

# DOKUMENTATION OCH ANALYS AV ARKEOLOGISKA YTSTRUKTURER

Henry Freij

## ABSTRACT

During the autumn of 1989 the Archaeological Research Laboratory at University of Stockholm received an advanced equipment for documentation and analysis of surface structures. The equipment was obtained by a grant from the Knut and Alice Wallenberg Foundation and has just been taken into use. This paper describes the theoretical background for using this equipment and some of the pilot tests performed earlier. To explain the method, a report is given of an attempt to find textile impressions on a corroded bronze sword, and an extraction of impressed ornamentation on a bronze plate, damaged by fire. A surface documentation made with the new equipment will also be demonstrated.

## Inledning

Under hösten 1989 erhöill Arkeologiska forskningslaboratoriet vid Stockholms universitet en avancerad utrustning för dokumentation och analys av ytstrukturer. Utrustningen, som bekostats av Knut och Alice Wallenbergs stiftelse, har just tagits i bruk. Artikeln beskriver bakgrunden till denna anskaffning, samt tidigare utförda pilotförsök.

Vår kunskap om forntiden baseras till största delen på artefakter och andra lämningar med ytstruktur. Oftast är ytorna deformerade framför allt genom korrosion och vittring. Då denna nedbrytning accelererar i kontakt med luften är det angeläget att så fort som möjligt efter framtagningen framställa en beständig dokumentation av föremålets yta.

Det är emellertid svårt och dyrbart att i detalj dokumentera en 3-dimensionell form. Det kan ske genom beskrivning, avritning eller fotografering med angivande av huvudmått. För mer detaljerad måttinformation har ibland stereofotografering med en bearbetning liknande den som görs i samband med flygkartering utförts.

För analyser och jämförelser finns ofta inte föremålet tillgängligt utan endast beskrivningar och avbildningar av detta. Resultatet blir då direkt avhängigt av dokumentationens kvalitet och enhetlighet.

En artefakt ger ofta förutom sin direkta funktion även

information om tidens värderingar och tillverknings-teknik. Med tiden försvinner en del av denna intressanta information genom korrosion eller vittring, medan andra ointressanta ytformer tillkommer i form av korrosionsprodukter.

Det kunde därför vara av stort intresse att studera nedbrytningsprocessen och söka skapa en modell av denna. Kunde man åstadkomma detta så skulle det vara möjligt att med utgångspunkt från ett vittrat och korroderat föremål köra nedbrytningsmodellen baklänges och rekonstruera formen på det ursprungliga föremålet!

Tyvärr kommer sannolikt okända olikheter i material-sammansättningen hos det försvunna ytmaterialet att starkt begränsa möjligheten till en sådan rekonstruktion.

Likartade problem har fått tillfredsställande lösningar inom ljudinspelningstekniken. Gamla akustiska gram-mofoninspelningar från 1920-talet "konditioneras" och kan därefter avnjutas med en ljudkvalitet som de aldrig haft ens som nya. Förutsättning för de lyckade resultaten är att man med hjälp av digital teknik har skaffat en stor kunskap om hur olika musik-instruments toners frekvensfördelningar ser ut. Man kan då också identifiera rester av sådana fördelningar på de gamla inspelningarna, komplettera dem samt ta bort frekvenser som inte hör dit.

Vid bildöverföring finns också liknande problem inom speciellt rymd- och militärteknik. En bild som sänts från t ex en satellit kan ha dränkts i brus eller vara så oskarp att den inte ger någon användbar information. Mycket avancerad forskning för mångmiljonbelopp har utförts inom detta område för att finna goda lösningar, bl a av institutionen för bildbehandling vid Linköpings tekniska högskola.

I princip går bildbehandling ut på att analysera varje bildpunkts omgivning och finna ut vilka trender i gråskala och linjeriktning som där förekommer. Eftersom bildpunkten sannolikt ingår i dessa trender påverkar man dess svärtning i överensstämmelse härmed.

Digital behandling av bildinformation och ytinformation uppvisar mycket stora likheter. En svartvit bild är uppbyggd av ett stort antal punkter som var och en har ett visst gråskalevärde. En yta består av ett stort antal punkter i planet, som var och en har ett visst höjdmått. Båda kan således dokumenteras i 3-dimensionella matriser där två av dimensionerna utgörs av längd (x) och bredd (y), medan den tredje utgörs av gråskala respektive höjd (z). Genom att lagra z-värdena i en med x, y-matrisen överensstämmande minnesposition i dataminnen fås en ekonomisk dokumentation.

Andra bildbehandlingsfunktioner som det kan vara av intresse att försöka anpassa för ytanalys är identifiering av fragmentariska delar av kända former (fordon i skog, molntyper på satellitbilder), samt likhet vid jämförelser mellan bilder (fingeravtryck).

### Experiment med ytanalys utförda 1985-88

För att försöka få kunskap om i vilken utsträckning man skulle kunna återvinna den ursprungliga ytinformationen från arkeologiska objekt, gjordes bl a nedan refererade försök där emellertid mätningarna utfördes manuellt.

