

## Paleogeografiska kartor

En geografisk karta i sin enklaste form är en beskrivning av landskapets mest fundamentala karakteristika nämligen var är det land och var är det hav. Kustlinjen har förändrats mycket över tid därför att planeten Jorden som vi bor på är dynamisk med ett glödande inre vilket medför vulkanism, jordbävningar och plattetektonik. Det har också varit stora svängningar i klimatet som orsakar omväxlande kallare perioder (istider) och varmare perioder (mellanistider). Det finns tydliga indikationer på att ett större antal istider har föregått den senaste. Om man vill åskådliggöra land/hav-konfigurationen för en viss tidpunkt efter den senaste istiden kan man upprätta en s.k. *paleogeografisk karta* (Risberg *et al.* 2007). Den absolut viktigaste processen som har påver-

kat kustlinjen under de senaste 9500 åren är *landhöjningen* som är en direkt följd av den senaste istidens avsmältningsskede.

### Isostasi och eustasi

Sedan den senaste istidens maximum för ca 20 000 år sedan har den skandinaviska landhöjningen pågått och den pågår än idag men med reducerad hastighet och inom ett allt mindre geografiskt område med nuvarande centrum i den Ångermanländska kusten. Kustbor runt om i Sverige kan vittna om att hamnar har grundats upp (ex Gamla Grisslehamn), att sund har blivit omöjliga att färdas igenom med båt och att öar har växt ihop (fig. 1). På 1700-talet omtalades fenomenet som "Wattuminskningen" ef-



Fig. 1. Längs de vanliga färdvägarna. Illustration: Mattias Pettersson.

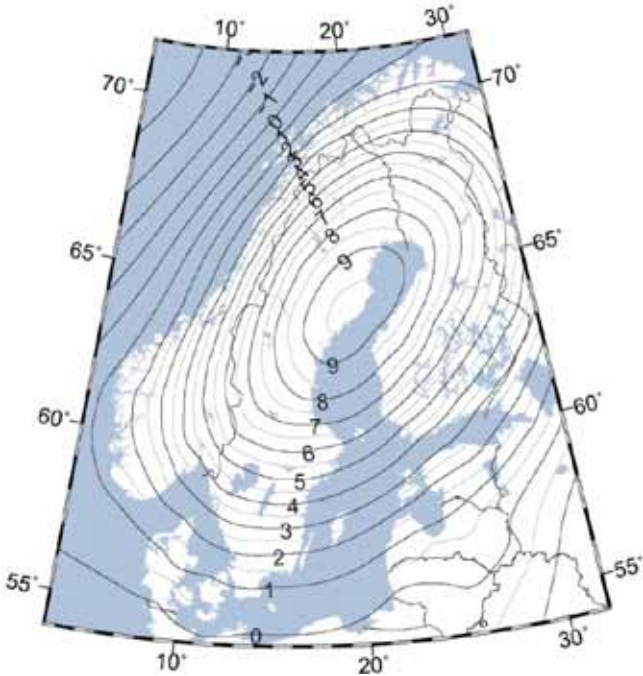


Fig. 2. Avvägd landhöjning i mml/år relativt geoiden enligt modellen NKG2016LU (Lantmäteriet). Havsyntans klimatrelaterade höjning är ej inräknad. (<https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/Referenssystem/Landhojning/>). Hämtad Juli 2018.

tersom landhöjning var ett okänt begrepp (Länsstyrelsen Västernorrland, 2009; Forsell, 2004). Orsaken till landhöjningen är att jordskorpan var nertryckt av den upp till 3 km mäktiga inlandsisen och när isen sedan blev tunnare och så småningom smälte bort började jordskorpan återta sitt jämviktsläge fast nu utan isens tyngd. Denna process kallas *isostasi*. Trots att den skandinaviska inlandsisen sedan länge är borta pågår fortfarande den isostatiska höjningen (fig. 2) på grund av jordskorpan relativa styvhet som endast mycket långsamt låter sig deformeras. Eftersom densiteten för is ( $0,91 \text{ g/cm}^3$ ) är ungefär 1/3 av densiteten

för urberget (c.  $2,6 \text{ g/cm}^3$ ) kan man förvänta sig att den isostatiska rörelseamplituden för jordskorpan överyta under en istidscykel är i storleksordningen 500 m (beräknat på hälften av den påfrusna isens mäktighet omräknat till urberg). Eftersom jordskorpan ”flyter” på den underliggande magman måste ett inflöde av magma ske när jordskorpan nu rör sig uppåt. Detta inflöde sker från de perifera delarna utanför den isostatiska anomalin varvid dessa områden kommer att sjunka något istället.

När en istid övergår till en interglacial (varmare period mellan återkommande istider) smälter inlandsisen varvid havets

nivå kommer att höjas. En förändring av havsytans nivå kallas *eustasi*. För en observatör (över längre tid) vid havet är det omöjligt att avgöra om orsaken till strandens (långsamma) förflyttning nedåt, eller utåt havet om man så vill, beror på att landet höjer sig (isostasi) eller om vattnet minskar i havet (eustasi). Den observerbara förflyttningen av strandens läge över tid kallas för *strandförskjutning* eller *apparent landhöjning* oberoende av om orsaken är isostasi eller eustasi eller en kombination av dessa. Det normala är att isostasi och eustasi motverkar varandra eftersom en smältande inlandsis dels ger upphov till landhöjning (stranden förflyttas nedåt) och dels ett tillskott av vatten till världshavet varvid dess yta höjs (stranden förflyttas uppåt). Under en istids uppbyggnadsfas kommer de omvända förhållandena att råda. De två processerna är dock inte proportionerliga eftersom isostasin är en lokal företeelse medan eustasin är en global företeelse. Isostasin är bara verksam där nedisningen/avsmältningen äger rum medan endast eustasin ger märkbar effekt även på jordklotets delar utanför de nedisade landområdena. Den från kartritarperspektivet intressanta perioden sträcker sig från då det börjar komma upp öar ur havet tills landhöjningen har avstannat helt. Vattnståndet kommer också att förändras under den perioden beroende på hur mycket av inlandsisarna som smälter. Däremot om packisen i Arktis eller shelfisarna kring Antarktis smälter påverkar detta inte vattnståndet i världshaven eftersom den isen redan ”flyter” tyngdmässigt i havet. En annan intressant aspekt på dessa företeelser är att isostasin är behäftad med en ansenlig tidsmässig eftersläpning på grund av jord-

