

**Rörelser och instabilitet i den svenska
berggrunden**

Nils-Axel Mörner

Stockholms Universitet 1977

RÖRELSER OCH INSTABILITET I DEN
SVENSKA BERGGRUNDEN

Nils-Axel Mörner
Stockholms Universitet 1977

Denna rapport utgör redovisning av ett arbete som utförts på uppdrag av KBS. Slutsatser och värderingar i rapporten är författarens och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med uppdragsgivarens.

I slutet av rapporten har bifogats en förteckning över av KBS hittills publicerade tekniska rapporter i denna serie.

PREFACE (from p. 1) and SUMMARY (from p. 13–14)

PREFACE

First we threw garbage into the forest and believed that it hid everything and that no damage was made. Later we drained sewer water and chemicals into lakes, rivers and the sea and believed that it disappeared in this "enormous" recipient – it costs millions every year now to try to restore better limnic and marine environments. We are now facing the final decision of storing nuclear waste in the bedrock under the prospect that the bedrock is "stable". The principle to hide and forget goes on but with all the more terrible material: from garbage in the forest, via sewer and chemicals in rivers, lakes and the sea, to nuclear waste in the bedrock. Of course, it is madness to put nuclear waste in containers in the bedrock, seal off and believe that nothing happens with the containers during centuries and millennia to come.

Like in the case of the Vietnam war, the problem can be tackled in two ways:

- (1) directly emotionally – then the answer must be that it is madness, or
- (2) via political/technical evaluations (where the key point almost immediately is pushed aside) – then the answer may be both positive and negative.

It is quite clear that it is basically madness to put nuclear waste into the bedrock – in order to hide and forget. As we, however, seem to live in a world that to a great extent is ruled by madness, I will give an objective geological evaluation of the Swedish bedrock and its movements during the last 20,000 years, which may serve as a base for further evaluations of the possibilities of storing nuclear waste in the bedrock.

Parts A–G (p. 2–13): not translated

H: SUMMARY

- (1) The Swedish bedrock is by no means "stable". Like all other bedrocks it is unstable.
- (2) The Swedish bedrock has an old and rich tectono-geodynamic inheritance.
- (3) The total uplift is about 830 m, 725 m of which is caused by the parabolic purely glacial isostatic factor, which died out some 2000–3000 years ago (the asthenosphere restored its old position).
- (4) The maximum momentary rate of uplift reached 50–5 cm/yr during a short period at around the time of deglaciation or the end of the Younger Dryas Stadial.
- (5) The linear factor in the uplift seems to have been induced at about 8000 BP and be caused by global cyclic changes of the geoid. The bend in the West Coast shoreline profile was formed by this change.

- (6) Irregularities in the uplift in the form of shoreline bends and isobase irregularities have been established with ancient shorelines and geodetic data. They are in general all related to major faultlines and bedrock seams.
- (7) Faulting, fracturing and seismic activity was shown to be linked to the deglaciation period (the maximum rate of uplift) and to be fairly frequently occurring.
- (8) Major faultlines are generally related to old weak zones. Small faultlines (up to 2 m vertical displacement) and fracturing of the bedrock surface, on the other hand, are totally independent of these zones.
- (9) Bouldery end moraines and bouldery ground in general register paleoseismic activity - (these areas must hence be excluded as alternatives for storage of nuclear waste in the bedrock).
- (10) No extrapolation of presently measured mean values (e.g. for the seismic activity during the last decades) and no future predictions at all can be made beyond the next ice age.
- (11) The next ice age is either on its way or it will, under the most favorable circumstances, have begun 20,000 years from now (AP).
- (12) At the next ice age, all the seismic and neotectonic effects from the deglaciation period will be repeated.
- (13) During an ice age, nuclear waste cannot be stored in the bedrock.
- (14) The linear uplift factor is at each cyclic turning point likely to be linked to the same effects as those which were recorded for the period of about 8000 BP (and maybe also those linked to the peak rates in the uplift).
- (15) If one succeed in finding a Precambrian bedrock unit within an area of smooth uplift, absence of recent earthquakes, the bedrock surface of which shows few fractures and no faultlines, and where the surroundings exhibit normal moraine features and normal till composition, this area must still be evaluated with respect to that which will happen and may happen in connection with the next ice age and in connection with the cyclic gravitational changes in the present linear uplift.

RÖRELSER OCH INSTABILITET I DEN SVENSKA BERGGRUNDEN

geo-arv, landhöjning, oregelbundenheter, senglacial tektonik/seismisitet, framtidsutsikter

av

Nils-Axel Mörner

FÖRORD

En gång kastade man skräp i skogen och trodde att skogen dolde allt och att ingen skada skedde. Senare släppte man ut avlopp och kemikalier i sjöar, floder och hav och trodde att det försvann i denna "enorma" recipient - nu kostar det miljoner varje år att försöka återskapa bättre limniska och marina miljöer. Nu står vi inför beslutet att stoppa radioaktivt kärnbränsleavfall i berget under förespeglingen att berget är "sabilt". Principen att gömma och glömma går vidare fast med allt ohyggligare material: från skräp i skogen via avföring och kemikalier i floder, sjöar och hav, till radioaktivt avfall i berg. Sjävfallet är det vanvettigt att stoppa kärnbränsleavfall i kapslar i berget, sluta till och tro att inget händer med kapslarna under kommande århundraden och årtusenden.

Liksom i frågan om Vietnamkriget, kan problemet tacklas på två sätt:

- (1) direkt emotionellt - då måste svaret bli att det är vanvettigt, eller
- (2) via politiska/tekniska bedömningar (där kärnfrågan nästan genast skjuts åt sidan) - då kan svaret bli både positivt och negativt.

Att det i grunden är vanvett att stoppa radioaktivt avfall i berget - för att gömma och glömma - framstår helt klart. Emellertid, lever vi ju i en värld som i hög grad tycks styras av vanvett. Jag skall därför ge en saklig geologisk bedömning av det svenska urberget och dess rörelser under de senaste 20.000 åren, vilken kan tjäna som underlag för kommande bedömning av förutsättningarna för förvaring av kärnbränsleavfall i berggrunden.

A: BAKGRUND

(1) AKA-utredningen, Seismisk riksanalys, etc.

AKA-utredningen ger en mycket dålig, för att inte säga oförskämt dålig, bild av det svenska urberget, dess rörelser och förutsättningar som förvaringsplats för kärnbränsleavfall. Redan efter några månader efter dess slutförande tvingas man ju sammankalla experter för separata bedömningar (varav en är denna rapport).

Man påstår att den svenska berggrunden "sedan flera hundra miljoner år varit stabil" (SOU 1976:30, s. 62) och använder sedan denna förmenta stabilitet som argument på en mängd platser i utredningen. Man konstaterar t.ex. vad gäller grundvattenytan i berget att "Berggrundens stabilitet gör att det inte kommer att förändra sig i avgörande grad under förvaringstiden" (op. cit., s. 64). Man konstaterar också att "Denna stabilitet utgör därför grundförutsättningen för en tillsynsfri slutförvaring i berg" (op. cit., s. 63).

Men är verkligen berggrunden stabil? Och hur mycket instabilitet kan man tolerera? Som geolog måste jag konstatera att något stabilt berg inte existerar och att den svenska berggrundens stabilitet är en myt som omgående måste avlivas (jfr. Mörner 1977a). Vi måste i stället tala om berggrundens instabilitet, där det svenska urberget dock generellt är mycket mindre instabilt än t.ex. det circumpacifiska-mediterrana tektoniska bältet.

Framtidsprognoser och extrapolerade medelvärden ges vanligen för kommande 100.000 år eller 1 milj. år i såväl AKA-utredningen som i Seismisk riksanalys. Detta är grovt osakligt.

Inga idag uppmätta processer kan extrapoleras in i framtiden längre än till nästa istid, vilken antingen redan börjat (ca. 500 f.Kr.) eller under alla omständigheter är ett faktum om 20.000 år. Prognoser över längre perioder måste utgå (de tjänar bara till att lura dem som skall bedömma frågan).

(2) Geologisk bakgrund

Den svenska landhöjningen har studerats under en lång tidrymd. Emellertid är det först under den senaste 10 års perioden som en mer detaljerad bild kunnat ges tack vare (1) C14-metoden (datering), (2) den repeterade precisionsavvägningen, (3) instrumentutvecklingen, och (4) data tekniken. Undertecknad gav 1969 (Mörner 1969, 1972) en detaljerad bild av landhöjningen på västkusten varvid oregelbundenheter och brottzoner etablerades. Detta har sedan legat till grund för utformningen av programmet för Sektion B av Svenska GDP. Det svenska GDP-B projektet som kallats "Postglacial Earth Movements" har pågått sedan 1973 (se Mörner 1975). Fig. 1 visar Sektionens satsning inom strandlinjeprofiler (A), berggrundssömmar och förkastningslinjer i södra Sverige (B) och fyra test områden i zoner med oregelbunden landhöjning (se Mörner 1975, 1977b; Ekman 1977). En intensiv data sammanställning/sammanfattning har gjorts under våren och sommaren 1977 (Mörner 1977a, c-e).

B: TEKTONO-GEODYNAMISKT "ARV"

Lika befängt, som att påstå att berggrunden är stabil, är det att tro att dagens rörelser bara är ett resultat av sista istidens sista maximum. Vår berggrund har ett mycket gammalt tektono-geodynamiskt arv, där skeende lagts till skeende i en naturlig följd och där det ackumulerade geologiska arvet alltid gjort sig gällande.

Vår berggrund kan sägas bestå av en serie prekambriska plattor av helt olika ålder, vilka genomslås av olika intrusiva bergarter och vilka delats upp av förkastningstektonik (inklusive horstar och gravsänkor), och vilka fogats samman med "berggrundssömmar" (Fig. 2a). Djupstrukturer syns endast delvis i ytstrukturerna. Den olikformiga fördelningen av massa framgår av tyngdkraftskartan (Fig. 2b). Dagens pågående landhöjning, liksom den som registrerar i den gamla fornstrandlinjernas höjd och lutning, har influerats av berggrundens oregelbundenheter (Fig. 2c). Spänningarna i berggrunden har ett gammalt och komplext ursprung (se arbeten av Hast). Lineamenten i ytan registrerar likaledes en komplex och lång utveckling (en specialutredning av lineamenten i Sydsverige ges av Lagerlund och Rösshoff).

Det ackumulerade tektono-geodynamiska "arvet" kan sammanfattas i följande huvudskeden:

- (1) Prekambrisk orogenes och plattektonik med intrusioner och förkastningar.
- (2) Kaledoniska fjällkedjan bildas i samband med att den amerikanska och euroasiatiska plattan kolliderar.
- (3) Oslofältets tektonik i Perm-tid med "triple-junction" fortsättning till Skotland och Dansk-polska tråget, med sidogren som ansluter till Rhengraven.
- (4) Jura-Krita tektoniken med vulkanism och horstbildning i Skåne i relation till den Sydsvenska berggrundssömman och dess förlängning till Ober Rhein-Altmarker graven (med extra höga heat flow värden idag).
- (5) Höjning av det Dansk-polska tråget i Mesozoisk och tidig Cenozoisk tid.
- (6) Höjning av Kaledoniderna från och med mellersta Cenozoicum (Miocene).
- (7) Kvartära landsänkningar/landhöjningar i samband med istider/icke-istider.

Även om de "postglaciala jordskorperörelserna" dominerats av den glacial-isostatiska landhöjningen, har det geologiska arvet alltid gjort sig gällande och kan t.o.m. vara dominant nu (Mörner 1975, 1977b).

C: DEN SVENSKA LANDHÖJNINGEN

Efter den senaste interglacialen för ca. 120.000-130.000 år sedan, växlade klimatet mellan varmare och kallare perioder (interstadialer/stadialer). Minst 3 stora glaciationer förekom (Fig. 3). Det sista glaciationsmaximum inföll för ca. 20.000 år sedan. Den inlandsis som då täckte Fennoscandien var minst 3 km tjock. Under trycket från denna ismassa sjönk berggrunden med ca. 1/3-1/4 av istjockleken.

Tack vare gamla fornstrandlinjer kan landhöjningen efter isavsmältningen registreras i detalj. Emellertid började landhöjningen långt innan centrum (för höjningen) blivit isfritt. Genom att bestämma strandlinjernas gradient och ålder och korrigera för eustasi och C14-variationer har det varit möjligt att beräkna den totala landhöjningen, dess storlek och hastighet (Mörner 1977c) och därmed dess orsak (Artyushkov, vid diskussioner i samband med rheologi/isostasi symposiet i Stockholm, Augusti 1977). Fig. 4 ger läget av tre profiler över det fennoscandiska landhöjningsområdet, Fig. 5 motsvarande landhöjnings profiler, Fig. 6 landhöjningskurvor från landhöjningscentrum ut till landsänkningscentrum i Nordsjön, och Fig. 7 slutligen 100 m contourer för den totala landhöjningen. Den totala landhöjningen är ca. 830 m, varav den största delen (nära 2/3) skett medan is ännu täckte området.

Landhöjningsberäkningar som bara tar hänsyn till den landhöjningsdel (ca. 1/3) som syns i strandlinjedata blir alltså grovt felaktiga. Detta gäller även beräkningar av landhöjningshastigheter och s.k. relaxationstider.

I denna analys av den totala landhöjningen (Mörner 1977c) har ingen korrektion gjorts för eventuell geoid-eustasi (Clark 1976, Clark & Farrell 1976, Mörner 1976), eftersom denna dels är helt hypotetisk och dels för de svenska förhållandena enligt fältdata bevisligen inte kan haft större betydelse (se: det jämna fallet av marina gränsen, den succesiva strandförändringen och den perfekta matematiska relationen mellan strandlinjegradiënt, gradiënt för marina gränsen, isrecessionshastighet landhöjning över hela södra Sverige; Mörner 1977d, II, Figs. 1-3, Tab. 1).

I Figs. 8-10 har den totala landhöjningen omräknats till momentan landhöjningsintensitet i mm/år för landhöjningscentrum (Fig. 8), för tre olika punkter utmed ostkusten (Fig. 9), samt för västkusten (Fig. 10). Längs ostkusten nås toppvärden på 5-50 cm per år, medan västkusten visar oregelbundenheter som följer isavsmältningens kall och varm skeden. Sekundära effekter i form av neotektonism har visat sig vara associerade med maximaltopparna i landhöjningshastigheten (punkt F; Mörner 1977e). Fig. 8 ger en relaxationstid av bara 900 år.

Ovan angivna data för den totala landhöjningen och den momentana hastigheten är helt nya (Mörner 1977c, e). De bevisar (enligt Artyushkov, vid rheologi/isostasi symposiet i Stockholm, augusti 1977) förekomsten av en astenosfär med låg viskositet under lithosfären (jordskorpan) vilken under trycket av ismassorna genom horisontella flöden tvingades ut mot glaciationsperiferien.

Om man jämför det erhållna totalvärdet av 830 m för landhöjningen med Niskanens (1943) beräkningar av landhöjningen vid olika radie, Moho-djup och istjocklek (och justerar hans värden för radie och Moho-djup till nu kända värden) så bör (1) den glacial-isostatiska landhöjningen vara avslutad om landisen varit 3000 m tjock eller mindre, eller (2) landisen ursprungligen varit betydligt över 3000 m tjock om glacial-isostatisk landhöjning ännu fortgår (jfr. punkt D).

D: LANDHÖJNINGENS "DUBBEL-NATUR"

För att kunna jämföra den landhöjning som man idag uppmöter med geodetiska instrument och

vattenståndspeglar (Fig. 2c) och den landhöjning som fornstrandlinjernas lutning och höjdlägen vittnesbörd om, räknade jag om alla strandlinjedata till medel-landhöjning i mm/år (Mörner 1973, 1975, 1977b). Det visade sig att strandlinjedata och pågående landhöjningsvärden helt överensstämmer för hela Sverige söder om Dalälven (norr om Dalälven ligger dagens värden under dem man erhåller från geologiska och arkeologiska/historiska källor). Analysen gjordes i två steg, först analyserades västkust-data (Mörner 1973), och senare då den nya ostkustprofilen förelåg (som ett led i GDP-B satsningen) analyserades dessa data (Mörner 1975, 1977b).

Strandlinjedata från västkusten påvisade att landhöjningen försigått mycket jämnt och regelbundet under de sista 7700 åren. Därför valdes detta tidsavsnitt för en specialanalys. Mina PTM-strandlinjer (Mörner 1969) - kalibrerade för eustasi och C14-variationer - omräknades till linjer landhöjning i mm/år över en distans av 350 km och jämfördes med dagens geodetiska data (inklusive pegeldata). Härvid framkom något helt nytt. Landhöjningen visade sig bestå av två helt olika delar: (1) en faktor som paraboliskt dör ut med tiden och vars landhöjningsaxel kontinuerligt förskjutits inåt, och (2) en faktor som följt linjärt åtminstone under de sista 7700 åren och vars tilt-axel legat konstant (Mörner 1973, 1973b). Detta illustreras av Fig. 11. Den paraboliska faktorn följer ett typiskt glacial-isostatiskt mönster. Den visade sig vara så gott som avslutad. Den linjära faktorn, å andra sidan, har ett osäkert ursprung. Den orsakar dagens landhöjning. Jag angav (1973, 1973b) att den linjära faktorn hade ett osäkert ursprung, men benämnde den preliminärt "old tectonic force". Man har tyvärr hängt upp sig på benämningen - i rädsla för tektoniska krafterns ökade fara för kärnavfallsförvaring i berggrunden - och glömt att denna var preliminär och inom citationstecken (se nedan, samt Bjerhammars rapport).

I och med etablerandet av ostkustprofilen kunde denna analys utvidgas till att innefatta även området för maximal landhöjning. Ostkustprofilen visar en jämn och kontinuerlig landhöjning ända från deglaciationsdata. Strandförskjutningskurvor ritades för olika platser längs profilen och kalibrerades för eustasi och C14-variationer, så att de angav den absoluta landhöjningen i meter i förhållande till dagens havsytta. Dessa kurvor omräknades sedan till medellandhöjning i mm/år och kombinerades med de geodetiska data. Kurvorna i mm/år visar klart landhöjningens dubbla natur: (1) en paraboliskt avtagande faktor, och (2) en linjär faktor som överensstämmer med den idag pågående rörelsen (Fig. 12). Den paraboliska faktorn upphörde för ca 2000-3000 år sedan inom de centrala delarna och allt tidigare utåt periferin. Den linjära faktorn är synnerligen väl belagd inom Stockholmsområdet tack vare dess rika information of strandlinjelägen (geologiska, arkeologiska, historiska, biologiska, etc.). Fig. 13 visar strandlinjedata från Stockholm för de sista 3200 åren (Mörner 1977d).