Vid konservering av ett starkt korroderat bronssvärd (Viarp, Simris sn. Sk. SHM 7731:1) observerades på en mindre yta ett textilliknande mönster i korrosionen, sannolikt orsakat av att svärdet varit i kontakt med textil vid nedläggningen.

Det bedömdes intressant att undersöka om det skulle vara möjligt att efter en ytanalys också kunna konstatera mönstret på en yta där det inte var identifierbart med ögat. En sådan yta, 10 x 12 mm, utvaldes strax bredvid det konstaterade mönstret, fig 1.

Uppmätning gjordes i ett mikroskop med ett i x- och y-led inställbart objektbord där svärdet fastspändes. Flyttning av bordet kunde göras med en noggrannhet bättre än 0,1 mm. Djupmått mättes genom att ställa in skärpa, varför skärperatten försågs med en potentiometer kopplad till elektronik och digital-voltmeter. Anordningen kalibrerades så att den visade mikroskopets fokallängd i hundradels mm. Skärpeinställningen medgav denna inställningsnoggrannhet vid 150 ggr förstoring.

För att filtrera bort ointressant information måste

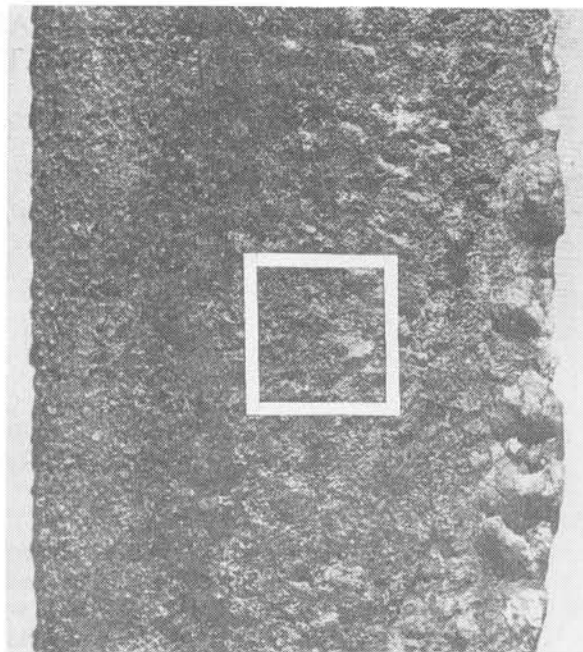


Fig 1. Bronssvärd med vävliknande mönster i korrosionen.

man bestämma inom vilket intervall i x- och y-led den intressanta informationen kan ligga. Som minsta intressanta utbredning valdes ca 1 mm, ungefär motsvarande en textiltråds diameter. Som största intressanta utbredning valdes ca 2 mm, motsvarande två närliggande trådar i väven. Således bör höjder och dalar i topografin med ca 1 - 2 mm utbredning förstärkas, medan höjdförändringar med annan utbredning undertrycks.

Den minsta intressanta utbredningen bestämmer avståndet mellan mätpunkterna. För att i en starkt deformerad yta kunna uppfatta höjdförändringstrender, bedömdes minst 5 mätvärden erforderliga. Djupmått togs därför med 0,2 mm avstånd i x- och y-led, dvs 3111 mätvärden som matades in i en dator. Det manuella mätarbetet tog ca 20 timmar, varav följer att metoden knappast är användbar för rutinmässig ytdokumentation. Av måtten framgår att ytan har ett utseende enligt fig 2.

Nästa steg blev att filtrera bort höjdförändringar med större utbredning än ca 2 mm, bl a innefattande ytans ursprungliga kurvatur. Ytan indelades härför i 16 ungefär lika stora fält, och aritmetiska medelvärden för höjdmåtten i respektive fält beräknades. Medelvärdena lokaliserades till respektive fälts mittpunkt. En mjukt buktad yta förbindande dessa 16 medelvärdespunkter anger då ytans buktning i stort enligt fig 3. På denna yta är alltså de mera kortvågiga ytvariationer som bl a innehåller den intressanta ytstrukturen ungefär symmetriskt överlagrad. För den vidare bearbetningen fordras att den mjukt buktade ytan ges en matematiskt definierad form, lämpligen en kurvatur enligt

$$z = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$$

förbindande medelvärdespunkterna i såväl x- som y-led. Detta gjordes genom Lagrangeinterpolation, varvid ytans höjdvärden lades i en datamatrix av samma utseende som mätvärdesmatrisen.

