

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING  
JORDARTSGEOLOGISKA KARTBLAD SKALA 1:50 000

Serie Ae Nr 69

HARALD AGRELL

BESKRIVNING TILL JORDARTSKARTAN

GOTSKA SANDÖN

DESCRIPTION TO THE QUATERNARY MAP  
GOTSKA SANDÖN



UPPSALA 1987

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

---

JORDARTSGEOLOGISKA KARTBLAD SKALA 1:50 000

Serie Ae · Nr 69

HARALD AGRELL

**BESKRIVNING TILL JORDARTSKARTAN**

**GOTSKA SANDÖN**

DESCRIPTION TO THE QUATERNARY MAP

GOTSKA SANDÖN

UPPSALA 1987

ISBN 91-7158-433-1

ISSN 0586-1535

För information om berggrund och grundvatten hänvisas till berggrundskartor (SGU serie Af) samt hydrogeologiska kartor (SGU serierna Ag och Ah).

På beställning utför SGU även geologiska och hydrogeologiska specialundersökningar rörande grus- och sandförekomster, grundvatten, mineral, miljövård m. m.

Närmare upplysningar erhålls genom

**SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING**

Box 670

751 28 UPPSALA

Telefon 018-17 90 00

Fotosats: Ord & Form AB, Uppsala 1987

Tryck: Offsetcenter ab, Uppsala 1987

## INNEHÅLL

Inledande översikt .....	5
Topografiska och administrativa förhållanden .....	5
Kart- och flygbildsunderlag .....	5
Fältarbeten .....	6
Jordartskartläggning .....	6
Borrningar .....	7
Övriga specialundersökningar .....	7
Öns jordarter – sammanfattande beskrivning .....	8
Kvartärgeologiska och geomorfologiska huvuddrag .....	8
Karakteristiska drag hos öns jordarter och kvartärgeologiska objekt .....	10
Sub- och intramoräna sediment .....	10
Morän .....	16
Block .....	18
Isälvsavlagringar .....	18
Glaciala finkorniga sediment .....	18
Strandsand .....	19
Klapper .....	19
Kustklintar .....	20
Yttäckande flygsand .....	20
Sanddyner .....	21
Organogena jordarter .....	22
Geologiska sevärdheter .....	22
Berggrund .....	22
Glaciala bildningar .....	24
Borrningsresultat .....	24
Djupborrningen vid Hamnudden .....	24
Borrningen vid Hertas svag .....	27
Övriga borrningsresultat och moränobservationer .....	29
Blocksamlingar .....	31
Moränens kornstorleksfördelning och bergartsinnehåll .....	35
Moränens morfologi .....	37
Isälvsavlagringar .....	38
Glaciala finkorniga sediment .....	39
Postglaciala bildningar .....	40
Svallsediment och kustförändringar .....	40
Stratigrafin i kustklintarna .....	40
Borruppgifter .....	42
Strandsandens kornstorleksfördelning och bergartssammansättning .....	44
De fossila strandavlagringarnas ytformer .....	46
Landhöjningsförloppet .....	48
Pågående kustförändringar .....	52
Flygsand .....	62
Yttäckande flygsand och dyner i öns inre .....	62
Stranddynen .....	67
Randdynen .....	68
Flygsandsdriftens ålder .....	75
Sammanfattning av den kvartära utvecklingen .....	82
Kornstorleksanalyser (tabell 1) .....	86
Bergartsfördelning i olika fraktioner (tabell 2) .....	88
Summary .....	90
Litteratur .....	95

## Inledande översikt

### Topografiska och administrativa förhållanden

Gotska Sandön, Östersjöns mest ensligt belägna ö, ligger ca 40 km norr om Gotland (Fårö) och drygt 80 km OSO om de yttersta skären utanför Södertörn (Landsort). Öns mittpunkt är belägen på latitud N 58°22' longitud 19°15'. Ön har en areal av ca 36 km<sup>2</sup> med en största diameter i NV-SO av 9 km och en högsta höjd av ca 40 m ö.h.

Gotska Sandön tillhör Fårö församling i Gotlands kommun och län. Fram till 1770-talet var ön oskiftad utmark tillhörande markägarna på Fårö och saknade permanent bebyggelse. Därefter var ön i privat ägo, med tidvis omfattande fast bosättning i dess sydvästra del, fram till år 1857. Då inköptes ön av staten i samband med uppförandet av den år 1859 färdigställda fyrstationen vid Bredsand i öns nordvästra del. Ön förvaltades av dåvarande Lotsstyrelsen fram till år 1906, då Domänverket övertog huvudmannaskapet för ön (undantaget fyrplatsen, för vilken Sjöfartsverket ansvarade fram till år 1969). Ett 4 km<sup>2</sup> stort område i öns nordvästra del avsattes år 1910 som nationalpark och återstoden av ön blev år 1950 domänreservat. Hela ön blev nationalpark år 1963 och årsskiftet 1983/84 övertog Statens naturvårdsverk huvudmannaskapet för ön.

### Kart- och flygbildsunderlag

Gotska Sandön är markerad på översiktskartor över Östersjön redan på 1500-talet men den första kartläggningen av själva ön utfördes åren 1772-1773 som en lantmäterikarta i skala ca 1:16 000, vilken ej mångfaldigats (original i LMV:s arkiv). Den första tryckta kartan, generalstabskartans blad nr 59 i skala 1:100 000, utkom år 1888. Någon fältrevision av denna karta utfördes aldrig. En detaljrik skogskarta över ön i skala 1:16 000 upprättades år 1890 som en övningsuppgift av elever vid dåvarande Statens skogsinstitut. Denna karta, publicerad av Sylwan (1907) i en förenklad version förminskad till skala 1:60 000, utgjorde underlaget vid den första jordartskartläggningen av ön (SGU Aa 161, Munthe 1924). En revision och komplettering av den ovannämnda, opublicerade skogskartan utfördes år 1923.

Den första flygfotograferingen av ön, utförd åren 1933–1934 i skala 1:20 000, utgör underlaget till 1940 års ekonomiska karta i skala 1:10 000 som täcker ön i fyra blad. Den första omdrevsfotograferingen i skala 1:30 000 år 1958 utgör tillsammans med den ekonomiska kartan underlaget till 1961 års första edition av den topografiska kartan i skala 1:50 000, bladet 8 J/K Gotska Sandön. 1974 års omdrevsfotografering i skala 1:30 000 bildar flygbildsunderlaget till 1978 års ekonomiska karta som täcker ön i tre blad. Med detta material som underlag utgavs år 1977 en reviderad upplaga av den topografiska kartan med ny höjdkurvbild, vilken utgör det topografiska underlaget till jordartskartan. År 1980 genomfördes en flygfotografering i färg av Gotlands län inklusive Gotska Sandön i skala 1:20 000.

### Fältarbeten

Planering, genomförande och utvärdering av fältarbetsinsatserna har ägt rum i samarbete med avdelningsdirektör Åke Hörnsten, som tillsammans med författaren ansvarat för borrningsarbetena, dock ej borringen 1957. I fältarbetet har vidare följande fast och tillfälligt anställd SGU-personal medverkat: Anders Damberg, Gustav Hultquist, Olov Jonasson, Sven-Erik Karlsson, Bernt Kjellin, Roger Smedberg och Stefan Sädbom. Omfattande hjälp, främst vid borringarna, har lämnats av personalen på ön under ledning av tillsynsman Hans Hörlin. Manuskriptet har granskats av avdelningsdirektörerna Ernest Magnusson, Åke Hörnsten och Birgitta Ericsson, 1:e statsgeolog Christer Persson samt arkivarie Anders Damberg.

### JORDARTSKARTLÄGGNING

Då jordartskartläggningen utfördes sommaren 1982 och våren 1983 hade redan en omfattande markrekognoscering ägt rum somrarna 1980 och 1981, i huvudsak längs samtliga vägar och större stigar på ön. Kartläggningen utfördes i stort sett enligt den för jordartskartorna i serie Ae gängse metodiken med inledande flygbildstolkning av förmodade jordartsgränser. Härvid användes 1980 års färgbilder i skala 1:20 000. Vid kartläggningen, som utfördes på 1978 års ekonomiska karta i skala 1:10 000, har kartbilden måst generaliseras kraftigt inom öns centrala del, dvs. där den yttäckande flygsanden upphör mot söder. De ofullständigheter som finns på kartan torde dock sakna praktisk betydelse.

## BORRNINGAR

Den år 1957 utförda djupborrningen vid Hamnudden (Thorslund 1958) nådde berggrundsytan ca 70 m u.h. De lösa jordlagren spolades upp och endast inom ett meterlångt avsnitt nära botten, där lera påträffades, togs kärnprov. Borrmetoden innebär att jordartsbedömningarna ofta är ofullständiga. Vid kartläggningen bedömdes det av ekonomiska skäl som uteslutet att söka åstadkomma en ny borrning ned till berggrundsytan. Det bör nämnas att borrplatsens läge blivit felaktigt markerat på kartan. Till följd av strandreträkten befinner sig platsen numera några meter ute i vattnet (jfr fig. 27).

Borrning med motordriven skruvsond av typ Kobra utfördes sommaren 1981 vid Hertas svag, Skogsudden (Höga land) och Säludden. Sommaren 1982 utfördes rörborrning med Borros borrhandsvagn (rördiameter 50 mm och provtagningspets med möjlighet till kärnprovtagning med 30 cm intervall) vid Hertas svag, söder om kapellet (Kapellänget), norr om Höga åsen och på St. Beckrevet. Vid öns mittpunkt borrades sommaren 1984 med slagborrmaskin av typ Pionjär utrustad med 20 cm provtagningspets, diameter 30 mm. Med samma utrustning borrades vid Kyrkudden samt mitt på västra stranden.

## ÖVRIGA SPECIALUNDERSÖKNINGAR

Tubavvägning har utförts vid samtliga observationspunkter för grundvattnen. I övrigt har syftspegel använts för höjd- och lutningsbestämningar av borrhull, kustklingor, strandvallar, dyner m.m. Detta förfarande har motiverats av det lägre kravet på mätnoggrannhet, de korta distanserna och närheten till havsytan som referensnivå.

Uppmätning av stratigrafien i kustklingorna utfördes våren 1983 i vertikalfiler med 50 m intervall då skärningarna efter den långvariga vinterstormen med åtföljande högvatten blivit exponerade till flera meters höjd. Där har även utförts fyra stenorienteringsanalyser samt mätning av stenarnas rundningsindex i skärningar och strandklapper. Vid provtagning för kornstorleksanalyser (30 stycken, tabell 1) och bergartsbestämning av fingsfraktionen (14 stycken, tabell 2) har eftersträvt en jämn fördelning av provtagningspunkterna över ön samt täckning av samtliga jordartstyper. Bestämning av blockens bergartssammansättning har utförts på fem lokaler där block i tillräckligt antal (mer än 100) förekommer. På lika

många lokaler har bergartsbestämning av finstensfraktionen utförts. På 10 borrhprover har materialets kalkhalt i fraktionerna mindre än 2 mm bestämts (tabell 1). Strandsandens stenhalt har bestämts genom fältsiktning på en lokal.

Kol 14-analys utförd på prover från torrträd i Arnagrop visade att åldrarna på dessa ej var tillräckligt höga för att kunna dateras med kol 14-metoden. För att på ett annat sätt söka datera flygsandsdriften företogs därför en dendrokronologisk undersökning på denna lokal hösten 1982 av Lars Löfstrand. Prover togs såväl av döda träd utanför randdynen som av levande skog där innanför. Resultaten redovisas i kapitlet om flygsandsdriften.

Fotografisk dokumentation är på ön av särskilt stor betydelse då vissa kustavsnitt kunnat ändra utseende på mycket kort tid. Flera objekt har därför fotograferats vid olika tillfällen. Sommaren 1983 utförde Arne Philip som en del i fältarbetet en flygfotografering omfattande snedbilder av samtliga kustavsnitt runt ön. De i samband med kartläggningen tagna fotografierna har dels jämförts med äldre (historiska) foton, bevarade i landsarkivet i Visby, dels med mark- och flygbilder från perioden 1975–1979 som tagits av Christian Bronge vid Stockholms universitets naturgeografiska institution. De årliga kustförändringarna har således kunnat följas under ett decennium. Mera sporadisk dokumentation sträcker sig ungefär ett sekel tillbaka.

## **Öns jordarter – sammanfattande beskrivning**

### **Kvartärgeologiska och geomorfologiska huvuddrag**

Gotska Sandön (fig. 1) är helt igenom uppbyggd av lösa jordlager som den största ackumulationen längs ett ca 70 km långt submarint ryggkomplex, vilket från östra spetsen av Fårö sträcker sig över Salvo rev, Sandö Bank, Gotska Sandön och förbi de ca 20 km norr om ön belägna grunden Kopparstenarna. Vattendjupet vid Kopparstenarna är mindre än 1 m. Ryggkomplexets lokalisering kan delvis vara betingad av revförekomster i kalkstensberggrunden, vilka medfört att berggrundens överyta kommit att ligga relativt högt längs ryggen.

Berggrundsytan under ön har vid en djupborrning nära öns sydvästra spets, Hamnudden, konstaterats ligga ca 70 m u.h. Jordlagren kan således, flygsanden inräknad, bli över 100 m mäktiga och måste anses vara

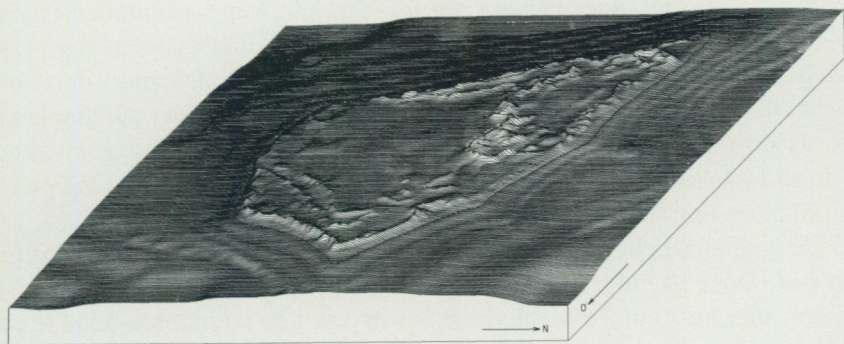


Fig. 1. Stereogram över Gotska Sandön, sedd från NO med Kyrkudden i förgrunden. Särskilt tydligt framträder dynlandskapets morfologi. Bilden är framställd under ledning av docent Tom Flodén.

*Stereographic projection of the Sandön island seen from the NE with Kyrkudden in the front. Note the distinct dune morphology. The picture was sketched from instructions by Dr Tom Flodén.*

ofullständigt kända. Morän når på flera platser runt stränderna upp ungefär i havsytans nivå. Huvuddelen av ön täcks av strandvallskomplex på successivt lägre nivåer ut mot stränderna (fig. 2). Strandsand med inblandad sten ingår i dessa komplex och utgör därför såväl ytmässigt som till volymen den dominerande jordarten på ön. Strandvallskomplexens överyta når i öns södra del drygt 20 m ö.h., i den norra ca 10 m ö.h. Stranden runt huvuddelen av ön är sandig och långgrund (fig. 3 och 4). Branta, drygt 15 m höga kustklingor finns i söder och sydväst. I anslutning till dessa utgörs den nutida stranden av klapper (fig. 5 och 6).

Mäktiga, upp till 25 m höga flygsandsdynor finns främst i de norra och östra delarna av öns inre. Störst bland dem är Höga åsen, som i ost-västlig riktning överkorsar öns norra del. Den 10–20 m höga randdynen löper innanför flackkusten runt huvuddelen av ön. Den i halvmånformiga inbuktningar, "svag", uppdelade dynen har i sen tid vandrat in mot ön (fig. 7). Utanför denna utbreder sig kalblåsta överytor av strandvallskomplex i form av steniga, grusiga deflationsytor ("burgområden" fig. 8), vilka begränsas mot den nutida stranden av en låg och ofullständigt bevuxen stranddyn (fig. 9).

Öns inre täcks av gles tallskog av hög ålder (upp mot 200 år) och med

svag återväxt (fig. 10). Smärre öppna flygsandsområden finns i öns östra hälft, där skogsbränder härjat i sen tid (fig. 33). Mindre områden täckta av lövskog finns på fuktigare platser i sänkor mellan dynerna (fig. 11). Den tidigare helt kala randdynen och burgen har under de senaste decennierna till största delen täckts av gles, lågvuxen tallskog. Organogena jordarter saknas nästan helt beroende på den totala frånvaron av ytvatten i form av bäckar eller vattenansamlingar (undantaget tillfälliga laguner i strandnära områden).

De genomsläppliga jordlagren har medfört att tillgången på grundvatten är god. Dock ligger grundvattenytan p.g.a. jordlagrens mäktighet relativt djupt; mer än 10 m u.my., d.v.s. 0.5–1 m ö.h. i de strandnära områdena, något ytligare (4–6 m u.my. eller 7.5–11 m ö.h.) i öns inre. Kontinuerliga grundvattenobservationer utförs fr.o.m. hösten 1982 vid två mätstationer på ön, vilka ingår i SGU:s grundvattenobservationsnät.

### Karakteristiska drag hos öns jordarter och kvartärgeologiska objekt

I detta avsnitt lämnas en översikt och definition av de på ön förekommande jordarterna och de övriga kvartärgeologiska objekten. I texten beskrivs jordarterna i huvudsak från äldre till yngre bildningar.

#### SUB- OCH INTRAMORÄNA SEDIMENT

Sorterade jordarter under och mellan moränlager har påträffats vid borrhningarna vid Hamnudden och Hertas svag. Hertas svag är den borrhpunkt som på kartan betecknats >14 F + M vid stranden 2 km söder om Bred-sandsudden. Namnet, som återkommer i följande kapitel, är ej utsatt på jordartskartan men återfinns jämte vissa andra namn på kartan fig. 12. Endast vid Hertas svag har dessa jordarter observerats vid karteringen.

Fig. 2. Arnagrop och Kyrkudden på flygbilder från år 1934 (a) respektive 1980 (b). I bilderna framträder det av flygsandsryggar tillskärpta, kustparallella strandvallsmönstret, Kyrkuddens tillväxt med inkapsling av krumudden och den ökade skogväxten på burgen samt delvis på randdynen. Godkända för publicering av Lantmäteriverket 1987-03-31.

*Arnagrop (upper left) and Kyrkudden (right) on aerial photographs from 1934 (a) and 1980 (b). The pictures show the beach ridges parallel to the coast, superimposed by windblown sand, the growth of Kyrkudden with the curved spit now replaced by a continuous coastline and the increasing pine vegetation on the deflation area and partly on the rim dune.*

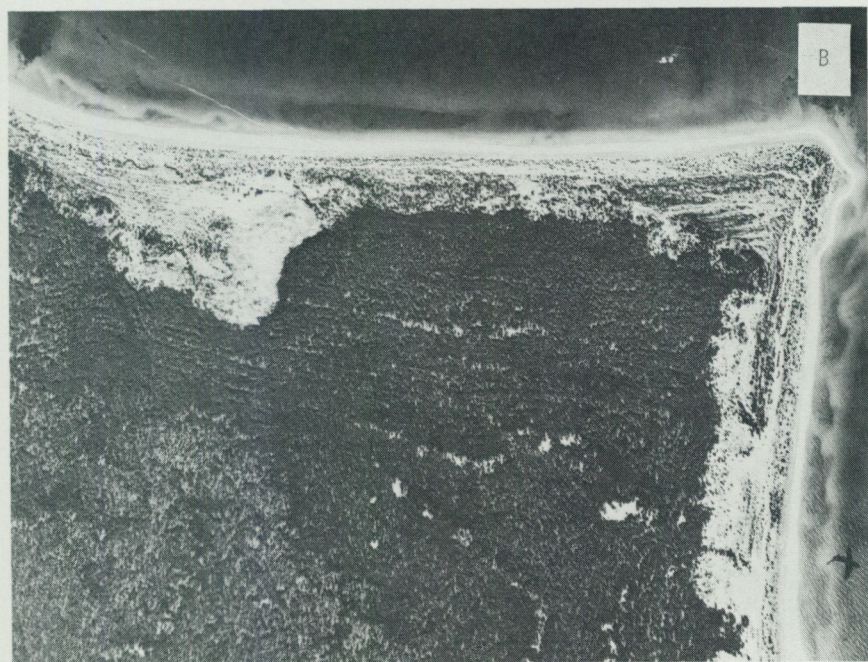
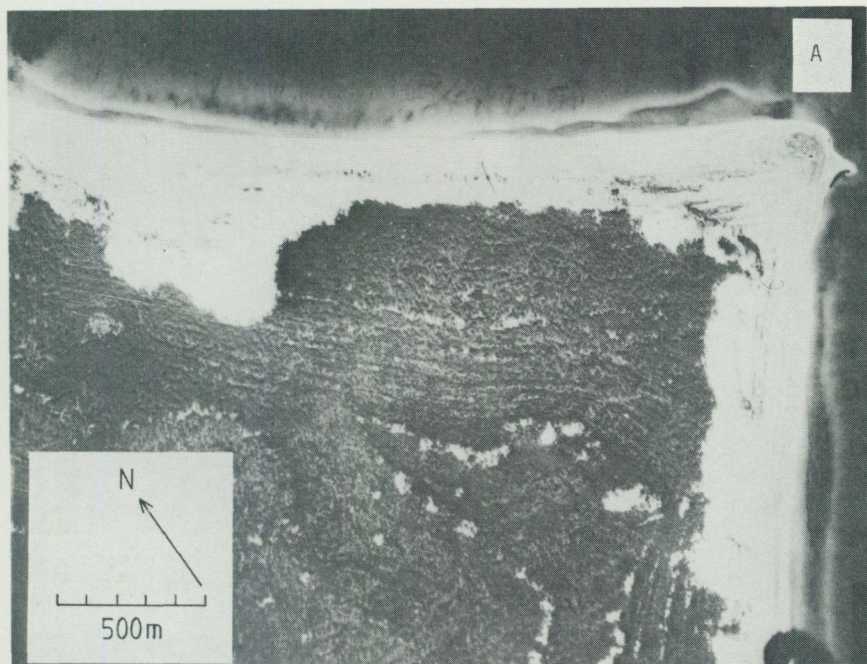




Fig. 3. Den breda, vågformade sandstranden i Franska bukten jämte stranddynen, burgen och randdynen här innanför. Foto Arne Philip 1983. Godkänd för publicering, C MKG 1983-07-22.

*The wide and undulating beach along Franska bukten in the SE. The photograph also shows the beach dune, the deflation area and the rim dune.*



Fig. 4. Sandstranden öster om Arnagrop. Foto H. Agrell 1980.

*The flat sandy beach E of Arnagrop at the northern shore.*



Fig. 5. Rasbranten i Höga land, från högsta punkten mot Tärnudden. Foto Anders Damberg 1981.

*The retreating coastal cliff at Höga land, looking eastwards from its highest point towards Tärnudden.*



Fig. 6. Klapper som avlagrats i norra Varvsbukten under vinterstormen. Foto H. Agrell mars 1983.

*Cobble accumulation in the northern part of Varvsbukten at the winter storm in 1983.*

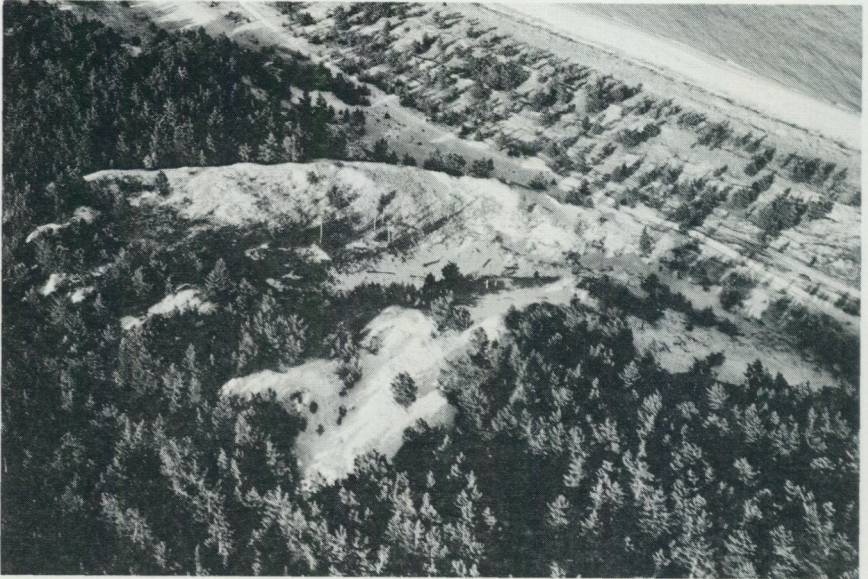


Fig. 7. Ofullständigt vegetationstäckt parti av randdynen innanför Franska bukten. Foto Arne Philip 1983. Godkänd för publicering, C MKG 1983-07-22.

*A part of the rim dune at Franska bukten in the SE, still not covered with pine forest.*



Fig. 8. Burgområdet på Bredsand. Foto H. Agrell 1980.

*The deflation area outside the rim dune at Bredsand in the NW.*



Fig. 9. Den yttersta av stranddynerna på Bredsand. Foto Anders Damberg 1981.  
*The outermost of the coastal dunes at Bredsand.*



Fig. 10. Inre slätten SO om öns mittpunkt. Foto H. Agrell 1980.  
*The inland plain in the southeastern part of the island.*



Fig. 11. Ekskogen i Kapellänget söder om Fyrplatsen. Foto Rosa Wallgren 1981.  
*The deciduous forest at Kapellänget in the northwestern part of the island.*

De domineras här av mellansand och grovmo (proverna 1–4 i tabell 1). I mindre omfattning förekommer sten- och grusrika skikt. De sub- och intramoräna sedimentens sammansättning vid Hamnudden är mera ofullständigt känd. Där förekommer nära botten av lagerföljden även glacial lera. Sediment av likartad karaktär, delvis utan täckande morän, har även observerats i prover och borrhärdar från havsbotten utanför ön, som insamlats vid SGU:s maringeologiska kartering.