För att kontrollera metoden och jämföra med andra glaciationsområden, gjorde jag samma analys för strandlinjedata från Storbritannien (Skottland, Cumberland), Baffin Island i norra Kanada och Island: alla dessa visade avsaknad av den linjära faktorn.

De dubbla faktorerna i det svenska landhöjningsmaterialet är en realitet som inte kan bort-

förklaras utan att man gör våld på fältdata (så t.ex. i Bjerhammars analys).

Ostkustprofilens data har i Fig. 14 uttryckts i medellandhöjning i mm/år för varje 1000 års linje. Diagrammet visar klart de dubbla faktorerna: (1) en typiskt glacial-isostatisk faktor som paraboliskt avtar med tiden och dör ut för ca. 2000-3000 år sedan och vars landhöjningsaxel kontinuerligt förskjutits inåt centrum, och (2) en linjär faktor som orsakar dagens landhöjning och vars tilt-axel hela tiden legat konstant. I Figs. 15 och 16 har de två faktorerna separerats. Den linjära faktorn täcker ett mycket stort område av nordeuropa: den linjära höjningen i Sverige övergår söderut i linjär sänkning i Nordsjön (med 0,4 mm/år i Holland från 7700 BP) och norrut i linjär höjning som når ända till Spetsbergen (4,7 mm/år vid Kong Karlsland och 4,0 mm/år vid Hopen). Den linjära faktorn har alltså inte alls samma utbredning som den paraboliska faktorn.

Den linjära faktorn har ett osäkert ursprung. Om det linjära förloppet (under minst 7700 år) tycks antyda tektoniskt ursprung, så förbjuder hastigheterna extrapolation bakåt över längre tidsperioder (1 cm/år skulle ge 10 km på 1 milj. år). Den geografiska utbredningen visar nära samband med istäckets utbredning under olika faser av sista istiden, samt även samband med den klart glacial-isostatiska faktorn, vilket tycks antyda att även den linjära faktorn har ett isostatiskt ursprung. Den linjära faktorn har inte kunnat identifieras bortom 8000 BP och den tycks ha börjat strax före PTM-2 strandlinjen för 7700 år sedan (mellan 8000 och 7700 BP). Detta tycks antyda ett cykliskt gravitativt ursprung. Nedan summeras därför några av möjliga förklaringarna till den linjära faktorns ursprung:

- (1) En funktion av balansen mellan Dansk-polska träget (höjt i tidig Cenozoisk tid) och Kaledoniderna (höjda i sen Cenozoisk tid) eftersom strandlinjedata från Krita-tid och tidig Tertiär-tid tycks lita i motsatt riktning mot fornstrandlinjerna från postglacial tid.
- (2) En effekt av den atlantiska och/eller afrikanska-europeiska platt-tektoniken.
- (3) En tektonisk rörelse lik den som uppmätts i södra Ryssland (och som når samma hastigheter).
- (4) En "ackumulerad" glacial-isostasi från äldre faser av den långa Weichsel Glaciationen p.g.a. ofullständig isostatisk utjämning under de varma interstadialerna som bara varade högst 10.000 år (se Fig. 3).
- (5) Glacial-isostatisk utjämning av en lagrad skorpa-övra mantel i enlighet med vad Ramberg's (1968) experiment-modeller antyder, och vilka även är applicerbara på Artyushkov's (1966) astenosphere/perisphere lagring.
- (6) Glacial-isostatisk landhöjning med skenbar dubbel-natur p.g.a. lokala geoid effekter av den smältande landisen så som diskuterats av Clark (1976) och Farrell & Clark (1976).
- (7) En cyklisk geoid förändring inducerad ca. 8000 BP och orsakad av kärna/mantel förändringar i enlighet med påvisade cykliska geoid-eustasi under holocene tid, den geomagnetiska intensitets cykeln och den atmosfäriska C14-produktion cykeln (Fig. 18).
- (8) En lokal geoid förändring i relation till den snabba öppningen av Hudson Bay området för ca. 8000 år sedan med motsvarande snabb glacial-eustatisk havsytehöjning.

Alternativ 1, 2, 3 och 6 tycks kunna avskrivas (av skäl som delvis angetts ovan). Alternativ 8 bör endast i kombination med 7 kunna ge upphov till den linjära faktorn. Tre viktiga alternativ kvarstår alltså; 4, 5 och 7.

Alternativ 4 och 5 är relaterade. Geofysikerna ger oss två modeller för glacial-isostasi: "a uniform viscous mantle" eller "a thin fluid channel". En kombination av dessa kan även tänkas. Artyushkov (1977) har visat att astenosfären är inhomogen. Peltier (1977) har visat att man inte kan vänta sig en utan flera relaxationstider av olika längd. Såsom Ramberg (1968) visat ger en lagrad mantel-skorpa ett komplext isostatiskt förlopp. Som vi vet har sista istiden innefattat minst 3 stora glaciationsfaser (Fig. 3) med korta varmare perioder emellan. Man måste därför vänta sig ett mera komplext isostatiskt förlopp än bara ett paraboliskt utdöende (efter 6000-7000 år). Det finns alltså orsaker till "dubbel-natur" i det isostatiska förloppet. Den paraboliska faktorn visar ett typiskt glacial-isostatiskt förlopp som tycks orsakad av en låg-viskös astenosfär som snabbt rör sig inåt centrum och vars rörelser avslutats för ca. 2000-3000 år sedan. Den linjära faktorn kan sedan vara orsakad av isostatisk utjämning av lager av högre viskositet, t.ex. lithosfären själv. Den geografiska utbredningen av den linjära faktorn antyder att denna rörelse i så fall till stor del kan vara orsakad av äldre glaciationsfaser (t.ex. fas 1 för ca. 90.000 år sedan, vilken täckte större områden i norr - liksom den linjära faktorn gör).

Emellertid är den linjära faktorn något man inte återfinner inom andra glaciationsområden. Vidare är relaxationstiden för den isolerade paraboliska faktorn i god överensstämmelse med vad man erhåller annorstädes, medan den totala Fennoscandiska landhöjningen ger abnormt långa relaxationstider. Det totala beloppet av den isolerade paraboliska landhöjningen (830 m minus 105 m linjär komponent ger 725 m parabolisk komponent) överensstämmer väl med väntat totalbelopp för den Fennoscandiska landhöjningen (Niskanen 1943). Detta stöder åsikten om en avslutad glacial-isostatisk rörelse efter sista glaciationsmaximum för ca. 20.000 år sedan. Även ur denna synpunkt måste alltså den linjära faktorn (om den överhuvudtaget är glacial-isostatiskt relaterad) härröra från annat lager än astenosfären (t.ex. lithosfären) med mycket längre relaxationstid (ca. 10^4 - 10^5 år).

Om den linjära faktorn skulle ha haft ett glacial-isostatiskt ursprung från lager av hög viskositet måste den ha pågått under lång tid, kanske under 100.000 år, och under alla omständigheter, p.g.a. viskositeten, ha startat mycket jämnt. Emellertid ger tillgängliga data inget stöd för detta. Tvärt om tycks alla tillgängliga data antyda att den linjära faktorn inducerades relativt plötsligt mellan 8000 och 7700 BP och att detta, åtminstone för västkustprofilens del, innebar ändrad landhöjning: ett strandlinje-"knä" etablerades längs Hallandsåsens nordsida (norra horst gränsen) där landet lokalt sjönk (såväl i förhållande till området i NO som det i SV), landhöjningsaxeln förskjöts utåt (till skenbart stabilt läge), och en mycket jämn landhöjning vidtog. Ingenstädes kan den linjära faktorn spåras bortom 8000 BP; bakåt t.o.m. 7700 BP är den lätt identifierbar i västkustprofilen, i ostkustprofilen, i landsänkningen i Holland, i landhöjningen

i Spetsbergen, etc. Det finns alltså mycket som tyder på att den linjära faktorn kan ha börjat för ca. 8000 år sedan.

I Fig. 17 har den totala landhöjningskurvan för Varbergs-området analyserats i avseende på detta. Om man ignorerar smärre oregelbundenheter i den del som är äldre än 8000 BP (vilka härrör från variationer i glaciärvikt och vattenvikt, samt eventuellt även geoid-eustasi) så kan denna del uttryckas med en jämn parabolisk kurva (B) vilken dör ut ca. 2500 BP. För den yngre delen måste man då införa en linjär faktor (C) som inleds 8500-7700 BP och når linjärt förlopp f.o.m. 7700 BP. Med dessa två kurvor - den paraboliska (B) och den linjära (C) - förklaras hela det totala landhöjningsförloppet (A) inklusive landsänkning och strandlinjeknäet (horstens nordbegränsning reaktiveras) 8000-7700 BP (jfr. Fig. 11). Analysen i Fig. 8 visar samma resultat: en parabolisk faktor som dör ut (svart) och en linjär faktor som börjar ca. 8000 BP (pil-linje).

Om den linjära faktorn inducerats ca. 8000 BP, kan den inte vara relaterad till glacial-iso-stasin, utan måste vara orsakad av en global geoid förändring. Om alla eustatiska havsyttekurvor från olika plater på jorden analyseras (Mörner, e.g. 1976), visar det sig att dessa registrerar en cyklisk geoid-förändring vilken torde orsakats av den olika rotationshastigheten för kärnan och manteln och den olika effekten på dess av deglaciationen, havsyttestigningen och solståndsprecisionen, samt därmed på utformningen av kärna/mantel gränsen (koppling, topografi, strömmar, konvektion, etc.). Detta kan tyckas hypotetiskt, emellertid kan ändringarna i och omkring kärna/mantel gränsen avläsas i magnetfältets förändringar: det geomagnetiska fältet visar en identisk intensitets cyklisitet. Magnetfältets styrka i sin tur bestämmer ioniseringen i övre atmosfären och därmed C14 produktionen i denna: det är därför helt logiskt att C14-produktionen visar en med de två andra variablerna identisk cyklisitet. Detta framgår av Fig. 18 (Mörner 1977f). Från den globala geologiska-geofysiska informationen finns det alltså all anledning att vänta sig en drastisk gravitativ förändring omkring 8000 BP; en förändring som i så fall följer ett cykliskt förlopp.

Det förtjänas framhållas att en sådan cyklisk gravitativ förändring står i full överensstämmelse med det negativa gravitationsområde som Marsh & Marsh (1976) funnit över Fennoscandien, den negativa geoid som Bjerhammar (1977) funnit över östersjöområdet, och den relation mellan landhöjning och tyngdkraftdata som Balling (1977) påvisat. Vad som hänt är helt enkelt att de låga harmonics (någon eller några) som leder sitt ursprung till stora djup, påverkats av förändringarna omkring kärna/mantel gränsen. Cykliska geomagnetiska variationer av samma längd har även påvisats för äldre skeden (Petrova 1973). Det cykliska förloppet tycks kunna följas åtminstone under de senaste 130,000 åren (Mörner 1976, 1977f).

Personligen anser jag att en sådan gravitativ cyklisk förändring är den förklaring som passar bäst med tillgängliga data. Det är då av största intresse att känna till exakt vad som hände då denna faktor inducerades för omkr. 8000 år sedan, eftersom liknande effekter är att vänta i framtiden vid varje cyklisk "vändpunkt".

E: LANDHÖJNINGENS OREGELBUNDENHETER

Den Fennoscandiska landhöjningen förlöpte inte regelbundet utan visar starkt beroende av berggrundens strukturer, d.v.s. av det tektono-geodynamiska arvet. Ett kraftigt strandlinjeknä är väl-etablerat längs Hallandsåsens nordsida (horstens nordgräns) och dess förlängning ut i Kattegatt. Detta knä uppstod mellan 8000 och 7700 BP (Mörner 1969, s. 407) i samband med en reaktivering av landhöjningen (i och med att den linjära faktorn började). Böjningen längs detta knä fortsätter idag. Ett liknande strandlinjeknä etablerades senare (Mörner 1975) längs Ukne-Loftahammar förkastningen (på ostkusten). Även detta fortsätter idag (Mörner 1977b, Figs. 5-6). Isobasoregelbundenheter har etablerats längs Lygnern (en gammal förkastningslinje), längs Götaälv-dalen (en gammal berggrundssöm), vid Skånes SO-hörn (den stora berggrundssömmen genom Sydsverige), samt i Kattegatt mellan Sverige och Vendsyssel (strukturell gräns). Härtill kommer mindre väl belagda oregelbundenheter mellan Bornholm och Skåne, längs bergartssömmen i östra Blekinga, längs berggrundssömmen i Bohuslän, samt i Kålmården-området söder om Stockholm. Samtliga dessa oregelbundenheter kan även identifieras i det geodetiska materialet för den pågående landhöjningen (Fig. 2c). De är alltså fortfarande aktiva. Dessa strandlinjeknä och isobasoregelbundenheter motsvarar alla större förkastningslinjer och berggrundssömmar (Mörner 1975, 1977b).

Berggrundssömmen med tillhörande hyperit/förskiffringszon mellan de Pre-Svekofenniska och Gotiska plattorna genom Sydsverige är särskilt geodynamiskt aktiv (Fig. 19) och kan spåras i tyngdkraftskartan som ett negativt tråg (Fig. 2b), i teleseismiska P-vågorna, i jordskalvsfrekvensen, i värmeflödet vilket antyder förlängning av Oberrhein-Altmarker zonen med extra starkt värme flöde, i fornstrandlinjerna och i den repeterade precisionsavvägningen (Mörner 1977b). Redan 1929, ansåg sig von Post kunna påvisa stora oregelbundenheter inom Väner-basängen, vilket dock starkt ifrågasattes av andra forskare. Emellertid ger den repeterade precisionsavvägningen en mycket likartad bild (Fig. 20; jfr. Mörner 1977d, s. 20). För att studera detta i detalj, etablerades ett testområde inom GDP-B projektet över förkastningslinjen vid Visnum. Precisionsavvägning gjordes varje vår och höst. Erhållna resultat visar redan en signifikant oregelbundenhet just där förkastningslinjen korsas (Ekman 1977; se även Mörner 1977d, s. 21). Detta bevisar riktigheten i den förmodade höga geodynamiska aktiviteten utmen denna zone. Slutligen, anger de olika strandlinjegradiënterna i västkustprofilen och i ostkustprofilen att betydande vertikala rörelser måste ha skett längs denna markanta sydsvenska berggrundssöm.

Ostkustprofilen antyder oregelbundenheter inom Kålmården-området (leptit zonen). Inom detta område arbetade Florin under 40-talet. Hans strandförskjutningskurva (Florin 1944, Pl. 9) visar undulationer på många meters amplitud. Dessa undulationer (amplituden) står i diametral motsats till de små havsytasvängningar som, framförallt tack vare C14-metoden, kunnat bevisas för Syd-sverige (Mörner 1969, 1976; Berglund 1971; Diegerfeldt 1976). Efter revision och nödvändigt hänsyntagande till olika isobasläge, blir kurvan något mindre undulerande. Kurvan är dock fortfarande helt oförenlig med de sydsvenska resultaten. Om basdata inte är helt fel (och det bör de

inte vara efter revisionen) måste Florin's resultat i jämförelse med de sydsvenska resultaten visa att Kålmården-området har genomgått cykliska jordskorperörelser med en längd av ca. 1300 år och en amplitud av upp till 10-15 m. Dessa rörelser tycks vara unika för Kålmården-området och stå i samband med det speciella tektono-geodynamiska arvet inom denna zon.

I Fig. 21 har de olika områdena och linjerna med identifierad (fornstrandlinjer och/eller geodetiska data) oregelbunden landhöjning markerats. Dessa oregelbundenheter karaktäriseras av att de ännu är aktiva.

F: FÖRKASTNING, SPRICKBILDNING och SEISMISK AKTIVITET i relation till deglaciationen

Trots att den glacial-isostatiska landhöjningen slutade långt innan själva deglaciationen nåddes den högsta momentala hastigheten (maximaltoppen) vanligen vid deglaciationen eller i relation till slutet av den drastiska Yngre Dryas Stadialen (Figs. 8-10). Denna hastighetstopp nådde så höga värden som 50 cm/år i centrum och 5 cm/år i södra Sverige. Med sådana hastigheter och en så plötslig växling från ökande till avtagande hastighet måste berggrunden utsättas för mycket stora stress ändringar - så stora att man måste vänta sig att dessa utlöses i form av förkastningar, sprickbildning och seismisk aktivitet. Det är därför heller inte förvånande att man verkligen finner spår av sådana effekter, vilka är begränsade till tiden omkring de isostatiska topphastigheterna, d.v.s. vanligen deglaciationen (Mörner 1977e).

Enligt egna undersökningar under det senaste halvåret torde små-förkastningar i relation till deglaciationen (landhöjningsmaximum) snarare höra till regeln än undantaget i Sverige. Bara för en vecka sedan såg jag de vackert glacialpolerade berggrundsytorna utanför Stenungsund (i Bohuslän) vilka var uppbrutna i en mängd småförkastningar av upp till 0,5 m språnghöjd. Unga förkastningar har rapporterats av en rad forskare, t.ex.:

Madsen 1917	från Skåne
De Geer 1932, 1940	från Stockholm, och ett flertal andra platser
Du Rietz 1937	från Västerbotten
Bergsten 1943	från norra Östergötland
Kujansuu 1964	från finska Lappland
Feyling-Hanssen 1966	från Sydnorge
Lundqvist & Lagerbäck 1976	från Norrbotten
Lagerbäck 1977	från Norrbotten-Västerbotten
Lagerlund 1977	från Kullen i Skåne
Mörner 1977d, 1977e	från olika platser i Sverige
opublicerat (Mörner 1977e)	från norra Vättern (Fig. 22)

Dessa förkastningar tycks nu samtliga vara döda och tycks alla ha uppstått i anslutning till deglaciationen (isostatiska maximalhastigheten). Om de stora förkastningarna generellt kan sägas vara knutna till gamla svaghetszoner (det tektono-geodynamiska arvet), så är små-förkast-
helt obundna till dessa (och förekommer alltså även i de s.k. urbergsplintarna, där de kanske t.o.m. är vanligast förekommande).

Den svenska berggrundsytan är vanligen mycket starkt uppsprucken trots att den samtidigt

är mycket väl eroderad/polerad av landisen. Denna uppsprickning måste ha skett i anslutning till deglaciationen och den maximala landhöjningsintensiteten som en orsak av de därvid ändrade stressförhållandena i berget och/eller rena jordbävningar (Mörner 1977e). Den generella förändringen i sprickfrekvens vid ca. 100-200 m djup torde ange det ungefärliga djup till vilket majoriteten av dessa sprickor når. Exempel från Bjärehalvön, Stockholmstrakten och norra Uppland diskuteras nedan.

