norr, nordväst och väster ligger högre än denna nivå.

På fig 20 a har inramats ett område för vilket jordarterna framgår av fig 20 b - en del av jordartskarta i skala 1:300 000 över Västerbottens län. Denna karta saknar nivålinjer, varför de konstruerade linjerna på generalstabens höjdkarta, gällande strandlinjernas lägen vid 3 000 och 600 år f Kr överförts till den geologiska kartan. De kompressibla jordarterna, främst lera och mjåla men även den för norrlandskusten typiska svartmockan, bör vara överkonsoliderade ovan de nämnda strandlinjerna och överkonsolideringen bör öka i riktning mot HK.

I samband med författandet av Umeå generalplan utfördes 1965 en geologisk-geoteknisk karta över generalplaneområdet i skala 1:25 000. Som underlag användes en topografisk karta i samma skala. (Bjurström G 1966).

På fig 21a visas en del av den topografiska kartan och på fig 21b motsvarande del av den geologisk-geotekniska kartan. På båda kartorna har inritats strandlinjerna 3 000 och 600 år f Kr. På fig 21b har med färg markerats de jordarter som förekommer på området. Som framgår av fig 21b upptas en stor del av området av kompressibla jordlager och enligt överkonsolideringsteorin bör överkonsolideringen öka i riktning mot norr. Eftersom Ume älv med strandområden upptar en del av området är det inte uteslutet, att de kompressibla jordlagren även närmast älven är överkonsoliderade p g a att de varit belastade av sediment av främst sand och mo, som i ett senare tidskede bortroderats. Hela älvområdet har tidigare bestått av fjordsediment, i vilka älven vid landhöjningen frameroderat sin nuvarande fåra. Härvid har bl a nipstränder bildats.

Denna överkonsolidering har intet samband med de postglaciala värmeperioderna och kan således förekomma även utanför strandlinjen för havets nivå 600 år f Kr. Likartade förhållanden råder vid de flesta vattendrag, som mynnar i Bottniska viken.



Beteckningar:

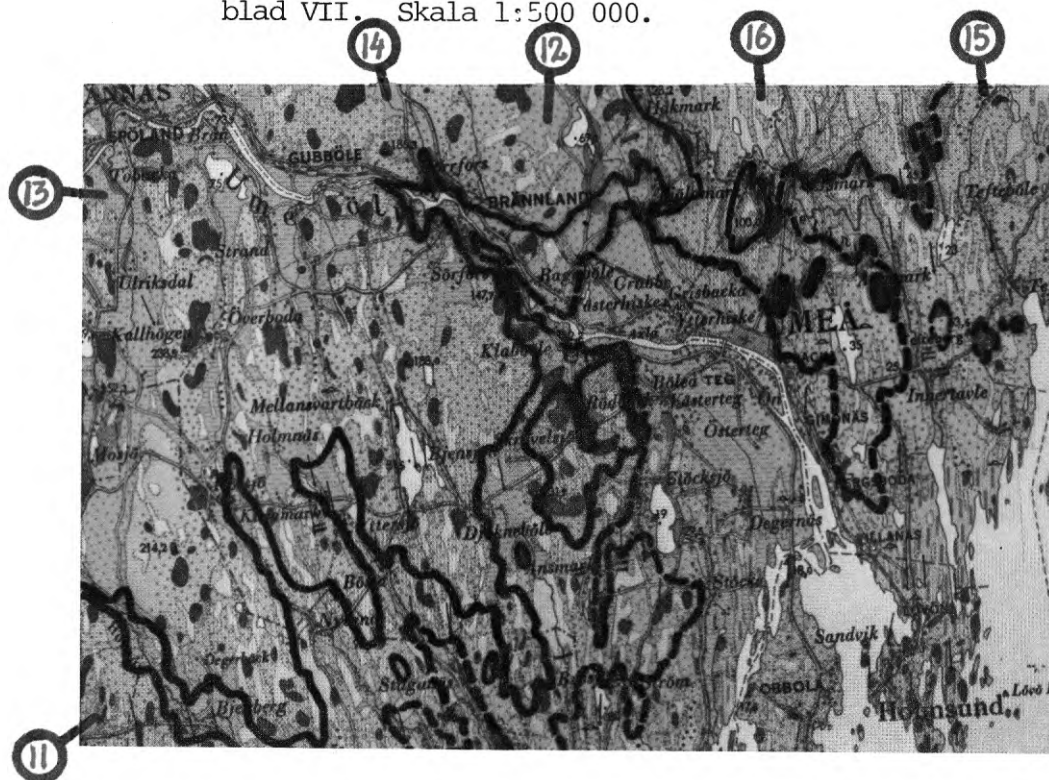
Strandlinjer

— 3 000 år f Kr

- - - 600 år f Kr

● land över HK

Fig 20a. Umeå, del av generalstabskarta över norra Sverige, blad VII. Skala 1:500 000.



Strandlinjerna  
3 000 resp 600  
år f Kr har över-  
förts till fig 20b  
genom förstoring  
från 20a.

Fig 20b. Del av jordartskarta över Västerbottens län SGU, Ca 26. Skala 1:300 000. Området motsvarar den inramade delen i fig 20a.

Beteckningar på jordartskartan (se anm 8.2.5).

11 svallgrus (gult fält med röda ringar)

12 sand och grovmo (gult fält med röda punkter)

13 fimmo och mjäla (gult fält med korta röda streck)

14 lera (gult fält utan övertryck)

15 starmyrar och odlad myrmark (ljusgrå fält med blåa punkter)

16 övriga myrar (ljusgrå fält)

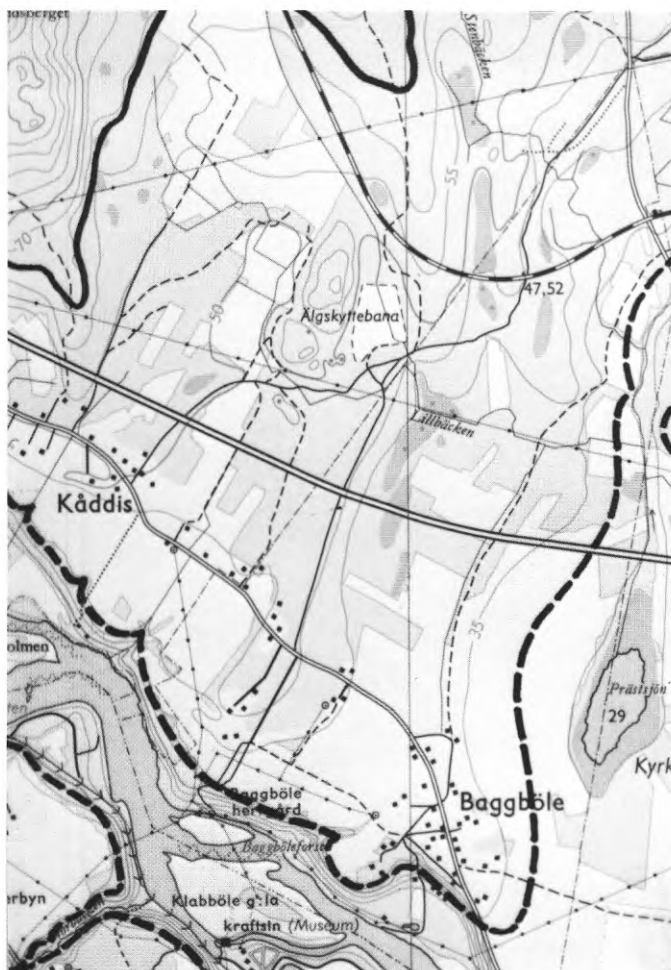


Fig 21a. Detaljkarta av Umeå-området. Skala 1:25 000.