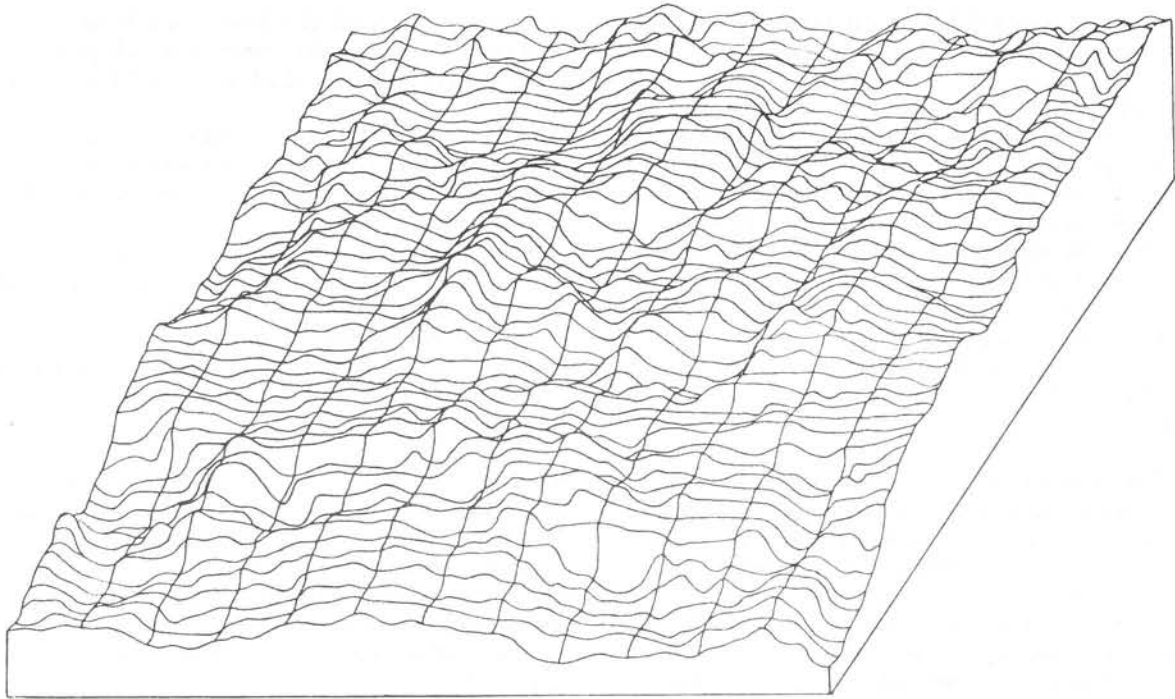


Fig 2. Uppmått yta på svärd, 10 x 12 mm, utan synligt vävmönster.

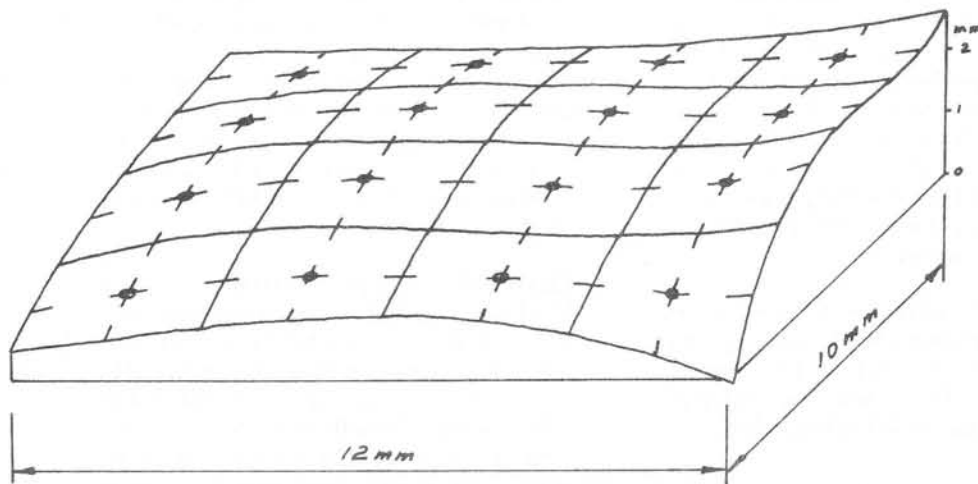


Fig 3. Den uppmätta svärdsytans höjdvariationer med större utbredning än den intressanta.

Medelvärdesmatrixens höjdmått subtraherades från motsvarande mått i mätvärdesmatrixen, varvid en matrix erhöles som angav en yta innehållande höjdförändringar med utbredning mellan ca 0,2 - 2 mm.

Ser man på en enstaka mätpunkt så kan med tiden punktens höjd antingen ha minskats genom att material försvunnit eller också kan höjden ha ökat på grund av t ex korrosionsprodukter. Har förändringen liten utbredningen kan förhoppningsvis tendenser i punktens omgivning ge viss information om den ursprungliga nivån. Den närmaste omgivningen har då sannolikt mer information i detta avseende än mer avlägsna mätpunkter. En metod baserad på vägda löpande medelvärden valdes därför och tillämpades på varje värde i differensmatrixen. En linjär vägning 1 - 2 - 4 - 2 - 1

ger tillämpad i x- y- och diagonal riktning vägningstalen:

1	1	1		
	2	2		
1	2	16	2	1
	2	2	2	
1	1	1		

Centralvärdets höjd bestäms då till 40 % (16/40) av det tidigare värdet och till 60 % av omgivningen.

Efter denna omräkning fick ytan ett utseende enligt fig 4, där en vävliknande struktur kan skönjas.