skorpans deformationströghet medan eustasin är ett mer direktverkande resultat av de smältande landburna isarna, dock är den klimatmässiga uppvärmningen som orsakar avsmältningen av isarna behäftad med en ansenlig tröghet. En god gissning för den eustatiska amplituden är 120 m:s global nivåskillnad för en istidscykel (Lambeck *et al.* 2009) jämfört med isostasins i genomsnitt 500 m:s (förväntade) amplitud i Skandinavien. Ökningen av havsnivån innebar att den globala geografien har ändrats betydligt under de senaste ca 20 000 åren. Under historisk tid har dock eustatiska havsnivåförändringar hittills varit betydligt mer blygsamma och kan mätas i centimetrar (Kopp *et al.* 2015).

Östersjön har gått igenom ett antal stadier i samband med deglaciationen. Huvudstadierna omfattar Baltiska Issjön ca 15 000 – 11 500 år sedan, Yoldiahavet ca 11 500 – 10 800 år sedan, Ancylussjön 10 800 – 9500 år sedan samt Litorinahavet från ca 9500 år sedan till nu. De tre äldre stadierna hade en helt annan konfiguration än idag med omväxlande isdämda sjöar och förbindelse med havet vilket medför problem med kartkonstruktionen. Därför sträcker sig de paleogeografiska kartorna som mest till 9500 år sedan, alltså till Litorinahavets födelse eller Östersjön som det heter nu. Den nuvarande havsnivån nåddes för 6 – 7000 år sedan var efter endast smärre eustatiska förändringar har ägt rum.

### **Naturens historiska arkiv**

För att kunna skapa en paleogeografisk karta måste en forntida kustlinje ritas ut. Hur kan man då veta var land hade havskontakt vid en tidigare tidpunkt? Som of-



Fig. 3. Jan Risberg och studenter under arbete med provtagning från en mosse i Sörmland. Foto: Rolf Jacobson.

tast finns en lösning tillhands då naturen lämnar en rad spår efter sig som kan analyseras och tolkas. En bra metod i vårt fall är att finna en sjö eller myr som tidigare var en havsvik men som avskiljdes från

havet vid en viss tidpunkt. Uppgiften blir att finna tröskeln där separationen skedde, mäta tröskelns höjdläge samt bestämma tidpunkten när isoleringen ägde rum. Hur detta praktiskt går till beskrivs nedan.

### Bottensedimentet som tidsdokument

I varje sjö, åtminstone i de djupaste delarna, avsätts material kontinuerligt i sedimentet och skapar en lagerföljd där händelser inbäddas i tidsordning, det äldsta nederst och det allt yngre ovanpå. Bottensedimentet blir ett geologiskt arkiv där varje skikt berättar om vad som hänt vid en viss tidpunkt. I arbetet med de paleogeografiska kartorna var vi intresserade av en speciell händelse, nämligen när sjön isolerades från havet. Händelsen går att identifiera utifrån förändringar funna i ett sedimentprov och tidpunkten får vi genom att kol-14-datera den del av provet där förändringen skedde. I det praktiska arbetet togs borrhävar upp från bottensedimentet och analyserades (se fig. 3–4) om hur man tar borrhävar från bottensedimentet. I borrhävar letades efter förekomst av kiselalger (diatomer) som indikerar brackvattnemiljö



Fig. 4. Borrhävar från en mosse. Kärnans längd är 70 cm med denna provtagare. Isoleringen är belägen något till höger om mitten. Vänster sida av kärnan låg djupast ner, vilket illustreras av den gråaktiga leran som avsattes före isoleringen. Färgskiftningarna i sedimentprovet högra del speglar ändrade vattenkemiska förhållanden då partiklar med förhöjd halt av organiskt material avsattes i sedimentet efter isoleringen.

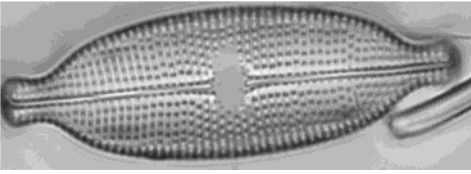


Fig. 5. Exempel på en diatomé typisk för Aneomastus tusculus (växer även i större sötvattenssjöar). Kiselskalets längd är ca 40 mikrometer.

(saltvattensdiatoméer) och kiselalger som indikerar lakustrin miljö (sötvattensdiatoméer). Om allt uppför sig som förväntat kommer sötvattensalgerna hittas ovanför saltvattensalgerna i borrhärnan och grän-

sen mellan dessa algtyper bestämmer när händelsen ”sjön isoleras från havet” bädas in i sedimentarkivet (se fig. 5–6) om analysen av borrhärnan. Dateringen av denna händelse behövs för det slutgiltiga svaret på frågan – När stod denna plats med denna höjd vid havets nivå?

Ovanstående diskussion gäller även sjöar som idag är igenväxta och blivit mossar eller kärr. Speciellt under mossar kan man ofta hitta gamla sjösediment som avsattes innan torvbildningen kom igång. Kiselalger har av tradition använts under en lång tid för dessa typer av analyser. Det finns dock ett antal alternativa metoder