Kartan ovan är en del av en topografisk karta över Umeå-området upprättad i fyra blad för planerings- och turiständamål av Stadsingenjörskontoret i Umeå. 1965.

#### Beteckningar

##### Strandlinjer

~ 3 000 år f Kr

- - - 600 år f Kr

Strandlinjerna motsvarar nivåerna +76 respektive +32.

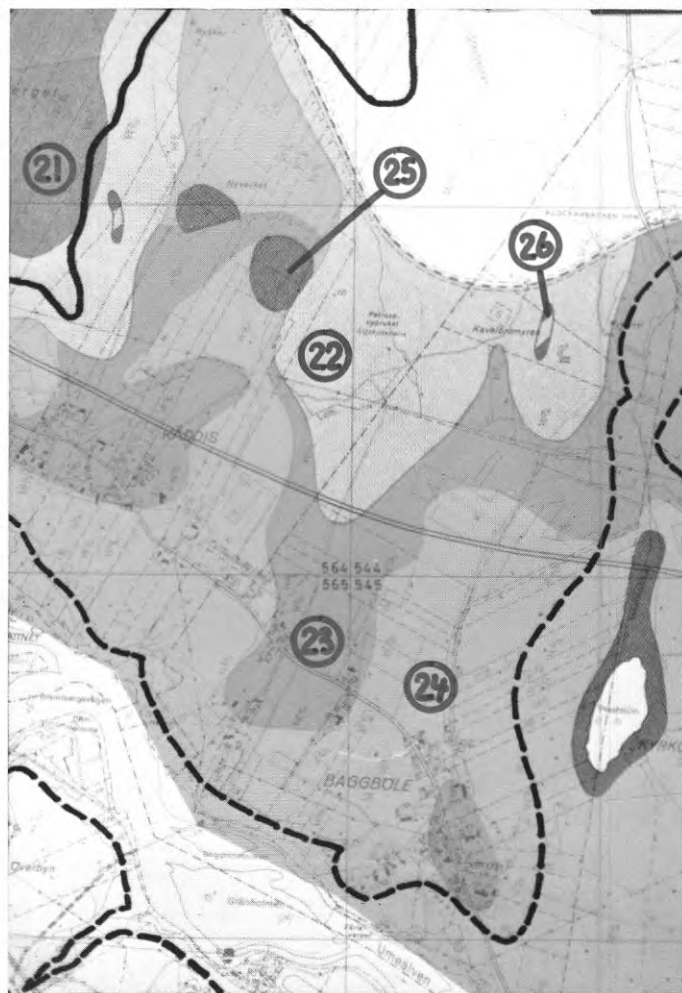


Fig 21b. Jordartskarta för delen enligt fig 21a. Skala 1:25 000.

Jordartskartan och karteringen är utförd av Bjurströms Geotekniska Byrå AB. Av kartan framgår att övervägande delen av området har höjts över havet under tiden ca 3 000 - 600 år f Kr. Landvinningen framgår icke i detalj. Inom en stor del av lerområdet bör leran vara överkonsoliderad och överkonsolideringen bör öka mot strandlinjen vid 3 000 år f Kr.

#### Beteckningar (se anm 8.2.5)

- 21 berg i dagen eller berg täckt av ett tunt jordlager (rött fält)
- 22 morän i dagen eller morän täckt av ett tunt jordlager (blå fält)
- 23 grus, sand och mo (mörkgult fält)
- 24 sand och mo med underliggande finmo, mjäla eller lera (gult fält)
- 25 torv- eller kärrområde (brunt fält)
- 26 sankt område, djupet till fast jordlager ringa



### 8.2.1.1 Belastningsförsök på K4-området i Umeå

På det s k K4-området utfördes i samband med en geoteknisk undersökning ett belastningsförsök (med början den 24 november 1964), som avsåg att prova hur stora sättningarna skulle bli vid en viss belastning. Försöket har kortfattat beskrivits i den publikation, som utgavs i samband med generalplanearbetet (Bjurström G, 1966). Redogörelsen för försöket återges nedan.

På försöksplatsen består jorden överst av ca två meter sand och mo och därunder huvudsakligen av svartmocka till ca 10 - 12 meters djup. Därunder följer mo, som mot djupet övergår i sand och grus på morän. Djupet till moränen torde vara ca 18 - 20 meter under markytan.

För försöket användes en sandfyllning formad som en stympad pyramid. Fyllningshöjden var 3 meter och pyramidens basmått 19 m och toppmått 7 meter.

Sättningarna mättes i nio punkter. Efter 18 månader uppgick sättningarna till ca 22 cm i högens mittpunkt. Försöket visade även att den långt övervägande delen av sättningarna skedde redan under de första 6 månaderna. Vid de mindre belastningar som rådde vid belastningshögens slänter upphörde sättningarna praktiskt taget efter ca 1 år.

Vidare framgick av försöket att sättningshastigheten minskade under vintern, ökade under våren och därefter åter minskade. Detta beror sannolikt på de hydrologiska och klimatologiska förhållandena. Ett högt grundvattenstånd under hösten minskar lastökningen i de kompressibla lagren och under vintern fördelar tjälskorpan lasten på ett större område kring jordhögen än under andra årstider. Tjälskorpan förekommer främst under slänten och i jorden utanför denna.

Området ligger på nivån ca +12,5 dvs har frilagts från havet ca 800 år f Kr. Det bör med hänsyn härtill icke vara nämnvärt överkonsoliderat. Avgörande slutsatser om i vad mån området är överkonsoliderat eller ej kan emellertid ej dras av försöket bl a på grund av att belastningen var alltför stor.

### 3.2.2 Gamlebyområdet

Gamlebyområdet, som genom Gamlebyviken har direktkontakt med Östersjön, är av intresse för överkonsolideringsteorin på grund av att här finns representerade de flesta faser i Östersjöns utvecklingshistoria. Detta beror bl a på kustterrängens lutningsförhållanden.

Här kan man finna spår av den Baltiska issjöns sänkning när isranden nådde norr om Billingens nordände samt vittnesbörd om både Ancylussjöns och Litorinahavets transgressioner samt de lugnare och mer kontinuerliga förlopp som skedde vid landhöjningen och förändringen av havsytans nivåer alltifrån ca 4 000 år f Kr fram till nutid. Ca 4 000 år f Kr låg den dåvarande Östersjöns strand på nivån ca +40. Strandförskjutningskurvan för Valdemarsvik, fig 6 och bilaga gäller i stora drag för Gamleby-området.

På fig 22a, som utgör en del av den topografiska kartan 7G Västervik S0 och motsvarande del av det geologiska kartbladet Aa nr 147 (utgivet 1915) fig 22b, har inritats strandlinjen för tiden 3 000 och 600 år f Kr. Enligt strandförskjutningskurvan låg stranden vid dessa tidpunkter på nivåerna +30 respektive +11,5.

Av kartbladen framgår att landet under nämnda tidsperiod höjdes över havsytan i vikar och mellan öar, som då bildade skärgården inom Gamleby-området.