Med samma utrustning och liknande databehandling undersöktes ett fragment av ett ornerat pressbleck av brons från Uppsala östhög. Det ca 10 x 12 mm stora, starkt korroderade och eldskadade fragmentet, mättes med 0.2 mm mellan mätpunkterna. Dess utseende enligt mätningen framgår av fig 5. I datamodellen utrotades den av elden orsakade böjda ytan, mindre korrosionsjämnheter filtrerades bort och höjdskalen ökades. Resultatet framgår av fig 6. Genom att, som med en osthyvel, skära skivor av datamodellens utplanade yta fås en ganska god bild av ornamentiken enligt fig 7.

För att kunna mäta större ytor konstruerades och byggdes en koordinatmätmaskin. Denna består av två stegmotorer som i x- och y-led kan förflytta en mätindikator över en yta på 20 x 20 cm. Stegmotorerna styrs av en dator som kan programmeras för avsökningens mönster, antal steg och steglängd. Mätindikatorn aktiveras och avläses manuellt och ger djupmått med 0,01 mm noggrannhet. Steglängden kan programmeras från 0,02 mm/steg och uppåt. Kapaciteten är 3000 - 4000 djupmått per dag.

Med denna utrustning undersöktes avtryck av huggspår på 25 signerade runstenar för att se om individuella skillnader kunde konstateras. Undersökningen som presenterades vid metodkonferensen i Haugesund 1987 är publicerad i Forskningslaboratoriets rapport nr 1, 1986 (Freij 1986). Där konstateras bl a att signifikanta skillnader finns på huggteknik mellan en del stenars ornament och runor. T ex har en av Visätes stenar signifikant mindre avstånd mellan huggmärkena på runspåren än på slingorna. På en annan av Visätes stenar är förhållandet det motsatta.

De gjorda försöken har utgått från en viss kunskap om utsträckningen av de intressanta höjdförändringarna. Även utan sådan kunskap bör det vara möjligt att genom Fourieranalys ta reda på inom vilket intervall utsträckningen av de dominerande höjdförändringarna ligger och avbilda dessa.

Vid ett litet avstånd mellan mätpunkterna fordras en mätspets med liten kontaktyta. Därvid blir trycket per ytenhet stort och mätobjektet skadas även vid försiktig aktivering av mätindikatorn.

Ett önskemål var därför en kontaktfri mätmetod som även borde innefatta synkroniserad datorstyrd aktivering, avläsning, och förflyttning av mät huvudet, vilket skulle ge en helautomatisk mätmaskin. Dessutom borde utrustningen vara transportabel och fältnässig för dokumentation av t ex hållristningar och runstenar, krav som inte uppfylldes av den hemtillverkade koordinatmaskinen.

### Konstruktion av automatisk mätutrustning.

Hösten 1988 beviljade Wallenbergstiftelsen medel för konstruktion och framställning av en utrustning som uppfyller dessa krav. Denna, som färdigställts av

Geovision A. S. Sandvika, Norge och Jtronic AB i Eskilstuna, är f n under intrimning och programutveckling vid Arkeologiska Forskningslaboratoriet.

Utrustningen består av en väska med dator och elektronik, samt en låda med koordinatmaskinen. Vidare ingår en liten bensingenerator för fältdrift.

Koordinatmaskinen förflyttar med stegmotorer en mätsond över en yta på maximalt 25 x 25 cm. Stegmotorerna styrs av datorn, som kan programmeras för önskad mätyta med stegavstånd från 0,025 mm och uppåt. Maskinen uppfyller höga krav på stabilitet och precision, väger ca 10 kg, och kan mäta på såväl horisontella som vertikala ytor.

Mätsonden sänder en laserstråle mot mätobjektet. Inom ett 12 mm djupt område 60 mm från sonden är strålens diameter mindre än 0.1 mm och avståndet mäts med en noggrannhet av  $\pm 0.002$  mm. Sonden kan även mekaniskt förflyttas i höjddled för att utöka mätområdet. Mätningen, som är synkroniserad med sondens förflyttning, aktiveras från datorn där även resultatet lagras och visas.

Mätningen sker i princip genom att mäta reflexionsvinkel. Detta medför ibland problem att återge ett mätobjekts kant, samt starkt lutande ytor. På marknaden finns en annan typ av laser sond, som ej har denna nackdel, där mätprincipen bygger på fokusering av laserstrålen. Dessa sonder har ett par tiopotenser högre noggrannhet, mätområdet är dock endast ca 0.5 mm vilket bedömts vara för litet för de planerade projekten. Skulle i framtiden behov motivera sådana mätningar, t ex för dokumentation av verktygsslitage, finns möjlighet att montera annan sond på maskinen.

Elektroniken är uppbyggd kring en portföljdator med MS-DOS, 40 Mb hårddisk samt diskettstation för 3 1/2" disketter med 1.4 Mb lagringskapacitet. Datorn har kompletterats med utrustning för att styra mätsondens förflyttning samt för att synkront aktivera och avläsa denna. Aktuella inställningar görs på datorns tangentbord efter anvisningar i menyprogram på skärmen, där även lägesangivelser och mätresultat presenteras. Mätvärde samt x- och y-positionen läses även in i filer på datorns hårddisk, från vilken de sedan kan kopieras på diskett för beständig dokumentation av ytan.