#### MORÄN

Ett flertal observationer av morän, i regel lerig sandig–moig, har gjorts ungefär i havsytans nivå längs öns stränder (se kartans borrhuppfigurer). Moränen täcks dock av strandsand eller har så ringa utbredning i markytan att den icke kunnat markeras på kartan. Prover tillräckliga för kornstorleksanalys har tillvaratagits från Hertas svag, Höga land (Skogsudden) och St. Beckrevet. Moränen är lerig och moig till sandig–moig, vid St. Beckrevet dock grusig–sandig (sannolikt ett svallat ytskikt), jfr prover-

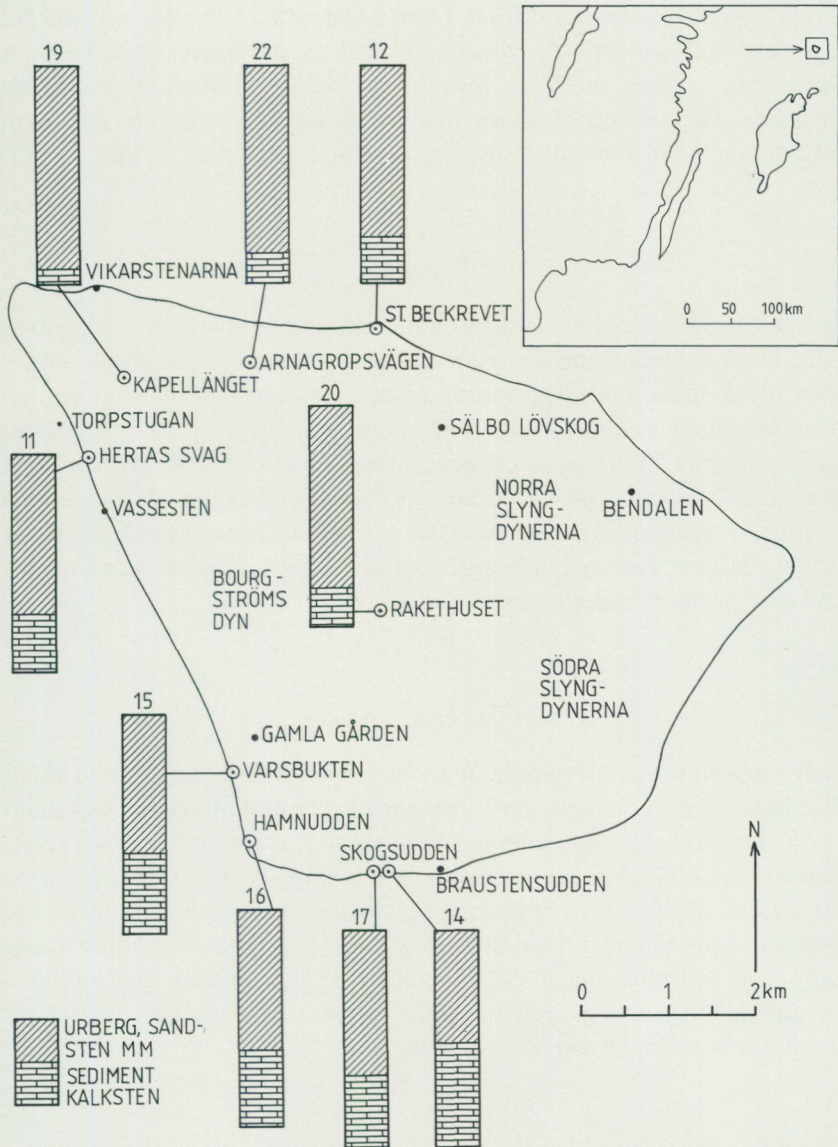


Fig. 12. Fördelningen mellan sedimentär kalksten och övriga bergarter i fingrusfraktionen. Numren hänvisar till tabell 2. På kartan har dessutom angivits vissa i beskrivningen nämnda platser som ej markerats på jordartskartan.

*The amount of sedimentary limestone in the fine gravel fraction. Numbers according to Table 2. The map also shows some sites mentioned in the description, which are not marked on the Quaternary map.*

na 5–8 i tabell 1 samt fig. 19. De finaste fraktionerna består till stor del av nedkrossad ortocerkalk, vilket indikeras av moränens höga kalkhalt (i proverna 5 och 6 ca 25%). Moränens block- och stenhalt är svår att uppskatta. Frekvensen av block och stenar där moränen når upp nära markytan antyder dock att moränens blockhalt i regel är måttlig.

#### BLOCK

Öns relativa fattigdom på block har gjort det motiverat att i princip redovisa alla block med en diameter överstigande ca 1 m. De största ansamlingarna av block finns inom begränsade avsnitt längs stränderna, där den på kartan använda symbolen betecknar flera (upp till några tiotal) block. Beteckningarna längre in på ön avser i regel enstaka block. Markeringen för enstaka mycket stora block har använts då den synliga delens största tvärsnitt överstigit fyra meter, men det verkliga tvärsnittet torde i flertalet fall vara större. I vissa fall har genom grävning kunnat konstateras att blocken verkligen underlagras av morän.

#### ISÄLVSAVLAGRINGAR

Säker förekomst av isälvs sediment under strandsanden på ön är inte känd. Klart belagda isälvsavlagringar förekommer däremot i havsområdet utanför ön. Förmodade isälvs sediment utan täckande morän har observerats i markytan vid blocket Elefanten söder om Kapellänget (sevärdhet L på kartan), där de utgörs av stenig grusig sand. Till isälvsavlagringarna hör eventuellt även den starkt kalkhaltiga grovmo som påträffats under stenig grusig sand vid borrhningen vid öns mittpunkt. En jordart som möjligen har samma ursprung är den finmoiga grovmo som närmast överlagrar moränen i borrhningen vid Skogsudden.

#### GLACIALA FINKORNIGA SEDIMENT

Varvig lera, dominerad av finlera, med ringa utbredning och mäktighet täcker moränen i området kring Hertas svag. Leran täcks av strandsand och måste grävas fram. Den är därför ej markerad på kartan. På övriga

lokaler där moränen nåtts överlagras den direkt av friktionsmaterial. Hårt packad och kalkhaltig homogen finmo av mer än tre meters mäktighet har påträffats vid borrhningen på Säludden. Den har tolkats som glacial finmo. Området har alltför liten utbredning för att kunna markeras på jordartskartan. Glacial lera är den till arealen dominerande jordarten i de djupare delarna av havsområdet utanför ön (jfr Kjellin et al. 1987).

#### STRANDSAND

Den kvantitativt dominerande jordarten på ön är en mycket enhetlig grovmoig mellansand med inblandning av grus och små stenar (proverna 10–25 i tabell 1 samt fig. 22). Stenhalten uppgår till ca 10 viktprocent. Kalksten förekommer rikligt i grus- och stenfraktionerna (jfr kartan, fig. 12, samt analyserna av bergartsfördelningen i tabell 2), men på normalt karteringsdjup (0.5 m) är det finkornigare materialet relativt kalkfattigt genom urlakning. I sandens djupare delar har molluskskal påträffats.

Strandsanden, vars mäktighet kan överstiga 20 m, bildar mycket flacka ytor, ofta med ett karakteristiskt "tvättbrädesmönster" orsakat av upp till någon meter höga, kustparallella strandvallar. Dessa vallar är i öns inre ofta pålagrade av flygsand (jfr nedan) och inom vissa områden är det mycket svårt att exakt avgränsa flygsanden. Av denna orsak har jordarten på kartan generellt betecknats som fläckvis täckt av flygsand.

På de vegetationsfattiga burgområdena utanför randdynen är strandsanden i regel täckt av ett tunt, vindslipat sten- och gruslager. Denna stenrikning, som även kan förekomma i skogsmarken, är en följd av yttlig deflation, d.v.s. vinden har transporterat bort sand från ytan och därvid slipat stenarna. På karteringsdjup är jordartens sammansättning den för öns inre normala och därför har dessa områden ej erhållit någon särskild beteckning på kartan. Den recenta strandsanden är runt större delen av ön enhetlig grovmoig mellansand (prov 24 i tabell 1), men i anslutning till klapperstränderna är jordarten grövre, fingrusig grovsand (prov 25 i tabell 1).

#### KLAPPER

De fossila klappervallarna skiljs från de stentäckta deflationsytorna på burgen genom det grövre materialet, som i markytan domineras av större

stenar. Klappern har ringa utbredning på djupet. Två klappervallar finns ovanför kustklinten i norra delen av Varvsbukten och en vall löper runt den inre delen av Bredsandsudden. Klapper har ej påträffats i öns inre.

Recent klapper, bestående av större och mindre stenar samt, i mindre omfattning, av smärre block, förekommer nedanför kustklintarna längs öns södra och sydvästra stränder. Mäktigheten kan uppgå till någon meter. Klappern längs västra stranden fortsätter ytterligare norrut, där materialet är finkornigare och successivt ersätts av sandstrand. Kortare avsnitt med klapperstrand finns i anslutning till blocksamlingarna längs öns norra kuststräcka. Utbredningen av den nutida klapperstranden beror delvis av pågående materialtransport och kusterosion och är alltså föränderlig. Kartan visar situationen sommaren 1983.

#### KUSTKLINTAR

Kustklingtar med rasbranter av upp till drygt 15 meters höjd finns längs en kilometerlång sträcka på sydkusten (Höga land, fig. 5) och ca 3 km norrut från Hamnudden längs Varvsbukten. Klintarna eroderas efterhand av nutidens vågor och de är därför i stort sett vegetationslösa. Branterna ligger i rasvinkel, drygt 30°. De nedersta metrarna av de högsta partierna är inom begränsade avsnitt nära nog vertikala och öppna skärningar har bildats (fig. 20). Dessa skärningar är de enda som finns på ön. Av denna orsak, och eftersom vågerosion pågår utefter denna klintkust har den markerats med den kantlinje som används för brantformer på de topografiska kartorna.

#### YTTÄCKANDE FLYGSAND

Flygsandens stora utbredning och mäktighet (maximalt ca 30 m) gör det olämpligt att använda den gängse blå överbeteckningen på underliggande jordart. Färgmarkeringen för yttäckande flygsand är en för detta kartblad särskilt använd symbol. Proverna 26–30 i tabell 1 samt fig. 35 visar en enhetlig kornstorleksfördelning dominerad av mellansand. Flygsanden är kalkfri i öns inre och svagt kalkhaltig i de strandnära partierna där flygsanden är relativt ung. Vidsträckta, flacka områden, där den ursprungliga strandvallstrukturen ofta är väl urskiljbar, täcks av flygsand. Yttäckande flygsand har markerats där mäktigheten överstiger 1 m, d.v.s. det djup



Fig. 13. Den största av vitmosstuvorna vid foten av Höga åsen norr om Schipkapasset. Rygg-säcken t.v. och spadskaflet t.h. anger tuvans begränsning. Foto H. Agrell 1982.

*The largest of the peat moss hummocks at the northern slope of Höga åsen.*

som nås vid sticksondering. Avsaknaden av grus och stenar har varit det främsta kriteriet vid begränsningen av flygsandsområdena. Smärre flacka områden av flygsand som ej markerats i kartbilden förekommer främst inom öns södra centrala del.

#### SANDDYNER

Sanddynernas morfologi framgår endast delvis av topografiska kartans höjdkurvbild. Dynerna har därför givits en särskild beteckning. Den krönmarkering direkt på strandsanden som utlagts längs huvuddelen av öns kust avser den mellan stranden och burgområdet belägna stranddynen. Endast på och söder om Bredsandsudden samt vid Kyrkudden har denna dyn en sådan bredd att den kunnat markeras med kontur. Stranddynen undantagen innebär krönmarkeringen en lägsta höjd av ca 5 m.

## ORGANOGENA JORDARTER

Den totala avsaknaden av ytvatten har orsakat en nästan lika fullständig frånvaro av organogena jordarter. Inom öns lövskogsområden finns inga torvavlagringar ens i de fuktigaste partierna, endast förna av något tiotal centimeters mäktighet. Den beteckning för tunt torvlager på strandsand som använts på en lokal, norr om Schipkapasset, avser ett antal i sen tid bildade vitmosstuvor (fig. 13), vilka delvis växer över nedfallna trädstammar. Mäktigheten uppgår maximalt till några tiotal cm. Till de organogena bildningarna på ön bör även räknas av flygsanden täckta torrträd, stubbar och markhorisonter under och utanför randdynen, vilka tydligast framträder i Arnagrop.

## GEOLOGISKA SEVÄRDHETER

På kartan har med bokstavssymboler markerats 11 geologiska objekt som bedömts på ett åskådligt sätt demonstrera de geologiska processer som varit och är verksamma på ön. Denna redovisning har motiverats av öns status som nationalpark och frekventerat turistmål. Objekten är kortfattat beskrivna i anslutning till kartan och bokstavs-beteckningen anges även i texten där de olika objekten behandlas.

**Berggrund**

Lagerföljden i berggrunden under Gotska Sandön har i form av borrhäror kunnat studeras från den enda djupborrningen på ön, som utfördes år 1957 vid Hamnudden. Lagerföljden är översiktligt beskriven av Thorslund (1958) och dess kambroordoviciska del i detalj av Martinsson (1960), som även regionalt behandlar den kambrosiluriska berggrundens morfologi inom denna del av Östersjön. Genom de omfattande seismiska undersökningar som redovisats av Flodén (1980), i populär form av Flodén (1979), har de sedimentära bergarternas utbredning och mäktighet inom denna del av Östersjön klarlagts. Ytterligare data rörande berggrundsmorfologin i havsområdet runt Gotska Sandön har framkommit vid de reflektionsseismiska profilmätningar som utförts inom ramen för SGU:s maringeologiska kartering. Resultaten är redovisade som berggrundskar-

tor i skala 1:200 000 omfattande de maringeologiska kartbladen Gotska Sandön, Fårö och Koppastenarna (SGU Am 1, 2 och 3, bil. 4, 1987). För närmare information om berggrunden runt ön hänvisas till de ovan citerade arbetena. I detta kapitel lämnas endast en kort sammanfattning av bergartslagerföljden i Hamnuddenborrningen samt av berggrundsmorfologin i omgivande havsområde.

Vid Hamnudden överlagras berggrundsytan av 73 m kvartära lager, vilka beskrivs i följande kapitel. Borrningen påbörjades 2 m ö.h. och berggrundens överyta ligger alltså 71 m u.h. Lagerföljden avslutas uppåt med grå, överordovicisk kalksten av 20 m mäktighet, underlagrad av 8 m lera och 59 m grågrön underordovicisk kalksten, vilket innebär en sammanlagd mäktighet hos de ordoviciska lagren av 87 m. Eftersom över- och mellankambrium helt saknas i området underlagras kalkstenen direkt av 72 m underkambrisk sandsten, vilken i sin övre del är lerblandad. Denna grå sandsten är delvis brunaktig och rostfärgad och svår att i lösa block skilja från den underliggande jotniska sandstenen, vilken har en skär-violettfärg. Även här föreligger en betydande lagerlucka, förmodligen omfattande närmare en miljard år. Borrningen avbröts vid 241 m u.my. sedan 9 m jotnisk sandsten genomborrats. Vid de seimiska profilmätningarna i havsområdet väster om ön (Flodén 1980, fig. 14 b, s. 29) klarlades att urbergsytan täcks av ca 200 m mäktigt jotnisk och subjotnisk sandsten-kvartsit. Urbergsytan vid Hamnudden överlagras alltså av minst 430 m mäktiga sedimentära bergarter. Thorslund meddelade förf. hösten 1980 kort före sin bortgång att orsaken till borrningens avbrytande var att borröret krökt sig så att fortsatt borrning omöjliggjordes.

Från norra spetsen av Fårö och upp till området kring Koppastenarna bildar kalkstensberggrunden en rygg, vars högsta delar når ca 50 m u.h., vilket är upp mot 100 m högre än berggrundsytan i öster och väster. Kalkstensberggrundens relativa plana överyta stupar någon grad mot sydost och slutar västerut och norrut med en markerad klint. Denna klint, som utgör den submarina fortsättningen av den öländska landborgen (jfr Martinsson 1960) löper blott något tiotal km väster om Gotska Sandön. Den är kraftigt loberad genom fluvial erosion i preglacial tid.

Inom den överordoviciska kalkstenen förekommer i området mellan Gotska Sandön och Gotland minst ett 50-tal upp till ca 2 km breda revkroppar av Paleoporellakalksten, vilken påträffas i block på Gotska Sandön. Enligt muntligt meddelande av prof. em. Ivar Hessland torde en större samling av dylika fossila rev vara den främsta orsaken till öns lokali-

sering. Någon revkalksten under ön är ej markerad på den maringeologiska berggrundskartan då seismiska undersökningar ej utförts på själva ön. Den förhöjda berggrundsytan kan ha bidragit till att de kvartära avlagringarna längs Sandöryggen har lokaliserats dit.

Väster och NV om ön täcks havsbotten utanför kalkstensklinten inom ett större område av jotnisk och subjotnisk sandsten – kvartsit. Utanför klinten norr om Kopparstenarna förekommer kristallin berggrund, förmodligen i huvudsak subjotniska röda och bruna porfyryr samt jotniska diabaser och diabasmandelstenar. Längre norrut uppträder rapakivigranit av ålandstyp. Mot NV möter urberg av mellansvensk typ, främst granatådergnejs, gnejsgranit, urbergsgrönsten och leptit. Sistnämnda bergarter kan vid bergartsanalys i grusfraktionen ej skiljas från diabas och porfyr. Porfyren i havsområdet norr om Gotska Sandön har genom nyligen utförda undersökningar av Wickman visats vara klart yngre än motsvarande bergarter i Dalarna. Åtskilliga bergarter av främmande ursprung har som barlast i fartyg hamnat runt öns stränder. Bergartsanalyserna i sten- och grusfraktionerna har följaktligen utförts i grävda gropar eller öppna skärningar.

De ovannämnda bergartstyperna har vid analyser av bergartsfördelningen i olika fraktioner (tabell 2, jfr fig. 12) visat sig ha en i stort sett jämn fördelning över ön, såväl i moränen som i strandavlagringarna. Dessa analyser ger alltså föga ledning vid särskiljandet av olika isrörelser. Det är rimligt att förutsätta en betydande omlagring av jordarter avsatta vid tidigare glaciationsfaser som en orsak till detta förhållande (jfr Gillberg 1977).

## Glaciala bildningar

### Borrningsresultat

#### Djupborrningen vid Hamnudden

1957 års djupborrning vid Hamnudden är den enda borrning som genomtränger hela den kvartära lagerföljden på Gotska Sandön. Den är där 73 m mäktig. Den har kortfattat beskrivits av Thorslund (1958, s. 191–193), mera i detalj av Svensson (1961, opubl.). Borrningen utfördes med rördrivning och materialet spolades upp. Denna borrhsteknik medför att jordartsbestämningarna i vissa fall blir osäkra. Den redovisade profilen, fig. 14, är renritad efter ett koncept i Anders Martinssons efterlämnade hand-

## HAMNUDDEN, GOTSKA SANDÖN

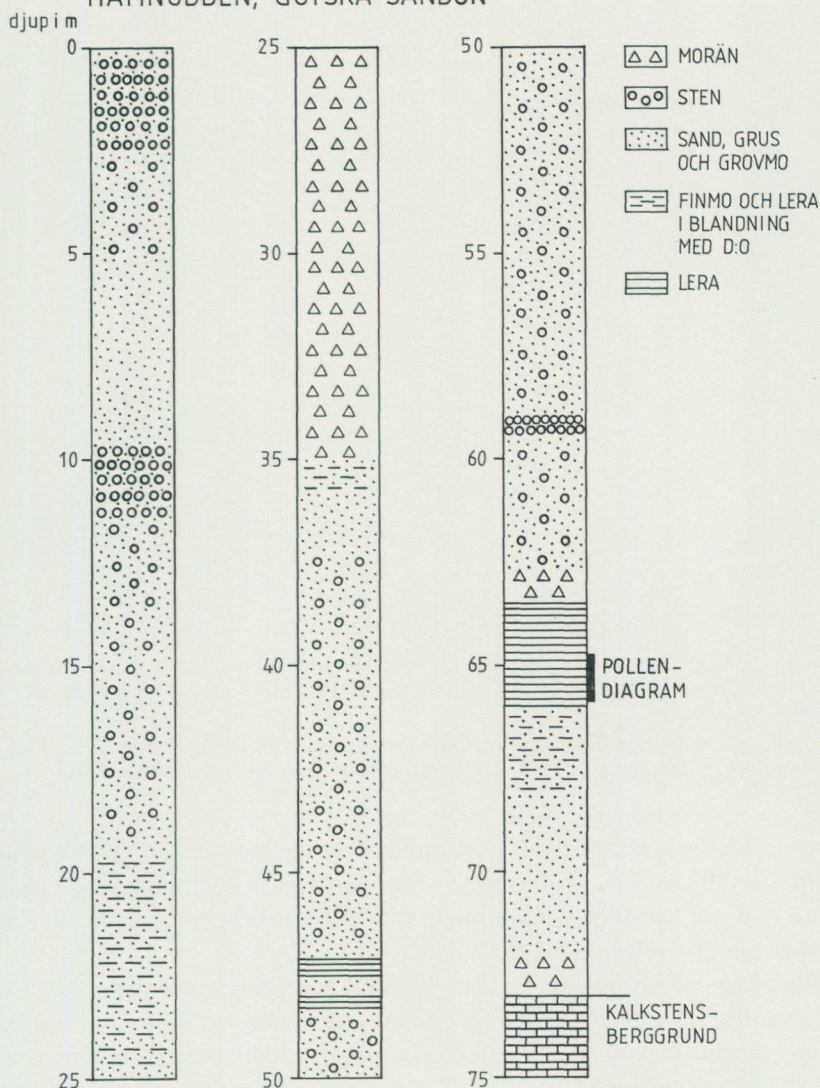


Fig. 14. Den kvartära delen av lagerföljden i 1957 års djupborring vid Hamnudden. Efter koncept i professor Anders Martinssons efterlämnade handlingar.

*The sequence of Quaternary deposits in the 1957 drilling at Hamnudden. From an unpublished sketch by the late professor Anders Martinsson. Legend from above: Till; shingle and cobbles; gravel, sand and fine sand; d:o mixed with silt and clay; glacial clay. (The profile ends towards limestone bedrock.)*

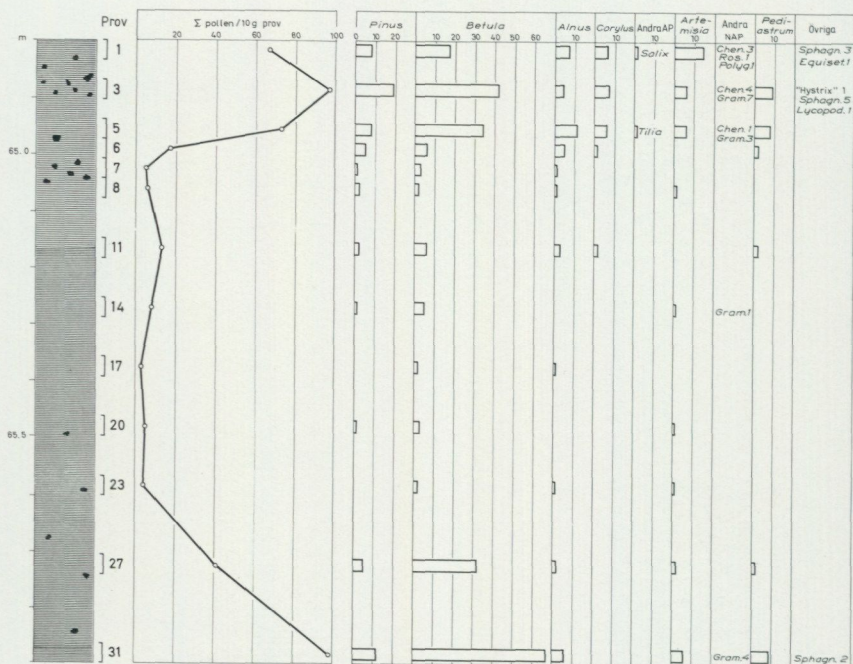


Fig. 15. Pollendiagram från glacialeran vid 65–66 m u.my. i borrhprofilen vid Hamnudden. De svarta styckena i leran betecknar stenar. Från Svensson 1961; analyserna utförda av L-K Königsson.

*A pollen diagram from the glacial clay at 65 to 66 metres below surface in the drilling at Hamnudden. From Svensson 1961. The analyses were made by L-K Königsson.*

lingar. Detta koncept överensstämmer i detalj med de fältanteckningar som erhållits av L-K Königsson, som övervakade borrhningen ned till 39 meters djup. Skriftlig fältdokumentation av borrhningens djupare del har tyvärr ej varit tillgänglig.

Borrhplatsen var belägen ca 2 m ö.h. och berggrundsytan ligger alltså 71 m under havsytans nivå. Ned till 25 m under markytan (m u.my.) uppträder friktionsjordarter. Till 20 m dominerar stenblandad sand med ett markerat stenlager vid 10–12 m. Sanden är stenfri och lerblandad mellan 20 och 25 m. Mellan 25 och 35 m genomgicks en hårdborrad, ofullständigt sorterad jordart där såväl finmaterial som stenar påträffades. Detta material har tolkats som morän och därunder följer stenblandad sand ned till 63 m. I detta material förekommer två tunna lerhorisonter, mellan 47.1 och 47.4 m samt mellan 48.0 och 48.3 m. Ett stenlager genomborra-

des vid 59.0–59.5 m. En tunn horisont av förmodad morän vid 63.0–63.5 m täcker 2.5 m styv lera ned till 66 m. Av denna lera tillvaratogs en meterlång provserie och i denna har innehållet av mikrofossil analyserats av L-K Königsson (fig. 15). Leran underlagras av ca 2 m lerblandad sand varefter 4 m homogen sand följer ned till 72 m. Kalkstenens överyta 73 m u.my. täcks av ett metermäktigt, stenigt förmodat moränlager.

Sammanfattningsvis utvisar denna borrhning en i jämförelse med övriga observationer på ön anmärkningsvärt lågt belägen moränyta. Delar av den överlagrande jordarten, d.v.s. den lerblandade sanden, kan vara av glacialt ursprung. Den 10 m mäktiga moränen täcker sub- och intramoräna sediment, huvudsakligen friktionsmaterial. Den 2.5 m mäktiga leran är tydligt varvig och glacialtektoniserad. Mikrofossilanalyserna ger ingen ledning för en datering av leran. Diatoméer saknas nästan helt och de sparsamt påträffade pollenkornen torde vara omlagrade eller långtransporterade (muntl. medd. av L-K Königsson). Leran är klart glacial, den lerblandade sanden därunder är förmodligen lerans bottenvarv och den homogena sanden ned till den understa moränen vid 72 m utgör följaktligen isälvs-sand.