På området kan man följa dalgångar med lera från nuvarande strand upp till HK, som ligger på nivån ca +132. Även om området i stort sett icke är av betydelse från bebyggelsesynpunkt erbjuder det genom sin mångfasetterade geologiska utveckling ett intressant terrängavsnitt för verifiering av teorin om hur den överkonsoliderade leran är beroende av landhöjning, klimatförändringar och förändringar av grundvattenytans nivå. Man kan nämligen här följa de olika lerornas utbildning och förändring från ca 9 600 år f Kr fram till nutid.

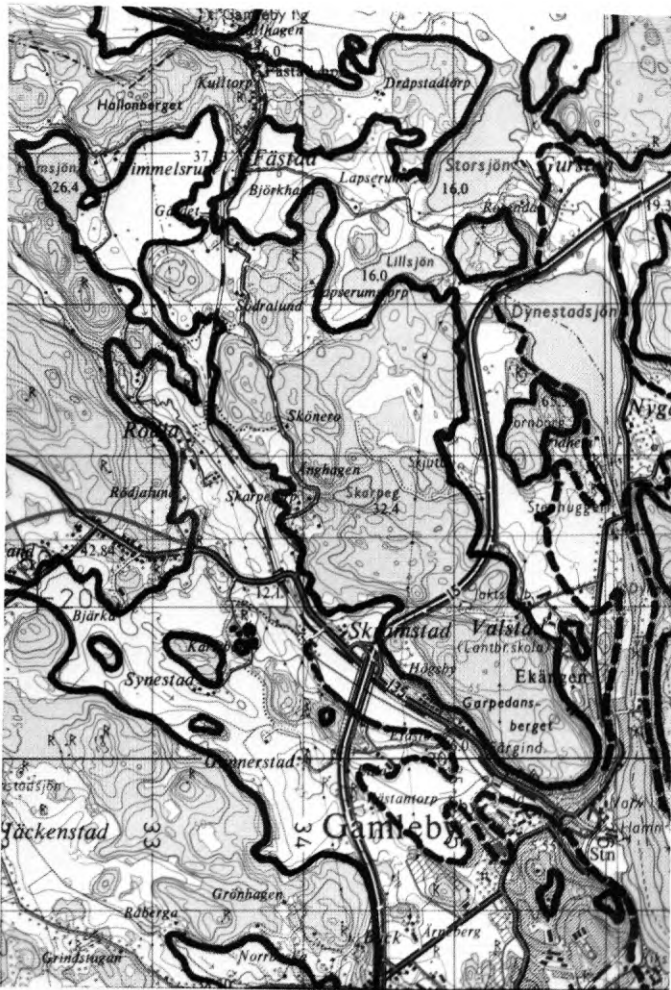


Fig 22a. Del av topografiskt kartblad 7G Västervik SO. Skala 1:50 000.

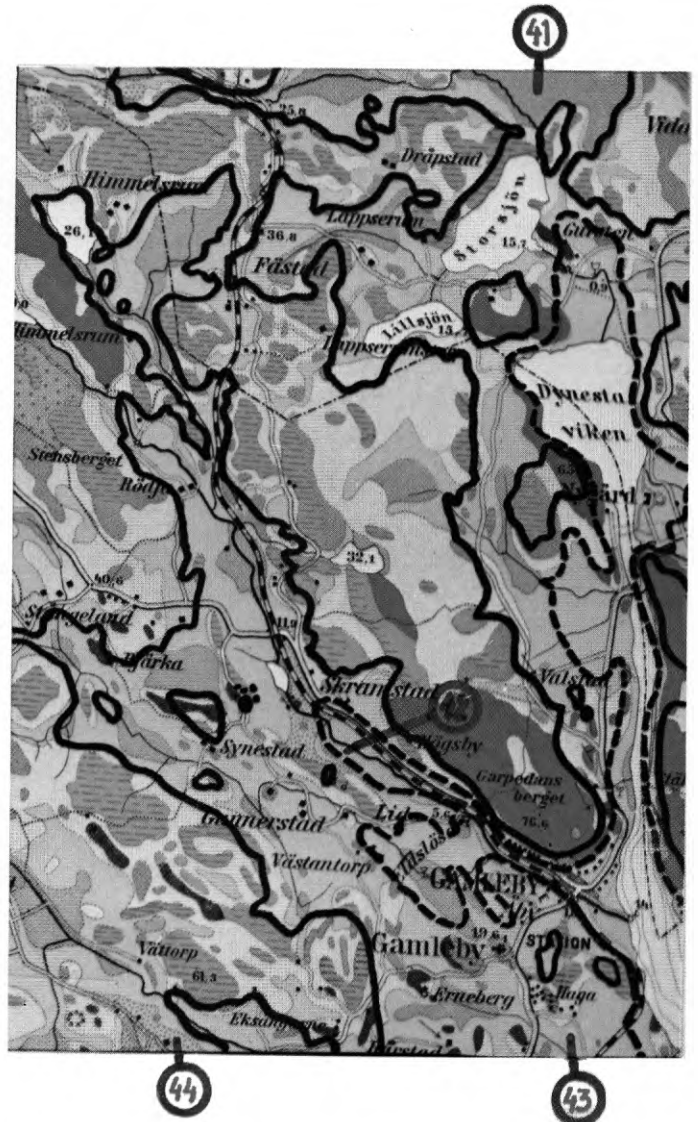


Fig 22b. Del av geologiskt kartblad Gamleby SGU Aa nr 147,1915. Skala 1:50 000.

Av kartbladen framgår hur skärgården vid Gamleby blev land under tiden 3 000 - 600 år f Kr.

Beteckningar:

Strandlinjer

— 3 000 år f Kr

- - - 600 år f Kr

Strandlinjerna motsvarar nivåerna +30 respektive +11,5.

Beteckningar ( se arm 8.2.5)

41 mosstorv (gråbrun)

42 svämmlera (svagt rosa)

43 lera (gul)

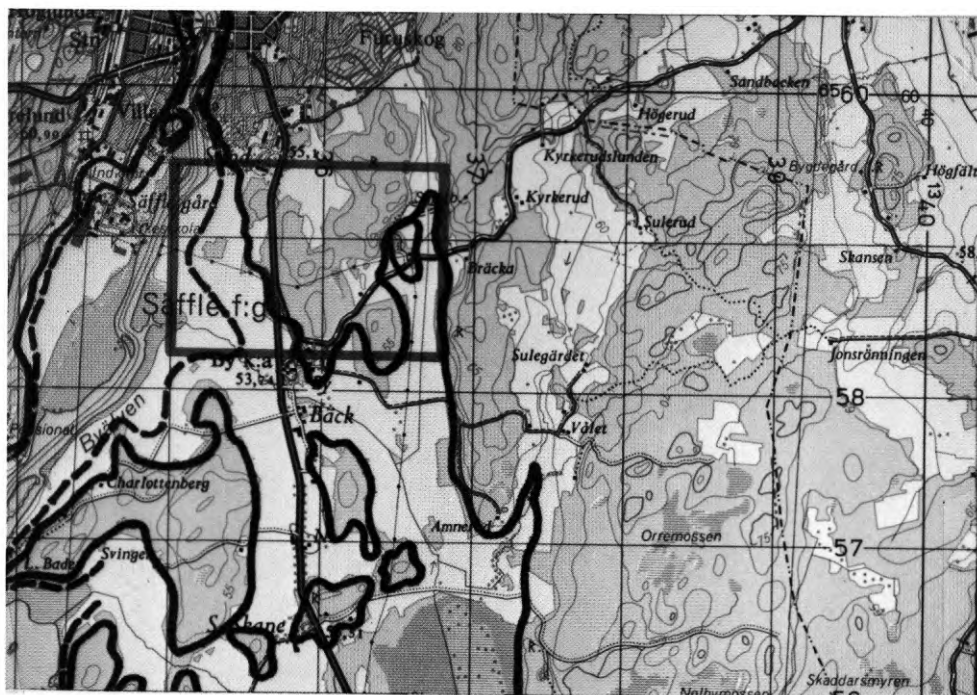
44 sand (gul med rödbruna punkter)