På Bjärehalvön är berggrunden så starkt uppsprucken - även under bottenmorän - att den med framgång kan brytas med spade och spett. Denna uppsprickning måste ha skett i samband med isavsmältningen: inte före eftersom de lösa berggrundsdelarna inte rubbats och inte långt efter eftersom de täckande ismarginala avlagringarna är opåverkade.

I Stockholmstrakten är berggrundsytan mycket starkt uppsprucken (i större enheter än på Bjärehalvön) fastän ytan samtidigt är mycket väl eroderad/polerad av landisen (räfflor, stötsidor, etc.). De nu lösa blocken kan förstås inte ha existerat då landisen täckte området. Eftersom de proglaciala finsedimenten inte påverkats av uppsprickningen, kan denna dateras till tiden alldeles omkring avsmältningen, d.v.s. inom några 10-tal år när. Två delområden har special-studerats (Mörner 1977e, 1977d); dels vägsjärningar öster om Stockholm (väg 228) vilket område frismälte för ca. 9980 år sedan, och dels Bromma-området vilket frismälte för ca. 9935 år sedan.

Vägsjärningarna öster om Stockholm visar en starkt uppsprucken berggrund (Fig. 23) där lösa block förekommer rikligt och där vissa sprickor är sedimentfyllda. Denna uppsprickning måste ha skett just framför iskanten.

Bromma-området karaktäriseras av mycket blockrika ändmoräner (De Geer 1932, 1940). Jätt stora block utan praktiskt taget någon som helst glacialerosion förekommer rikligt. Dessa torde högst ha transporterats något 10-100-tal meter. Några av dessa block har en glacialeroderad/ /glacialpolerad yta, vilken uppenbarligen representerar den gamla berggrundsytan innan blocket blev lösbrutet och inkorporerat i ändmoränsackumuleringen (Fig. 24). Uppsprickningen måste här ha skett delvis under isen men endast strax innanför iskanten eftersom ändmoränstråket börjar mycket plötsligt vid israndläget för 9942 år sedan. Fig. 25 ger en skiss av hur uppsprickningen i Stockholms-trakten måste ha skett, där vägsjärningen (228) representerar situationen just utanför iskanten och där Bromma-området representerar situationen omkring och strax innanför iskanten (se vidare nedan, samt Mörner 1977e, 1977d).

Stephansson & Ericsson (1975) beskrev horisontella sedimentfyllda sprickor från norra Uppland, vilka de p.g.a. pollenanalys och kompaktion ansåg bildade före sista glaciationsmaximum. Emellertid tillåter inte pollenanalys och kompaktionen någon sådan slutsats om åldern (vilket även framhölls av flera forskare vid Earth Rheology and Late Cenozoic Isostatic Movement symposiet i Stockholm, augusti 1977). Tvärt om, torde de vara bildade på samma sätt som de ovan beskrivna, d.v.s. omkring isavsmältningen.

Denna typ av uppsprickning med ett klart samband till deglaciationen har nu visat sig vara

synnerligen vanlig över hela landet. Den har även identifierats inom det noramerikanska nedisningsområdet.

Enligt De Geer (1940) var Bromma-moränerna ett resultat av direkta jordbävningar med centrum inom detta område. Ändmoränområdet täcker ett elliptiskt fält om ca. 3 x 12 km vars utsträckning helt saknar relation till deglaciationsförloppet. Ändmoränerna är onormalt stor och blockrikedomen är också onormal i förhållande till den ringa halten finmaterial och till moräntäcket överhuvudtaget i trakten. I Nockebyskogen finns en 120 m lång och 1-2 m hög berggrundsstruktur som kan representera en förkastning från deglaciationstiden. Att ändmoränerna bildats vid isavsmältningen p.g.a. en relativt plötslig uppsprickning av berggrunden torde vara helt klart, men om denna orsakats av rena stressändringar eller/och av jordbävningar är förstås svårt att avgöra. De Geer benämnde dessa moräner "seismiska moräner" (De Geer 1940). Plötsligheten i uppsprickandet (det började i Brommatrakten i.o.m. varv 9942 BP) antyder seismisk aktivitet - och en sådan aktivitet är inte att förvåna sig över med tanke på landhöjningens toppintensitet av 15 cm/år här.

Liknande ändmoränansamlingar finns t.ex. kring Åråsviken på Vänerns östra strand - just väster om den stora förkastningslinjen som ännu i dag visat sig geodynamiskt aktiv (Fig. 26; Mörner 1977d, s. 21) och där recenta jordskalv är koncentrerade. Ett annat ändmoränsrikt område finns i Norrbotten - ett annat område som utgör centrum för recenta jordskalv och inom vilket stora förkastningar nyligen beskrivits (e.g. Lagerbäck 1977).

Det är alltså möjligt, för att inte säga högst troligt, att blockrika ändmoräner är ett tecken på seismisk aktivitet vid deglaciationen. (Normala deglaciationsmoräner förekommer givetvis också men dessa har en mer normal födelning mellan block och finmaterial). Genom att kartlägga dessa - blockrika ändmoräner och blockrik terräng överhuvudtaget - kan man alltså få en bild av paleo-sismiciteten från deglaciationstiden. En sådan kartering har påbörjats.

Akustoseismisk profilering (maringeologiska avdelningen vid geologiska institutionen i Stockholm) i norra Vättern har visat förekomst dels av stora skred och dels av förkastningar av upp till 20 m språnghöjd (Fig. 22) vilka påverkat glacialeran men inte den postglaciala leran. Aktiviteten är alltså här klart relaterad till tiden just efter deglaciationen (troligen till slutet av Yngre Dryas Stadialen). Kombinationen förkastningar och skred antyder ren seismisk aktivitet.

G: PALEOKLIMAT och FRAMTIDA KLIMAT

Vi vet att den paleoklimatiska utvecklingen följt regelbundna växlingar mellan kallare och varmare skeden. Varje skede varade i ca. 10.000-12.000 år. Den sista interglacialen började ca. 130.000 BP och slutade antingen ca. 118.000 BP eller ca. 96.000 BP. Därom tvistar paleoklimatologerna. Allt beror på vad som egentligen hände under perioden 118.000-107.000 BP - var det en full glaciation eller bara ett något kallare skede? Detta har avgörande betydelse för våra framtidsprognoser eftersom vi uppenbarligen sedan 500 f.Kr. befinner oss i motsvarande

klimatcykel; d.v.s. antingen är vi redan (sedan 2500 år) på väg mot ett nytt glaciations-skede (detta anser majoriteten amerikanska forskare) eller så börjar denna glaciation först om ca. 18.000-20.000 år (detta anser jag personligen efter att ha analyserat jordens kanske finaste klimatindikator, en 19 m borrhärna från en sjö i Frankrike). Helt klart är emellertid att vi i bästa fall har en glaciation om 20.000 år.

Vid denna framtida glaciation måste alla prognoser stoppa. Då kommer alla effekter från isavsmältningsskedet (förkastningar, uppsprickning, seismisk aktivitet) att repeteras och alla stressfaktorer kommer att mångdubblas. Under ett sådant skede kan kärnavfallskapslar inte förvaras i berget - den saken är helt klar.

Vidare har glacialerosionen underskattats i AKA-utredningen. Om den framtida glaciationen blir en varm glaciär (vilket den var i Sverige under sista glaciationsmaximum) behöver man inte räkna med någon större djupgående erosion utom på vissa speciella platser. Om den däremot blir en kall glaciär kan deformationen/erosionen bli avsevärd. Stora berggrundsfragment kan slitas loss (i America finns exempel på att ett helt berg flyttats).

I väntan på den kommande nedsänken kommer landhöjningen att fortgå: antingen rent linjärt eller cykliskt linjärt om den linjära faktorn orsakats av cykliska geoidförändringar. Vid varje cyklisk vändpunkt kan man då vänta sig samma effekter som dem vid 8000 BP; d.v.s. mycket stora direkta och indirekta effekter.

H: SUMMERING

- (1) Det svenska urberget är på inget sätt "stabil". Som alla andra berggrunder är den instabil.
- (2) Den svenska berggrunden har ett gammalt och rikt tektono-geodynamiskt arv.
- (3) Den totala landhöjningen är ca. 830 m, varav 725 m orsakats av den paraboliska, rent glacial-isostatiska faktorn, vilken dog ut för ca. 2000-3000 år sedan (astenosfären återtog sitt ursprungliga läge).
- (4) Den maximala momentana landhöjningshastigheten nådde 50-5 cm/år under ett kort skede omkring deglaciationen eller slutet av Yngre Dryas Stadialen.
- (5) Den linjära faktorn i landhöjningen torde inducerats för ca. 8000 år sedan och orsakats av en global cyklisk geoid-förändring. Därvid bildades strandlinjeknäet i västkustprofilen.
- (6) Landhöjningsregelbundenheter i form av strandlinjeknän och isobasoregelbundenheter har identifierats med hjälp av fornstrandlinjer och geodetiska data. De är som regel alla knutna till större förkastningslinjer och berggrundssömmar.
- (7) Förkastning, uppsprickning och seismisk aktivitet har visat sig vara knuten till deglaciations-skedet (den maximala landhöjningsintensiteten) och vara tämligen vanligen förekommande.
- (8) Stora förkastningar är som regel knutna till gamla svaghetszoner. Små förkastningar liksom uppsprickningen av berggrundsytan är däremot helt oberoende av dessa.

- (9) Blockrika ändmoräner och blockrik terräng registrerar paleo-seismisk aktivitet - (sådana områden måste därför uteslutas som alternativ för berggrundsförvaring av kärnbränsleavfall).
- (10) Inga extrapolationer av nu uppmätta medeltal (t.ex. för seismiska aktiviteten) och framtidsprognoser kan göras längre än till nästa istid.
- (11) Nästa istid är antingen redan i sin inledningsfas eller kommer som bäst att börja om 20.000 år.
- (12) Vid en ny istid kommer alla deglaciationstidens seismiska och neotektoniska effekter att återupprepas.
- (13) Vid en glaciation kan kärnbränsleavfall inte förvaras i berggrunden.
- (14) Den linjära faktorn torde vid varje cyklisk vändpunkt vara kopplad till likartade effekter som dem vilka registrerat för tiden omkring 8000 BP (och kanske även dem knutna till topparna i landhöjningsintensiteten).
- (15) Om man lyckas hitta en urbergspall inom ett område med jämn landhöjning, regelbundna strandlinjer, avsaknad av recenta jordskalv, vars berggrundsytta uppvisar föga uppsprickning och inga förkastningar, och där omgivningarna visar normala moränformer och normal morän-sammansättning, så måste detta område ändå värderas med utgångspunkt av vad som kommer att hända och kan komma att hända i samband med nästa istid och i samband med gravitativa cykliska förändringar i den pågående linjära landhöjningen.

REFERENSER

- Artyushkov, E.V., 1966: On isostatic equilibrium of the Earth's crust. - *Ann. Acad. Sci. Fennicae*, A III:90, p. 455-465.
- Artyushkov, E.V., 1977: Lithosphere and asthenosphere rheology. - *Abstracts, Earth Rheol. Late Cen. Isost. Movm.*, Stockholm Aug.-77, p. 8.
- Balling, N., 1977: The Fennoscandian land uplift in relation to regional gravity and isostasy. - *Abstracts, Earth Rheol. Late Cen. Isost. Movm.*, Stockholm Aug.-77, p. 9.
- Berglund, B., 1971: Littorina transgressions at Blekinge, south Sweden. A preliminary report. - *GFF*, 93, p. 625-652.
- Bergsten, K.E., 1943: En senglacial förkastning i norra Östergötland. - *Svensk Geogr. Årsbok* 1943, p. 1-16.
- Bjerhammar, A., 1977: Havet är buckligt - jorden ett päron. - *FoF* 1/77, p. 29-37.
- Clark, J.A., 1976: Greenland's rapid postglacial emergence: a result of ice-water gravitational attraction. - *Geology*, 4, p. 310-312.
- De Geer, G., 1932: Stockholmstraktens kvartärgeologi. - *SGU*, Ba-12, p. 1-89.
- De Geer, G., 1940: *Geochronologia Suecica Principes*. - *Kungl. Sv. Vet. Akad. Handl.*, Ser. 3, 18:6, p. 1-367.
- Diegerfeldt, G., 1976: (uppsats i *GFF*, 98, om transgressioner/regressioner i Barsebäck Mosse).
- Du Rietz, T., 1937: Recent förkastningar eller sprickbildningar i Västerbottensfjällen. - *GFF*, 59, p. 112-114.
- Ekman, M., 1977: Undersökningar av lutningsändringar i jordskorpan vid förkastningslinjer i södra Sverige. - *Rapport LMV*.
- Farrell, W.E., and Clark, J.A., 1976: On postglacial sea level. - *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, 46, p. 647-667.
- Feyling-Hansen, R. F., 1966: Geologiske observationer i Sandnes-området. - *NGU*, 242, p. 26-43.

- Florin, S., 1944: Havsstrandens förskjutningar och bebyggelseutvecklingen i östra Mellansverige under senkvartär tid. - GFF, 66, p. 551-634.
- Hast, N., 1974: The state of stress in the upper part of the Earth's crust as determined by measurements of absolute rock stress. - *Naturwissenschaften* 61, p. 468-475.
- Kujansuu, R., 1964: Recent faults in Finnish Lapland. - *Geologi*, 16:3-4, p. 30-36.
- Lagerbäck, R., 1977: Unga rörelser i svenska urberget. - *FoF* 2/77, p. 7-14.
- Lagerlund, E., 1977: Förutsättningar för moränstratigrafiska undersökningar på Kullen i Nordvästskåne - teoriutveckling och neotektonik. - Thesis 5, Dept. Quat. Geol., Univ. Lund.
- Lundqvist, J., and Lagerbäck, R., 1976: The Pärve Fault: A late-glacial fault in the Precambrian of Swedish Lapland. - GFF, 98, p. 45-51.
- Madsen, V., 1917: En kvartär dislokation ved Sundvik tegelbruk i Skåne. - GFF, 39, p. 597-602.
- Marsh, B.D., and Marsh, J.G., 1976: On global gravity anomalies and two-scale mantle convection. - *J. Geophys. Res.*, 81, p. 5267-5280.
- Mörner, N.-A., 1969: The Late Quaternary history of the Kattegatt Sea and the Swedish West Coast; deglaciation, shorelevel displacement, chronology, isostasy and eustasy. - *SGU*, C-640, p. 1-487.
- Mörner, N.-A., 1972: Isostasy, eustasy and crustal sensitivity. - *Tellus*, 24, p. 586-592.
- Mörner, N.-A., 1973: Eustatic changes during the last 300 years. - *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 13, p. 1-14.
- Mörner, N.-A., 1973b: New method of separating glacio-isostatic and tectonic components in Scandinavian uplift. - (a) Abstracts, INQUA IX Congr., New Zealand 1973, p. 255, and (b) Proc. Symp. Jakarta 1973, Rec. Crust. Movm. Ass. Seism. Volc. Aktiv.
- Mörner, N.-A., 1974: Ocean temperature and continental glaciations. - *Colloques Intern. CNRS*, No. 219, p. 43-49.
- Mörner, N.-A., 1975: Postglacial Earth Movements. - National rep. Swedish GDP Com., Grenoble 1975, p. 1-10.
- Mörner, N.-A., 1976: Eustasy and geoid changes. - *J. Geology*, 84, p. 123-152.
- Mörner, N.-A., 1976b: Eustatic changes during the last 8,000 years in view of radiocarbon calibration and new information from the Kattegatt region and other northwestern European coastal areas. - *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 19, p. 63-85.
- Mörner, N.-A., 1977a: Svenska urbergets instabilitet. - Rapport, KBS, diskussion 770204.
- Mörner, N.-A., 1977b: Past and present uplift; glacial-isostasy, tectonism and bedrock influence. - GFF, 99, p. 48-54.
- Mörner, N.-A., 1977c: The Fennoscandian uplift; geological data and their geodynamic implication. - Abstracts, Earth Rheol. Late Cen. Isost. Movm., Stockholm Aug.-77, p. 79-92.
- Mörner, N.-A., 1977d: Excursion Guide. - Earth Rheol. Late Cen. Isost. Movm., Stockholm Aug.-77, p. 1-55.
- Mörner, N.-A., 1977e: Faulting, fracturing and seismic activity as a function of glacial-isostasy in Fennoscandia. - *Geology*, in press.
- Mörner, N.-A., 1977f: Eustatic changes and geoidal-eustasy. - Abstracts, Earth Rheol. Late Cen. Isost. Movm., Stockholm Aug.-77, p. 93-101.
- Niskanen, E., 1943: On the deformation of the Earth's crust under the weight of a glacial ice-load and related phenomena. - *Ann. Acad. Sci. Fennicae*, A III:7, p. 1-59.
- Peltier, W.R., 1977: Glacial isostatic adjustment; a global model. - Abstracts, Earth Rheol. Late Cen. Isost. Movm., Stockholm Aug.-77, p. 112.
- Petrova, 1975: (in National USSR Rep. on Magnetism, etc., IUGG XVI, Grenobel 1975).
- von Post, L., 1929: Kvartära bildningar (Beskr. kartbl. Säfte). - *SGU*, Aa-167, p. 39-96.
- Ramberg, H., 1968: Instability of layered systems in the field of gravity. - *Physics Earth Planet. Inter.*, 1, p. 427-447.
- Stephansson, O., and Ericsson, B., 1975: Pre-Holocene joint fillings at Forsmark. - GFF, 97.

BILAGOR

Fyra bilagor bifogas, nämligen referenserna Mörner 1975 (1), 1977b (2), 1977c (3), 1977e (4).