#### Borrhningen vid Hertas svag

Denna borrhning, på kartan markerad >14 F+M, som företogs med borrhbandvagn, utfördes vid öns västra strand ca 600 m söder om blocket Torpstugan. Borrhningen nådde 14 m under den ca 0.4 m ö.h. belägna markytan. Jordarternas vridmotstånd förhindrade vidare borrhning med den använda utrustningen. Borrhningen utfördes på platsen med anledning av att Munthe (1924, s. 18) där redovisat den enda observationen av morän på ön. Denna leriga morän eller moränlera (av Munthe benämnd "moränmargel") var vid dennes besök blottad nere på strandplanet. Uppe på burgen i Hertas svag har kring sekelskiftet funnits en moräntäkt, där jordarten tillvaratogs som jordförbättringsmedel vid anläggandet av trädgårdarna i fyrbyn. Vid den föreliggande undersökningen sågs inga spår av denna täkt, ej heller observerades blottad morän längs stranden (Munthes lägesangivelser är ej exakta). Sannolikt har moränen senare täckts av söderifrån transporterad sand. Vid borrhning med motorsond påträffades dock morän, delvis täckt av tunn glacial lera, på djup växlande mellan ca 0.5 m och några meter, vilket motiverade att en djupare borrhning utfördes på platsen. Provtagning utfördes varannan meter med 30 cm

HERTAS SVAG  
GOTSKA SANDÖN

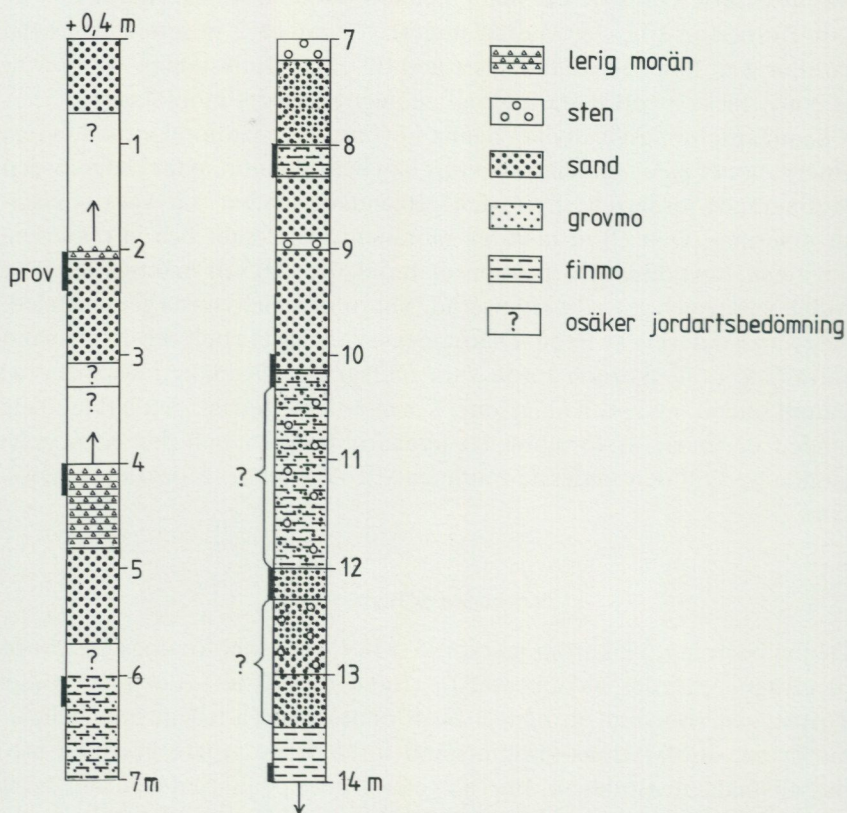


Fig. 16. Lagerföljden i borrhningen vid Hertas svag (läge se fig. 12). Provtagning utfördes inom de avsnitt som angetts med svart kantmarkering längs borrhprofilen.

*The Quaternary deposits in the drilling at Hertas svag (the position is seen in fig. 12). Sampling was made at the levels marked in black. Legend from above: Till with clay content, stone, sand, fine sand, silt, doubtful type of deposit.*

provtagningspets medan jordarten i mellanliggande avsnitt bedömdes genom borrhrets sjunkhastighet och vridmotstånd (fig. 16).

Lagerföljden består högst upp av strandsand som på några meters djup förmodligen underlagras av den glaciala lera som vid denna lokal fläckvis täcker moränen. En tunn moränhorisont genomgicks vid 2 m u.my., varefter följde huvudsakligen sand ned till 4 m. Där erhöles prov av lerig

sandig-moig morän (prov 5 i tabell 1, fig. 19), vilken möjligen börjar på en något högre nivå och fortsätter ned till 4.8 m med en skarp gräns mot underlagrande sand. Återstoden av lagerföljden utgörs av sediment, där mellansand blandad med grovmo och finmo dominerar. Grövre partiklar, huvudsakligen stenar, förekommer allmänt. Vid 7 m samt vid 9 m genom-borrades stenhorisonter. Den jordart som förekommer mellan 10 och 12 m är stenhaltig och ofullständigt sorterad och den skulle enbart vid en granskning av den uppritade profilen kunna tolkas som en undre morän-horizont. Mot detta talar dock den snabba sjunkhastigheten inom detta avsnitt. Jordarten efter den understa halvmetern är en hård, packad finmo, vars stora vridmotstånd förhindrade vidare nedträngande. Kornstorleksfördelningen hos de submoräna sedimenten redovisas i tabell 1, proverna 1-4.

#### Övriga borrhningsresultat och moränobservationer

I det följande beskrivs de lokaler där moränens överyta, eller indikationer på denna (grundvattenytan), observerats vid borrhningar. Först nämns observationspunkter längs stränderna och därefter några lokaler i öns inre.

På *St. Beckrevet* ca 50 m söder om uddens spets och 2.2 m ö.h. företogs en borrhning med borrhbandvagn. Moränytan påträffades där under drygt 2 m sten- och grusblandad sand. Borrhningen fortsatte ned till 2.4 m u.my. i morän med hög stenhalt. Moränen är grövre än vid Hertas svag (grusig-sandig, proverna 6 och 7 i tabell 1, fig. 19), sannolikt ett svallat ytskikt av sandig-moig morän. Moränens höga stenhalt förhindrade vidare borrhning. (Att borrhuppgiften på kartan anger 2.5 m friktionsmaterial beror på att moränen ned till 2.3 m u.my. inledningsvis bedömdes som dylikt.)

Vid *Kyrkudden* ca 30 m SV om fyren nåddes under drygt 1 m strand-sand med ytnivån någon meter över havet ett osorterat, luckert och lerhaltigt material, mycket rikt på kalksten, genom vilket vid två punkter borrades med slagborrmaskin drygt 1 m. Den tillvaratagna provmängden var icke tillräcklig för kornstorleks- och bergartsanalys. Materialets luckra struktur jämfört med övriga moränobservationer föranleder viss tvekan rörande dess genes. Den påtagligt höga halten av kalksten i finfraktionerna, vilken delvis lösts upp i det under grundvattenytan belägna materialet, kan vara en möjlig orsak till detta förhållande.

På stranden ca 1 m ö.h. nedanför kustklinten vid Höga land 800 m öster om S:t Anna eller ca 100 m öster om *Skogsudden* (på kartan markerad

2.5 F/M) nåddes moränytan under 0.5 m strandsand och 2 m finmoig grovmo vid skrubborrning. Endast en obetydlig mängd lerig moig morän kunde tillvaratas (prov 8 i tabell 1, fig. 19). Flera försök att nå moränytan längre österut gjordes, men block och stenar omöjliggjorde borrning. Vid grävning i vattnet utanför Skogsudden nåddes morän under tunn klapper på ca 0.5 m vattendjup.

En borrning med slagborrmaskin utfördes i norra änden av *Varvsbukten*, ca 1.5 km söder om borrhjulet vid Hertas svag. Grovmoig mellansand av knappt 7 m mäktighet genomborrades, men borrningen måste avbrytas vid denna nivå på grund av stort motstånd vid uppdragningen av borrhjulet. Trots att morän ej nåddes visar borrningen att moränytan här ligger lägre än vid Hertas svag och att den förmodligen sluttar söderut. Detta indikerar att observationen av en lågt belägen moränyta vid Hamnudden kan vara korrekt.

Den 11 m ö.h. belägna och 11.5 m djupa brunnen vid *Fyrplatsen* med grundvattenytan ca 10.5 m u.my. är enligt Munthe (1924, s. 19) nedgrävd ca 0.5 m i moränen, som på denna lokal följaktligen är belägen i havsytans nivå. Närmare uppgifter om moränens sammansättning saknas, dock förefaller den ha varit av samma typ som vid Hertas svag då den benämns "moränmargel".

En knapp kilometer söder om denna lokal och ca 80 m SSV om kapellet neddrevs i *Kapellänget* ett grundvattenrör till 14 m djup från en marknivå av 13.2 m ö.h. Vid borrningen, som utfördes med borrhjulet, genomgicks uteslutande relativt finkornigt friktionsmaterial, sannolikt strandsand, vilket beskrivs närmare i följande kapitel. En hammarseismisk undersökning utvisade en markerad hastighetsökning någon halvmeter över rörets underkant och ca 1 m under grundvattenytan. Detta har tolkats som en indikation på moränytan, vilken på denna lokal i så fall är belägen ungefär i havsytans nivå.

Vid utsättning av observationsrör för grundvatten norr invid *Höga åsen* genomborrades 7.3 m friktionsmaterial vid en marknivå av 11.5 m ö.h. Grundvattenytan ligger på en tämligen jämn nivå kring 4 m u.my. eller 7.5 m ö.h. Nivån i relation till avståndet till närmaste strand vid St. Beckrevet 1.5 km norrut ger en gradient av 5 m/km. Detta är avsevärt brantare än de från *Kapellänget* och *Fyrplatsen* uppmätta gradienterna, vilka når högst drygt 1 m/km. Grundvattenytans höga nivå torde bero på att grundvattnet däms upp av material med lägre permeabilitet, troligen morän. Det är mindre sannolikt att det är frågan om glaciala finsediment eftersom

dylika förefaller att ha mycket obetydlig utbredning på ön. Förmodligen är moränytan inom avsnittet Höga åsen – St. Beckrevet belägen några meter över havsytans nivå.

Tillgång till höjduppgifter för moränytan och grundvattenytan i öns inre, t.ex. vid "mittpunkten" vid *Rakethuset* (fixpunkterna 17,06 och 17,57 på kartan) är av stor betydelse. Slagborrning utfördes därför vid marknivån 16.6 m ö.h. Efter genomborrning av 5 m stenig grusblandad sand nåddes grundvattenytan 5.7 m u.my. eller ca 11 m ö.h. samtidigt med att jordarten successivt övergick i hårt packad och starkt kalkhaltig grovmo. Borrningen kunde endast fortsättas till 6.5 m u.my. i detta material, därefter blev friktionen vid motståndet så stor att uppdragningen av borrstängerna omöjliggjordes.

Även i detta fall är gradienten hos grundvattenytan till närmaste strand brant, 11 m på 2300 m eller 4.8 m/km mot väster och 11 m på 3000 m eller 3.7 m/km mot söder. Att ett betydande grundvattenflöde är riktat mot söder indikeras av att grundvatten under regnperioder och vid snösmältningen läcker fram i de undre delarna av kustklinten vid Skogsudden. Förhållandet bör vid *Rakethuset* vara likartat med terrängen norr om Höga åsen, d.v.s. grundvattnet däms upp av ett mindre permeabelt material. Det kan endast konstateras att moränytan når flera meter över havsytans nivå. Grovmon avviker till sin sammansättning från den överlagrade strandsanden. Den utgör sannolikt ett relativt tunt lager av isälvsgrvmo över moränen.

### Blocksamlingar

Förekomst av morän indikeras på ön icke bara genom direkta och indirekta iakttagelser vid borrningar utan även av de blocksamlingar och enstaka större block som förekommer särskilt längs stränderna inom öns norra del. Där ej annat anges är de i den följande texten nämnda lokalerna markerade med blocksymbol på kartan (jfr. namn på fig. 12).

Vid *Vikarstenarna* öster om Bredsandsudden (sevärdhet B på kartan) är stranden och den anslutande havsbotten inom ett ca 350 m långt avsnitt helt täckt av block och stenar. Ca 150 block har en diameter större än 0.5 m och det största mäter 3.5×2 m. På burgen ca 50 m innanför ligger ytterligare 15 block några meter över havsytan, det största med ett minsta tvärsnitt av drygt 3 m. Mängden block och stenar av skilda storle-



Fig. 17. Säludden. Observera blockryggens utsträckning mot NNO. Foto H. Agrell 1981. Godkänd för publicering, Fst/Säk 1987-03-25.

*The boulder spit at Säludden. Note the continuation towards the NNE.*

kar indikerar att de vilar på morän som bör vara belägen ungefär i havstans nivå.

Spetsen av *St. Beckrevet* är helt täckt av stenar och mindre block, vilka på kartan markerats som klapper. Större block saknas helt. Den genom borrning belagda moränkärnan i *St. Beckrevet* kan följas som en submarin rygg ca 1 km åt NNO. Enligt 1923 års skogskarta ligger ca 700 m väster om *St. Beckrevet* en blocksamling benämnd *L. Beckrevet*, markerad som "stundom synligt". Samma markering har på samma karta givits det drygt 1 km öster om *St. Beckrevet* belägna *Mellanrevet*. Dessa rev har ej observerats vid fältarbetet, men de torde utgöra från NNO riktade moränryggar analoga med *St. Beckrevet*.

*Säludden* är längs stränderna helt täckt av block och stenar. Blocken fortsätter som en mycket markerad rygg, synlig i vattenbrynet drygt 100 m mot NNO från uddens spets (fig. 17). Submarint kan ryggen följas ca 1 km i denna riktning. Ca 500 block når en diameter större än 0.5 m, de flesta kring 1 m och det största ca 4 m. De större blocken är kantiga, indikerande moränursprung (fig. 18). Några block finns inne på burgen, vid *Tomtebo* ca 500 m VSV om *Säludden* samt ca 300 m SO om udden, i



Fig. 18. Block vid Säludden; vid spaden ett block av ortocerkalksten. Foto H. Agrell 1980.  
*Boulders at Säludden; at the shovel a boulder of Ordovician limestone.*

båda fallen med ett tvärsnitt av någon meter och belägna 3–4 m ö.h.

Vid Säludden har med motordriven skruvsond genomborrats ca 3 m mäktig, hårt packad och kalkhaltig finmo, som når upp ungefär i havsytans nivå. Sannolikt utgör huvuddelen av blocken residualmaterial från en delvis bortsvallad moränackumulation. I så fall är finmon ett submoränt sediment. Att den morän som täcker dessa sediment kan ha ringa mäktighet är belagt från observationerna vid Hertas svag. Att alla block över glacial eller postglacial finmo skulle ha förts till sitt nuvarande läge genom ispressning är mindre sannolikt med hänsyn till blockens antal och storlek.

Öster om *Kyrkuddens* östra spets ligger i vattenytan ett stengrund som förefaller ha en utsträckning av några hundra meter mot NNO. Några meterstora block, tyvärr ej markerade på kartan, finns på uddens östra strand. Inne på burgen på uddens sydvästra del ligger två block med ett tvärsnitt överstigande 3 m. Det östra av dessa, "Viborgstenen" (sevärdhet E på kartan) är det enda av de större blocken på ön som består av en avvikande bergart, i detta fall ålandsrapakivi.

Kring *Skogsudden* och ca 100 m mot väster ligger ett 20-tal drygt meter-

stora block i vattenbrynet och botten där utanför är helt täckt av block och stenar. Den borring där moränen påträffades företogs ca 100 m öster om denna plats. Skogsuddens lokalisering beror sannolikt på att moränen där når upp till strax under havsytans nivå.

Från fyrruinen vid *Hamnudden* och ca 100 m norrut förekommer i den låga kustklinten rikligt med mindre block, markerade som klapper på kartan. Dessa block bildar en metermäktig kappa på stenblandad grusig sand och de har alltså sannolikt, i likhet med de mindre blocken på själva stranden transporterats till platsen, förmodligen genom isskjutning från den söder härom belägna moränen.

Längs västra stranden uppträder block och större stenar först drygt 2 km söder om Bredsandsudden. Längst i söder ligger *Vassesten* med ett tvärsnitt av mer än 4 m. Detta block har på toppen grova isräfflor med den ungefärliga riktningen N 30°V. Längs kuststräckan från *Vassesten* till ca 700 m norr därom ligger några tiotal spridda block ungefär fram till borrhjulsplatsen vid Hertas svag. Ett block är beläget inne på burgen.

Ca 600 m norr om borrhjulsplatsen vid Hertas svag och 100 m ute i vattnet ligger blocket *Torpstugan* med en över vattnet synlig diameter av ca 5 m. Någon närmare besiktning av detta block har ej utförts. I övrigt saknas i stort sett block längs kuststräckan fram mot Bredsandsudden. Borrningarna visar att moränen inom detta avsnitt når upp nära markytan och blocken vilar därför sannolikt på morän. Isräfflorna på *Vassesten* utgör med denna förutsättning en användbar indikation på den sista isrörelsen inom denna del av ön.

I *Kapellänget* ligger söder invid kapellet drygt 13 m ö.h. ett enstaka meterstort block, sannolikt isskjutet från blocksamlingen söder härom (se avsnittet Isälvsavlagringar). Längs stigen NO om *Ryssmören* ca 1 km söder om St. Beckrevet ligger två block, det största med ett tvärsnitt av mer än 2 m. Ca 200 m SO om dessa block ligger ytterligare ett med mer än 3 m tvärsnitt. Grundvattenytans höga nivå inom detta avsnitt av ön indikerar att blocken i *Ryssmören* kan vila på nära markytan belägen morän.

Den maringeologiska kartans bild av moränens utbredning i ytan i de strandnära områdena överensstämmer väl med de ovannämnda observationerna, undantaget avsnittet utanför *Hamnudden*. Moränen dominerar längs den norra stranden, men den har även observerats utanför de nordvästra och sydvästra stränderna. Kartbilden bygger i de strandnära områdena främst på flygbildstolkning av bottenmorfologin, där moränen urskilts genom havsbottens ökade rikedom på block och stenar. Morän-

ytans morfologi har fastställts i två ost-västliga profiler omedelbart söder och norr om ön.

Sammanfattningsvis kan konstateras att de på ön påträffade blocken ofta indikerar förekomst av nära markytan belägen morän. Blockens nuvarande läge är dock delvis orsakat av isskjutning, genom vilken särskilt de mindre blocken transporterats ut över omgivande strandsand. Det bör vidare uppmärksammas att flera block kan vara deponerade av isberg under de första århundradena efter deglaciationen.

### Moränens kornstorleksfördelning och bergartsinnehåll

De kornstorleksanalyser som utförts av moränen redovisas i tabell 1, proverna 5-8 samt i fig. 19. I tabell 2 redovisas bergartsbestämningar i block av förmodat moränursprung som nr 1-4 samt bergartsbestämning av finfraktionen i nr 11-14, jfr kartan fig 12. Nedan sammanfattas informationer som till viss del omnämnts tidigare.

Sammansättningen av moränens finfraktioner (mindre än 20 mm) har endast analyserats i prover från Hertas svag, St. Beckrevet och Skogsud-

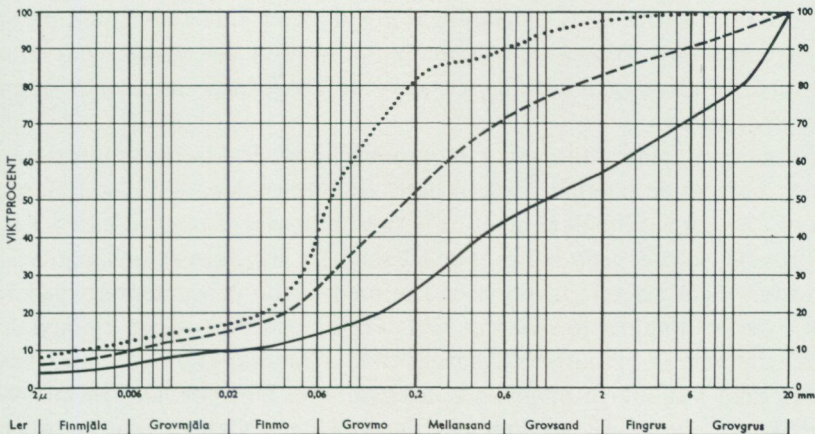


Fig. 19. Kornfördelningsanalyser av morän, jfr tabell 1: Heldragen linje = prov nr 6 från St. Beckrevet, streckad linje = prov nr 5 från Hertas svag, punktlinje = prov nr 8 från Skogsudden.

Grain size distribution of till, cf. Table no 1: Continous line = sample no 6 from St. Beckrevet, broken line = sample no 5 from Hertas svag, dotted line = sample no 8 from Skogsudden.

den. Vid Hertas svag och Skogsudden är moränen lerig sandig-moig/moig med en lerhalt av 6 respektive 8%. Provet från St. Beckrevet är grövre, grusigt-sandigt, troligen svallad sandig-moig morän. Prov nr 8 från Skogsudden var mycket litet och analysen är därför relativt osäker. Lerhalten torde främst bero på den lera som förekommer inlagrad i kalkstenen, ej på själva kalkstenen som sådan. Detta indikeras av att kalkhalten i materialet mindre än 2 mm i provet från Hertas svag och i det undre av proverna från St. Beckrevet i båda fallen uppgår till 25% (13% i det övre provet från St. Beckrevet). Kornstorleksfördelningen och kalkhalten överensstämmer väl med de moränprover som i samband med den maringeologiska karteringen analyserats från omgivande havsområde.

Moränens block- och stenhalt är svår att bedöma eftersom moränen egentligen ej går i dagen på ön. Iakttagelserna avser endast förhållandena vid moränytan. Vissa skillnader framträder dock ändå. Vid Hertas svag, Skogsudden och Kyrkudden bör moränen närmast bedömas som normalblockig, vid St. Beckrevet som blockfattig, vid Vikarstenarna möjligen som blockrik och vid Säludden (fig. 17, 18) säkert som blockrik morän. Tyvärr har inga direkta moränobservationer gjorts vid de båda sistnämnda lokalerna, varför inga slutsatser kan dras huruvida blockhaltens växlingar också representerar en växlande sammansättning hos moränens finfraktioner. Enhetligheten hos de vid den maringeologiska karteringen analyserade moränproverna i öns omgivning gör dock en sådan variation på ön mindre sannolik. Block- och stenhaltens variation kan också, som ovan nämnts, delvis vara sekundär, orsakad av isskjutning upp emot högre belägna partier.

Bergartssammansättningen i moränens fingrusfraktion karakteriseras av ett betydande innehåll av kalksten, vid Skogsudden 48%, vid Hertas svag 27% och vid St. Beckrevet 21% (undre provet) respektive 15% (övre provet), se proverna 1-14 i tabell 2 samt fig. 12. Jotnisk och kambrisk sandsten ingår i denna fraktion endast med någon procentenhet vardera och i övrigt dominerar urberget helt. Porfyr och diabas har ej särskilt från urberget vid bergartsbestämningarna, vilka visar god överensstämmelse med moränen i omgivande havsområde. Det bör noteras att, för undvikande av skilda bedömningar, geolog Britt-Marie Ek utfört dessa bestämningar såväl för jordartskartan som för den maringeologiska kartan.

Bergartsbestämningar i blocksamlingar av förmodat moränursprung har gjorts vid Vikarstenarna, St. Beckrevet, Säludden och Kyrkudden (tabell 2, nr 1-4, jfr fig. 18). Av dessa bestämningar framgår urbergets nästan

totala dominans bland de större blocken. Något detaljerat särskiljande av de till urberget hörande bergarterna har ej utförts. Ett anmärkningsvärt drag i dessa bergarters fördelning är dock att den grå granatådergnejsen endast påträffats inom öns nordvästra del. Kalkstensens frekvens synes öka mot öster och uppgår vid Kyrkudden till 8% av blocken. Detta beror sannolikt på kalkstensberggrundens mera vidsträckta utbredning mot öster på havsbotten norr om ön. Den jotniska sandstenen är jämnt fördelad över ön trots att bergartens utbredning på havsbotten enligt den maringeologiska berggrundskartan är begränsad till området väster och NV om ön. Någon regional skillnad i fördelningen mellan röd och brun porfyr har icke kunnat iakttas. Denna bergart har dock i stort sett endast påträffats i strandsandens stenfraktion som omlagrats genom strömmar och havsis. Flertalet block och blocksamlingar utgörs helt av grå-röda, fin-medelkorniga gnejsgraniter med något inslag av svarta metabasiter (urbergsgrönsten).

Att mera utpräglade regionala skillnader ej framträder i bergartsmaterialets fördelning på ön kan som tidigare nämnts delvis bero på omlagring av under tidigare glaciationsfaser avsatta jordarter. Det bör dock framhållas att öns obetydliga areal gör större skillnader i moränens bergartssammansättning mindre sannolika.

### Moränens morfologi

Borruppgifterna ger tillsammans med blockobservationerna flera indikationer på överytans nivå hos den morän som senast avsattes på ön. Moränen når upp i havsytans nivå vid Hertas svag i väster, Fyrplatsen i NV, St. Beckrevet i norr, Kyrkudden i öster och Skogsudden (Höga land) i söder. På samma nivå förekommer sannolikt morän även vid Vikarstenarna och Säludden längs den norra stranden. Morän över havsytans nivå indikeras genom grundvattennivåerna norr invid Höga åsen samt vid öns mittpunkt, Rakethuset. Vid Hamnudden ligger den översta moränen anmärkningsvärt lågt, ca 23 m u.h. Borrningen mitt på västra stranden visar att moränytan sluttar söderut från Hertas svag mot Hamnudden. Den totala frånvaron av block tyder på en lågt belägen moränytta inom öns sydöstra del (avsnittet Vinbukten – Tärnudden – Franska bukten) och ingen morän har lokaliserats inom havsområdet där utanför. Moränytans nivå inom kustavsnitten mellan uddarna längs öns norra strand har ej fast-

ställt. Den kontinuerliga moränbotten här utanför, liksom de båda tidigare nämnda rev, som ej påträffats vid karteringen, antyder dock att moränen även inom dessa avsnitt ligger relativt nära markytan.

De redovisade observationerna är otillräckliga för en någorlunda säker rekonstruktion av moränytans morfologi på ön. Dock medger en jämförelse med omgivande havsområde vissa slutsatser. Moränens yta är oregelbunden och består väsentligen av i isrörelsen utsträckta ryggar. St. Beckrevet, Säludden och Kyrkudden utgör ryggformer riktade mot NNO. Vikarstenarna och den submarina förlängningen i Nordvästrevet utanför Bredsandsudden antyder en mindre utpräglad ryggriktning mot NV. Blocken av granatådergnejs inom öns nordvästra hörn och räfflorna på Vassesten indikerar en isrörelse från NV–NNV. Denna isrörelse synes icke ha resulterat i en lika markerad moränmorfologi som den från NNO.

Isrörelser såväl från NV som NO är belagda från norra Gotland (Svanesson 1976). Moränryggar med riktningar mot NV och NO finns inom det maringeologiska kartbladets norra del, på ömse sidor om grundet Kopparstenarna. Moränen vid Skogsudden i söder kan följas vidare mot den i rakt nord-sydlig riktning utsträckta moränackumulationen Sandö bank med ett minsta vattendjup av ca 10 m. Moränmorfologin på Gotska Sandön och i dess omgivning skulle följaktligen kunna liknas vid en norrut utgrenande solfjäder av ryggar, dock med lokala oregelbundenheter.