Filerna med ytdokumentation kan antingen direkt tillföras datorns Boeing 3D grafikprogram för visualisering eller bearbetas med specialanpassade basic-program för t ex filtrering före inmatning i grafikprogram.

Genom grafikprogrammen kan ytans utseende återges på bildskärmen på många olika sätt, bl a genom att i perspektiv visa mät höjderna förbundna med ett polygonnät enligt fig 8 eller genom gråskala enligt fig 9. Om datorn ansluts till en färgmonitor kan bilden presenteras i färg. Ytan kan visas från valfri betraktningssvinkel i önskat perspektiv, bredd-, längd- och höjdmått kan förändras oberoende av varandra, och

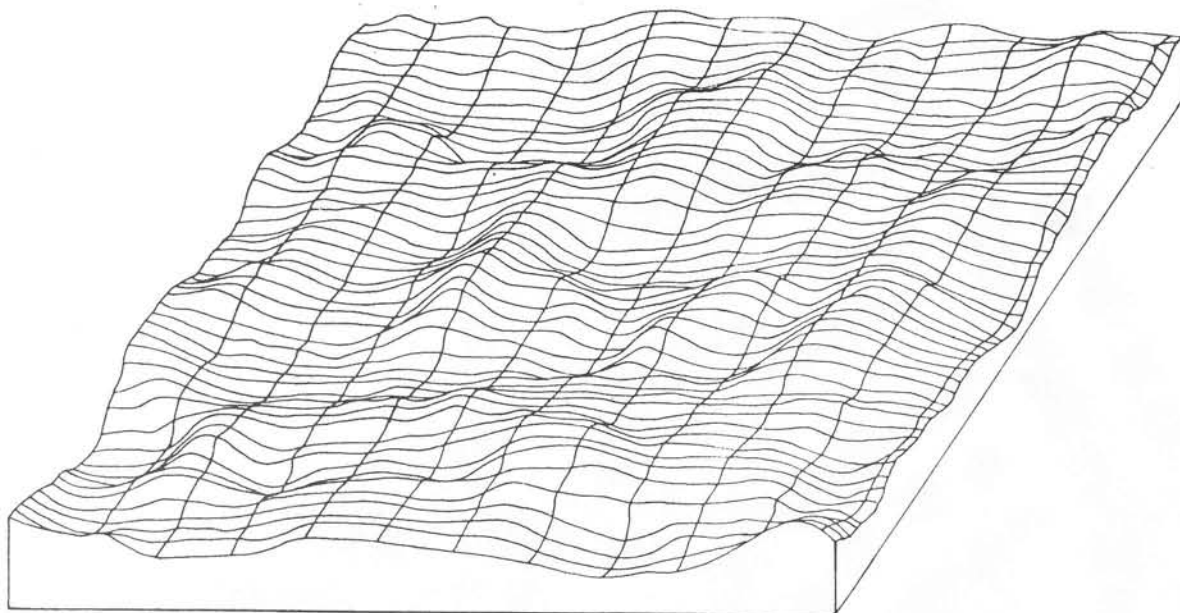


Fig 4. Svärdsytans intressanta höjdvariationer, utgörande skillnad mellan ytan fig 2 och fig 3 efter det att även variationer med ointressant liten utbredning filtrerats bort.

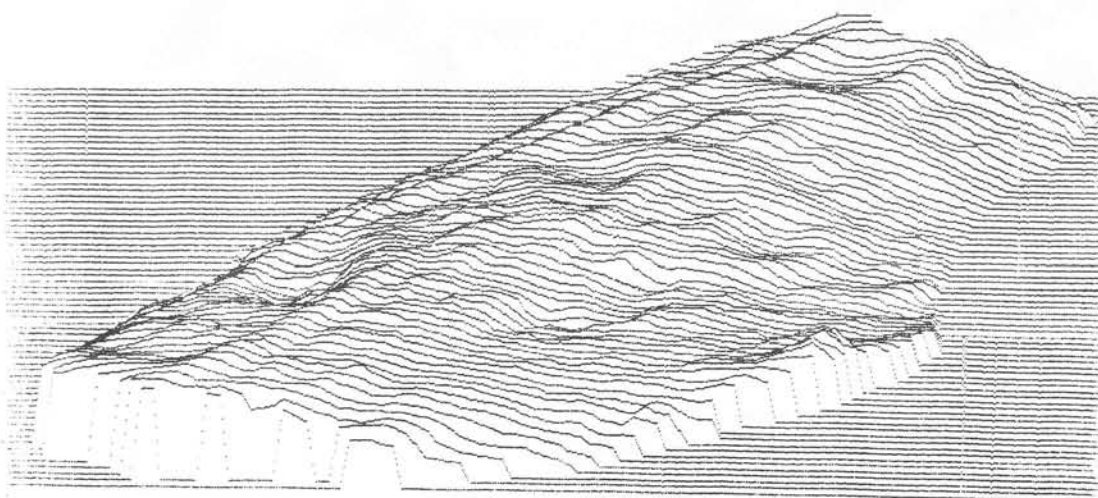


Fig 5. Uppmått yta på korroderat och eldskadat pressbleck.