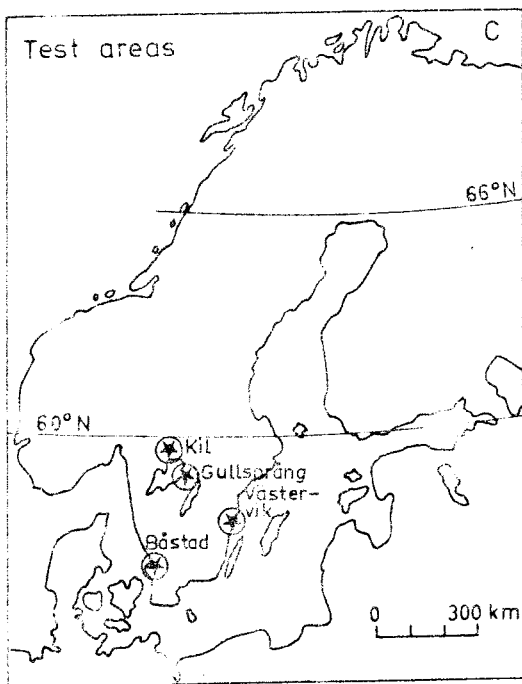
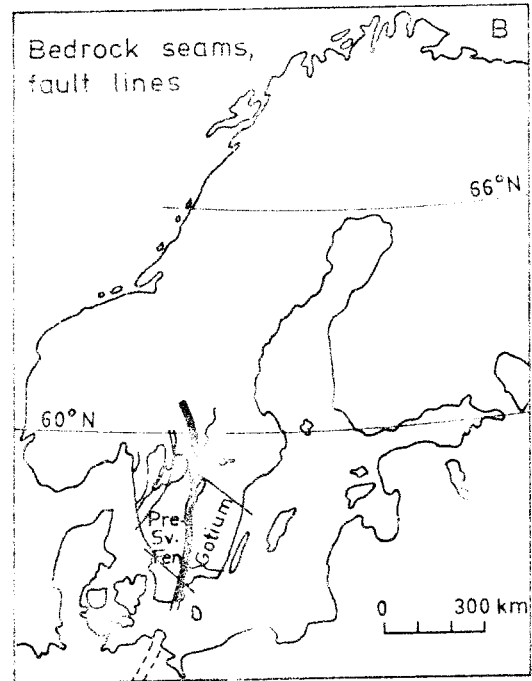
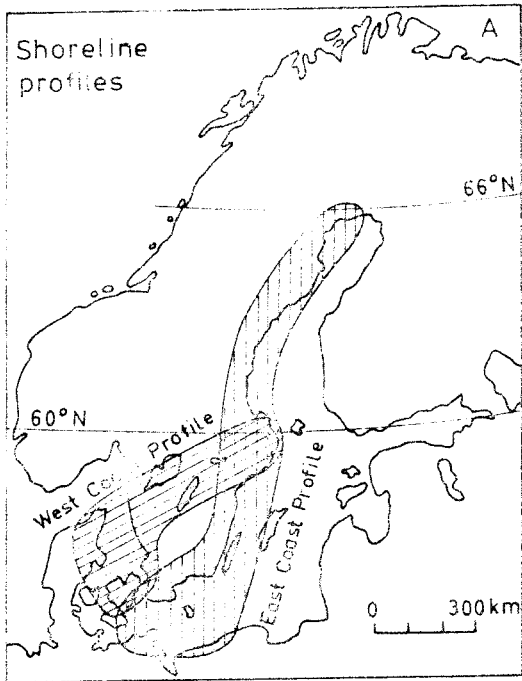


Fig. 1 (från Mörner 1975)

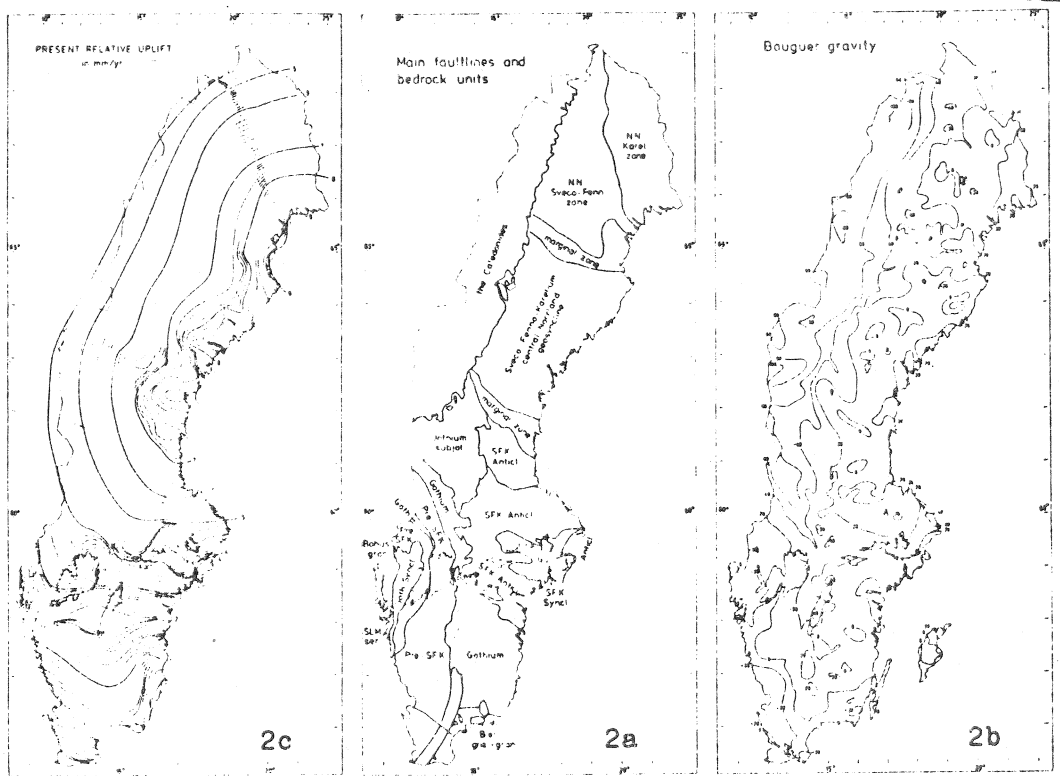


Fig. 2. Comparison between uplift, main bedrock units and gravity: (1) Present relative (not eustatically corrected) uplift in millimetres per year, according to all basic data from the repeated levellings, (2) main stratigraphic-tectonic bedrock units, and (3) Bouguer anomaly in milligals with 20-mgal contours.

Fig. 2 (från Mörner 1977b)

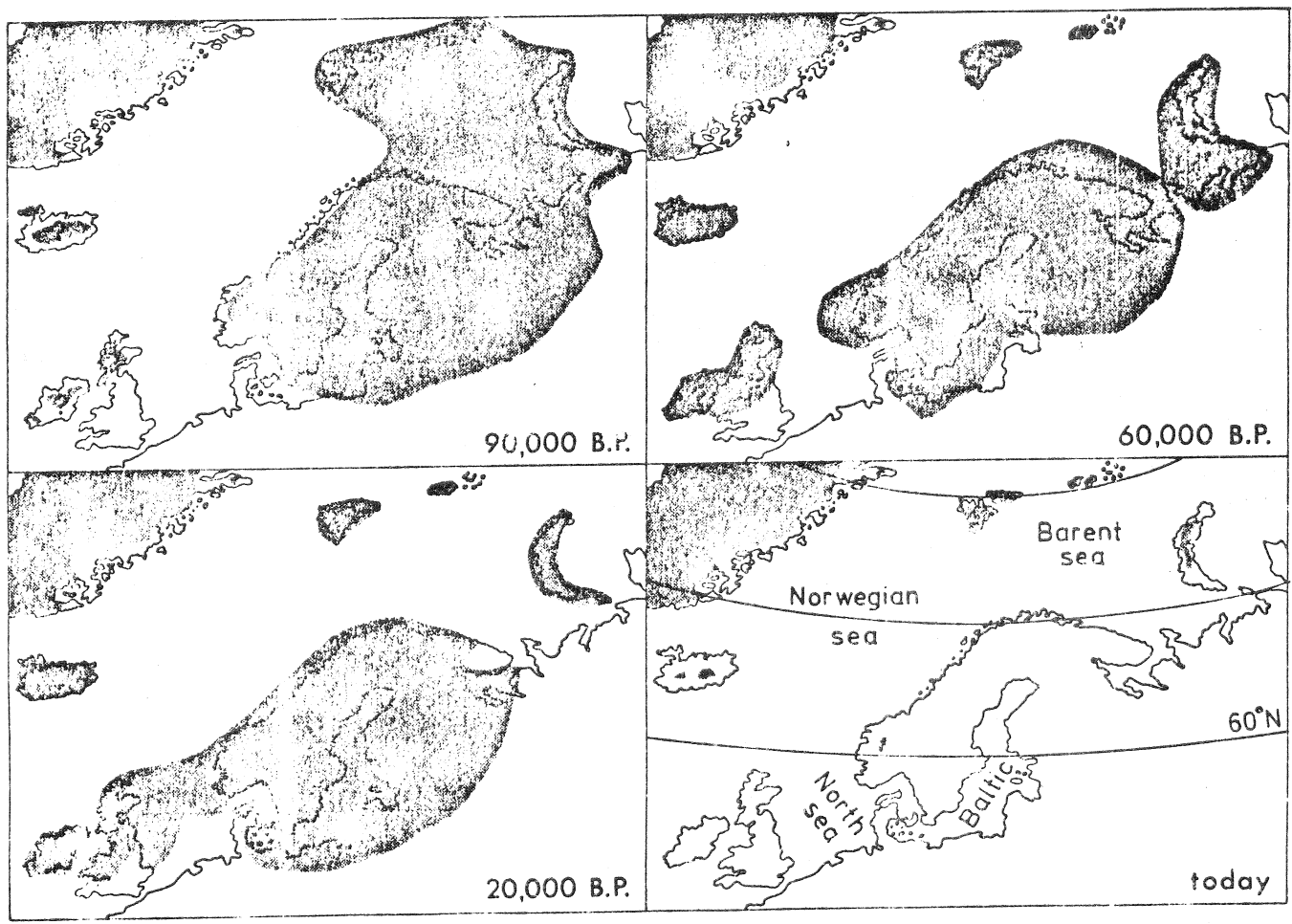


Fig. 3 (från Mörner 1974) utbredning av sista istidens tre glaciationsmaxima.

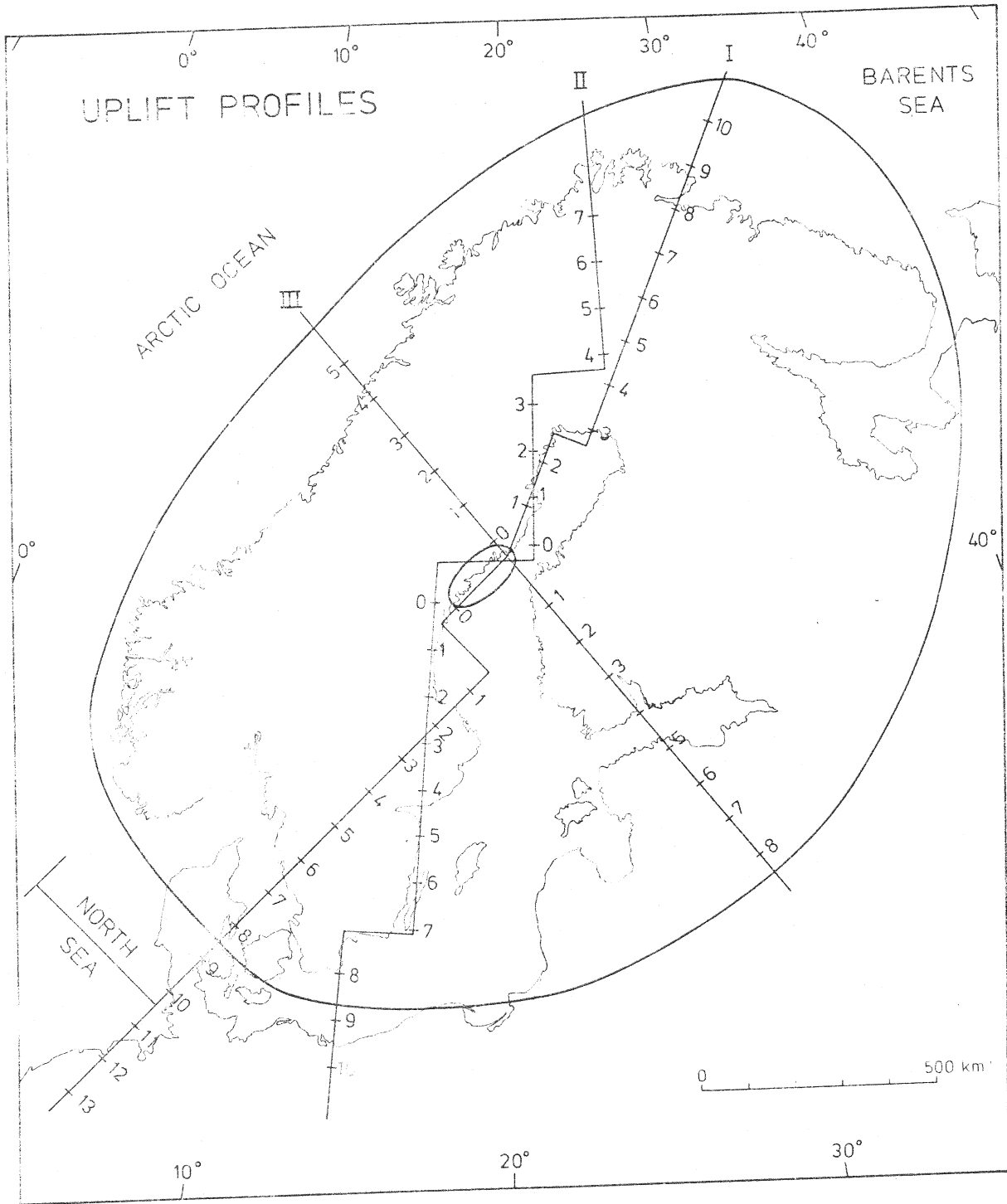


Fig. 4 (från Mörner 1977c)

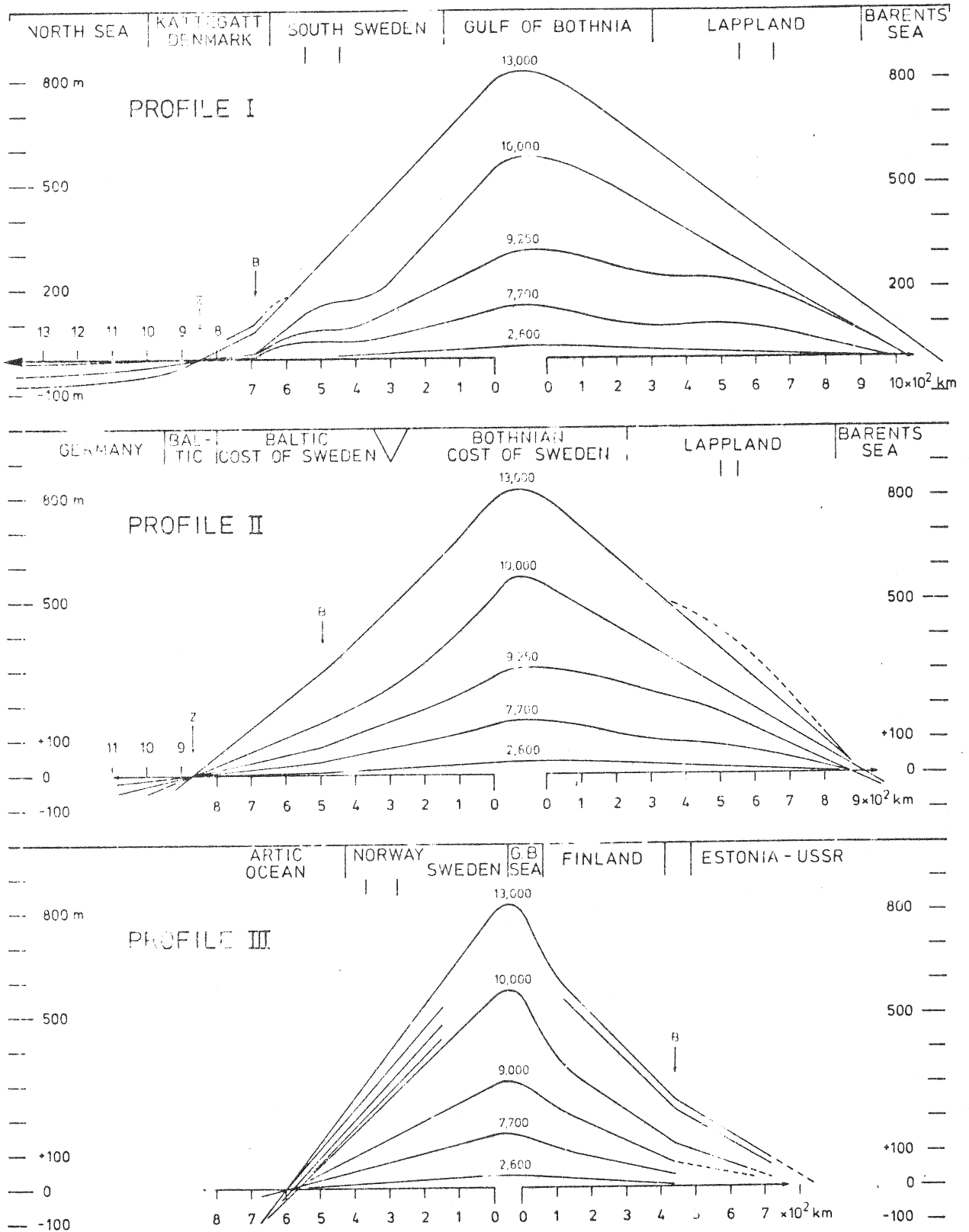
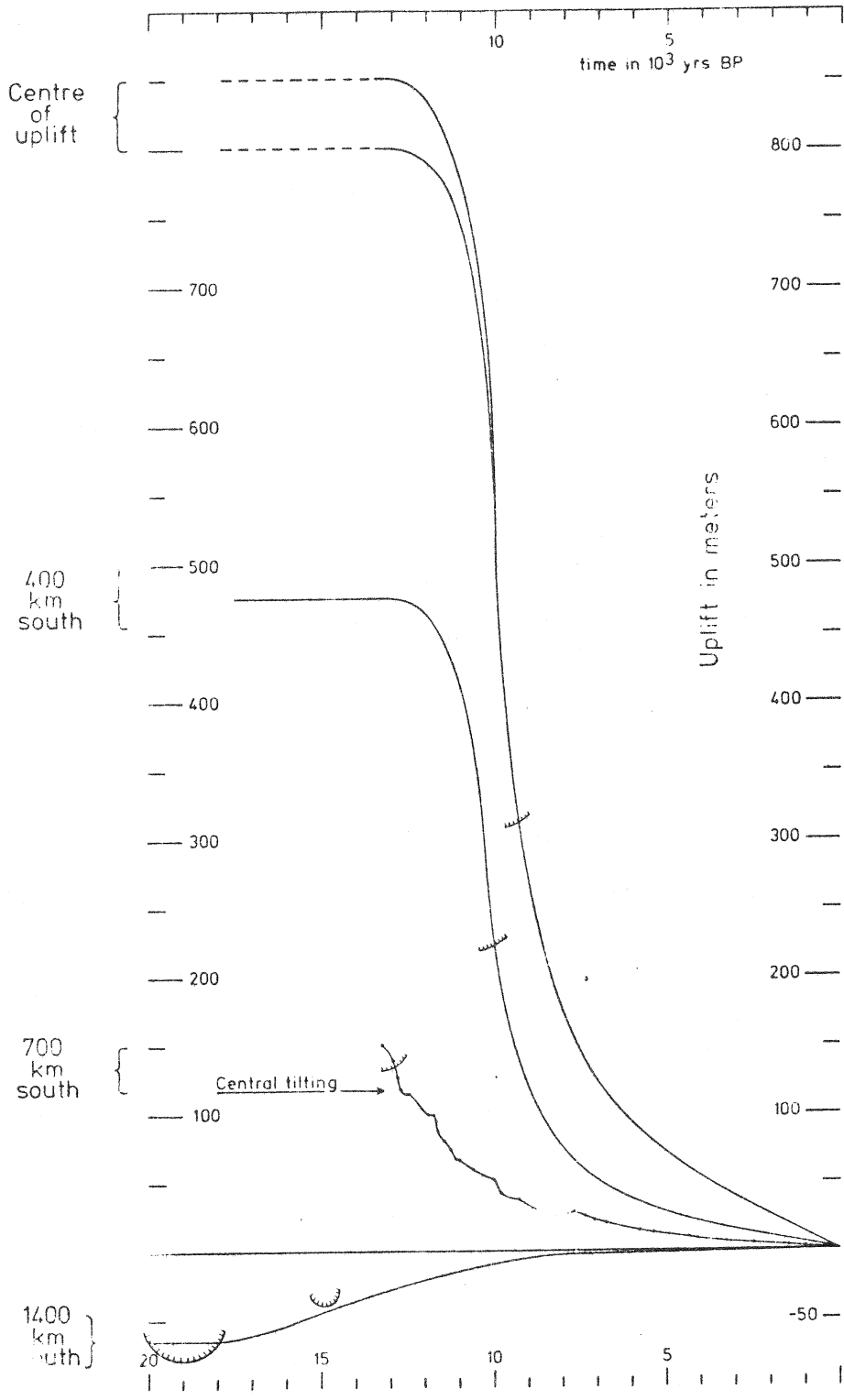


Fig. 5 (från Mörner 1977c)

Absolut landhöjning i meter

B = strandlinjknä (bend)



Uplift curves from the center of uplift to the center of subsidence (cf. Fig. 5a). Dentated lines represent ice margin and give the time of deglaciation.