### Isälvsavlagringar

Som nämnts i kapitlet om öns jordarter samt i avsnittet om borrhingsresultaten i detta kapitel finns indikationer på förekomst av övervägande finkornigt (grovmoigt) isälvsmaterial mellan den översta moränen och strandsanden vid Hamnudden, Skogsudden och Rakethuset. Därutöver finns på ön en blocksamling som sannolikt representerar en isälvsavlagring.

I St. Idemoren ca 400 m söder om kapellet och ca 15 m ö.h. ligger öns största block, Elefanten (sevärdhet L på kartan). Blocket består av grå granatådergnejs och det har en diameter i markytan av  $4.5 \times 3$  m (jfr Munthe 1924, fig. 14, s. 21). Blockets oregelbundna form antyder att den verkliga diametern kan vara ytterligare några meter större. I den närmaste omgivningen ligger ett tiotal omkring meterstora block i markytan. Vid grävning påträffades en blockhorisont under ca 0.5 m strandsand. Under blockhorisonten följde ca 1 m sand rik på större stenar. Grävningen av-

bröts vid ungefär 1.5 m djup där ytterligare en blockzon påträffades.

Den mot djupet ökande blockfrekvensen visar att moränen på denna plats skulle kunna tänkas nå nära markytan. Dock skulle detta innebära en mycket anmärkningsvärd oregelbundenhet i moränytans morfologi mot bakgrund av att denna når havsytans nivå i Kapellänget blott något hundratal meter norr om platsen. Det grova materialet vid Elefanten kan utgöra kärnpartiet av en isälvsavlagring med okänd utsträckning. Omfattande flygsandsackumulationer inom denna del av ön gör det svårt att lokalisera någon eventuell fortsättning mot söder eller norr. Dock kan den på burgen öster om Fyrplatsen belägna Gumsullen (se avsnittet Flygsand) vara uppbyggd kring en kärna av block, vilka möjligen kan utgöra en med ackumuleringen vid Elefanten analog bildning. Det bör påpekas att den förmodade isälvsavlagringen är belägen ungefär där de sista isrörelserna från NNV respektive NNO bör ha sammanstrålat.

### Glaciala finkorniga sediment

De glaciala finkorniga sediment som överlagras av morän, vid Hamnuden som glacial lera och vid Hertas svag som finmo, har beskrivits i avsnittet om borrhingsresultaten. I avsnittet om blocksamlingarna behandlades den finmo som uppträder vid Säludden. Dess åldersställning är, som tidigare framgått, ej helt klar men övervägande skäl talar för att det är frågan om ett tidigare moräntäckt sediment. Glacial lera täcker huvuddelen av havsbotten öster och väster om ön, men på själva ön har den endast observerats i anslutning till den nära markytan uppträdande moränen inom avsnittet Vassesten – Hertas svag. Den glaciala leran, som är styv, beige – chokladbrun och tydligt varvig, förekommer fläckvis i strandkanten. Leran har påträffats vid grävning i vattenbrynet med högst ca 40 cm mäktighet och den förefaller utfylla ojämnheter i moränytans.

Moränen täcks på övriga observationspunkter direkt av sand. Som tidigare framgått har denna endast på två lokaler (Rakethuset och Skogsudden) tolkats som möjligt isälvsmaterial. Detta innebär att betingelser för förekomst av glaciala finsediment i regel saknas över de sandiga-grusiga avlagringar som täcker moränen. Finmo har påträffats vid den nedan beskrivna borrhningen i Kapellänget, men den förekommer där mer eller mindre utblandad med grövre fraktioner. Glacialerans mäktighet brukar minska efterhand som terrängens höjd ökar. Det är även möjligt att glaci-

al lera över huvud taget ej avsatts ovanpå öns morän och isälvs sediment, men det förefaller, mot bakgrund av lerförekomsten vid Hertas svag, mera sannolikt att sådan lera av ringa mäktighet visserligen avsatts men senare bortroderats av de vågrörelser och strömmar som avlagrat strandsanden (jfr den svallade moränytan under strandsanden vid St. Beckrevet). Denna förmodan styrks av de vitt utbredda postglaciala finsediment som vid den maringeologiska karteringen lokaliserats runt ön. Moränytans morfologi gör det sannolikt att glacial lera allttjämt kan täcka moränen inom vissa områden, särskilt i öns mellersta norra del.

## Postglaciala bildningar

### Svallsediment och kustförändringar

#### Stratigrafin i kustklingarna

Den nutida kustreträten har givit upphov till markerade klintar i söder (Höga land) och i SV (Varvsbukten). Dessa klintar är i stort sett vegetationslösa rasbranter (fig. 5) och endast i deras undre delar finns smärre blottningar av de orörda jordarterna. Vid den omfattande vinterstormen i början av år 1983 retirerade klintarna så att 4–5 m höga, vertikala skärningar blottades på en ca 800 m lång sträcka längs Höga land och inom ett ca 1 100 m långt avsnitt i Varvsbukten norrut från Hamnudden. De nedan redovisade observationerna hänför sig i huvudsak till den besiktning av klintarna som utfördes i mars 1983 eftersom de öppna skärningarna under senare delen av våren på nytt till största delen täcktes av rasmassor.

Båda skärningarna uppvisar en enhetlig jordart, dominerad av grusig-grovmoig sand (proverna 10–14 i tabell 1, fig. 22). Med något/några tiotal centimeters intervall uppträder skikt rikare på mindre stenar (fig. 20). Lagerstupningen, som uppmättes på var 50:e meter, är mycket enhetlig men skiljer sig i de båda klintarna. Längs Varvsbukten stupar lagren i medeltal 25°–30° mot SV (S 45°–50°V), mera mot VSV (60°–65°) i norr och mot SSV (ca 35°) i söder. I Höga land är stupningen betydligt flackare, kring 5°, och riktad mot SO–OSO (S 65°–70°O). I östra delen av skärningen i Höga land, från Braustensudden och ca 300 m österut, ändrar lagerstupningen riktning ca 130°, d.v.s. mot SV–VSV (S 65°–75°V), dock med samma flacka belopp.

Riktninganalyser av långsträckta stenar har utförts på två platser strax



Fig. 20. Skärning genom bankskiktad stenig sand i Höga land. Foto H. Agrell 1983.

*Banks of sand and fine stone in the coastal cliff at Höga land.*

norr om Hamnudden samt vid två observationspunkter i västra delen av skärningen vid Höga land. Analyserna visar en spridd orientering, dock med flertalet stenar riktade vinkelrätt mot stupningsriktningen. Klinten vid Höga land höjer sig med  $32^\circ$  stupning maximalt 16.5 m med klintfoten ca 2 m ö.h. Stratigrafin i dess övre del har ej kunnat observeras. Det enda undantaget är en markerad horisont av ungefär 1.5 m mäktighet av större stenar och mindre block som kan följas några hundratal meter längs den centrala delen av branten vid Höga land 4.5–6 m under överliggande markytans nivå, d.v.s. 12.5–14 m ö.h. Klinten vid Varvsbukten når sin högsta höjd ca 300 m norr om fyrruinen, där den med  $34^\circ$  stupning höjer sig knappt 13 m över den 2 m ö.h. belägna klappern vid klintfoten, d.v.s. knappt 15 m ö.h.

Jordartens enhetliga sammansättning och den uthålliga lagerstupningen över långa avsnitt indikerar submarin littoral deposition. Munthe (1924, s. 23) uppger skalfynd av *Limnaea ovata*, vilka han anser indikera ancylostid, i undre delen av rasbranten vid Höga land. Vid den föreliggande undersökningen påträffade geolog Britt-Marie Ek talrika skalfragment in



Fig. 21. Skal av *Ancylus fluviatilis* från kustklinten i Höga land. Foto i svepelektronmikroskop (ca 10 × förstoring) av Henno Nairis.

*A shell of Ancylyus fluviatilis from the coastal cliff at Höga land. Photograph taken in scanning microscope with c. 10 × enlargement.*

situ i undre delen av skärningen vid Höga land. Bland dessa fragment fanns ett identifierbart skal av *Ancylus fluviatilis* (fig. 21). Närheten till moräntan vid Skogsudden utesluter närvaron av större mängder isälvsmaterial under den observerade lagerföljden och det kan därför anses bekräftat att denna i sin helhet är littoralt avsatt. Dock var vattendjupet under ancylostid, omkring 7000 år f.Kr., alltså betydande, vilket innebär att depositionen måste ha ägt rum submarint, genom bottenströmmar. Ej identifierbara skalfragment har påträffats även i kustklinten norr om Hamnudden. I den övre delen av branten vid Höga land, ovanför stenhorisonten, påträffades skal av *Macoma baltica* jämte talrika skalfragment av blåmussla (*Mytilus edulis*).

#### Borruppgifter

Strandsanden har på djupare nivåer, förutom i kustklintarna, observerats vid de borrhningar efter morän eller grundvatten som nämnts i föregående

avsnitt. För att undvika upprepningar ges här endast en kort sammanfattning med vissa kompletterande uppgifter om materialsammansättningen. Det troligen ca 14 m mäktiga friktionsmaterialet i borrhningen vid Kapell-änget 13.2 m ö.h. är ofullständigt dokumenterat då syftet med borrhningen var utsättning av grundvattenrör. Under ca 4 m stenig grusig sand följer i huvudsak finkornigare lager av finmoig mellansandig grovmo med enstaka stenar och stensikt (proverna 5-7 i tabell 1). Lagerföljden är utpräglat finkornigare än det på samma nivå observerade materialet i kustklingarna, vilket kan bero på längre transportavstånd från materialkällan. Det kan ej uteslutas att delar av lagerföljden bör tolkas som isälvsmaterial. Rörande de 11 m friktionsmaterial som genomgicks vid grävningen av den norr därom belägna fyrbrunnen nämns i Munthes beskrivning (1924, s. 19) endast att det består av grus och sand. Då grävningen av brunnen utfördes ca 65 år före Munthes besök på ön byggde dennes informationer på muntliga andrahandsuppgifter.

Vid öns mittpunkt, Rakethuset (p. 17,06 och 17,57) utfördes spadborrning 3 m genom stenig grusig mellansand, nedåt övergående i grovmoig sand (proverna 18 och 19 i tabell 1). Ytterligare 3.5 m genomgicks vid senare utförd motorsondering 16.6 m ö.h. och den ofullständigt sorterade sanden övergick successivt från 5 m u.my. i en nedåt helt homogen, starkt kalkhaltig och hårt packad grovmo av vilken endast ca 0.5 m kunde genomborras. Grovmon bör, som tidigare nämnts, liksom den 2 m mäktiga finmoiga grovmo som täcker moränen öster om Skogsudden tolkas som isälvs sediment.

Borrhningen norr invid Höga åsen 11.5 m ö.h. nådde ned 7.3 m genom lös sand, som från 3 m u.my. var stenblandad. Ned till denna nivå är jordarten troligen flygsand. Grovmoig mellansand genomgicks till 6.7 m u.my. vid den borrhning strax över havsytans nivå som utfördes i norra änden av Varvsbukten. Vid St. Beckrevet genomborrades endast ca 2 m stenig grusig sand (prov 23 i tabell 1).

Borrhningsresultaten antyder att strandsanden fyller ut ojämnheter i moränytan. Mäktigheten kan på öns norra del uppgå till minst 14 m. Inom den centrala delen är mäktigheten ej säkert klarlagd, vid mittpunkten dock minst ca 6 m. Avståndet från markytan ovanför den högsta delen av branten vid Höga land ned till havsytan är drygt 20 m och då moränytan sluttar mot öster från havsytans nivå vid Skogsudden kan den sammanlagda sandmäktigheten här uppskattas till ca 25 m. Om moränytan vid Hamnudden är belägen ca 23 m u.h. och därefter stiger jämnt

norrut mot Hertas svag skulle kustklinten i Varvsbukten representera en lagermäktighet av minst ca 35 m, vilket är den största uppskattade mäktigheten av svallsedimenten på ön. Dock kan den understa, ett par meter mäktiga delen, liksom vid Höga land, utgöra isälvssediment.

En ungefärlig beräkning av den totala sandvolymen på ön bör utgå från en genomsnittlig lagermäktighet av minst 10 m. Öns areal, ca 36 km<sup>2</sup>, innebär då att sandvolymen uppgår till minst ca 360 milj. m<sup>3</sup> jämfört med de 210 milj. m<sup>3</sup> som uppskattats i närmast omgivande havsområde (Kjellin et al. 1987, bil. 7). Flygsandens volym har ej medtagits i denna beräkning, ej heller de submoräna sedimenten. Mindre mängder kan utgöras av isälvssand. Den sammanlagda volymen av strandsand på och omkring Gotska Sandön kan sålunda grovt uppskattas till mellan 550 och 600 milj. m<sup>3</sup>, vilket innebär att området utgör landets i särklass största sammanhängande ackumulering av svallsediment och havsströmsavlagrade sediment.

#### Strandsandens kornstorleksfördelning och bergartssammansättning

Strandsanden är på karteringsdjup till synes enhetlig över hela ön. Som framgår av proverna 18–23 i tabell 1 samt fig. 22 utgörs den av sand med växlande inblandning av grus och grovmo. Mindre stenar förekommer allmänt, vilket är det främsta kriteriet vid särskiljandet av strandsand och flygsand. Stenhalten har exakt bestämts endast på en lokal, vid stigen mot Arnagrop ca 1 km öster om kapellet. I ett utgångsprov på 65 kg taget på 0.5–1 m djup uppgick stenmängden till 7 kg eller drygt 10 viktprocent (jfr prov 22 i tabell 1 och fig. 22). Sanden var där relativt stenrik, varför den genomsnittliga stenhalten bör uppskattas till ett något lägre belopp. Detta gäller den övre sanden ned till några meters djup, med oregelbundet inblandad sten. Som framgått av stratigrafin i kustklintarna uppträder stenmaterialet där som uthålliga horisonter, vilket gör en uppskattning av dess genomsnittliga frekvens svår att utföra. Strandsanden nära markytan utgör en strandnära omlagringsprodukt av denna på större vattendjup avsatta och mera väl sorterade jordart. Den stenanrikning som förekommer inom burgområdena och lokalt även i skogsmarken är bunden till själva ytskiktet och orsakad av deflation vid flygsandsdrift. Fossil klapper med partikelstorlek motsvarande större stenar har endast påträffats i Varvsbuktens norra del samt på Bredsandsudden, vid Hamnudden och möjligen även på Kyrkudden (jfr nedan).

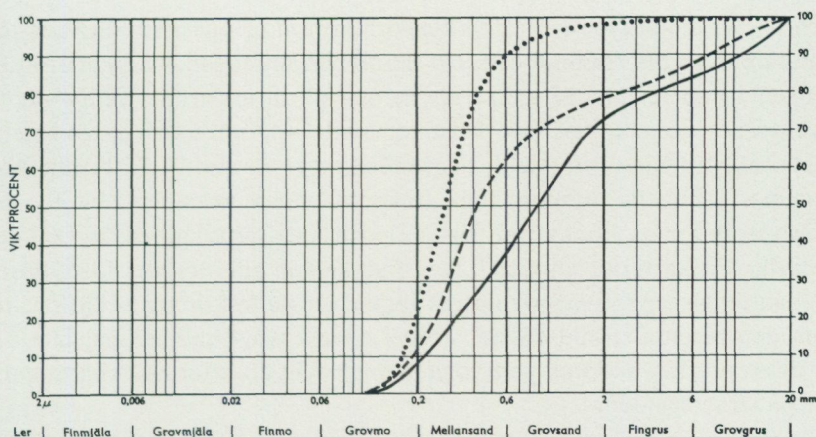


Fig. 22. Kornfördelningsanalyser av strandsand, jfr tabell 1: Heldragen linje = prov nr 22 från Arnagropsvägen öster om Fyrplatsen, streckad linje = prov nr 10 från kustklinten SO om Gamla gården, punktlinje = prov nr 14 från kustklinten vid Skogsudden.

*Grain size distribution of coastal sand, cf. Table no 1: Continuous line = sample no 22 from the path towards Arnagrop E of Fyrplatsen, broken line = sample no 10 from the coastal cliff SE of Gamla gården, dotted line = sample no 14 from the coastal cliff at Skogsudden.*

Den nutida strandsanden är markerat finkornigare, i regel grovmoig mellansand, nästan fri från grövre fraktioner (prov 24 i tabell 1). Strandsanden är grövre med inblandning av fingrus i närheten av områden med klapperstrand (prov 25 i tabell 1). Längs klapperstranden dominerar block och stenar helt. Klapperstranden är av två typer. Residualklapper från bortsvallad morän förekommer vid uddarna längs den norra stranden och den omfattar förutom stenar även block. Den nutida klappern i söder och sydväst är i huvudsak utsvallad ur kustklintarna och anrikad. Den har en mera enhetlig fördelning inom stenfraktionen med mindre block inom vissa områden. Dess mäktighet uppgår i regel till någon meter. Tydligast är denna typ av klapper utbildad i Varvsbuktens norra del. Avgränsningen av klappern inom de södra och sydvästra kustavsnitten är generaliserad då den successivt tunnare ut mot öster och norr. Som tidigare nämnts är klapperstrandens utbredning delvis föränderlig, även i några års tidsperspektiv.

Bestämning av bergartsinnehållet har på fyra platser utförts i strandsanden nära markytan (proverna 6, 10 och 20–23 i tabell 2). De ansluter sig i stort sett till moränens bergartssammansättning och visar inga regionala variationer på ön. Samma är fallet med de bestämningar (proverna 5, 7–9

och 15–17 i tabell 2) som utförts i kustklintarna vid Höga land och Skogsud-den samt norr om Hamnudden. Ett flertal bestämningar av bergartsfördel-ningen i den recenta strandklappern och på burgområdet redovisas av Svensson (1961). Ingen som helst regional variation kan iakttas i detta material (jfr nedan rörande de pågående kustprocesserna). Kalksten före-kommer i ungefär samma höga frekvens som i moränen ned t. o. m. fingrusfraktionen (jfr kartan, fig. 12) och även grovsanden är vanligen kalkrik. På karteringsdjupet 0.5 m har kalken till stor del lösts bort i mellansand- respektive grovmofraktionen. Dessa fraktioner är därför, lik-som den recenta strandsanden, i regel endast svagt kalkhaltiga. Det har av dessa orsaker bedömts som föga meningsfullt att utföra kalkhaltsanaly-ser på strandsanden.

#### De fossila strandavlagringarnas ytformer

Strandsanden uppvisar över större delen av ön en i detalj ojämn ytform, representerad av ryggar parallella med de nutida stränderna. Dessa ryg-gar når högst någon meters höjd och ligger i regel med något/några tiotal meters intervall. De framträder tydligast på den skoglösa burgen (fig. 8 och 23). Inom de skogtäckta delarna av ön syns detta tvättbrädesmönster tydligast i de flacka flygsandsområdena inom öns nordöstra och sydöstra delar, där flygsandsackumuleringen styrs av strandvallarna, vilka uppträ-der som ryggar täckta av flygsand. I flygbilder (fig. 2) framträder strand-vallsmönstret som en spindelnätliknande struktur med fästpunkter vid uddarna längs öns norra strand. Inom öns högsta parti av strandsand, den centrala södra delen som når kring och strax över 20 m ö.h., är rygg-morfologin svagare utbildad.

Vid Höga land når strandvallar med nord-sydlig riktning fram i rät vin-kel mot rasbranten ca 20 m ö.h., medan de med Franska bukten parallella, mot SV riktade vallarna 5–15 m ö.h. skär kustlinjen i den öster om Höga land belägna Vinbukten med nära 45° vinkel. En extrapolation av lager-stupningen i Höga land innebär då att den triangelformade ackumulation som först höjde sig ur havet bör ha nått någon kilometer längre mot sö-der (jfr fig. 25). Den sandtäckta havsbotten sjunker inom detta avsnitt mycket flackt ned till 20 m djup ca 4 km söder om ön, där nivån planar ut ned mot Sandö bank.

Fossila klappervallar är sällsynta. En klappervall är belägen på Bred-sand, där den på en kilometerlång sträcka rundar uddens inre del vid en

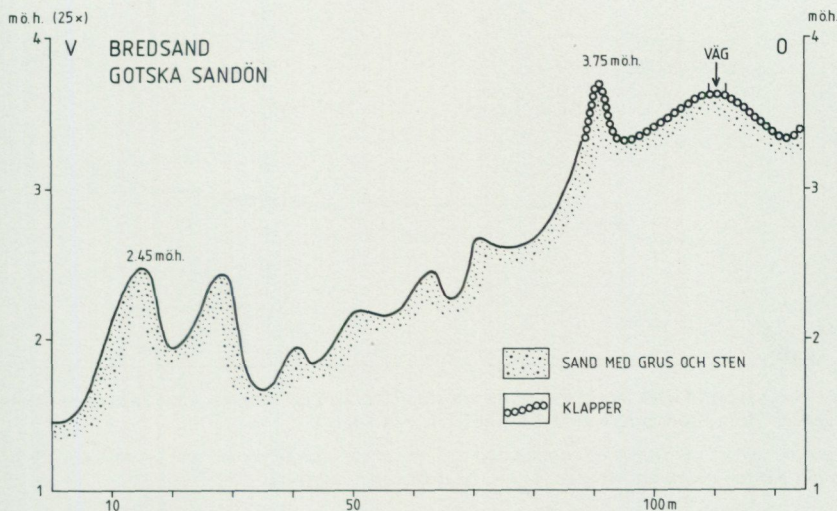


Fig. 23. Tvärprofil över strandvallar från tiden kring Kr.f. på södra delen av Bredsand. Profilen är överförhöjd så att samtliga krön framträder.

*A profile across beach ridges, formed around AD 0 at the southern part of the Bredsand peninsula. The crests are visible due to the large (25 ×) vertical enlargement.*

nivå av knappt 4 m ö.h. (fig. 23). Till 5–7 m ö.h. når den ca 600 m långa, 25–30 m breda och av flera krön sammansatta klappervall som är belägen i Varvsbukten väster om Gamla gården. Här finns mot söder en ca 300 m lång och 50 m bred övre vall som når 7.5–9 m ö.h. och slutar mot en 150 m lång och 2 m hög kustklint (fig. 24). Dessa båda vallar löper söderut samman till ett sammanhängande vallkomplex.

Även vid Hamnudden finns stenanrikade strandvallar vilka kan följas i den branta sluttningen upp mot 15 m ö.h. i avsnittet mellan Hamnudden och S:t Anna. Vallarna är tydligt utbildade ned till den låga kustklinten vid Hamnudden ca 2 m ö.h. De är där utsträckta ungefär i ost-västlig riktning och skär den nutida stranden i sned vinkel. Skärningen i klinten utvisar att det är frågan om verklig klapperanrikning, då strandsanden som tidigare nämnts täcks av en metermäktig kapp av stenar och mindre block. Gravröset på Kyrkudden bör vara hopplockat från en på platsen befintlig klappervall några meter över havsytan. Klappern har dock, liksom vid Hamnudden, ej markerats på kartan då utbredningen är begränsad och osäker. I övrigt förekommer fossila klappervallar ej på ön.

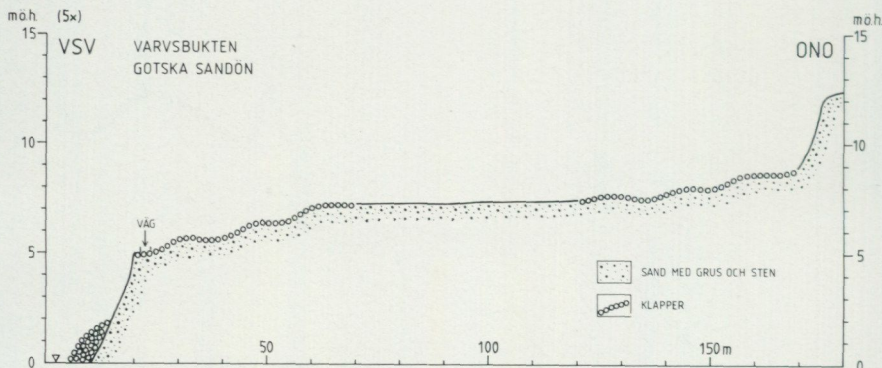


Fig. 24. Tvärprofil över klappervallarna i norra delen av Varvsbukten, rakt väster om Gamla gården (från bronsåldern runt 1000 år f.Kr. och yngre).

*A profile across the ridges of shingle and cobbles at the northern part of Varvsbukten, W of Gamla gården (from the Bronze Age c. 1000 BC and younger).*

#### Landhöjningsförloppet

Gotska Sandöns tillväxt i postglacial tid har inletts med anläggandet av en mer än 20 m mäktig submarin sandackumulation över öns södra del samt i havsområdet närmast söder därom. Materialet till denna avlagring har transporterats norrifrån (fig. 25 och 26). Lagerstupningen i Höga land och Varvsbukten antyder en materialkälla i nordlig riktning från Hamnudden. Den västliga stupningen i östra delen av Höga land (Braustenudden) indikerar förekomsten av en materialkälla även inom den östra delen av ön. Den hårt packade och täta moränen kan icke ha utsatts för submarin erosion i en sådan omfattning som krävs för bildningen av alla dessa sedimentmängder. Strandsandens enhetliga kornstorleksfördelning antyder även att utgångsmaterialet knappast kan ha varit enbart morän. Ursprung- et utgörs sannolikt, förutom av morän, väsentligen av en isälvsavlagring, nu helt utplånad eller täckt av svallsediment. En rest av denna isälvsavlagring kan dock finnas vid blocket Elefanten 200 m söder om kapellet.