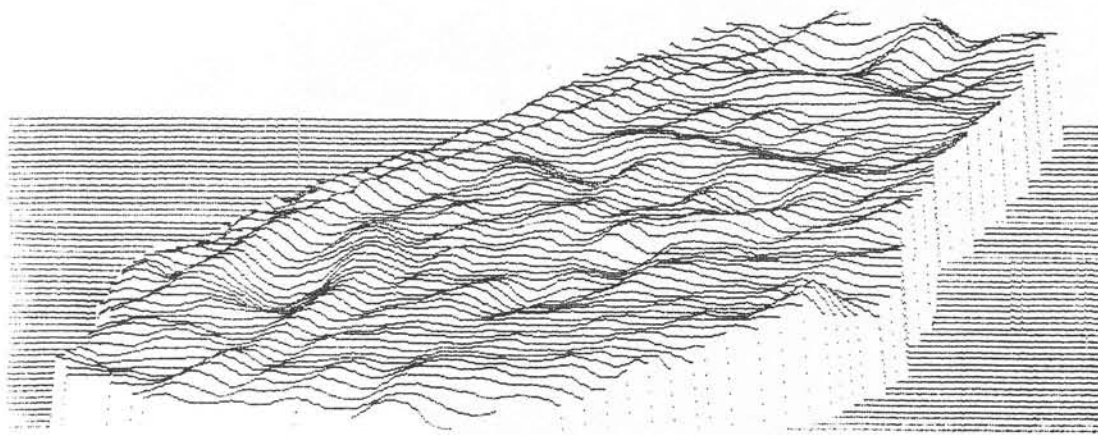


Fig 6. Datormodell av pressblecksytan efter det att höjdvariationer med ointressant storlek på utbredningen filtrerats bort samt höjdskalet ökat.



Fig 7 Pressblecksfragment från Uppsala östhög. Horisontellt ytsnitt från pressbleckets datamodell.

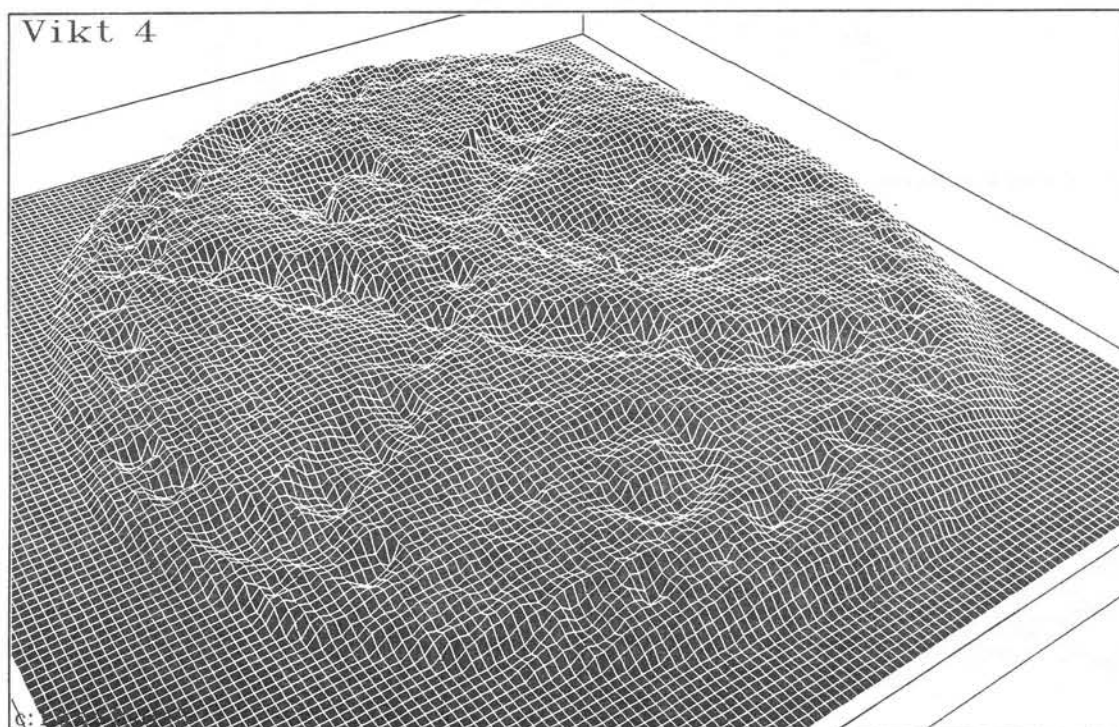


Fig 8. Detalj av vikingatida bronsmantlad vikt. Diameter ca 12 mm, linjeintervall 0.1 mm.

önskad delyta kan utväljas. Avbildningarna kan förses med måttskalor, x- och y-position för intressanta bildelement kan bestämmas, och måttsatta profiler genom objektet kan visas enligt fig 10. Fig 12 visar detaljbilder av de två ringformade märkena i profilen A-B. Märkena är ca 1.5 mm i diameter och höjdskillnaden mellan nivålinjerna är 0.015 mm. Figuren visar att märkena är gjorda med samma stämpel.