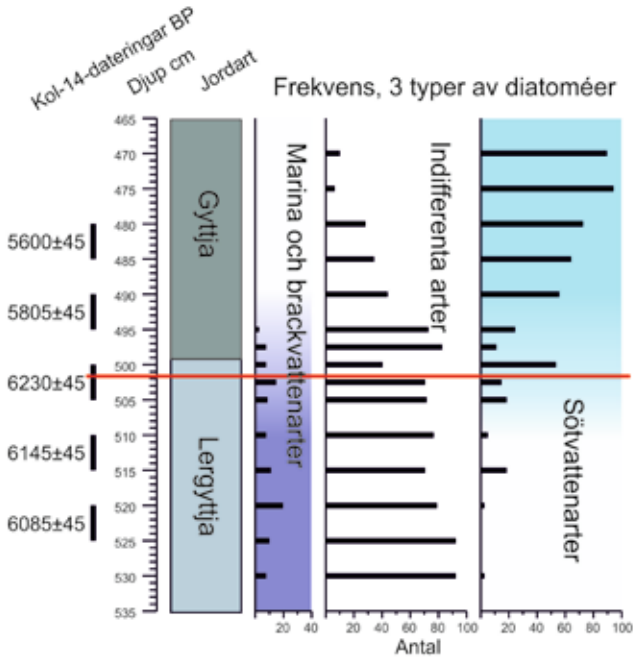


Fig. 6. Förekomstdiagram av brackvatten-, indifferentia och sötvattensdiatoméer som ligger till grund för placeringen av isoleringstillfallet, indikerad med en vågrät röd linje. Sedimentets djup ökar nedåt i diagrammet. Åldern är bestämd med kol-14-metoden från makrofossil tagna ur fem olika provdjup med 10 cm mellanrum (se vänsterkanten). Provet är från Stensjön, 20 km SV om Tierp i Uppland.



Fig. 7. Björkfrö. Exempel på ett ter-restriskt makrofossil som kan användas till datering. Storlek ca 5 mm.

som kan komplettera diatoméanalysen. Exempel är pollen, organiskt kol, mine-ralmagnetiska mätprover, XRF (Röntgen-fluorescens) och makrofossil. Gemensamt för dessa är att sedimentationsmiljön för-

ändrar radikalt efter isoleringen, det blir en lugnare miljö i en sjö och vattenkemin påverkas av mer lokala förhållanden.

### Radioaktiviteten av isotopen $^{14}\text{C}$ – Naturens kronometer.

Händelsen ”När isolerades denna sjö?” som har hittats genom att studera diatomé-floran – de är ju växter – bör nu åldersbestämmas. Återigen hittar vi möjligheten i naturens eget arkiv – i sedimentprovet. Ur sedimentet, vid den aktuella nivån, letas makrofossil fram som har ett ursprung i terrester miljö. Det kan vara pollen, frön eller fragment av insekter m.m. men ge-

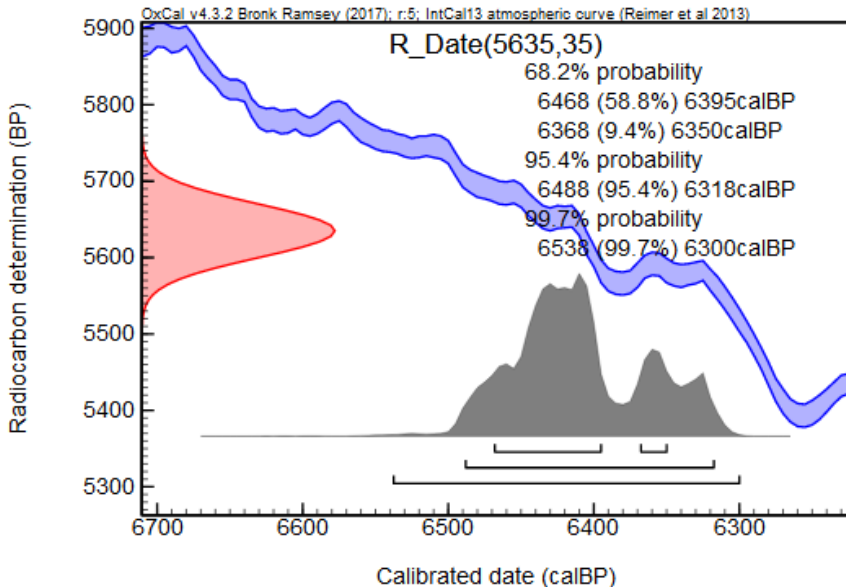


Fig. 8. Exempel på dateringskalibrering med programmet OxCal. Röd kurva är sannolikheten för provets ålder i kol-14-år (före kalibrering). Blå kurva är den naturliga variationen av  $^{14}\text{C}$  i atmosfären över aktuellt tidsintervall mot vilken kol-14-åldern skall kalibreras. Grå kurva är sannolikheten för att provet har en viss ålder i BP (Before Present). Högt upp på det grå kurvan visar hög sannolikhet för att provet har åldern ifråga avläst på x-axeln. Tolkning:  $5635 \pm 35$  kol-14-år ger alltså en trolig kalibrerad ålder med 95,4 % sannolikhet på  $6403 \pm 85$  BP vilket motsvarar  $4453 \pm 85$  f. Kr.