### 8.2.3 Säffleområdet

Från det topografiska kartbladet 10C Åmål SO och det geologiska bladet Säffle, SGU Aa 167, 1928, har uttagits och markerats identiska områden, fig 23a och b. Kartorna har skalan 1:50 000. På områdena har markerats gränserna för strandlinjen 3 000 och 600 år f Kr motsvarande nuvarande nivåer +49,5 respektive +47,5. För det geologiska kartbladet har i särskilt beteckningsschema angivits förekommande jordarter.

Området ligger intill Byälven, omedelbart sydost om Säffle. På området finns förutsättningar för förekomst av lera med olika överkonsolideringsgrad.

Det "rutmarkerade" området i fig 23a och b markerar del av ett med nivålinjer försett ekonomiskt kartblad över Säffle i skala 1:10 000, fig 24. På detta område har utförts byggnadsgeologiska undersökningar. Härvid har konstaterats att leran inom området är delvis överkonsoliderad inom de högre belägna delarna av det upp till ca 15 m tjocka lerlagret. Det är icke uteslutet att närheten till Byälven med dess relativt högt belägna yta i förhållande till omgivande terräng, dvs de lokala topografiska och geohydrologiska förhållandena har förhindrat en mer djupgående överkonsolidering av leran.



Beteckningar:

Strandlinjer

~ 3 000 år f Kr

~ 600 år f Kr

motsvarande nuvarande nivåer +49,5 respektive +47,5.

Fig 23a. Del av det topografiska kartbladet Åmål, 10C Åmål SO. Skala 1:50 000.



Fig 23b. Del av geologiska kartbladet Säftefjäll, SGU Aa 167, 1928. Skala 1:50 000.

Beteckningar (se amn 8.2.5)

- 61 mosstorp (gråbrun)
- 62 kärrtorp (gråbrun med gröna punkter)
- 63 svämmlera och svämsand (gulrosa)
- 64 Vänerlera (gul med blå streck)
- 65 ishavslera (gul)
- 66 sand (gul med rödbruna punkter)



Fig 24. Säfte - Del av ekonomiskt kartblad,  
skala 1:10 000.

Beteckningar:

Strandlinjer

— 3 000 år f Kr (nivå +49,5)

- - - 600 år f Kr ( " +47,5)

Av kartan framgår att en stor del av området låg över vattenytan under värmeperioderna, dvs överkonsoliderad lera bör allmänt förekomma öster om Säfte.

Vid laboratorieundersökningar av jordprover tagna inom området öster om Sund (vid 1835 på kartan ovan) konstaterades att överkonsolideringen minskade mot djupet och att leran på stort djup var normalkonsoliderad. Vid mätning av porvattentrycket och vattennivån i öppna rör konstaterades att trycknivån låg nära markytan och över torrskorpans undersida. Den uteblivna överkonsolideringen i de djupare belägna delarna av leran kan bero på angränsande vatten - exv Byälven - vars yta endast ligger några meter under angränsande terräng.

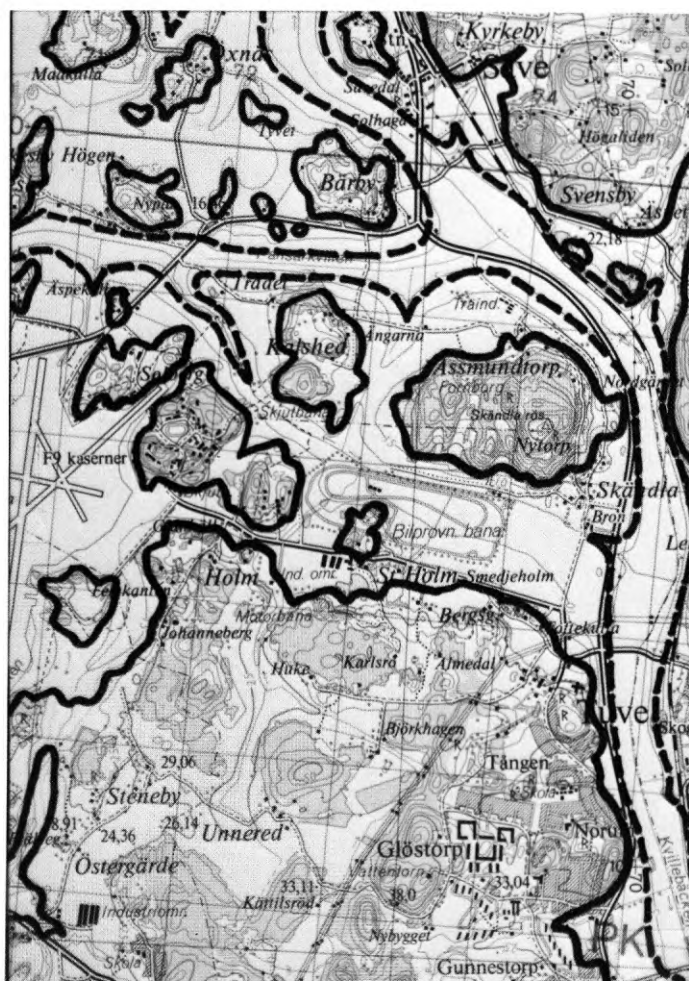


Fig 25a. Del av topografiskt kartblad  
7a/7b Marstrand SO/Göteborg SV.  
Skala 1:50 000.