Ansluts datorn till en skrivare kan pappers- eller overheadbilder framställas av skärmbilden. Skärmbildens dåliga upplösning gör att det är olämpligt att direkt kopiera denna, i stället överförs mätdata och bildupbyggnad direkt till en laserskrivare, som då kan ge en bild med skrivarens maximala upplösning.

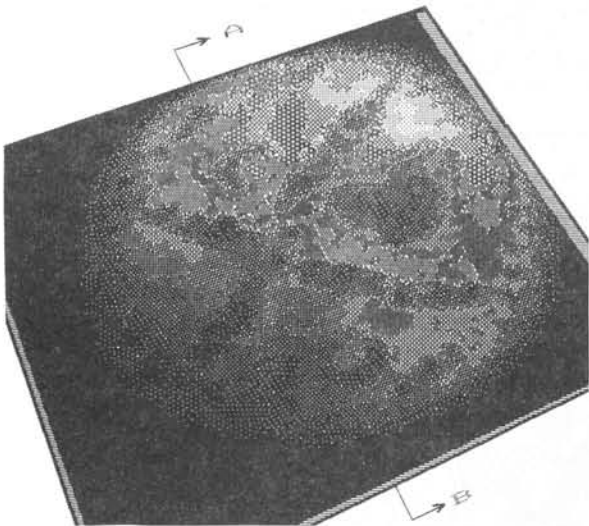


Fig 9. Samma yta som i fig 8 återgiven med höjdberoende gråskala.

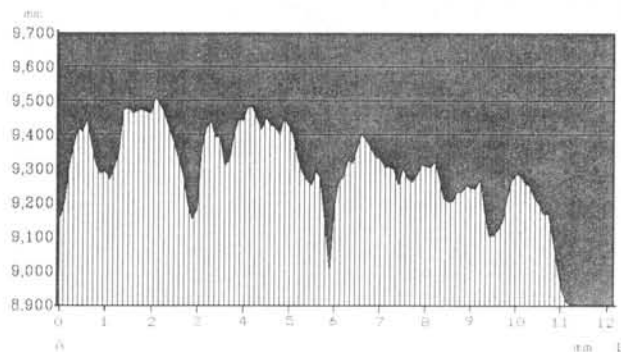


Fig 10. Profil från A till B i fig 9.

För att ge en bild med hög kvalitet fordras ett stort antal mätpunkter. Fig 8 och 9 visar den ena plana ytan av en vikingatida bronsmantlad järnvikt (UV 84128, Sigtuna nr 441) mätt med 0,1 mm mellan mätpunkterna. Den mätta ytan är ca 13 x 13 mm, dvs ca 17000 mätvärden. Mätvärdet fås som ett medelvärde av ett antal mätningar, som kan väljas beroende på noggrannhetskraven. I detta fall var det indikerade värdet medelvärde av 2048 mätningar av samma punkt! Tiden för den helautomatiska mätningen blev i detta fall ca 4 timmar. Något längre tid tar det att från datafilen printa bilden med laserskrivarens maximala upplösning, vilket ger helt rena linjer. Fig 8 är printad med 1/4 av denna linjära upplösning vilket tar

ca 20 minuter.

Datafilen med viktens mätvärden är på 168 Kb, dvs ca 8 st likartade ytor kan dokumenteras på en 3 1/2" diskett. Dokumentationen kan sedan återkallas på vilken dator som helst som har MS-DOS operativsystem, 1.4 Mb diskettdrive, och som försetts med "Boeing 3D" grafikprogram. Med grafikprogrammet kan då, genom val av betraktningvinkel, perspektiv, proportioner etc, den bild eller annan presentation framtas som bäst ger den önskade informationen.

## Planerade projekt

Primärt är utrustningen avsedd för att dokumentera ytstrukturer i anslutning till aktiv forskning. Närmast avses att studera hållristningars huggningsteknik, där en numerisk analys bör kunna komplettera tidigare forskning avseende kronologin (Burenhult 1980, Lindqvist 1978). Vidare avses att fortsätta med analys av runstenars huggmärken och spårprofiler och i samarbete med konsthistoriker söka finna kronologiska och provinsiella kopplingar till ornamentiken. En aktuell och mycket angelägen uppgift vore att analysera den av luftföroreningar orsakade vittringen av bl a stensulpturer. Genom att med tidsmellanrum mäta hur stenytan sjunker mellan två anbringade beständiga fixpunkter, kan vittringshastigheten bestämmas. Genom två mätningar med en månads mellanrum skulle t ex en vittring av 10 mm per århundrade (0,1mm/år) kunna bestämmas med bättre än 5 % noggrannhet. Anbringande av den tunga koordinatmaskinen direkt på en skulptur skulle medföra svårigheter, men utplacering av provbitar i olika miljöer och exponeringsförhållanden skulle göra det möjligt att konstruera en nedbrytningsmodell. Bl a skulle värdet av olika konserveringsmetoder kunna utvärderas.