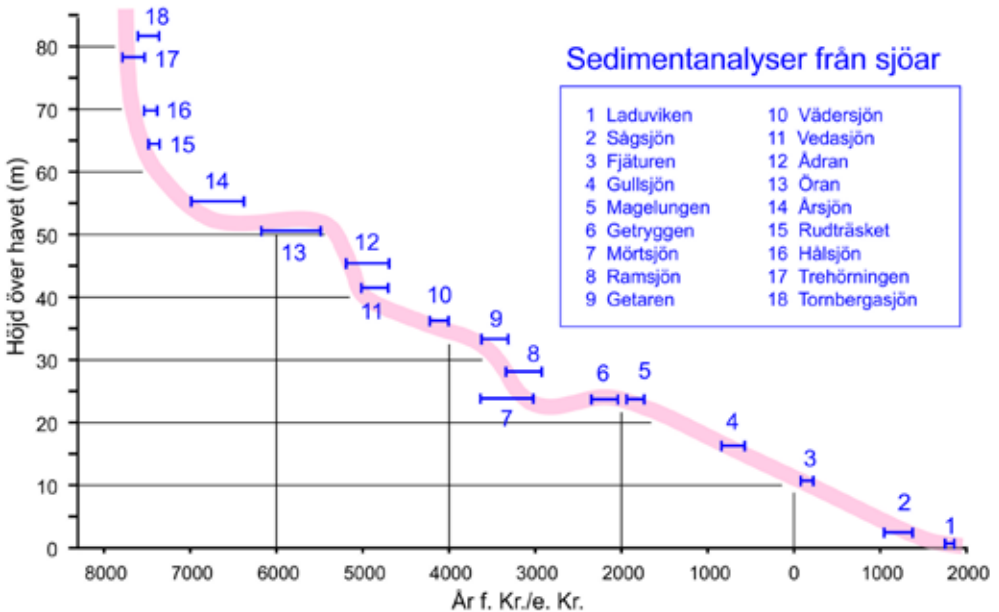


Fig. 9. Exempel på strandförskjutningskurva från Södertörn/södra Uppland. Platserna som använts för konstruktionen är samtliga sjöar vars sediment har analyserats som beskrivits i texten. Markeringarna i figuren indikerar osäkerheten i åldersbestämningen för varje provplats. Det flesta sjöarna ligger på Södertörn men fyra i södra Uppland (1 – 4). Knyckarna på kurvan indikerar förmodade förändringar i landhöjningen, stillestånd och/eller transgressioner. Det förutsätts att samtliga platser ligger på samma isobas vilket dock är behäftat med en viss osäkerhet.

mensamt för dessa måste vara att de är av organiskt material (kolhaltigt) samt att de har haft utbyte med eller byggts upp av kol som härstammar, via fotosyntesen, från koldioxid ur den dåvarande atmosfären (fig. 7). Det duger alltså inte att hitta fossil som kommer från vattenmiljön.

Kol-14-analys är en metod som utnyttjar sönderfallet av den radioaktiva isotopen <sup>14</sup>C och som förekommer naturligt i atmosfären i mycket små halter (<< 1 ppm). Halten varierar eftersom <sup>14</sup>C nybildas av den kosmiska strålningen (se vidare faktabara 3). <sup>12</sup>C, den vanliga kolisotopen, är stabil (halt ≈ 98,9 %), <sup>13</sup>C, också stabil, (halt ≈ 1,1 %), medan isotopen <sup>14</sup>C är radioak-

tiv med en halveringstid på 5730 år. Genom analys av halten <sup>14</sup>C i provet kan man mäta hur lång tid som förflutit sedan djuren och växterna dog och hamnade i vattenbassängen och blev inbäddade i botten-sedimentet.

### Arkeologiska fynd för tidbestämning

En alternativ metod för att avgöra när en viss plats stod vid havets nivå är att använda arkeologiska fynd. Förutsättningen är att fyndet anses vara direkt kopplat till stranden av det dåvarande havet på ett eller annat sätt. Exempel på sådana fynd är bo-

platser som anses vara strandbundna, urlakningshorisonter i kulturlager, bryggor och andra konstruktioner som använts där man gått iland och slaktplatser där djur från marin jakt togs om hand. Om forntida föremål på en boplats bär spår av att ha rullats runt av vågor är det ett säkert tecken på att havet stod nära boplatsen. Dessa fynd ger då plats och nuvarande höjd för havskontakten men ålderbestämningen måste också göras och då blir det återigen kol-14-metoden som används.

### **Landhöjningen inom området**

Med tillräckligt många analyser från olika sjöars sediment och/eller arkeologiska fyndplatser kan man börja få ett grepp om när dessa lokaler har befunnit sig vid havsstranden inom det undersökta området i Uppland och på Södertörn. Man kan urskilja ett generellt mönster där platser i norra Uppland har haft en snabbare landhöjning än sydligare belägna platser i Uppland och att landhöjningen gick fortare ju längre bakåt i tiden vi går. Varje analysplats kan bara erbjuda data från en tidpunkt med havskontakt men ju mer kuperad terrängen är desto större är chansen att finna analysplatser från olika tidsåldrar. Idealt vore att ha provtagningsplatser väl distribuerade i såväl rummet som tiden men här sätter ju landskapet själv begränsningar i form av topografien såsom förekomsten av lämpliga sänkor på olika nivåer som kan utvecklas till en sjö eller mosse. Ju tätare med provplatser man har ju mer detaljerat kan man beskriva landhöjningsförloppet och omvänt, ju färre provplatser ju mer översiktligt blir landhöjningen beskriven.

### **Tektoniska rörelser**

Landhöjningen är en process som pågår i sin egen jämna takt och endast långsamt förändras över tid. Man skulle kunna tänka sig att det då och då uppstår oregelbundenheter i landhöjningsförloppet genom plötsliga bristningar i jordskorpan när spänningarna i berggrunden har blivit för stora. Resultatet är en jordbävning och kanske en s.k. förkastning om rörelsen är tillräckligt kraftig. Landskapet i Södermanland och Uppland är rikt på mycket gamla svaghetszoner i berggrunden i olika riktningar som också har gett landskapstypen sitt namn nämligen ”sprickdalslandskap”. Tektoniska rörelser i jordskorpan som nämnts ovan skulle kunna ske längs de redan befintliga svaghetszonerna. Om detta har skett under de senaste 10 000 åren eller inte finns inte några direkta belägg för.

### **Eustasins bidrag till strandförskjutningen – transgressioner**

Det finns belägg för att havet under de senaste 10 000 åren har haft perioder av nivåhöjningar som har neutraliserat landhöjningen och orsakat ett tillfälligt stillestånd i strandförskjutningen eller till och med orsakat ”transgressioner”, alltså att havet växer in över land. Det finns sedimentologiska bevis för att sådana stillestånd/transgressioner har ägt rum men de är svåra att modellera med den beskrivna metoden där sjöisoleringar och/eller arkeologiska fynd ligger till grund för strandförskjutningsförloppet, upplösningen i tid och rum räcker helt enkelt inte till.



## Strandförskjutningskurvor

Det är brukligt att upprätta en strandförskjutningskurva över ett visst område. Figur 9 visar förloppet i ett höjd-tid-diagram (Karlsson S. & Risberg J., 2005). Eftersom en viss plats bara kan ge en tidpunkt för sin havskontakt måste man komplettera med andra platser havskontakter men då ta dem från platser som förmodas ha samma strandförskjutningsförlopp dvs befinner sig på samma *isobas* för isostatiska rörelser. En *isobas* är en linje som sammanbinder platser med samma strandförskjutning. Att avgöra hur *isobaserna* går är dock inte alltid så lätt. I en strandförskjutningskurva kan man då lägga in de förmodade transgressionerna som man har funnit belägg för. Konstruktionen tenderar att bli ganska subjektiv och är också beroende av vilka typer av lokaler som undersökts.