Den strandvallsslätt som intar huvuddelen av ön har successivt byggts upp under landhöjningen, invid eller strax över den tillbakavikande havsytan. Öns högsta parti av strandsand bör ha byggts upp relativt snabbt. Det är annars svårt att förklara varför icke klapper förekommer vid de högsta partierna drygt 20 m ö.h. i söder, vilka endast delvis är flygsands- täckta, liksom den obetydligare strandvallsmorfologin inom detta avsnitt. Blockhorisonten 14 m ö.h. i Höga land är förmodligen en erosionsgräns

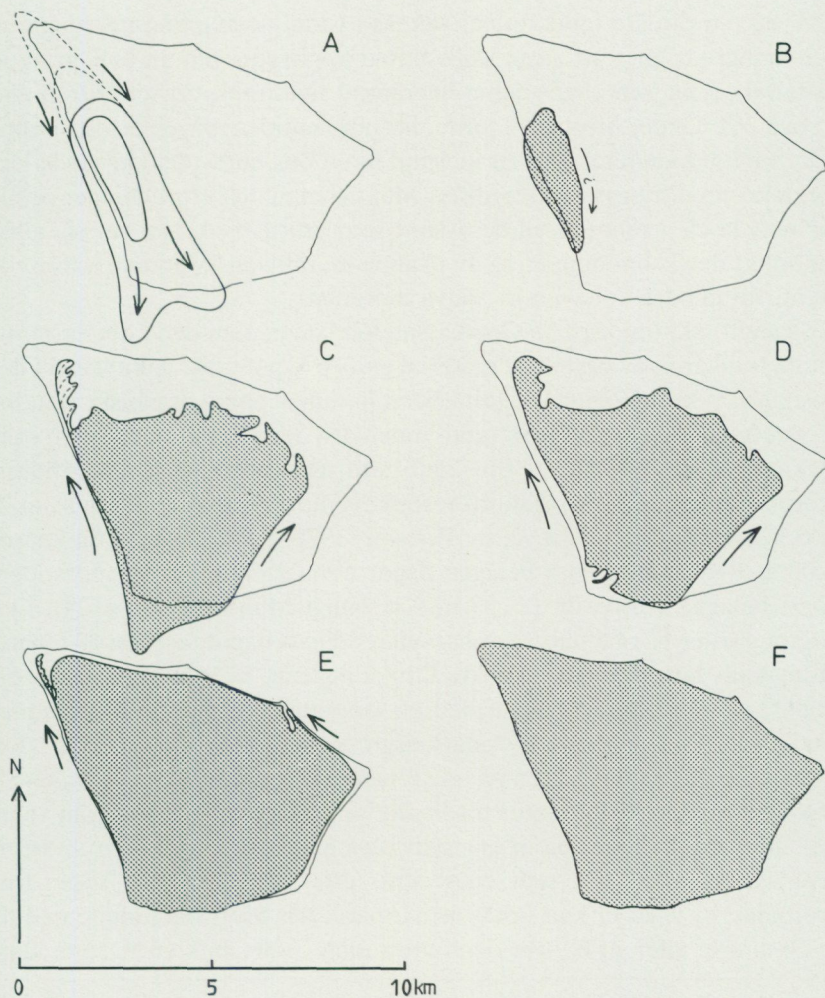


Fig. 25. Gotska Sandöns uppstickande ur havet i sex stadier, från ett submarint grund under ancylustid till den nutida ön. Från Mörner 1979, s. 12–13, obetydligt kompletterad.

*The emergence of Gotska Sandön from the Baltic sea in six stages, from the Ancylus time until Recent. Sketched by Mörner 1979, pp. 12–13.*

mellan submarint avsatt sand och senare omlagrad strandsand (jfr de olika slags molluskskal som påträffats). Från ca 15 m ö.h. och nedåt är strandvallarnas orientering styrd av de norra uddarna, d.v.s. i stort sett kustparallell.

Även om direkta indikationer saknas i form av stupningsmätningar är det rimligt att anta att strandvallsslätten uppbyggts genom omlagring av material på platsen eller genom begränsad sandtransport söderifrån (fig. 25 och 26). Under litorinatid torde, liksom i nutiden, vågor och strömmar från SV ha dominerat. All strandsand inom öns norra del kan dock icke förklaras med transport söderifrån. Mäktigheten och utbredningen är allt för betydande i relation till de avsnitt som brutits ned. Det rör sig alltså sannolikt delvis om omlagring av ovanpå moräntan avlagrade isälvs sediment, till mindre del även av själva moränen.

Strandförskjutningen på Gotska Sandön kan genom den i det närmaste totala frånvaron av organiskt material endast hypotetiskt anknytas till den postglaciala kronologin. Vid fältarbetet har inget annat organiskt material än skalfragment påträffats i strandsanden och detta material har varit otillräckligt för kol 14-analys. En jämförelse med nivåerna för den högsta litorinatransgressionen på södra respektive norra Gotland (14 m samt 27 m ö.h.) visar att denna nivå, av Persson (1978, s. 30) daterad till knappt 5000 år f.Kr., torde vara belägen något tiotal meter över strandsandens högst belägna yta på ön (ca 33 m ö.h. enligt Munthe 1924, s. 24). Öns högsta partier bör ha nått över havsytan tidigast något tusental år senare. Strandvallsslättens mera distinkta utbildning från ca 15 m ö.h. och nedåt skulle i så fall sammanhånga med en långsammare eller helt avstannad landhöjning vid den sista litorinatransgressionen strax före år 2000 f.Kr.

De arkeologiska objekten på ön (Jönsson 1979, Munthe 1924, s. 49–51) utgör till viss del hållpunkter för landhöjningsförloppet. Fynd från yngre stenålder förekommer inom öns sydvästra del ca 14 m ö.h., d.v.s. denna nivå var sannolikt torrlagd senast strax efter år 2000 f.Kr. Rösen från bronsåldern, vilka ej kan tidfästas närmare, når vid Hamnudden ned till ca 10 m ö.h. eller strax över den övre vallen i Varvsbukten. Denna klap-

---

Fig. 26. Schematiskt tvärsnitt genom Gotska Sandön utvisande tre faser i öns uppbyggnad:

I. Deltafas: Submarin tillväxt av sand mot söder.

II. Strandvallsfas: Omlagring av den tidigare submarint avlagrade sanden under strandförskjutningen.

III. Erosionsfas: Pågående nedbrytning av kustklintarna i söder och SV.

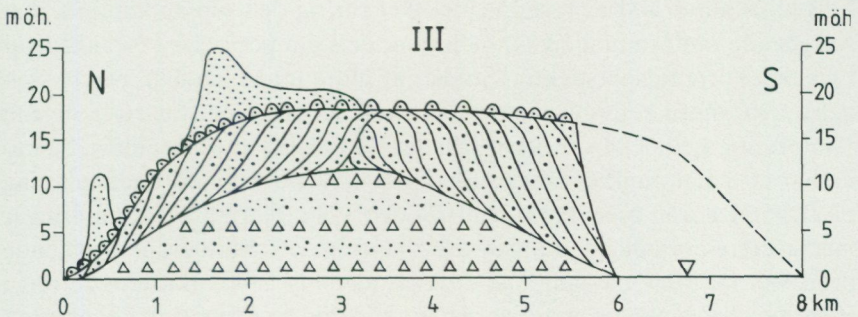
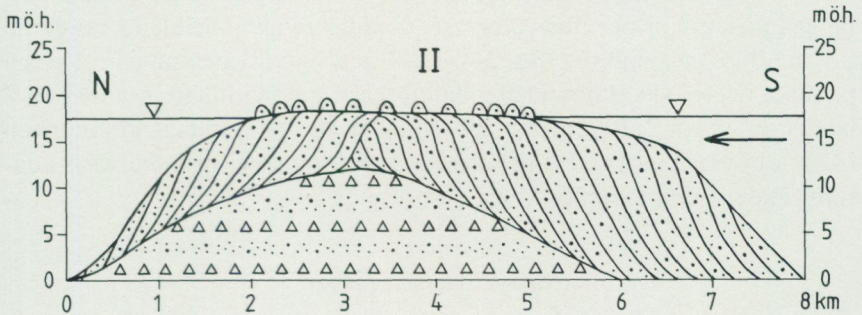
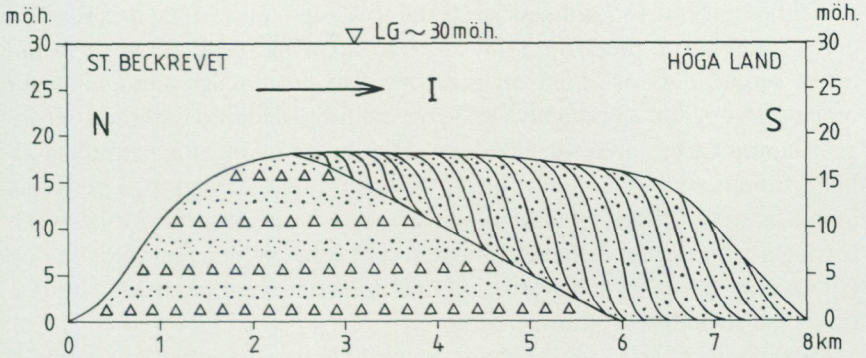
Efter skiss av Åke Hörnsten.

*Sketched cross sections through Gotska Sandön, showing three stages in the formation of the island:*

*I. Delta stage: Submarine accumulation of sand from north to south.*

*II. Beach ridge stage: The earlier accumulated sand is re-deposited during the shorelevel displacement.*

*III. Erosion stage: A still proceeding retreat of the coastal cliffs in the south and southwest. From a sketch by Dr Åke Hörnsten.*



SVALLSEDIMENT



STRANDVALLAR



MORÄN OCH  
ISÄLVMATERIAL



FLYGSANDSDYN

pervall motsvarar följaktligen en strandnivå yngre än ca 1000 år f.Kr. Det endast ca 4 m ö.h. belägna, fyndtomma röset vid Kyrkudden är sannolikt ej ett bronsåldersröse utan ett gravröse som tidsmässigt sammanhänger med de på ungefär samma nivå belägna, till tidig medeltid daterade bebyggelse lämningarna innanför Säludden. Den hamnanläggning som förmodligen funnits vid Källahamn mellan Säludden och Arnagrop, i en lagun innanför stranddynen av vilken inga spår syns i nutiden, har förmodligen torrlagts främst genom landhöjningen. Till följd av dennas ringa belopp (jfr nedan) ger de i sen historisk tid tillkomna objekten på ön inga indikationer på strandförskjutningens förlopp.

Morfologiska spår av transgressioner eller stagnationer av landhöjningen på lägre nivåer finns i form av de tidigare nämnda klappervallarna 5–9 m ö.h. i Varvsbukten (fig. 24), 2,5–4 m ö.h. på Bredsand (fig. 23) och på olika nivåer vid Hamnudden. Jämförelser med Gotland, svenska fastlandet och östra Baltikum gör det sannolikt att den nutida landhöjningen på ön ej överstiger 0.25 m per sekel, ett belopp som torde ha varit konstant under tiden efter Kr.f.

#### Pågående kustförändringar

Öns kustkontur ändras fortlöpande. Det rör sig dels om en kontinuerligt fortgående omformning av strandlinjen, dels om periodiska förändringar i mycket korta tidsperspektiv. Studier av äldre foton, särskilt med bebyggelse och andra referenspunkter, ger viss ledning för slutsatser liksom jämförelser mellan kartor och flygbilder (lodbilder) av olika åldrar. Sålunda har ett antal punkter längs stränderna utvalts för jämförande mätning på flygbilder från åren 1933–34, 1974 och 1980. Härvid har förändringar med kortare periodicitet kunnat särskiljas från de kontinuerligt fortgående processerna. Mest påtaglig bland de sistnämnda är klintkustens reträtt i söder och SV, vilken som tidigare nämnts torde ha fortgått sedan ön först höjde sig ur havet. I det följande beskrivs några lokaler där kustmorfologin runt ön har tolkats med ledning av belagda strandlinjevariationer.

Kring *Hamnudden* är kustreträten mest påtaglig på ön. Borrningen år 1957 utfördes något hundratal meter öster om uddens spets, uppe på den gräsbevuxna ytan av strandvallar ca 2 m ö.h. och enligt uppskattning från foton ca 30 m från vattenbrynet. År 1968 uppgick avståndet till 28 m enligt uppmätning av tillsynsman Torsten Jönsson men i början av 1980-talet stod det kvarlämnade borrhöret ute i den nutida strandklappern. Fig. 27a

och b visar en kustreträtt av flera meter från sommaren 1980 till sommaren 1981. Vid vinterstormen nyåret 1983 fälldes det helt genomrostade röret och resterna av det låg efter stormen ca 4 m ute i vattnet. Kustreträttan under perioden 1968–1983 synes ha accelererat till flera meter årligen, medan stranden under den första tioårsperioden förefaller ha varit relativt konstant.

Den ursprungliga *fyren vid Hamnudden*, uppförd år 1913 (sevärdhet H på kartan), befann sig enligt mätning på 1933–34 års flygbilder minst 20 m från uddens västra strand och 40 m från den södra. År 1957 var sistnämnda avstånd, enligt foton tagna vid borringen, ungefär oförändrat men år 1970 var avståndet till den västra stranden endast någon meter och år 1978 hade klinten underminerat fyrornet. Ett erosionskydd av betong, som dock snabbt underminerades, anlades detta år. Tornet stod kvar till natten mellan den 1 och 2 februari 1983, då det störtade i havet (jfr de tre fotografierna fig. 28 a, b och c).

Kustreträttan under de senaste 50 åren kan på denna plats uppskattas till ca 1 m per år mot norr och ca 0.5 m per år mot öster. Dock bör det understrykas att detta icke varit någon jämnt förlöpande process utan den accelererade under 1960-talet. Etapper av större årlig reträtt har avbrutits av perioder med stillestånd och även av ackumulation. Våren 1980 hade sålunda klapper av ca 20 m bredd ackumulerat från öster runt hela uddens spets, förmodligen genom transport från klappern vid S:t Anna vid den kraftiga östliga stormen vintern 1979–80 (fig. 29). Påföljande år var klapperackumulationen vid Hamnudden helt utplånad.

Kustreträttan vid Hamnudden är svår att klarlägga i ett längre tidsperspektiv, men den kan antas fortsätta med nuvarande storleksordning ytterligare något sekel. Den kommer därefter att förlöpa långsammare, då erosionen nått fram till högre belägen terräng i den markerade slutning som sammanbinder de södra och västra kustklintarna. En praktisk konsekvens av detta blir att den nya fyren vid Hamnudden, uppförd år 1969 ca 20 m NO om den 1983 raserade, inom de närmaste decennierna förmodligen måste flyttas.

*Bredsandsudden* (sevärdhet A på kartan) varierar betydligt till sin form, såväl i längre som i kortare tidsperspektiv. Fasta referenspunkter i form av block och av människan anlagda objekt saknas på udden. Stranddynernas läge har dock varit i stort sett oförändrat sedan skyddsplantering utfördes vid seklets början. Det äldre kartmaterialet, från 1773 års lantmäterikarta t.o.m. 1933–34 års flygbilder, visar strandkonturer i stort sett



a.



b.

Fig. 27. Borröret vid Hamnudden juli 1980 (a) samt juli 1981 (b). Foto H. Agrell.  
*The 1957 drilling pipe at Hamnudden July 1980 (a) and July 1981 (b).*



Fig. 28 a.

Fig. 28. Fyren vid Hamnudden. a: sommaren 1957 (foto Anders Martinsson), b: sommaren 1980 (foto H. Agrell), c: resterna av fundamentet sommaren 1983 (foto H. Agrell).

*The lighthouse at Hamnudden. a: summer 1957, b: summer 1980, c: ruined, summer 1983.*



Fig. 28 b.



Fig. 28 c.



Fig. 29. Ackumulatjon av klapper vid Hamnudden maj 1980. Foto H. Agrell.  
*Recent cobble accumulation at Hamnudden May 1980.*

mot NNV och VSV som bildar en rät vinkel vid uddens spets, antydande strömmar såväl öster- som söderifrån. På 1974 och 1980 års flygbilder har uddens form ändrats markant. Den norra stranden böjer nu av mot VNV och udden bildar en trubbig spets riktad rakt norrut. Uddens form på 1933–1934 respektive 1980 års flygbilder visas i fig. 30 a och b.

Denna tillväxtzon är dock obeständig. Tillfälliga revlar och laguner förekommer öster om nordspetsen. Efter 1983 års vinterstorm hade en reduktion ägt rum nästan till den ursprungliga storleken och formen. Redan på sommaren hade dock stranden ånyo byggts ut till sin tidigare kontur. Bredsandsuddens norra spets är i regel utbildad som en krumudde riktad mot norr, indikerande materialtransport söderifrån längs öns västra strand. Att även sandtransport från öster tidvis förekommer är belagt genom ett foto av Christian Bronge sommaren 1978, då uddens spets utgjorde en mot VSV riktad krumudde. En krumudde med samma riktning är f.ö. antydd även på 1772 års karta. Stenar och block täcker havsbotten in mot stranden redan strax öster om uddens spets och vidare österut mot Vikarstenarna. Detta indikerar att vågor och strömmar från öster ej deponerar större mängder sand.

Bredsandsuddens variationer i storlek och form beror främst på att materialtransporten kan växla riktning och komma från söder eller öster. Materialtillgången är god, vilket den omfattande submarina sandackumuleringen där utanför visar. Som framgår av den maringeologiska kartan sträcker sig det av sand och grovmo uppbyggda Nordvästrevet ca 6 km mot VNV från Bredsandsudden, där vattendjupet är mindre än 5 m. Revet är uppbyggt mot den moränackumulation som sträcker sig från Vikarstenarna och ca 3 km mot VNV. En sonarbild från Nordvästrevet yttre del visar att sandackumuleringen har en flack sluttning mot söder men att den stupar brant mot norr och väster. Detta är en klar indikation på att Nordvästrevet väsentligen byggts upp genom sandtransport söderifrån. Säkerligen har huvuddelen av den sand som eroderats vid och norr om Hamnudden ackumulerat på Nordvästrevet.

Bredsandsuddens tillväxt under den senaste 50-årsperioden är en av indikationerna på att erosionen längs öns sydvästra kust ökat under detta sekel. Närvaron av ytligt belägna, mäktiga submarina sandackumuleringar väster om udden innebär dock att kortvariga stormangrepp kan åstadkomma betydande förändringar av kort varaktighet i strandkonturen.

*Kyrkuddens* norra del har varit i stort sett konstant. En strandtillväxt av ca 20 m kunde iaktas efter stormen 1983 och denna tillväxtzon fanns

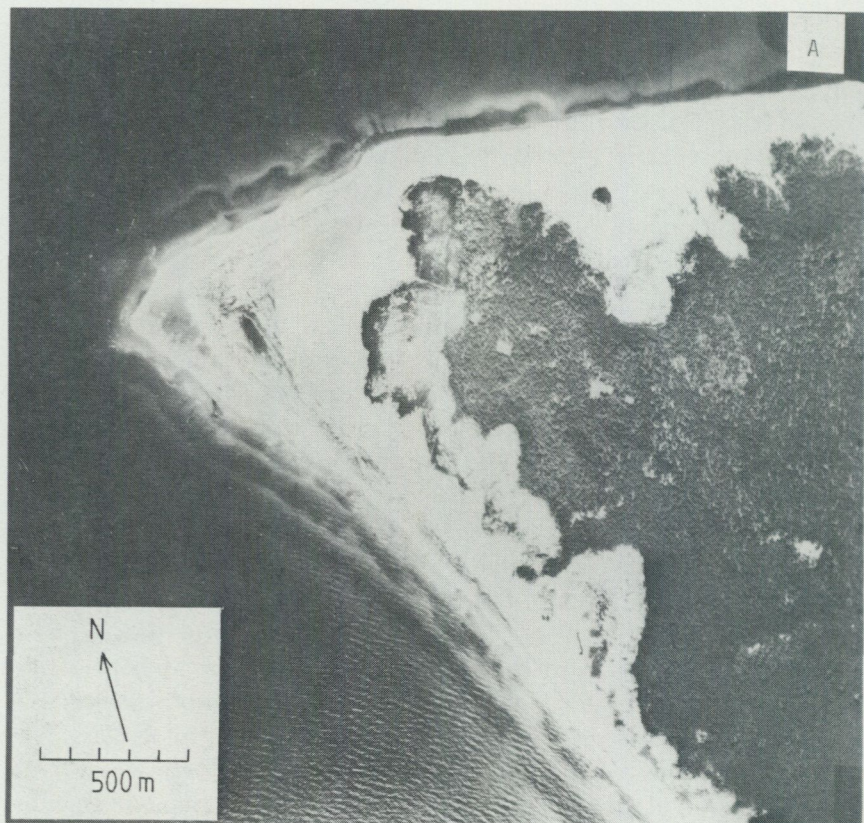


Fig. 30. Bredsandsudden på flygbilder från år 1934 (a) respektive 1980 (b). Bilderna visar uddens tillväxt samt skogstillväxten på den tidigare vegetationslösa burgen och raddynen. Godkända för publicering av Lantmäteriverket 1987-03-31.

kvar sommaren 1984. Som tidigare nämnts har sand avlagrats även i söder och täckt en där befintlig klapperstrand. Sannolikt var ovanligt mycket klapper blottad år 1980 till följd av ostliga stormar. Uddens form har ändrats under det senaste seklet; på 1773 och 1890 års kartor är den markerat spetsigare. Den nuvarande trubbiga kustkonturen synes främst vara orsakad av tillväxt på den södra sidan. 1933–34 års flygbilder visar en markerad krumudde riktad mot söder (fig. 2). Sannolikt är den uppbyggd kring vraket av ett större fartyg som strax innan hade förlist på platsen och var synligt ännu ett 20-tal år senare. En jämförelse med 1974 års flyg-



*The Bredsand area in the NW on aerial photographs from 1934 (a) and 1980 (b). The pictures show the advance of the beach contour and the new pine wood on the deflation area and the rim dune.*

bilder visar att krumudden inkapslats i den nu helt jämna kustkonturen indikerande tillförsel av sand söderifrån.

Morän, indikerad bl.a. av det undervattensrev som löper från uddens spets mot NNO, bildar havsbotten utanför Kyrkudden. Längre mot öster och söder har betydande kvantiteter av sand lokaliserats vid den maringeologiska karteringen, vilket indikerar sandtransport från såväl SV som NV.

*Tärnudden* utgör den punkt där den mot norr eroderade stranden skär den ursprungliga nordostliga kustkonturen. Att stranden retirerar där vi-



Fig. 31. Fyrgrunden vid Tärnudden. Foto H. Agrell 1981.

*The ruined remains of the 1883 lighthouse at Tärnudden in the summer 1981.*

sas bl.a. av att den når ända fram till randdynen utan mellanliggande burgområde. Kustreträten under det senaste seklet är klart belagd genom bebyggelselämningar på platsen. År 1883 anlades en fyrstation där och foton från förra seklet visar byggnaden belägen uppe på burgen flera tiotal meter från stranden. Fyrbyggnaden revs efter det att anläggningen övergivits år 1913 och grunden är nu belägen nere på den endast något tiotal meter breda stranden nedanför stranddynen (sevärdhet F på kartan, fig. 31). Den där innanför belägna, alltså kvarstående bagarstugan ligger omedelbart innanför den avancerade stranddynen och delvis dold av denna. Periodvis har stranden retirerat under senare år; efter stormen 1983 hade fyrgrunden helt frilagts från kustkanten och vid höststormen 1985 blottades i kanten den sedan länge under stranddynen begrävda brunnen. Det är genom fyrruinens läge klarlagt att kustlinjen vid Tärnudden under det senaste seklet retirerat flera tiotal meter.

Sammanfattningsvis uppvisar Hamnudden den i nutiden snabbast fortgående kustreträten på ön. Kusten retirerar även i Varvsbukten norr därom samt i söder längs Höga land (sevärdhet G på kartan) och vid Tärnudden. Denna kustreträtt synes ha fortgått under lång tid, i stort



Fig. 32. Nutida klapper med drivved vid S:t Anna öster om Hamnudden. Foto H. Agrell 1982.  
*Recent cobble shore with drift wood at S:t Anna E of Hamnudden.*

sett sedan ön höjde sig ur havet. Materialbalans förefaller råda längs den nordvästra kusten, längs Vinbukten i SO samt längs den norra kuststräckan. Vid Bredsandsudden, Kyrkudden och i Franska bukten äger sandackumulation rum i nutiden.

Utbredningen av sand och grovmo såsom den framgår av den maringeologiska kartan verifierar slutsatsen att vågverkan med dominerande riktning från SV och därav genererade kustströmmar styr den pågående materialtransporten runt ön. Hamnudden, som är mest utsatt för erosionsangrepp, fungerar som en vattendelare för kustparallella strömmar mot norr och öster. Den från Varvsbukten borteroderade sanden ackumulerar på Nordvästrevet och vid Bredsandsudden. Från Hamnudden transporteras sand och klapper såväl mot norr som mot öster (fig. 32). Den från Höga land och Tärnudden borteroderade sanden avlagras i Franska bukten och utanför Kyrkudden. Den nutida tillförseln av sand är av mindre omfattning utanför den norra stranden, där uppstickande block enligt den maringeologiska kartan förekommer i den tunna submarina sanden. Sandbotten är i regel belägen på mer än 15 m vattendjup då morän i huvudsak täcker botten på grundare vatten.

Det framgår vid en jämförelse mellan observationerna på ön och i närmast omgivande havsområde att huvuddelen av det borteroderade materialet förmodligen ackumulerar submarint (jfr s. 82). I ett kort geologiskt tidsperspektiv (några hundra år) innebär detta att öns yta med nuvarande erosionsbelopp kommer att minska. Eftersom samtliga stränder runt ön är relativt långgrunda, är det sannolikt att fortgående materialdeposition och landhöjning i ett längre tidsperspektiv kan innebära tillandning av större områden norr och öster om den nuvarande kustlinjen.

## Flygsand

### Yttäckande flygsand och dyner i öns inre

Flacka flygsandsområden med en mäktighet överstigande 1 m intar tillsammans med de morfologiskt framträdande flygsandsdynerna ca hälften av öns areal. Smärre områden av flygsand uppträder utanför de på kartan betecknade, och där de större områdenas begränsning ej utgörs av terrängbrott är det närmast omöjligt att exakt avgränsa dessa. Utbredningen av yttäckande flygsand inom öns centrala del är därför kraftigt generaliserad, särskilt gäller detta begränsningen mot söder i området öster om öns mittpunkt. Flygsandens ytformer är där mycket oregelbundna med kullar av några meters höjd som i den östra delen är rika på smärre, öppna deflationsytor.

Den yttäckande flygsandens mäktighet överstiger i regel ej någon meter, men den kan öka i dynernas närhet. Det deflationshål ned till strandsanden norr invid Schipkapasset där de tidigare nämnda vitmosstuvorna är belägna omges av minst 5 m mäktig flygsand som bildar en flack markyta. Flygsandens anpassning till strandvallarnas morfologi inom öns östra del antyder en ringa mäktighet i de flacka områdena (fig. 33). Inom det diffust avgränsade, runda flygsandsområdet NO om Hamnudden finns en gammal täkt som visar att där är ca 2 m flygsand på strandsanden.

Den yttäckande flygsanden norr om Höga åsen samt inom öns östra del är sannolikt likåldrig med de där befintliga dynerna, vilka närmare beskrivs nedan. Flygsandsdriften bör dock ha inletts redan då ön först höjde sig ur havet. Det kan förmodas att det som oregelbundna kullar uppträdande flygsandstället inom öns centrala del utgör nedbrutna och omlagrade rester av ett äldre dynlandskap med mera regelbundna ytformer. De nutida öppna deflationsytorna i terrängen norr om Tärnudden



Fig. 33. Av yttäckande flygsand pålagrade strandvallar i området mellan Höga åsen och Såludden. Foto H. Agrell 1980.