Andra områden där utrustningen kan ge nya möjligheter är t ex för att konstatera stampidentitet hos mynt, om olika föremål är gjutna i samma gjutform eller för dokumentering av ytterst ömtåliga objekt t ex textil.

Genom att dokumentationen erhålls i numerisk form är ofta en objektiv statistisk behandling möjlig, inklusive beräkning av sannolikheter.



Fig 11. Författaren mäter av en runristning vid Husby Långhundra med den beskrivna apparaturen

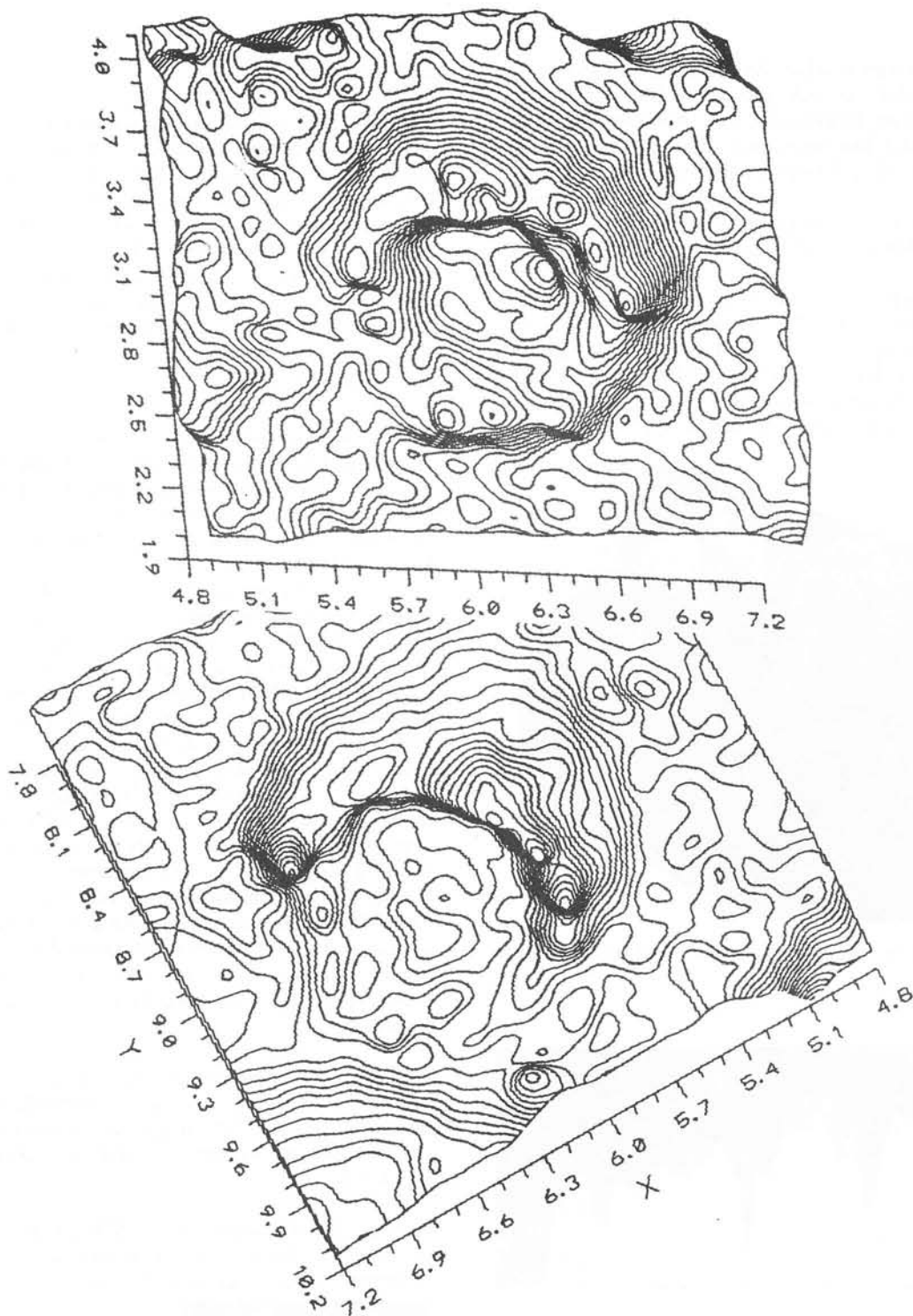


Fig 12. Stämpelidentitet hos de två ringformade märkena i profilen A-B. Märkenas diameter ca 1.5 mm, 0.015 mm mellan nivåkurvorna

## Referenser

- Burenhult, G. 1980. Götalands hällristningar I. *Theses and papers in North-European archaeology* 10.
- Freij, H. 1986. Viking ristade och Grimulf. *Laborativ arkeologi. Rapport från Stockholms universitets arkeologiska forskningslaboratorium* Nr 1.

- Lindqvist, C. 1978. *Älghuvudet i nordeuropeisk plastisk och hällkonst*. C1-uppsats, Arkeologiska inst. Stockholms universitet.