## Matematisk analys av strandförskjutningen

I ett försök att komma bort från den subjektiva hanteringen av strandförskjutningen och för att kunna beräkna den för vilken plats som helst inom undersökningsområdet har vi använt en multipel regression där alla provplatser ingår med sina kartkoordinater (lokalens plats i kartan), höjden för tröskelns nivå samt tidpunkten för när platsen i fråga låg vid havets nivå, alltså fyra variabler:  $E$ ,  $N$  (kartkoordinater i ostled och nordled),  $H$  (höjd) och  $A$  (ålder i kalenderår).

Man sätter då upp ett samband att  $A$  kan förklaras av  $E$ ,  $N$  och  $H$ , dvs känner man positionen och höjden kan man prognostisera tidpunkten för havets kontakt under

förutsättning att man har ett (stort) antal testpunkter fördelade över området i tid och rum.

Första försöket är kanske att göra en linjär regression:

$$A' = a \cdot E + b \cdot N + c \cdot H + d \quad (1)$$

där  $A'$  är den prognostiserade tidpunkten och  $a$ ,  $b$ ,  $c$  och  $d$  är konstanter som beräknats ur den linjära multipla regressionen.

En sådan analys kan inte ta hänsyn till att landhöjningen gick/går fortare i norr än i söder eller att landhöjningen gick fortare bakåt i tiden än den gör nu. Alltså måste en kvadratisk kurvanpassning göras och kan t ex se ut så här.

$$A' = a \cdot E + b \cdot N^2 + c \cdot N + d \cdot H^2 + e \cdot H + f \cdot N \cdot H + g \quad (2)$$

där  $A'$  är den prognostiserade tidpunkten och  $a$ ,  $b$ , ...,  $g$  är konstanter som beräknats ur den kvadratiske multipla regressionen.

Beräkningen av regressionen kan utföras i valfritt matematiskt analysprogram t ex i programmet *R* eller i Excel. Man måste också ta hänsyn till att vissa delresultat inte överskrider t ex heltaldefinitionerna i datatypen *long integer*, men när detta är gjort kan ekvation (2) användas för att beräkna när havet stod vid en valfri plats för en valfri höjd.

För att få bättre anpassning under de senaste 1000 åren har vi lagt in många stödpunkter vid nuvarande havsytans nivå eftersom de är kanske de bäst kända av alla provpunkter. Vissa provpunkter befinner sig också utanför området vilket ger en ökad noggrannhet inom området eftersom man då inte behöver extrapolera.

## Höjdsystemet RH 2000

Höjdangivelserna är i det senaste av Lantmäteriets etablerade höjdsystem, RH 2000. Nivåytorna i höjdsystemet är parallella med havets medelvattenyta vilket innebär att de följer jordens tyngdkraftsfält och utgörs där av enhetliga potentialytor. Nollan i RH 2000 är visserligen förlagd till Normal Amsterdam Peil, NAP, eftersom den fungerar som en gemensam nollnivå för europeiskt samarbete inom höjdsystem. I den mån höjder för våra provpunkter har erhållits i något annat höjdsystem (t ex RH 70) har höjderna räknats över till det nya RH 2000. För Stockholms del ligger medelvattenytan för år 2000 för Saltsjön (enligt Stockholms Hamnar) på nivå +0,20 m i höjdsystemet RH 2000.

## Osäkerheter – tröskeln

Den kvadratiske multipla regressionen kan inte upplösa detaljer i strandförskjutningen orsakade av tektoniska rörelser (se avsnitt ovan) eller om någon transgression har ägt rum (se avsnitt ovan). Den visar strandförskjutningen i stora drag under den tid där provpunkter finns. Vad gäller de specifika mätningarna av höjden för sjöarnas trösklar så finns det en osäkerhet var en viss tröskel befinner sig och hur mycket den har påverkats sedan den var en tröskel ut till havet. Ofta ligger tröskeln på den platsen där sjöns utlopp ligger idag och vattenflödet har eroderat tröskeln. Ibland har sjöndikats ut i sen tid varvid material vid tröskeln har förts bort. När tröskelns nivå slutligt har bestämts kan den med modern utrustning mätas in på centimetern med GPS i ett s.k. Nätverks-RTK (*Real Time Kinematic*) och ges ett höjdvärde i RH 2000.