*Beach ridges covered with windblown sand SW of Såludden.*

förefaller i huvudsak vara resultat av den ofullständiga återväxten av skog efter 1880 års skogsbrand (som berörde de östra 2/5 av ön) och främst efter 1917 års brand, inom ett område NO om Tärnudden, brandhärjat även år 1880. Sambandet framgår av de gränser för brandfälten som markerats på 1923 års skogskarta.

Den största av öns inre dyner är *Höga åsen*, som med en längd av ca 6 km överkorsar hela öns nordvästra del. Dynen löper ca 4 km i ost-västlig riktning från randdynen väster om L. Idemoren och den böjer sedan av knappt 2 km i nordlig riktning för att på nytt ansluta till randdynen vid Beckrevskullen. Undantaget vissa avsnitt i den nordöstra delen omges dynen i stort sett helt på ömse sidor av yttäckande flygsand, över vars yta dynens högsta partier höjer sig 20–25 m. Dynens längsprofil är på hela sträckan tandad och krönet är sönderstyckat av flera 10–15 m djupa erosionsgenombrott. Omedelbart öster om det största av dessa, Schipkasset, fig. 34, (som är fördjupat genom grävning) når dynen sin högsta höjd, 40.33 m ö.h., tillika den högsta punkten på ön. (Det ca 2 m högre värde på mittpunktens höjd som anges på äldre kartor beror på en felaktig fixpunktavvägning). Strandsandens överyta under dynen kan från observatio-



Fig. 34. Schipkapasset väster invid högsta punkten längs Höga åsen. Foto söderifrån, H. Agrell 1981.

*The deflation gorge "Schipkapasset" along the crest of Höga åsen, the largest of the inland dunes.*

ner norr om denna beräknas ligga drygt 10 m ö.h., vilket innebär en sammanlagd flygsandsmäktighet vid öns högsta punkt av närmare 30 m. Krönnivåer drygt 35 m ö.h. finns ca 800 m öster och väster om Schipkapasset samt invid Sälbo lövskog i NO. Talrika deflationsår finns på dynens högsta partier.

Höga åsens förlopp i plan visar ingen rak linje utan en serie mot söder utsträckta lober med en diameter av några hundra meter. Det östra, nord-sydliga avsnittet bildar på samma sätt lober mot öster. Genombrotten i åskränet är belägna i skarvarna mellan dessa lober. Området norr om dynkrönet har en orolig ytform med mot norr utgrenande korta ryggar och där emellan djupa deflationshål som kan nå ända ned till strandsanden. I övrigt täcker flygsanden ett större, mot söder jämnt stigande markavsnitt norr om dynens västra del. Dynens begränsning mot söder och öster är mycket skarp. Loberna stupar med rasvinkel ned mot den flacka, av äldre flygsand täckta markytan.

Höga åsens ytform visar att den bildats genom sandtransport från norr och NV. Dess lokalisering är sannolikt ej styrd av någon ojämnheter i mark-

ytan utan dynen har vandrat mot söder och successivt byggts på tills framryckningen avstannat. Orsaken till detta kan vara ett omslag till fuktigare klimat med åtföljande skogbevuxning, men dynen kan också helt enkelt ha byggts upp till så stora dimensioner att dess framryckning bromsats av vegetation. För en sådan slutsats talar den nutida erosionen i dynens högsta partier, som når nivåer högre än trädtopparna i omgivande skog. Några säkra indikationer på dynens ålder, t.ex. i form av flygsandsdränkta torrträd i dess proximala del, har ej påträffats. De djupa erosionsgenombrotten indikerar dock en relativt hög ålder.

Dynens bildning förutsätter ett ej obetydligt landområde norr därom, varvid bronsålderns strand minst 9 m ö.h. kan tas som ett riktmärke bakåt i tiden. Dynen bör ha rört sig från stranden med en hastighet av mellan 1 och 2 m per år, vilka är de värden som nedan beräknats för randdynens framryckning. Det bör då ha tagit dynen mellan 1 000 och 2 500 år att nå sin nuvarande position, där den varit helt stationär sedan 1773 års kartläggning och förmodligen avsevärd tid dessförinnan. Höga åsen har förmodligen varit mer eller mindre aktiv under ca 2 000 år, från klimatförsämringen vid bronsålderns slut ca 500 f.Kr. t.o.m. den senmedeltida klimatförsämringens slut ca 1 500 e.Kr.

Från Höga åsens västra del, längs vägen mot Hamnudden, utgrenar knappt 3 km mot söder en omkring 10 m hög, rak dyn med krönet ca 25 m ö.h. Den löper samman med randdynen vid Gamla gården. Dynen har på den äldre geologiska kartan benämnts *Bourgströms dyn*. Den begränsas mot öster, utom längst i söder, av yttäckande flygsand 15–20 m ö.h., medan två lägre partier mellan denna dyn och den väster därom belägna randdynen täcks av strandsand ca 15 m ö.h. Dynens västra begränsning är mera oregelbunden än den östra.

Bourgströms dyn är säkerligen uppbyggd i huvudsak från väster mot öster och den kan tolkas som en äldre generation av randdynen. Tidsställningen, såväl exakt som i förhållande till Höga åsen, är icke klart indikerad. Det kortare avståndet från stranden kan tyda på att Bourgströms dyn började bildas något senare än vid själva landhöjningsfasen. Dess aktivitet måste ha avstannat innan den nuvarande randdynens bildning påbörjades (jfr nedan), vilket gör det sannolikt att Bourgströms dyn varit aktiv ungefär lika långt fram i tiden som Höga åsen, d.v.s. över den senmedeltida klimatförsämringen.

Inom öns sydvästra del ligger de med Franska bukten parallella *Södra Slyngdynerna*. De sträcker sig från randdynen innanför Vinbukten i söder

ca 4 km åt NO med ett inbördes avstånd av 250–500 m. Det mellanliggande området intas av i ytan stenig strandsand och SO om dynerna täcks markytan helt av flygsand. Båda dynerna, som når en höjd av 5–10 m med en krönnivå av ca 15 och 20 m ö.h., är i tvärprofil symmetriska och deras utsträckning ansluter sig helt till de kustparallella strandvallarna. Den östra dynen bildar i sin norra del den i VNV–OSO elliptiska, ca 200 m breda ackumulationen *Höga revarn*, som når ca 30 m ö.h. eller knappt 20 m över omgivande markyta. Denna kulle stupar med rasvinkel mot NNO och dess sydvästra del intas av ett öppet deflationssår med flackare lutning.

Sammantaget visar dessa observationer att dessa dyner ackumulerat främst genom långsgående sandtransport av vindar från söder och SV. Höga revarn torde ha byggts upp under successiv förflyttning mot norr tills distalbranten blivit skogbeväxt. Alltjämt blåser sand från det öppna sandsåret över krönet vid hård vind, t.ex. vintern 1983. Även om dynerna i huvudsak avlagrats genom långsgående sandtransport utesluter detta ej att de kan utgöra äldre generationer av den innanför Franska bukten belägna randdynen. Ett stöd för att sand ackumulerat även från SO utgör den stenarikning i ytskiktet som observerats mellan dynerna. Dynernas tidsställning, som ej kan beläggas närmare, kommenteras vidare nedan.

NV om de ovannämnda dynerna, inom terrängavsnittet SV om Arnagrop, ligger på en marknivå av 10–15 m ö.h. *Norra Slyngdynerna*. Dimensionerna är likartade med de södra Slyngdynerna, men till skillnad från dessa är dynriktningen mindre tydligt styrd av strandvallstrukturen, som inom detta avsnitt har riktningen VNV–OSO. Dynerna, vilka troligen primärt anlagts längs strandvallar med denna riktning, bildar två markerade, halvmånformiga bågar mot NO, utvisande att de liksom Södra Slyngdynerna byggts upp av vindar från söder och SV. Runt Norra Slyngdynerna är strandsanden blottad som ”fönster” i den yttäckande flygsanden, särskilt SV om dynerna.

Strandsandens utbredning antyder att dynerna är yngre än den jämna flygsandsackumulationen som troligen ägt rum kort efter landhöjningen. Sannolikt är de likåldriga med Södra Slyngdynerna, men medan de senare är bildade vid terränghinder (strandvallar) är de norra dynerna liksom Höga revarn fria vandringsdyner. Bildning av vandringsdyner förutsätter en ofullständigt vegetationstäckt markyta. Dynlandskapets omfattning, om dynerna antas vara ungefär synkront utbildade, gör det mindre sannolikt att det varit frågan om en genom skogsbrand frilagd markyta. Sanno-

likt är det tillväxten av den första över hela ön täckande skogen som stoppat bildningen av dessa dyner och de skulle med denna tolkning vara de äldsta på ön, i allt väsentligt färdigbildade före Kr.f.

### Stranddynen

Burgen skiljs från sandstranden av en några meter hög och något tiotal meter bred stranddyn (fig. 9). Denna dyn har i regel icke kunnat markeras med kontur utan ryggbeteckningen ligger direkt på strandsanden. Stranddynen är i stort sett bunden av strandråg. På Bredsand har stranddynen en betydande utbredning, ett resultat av den rikliga tillförseln av strandsand. Flygsanden på Bredsand var i det närmaste fri från vegetation fram till seklets början då skyddsplantering med strandråg utfördes (Nilsson 1905). Sanddriften stoppades även genom anläggandet av gårdsgårdar (Sylvan 1907). Av foton i Sylvans uppsats framgår att de tre parallella dynerna på Bredsand sedermera byggts upp kring dylika konstgjorda hinder.

Deflationshål har delvis sönderstyckat ryggarna och frameroderade rester av gårdsgårdarna har observerats vid fältarbetet. Nutida tillförsel av flygsand förekommer på Bredsandsuddens yttersta del, särskilt påtagligt efter 1983 års vinterstorm. Då stranddynen vid detta tillfälle eroderades i sin yttre del, kunde en växellagring av tunna humusskikt och några centimeter breda sandskikt observeras. Vid Vikarstenarna påträffades någon meter under dynkrönet en plastdunk i dylikt skiktat material. Detta visade att en betydande tillväxt av stranddynen åtminstone inom detta avsnitt äger rum i nutiden. Stranddynens större bredd vid Kyrkudden och i Franska bukten är liksom vid Bredsand orsakad av riklig tillförsel av strandsand.

Stranddynen har i stort sett bildats under detta sekel, d.v.s. under tiden efter randdynens stagnation (jfr Pettersson 1965, s. 106). Äldre foton från olika delar av ön visar hur burgen börjar direkt ovanför sandstranden med en klint ca 2 m ö.h. Särskilt tydligt framgår detta förhållande vid Tärnudden, där bebyggelse lämningar (Bagarstugan) dolts under stranddynen. Orsakerna till stranddynens tillväxt diskuteras närmare i det följande.

Flygsandens kornstorleksfördelning framgår av proverna 26–30 i tabell 1 samt fig. 35. De dominerande kornstorlekarna hos materialet i stranddynen är grov- och mellansand (prov 30 i tabell 1). Som väntat är sanden i randdynen finkornigare med nästan ren mellansand (proverna 28–29 i tabell 1). Två prover från krönpartier av Höga åsen visar ett ännu finkorni-

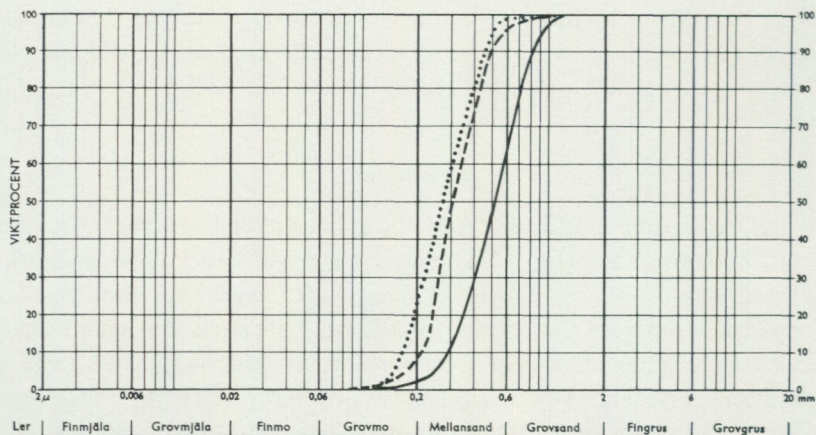


Fig. 35. Kornfördelningsanalyser av flygsand, jfr tabell 1: Heldragen linje = prov nr 30 från stranddynen väster om St. Beckrevet, streckad linje = prov nr 29 från randdynen väster om St. Beckrevet, punktlinje = prov nr 26 från krönet av Höga åsen vid Schipkapasset.

*Grain size distribution of windblown sand, cf. Table no 1: Continuous line = sample no 30 from the beach dune W of St. Beckrevet, broken line = sample no 29 from the rim dune W of St. Beckrevet, dotted line = sample no 26 from the crest of Höga åsen at Schipkapasset.*

gare material med inslag av grovmo (proverna 26 och 27 i tabell 1). Den mindre kornstorleken gäller dock ej generellt för flygsanden i öns inre, då denna till stor del sammansätts av material som omlagrats på platsen. Medan sanden i stranddynen alltså är märkbart kalkhaltig, är flygsanden i randdynen genom urlakning endast svagt kalkhaltig. Flygsanden i öns inre är i regel kalkfri.

### Randdynen

Det mest karakteristiska formelementet bland öns dyner är den kustparallella randdynen, vilken löper runt hela ön med undantag för den södra och sydvästra klintkusten. Att någon randdyn ej utbildats inom det flackare kustavsnittet Hamnudden-S:t Anna kan bero dels på den snabba kusterträtten, dels på att utgångsmaterialet varit alltför grovt. Randdynen saknas även (en rudimentär antydning till dyn finns dock på en del av sträckan) inom kustavsnittet St. Beckrevet-Säludden (Las Palmas). Otillräcklig tillförsel av sand från stranden bör vara den främsta orsaken till detta förhållande. Randdynen är belägen på något till några hundratal meters

avstånd från stranden och begränsas från denna av en genom vinderosion stenarikad yta av flygsand, burgområdet (fig. 8). Randdynen är sannolikt främst bildad genom kontinuerlig tillförsel av strandsand men även genom omlagring av yttäckande flygsand och stranddyner. I det följande lämnas en översikt av randdynens ytformer runt ön.

Längs västra stranden kan dynen följas norrut från en punkt ca 1 km norr om Hamnudden. Dess basnivå i väster är belägen ca 10 m ö.h., norrut sjunkande till ca 5 m ö.h. Dynen når upp till drygt 25 m ö.h., innebärande en höjd av 15–20 m. Västs lutningen är mycket flack och svår att avgränsa mot burgområdet. Enstaka torrträd förekommer i den glesa, lågvuxna tallskogen. Östs lutningen är en väl markerad rasbrant, vars höjd till följd av markytans lutning ej överstiger 10 m. Den är helt bunden av vegetation. Det södra avsnittet är relativt rakt, medan dynens förlopp i plan mot norr utmärks av mot öns inre buktande lober, "svag", med en diameter av några hundra meter. Det största, Hertas svag, med en bredd av ca 500 m och ett djup i plan från dynens yttre begränsning av ca 400 m, är beläget ca 2 km söder om Bredsandsudden. Svagets asymmetriska form antyder att det utformats av en dominerande vindriktning från SV.

Innanför Bredsand, runt Fyrplatsen, är randdynens dimensioner betydande. Vid fyren når krönet över 30 m ö.h., vilket innebär 25 m över strandsanden i väster, 20 m i öster. Dynen är helt bunden av vid sekelskiftet planterade bergtallar. En tvärprofil över randdynen, från strandvalls slätten där innanför och ned till havsytan, har uppmätts SV om Fyrplatsen längs stigen mot västra landningsplatsen (fig. 36). Innanför huvuddynen ligger två system av dyner av ca 10 m höjd, vilka är oregelbundet loberade mot SO. Mellan dynerna når strandsanden upp i markytan. Fyrplatsen är belägen mellan randdynen och den yttre av dessa dyner, Kapellänget mellan de båda inre. Båda dynsystemen har i ändpunkterna kontakt med randdynen och de torde utgöra äldre generationer av denna av osäker ålder. Randdynkomplexet i öns nordvästra hörn är uppbyggt av dominerande vindar från NV. Dess betydande dimensioner är en ytterligare indikation på stor tillförsel av strandsand inom detta avsnitt av ön.

Randdynen är kontinuerlig på hela sträckan fram till St. Beckrevet med en höjd av 5–10 m. Den yttre marknivån är ca 5 m ö.h., den inre ca 10 m ö.h. Dynen är tydligt loberad i symmetriskt utbildade svag, innanför vilka de högsta krönnivåerna finns. Den yttre delen av burgen är helt kal men i de inre delarna finns ung, lågvuxen tallskog samt enstaka torrträd. Dy-

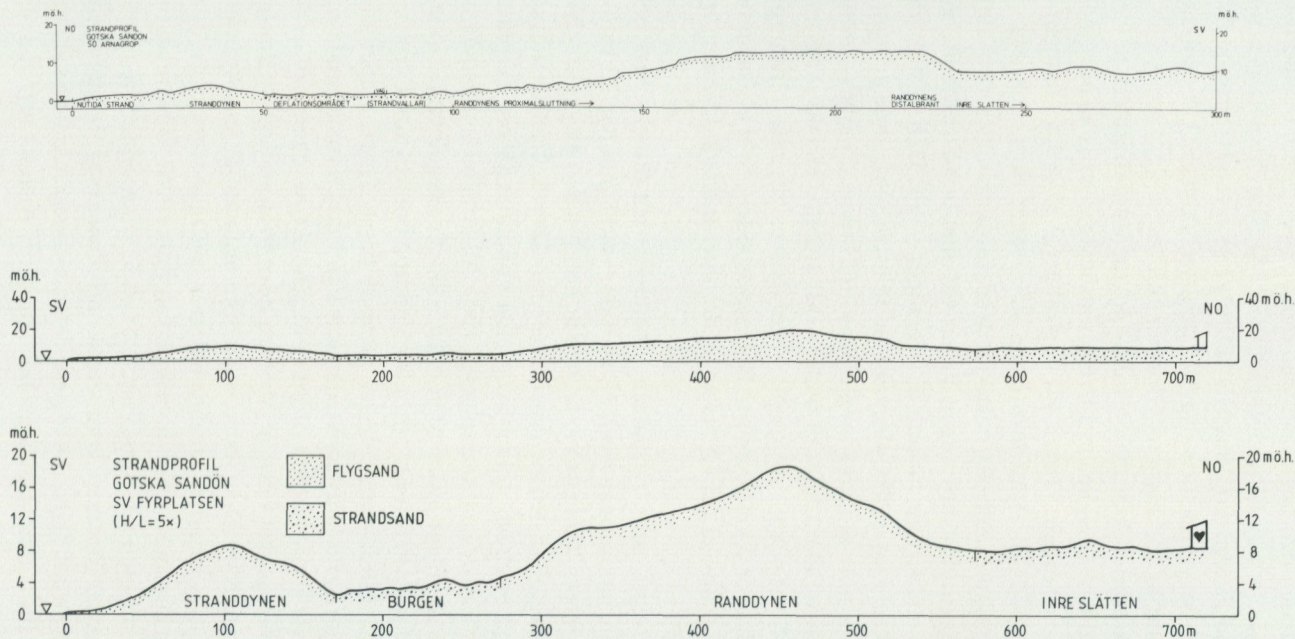


Fig. 36. Tvärprofiler över formelementen i kustzonen på sträckan Arnagrop–Kyrkudden (ovan) samt längs stigen mot västra landstigningsplatsen söder om Bredsand; sistnämnda profil är uppmätt av Anders Damberg och slutar vid tältplatsens avträde.

*Profiles across the coastal zone from the area between Arnagrop and Kyrkudden (above) and from the path towards the shore south of Bredsand. The latter profile was measured by Dr Anders Damberg. Text in the first profile: Recent beach, beach dune, deflation zone (beach ridges), proximal slope of the rim dune, distal slope of the rim dune, the inland plain. Text in the second profile: Beach dune, deflation zone, rim dune, inland plain. Upper box: windblown sand, lower box: beach sand.*

nens sluttning mot det breda och flacka burgområdet är relativt distinkt och samma är fallet med den med rasvinkel stupande inre sluttningen. Dynfronten är helt bunden av tallskog med en markyta av lavar och mossor (fig. 41). Det största svaget, med en bredd resp. djup inåt av ca 500 m, ligger omedelbart öster om Fyrplatsen.

I yttre delen av detta svag ligger den väl markerade Gumskullen (sevärdhet C på kartan). Denna kulle, med en diameter av ca 50 m, höjer sig ca 15 m över det omgivande burgområdet. Den skogklädda kullen stupar i sin norra del brantare än materialets rasvinkel, närmare 40°, vilket kan förklaras av att den byggts upp medan den varit täckt av markvegetation. Gumskullen har av Munthe (1924, s. 38) tolkats som en erosionsrest av den mot öns inre avancerande randdynen. Denna tolkning förefaller ej helt självklar då andra dylika bildningar av denna dimension helt saknas på ön. Kullen kan ha byggts upp kring en fast kärna, t.ex. en blocksamling, och i så fall samtidigt med randdynens bildning där innanför.

Vid Beckrevskullen böjer randdynen av söderut och övergår i det östra avsnittet av Höga åsen. Yttäckande flygsand utbreder sig i hela det strandnära området fram mot Säludden. Endast en mindre, kustparallell rygg av några hundra meters längd och några meters höjd har lokaliserats mitt på sträckan. Vid Tomtebo är randdynen åter tydligt utbildad, förbi Säludden och fram till Arnagrop med ungefär samma dimensioner som på sträckan mellan Fyrplatsen och Beckrevskullen.

Arnagrop (fig. 37, sevärdhet D på kartan) är det största svaget längs randdynen med en bredd av ca 700 m och ett djup från yttersidan av ca 500 m. Dynen når sin högsta höjd, drygt 25 m ö.h., vid Bendalen i svagets sydöstra del, vilket innebär ca 20 m över burgen i norr och ca 15 m över markytan där innanför (som utgörs av yttäckande flygsand). Det flacka burgområdet är bevuxet med gles, ung tallskog som även täcker flygsandssluttningen i svagets västra del. Sluttningen upp mot Bendalen är dock i stort sett kal, med flygsanden blottad i markytan. Där finns inom ett avsnitt med ca 200 m diameter flera tiotal stammar av torrträd, den s.k. Döda skogen (fig. 38). Grövre partiklar (fingrus) förekommer allmänt, särskilt i svackor på flygsandens yta nästan ända upp till dynens krön. Material av denna kornstorlek kan ej transporteras av normala vindar, möjligen av tromber. Den mest sannolika förklaringen är att kornen rullat eller transporterats med snödrift över hårdfrusen barmark under vintern. Liknande iakttagelser har gjorts vid Ullahaudynen på Avanäset, Fårö (Munthe 1936, s. 51). Den med rasvinkel stupande dynfronten i



Fig. 37. Arnagrop från NV, d.v.s. från den riktning dynen ackumulerat. Döda skogen är belägen i det skoglösa området t.v. i bilden. Foto Arne Philip 1983. Godkänd för publicering, C MKG 1983-07-22.

*The rim dune at Arnagrop, photographed in the main direction of accumulation, from the NW. The Dead forest is situated in the open area to the right in the picture.*

Arnagrop är ofullständigt bunden av strandråg och den avancerar alltjämt in mot ön. Detta visas av torrträd med kvarsittande grenar vid dess fot, vilka i sen tid dödats av den täckande sanden (fig. 39).

Det är svårt att förklara varför den största nutida flygsandsdriften på ön äger rum just vid Arnagrop. Svaget uppvisar en utpräglad asymmetri som tyder på dominerande sandtillförsel av vindar från NV, d.v.s. från området kring Säludden. En möjlig förklaring är att kustströmmar från öster för med sig sand till revet utanför Säludden, vilken av vågorna transporteras in mot stranden. Tidvis har dylik tillförsel av sand observerats vid Säluddens östra del, t.ex. sommaren 1980.

Omedelbart öster om Arnagrop blir randdynen markerat smalare och lägre, 5–10 m, på den kilometerlånga sträckan fram till Kyrkudden. Den är där ovanligt rak och likformig och en tvärprofil har därför uppmätts i detta avsnitt, ca 1500 m VNV om Kyrkuddens spets (fig. 36). Profilen



Fig. 38. Döda skogen i Arnagrop. Foto mot norr från dynkrönet i SO (Jöran Rehn 1982).  
*The Dead forest at Arnagrop. Photograph taken from the dune crest looking northwards.*



Fig. 39. Dynfronten i Arnagrop med nyligen flygsandsdränkta tallar. Foto Anders Damberg 1981.

*The advancing front of the rim dune at Arnagrop with recently killed pines.*

visar samma formelement som den SV om Fyrplatsen uppmätta, dock med något mindre dimensioner. Den inre rasbranten, som är helt bunden av vegetation, är uppbyggd mot tidigare avsatt, yttäckande flygsand. Att denna sand inom detta avsnitt (Fiskmåsheden) liksom längre västerut innanför Arnagrop ej har större mäktighet visas dels av den väl urskiljbara ursprungliga strandvallstrukturen, dels av det stora "fönster" av strandsand som utan synlig nivåskillnad utbreder sig norr om Norra Slyngdynerna.

Randdynens dimensioner ökar markant vid omböjningen till sydvästlig riktning innanför Kyrkudden och dess utformning är likartad på hela den 3 km långa sträckan längs Franska bukten. Burgen är smal, 50–100 m, och dynen når högst ca 20 m ö.h. med en yttre marknivå av ca 5 m ö.h. (strandsand) och en inre marknivå ca 10 m ö.h. (yttäckande flygsand med kustparallell vallstruktur). Dynens ytform är oregelbunden, såväl i längd- som i tvärsnitt, men i plan är den rak och större svag saknas. Till skillnad från övriga avsnitt av randdynen är dynen här anmärkningsvärt fri från vegetation, även längs rasbranten in mot skogen (fig. 7). Detta beror säkerligen på den stora tillförsel av strandsand som äger rum längs detta kustavsnitt. Spridda torrträd förekommer i dynens yttre partier. Flygsandsdränkta tallar har dock ej observerats i rasbranten, vilket visar att någon påtaglig framryckning av dynen f.n. ej äger rum. Den mesta från stranden vindtransporterade sanden torde avlagras på stranddynen, som längs Franska bukten har större dimensioner än längs de andra kustavsnitten, undantaget Bredsandsudden.