Fig. 6 (från Mörner 1977c)

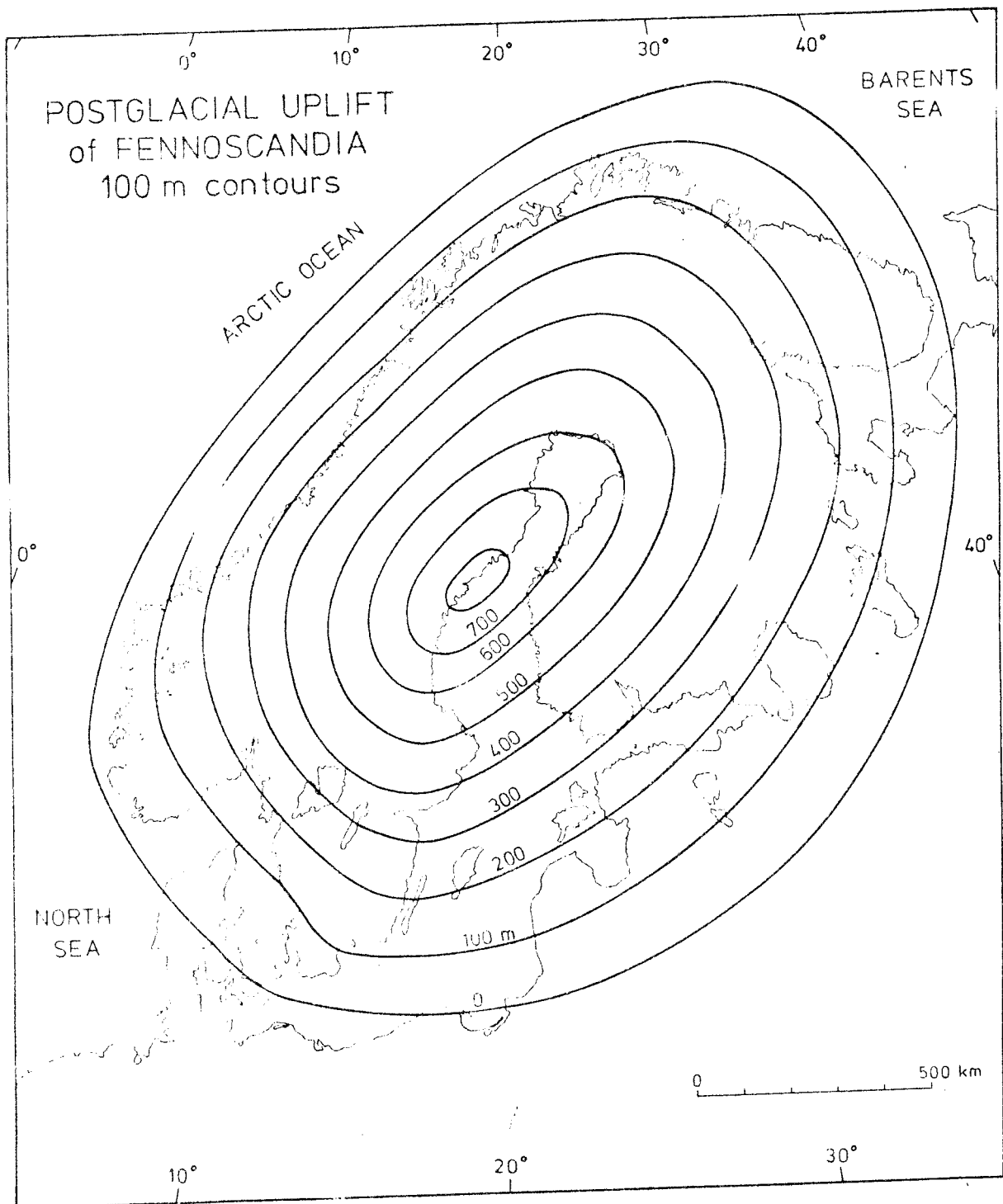
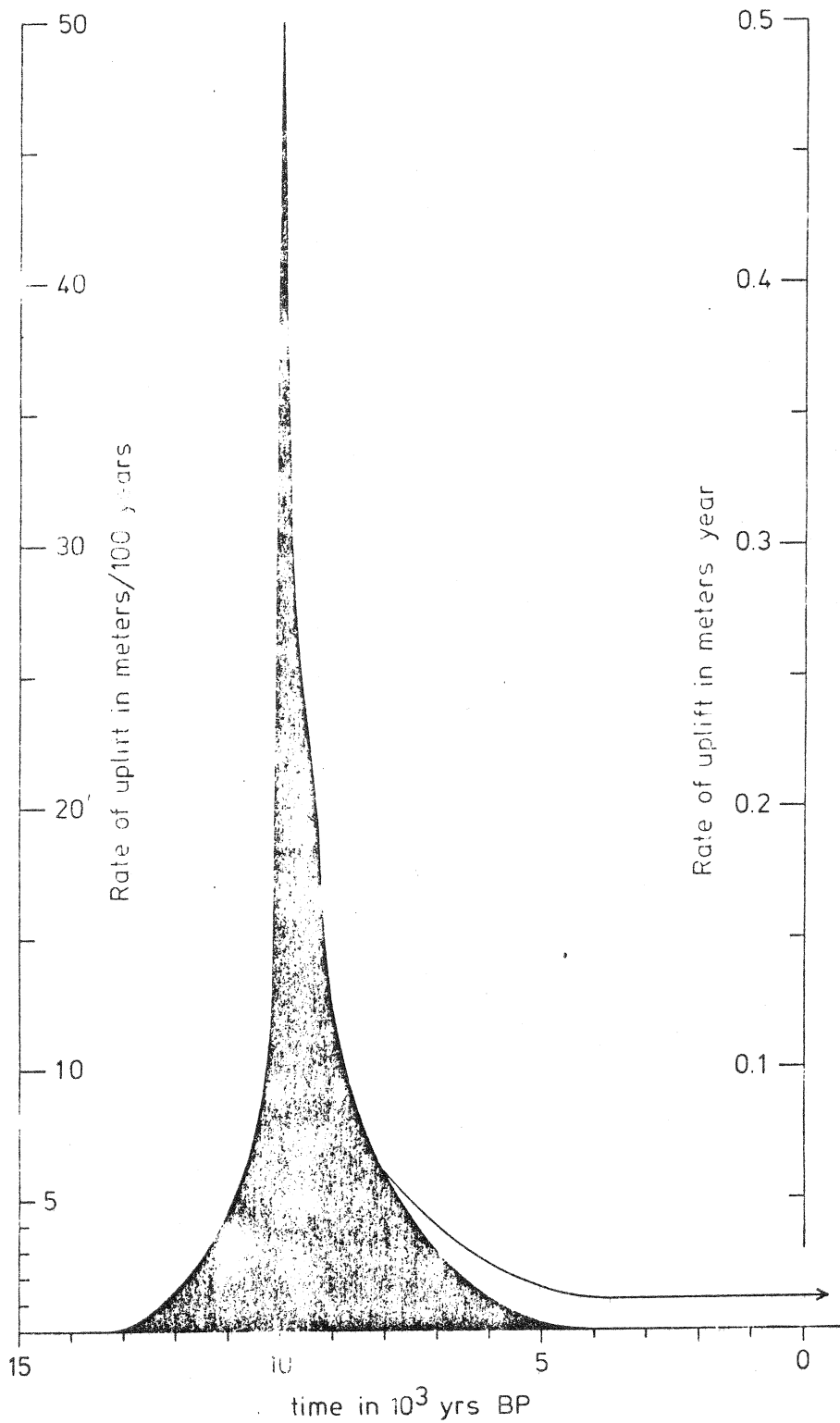


Fig. 7 (från Mörner 1977c)



Rate of glacial-isostatic uplift (black) at the center of uplift in Ångermanland; starting about 13,000 BP, peaking at 10,000 BP and ending about 4000 BP. The arrow-line for the last 8000 years gives the linear "tectonic" component responsible for the present uplift.

Fig. 8 (från Mörner 1977c, 1977e)

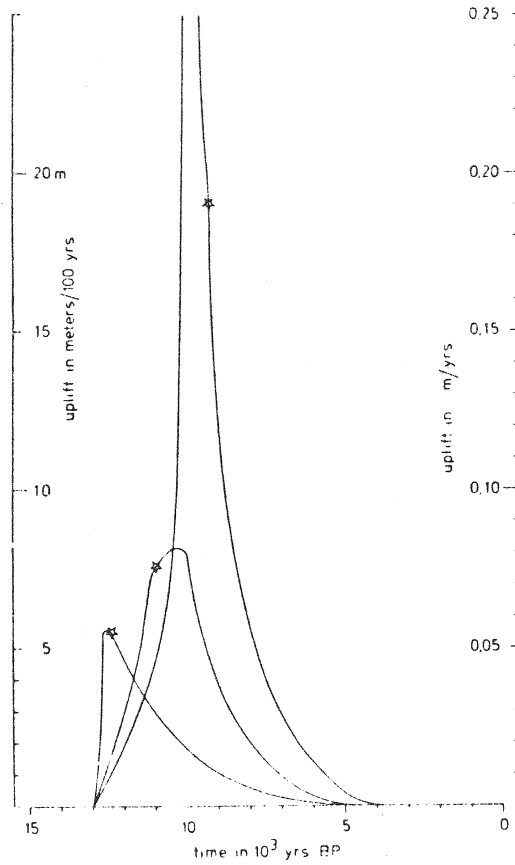
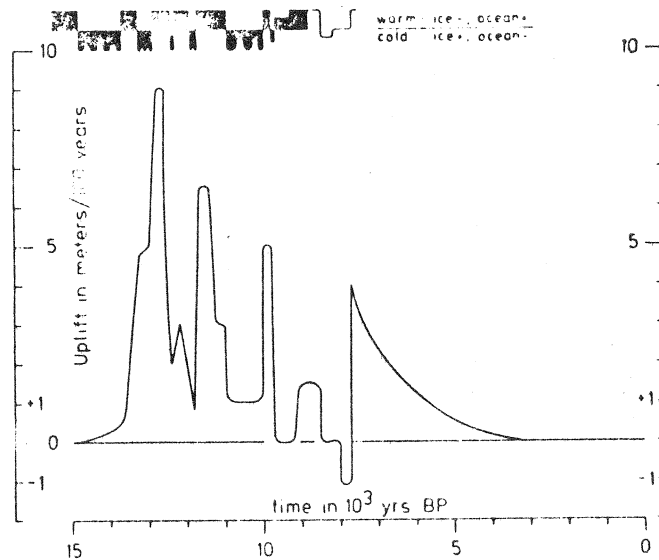


Fig. 9
(från Mörner 1977c, 1977e)

Rate of glacial-isostatic uplift at the center of uplift (Fig. 5), at 370 km southwards and at 790 km southwards. The stars indicate the time of deglaciation.



Rate of glacial-isostatic uplift at the Swedish west coast (just north of Varberg). The fluctuations in the rate follow the stadial/interstadial changes (at the top) very well. The area was deglaciated at about 13,000 BP.

Fig. 10 (från Mörner 1977c, 1977e)

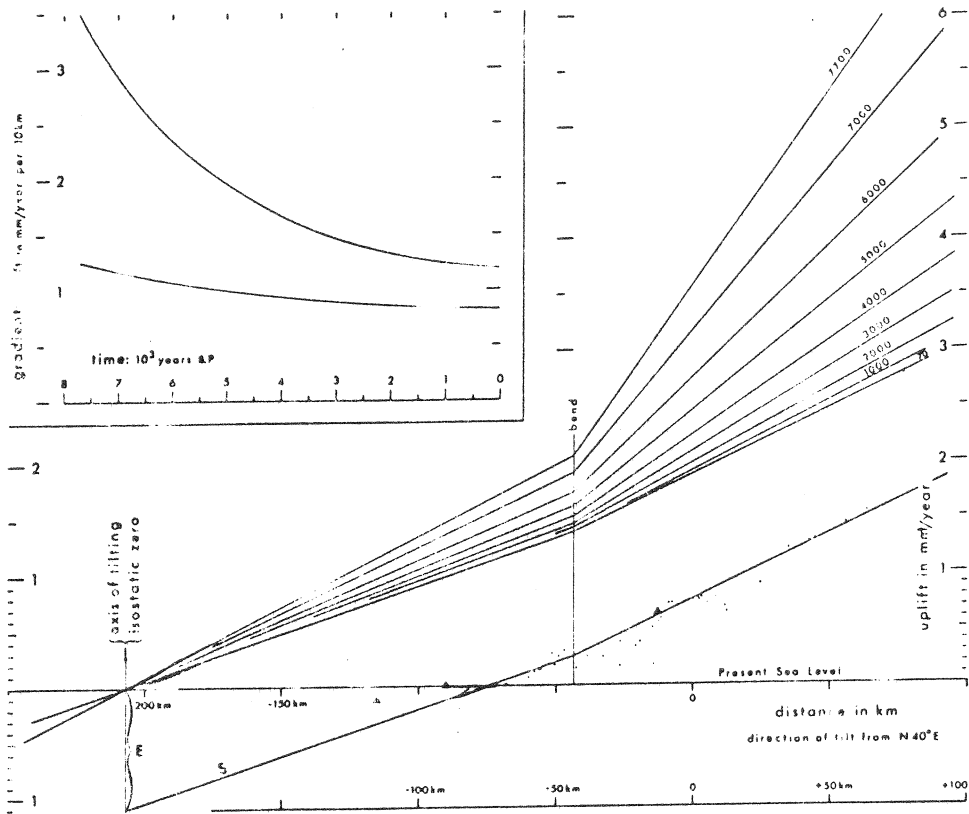


Fig. 5. Distance diagram (Mörner, 1969a) of "isostatic" uplift in mm/year in the Kattegatt area, calculated as mean uplift during the last 7,700 - 70 years (*I*-lines). The bend is explained by Mörner (1969a, 1970). The axis of tilting or isostatic zero point has been located at the same place during the last 7,700 years, at -207 km. The gradients of the *I*-lines (inside and outside the bend respectively) form quite smooth time/gradient curves (upper left curves). The shore level displacement (*S*-line) in mm/year for the period 1890 - 1960 is inside the bend established from mareograph data (triangles) and all basic data from repeated levellings (dots), and outside the bend from these data plus the gradient calculated from the time/gradient curve. At the axis of tilting, the *S*-line lies 1.1 mm/year below zero, which exactly corresponds to the eustatic rise (*E*) according to the curve here established (Table III, Fig 1 and 6). Furthermore, the figure reveals that the Scandinavian uplift is composed by a continuously decreasing glacio-isostatic factor and another more or less constant, probably old tectonic factor (Mörner, 1973).

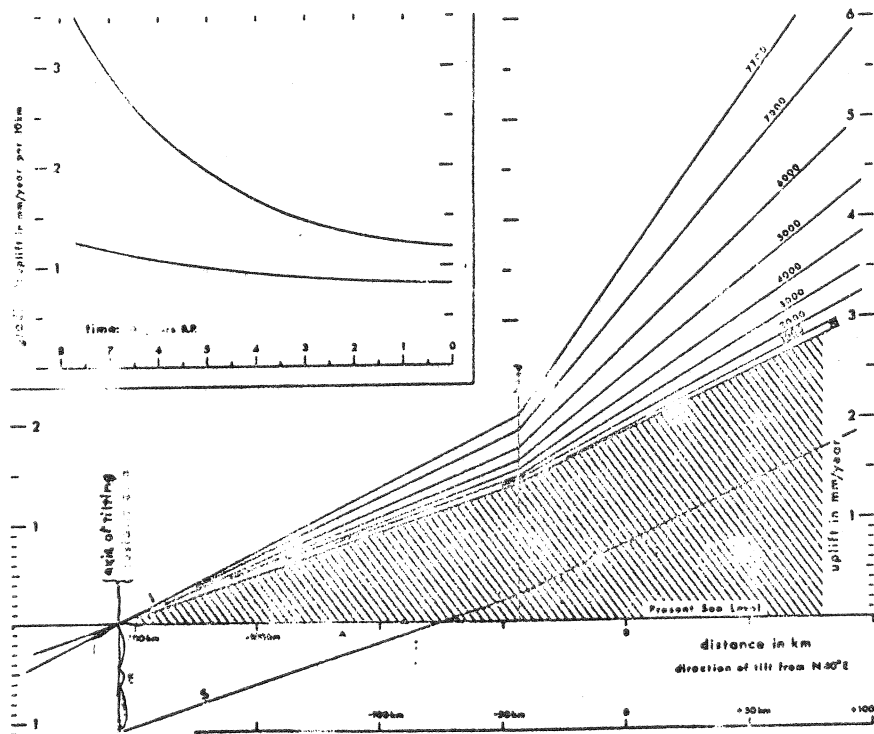


Fig. 11 (från Mörner 1973, 1973b) landhöjningslinjer i mm/år för varje 1000 år längs västkustprofilen. Streckat fält = linjära faktorn.