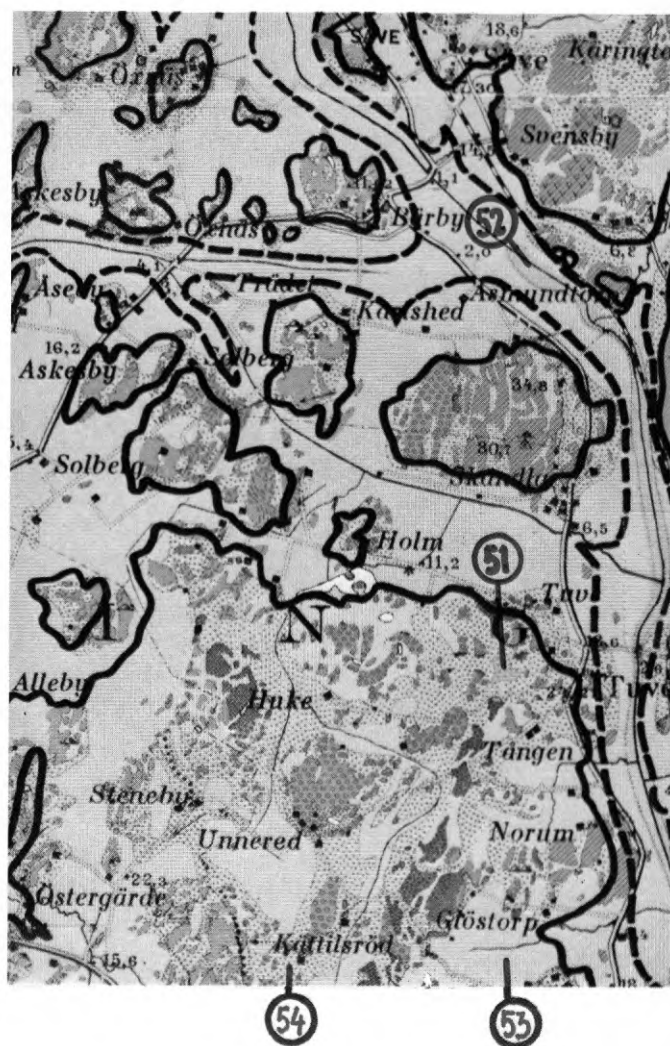


Fig 25b. Del av geologiskt kartblad  
Göteborg, SGU Aa nr 173,  
1931. Skala 1:50 000.

Beteckningar:

Strandlinjer

~ 3 000 år f Kr

~ 600 år f Kr

Strandlinjerna motsvarar  
nivåerna +17,5 respektive  
+6,5.

Beteckningar (se arm 8.2.5)

51 källertorv (gråbrun med gröna  
punkter)

52 svämmlera (gulrosa)

53 lera (gul)

54 sand (gul med rödbruna punkter)

#### 8.2.4 Göteborgsområdet

Göteborgs-terrängen är vanligen starkt kuperad med höga berg begränsade av relativt plana slätter eller dalgångar. Från de geografiska och geologiska kartbladen har uttagits två avsnitt, fig 25 a och b, som båda visar strandlinjen vid 3 000 resp 600 år f Kr, som enligt strandförskjutningskurvan - se bilaga - markeras av nuvarande nivåer +17,5 resp +6,5.

På kartbladen kan man bl a spåra bronsålderns farleder över Hisingen mellan Göteborg och Nordre älv (Kaelas L 1978).

Av den geologiska kartan framgår att lera intar en avsevärd del av arealen. Läget för ovannämnda strandlinjer visar att stora delar av leran bör vara svagt till starkt överkonsoliderad. Områden med överkonsoliderad lera bör finnas vid Unnered, Östergärde och Steneby. På området finns bl a orten Tuve, där ett katastrofartat skred inträffade 1977.

#### 8.2.5 Anmärkning

Vid granskning av färgåtergivningerna på fig 14 och 20 till 25 finner man på fotograferade delar av de topografiska resp geologiska kartbladen en avvikelse i färgnyanser i förhållande till originalen. I beteckningsschemat för nämnda figurer - där jord som kan vara påverkad under värmeperioden betecknas med nummer - beskrivs de aktuella färgnyanserna.



## 9 ÖVERKONSOLIDERAD LERA - BYGGNADS- ANVISNINGAR

### 9.1 Samhällsekonomiska reflektioner

Bortsett från de vetenskapliga synpunkterna bör bl a observeras den ekonomiska nytta som identifieringen och lokaliseringen av den överkonsoliderade leran kan ha för ett samhälles utbyggnad.

Utnyttjandet av lerans överkonsolidering vid grundläggning av hus och vissa anläggningar innebär en i stort sett sättningsfri grundläggning utan de merkostnader, som följer med grundläggning enligt kompensationsmetoden eller medelst plintar eller pålar. Med bättre kännedom om var överkonsoliderad lera finns kan ett samhälles utbyggnad styras i första hand till områden med sådan lera.

Det bör i detta sammanhang erinras om att sättningsfri grundläggning av småhus på exempelvis plintar eller pålar i många fall kan vara direkt olämplig. Härom vittnar bl a många småhusområden, där man några år efter bebyggelsens fullbordande finner lerterrängen kring hus, grundlagda på till fast botten nedförda pålar, ligga avsevärt lägre än husen. Det finns fall, där sättningarna blivit så stora, att man kan se de översta delarna av pålarna under plattan. Orsaken till dessa sättningar är oftast grundvattensänkning eller olämplig belastning av leran närmast husen. I många fall uppstår - bortsett från olägenheterna med nivåskillnaderna mellan hus och terräng - även skador vid ledningars anslutning till husen. Men man möter också fall där exempelvis småhus, grundlagda direkt i lera, undergått både stora och ojämna sättningar, som framkallat avsevärda skador i husen.

De ekonomiska fördelar som grundläggning på överkonsoliderad lera kan medföra borde därför beaktas vid utarbetande av föreskrifter, råd och anvisningar.

Ur planeringssynpunkt borde det vara rimligt att på sådana områden i första hand placera hus, vars belastning på underliggande lera ej överskrider den överkonsolidering som kan utnyttjas. Ofta uppstår en konflikt mellan planerare och geotekniker, därför att översiktliga planer fastställs utan hänsyn till överkonsolideringens förekomst och storlek.

### 9.2 Bestämmelser för grundläggning av byggnadsverk

Utan att detaljerat redovisa skillnader mellan föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsverksamhet gäller Svensk Byggnorm, SBN 1975, med supplement, kommentarer till bestämmelser, godkännanderegler och del av supplement till SBN 67.

I en specialutgåva, SBN 1975 Småhus, publicerar Statens Planverk utdrag ur SBN 1975 med förenklade metoder och lösningar i vissa kapitel och avsnitt. Kapitel 23 - Grundkonstruktion - ingår i specialutgåvan oförändrat, dvs i samma form som i SBN 1975. Av normerna framgår att man icke gör någon åtskillnad mellan grundläggning av större hus och småhus.

Av rent praktiska skäl, varvid byggnadens totala tyngd spelar den huvudsakliga rollen, torde endast småhus och lätta industrier vara aktuella vid grundläggning i överkonsoliderad lera. Det är därför av vikt att man i normerna beaktar detta.

Den dominerande bebyggelsen i dagens läge utgörs av småhus, vilket innebär en ekonomisk nytta av att klara regler utarbetas för hur grundläggning av sådana hus bör ske samt klarläggas i vad mån sättningsregler kan tolereras.

I dagens läge är det vanligen kommunernas byggnadsnämnder som avgör denna många gånger delikata fråga. Detta kan medföra att vad som tillämpas i en kommun icke kan accepteras i grannkommunen. I många fall låter man som regel erfarenheter från befintliga småhusområden vara avgörande för grundläggningssättet eller man följer de råd, som en erfaren geotekniker ger på grundval av byggnadsgeologiska undersökningar. I denna erfarenhetsåterföring (om den sker utan beaktande av förekomst av överkonsoliderad lera) ligger uppenbart en stor risk genom att erfarenheten kan baseras på tidigare grundläggning direkt i mark på överkonsoliderad lera. I det motsatta fallet medför erfarenhetsåterföringen ökade kostnader för grundläggning.

Enligt den åsikt författaren företräder bör man kunna tillåta sättningsregler i småhus blott dessa sker jämnt och icke orsakar skador i hus eller ledningar. Vid utläggning av ledningar i lera bör man för att fallet i dessa icke skall äventyras och för att risk för brott vid anslutning till hus icke skall föreligga, redan vid planeringen ta hänsyn till de sättningsregler, som kan förväntas ske i terräng och hus.