Randdynens ytformer är särskilt oregelbundna vid Tärnudden, där den pågående vinderosionen är betydande och stranddynen löper i direkt kontakt med randdynen. Ganska rikligt med torrträd förekommer i detta område och förmodligen är flertalet av dem frilagda i relativt sen tid. Randdynen fortsätter längs Vinbukten med ungefär samma ytformer som i Franska bukten. Den blir mot väster allt obetydligare och upphör ungefär där kustklinten vid Höga land börjar. Randdynen skär på denna sträcka med ca 45° vinkel de låga, kustparallella dyner som förekommer i avsnittet mellan Tärnudden och Södra Slyngdynerna. Detta förhållande utvisar att dessa dyner och den yttäckande flygsand som omger dem är äldre än randdynen. Sannolikt är de likåldriga med de ovan beskrivna Södra Slyngdynerna.

### Flygsandsdriftens ålder

Åldern hos dynerna i öns inre kan ej med säkerhet fastställas. Äldst är förmodligen den oregelbundet fördelade, yttäckande flygsand som täcker öns mellersta del söder om Höga åsen. Den avlagrades sannolikt innan ön blev skogbevuxen. Fördelningen mellan yttäckande flygsand och strand-sand inom öns centrala del, där flygsanden i huvudsak täcker området norr och väster om mittpunkten, antyder att sanden avlagras av vindar från söder och SO. Något yngre är de norra och södra Slyngdynerna samt Höga revarn, vilka bildats genom dominerande vindar från söder och SV, delvis genom omlagring av den yttäckande flygsanden. Även dessa dyners utbredning antyder att ön var ofullständigt skogbeväxt, vilket innebär att dynerna bör ha bildats tämligen kort tid efter det att området höjts ur havet.

Åldersställningen hos den yttäckande flygsanden innanför de sydöstra och nordöstra stränderna är oviss; det är endast klart belagt att den är äldre än randdynen. Den yttäckande flygsanden NO om Hamnudden är sannolikt betydligt yngre och ett resultat av den kalhugning och uppodling som under 1800-talets första hälft företogs i området. Det är osäkert i vilken utsträckning skogsbränder initierat flygsandsdrift och dynbildning i förhistorisk tid. De obetydliga effekterna av 1880 och 1917 års bränder talar emot att dylika förlopp haft större betydelse.

Höga åsen med anslutande dyner är sannolikt ett synkront utbildat dynkomplex, vars bildning pågått under lång tid. Den kan tolkas som en äldre generation av randdynen, utbildad från tiden före Kr.f. t.o.m. sen medeltid. Dynens framryckning har avtagit främst genom dess allt större dimensioner, men det kan ej uteslutas att även klimatiska faktorer inverkat. De båda äldre randdynerna innanför Bredsand är yngre än Höga åsen liksom förmodligen är fallet med den innanför den sydvästra randdynen belägna Bourgströms dyn. Dessa dyner kan förmodas vara senmedeltida.

Randdynens enhetliga morfologi och avstånd från stranden antyder att det är frågan om en i huvudsak likåldrig bildning. Den äldsta historiska källa som antyder randdynens existens är beskrivningen till 1773 års lantmäterikarta. Dynen är även antydd på denna, dock endast sträckvis och med väsentligt mindre dimensioner än i nutiden. Dynen är markerad tätt intill kustlinjen och helt fri från vegetation. Kontinuerliga informationer om randdynens aktivitet, främst i form av foton, finns sedan ungefär ett sekel tillbaka. De äldre fotografierna visar en helt vegetationsfri dynfront



Fig. 40. Avancerande flygsand vid randdynens insida söder om Fyrplatsen. Foto H. Munthe 1923.

*Accumulation of windblown sand at the proximal slope of the rim dune south of the lighthouse station at Bredsand in 1923.*

avancerande mot den inre slätten. De äldre observationerna är koncentrerade till avsnittet kring Fyrplatsen, där randdynen vid slutet av förra seklet hotade att översända bebyggelsen. Randdynen bands där genom skyddsplantering av bergtall vid sekelskiftet samtidigt som stranddynen ute på Bredsand skyddsplanterades (Sylvan 1907). Den några meter höga och ca 500 m långa dynen omedelbart utanför randdynen och innanför burgvägen på Bredsand är sannolikt i sin helhet bildad efter dessa skyddsplanteringar och förmodligen är dess lokalisering betingad av en strandvall.

De övriga avsnitten av randdynen var aktiva ännu i början av 1920-talet. Fig. 40 är tagen vid Munthes kartläggning år 1923 och bör jämföras med fig. 41 från år 1980 inom samma avsnitt av ön. Munthe (1924, s. 40) uppger randdynens framryckning mot öns inre på en lokal drygt 3 km söder om Fyrplatsen under perioden 1896–1923 till 55 m, d.v.s. ca 2 m/år. Randdynen och burgområdet är helt skogslösa på flygbilderna från 1933–34. En begynnande markvegetation inom dessa terrängavschnitt kan iaktas på de talrika foton som redovisas av Arwidsson (1938). Särskilt tydligt framgår detta av fig. 12, tavla 3, som visar tillväxt av mossor och



Fig. 41. Randdynens lavbevuxna front öster om Fyrplatsen. Foto H. Agrell 1980.

*The vegetation-covered front of the rim dune east of the lighthouse station at Bredsand in 1980.*

lavar längs randdynens front mot öns inre. Enligt Pettersson (1965, s. 108) började randdynen under 1930-talet att bindas av markvegetation liksom av tallskog, som även tillväxte på burgområdet utanför dynen. Den låga tallskogen på burgområdet har sedan dess varit i kontinuerlig tillväxt. På fotografier och flygbilder är detta främst dokumenterat från Bredsand (fig. 30) och Arnagrop (fig. 2).

Det är således klart belagt att randdynens aktivitet i stort sett upphörde för ca 50 år sedan som ett resultat av naturliga förändringar (fuktigare klimatförhållanden). Fårbetets upphörande på ön vid sekelskiftet kan förmodligen endast tillmätas marginell betydelse för ett förlopp av denna storleksordning. En utveckling mot fuktigare klimatförhållanden bekräftas av den tillväxt som ägt rum av vitmosstuvorna norr om Schipkasset sedan de uppmättes av R. Sernander 1894 (ref. i Arwidsson 1938, s. 31). Endast vid Fyrplatsen har randdynen bundits genom mänskliga ingrepp. Att dynen alltjämt till viss del är aktiv i Arnagrop och längs Franska bukten torde bero på att tillförseln av strandsand är särskilt riklig här. Förmodligen skulle randdynen av denna orsak i nutiden också ha varit

aktiv vid Bredsand om skyddsplanteringar ej utförts.

Tiden för randdynens uppkomst kan ej klarläggas genom historiska uppgifter från ön. Den existerade, som tidigare nämnts, åtminstone delvis på 1770-talet. Den medeltida boplatsen innanför Säludden har varit täckt av flygsand, vilket visar att randdynen är yngre än denna (Munthe 1924, s. 42). Den klimatförsämring som inträffade under den sekellånga perioden ca 1650–1750 har givit upphov till bildning av flygsandsdyner i andra kustnära områden. Den mäktiga Ullahaudynen på Fårö anlades enligt historiska källor vid 1700-talets mitt (Munthe 1936, s. 58–60). Gotska Sandöns utsatta läge bör ha inneburit en förstärkt effekt även av obetydliga klimatvariationer. Å andra sidan kan man under denna tid helt bortse från de kulturingrepp i landskapet i form av kalhuggning och uppodling som i flera andra kustnära områden initierat flygsandsdrift.

Avståndet från burgområdets yttre till randdynens inre begränsning uppgår längs den norra stranden till högst 600 m, längs den västra till 400–500 m och längs den sydöstra stranden till högst 300 m. Om det av Munthe observerade värdet 2 m/år extrapoleras bakåt från tiden omkring 1930 skulle detta innebära att randdynen började bildas 300–150 år tidigare eller från 1600-talets första till 1700-talets senare hälft. Hastigheten 2 m/år synes utgöra ett maximivärde och eventuella perioder av stagnation skulle innebära en högre ålder för randdynens uppkomst. Denna datering är därför endast approximativ.

En exakt datering av randdynens ålder och vandringshastighet föreföll vara möjlig genom den relativt rikliga förekomsten av flygsandsdränkta tallstammar som genom randdynens framryckning blottats inom dess yttre del och det där utanför belägna burgområdet. Dylig "död skog" var enligt foton från seklets början (fig. 42) vanlig runt hela ön, men nu påträffas torrträd endast sporadiskt, undantaget Bendalen i Arnagrop (fig. 38). Orsaken till detta förhållande är delvis kulturingrepp. Torrträden har i stor omfattning tillvaratagits som bränsle. Det är också sannolikt att de förmultnat hastigare under den senaste, fuktigare, 50-årsperioden. "Döda skogen" i Arnagrop har enligt foton från 1950-talets slut tunnats ut betydligt utan att någon avverkning ägt rum där under perioden. Dessutom har några nya torrträd ej blottats eftersom randdynens framryckning i stort sett har upphört.

Fem prover från torrträd i Arnagrop, tre tagna längs en 200 m lång sträcka vinkelrätt mot stranden och ytterligare två från den mellersta provplatsen, har analyserats med kol 14-metoden. Samtliga prover har dock



Fig. 42. Död skog längs utsidan av randdynen i Franska bukten. Foto H. Munthe 1923.  
*Dead pines at the rim dune in the SE in 1923.*

en ålder yngre än metodens räckvidd framåt i tiden, <250 år. En dendrokronologisk undersökning utfördes därför i Arnagrop av Lars Löfstrand, Uppsala universitet. De resultat och tolkningar som redovisas här är ett sammandrag av Löfstrands rapport.

Totalt togs borrprover av 16 torrträd, belägna inom ett avstånd av 200 m till 70 m från krönet av dynen vid Bendalen. Serierna av årsringar kunde samtliga korreleras inbördes (fig. 43), vilket visade att träden i genomsnitt nått en ålder av ca 100 år och blev allt yngre närmare dynkrönet. Trädens verkliga ålder torde i flertalet fall ha varit högre, då stammarnas yttersta partier i växlande omfattning nöts bort av flygsanden. Borrprover togs även från levande tallar i skogen innanför dynen, utvisande att de äldsta av dessa uppnådde en ålder av närmare 200 år. 4-5 brandhorisonter kunde identifieras i de större träden.

Det visade sig icke vara möjligt att med säkerhet konnektera årsringsdiagrammen från torrträden med dem från den levande skogen. Båda serierna kunde dock inpassas i en referenskurva från ett närbeläget område på fastlandet, Norra Kvills nationalpark NV om Vimmerby i nordöstra Småland, där de äldsta tallarna har en ålder av mer än 300 år. Det

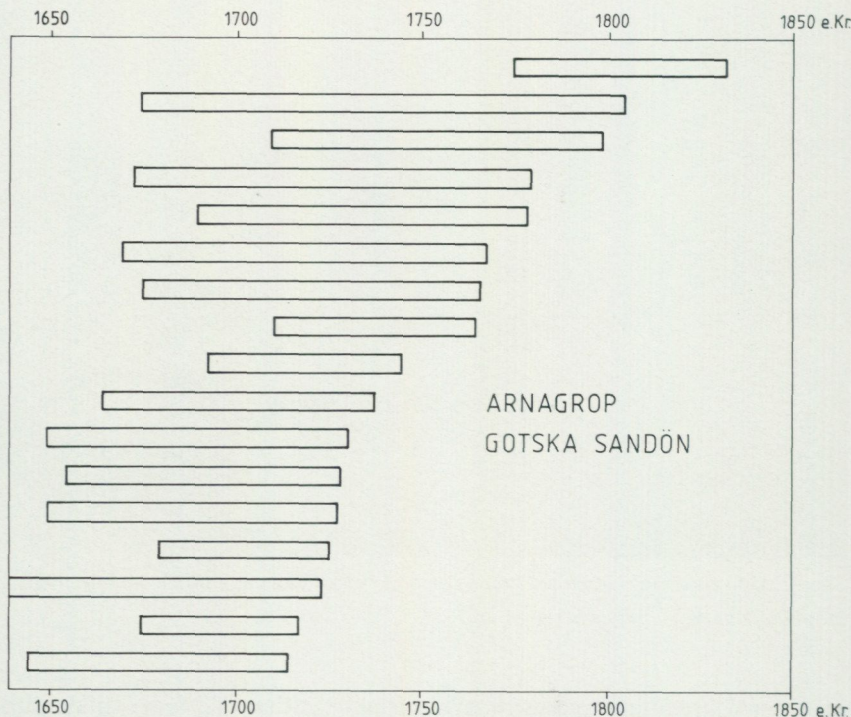


Fig. 43. Den inbördes åldersställningen hos de uppmätta årsringserierna från de flygsandsdränkta torrträden i Bendalen, Arnagrop, jfr fig. 44.

*The correlation of the dendrochronological diagrams from the pines drowned by windblown sand at Bendalen, Arnagrop, cf. fig. 44.*

framgick då att de senast registrerade årsringarna i torrträden föll inom intervallet mellan år 1715 200 m från dynkrönet och år 1805 100 m från krönet (fig. 44). Som nämnts ovan bör årtalen med hänsyn till de bortorderade årsringarna möjligen förskjutas något framåt i tiden. Klart är dock att "Döda skogen" i Arnagrop under 1700-talet successivt dränkts av flygsand som avancerat in mot ön med en genomsnittlig hastighet av ca 1 m/år.

Torrträd av yngre ålder är alltjämt dolda under dynen, medan de närmare stranden belägna torrträden är så förstörda av deflation och förmultning att endast kärnan återstår. Avståndet från den yngsta provpunkten till den nutida dynfronten visar att framryckningen fortskridit med samma hastighet eller något långsammare fram till nutid. Dock torde framryckningshastigheten ha varit obetydlig under de senaste decennierna. En mycket hög

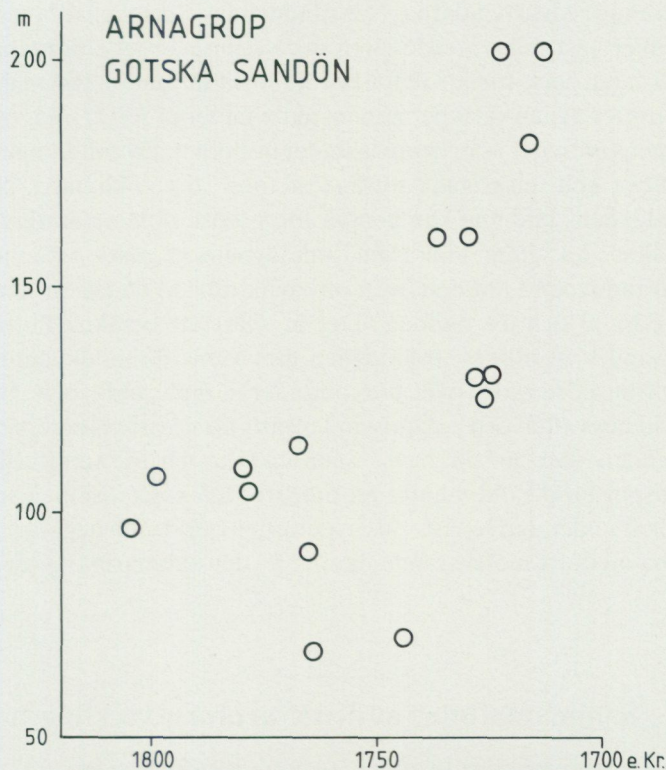


Fig. 44. Approximativa dödsår för flygsandsdränkta torrträd i Bendalen, Arnagrop. Längdskalan visar avståndet till dynkrönet. De yngsta träden påträffades närmast detta.

*Approximate time of death for the pines drowned by windblown sand at Bendalen, Arnagrop. The length scale shows the distance to the dune crest, closest to which the youngest trees are situated.*

hastighet kring sekelskiftet indikeras av en vid kartläggningsarbetet upptäckt, delvis översandad och därefter skogbevuxen träruin, förmodligen en skogshuggarbarack, belägen på dynen rakt söder om Säludden.

Om samma hastighet som på 1700-talet uppnåddes även tidigare innebär detta ca 100 år för distansen från stranden till den yttersta provpunkten, eller att randdynen vid Arnagrop började bildas under tidigt 1600-tal. Att framryckningen på denna lokal är långsammare än den av Munthe registrerade längs västra stranden kan bero på den större tillgången på sand inom detta terrängavschnitt samt på mindre exponering för de

dominerande sydvästvindarna. När randdynens äldsta delar började bildas kan ej säkert fastställas med ledning av de utförda observationerna. Sannolika skäl talar dock för att detta bör ha inträffat under 1600-talets första hälft, varefter dynen varit permanent aktiv under ca 300 år. Några variationer i dynens aktivitet är ej belagda under perioden. Dynbildningens början och slut bör helt tillskrivas naturliga faktorer, d.v.s. klimatvariationer.

Stranddynens bildning kan genom fotografisk dokumentation i huvudsak beräknas ha sammanfallit med randdynens stagnation. Sannolikt tillväxer stranddynen i nutiden även om dylik tillväxt endast är klart belagd från Bredsand och Tärnudden. Det är svårt att beräkna huruvida den mängd sand som tillförs stranddynen motsvarar de sandkvantiteter som tidigare transporterades över burgområdet in mot randdynen. Då stranddynen vid högvatten och pålandsvind utsätts för erosionsangrepp transporteras sanden åter ut till havs. Sannolikt är därför nettotillskottet av vindtransporterad sand mindre än tidigare. Då kusterosionen snarast synes ha ökat under den senaste 50-årsperioden bör denna negativa materialbalans ha medfört motsvarande ökning av den submarina sandackumuleringen.

### **Sammanfattning av den kvartära utvecklingen**

Den ca 90 meter mäktiga kvartära lagerföljden (flygsanden oräknad) vilar på ojämnheter (revstrukturer) i kalkstensberggrunden. Överytan av denna bildar en nord-sydlig rygg. Lagerföljden upp till strax under havsytans nivå uppbyggs av växlande lager av morän, isälvs sediment och glacial leira. Lagren har i huvudsak avsatts vid glaciations- och deglaciationsfaser av ovisst ålder före den sista isreträten från området. Sandö bank och Kopparstenarna söder respektive norr om ön torde utgöra analoga bildningar.

Den senaste huvudisrörelsen över ön var riktad från NNO, indikerad genom submarina ryggstrukturer i moränen, som runt öns stränder når upp ungefär till havsytans nivå. Från deglaciationsfasen finns indikationer på en isrörelse även från NNV i havsområdet NV om ön samt inom öns nordvästra del, där tunn morän täcker sediment huvudsakligen bestående av sand och grovmo. På blocket Vassesten finns isräfflor med denna huvudriktning. Grovt (stenigt) material kring blocket Elefanten inom öns nordvästra del kan utgöra en isälvsavlagring. Isälvs materialet har förmod-

ligen avsatts i gränzonen mellan islober från NNO och NNV. Den sistnämnda har sannolikt varit aktiv under deglaciationen. De glaciala avlagringarnas mäktighet på ön indikerar ett uppehåll i isrecessionen av ovisst ålder, sannolikt under äldre dryastid omkring 9000 f.Kr.

Glaciala finkorniga sediment har mycket obetydlig utbredning på ön. De torde ursprungligen ha varit av ringa mäktighet och i huvudsak ha borteroderats under landhöjningsförloppet. Den bankskiktade, steniga-grusiga sanden i de södra kustklintarna är i sin helhet avsatt genom strandprocesser, att döma av lagerstupningarna genom transport norrifrån. Fynd av skal tidfäster lagerföljdens undre del till ancylustid, vilket innebär att materialet bör ha avsatts på stort vattendjup. Detta bildningssätt stöds av de stratigrafiska observationerna i kustklintarna.

De övre delarna av strandsanden, som är stenig, grusig och ofullständigt sorterad, bildar en strandvallsslätt som täcker huvuddelen av ön med en högsta nivå i söder av drygt 20 m ö.h. Strandvallarna har utbildats kustparallellt på ringa vattendjup under ett tämligen långsamt landhöjningsförlopp. De har bildats dels genom omlagring av morän, isälvmaterial och tidigare submarint avsatt sand, dels genom materialtransport från söder och SV samtidigt med erosion av den tidigare avsatta submarina ackumulationen. De i söder avskurna strandvallarnas riktning visar att denna ackumulation med ungefär nuvarande mäktighet bör ha sträckt sig längre söderut.

Strandvallsslätten bör ha utbildats under årtusendena närmast före Kr.f. Stagnationer, som är belagda genom förekomst av klappervallar mellan 5 m och 9 m ö.h., kan genom fornlämningarnas nivå dateras till bronsålderns senare del. Efter Kr.f. torde landhöjningen i stort sett ha fortgått konstant med nuvarande hastighet, ca 0.25 m/sekul.

Den nutida kustlinjen är föremål för betydande erosion längs klintkusten i söder och SV. Vid Hamnudden har kustlinjen under de senaste decennierna retirerat med över 1 m/år. Kustlinjen har under det senaste seklet retirerat även vid Tärnudden i SO. Bredsandsudden och Kyrkudden har tillväxt något under detta sekel liksom den sydöstra flackkusten i Franska bukten. Längs övriga flackkuster, i norr och NV, råder i stort sett materialbalans.

Merparten av den från ön bortförda sanden har ackumulerat submarint, på Nordvästrevet utanför Bredsandsudden samt i området utanför Kyrkudden och Franska bukten i öster. Till dessa områden har sanden förts med kustparallella strömmar från öns sydvästra del. I ett kort geolo-

giskt tidsperspektiv minskar öns areal då kusterosionen är större än tillandningen. Landhöjningsförloppet kommer förmodligen att på längre sikt delvis kompensera detta förhållande.

Flygsandsackumulationerna har väsentligen sitt ursprung i från öns södra del borteroderad sand som avlagrats i strandzonen och med vindar från olika riktningar transporterats vidare in mot ön. Ackumulationen av den yttäckande flygsanden i öns inre är i huvudsak styrd av den kustparallella vallstrukturen. Flygsandsdriften bör ha startat omedelbart efter det att öns högsta partier höjde sig ur havet och de oregelbundet fördelade flygsandskullarna inom öns högsta delar torde ha bildats innan ön blev vegetationstäckt.

Bildningen av de mäktiga och vidsträckta dynkomplexen i öns inre kan ej säkert tidfästas. Dynerna i öns östra del har avlagrats longitudinellt och transversellt av vindar från SV innan ön täcktes av sammanhängande skog. Skogsbränder har sannolikt ej haft någon avgörande inverkan på dynbildningen. Det största dynkomplexet, Höga åsen, är bildat av vindar från norr och NV. Höga åsen har vandrat från den norra kusten och av distansen att döma börjat anläggas före Kr.f. Dynen kan beräknas ha stagnerat under sen medeltid genom en samverkan av klimatfaktorer och dess successivt ökande dimensioner, upp till en höjd över omgivningen av ca 25 m.

Randdynen är uppbyggd av från kusterna riktade vindar under de senaste århundradena. Den var aktiv fram till 1930-talet då framryckningen avstannade genom naturlig vegetationstäckning. Dendrokronologisk datering av flygsandsdränkta träd i Arnagrop visar att dynen under 1700-talet avancerade med en hastighet av ca 1 m/år. En maximihastighet av ca 2 m/år är belagd från början av detta sekel. Vandringshastigheten i relation till dynens avstånd från stranden innebär att den sannolikt börjat anläggas under tidigt 1600-tal.

Flygsandsdriftens upphörande är klimatiskt betingat, vilket indikeras bl.a. genom nutida tillväxt av vitmosstuvor vid Schipkapasset. I Arnagrop samt delvis innanför Franska bukten är dynen ännu svagt aktiv beroende på stor tillförsel av sand. Vid Bredsand och Fyrplatsen har randdynen och de här utanför belägna stranddynerna skyddsplanterats kring sekelskiftet. Om dessa ingrepp ej utförts skulle randdynen sannolikt ha varit delvis aktiv i nutiden även inom dessa avsnitt.

Stranddynen härrör väsentligen från detta sekel och har börjat utbildas i samband med randdynens stagnation. Den minskade transporten av flygsand in mot ön bör under det senaste halvseket ha inneburit en motsvarande ökning av den submarina sandackumulationen.

Tabeller

TABELL 1. Kornstorleksanalyser

Prov nr	Analys nr	Lokal	Jordart	Djup u. my. (m)
1	22187	Borrning 2000 m S Bredsandsudden (Hertas svåg)	grovmoig sand	12.00-12.30
2	22186	"-"	"-"	10.20-10.30
3	22185	"-"	"-"	10.00-10.10
4	22184	"-"	"-"	6.00-6.30
5	22183	lerig sandig moig morän	4.00-4.30	
6	22189	Borrning vid St. Beckrevet, 50 m S uddens norra spets	svallat ytskikt av morän	2.25-2.40
7	22188	"-"	"-"	2.05-2.25
8	20169	Borrning vid Skogsudden, 800 m O S:t Anna	lerig moig morän	2.5
9	20168	Borrning vid Säludden, 50 m SV uddens norra spets	grovmoig finmo	2.0
10	22195	Kustklinten 900 m N Hamnudden	grovmoig grusig sand	ca 4
11	20152	Kustklinten 85 m N fyrruinen, Hamnudden	grovmoig mellansand	ca 2
12	20151	"-"	"-"	ca 2
13	22196	Kustklinten vid Skogsudden, 700 m O S:t Anna	grovmoig sand	ca 3
14	19177	Kustklinten 200 m O Skogsudden, 900 m O S:t Anna	grovmoig mellansand	ca 12
15	22192	Borrning i Kapellänget, 80 m S kapellet	finmoig mellansandig grovmo	11.60
16	22191	"-"	"-"	5.15-5.40
17	22190	"-"	"-"	5.05-5.15
18	20154	75 m NV stigkorset vid p. 17,06/17,57 (f.d. Rakethuset)	grusig mellansandig grovmo	2.50-2.60
19	20155	"-"	"-"	1.50
20	21045	1500 m SSV stigkorset vid p. 17,06/17,57 vid f.d. järnvägen	grusig grovmoig sand	0.5
21	19178	Fyrplatsen, 50 m S vattentäkten	grovmoig mellansand	0.5
22	21048	Vid vägen mot Arnagrop 1200 m OSO Gumskullen	grusig sand	0.5
23	21050	St. Beckrevet, 50 m S uddens norra spets	mellansand	0.5
24	22197	Stranden 600 m V bätthuset (p. 2,49)	grovmoig mellansand	0.0
25	22198	Stranden 150 m V om p. 2,49	fingrusig grovsand	0.0
26	21046	P. 40,33 O Schikapasset	grovmoig mellansand	0.5
27	19179	Höga åsen 850 m V p. 16,0 vid vägen mot Hamnudden	0.5	
28	20153	V invid randdynen, 200 m N p. 3,43 (Tärnudden)	mellansand	0.5
29	21051	Randdynen 700 m VSV St. Beckrevet, invid vägen	ca 3	
30	21049	Stranddynen 600 m V St. Beckrevet	sand	0.5

## Viktprocent

Grov-grus	Fin-grus	Grov-sand	Mellan-sand	Grov-mo	Fin-mo	Grov-mjåla	Fin-mjåla	Ler	% CaCO <sub>3</sub>	Bergarts-beståmn.	Ann.
1	+	8	71	20	1	-	-	-	2.3	-	Submorånt sediment
1	2	3	8	39	31	13	2	1	4.1	-	-"
-	-	2	54	42	2	-	-	-	3.1	-	-"
-	-	12	+	65	31	2	1	1	2.5	-	-"
9	7	12	20	25	12	4	5	6	25.2	11	Morån
28	16	12	19	10	6	4	1	4	24.5	3;12	-"
21	18	17	20	11	5	4	1	3	13.4	3;13	-"
+	3	8	9	36	27	5	4	8		14	-"
-	-	2	1	44	44	5	-	4		-	Glacial finmo
12	9	17	51	11	+	-	-	-		15	Strandsand
1	2	8	61	28	-	-	-	-		-	-"
17	7	19	50	7	-	-	-	-		5;9;16	-"
+	2	16	52	30	-	-	-	-		17	-"
1	1	9	75	14	-	-	-	-		-	-"
-	-	+	22	69	9	-	-	-	1.7	18	-"
-	1	10	43	38	8	-	-	-	2.2	19	-"
+	1	3	18	63	15	-	-	-	1.5	-	-"
7	5	2	24	62	+	-	-	-		-	-"
18	15	21	37	9	+	-	-	-		10;20	-"
3	5	20	60	12	+	-	-	-		21	-"
1	+	4	76	19	+	-	-	-		-	-"
16	11	36	30	7	-	-	-	-		6;22;23	-" (Sten ca 10%)
3	+	6	84	7	-	-	-	-		-	-"
-	-	+	64	36	-	-	-	-		-	-"(recent)
-	42	58	+	-	-	-	-	-		1;24	-"(recent)
-	-	1	77	22	-	-	-	-		-	Flygsand
-	+	2	83	15	-	-	-	-		-	-"
-	-	3	94	3	-	-	-	-		-	-"
-	-	4	88	8	-	-	-	-		-	-"
-	-	37	62	1	-	-	-	-		-	-"(recent)

TABELL 2. Bergartsfördelning i olika fraktioner.