## Osäkerheter

### – arkeologisk fyndplats

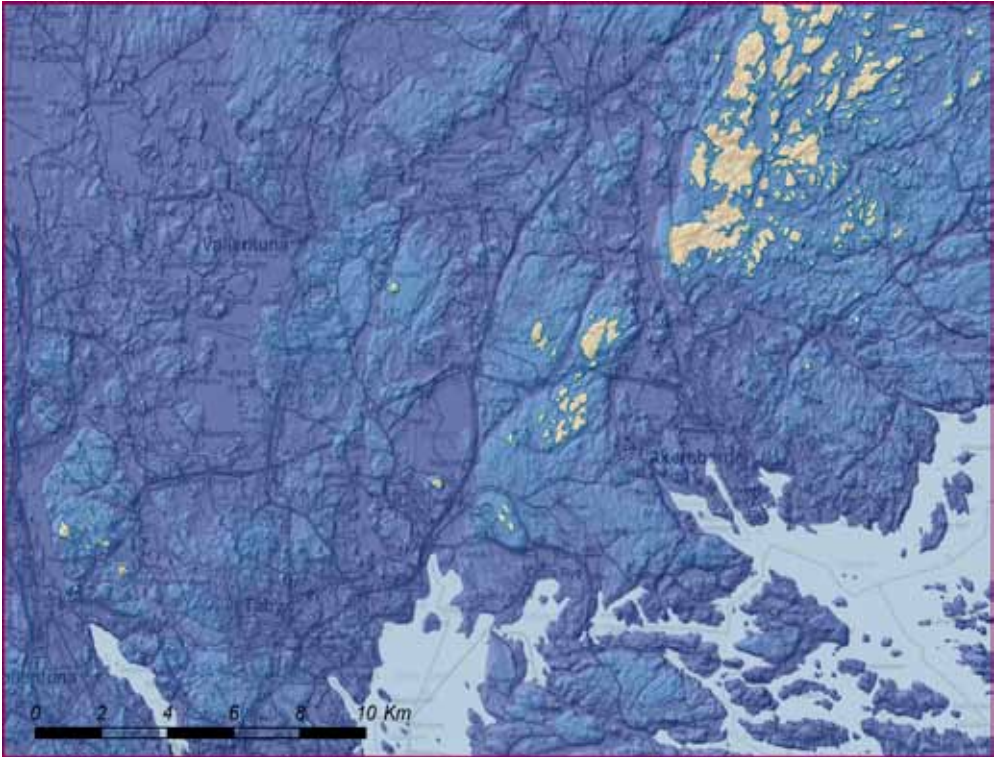
Den finns en viss osäkerhet hur strandbundet ett arkeologiskt fynd är. Har det hamnat på platsen i primärt läge eller flyttats eller omfördelats senare? Om fyndet utgörs av slaktrester eller från matberedning: Hur stort var avståndet till vattenytan då? Om det tillhör en boplatz finns det givetvis också ett visst säkerhetsavstånd till vattnet – särskilt om stranden ligger i ett oskyddat läge. Andra fynd är mer direkt vattenbundna t ex om det utgörs av avfallshögar där en urlakningshorisont kan skönjas. Äldre kol-14-dateringar är också sämre kalibrerade än nya.

Under ett större projekt norr om Ny-näshamn plottades isoleringstillfällena för både sjöar och arkeologiska aktivitetsytor. Där visade det sig att de senare låg i medeltal ca 3 m ovan motsvarande nivåer för sjöar (Risberg *et al.* 2011). Det antogs att denna diskrepans berodde på en önskan att undvika tillfälliga högvattenstånd, i form av stormar och lufttrycksvariationer. Även om höjdskillnaden var flera meter låg ändå fyndplatserna i direkt närhet till dåtida strandlinjer som en följd av det kuperade sprickdalslandskapet.

## Osäkerheter

### – terrängens återgivning

Moderna höjddata från Lantmäteriet är laserskannade punkter med i genomsnitt 2 m:s mellanrum. Det är en enorm förbättring mot de tidigare höjddata som fanns tillgängliga där mätpunktavståndet var 50 m. Moderna höjddata levereras bl a som en digital rastread höjddmodell med 2x2 m cellstorlek. Själva höjdvärdet anges med centimeternoggrannhet men den absoluta nog-



*Paleogeografiska kartor över Vallentuna – Åkersberga-trakten från tiden 5000 f. Kr. till 1500 e. Kr. i intervall om 500 år. Kartorna inkluderar södra delen av Långhundraleden som var en av vikingarnas färdleder till och från Uppsala och som var farbar till ca 1200 e. Kr. För kart- och höjddata som används för att rita dessa kartor hänvisas till: © Lantmäteriet Avtalsnummer I2018/00134.*

grannheten i höjd är 0,5–2 dm beroende på vilken typ av terräng som är inmätt. Noggrannheten i höjd är alltså mycket god men problemet är att det är dagens terräng som är inmätt och inte det forntida landskapets. Det har skett en hel del omfördelningar av jord och berg dels genom människans ingrepp vid vägbyggen, huskonstruktioner och vid utdikningar av våtmarker och dels genom naturlig erosion och igenväxning. När det gamla landskapet skall återges i kartform finns det felaktigheter som

är synbara framför allt i tätbebyggda områden. Sjöarna är också problematiska eftersom det forntida landskapet inte hade samma horisontalplan då som nu, en effekt av att landhöjningen är snabbare ju längre norrut man kommer. Konsekvensen blir att de forntida sjöbassängerna var tippade jämfört med nu och att vattenytan var orienterad annorlunda. Detta kan inte så lätt korrigeras eftersom sjöarnas nuvarande yta ingår i höjdmodellen och sjöarnas bottenar inte finns återgivna.

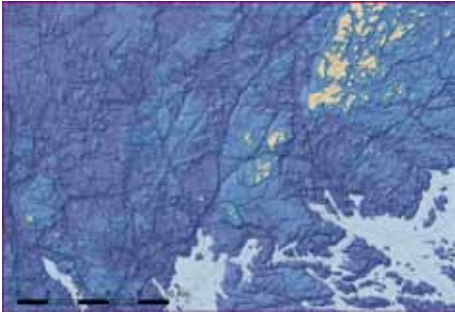
## Konstruktion av paleogeografiska kartor

Trots alla brister i data och den mätosäkerhet som redovisats ovan vågar vi rita dessa paleogeografiska kartor med en viss tillförsikt att de i sina huvuddrag återspeglar de verkliga förhållandena. Men, ju fler provpunkter som tillkommer desto bättre blir de matematiska modellerna som används.

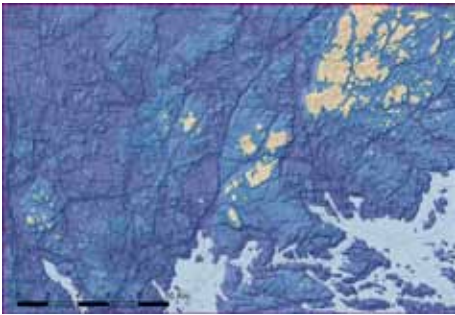
Kartorna bearbetas i ett GIS-program, antingen ArcMap eller QGIS. Rådata som ingår är Nationella Höjdmodellen raster 2m, Fastighetskartans sjöar och vattendrag som vektorer, bakgrundskartor (alla kartdata från Lantmäteriet), provpunkter från sjösediment (egna provtagningar) samt data från fornlämningsregistret över arkeologiska fynd.