Enligt utländsk erfarenhet tolererar man vissa sättningsregler och även ojämna sådana om blott lutningen i huset ingenstades blir större än 1:300. (Statens Planverks kommentarer 1965/2).

## 10 ANGELÄGEN FORSKNING

## 10.1 Inventering, kontrollundersökningar

Bortsett från vetenskapliga synpunkter bör den fortsatta forskningen bedrivas med hänsyn till den ekonomiska nytta som identifiering och lokalisering av överkonsoliderad lera innebär för samhällsplanering, främst då vad gäller grundläggning av småhus, lätt industri, vägar och ledningar av skilda slag.

En lokalisering av all terräng med överkonsoliderad lera blir så tidsödande att den icke är realistisk. Dessutom är det knappast av praktiskt intresse att lokalisera överkonsoliderad lera inom delar som icke kommer att bebyggas inom överskådlig tid.

Den fortsatta forskningen bör vara målinriktad och främst gälla områden där överkonsoliderad lera kan finnas och där man även planerar småhusbebyggelse.

I några fall bör överkonsolideringens storlek kontrolleras genom provbelastningsförsök.

Med hänsyn till det ovan sagda bör det nu avslutande arbetet med föreliggande skrift fullföljas med i första hand inventeringsundersökningar gällande särskilt utvalda kommuner.

I Sverige finns f n 277 kommuner. Av dessa ligger 52 helt över och 40 med en avsevärd del över HK. Överkonsoliderad lera kan emellertid även förekomma i vissa av dessa kommuner, nämligen där delar av dessa varit täckta av issjöar, exempelvis områden inom sydsvenska höglandet söder om Vättern samt i Jämtland. Ca 70 kommuner ligger helt under HK. I denna grupp ingår samtliga kommuner i Stockholms, Uppsala, Södermanlands och Gotlands län och en del folkrika och expansiva kommuner som Norrköping, Kristinehamn, Lidköping, Västerås, Köping, Gävle och Luleå.

För att vid en inventering underlätta samarbetet med kommunala myndigheter vid insamlandet av geotekniska data, blir det nödvändigt att publicera denna rapport i erforderligt antal exemplar. Dessutom bör en avkortad informationsskrift utarbetas.

För att belägga teorins riktighet med hjälp av geotekniska data från fältundersökningar erfordras korrekta uppgifter om strandförskjutningen efter istiden. För detta erfordras insatser av specialister, främst inom kvartärgeologi. Det är även nödvändigt att de klimatiska förhållandena efter istiden utreds på ett mera exakt sätt än vad som framgår av läroböcker och allmänna verk.

Där geotekniska data för delområden med överkonsoliderad lera saknas eller ej är tillräckliga, utförs fältundersökningar som bör samordnas med respektive kommun.

Det i det föregående beskrivna programmet för forskning och undersökningar kan indelas i fyra huvudskeden.

#### 1. Förberedande arbeten vari ingår

- redigering av föreliggande rapport
- tryckning av rapporten
- urval av kommuner för inventering av geotekniska data
- utarbetande av rutin för insamling av data
- anskaffning av strandförskjutningskurvor
- anskaffning av uppgifter angående klimat efter istiden
- insamling av geotekniska data från centrala arkiv

#### 2. Inventering

- besök hos kommuner
- inventering av utförda undersökningar enligt utarbetad rutin
- inventering av några småhusområden
- redovisning av resultat för kommunens myndigheter
- program för fält- och laboratorieundersökningar

#### 3. Fält- och laboratorieundersökningar

- provtagning
- laboratorieundersökningar
- provbelastningar

#### 4. Analyser

- analyser
- rekommendationer

#### 10.2 Vetenskapliga kontrollundersökningar

Forskning enligt 1 och 4 är huvudsakligen kvantitativt inriktad. Genom inventering och kontroller skall visas att leran är så överkonsoliderad, att sättningarna blir små vid ökning av belastningen på leran. Utöver denna kvantitativa del bör en utförlig kvalitativ grundforskningsdel utföras för två avsnitt i Sverige, varav ett bör vara beläget vid Västkusten och ett vid Östersjön.

Västkustsnittet bör omfatta någon eller några av de epoker, som är typiska för västkustområdets utveckling. Östersjösnittet bör omfatta de östersjöepoker

som sammanhänger med växelspelet mellan landhöjning och havsytans nivåförändringar inom ett område, där de flesta epoker av Östersjöns utvecklingshistoria finns representerade. För Västkusten föreslås ett område i uddevallatrakten och för Östersjö-snittet ett område i västervikstrakten.

Utöver de geotekniska rutinundersökningarna bör även bestämmas salthalten i leran. Kornstorleksfördelning och kompressionsegenskaperna kontrolleras med flera rutiner vid utförande av ödometerförsök. I den geologiska delen av undersökningarna bör man bestämma gränserna mellan leror från olika perioder i utvecklingen.

Provtagning bör ske så att ett kontinuerligt prov erhålls från markytan till det leran underlagrande friktionära materialet.

Undersökningsprogram upprättas och undersökning utförs i samråd med geologer och geotekniker vid universitet, högskolor, SGU och SGI. Resultat från undersökningen bör beläggas genom provbelastning.

### 10.3 Simulering av värmetiden

För att bevisa att överkonsolidering orsakad av uttorkning och sänkning av grundvattentrycket består även om de yttre förhållandena återställs, föreslås ett fältförsök där värmetidens förhållanden simuleras. Huvuddragen i denna undersökning är att man på en mindre yta av ett lerområde med tunn torrskorpa bortschaktar torrskorpan ned till den lösa leran. Den lösa leran i schaktbotten utsätts för en permanent temperaturhöjning. Genom leran nedförs en filterbrunn till underliggande sand och grus och i röret nedsänkes en dränkbar pump, varmed grundvattnet i sanden och gruset under leran sänkes. Härvid påverkas bl a schaktbotten av ett vertikalt tryck motsvarande grundvattenytans avsänkning. Värmen ökar torrskorpans tjocklek och grundvattensänkningen konsoliderar leran. Påverkan konstateras genom mätningar.

Efter någon tid återställs de ursprungliga yttre förhållandena. Enligt överkonsolideringsteorin skall de vid försökets slutskede konstaterade effekterna kvarstå. Det är icke uteslutet att simuleringsförsöket kan visa sig ha både praktisk och ekonomisk betydelse vid grundläggningsarbeten.

Tiden för utförande av simulering av värmetiden bör vara ca 1 år utan avslutande provbelastning. Provtagning för konstaterande av förändringar i leran bör ske vid minst fyra tillfällen under försökstiden.



Lokalisering av överkonsoliderad lera bygger på teorin om att sådan lera främst bildats då tidigare i havet avsatt lera genom landhöjningen exponerats för temperaturer, som överstiger dagens med  $1,5 - 2,5^{\circ}\text{C}$  från (minst) 8 000 till ca 600 år f Kr. Endast de lerområden som ligger högre än den nivå, som kustlinjen intog ca 600 år f Kr kan således uppvisa överkonsoliderad lera i egentlig bemärkelse, orsakad av värmeperioder och av den grundvattensänkning, som därvid uppstod vid landhöjningen under postglacial tid. Oaktat ancyclus- och litorinatransgressionerna har leran genom tiderna bibehållit sin överkonsolidering. Dessutom finns överkonsoliderad lera i strandnära områden där det skett en transgression och där regressionen ej nått tidigare strandlinje. Lokaliseringen sker genom konstruktion och analys av strandförskjutningsdiagram. Forskningen är direkt målinriktad främst för samhällsplanering samt för grundläggning av småhus och anläggningar, som utan pålning kan grundläggas på leran om denna är tillräckligt överkonsoliderad. De teoretiska studierna uppföljs genom geotekniska undersökningar i fält.