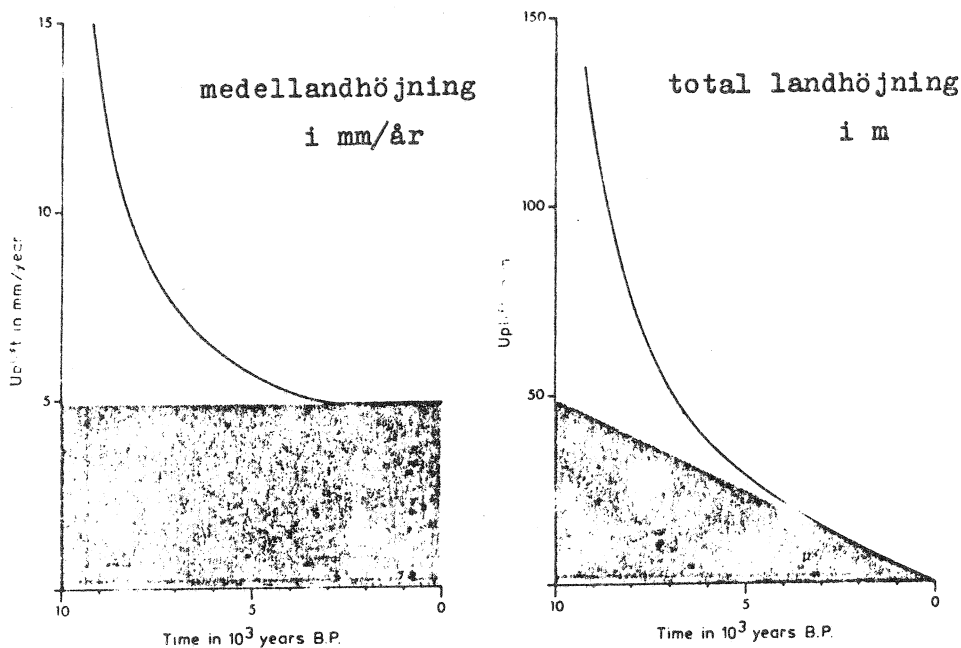


Fig. 12 (från Mörner 1977d) parabolisk (vit) och linjär (grå) faktor bakom landhöjningen i Stockholm.

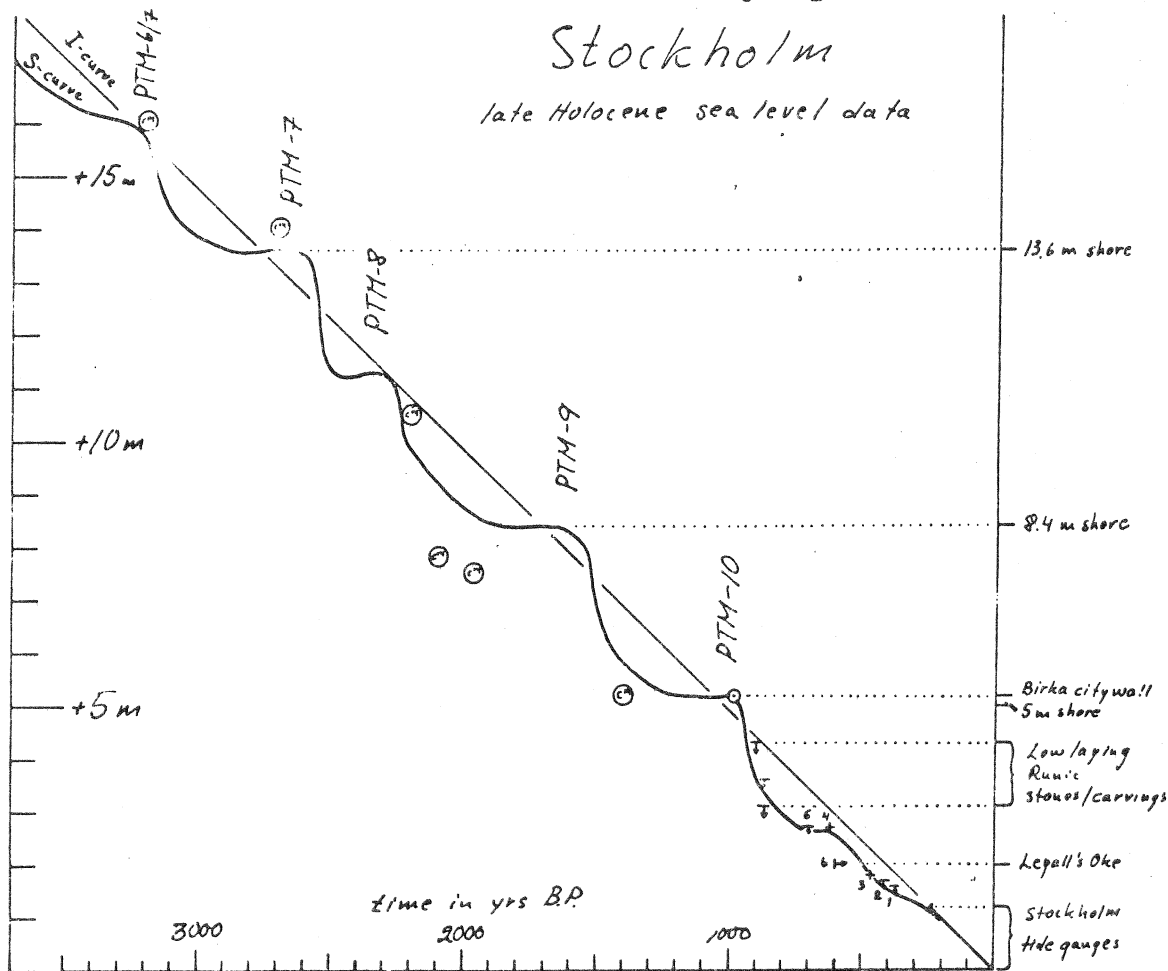


Fig. 13 (från Mörner 1977d) fältdata från Stockholm som visar att landhöjningen (I-curve) varit linjär under sista 3000 åren.

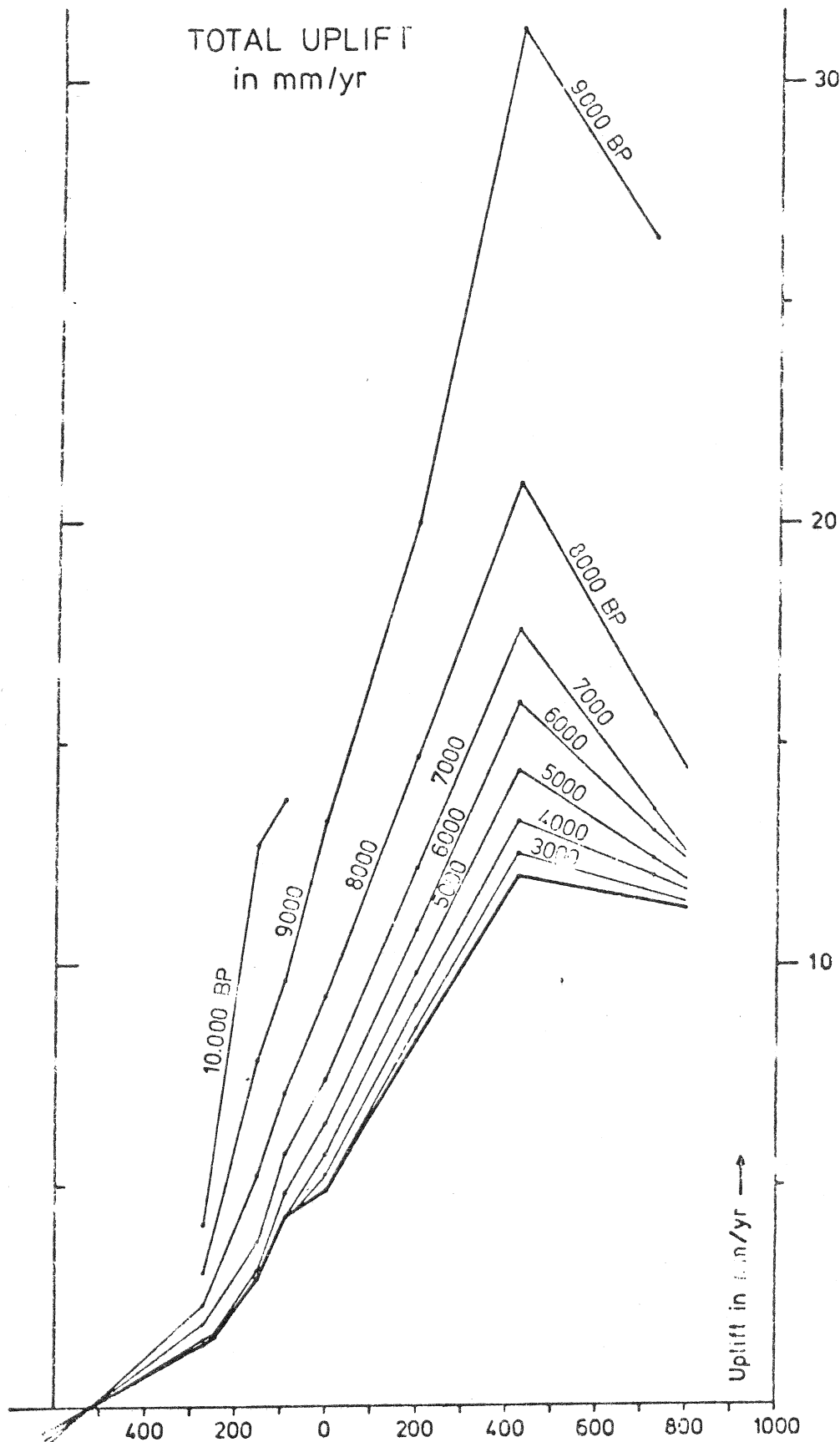


Fig. 14

Fig. 14 (från Mörner 1975, 1977b)

Fig. 3. Total uplift in mm/year for every 1000 year BP along the East Coast Profile in Fig. 2A. Thick line gives the present rate of uplift. Horizontal scale in km with Stockholm as zero point. The graph demonstrates that the Swedish uplift is complex and composed of two factors; one glacio-isostatic factor that decreased continuously with time and distance from the periphery and died out some 2000-3000 years BP (Fig. 4), and one "tectonic" factor that has remained constant and is responsible for the present uplift (Fig. 5).

Glacio-isostatic uplift
along the Swedish East Coast
in mm/yr for every 1000 yr

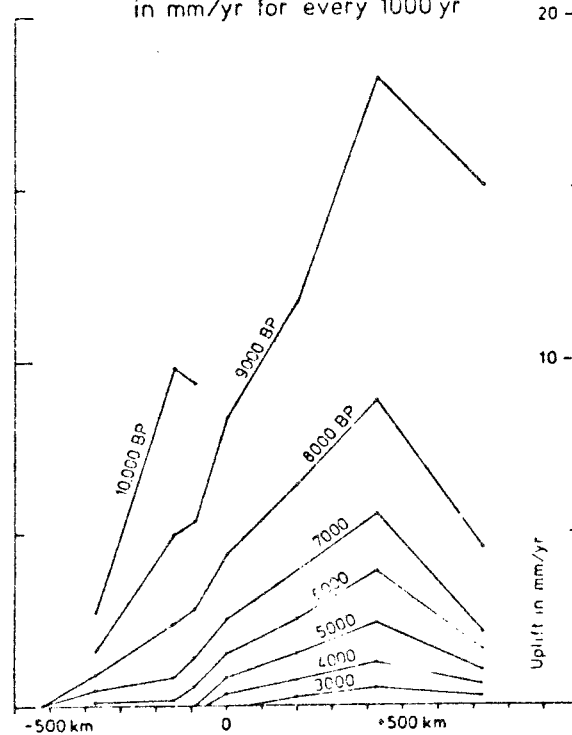


Fig. 4. The glacio-isostatic factor in mm uplift per year when subtracted from the total uplift in Fig. 3. The glacio-isostatic factor died out with time and distance from the periphery, and was finished some 2000-3000 years BP.

Fig. 15 (från Mörner 1975, 1977b)

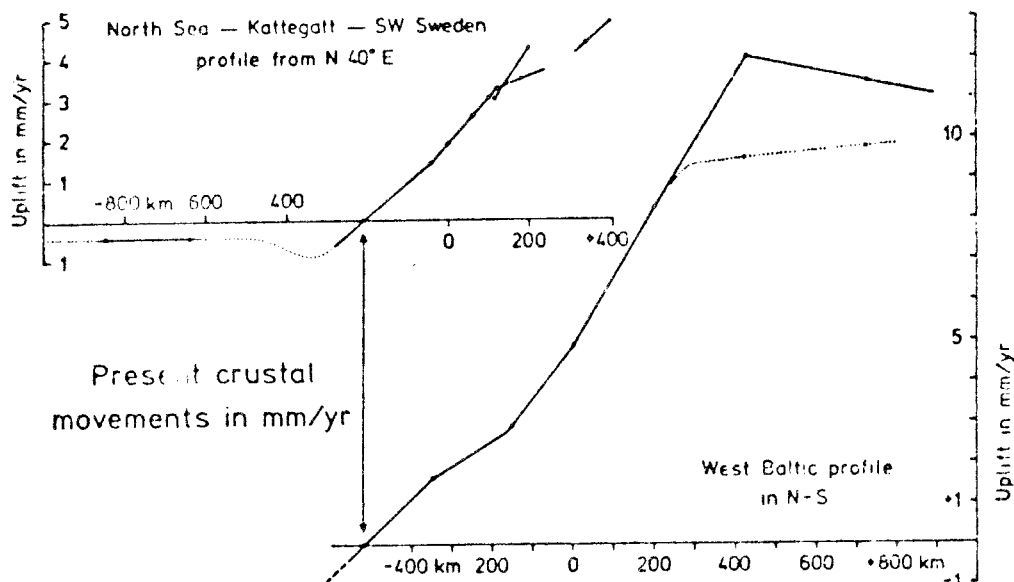
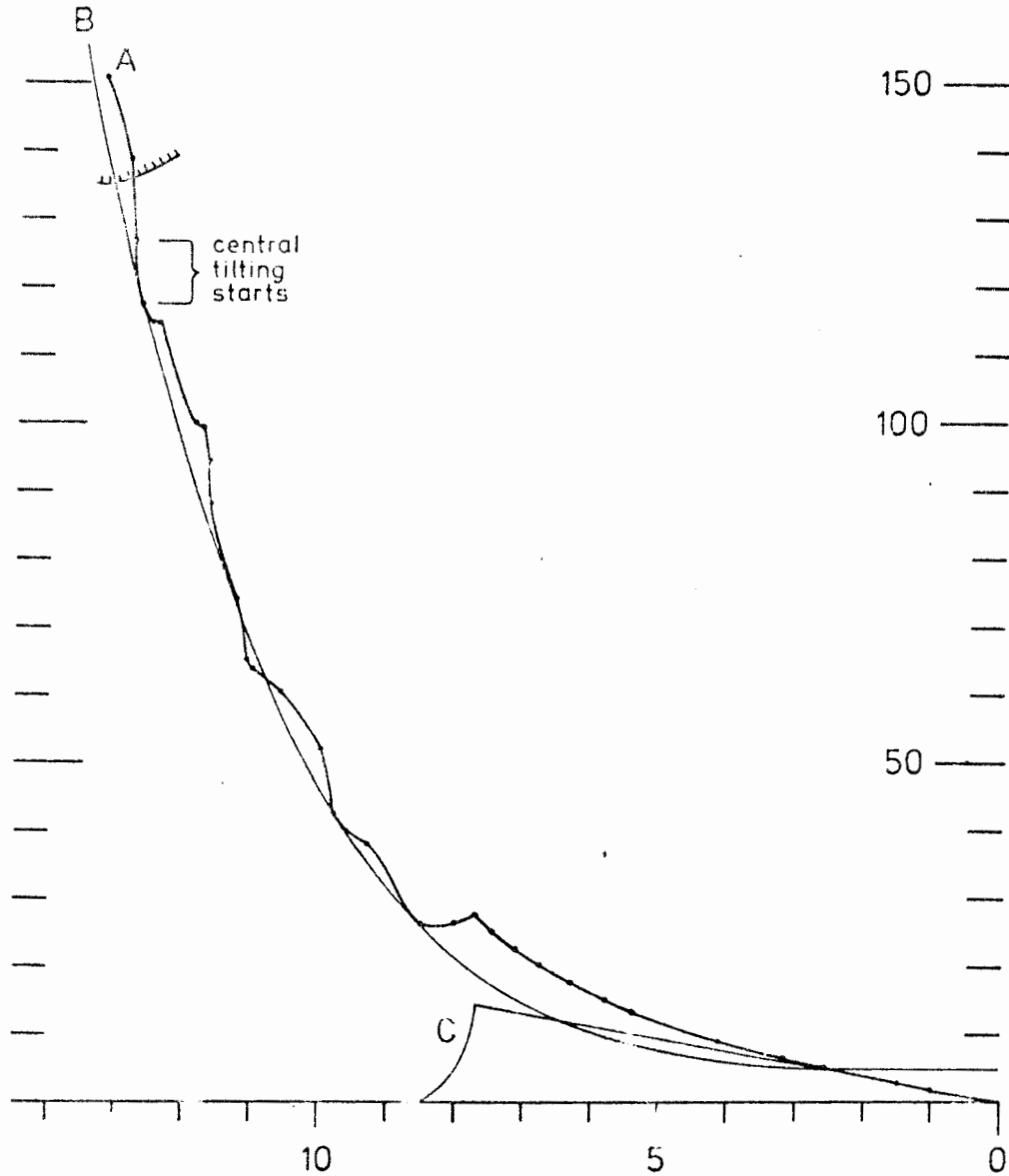


Fig. 5. The present uplift or the "tectonic" factor when isolated from the total uplift. The East Coast Profile is the same as that shown in Fig. 3. The West Coast Profile of Mörner 1973a (with zero at Varberg) is partly enlarged inland over the bedrock "seams" and partly compared to the data from the Netherlands (Mörner 1973a).

Fig. 16 (från Mörner 1975, 1977b)



A: Curve of total uplift for the Varberg area on the Swedish west coast (the zero point of Mörner, 1969).
B: Possible truly glacio-isostatic factor (as separated from C).
C: Possible "linear" factor induced 9500-7700 BP.

Fig. 17 (från Mörner 1977c) total landhöjning vid Varberg (A) samt förmodad parabolisk (B) och linjär (C) faktor bakom denna.