GIS-bearbetningen består i att beräkna tidpunkten för när varje rasterelement i höjdmodellen hade sin sista havskontakt. Vidare att utföra en terrängskuggning som tonas in i kartbilden och även tona in en karta med dagens vägnät och bebyggelse för att underlätta orienteringen. En specifik tidpunkt kan sedan väljas, en aktuell strandlinje genereras samt icke dränkta landområden färgläggas (beige – brunt), kontrasterande mot där havet ännu befann sig (blått). Nuvarande havsområden visas i ljusare blått liksom sjöar som kan förväntas finnas vid den aktuella tidpunkten.

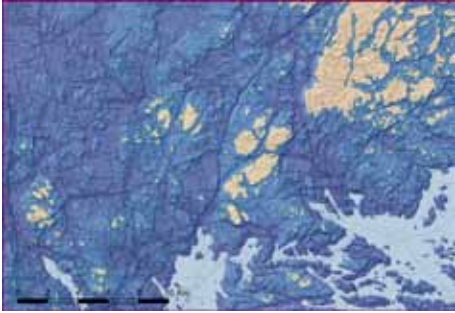
Förhoppningen är att dessa kartor skall vara till glädje för den historiskt intresserade samt inspirera till att i fantasin färdas i det forntida landskapet och upptäcka intressanta saker.



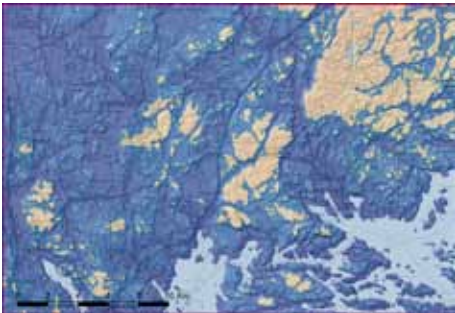
5000 f. Kr



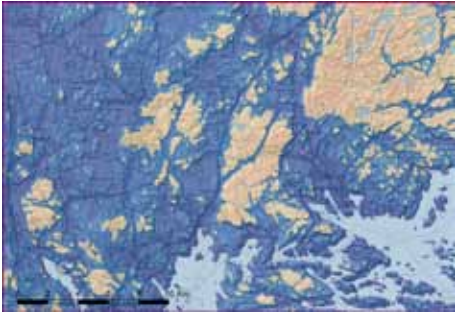
4500 f. Kr



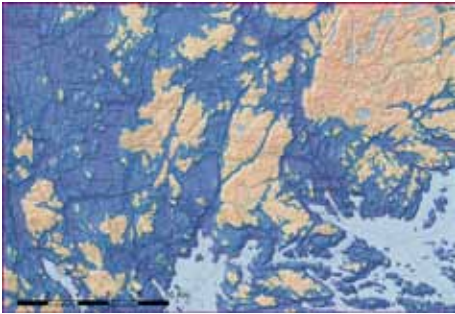
4000 f. Kr



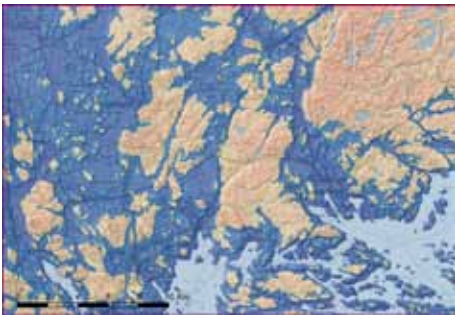
3500 f. Kr



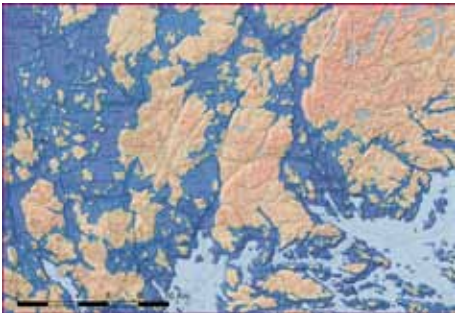
3000 f. Kr



2500 f. Kr



2000 f. Kr

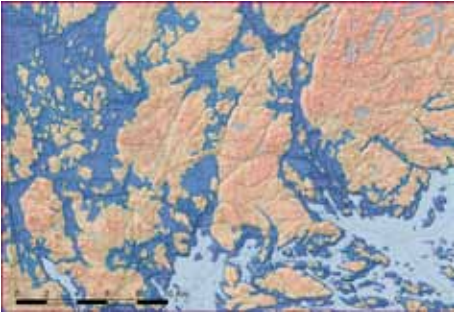


1500 f. Kr

### **Faktaruta I**

#### **Borrprover från sjösediment**

Borrkärnor från sjösediment tas bäst på vintern när man kan arbeta från isen men från mossar eller kärr kan det ske bäst på sommaren (fig. 3). Beroende på vilken ålder man förväntar sig kan man behöva borra olika djupt för att hitta den aktuella händelsen. Man får gissa lite först och ta upp borrkärnor med lite marginal så man inte missar det man är ute efter. Ett vanligt sätt att bedöma det ungefärliga läget för isoleringen är att titta på färgskiftningar som indikerar typen av jordart som fås upp i provtagaren (fig. 4). Generellt kan sägas att lera, gyttjeler och lergyttja har ackumulerats i en större vattensamling, t ex havet och havsvikar. Gyttja däremot har normalt ackumulerats i sjömiljö. Dock har storleken på bassängen, omgivande jordarter och dräneringsmönster betydelse för vilken jordart som ansamlats. För analysen behövs ett visst statistiskt underlag så flera borrkärnor tas upp några decimeter från varandra. Borrens insamlingsanordning, den s.k. kannan, rymmer en sedimentpropp formad som en halvcirkel och av upp till en meters längd. När man tar upp ett sedimentprov som totalt är 3,5 meter långt måste man alltså ta upp provet i delar och förlänga borrskaftet för varje nytt segment. Arbetet är fysiskt hårt och en provplats tar hela dagen i anspråk. Analysen av diatoméer och makrofossil är arbete som sedan utförs i ett våt-lab och är mycket tidskrävande och räknas snarare i veckor än i dagar.