## 12 SLUTORD

Föreliggande programutredning har visat sig bli väsentligt mer omfattande än som från början förutsetts. Detta beror främst på att nya synpunkter framkommit i takt med att programutredningen skrivits. Utan tvekan finns ytterligare synpunkter som här av tidsskäl icke kunna behandlas - synpunkter som kan belysa väsentliga faktorer inom överkonso-  
lideringsteorin och dess verifiering.

Vad ovan anförts kan tjäna som en introduktion till en analys av de fjärran tidsskeden, då den i hav avsatta lera kom att nå över havsytan och utsätts för det spel mellan klimat, landhöjning och grundvattensänkning som medförde bildningen av överkon-  
soliderad lera.



## 13 LITTERATUR, REFERENSER

GFF Geologiska föreningen i Stockholm  
 SGU Sveriges Geologiska Undersökning  
 STF Svensk Turistförening

- Alte B 1976 Bestämning av kompressionsegenskaper hos djupa lerlager genom kontrollerad grundvattensänkning  
Bygghorskningsens rapport R12:1976
- Arrhenius G 1945 Gånggriftstidens boplatsnivåer i Södertörn, GFF Bd 67 H 4.
- Arrhenius O 1931 Markanalysen i arkeologins tjänst  
GFF Bd 53
- Bjurström G 1966 Översiktlig grundundersökning, särtryck ur generalplan för Umeå. Bjurströms Geotekniska Byrå AB. Meddelande nr 7.
- Caldenius C 1949 En senkvartär regressions- och transgressionslagerföljd vid Halmstad  
Linman G SGU C 502 (årsbok 42)
- de Geer G 1940 Geochronologia Suecia Principes.  
Kungl Sv Vet Akad Handl 3 Bd 18 nr 6
- Granlund E 1943 Beskrivning till jordartskarta över Västerbottens län nedanför odlingsgränsen SGU Ca 26
- Högbom A G 1889 Om relationen mellan kalcium och magnesiumkarbonat i de kvartära avlagringarna  
GFF Bd 11 Stockholm
- Johansson B 1978 Torrskorpebildning som orsak till skador på byggnader (BFR anslag nr 780356-5)  
Lakka L  
Palm R  
Svensson B
- Kaelas L 1978 De första göteborgarna  
STF årsskrift 1978 Göteborg
- Karlén W 1975 Lichenometrisk datering i norra Skandinavien - metodens tillförlitlighet och regionala tillämpning.  
Stockholms Universitet, Naturgeografiska institutionen, forskningsrapport 22
- Königsson L-K 1975 Kvartärgeologi, Kompendium för grundkurs A1 i geovetenskap, Uppsala Universitet, Kvartärgeologiska avdelningen
- Lundqvist G 1961 Beskrivning till karta över landisens avsmältning och högsta kustlinje  
SGU Ba 18

- Lundqvist J 1976 The Pärve Fault: A late-glacial fault in the Precambrium of Swedish Lappland GFF 98 part 1 No 567 March 31, 1976
- Magnusson N H 1963 Sveriges Geologi,  
Lundqvist G Norstedts, fjärde upplaga 1963  
Regnéll G
- Möller H 1964 Beskrivning till geologiska kartbladet Stockholm No. Kvartära bildningar SGU Ae nr 1
- Newmark 1942 Influence Charts for Computation of Stresses in Elastic Foundations Univ Illinois Eng Exper. Sta Bulletin 338
- Nilsson E 1953 Om södra Sveriges senkvartära historia GFF Bd 75 H2
- Philip A 1977 Tingstäde träsk har registrerat temperaturen under 11 000 år! Gotlands Allehanda 1977-11-23
- von Post L 1929 Beskrivning till kartbladet Säffle. Kvartära bildningar SGU Aa 167
- von Post L 1930 Närke, en landskapsskiss STF årsskrift 1930
- Sandegren R 1931 Beskrivning till kartbladet Göteborg. Jordlagren (Kvartärsystemet) SGU Aa 173
- Sjörs H 1956 Nordisk växtgeografi, andra upplagan Bonniers 1966
- Statens Planverk 1975 Svensk Byggnorm SBN 1975
- Statens Planverk 1977 Svensk Byggnorm SBN 1975 Småhus
- Sundelin U 1917 Fornsjöstudier inom Stångåns och Svartåns vattenområden SGU Ca 16

## BESKRIVNING AV BILAGA

Under arbetet med föreliggande programutredning har det visat sig att uppgifter för bedömning av möjlighet till lerans överkonsolidering - som naturligt är - måste hämtas från skilda utredningar och schemasammanställningar. För att underlätta arbetet har i denna programutredning sammanställts i stort sett alla kända uppgifter inom geologi, klimat etc som rått inom Skandinavien efter istiden. Sammanställningen redovisas i bilaga. Ett flertal uppgifter är hämtade från Sveriges Geologi (Magnusson, Lundqvist, Regnéll 1963). Källmaterialet för de olika kolumnerna i bilagan har inte redovisats.