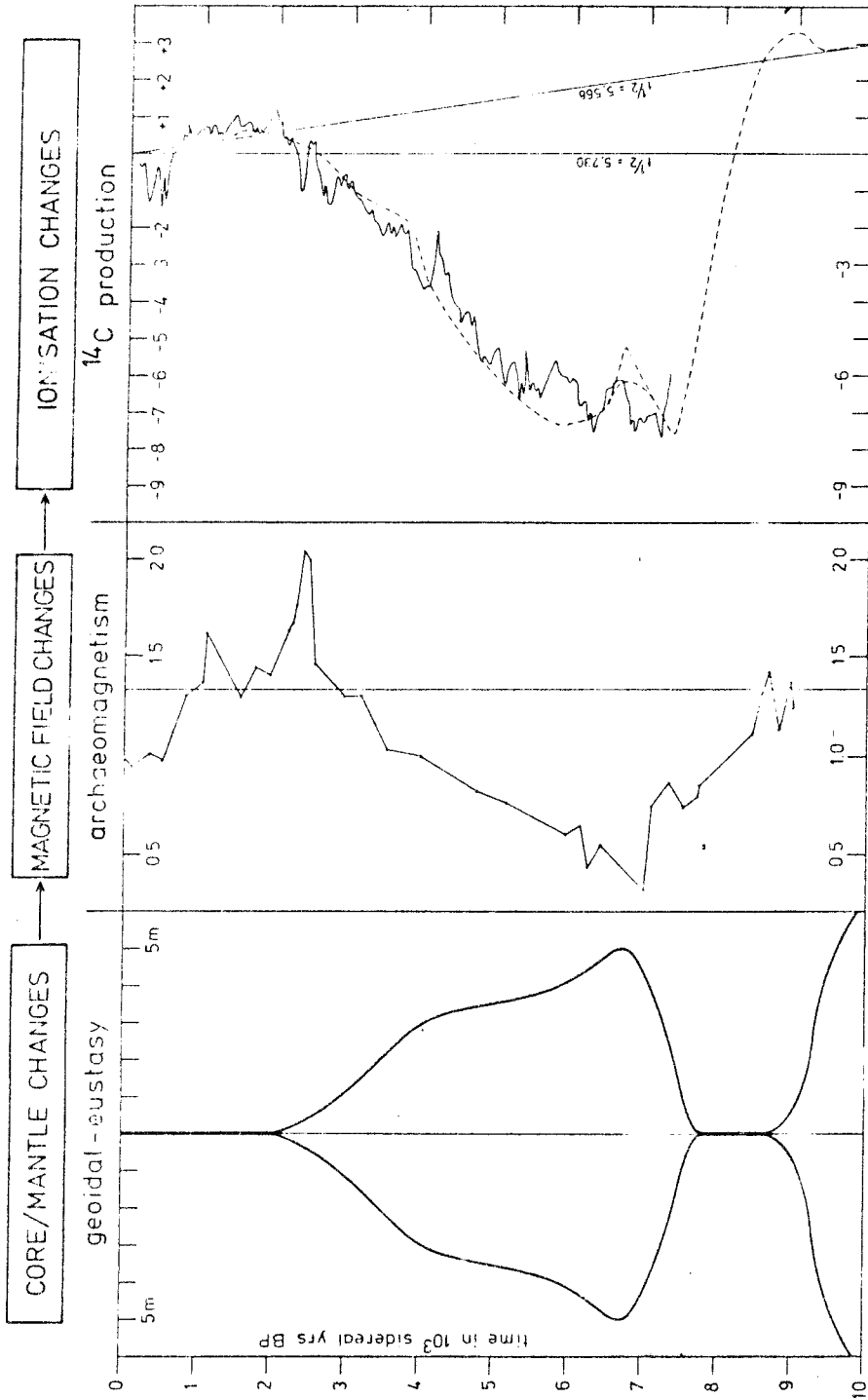


Fig. 18 (från Mörner 1977f) global geoid cyklisitet, geomagnetisk cyklisitet och atmosferisk C14-produktionscyklisitet med orsakssambandet markerat med pilar.

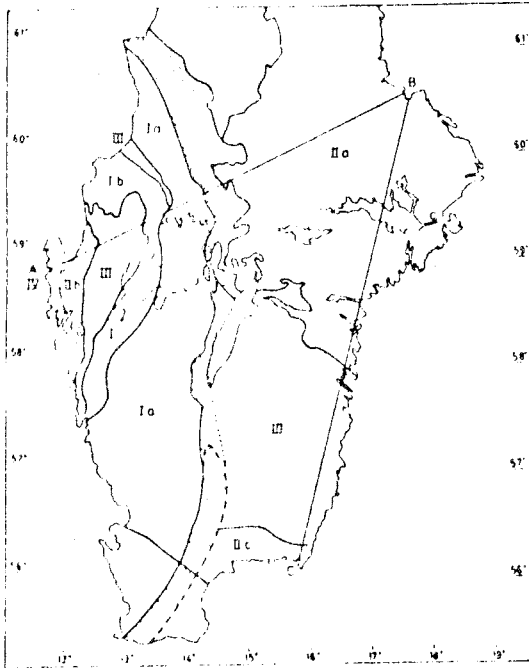


Fig. 3. Main fault lines and bedrock units in southern Sweden with the schistosity zone at the Pre-Svecofennian/Gothian (Ia/I) boundary marked as a dotted zone. Explanations: I=Pre-Svecofennian (Pre-Sveco-Fenno-Karelium), IIa=main Sveco-Fenno-Karelium, IIb=Stora Le-Märstrand series, IIc=Blekinge gneisses and granites, III=Gothium, and IV=Bohus granites. Lines A-B and B-C represent the profiles in Figs. 4 and 5.

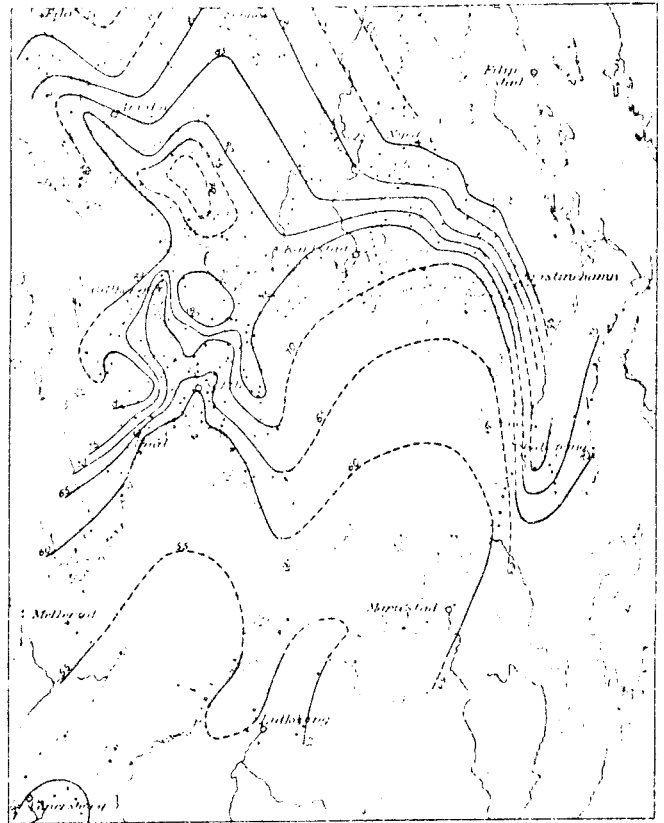


Fig. 2. Isobases of the Vg level within the Vänern Basin. — After A. Post, Sver. Geol. Undersök. Ser. Aa. 107.

Fig. 19 (från Mörner 1977b)

Fig. 20a Strandlinjeoregelbundenheter i Vänernområdet (von Post 1929).

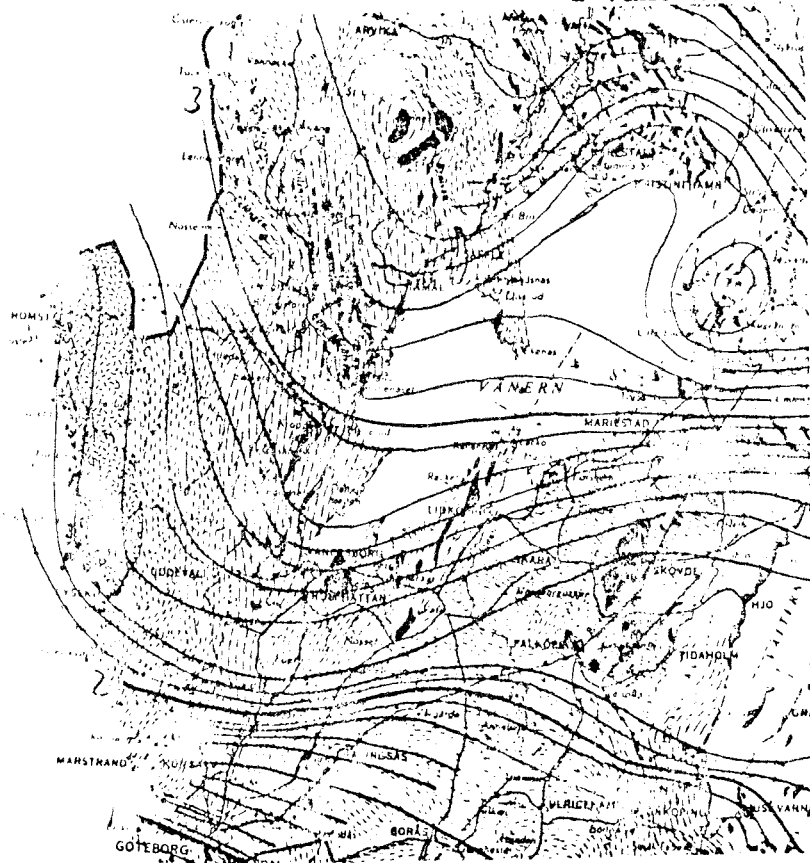


Fig. 20b (från Mörner 1977d) landhöjningsoregelbundenheter i Vänernområdet enligt geodetiska data.

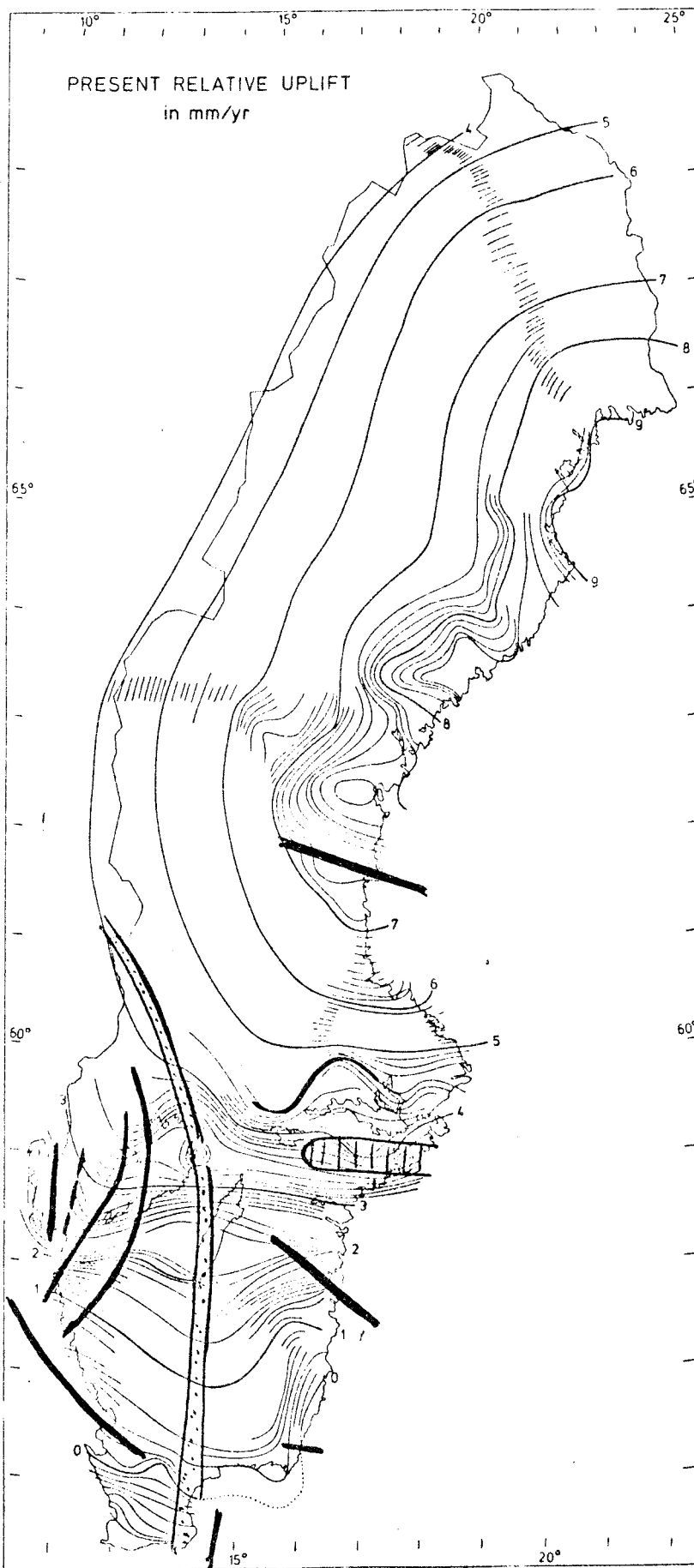


Fig. 21 Linjer och områden där klara landhöjningsregelbundenheter etablerats via fornstrandlinjer och/eller geodetiska data.

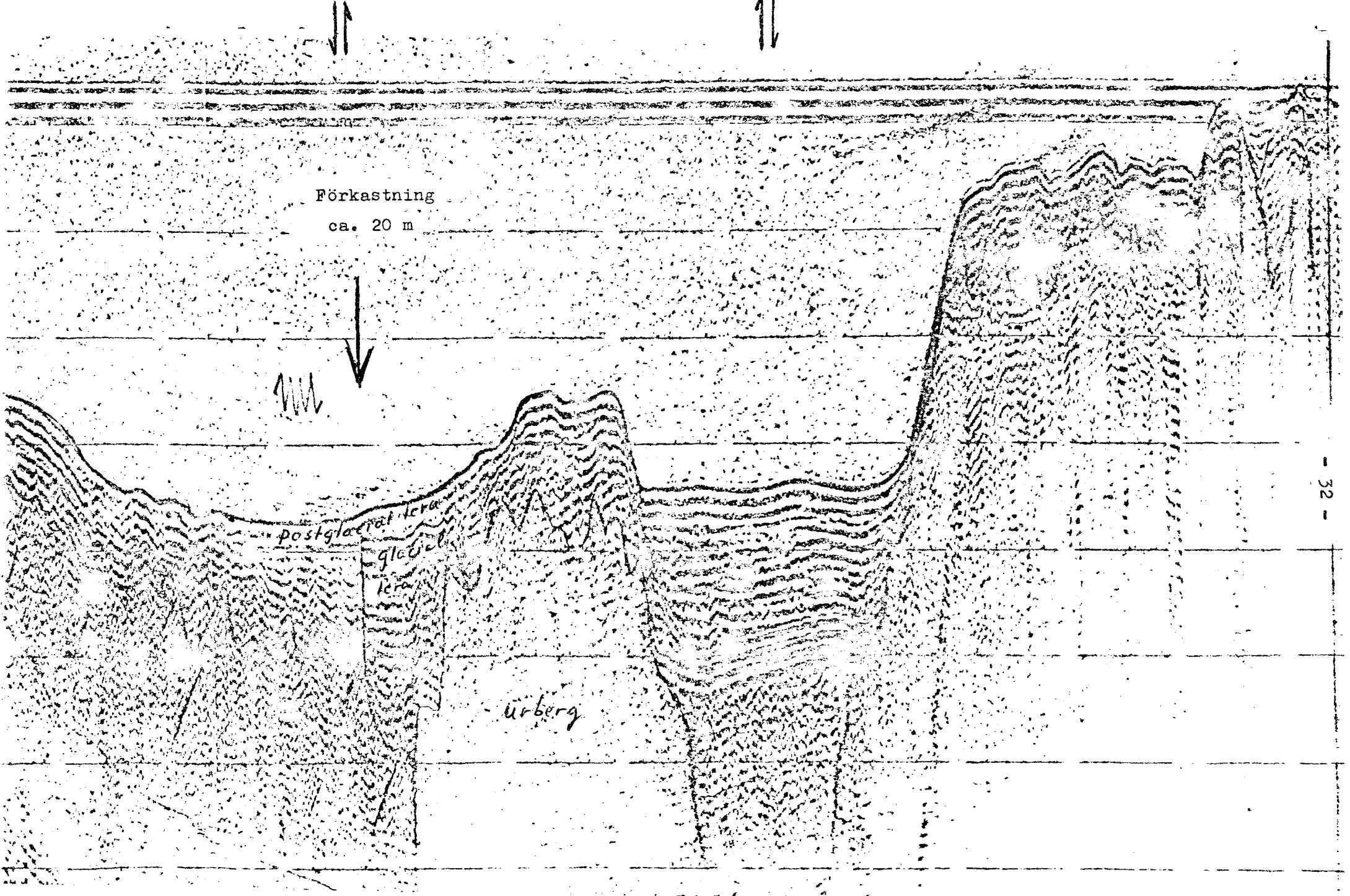


Fig. 22 akusto-seismiskt diagram från norra Vättern

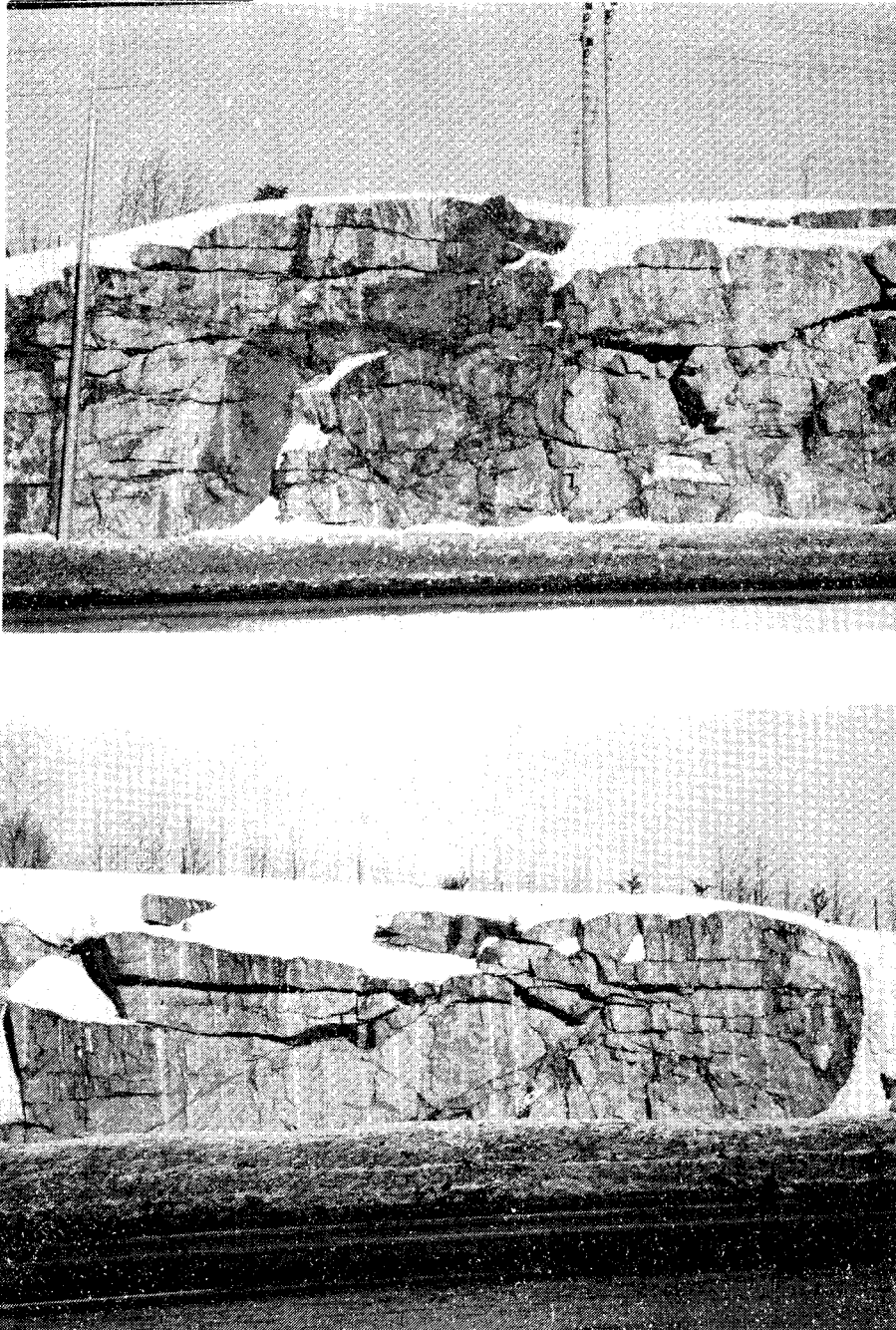


Fig. 23 (från Mörner 1977e) vägskärningar öster om Stockholm.