1000 f. Kr



1000 e. Kr



500 f. Kr



0 f. Kr



500 e. Kr

### **Faktaruta 2** *Sjöisoleringen*

Förändringen från marin till lakustrin miljö går relativt långsamt, kanske tar det något 100-tal år att genomföra. Under den tiden kommer saltvattnet i bassängen att successivt spädas ut innan den helt och hållet har förlorat kontakten med havet. Från diatoméernas synvinkel blir det svårare och svårare för de rent havslevande arterna att överleva medan ett antal brackvattenarter klarar övergången bättre (fig. 5). Med tiden ökar de rent sötvattengynnade arterna i antal och till slut, när processen har fullbordats, har dessa helt ersatt saltvattenarterna. Ett art-frekvensdiagram från ett sedimentprov kan se ut enligt fig. 6. Det blir en bedömning sedan var isoleringstidpunkten bör placeras i lagerföljden. Hänsyn måste också tas till eventuell omlagring av diatoméer. Det finns även ett flertal arter som tolererar både salt- och sötvatten (är indifferent) så ett visst mått av subjektiv tolkning måste alltid göras. Spridning av diatoméer går fort då fåglar transporter levande organismer över långa sträckor.



1500 e. Kr

### Faktaruta 3

#### *<sup>14</sup>C-halten i atmosfären*

Halten <sup>14</sup>C i atmosfären, och därmed också i det nyproducerade växtmaterialet, har varierat över tid genom inverkan av den kosmiska strålningen som i sin tur inte är konstant. Med hjälp av dendrokronologi (trädringsanalys) kan halterna av <sup>14</sup>C uppskattas bakåt i tiden, för mellersta Skandinaviens del åtminstone ca 9000 år tillbaka (drygt 1,5 halveringstider) (Bronk Ramsey, C., 2009). En kalibreringsfunktion kan då appliceras på dateringen och som numera utförs rutinmässigt med t ex programmet OxCal (Ref. 2). Resultatet blir en sannolikhetskurva för varje <sup>14</sup>C-datering med en variationsbredd på någon till några hundra kalenderår (se fig. 8). Att fastlägga åldern för isoleringen kräver ett flertal dateringar på olika djup. Därefter kan ett tid-djup diagram upprättas där isoleringen kan bestämmas med hjälp av interpolation. Om materialet som skall dateras däremot har marint ursprung kommer kolet som bygger upp kalciumskelettet eller de marina växternas vävnader från den lösta koldi-

oxiden i vattnet och har en mer oförutsägbar historia av <sup>14</sup>C-inblandning. Man får i allmänhet för höga åldrar på dateringar av marint material och den felaktiga marginalen från den korrekta åldern kallas för *reservoarålder* och kan alltså utgöra en osäkerhet på åtskilliga hundra år (Olsson, 1991).

Ingen <sup>14</sup>C-datering bör utföras på recent (modernt) material eftersom halterna i atmosfären har ökat kraftigt sedan kärnvapenmakterna utfört testsprängningar i atmosfären av både atombomber och vätebomber. Även kärnenergiproduktionen i världen bidrar till onaturliga halter av <sup>14</sup>C i atmosfären. Dateringar av recent organiskt material är svåra (eller omöjliga) att kalibrera korrekt och bör helt undvikas, vilket innebär att kol-14-metoden endast bör användas på material äldre än 1950 (Öberg *et al.*, 2012). Tidsskalan BP (*Before Present*) avser därför åldrar före år 1950.

## Referenslista

- Bronk Ramsey, C., 2009: Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51, 337–360.
- Forsell, G., 2004: Upptäckten av landhöjningen. Länsstyrelsen Västernorrland. 49 s. ISBN 91-974680-1-0.
- Karlsson, S. & Risberg, J. 2005: Växthistoria och strandförskjutning i området kring Fjäturen och Gullsjön, södra Uppland. I: Johansson, Å & Lindgren, C. (red.): En introduktion till det arkeologiska projektet Norrortsleden. Bilaga 6, 71-125. Riksantikvarieämbetet, UV Mitt, Dokumentation av fältarbetsfasen 2005:1.
- Kopp *et al.* 2015: <http://www.pnas.org/content/pnas/early/2016/02/17/1517056113.full.pdf>
- Lambeck *et al.* 2009: <http://www.pnas.org/content/pnas/111/43/15296.full.pdf>
- Länsstyrelsen Västernorrland, 2009: Höga Kusten ett världsarv. 74 s. ISBN 91-631-1965-X
- Olsson, I.U., 1991: Accuracy and precision in sediment chronology. *Hydrobiologia* 214, 25–34.
- Ref. 1: <http://science.sciencemag.org/content/sci/349/6244/aaa4019.full.pdf>
- Ref. 2: <https://c14.arch.ox.ac.uk/calibration.html>
- Risberg, J., Alm, G., Björck, N. & Guinard, M., 2007: Synkrona paleokustlinjer i mellersta och norra Uppland. I: N. Stenbäck (ed.): Stenåldern i Uppland. Uppdragsarkeologi och eftertanke. Arkeologi E4 Uppland – studier, Volym 1, 99-135. Ljungbergs Tryckeri. ISBN 978-91-976723-0-6.
- Risberg, J., Isaksson, M. & Alm, G., 2011: Site location in the Stone Age landscape on the Södertörn peninsula, eastern middle Sweden: an ecological and economical approach. *Skrifter från Arkeologikonsult nr 1*, 5-44. ISBN 978-91-979352-0-3.
- Öberg, H., Andersson, T.J., Westerberg, L.-O., Risberg, J. & Holmgren, K., 2012: A diatom record of recent environmental change in Lake Duluti, northern Tanzania. *Journal of Paleolimnology* 48, 401–416.

*Göran Alm, Naturgeograf, FL, pensionerad från Stockholms universitet.*

*E-post: alm@natgeo.su.se*

*Jan Risberg, Kvartärgeolog, docent vid Stockholms universitet.*

*E-post: jan.risberg@geo.su.se*

*Mattias Pettersson, Stenåldersarkeolog.*

*Epost: husbacken@telia.com*

\* \* \*

*Paleogeografiska kartor, de som förekommer i denna artikel samt andra, kan hittas som bildspel på följande adress: [www.urian.se](http://www.urian.se)*