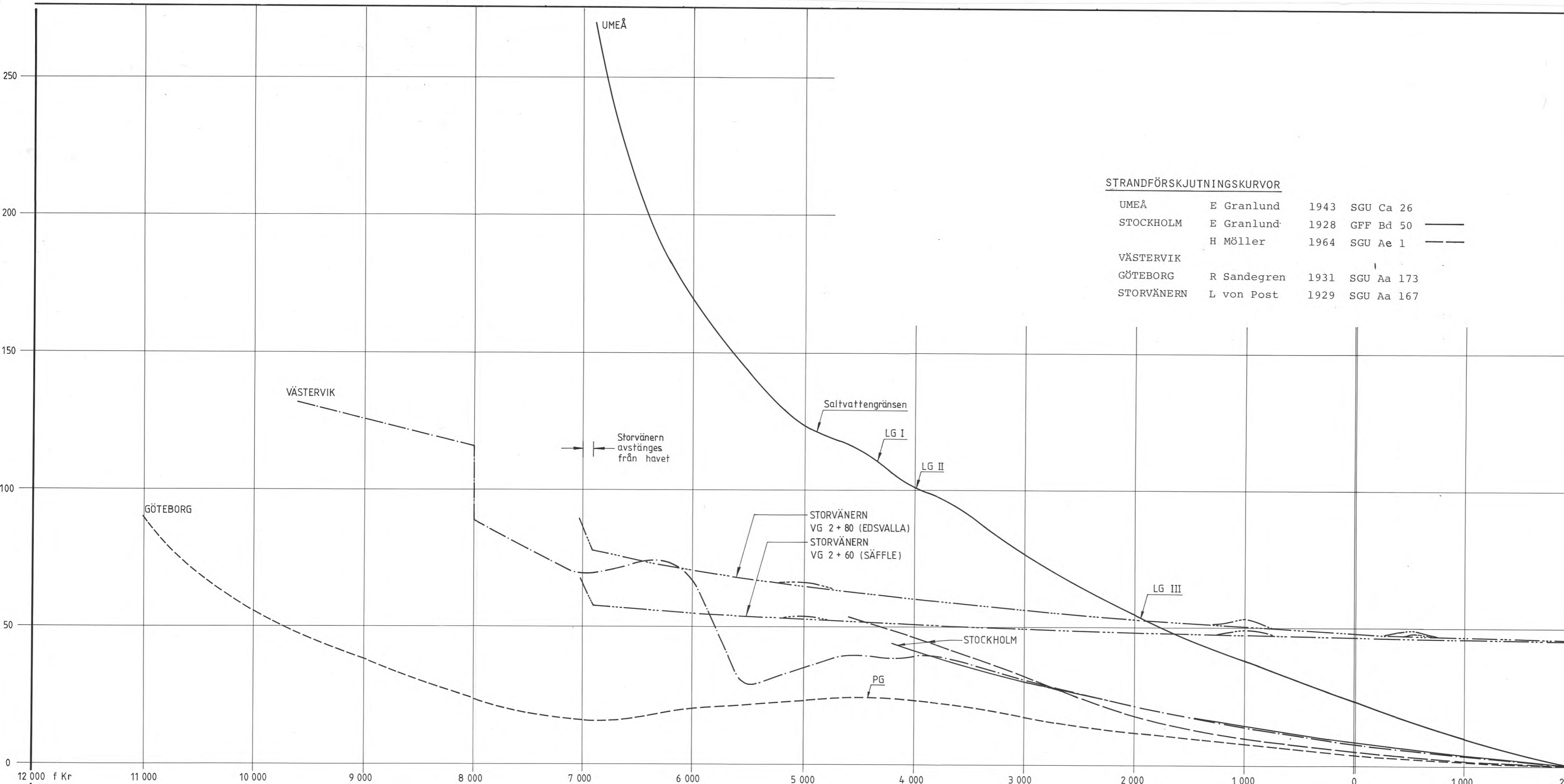
I sammanställningen visas strandförskjutningskurvor för de fem områden, Umeå, Stockholm (Haninge), Väster-  
vik (Gamleby), Säffle och Göteborg, för vilka i föregående avsnitt (7.1 och 8.2) visas hur teorin om överkonsoliderad lera kan tillämpas för lokalisering av denna. Av sammanställningen kan man direkt erhålla uppgifter om den aktuella platser.

Om man exempelvis skall insamla information om en plats vid Umeå belägen på nivån ca +100 finner man att

- . området nådde över havets yta ca 3 900 år f Kr
- . temperaturen var då betydligt högre än idag
- . nederbördsmängden var mindre än idag men ökade varefter den blev växlande
- . klimatet var då mestadels maritimt
- . Litorinahavet hade passerat sitt maximum (ingen transgression ägde rum i Umeå)
- . i fortfarande vattentäckta områden i umeåområdet sedimenteras den salta litorinaleran över sötvattenslera från Aclylustid
- . vid den aktuella tiden saknas sannolikt glaciärer i fjällen
- . björkskogen når mycket stor utsträckning i norr
- . skogsgränsen i fjällen når samtidigt ca 200 m över nuvarande gräns
- . arkeologiska tiden betecknas som kökkenmöddingtid i stenåldern.

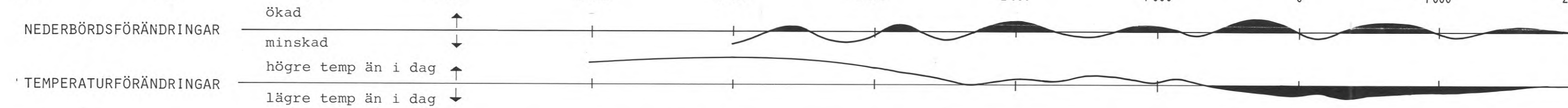
Av ovanstående framgår att sammanställningen i bilagan även kan utnyttjas för lokalisering av skredbenägna områden (saltvattengräns) och lokalisering av boplatser inom arkeologin.





**STRANDFÖRSKJUTNINGSKURVOR**

UMEÅ	E Granlund	1943	SGU Ca 26
STOCKHOLM	E Granlund	1928	GFF Bd 50
	H Möller	1964	SGU Ae 1
VÄSTERVIK			
GÖTEBORG	R Sandegren	1931	SGU Aa 173
STORVÅNERN	L von Post	1929	SGU Aa 167



**NEDERBÖRD OCH TEMPERATUR**

ÄLDRE DRYASTID	ALLERÖDTID	YNGRE DRYASTID	SUBARKTISK TID	BOREAL TID	ATLANTISK TID	SUBBOREAL TID	SUBATLANTISK TID			
tundraklimat	Klimatet kallt, ringa nederbörd	Relativt torrt och varmt ("arktisk värmetid")	Kallt och torrt klimat Nordliga vindar från isen	Stigande temperatur	Semiartrort havsklimat Relativt ringa molnighet Visna insjöar utvecklade	Högt grundvattenstånd Medförde visna insjöars större eller mindre nederbörd "atlantiska transgression"	Mestadels kontinentalt klimat, hög sommartemperatur (2-30 högre än nu) Ökad vinternkyla och relativt stor snömagasinerings- och vinternvattenstund. Under försurnings-skedena högt grundvattenstånd och låg avdunstning.	Stark försurning Starkt "Graben"-horizont	Stark försurning Starkt "Graben"-horizont	Mestadels maritimt klimat med hög sommar-derbörd och låg temperatur
BALTISKA ISSJÖN			YOLDIA HAVET	ANCYLUSJÖN	LITORINA HAVET	LIMNEAHAVET				
Baltiska issjön äldre delen			Rhadonemahavet (enl Thomasson)	Gyrosigma-sjön (enl Thomasson)	Echeneis-havet (enl Thomasson)	"AG" Anclussjöns transgressionsgräns i söder (C 14) "Svea älv" i Mellansverige	"LG" Littorinahavets högsta gräns (C 14)	Ramsays stenålders transgression		
GOTIGLACIAL TID			FINIGLACIAL TID		POSTGLACIAL TID					
Landisen försvinner från södra Sverige			Baltiska issjöns tappning vid Billingen Mellansvenska ändmoränerna bildas		Landisen försvinner från nordligaste Sverige					
XII			XI		X					
II			III		I					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V		VI					
VII			VIII		IX					
X			XI		XII					
I			II		III					
IV			V							

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 770186-8 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Tyréns Företagsgrupp,  
Stockholm

R128: 1979

ISBN 91-540-3128-1  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700028

Abonnemangsgrupp:  
V. Anläggningsteknik

Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
Box 7853  
103 99 Stockholm

Cirkapris 30 kr exkl moms





○ Isaksvägring

◌ Sedimentutberg

◌ Ruvområde

● Åmarnsånkan

✕ Lagringens möjlighet  
bedömd som  
osäker efter  
reviseringsgång  
Ortut har  
Wq04t

Malmöhus  
+  
Kristianstad  
län

MALMO KOMMUN  
med FÖRSAMLINGAR

4 Sankt Pauli 16 Sofielund  
5 Sankt Johannes 17 Ekshävt  
6 Mellervägen 18 Kullstall  
9 Västra Sörvinge

BLADINDELNING

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3
7650	7700	7750	7800	7850	7900	7950	8000	8050	8100	8150	8200	8250	8300
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38