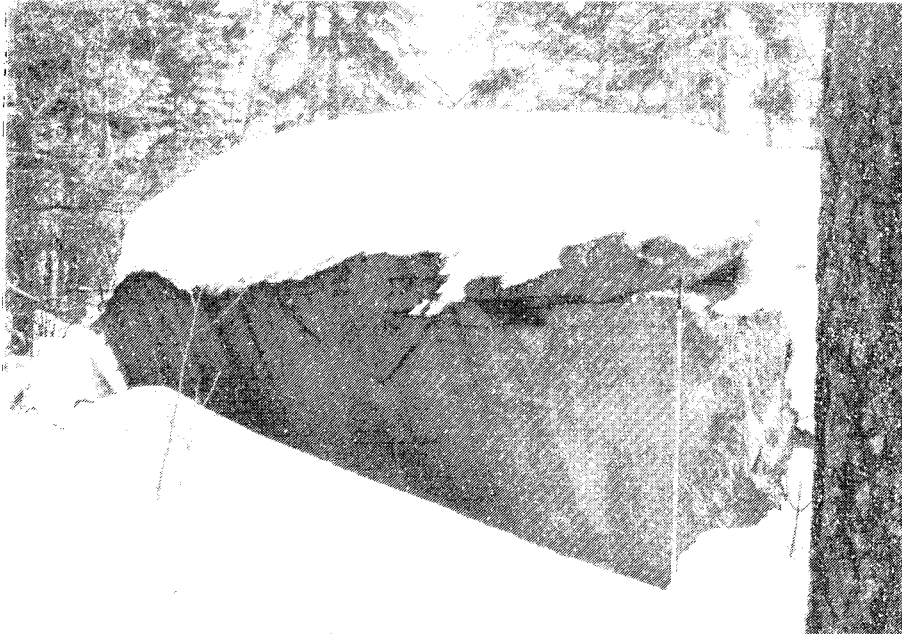


Fig. 24 (från Mörner 1977e) block från ändmorän i Bromma. Ena sidan mellersta bilden) representerar urbergsytan före lösbrytandet. Övriga ytor (övre bilden) är m.l.m. o-eroderade.

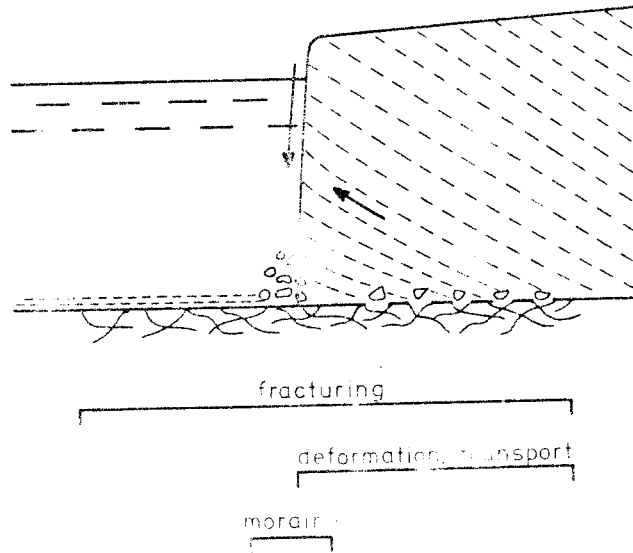


Fig. 25 (från Mörner 1977e, 1977d) principskiss av uppsprickningen av berggrunden i Stockholmstrakten i samband med isavsmältningen och maximal landhöjningshastighet: Fig. 23 representerar området just utanför iskanten och Fig. 24 området omkring och just innanför iskanten.

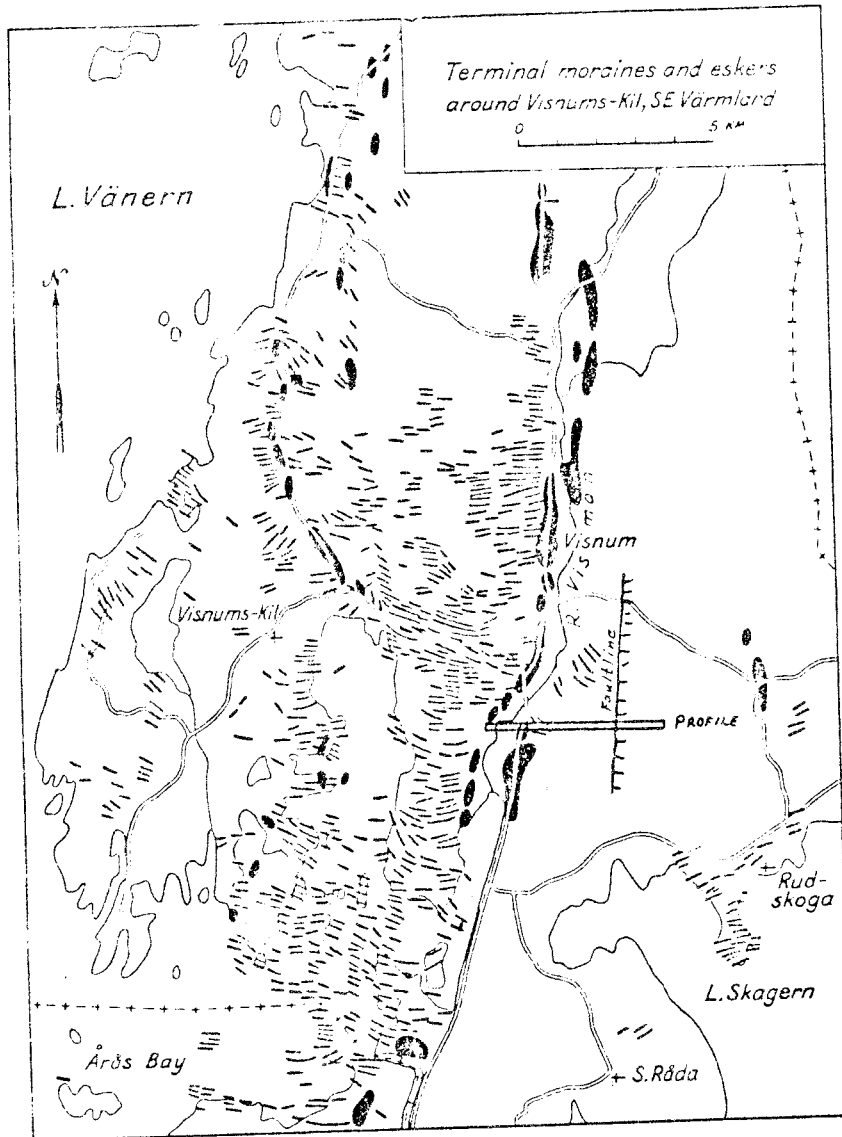


Fig. 26a Ändmoränerna vid Årösviken, samt förkastningslinje och GDP-profil.

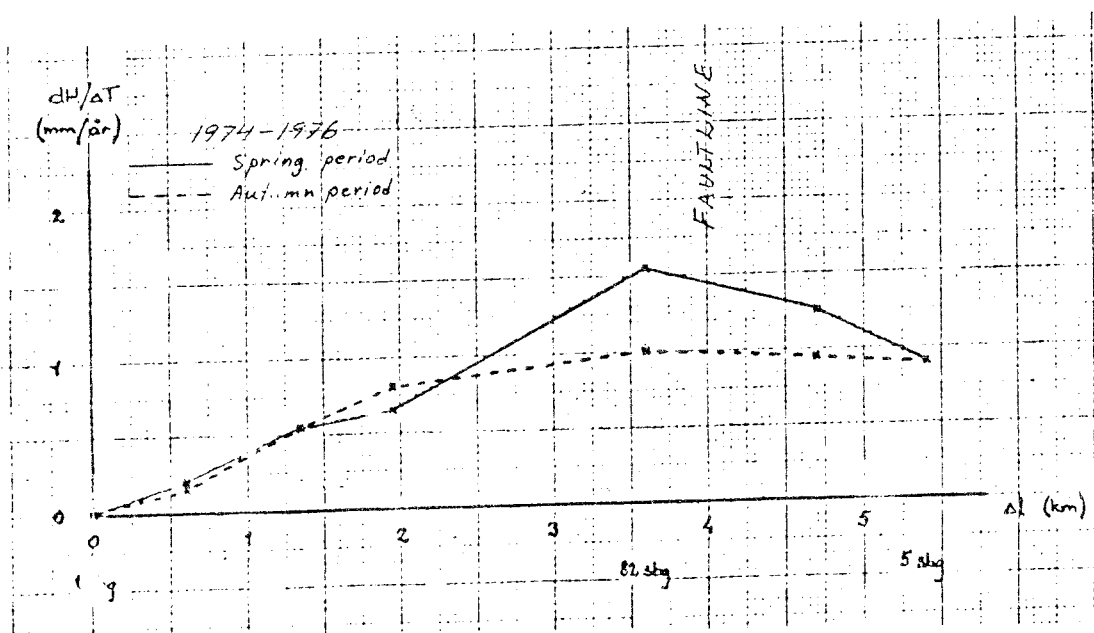


Fig. 26b Signifikant oregelbunden landhöjning utmed GDP-profilen över förkastningslinjen (Ekman 1977, jfr. Mörner 1977d).

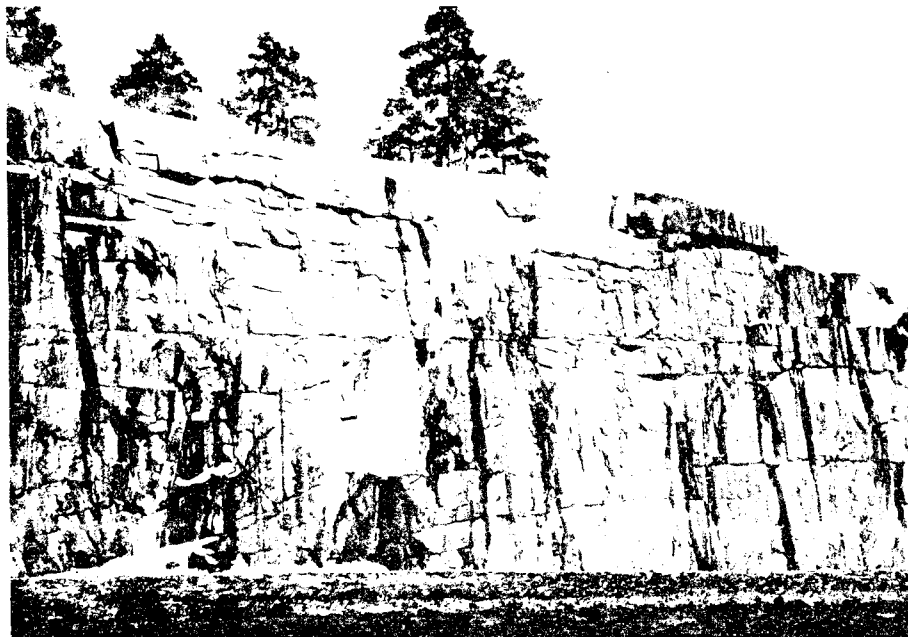
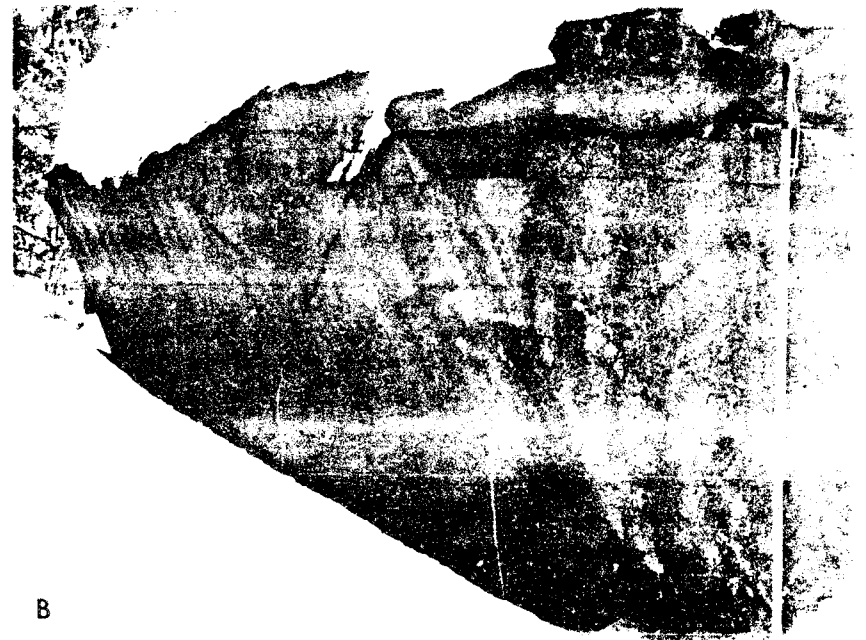


Fig. 2 (Mörner, 1977: "Faulting, fracturing...")



A



B

Fig. 4 (Mörner, 1977: "Faulting, fracturing...")

Förteckning över tekniska rapporter

01. Källstyrkor i utbränt bränsle och högaktivt avfall från en PWR beräknade med ORIGEN
Nils Kjellbert
AB Atomenergi 77-04-05
02. PM angående värmeledningstal hos jordmaterial
Sven Knutsson och Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-04-15
03. Deponering av högaktivt avfall i borrhål med buffertsubstans
A Jacobsson och R Pusch
Högskolan i Luleå 77-05-27
04. Deponering av högaktivt avfall i tunnlar med buffertsubstans
A Jacobsson, R Pusch
Högskolan i Luleå 77-06-01
05. Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall
Roland Blomqvist
AB Atomenergi 77-03-17
06. Groundwater movements around a repository, Phase 1, State of the art and detailed study plan
Ulf Lindblom
Hagconsult AB 77-02-28
07. Resteffekt för KBS del 1
Litteraturgenomgång Del 2 Beräkningar
K Ekberg, N Kjellbert, G Olsson
AB Atomenergi 77-04-19

08. Utlakning av franskt, engelskt och kanadensiskt glas med högaktivt avfall
Göran Blomqvist
AB Atomenergi 77-05-20
09. Diffusion of soluble materials in a fluid filling a porous medium
Hans Häggblom
AB Atomenergi 77-03-24
10. Translation and development of the BNWL-Geosphere Model
Bertil Grundfelt
Kemakta Konsult AB 77-02-05
11. Utredning rörande titans lämplighet som korrosionshärdig kapsling för kärnbränsleavfall
Sture Henriksson
AB Atomenergi 77-04-18
12. Bedömning av egenskaper och funktion hos betong i samband med slutlig förvaring av kärnbränsleavfall i berg
Sven G. Bergström
Göran Fagerlund
Lars Rombén
Cement och Betonginstitutet 77-06-22
13. Utlakning av använt kärnbränsle (bestrålad uranoxid) vid direktdeponering
Ragnar Gelin
AB Atomenergi 77-06-08
14. Influence of cementation on the deformation properties of bentonite/quartz buffer substance
R. Pusch
Högskolan i Luleå 77-06-20

15. Orienterande temperaturberäkningar för
slutförvaring i berg av radioaktivt avfall
Rapport 2
Roland Blomquist
AB Atomenergi 77-05-17
16. Översikt av utländska riskanalyser samt
planer och projekt rörande slutförvaring
Åke Hultgren
AB Atomenergi Augusti 1977
17. The gravity field in Fennoscandia and
postglacial crustal movements
Arne Bjerhammar
Stockholm 1977
18. Rörelser och instabilitet i den svenska
berggrunden
Nils-Axel Mörner
Stockholms Universitet 1977
19. Studier av neotektonisk aktivitet i mellersta
och norra Sverige, flygbildsgenomgång och
geofysisk tolkning av recenta förkastningar
Robert Lagerbäck
Herbert Henkel
20. Tektonisk analys av södra Sverige
Vättern - Norra Skåne
Kennert Röshoff
Erik Lagerlund
21. Earthquakes of Sweden 1891-1957
1913-1972
Ota Kulhànek
Rutger Wahlström

22. The influence of rock movement on the stress/strain situation in tunnels or bore holes with radioactive conisters embedded in a bentonite/quartz buffer mass.
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1977-08-22

23. Water uptake in a bentonite buffer mass.
A model study.

Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1977-08-22

24. Beräkning av utlakning av vissa fissionsprodukter och aktinider från en cylinder av franskt glas.

Göran Blomqvist
AB Atomenergi 1977-07-27