Nr	Prov	Lokal
1	25	Vikarstenarna, 300-650 m V om båthuset (p. 2,49)
2	9	Säludden; samtliga block
3	6, 7	St. Beckrevet, östra sidan
4	-	Kyrkudden, södra sidan
5	12	Kustklinten 60-90 m N om fyrruinen, Hamnudden 0-1 m u. my.
6	22	Vid vägen mot Arnagrop 1200 m OSO Gumskullen, 0.5-1 m u. my
7	14	Kustklinten 200 m O Skogsudden, 900 m O S:t Anna, ca 12 m u. my.
8	-	Hamnudden, vid klinten SO om fyrruinen, 0.5 m u. my.
9	11, 12	Kustklinten 85 m N fyrruinen, Hamnudden, ca 2 m u. my.
10	19	75 m NV stigkorset vid p. 17,06/17,57 (f.d. Rakethuset), 1-2 m u. my.
11	5	Borrning vid Hertas svag; stranden 2000 m S Bredsandsudden, 4-4.3 m u. my.
12	6	Borrning vid St. Beckrevet, 50 m S uddens norra spets, 2.25-2.40 m u. my.
13	7	D:o, 2.05-2.25 m u. my.
14	8	Borrning vid Skogsudden, 800 m O S:t Anna, 2.5 m u. my.
15	10	Kustklinten 900 m N Hamnudden, ca 4 m u. my.
16	12	Kustklinten 85 m N fyrruinen, Hamnudden, ca 2 m u. my.
17	13	Kustklinten vid Skogsudden, 700 m O S:t Anna, ca 3 m u. my.
18	15	Borrning i Kapellänget, 80 m S kapellet, 11.6-12 m u. my.
19	16	D:o, 5.15-5-40 m u. my.
20	19	75 m NV stigkorset vid p. 17,06/17,57, (f.d. Rakethuset) 1.5 m u. my.
21	20	1500 m SSV stigkorset p. 17,06/17,57, vid f. d. järnvägen, 0.5 m u. my.
22	22	Vid vägen mot Arnagrop 1200 m OSO Gumskullen, 0.5 m u. my.
23	22	D:o
24	25	Stranden 150 m V om båthuset (p. 2,49), i markytan

Fraktion	Urberg %	Porfyr %	Diabas %	Jotn. sst %	Kambr. sst %	Kalksten %
>60 cm	85	-	1	13	1	-
-"-	94	-	1	2.5	-	2.5
20-60 cm	92	2	-	4	1	1
-"-	83	1	1	6	1	8
-"-	88.5	1	0.5	5	1	4
20-60 mm	42	1.5	1.5	6	3.5	45.5
-"-	32	2.5	-	4	4	57.5
-"-	46.5	1	5.5	6.5	3.5	37
-"-	37	0.5	0.5	2.5	4.5	55
-"-	57.5	3	-	7	2	30.5
2-6 mm	68	x	x	3	2	27
-"-	73	x	x	5	1	21
-"-	82	x	x	2	1	15
-"-	49	x	x	2	1	48
-"-	60	x	x	2	1	37
-"-	63	x	x	1	1	35
-"-	64	x	x	1	2	33
-"-	79	x	x	14	2	5
-"-	89	x	x	3	2	6
-"-	82	x	x	1	1	16
-"-	97	x	x	1	2	-
-"-	83	x	x	3	1	13
6-20 mm	65	x	x	3	3	29
2-6 mm	95	x	x	1	1	3

x = ingår i summan för urberget

## SUMMARY

*General introduction.* The island of Gotska Sandön, with an area of c. 36 km<sup>2</sup> and a maximal height of c. 40 m above sea level is situated c. 80 km ESE of the Swedish mainland and c. 40 km north of the island of Gotland, thus forming the most isolated island in the Baltic. The island is entirely built up by Quaternary deposits, forming a part of a submarine ridge reaching c. 70 km northwards from Gotland. The deposits rest on Ordovician limestone which at the southwestern shore of the island is situated c. 70 m below sea level. The till reaches to the sea level around the shores of the island forming boulder accumulations, and below the uppermost till thick sequences of sub-till sediments occur.

The till is superimposed by gravelly – stony beach sand, forming cliffs in the south and southwest. In the main part of the island, the beach sand forms a beach-ridge plain reaching from c. 20 m above sea level down almost to the present sea level. The beach sand is superimposed by windblown sand, forming vast hummocky areas and large fossil dunes in the pine-covered interior of the island. The inland forest is around most of the island surrounded by the distinct "rim dune", which since about half a century is covered by vegetation. The area outside the rim dune is a stony deflation surface, the "burg" area, which is separated from the recent flat beach by a small and still active beach dune.

Since the island is mainly built up by permeable soils which store the precipitation, it has large resources of groundwater. The island is a very instructive example of a fresh water aquifer surrounded by the brackish water in the Baltic Sea. Thus, since 1982 it is a station in the National groundwater network of the Geological Survey of Sweden. The almost total lack of open surface water and the dry climate exclude the formation of organic sediments. A few hummocks of Sphagnum peat moss were found at one locality. They are recently formed, since they overgrow fallen pine stumps.

The island, which has been a lighthouse station since 1859, is a part of the parish of Fårö in the province of Gotland. A limited area in the northwest was made a National park in 1910 and since 1963 the whole island has this status. The island is administrated by the Swedish national environmental protection board (Statens naturvårdsverk). Gotska Sandön is included in the military restriction area of northern Gotland. Thus, visiting the island needs special permission for foreign citizens.

The oldest detailed map of the island is a land survey map at a scale of c. 1:16 000 from 1773 but the first official map, at a scale of 1:100 000, was not issued until 1888. The first geological map, at a scale of 1:50 000, was made by Henrik Munthe in 1924. The island has been aerially photographed several times from 1933 to 1980, latest as coloured photographs at a scale of 1:20 000. The most recent official map, the economic map at a scale of 1:10 000, was issued in 1978 and used as a base map for the field work. The topographic map from 1977 at a scale of 1:50 000 has yielded the non-geological information on the map of Quaternary deposits.

*Field work.* The mapping at a scale of 1:10 000 was preceded by interpretation of aerial photographs. It is difficult to establish exact limits between areas of beach

sand and windblown sand and thus the distribution pattern of these deposits is generalized, especially in the central part of the island. Drillings were made with various equipment at nine localities down to a maximal depth of 14 m. It was not possible to reach down to the bedrock with the equipment used and thus the 1957 drilling at Hamnudden still is the only one penetrating the whole sequence of Quaternary deposits. The main aim of the drillings was to establish the till surface and at two localities tubes for observation of the groundwater level were placed.

The drillings included sampling for analyses of grain-size distribution and bedrock content, which also was made at 0.5 m depth and in the coastal cliffs, where special attention was paid to the stratigraphy. The bedrock content in the boulder accumulations was investigated. The recent activity of the coastline and of the dunes was studied in the field and compared with the previous documentation.

*Bedrock.* The bedrock below the island forms a flat limestone ridge of upper Ordovician age. Coral reefs appear as obstacles in the surface, probably favouring the accumulation of Quaternary deposits. The limestone surface ends with a cliff west and north of the island, outside which vast areas covered with reddish Jotnian sandstone, Jotnian dolerite and Sub-jotnian porphyry occur. The main part of the boulder material consists of Precambrian granites and gneisses. Red granite of the "rapakivi" type from the Åland islands and veined gneiss from eastern central Sweden are most easily identified. The rock types as a rule have a rather homogeneous distribution on the island and thus they form no useful indications of different ice movements.

*Glacial deposits.* The drilling at Hamnudden shows at least two till beds (fig. 14), the uppermost c. 25 m below the surface, situated c. 2 m above sea level. The lower till rests on 2.5 m of glacial clay around 65 m below the surface. Sub-till sediments, mainly sandy, occur below a metre-thick till c. 4 m below sea level at the drilling point Hertas svag along the western shore (fig. 16). When digging a well at the lighthouse station (Fyrplatsen) in the northwest c. 10.5 m above sea level, the till was found approximately at the sea level. Till situated at the sea level was also identified by drilling at St. Beckrevet in the north, Kyrkudden in the east and Skogsudden (Höga land) in the south. No till has been found at the drillings made in the interior of the island, but the high groundwater level indicates that the till here reaches several metres above sea level.

The till outcrops along the shores are associated with boulder accumulations. Such accumulations also occur where the till was not reached by drilling, along the northern shore, for example, at Säludden (figs. 17 and 18). Boulders are seldom found in the interior of the island. The large boulder at St. Idemoren in the northwest rests on a coarse, stony material, probably a glaciofluvial deposit. The till, which is a rather normal sandy till with a small clay content (fig. 19), forms ridges directed from the NNE along the northern shore. The till in the northwestern part of the island seems to have been deposited from the NNW, indicated by glacial striae directed from N 30°W found on a large erratic boulder. Till ridges branching in both these directions occur on the seabed north of the island. Southwards, these ridge systems were not found and the till ridge Sandö bank

south of the island has a straight north-south direction.

It is difficult to reconstruct the deglaciation pattern in the central part of the Baltic. The ridge system between Gotland and Kopparstenarna was to a large part built up during earlier glaciation stages. The last ice stream in the central part of the Baltic basin diverged into two lobes receding towards the NNE and NNW, the separation probably taking place in the area of Gotska Sandön. The recession of these ice lobes was probably synchronous, but the size of the glacial accumulation of Gotska Sandön indicates a stagnation or a readvance in the ice recession. Such a process might be connected with the ice-margin deposits in southeastern Sweden and in western Estonia dating from the Older Dryas stadial around 11 000 years BP.

*Glacial fine-grained sediments.* Glacial clay has a vast distribution on the seabed around the island, but on the island it has only been found as a thin cover above the till in a limited area along the western shore, too small to be marked on the map. Glacial silt, probably an outcrop of sub-till sediments, reaches a thickness of at least three metres at Säludden on the northern shore. As mentioned above, glacial clay forms parts of the sub-till sediments. Most of the rather thin glacial clay deposited above the till on the island was probably abraded during the uplift of the land. This is indicated by the widely distributed post-glacial fine-grained sediments on the seabed around the island.

*Beach sand and coastal development.* The kilometer-long and some metres high outcrops in the coastal cliffs in the south and southwest show a well-banked sand with stone horizons, the dip of the banks being continuous over long distances (fig. 20). In the southwest the dip is steeper than in the south, directed SW and SE respectively. Thus, the source of the material was located north of the cliffs, probably forming a core of glaciofluvial deposits. The sand in the coastal cliffs, which reach a height exceeding 15 m, is entirely of littoral origin which is indicated by shells found in the basal parts of the sections (fig. 21). These shells date the oldest deposits to the *Ancylus* stage of the Baltic, around 9000 years BP. At this stage, the island was still entirely submerged and the deposits were formed by streams from the north at a rather large water depth.

The main part of the island was built up as a system of beach ridges, forming a network parallel to the shores and linked to the northern spits on successively lower levels (fig. 2). The highest areas of beach sand reach slightly above 20 m above sea level. The material is a gravelly sand with about 10 % fine stone, probably mainly redeposited from the material exposed in the coastal cliffs. The lack of accumulated cobbles in the surface indicates that the ridges were formed as submarine bars. Fossil cobble walls were only found at some sites along the shores, between 9 m and 2 m above sea level (figs. 23 and 24). The transport direction of the material was mainly from the south, where the beach ridges reach the cliff coast and its continuation eastwards at angles between 90° and 45°. The direction of these ridges reveals that the original island was shaped like a triangle, before the start of the coastal retreat probably reaching some kilometres southwards (figs. 25 and 26).

It is difficult to establish the shorelevel displacement on the island since no organic material was found in the beach deposits. Extrapolation of the fossil beach levels on the island of Gotland indicates that the island was still covered by the sea at the first Litorina transgression c. 5000 years BC. Archaeological objects on the island show that the sea level was situated less than 14 m above the present sea level in late Stone age (c. 2000 years BC) and below 10 m above sea level in the Bronze age around 1000 years later. Since about A.D.0 the uplift of the land might have been of the same rate as in Recent time, c. 0.25 m per 100 years. This slow uplift of the land is indicated by the fact that the early Medieval (1100–1200 AD) buildings remains at Säludden are situated only a few metres above sea level.

The recent coastline retreats and advances in various parts around the island. The long-periodic retreat of the coastal cliffs in the south and southwest is shown by their lack of vegetation (fig. 5). A continuous recent cobble beach covers the whole southwestern shore of the island (figs. 6, 29 and 32). The coastal retreat is most obvious at Hamnudden in the southwest, where it has reached several tens of metres during the last 50 years. The lighthouse built in 1913 was undermined by the sea and collapsed in 1983 (fig. 28 a–c). The tube left from the 1957 drilling is now situated out in the sea as a result of the coastal retreat (fig. 27 a, b). The southeastern bend of the shoreline, at Tärnudden, was eroded several tens of metres during the last century, which is obvious from the position of the ruined basement of the 1883 lighthouse (fig. 31).

The dominating wind and wave action from the southwest has generated coastal streams northwards and eastwards from the eroded areas. Sand deposition at Bredsand in the northwest has increased the size of this spit during the last 50 years (fig. 30 a, b), but the flat shore is subject also to short-time variations. Most of the sand accumulates on the northwestern reef outside Bredsand, where a till ridge blocks the sand transport from the south. The southeastern shore at Franska bukten (fig. 3) grows in Recent time and large masses of sand accumulate on the seabed also in this area. The till ridge running NNE from Kyrkudden probably blocks the sand transport northwards in the same way as at Bredsand. The northern shore seems to be rather in balance which is obvious also from old maps. The main part of the sand removed from the island accumulates on the seabed and thus the land area will decrease in the nearest centuries.

*Windblown sand.* Windblown sand covers about half the area of the island. In the inland forest it appears as a rather smooth cover, forming irregular hummocks in the central part of the island. In the eastern part, the sand accumulation has been governed by the beach ridges parallel to the coast (fig. 33). Large inland dunes occur in this part of the island. The straight dunes in the south and the northwards lobated dunes in the north were probably synchronously formed by winds from the south and southwest, as longitudinal and transversal dunes respectively. The high (20 m) dune hummock Höga revarn WSW of Kyrkudden has moved to its present position from the SW.

These dunes, as well as the flat sand cover, must have been formed a rather short time after the uplift of the land, when the island still was not completely covered with vegetation. They have probably not been active in Recent or Sub-

recent time since the regularly occurring fires (the latest ones in 1880 and 1917) have only caused local areas of erosion. The largest inland dune, Höga åsen (the High ridge) crosses the northern part of the island, reaching 35–40 m above sea level with a maximal thickness of c. 30 m. It is divided into steep lobes towards the south and east, indicating the formation as a free wandering dune from the NW (fig. 34). This dune was probably active during a very long period, but it has now been stationary for several hundreds of years.

The inland forest is surrounded by a rim dune (Randdynen), reaching a relative height between 10 m and 20 m and divided into lobes which have advanced from the coast (fig. 30). This dune is continuous around almost the whole island, except for the southern cliff coast. The dune was active and free from vegetation until the 1930s (fig. 40), in some areas advancing inland with a speed of 2 m/year. At the lighthouse station in the northwest, the advance of the rim dune was stopped by pine plantation at the beginning of this century. On the rest of the island, the halt of advance has been quite natural and the dune is now fossil, covered by a pine forest with shrubs, lichens and mosses (fig. 41). Only at Arnagrop in the northeast and at some areas inside Franska bukten in the southeast (fig. 7) the dune front is still active, at Arnagrop killing pines at its advance (fig. 39).

Sand-drowned pine stumps were formerly frequent on the deflation area outside the rim dune and on its proximal slope (fig. 42). Most of them were collected and used as fuel and only at Arnagrop a larger number of such trees (the "Dead forest") is still preserved (fig. 38). The trees which were too young to be dated by the carbon 14-method, were by dendrochronology connected to each other and to the still living forest, with trees as old as 200 years, by using a reference series from the mainland. Thus, it was established that the trees were successively killed by the advancing dune during the 18th century (figs. 43 and 44), which is in good agreement with historical data from other dune fields in Sweden. According to the datings, the dune advanced about 1 m/year and thus it is most possible that the oldest parts of the rim dune began to form in the first half of the 17th century.

The deflation area outside the rim dune which reaches a width of some hundreds of metres, is characterized by a wind-blasted stone-pavement (fig. 8). After the stagnation of the rim dune it has partly been covered with young pine forest (figs. 2 and 30). This area is separated from the flat, sandy beach (fig. 4) by a small beach dune which is continuous around the flat coast. This dune is still increasing in size, especially at Bredsand, where it widens to a field of coastal dunes (fig. 9). Most of the beach dune was formed during this century, after the stagnation of the rim dune.

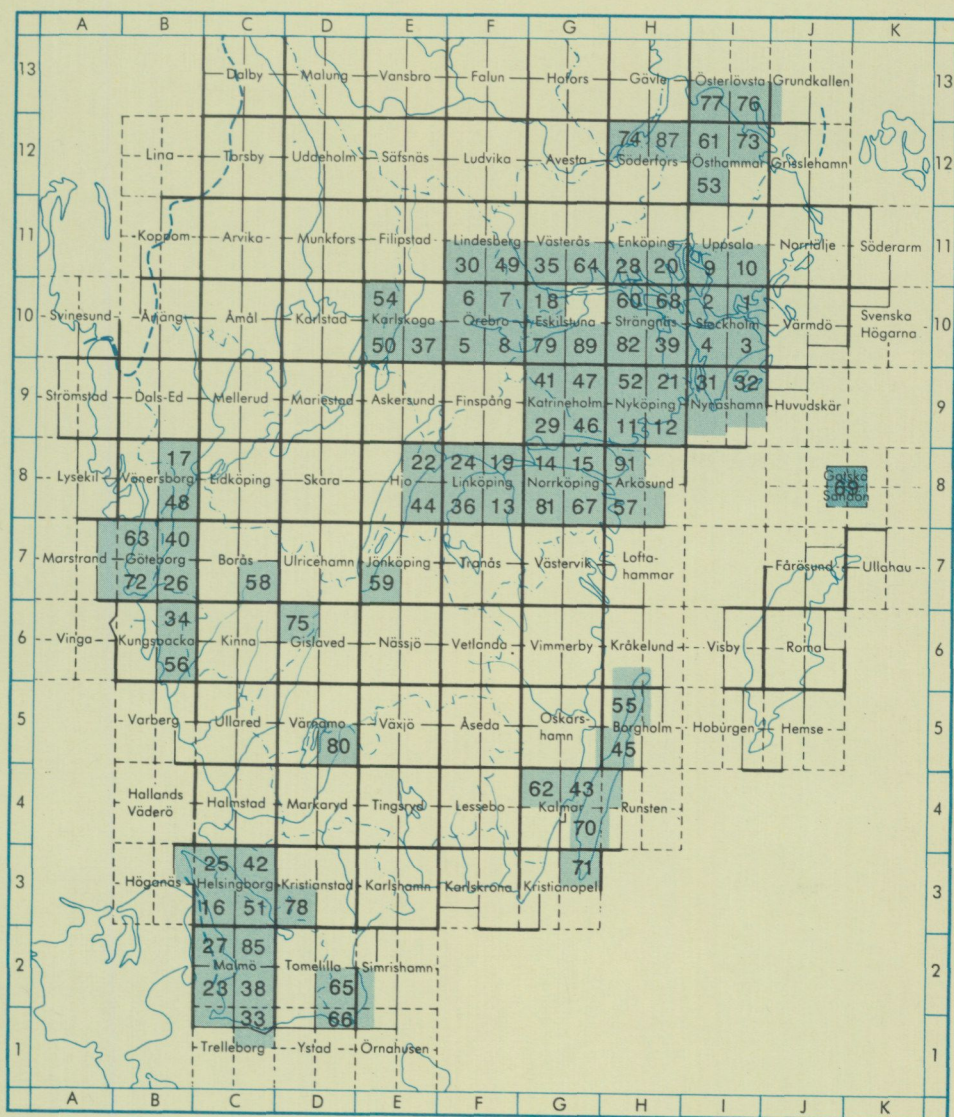
## LITTERATUR

GFF = Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar  
 SGU = Sveriges geologiska undersökning

I litteraturförteckningen har upptagits ett antal arbeten av allmänt kvartärgeologiskt intresse rörande Gotska Sandön, vilka ej är citerade i texten.

- ARWIDSSON, T., 1938: Studier över floran och vegetationen på Gotska Sandön med särskild hänsyn till nationalparken. – Kungl. sv. vet. akad. avh. i natursk. ärenden 1, 71 s.
- ENGSTRÖM, A., 1926: Gotska Sandön. – Stockholm 1926, 182 s.
- FEGRAEUS, T., 1886: Sandslipade stenar från Gotska Sandön, – GFF 8, s. 514–518.
- FLODÉN, T., 1979: Berggrunden – Gotska Sandön, en tvärfacklig beskrivning, 2. uppl., Stockholm, s. 8–12.
- FLODÉN, T., 1980: Seismic stratigraphy and bedrock geology of the central Baltic. – Stockh. Contr. Geol. XXXV.
- GILLBERG, G., 1977: Redeposition: a process in till formation. – GFF 99, s. 246–253.
- HAMP, C., 1981: Gotska Sandön 1566–1981, en bibliografi. – Bibliotekshögskolan i Borås, spec. arb. 1981:91, 164 s.
- HEDSTRÖM, H., 1985: Om block af postarkäiska eruptiva Östersjöbergarter från Gotska Sandön. – GFF 17, s. 74–78.
- JÖNSSON, S., 1979: Fornlämnings- och fyndområden. – Gotska Sandön, en tvärfacklig beskrivning, 2. uppl., Stockholm, s. 62–70.
- KJELLIN, B., AXBERG, S. & ELHAMMER, A., 1987: Beskrivning till maringeologiska kartbladet Gotska Sandön. (Description to the marine geological map Gotska Sandön) – SGU Am 1.
- LAUFELD, S. & PAASIO, T., 1984: Gotska Sandön, Blå Jungfrun. – Känn Ditt land 15, Svenska Turistföreningen, 64 s.
- MARTINSSON, A., 1960: The Submarine Morphology of the Baltic Cambrio-Silurian Area. – Bull. Geol. Inst. Univ. Ups. XXXVIII, s. 11–35.
- MILTHERS, V., 1933: Leitgeschiebe auf Gotland und Gotska Sandön sowie Die Heimat der Ostseeporphyre. – GFF 55, s. 19–28.
- MUNTHE, H., 1924: Beskrivning till kartbladet Gotska Sandön. – SGU Aa 161, 51 s.
- MUNTHE, H., 1936: Beskrivning till kartbladet Fårö. – SGU Aa 180, 82 s.
- MÖRNER, N. A., 1979: Från istid till nutid. – Gotska Sandön, en tvärfacklig beskrivning, 2. uppl., Stockholm, s. 14–15.
- NILSSON, A., 1905: Anteckningar om svenska flygsandsfält, – GFF 27, s. 326–327 (avsnittet om Gotska Sandön).
- PERSSON, C., 1978: Datering av ancyclus- och litorinatransgressionerna på södra Gotland. – SGU C 745, 34 s.
- PETERSSON, B., 1965: Maritime Sands. – Acta Phytogeogr. Suec. 50, s. 105–110.
- VON REIS, J., 1986: Gotska Sandöns bebyggelse. – Riksantikvarieämbetet, Uddevalla 1986, 48 s.
- SILTBERG, T., 1979: Gotska Sandön – skildringar. – Gotlandica 17, Nyköping, 213 s.
- SVANTESSON, S.-I., 1976: Granulometric and Petrographic Studies of Till in the Cambro-Silurian Area of Gotland, Sweden, and Studies of the Ice Recession in Northern Gotland. – Striae 2, 80 s.
- SVENSSON, P., 1961: A survey of glaciofluvial and morainic deposits in the morphology and stratigraphy of Gotska Sandön. – Opubl. ms, SGU centralarkiv, 13 s. + ill.
- SYLVAN, E., 1907: Gotska Sandön. – Skogsvårdsföreningens tidskrift 5, s. 117–130.
- THORSLUND, P., 1958: Djupborrningen på Gotska Sandön. – GFF 80, s. 190–197.
- Gotska Sandön, en tvärfacklig beskrivning. – Föreningen Natur och Samhälle i Norden 8, 2. uppl., Stockholm 1979, 108 s.

# Utgivna kartblad i serie Ae



## PRISKLASS A

### Distribution

Liber Distribution  
162 89 STOCKHOLM  
Tel.08-7399130

ISBN 91-7158-433-1  
ISSN 0586-1535