

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

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





POLHEM

TIDSKRIFT FÖR TEKNIKHISTORIA

1986/3

Innehåll

Årgång 4

Temanummer
ANTIKENS TEKNIK

| | | | |
|------------|---|------|-----|
| Uppsatser: | Carl Nylander: Homo Faber eller Astrogud? | Sida | 141 |
| | Örjan Wikander: Framsteg eller stagnation? Nyare strömningar i antik teknikhistoria. | | 145 |
| | Bjarne Huldén: Metallförvärv och järnutvinning under arkaisk tid i Grekland. | | 165 |
| | Thorkild Schiøler: Power Adjustment before James Watt. | | 191 |
| | Gunnar Pipping: Redan de gamla grekerna ... Antikytherafyndet i teknikhistoriens ljus. | | 202 |
| | Bjarne Huldén: Arkimedes och solstrålarna. | | 214 |
| | Bjarne Huldén, Kate Larsen, Olaf Pedersen: Aage Gerhard Drachmann (1891-1980): A bibliography. | | 222 |
| Notiser: | Urval ur kompletterande litteratur | | 229 |
| | Äldre litteratur i nytryck | | 229 |
| | Antikke afløbssystemer | | 230 |
| | Pompejis vandtårne | | 230 |
| ICOHTEC: | Kommande symposier | | 230 |
| | Författare i detta häfte | | 231 |

POLHEM

Tidskrift för teknikhistoria

Utgiven av Svenska Nationalkommittén för teknikhistoria (SNT)
Ingenjörsvetenskapsakademien, Box 5073, 102 42 STOCKHOLM
med stöd av Humanistisk-samhällsvetenskapliga forskningsrådet

ISSN 0281-2142

Redaktör och ansvarig utgivare

Jan Hult

Redaktionskommitté

Stig Elg

Svante Lindqvist

Wilhelm Odelberg

Sven Rydberg

Tryck

Vasastadens Bokbinderi AB, 414 59 GÖTEBORG

Omslag och rubriker: Svensk Typografi, Gudmund Nyström AB,
170 10 EKERÖ

Prenumeration

85 kronor/år (4 häften)

Beställes genom inbetalning på postgirokonto nr 599 05 - 0

Ange "IVA-konto 2412" på talongen.

Carl Nylander

HOMO FABER ELLER ASTROGUD?

"Mycket är mäktigt. Men intet
finnes mäktigare än människan".

Så låter Sofokles 441 f.Kr. kören i Antigone sjunga en tidig hymn till Homo Faber, den arbetande, den uppfinningsrika, den skapande och den sökande. Och mer än hundra års livlig fornforskning har så småningom kunnat allt bättre belysa denna tidiga människa, i Gamla och i Nya Världen, genom studier i språk och skrifter, i religion och konst och i den materiella verklighet som uppenbarats av en allt mer förfinad arkeologi. En nyanserad och mångskiftande bild av kulturens utveckling avtecknar sig. Fortfarande finns givetvis många problem, stora och små, och var generation finner nya frågor och infallsvinklar. Men i stort vågar man kanske säga att vi någorlunda väl känner de viktigaste etapperna på "den eviga vandringen uppåt". Och det är förvisso svårt att inte imponeras och även gripas.

Men för många räcker inte detta. Framför mig ligger en trave böcker som alla har det gemensamt att de inte nöjer sig med forskningens bild av människans kulturella utveckling. I stället presenterar dessa författare - Donnelly, Churchward, Spence, v.Dänichen, Hutin, Velikovski, Kjellson, Troeng, Falk, Berlitz och många andra - uppfattningar om människans förflutna som drastiskt skiljer sig från den mer eller mindre markerade konsensus som en internationell forskning kommit fram till.

Vari består då dessa avvikande uppfattningar? Det är inte lätt att ge någon samlad bild, men gemensamt för många av dem är antagandet av förekomsten av okända kulturer, ofta på försvunna kontinenter eller sjunkna öar, som varit mer högtstående än de av oss kända och vars skapande, dunkelt eller länge missförstått, ekar i mänsklighetens myter och gamla traditioner och skymtar i svårtolkade bildframställningar och artefakter. Här dyker upp namn som Atlantis, Lemurien och Mu och mycket annat, moderkontinenter av guldålders- och paradiskaraktär. Här skym-

tar också arkana vishetscentra i hjärtat av Tibet där mångtusent-årigt hemligt vetande om ande och materia har övervintrat och nu finns bevarat i väldiga, för västerlänningar hemlighållna bibliotek.

Somliga går än längre. Speciella tolkningar av urkunder som Gamla Testamentet, sumeriska myter, vediska och episka texter från Indien, egypternas Dödsbok, Mayafolkets Popol Vuh-dikt o.s.v. kombineras med enigmatiska bildframställningar och byggnadsverk som pyramiderna, Stonehenge, Baalbeck, inca-lämningar, påsköfigurer och mycket annat. Detta ger så bakgrund för uppfattningen att det finns odiskutabel evidens för att man i forntiden känt till avancerade tekniker och fenomen som radioaktivitet, laserstrålar, tyngdkraftsmodifikationer, atombatterier, flygteknik och rymdskepp, robotar och elektronik. Av några författare förs dessa resonemang vidare till en uppfattning att jorden i människans primitiva barndom gästats av rymdvarelser, som lämnat spår i mänsklighetens äldsta urkunder och monument, som lärt människan kulturell verksamhet och, i princip, lagt grunden för hennes utveckling som kulturvarelse, kanske via styrda genetiska manipulationer eller sexuella förbindelser.

Allt detta kan i förstone tyckas oförargligt och någon gång t.o.m. roligt, bortsett från det för facksysslaren provocerande i att det går ut i miljonupplagor, läses sönder i biblioteken och inbringar sina författare vida större summor än den mesta och bästa seriösa populärvetenskapen. Men det hela är nog inte så oförargligt. Det är påfallande hur ofta man ser denna litteratur klassificerad inte som "fiction" utan som "speculative archaeology", "non-fiction", "teknikhistoria" o.s.v. Alltså: såväl författare som läsare ser inte allt detta som en fantasi- lek och som en "science fiction baklänges" utan som en slags vetenskap. Och det är i hög grad olustigt! Det är nämligen fråga om en parodi på vetenskap, en skrattspegel av seriöst sannings- sökande.

Vad som utmärker dessa författare är en pseudo-vetenskaplig jargong parad med en markant brist på källkritik och vetenskaplig metod och med ett i just dessa sammanhang särskilt förödande, slappt användade av det viktiga kriteriet "likhet". Allt jämförs med allt för att etablera samband mellan alla slags rums-

ligt eller kronologiskt skilda fenomen. Komplexa och långsökta förklaringar ges företräde framför enkla och närliggande. Osovrade auktoriteter och källor från alla tider citeras, åberopas eller, som man inte sällan kan misstänka, uppfinns: "forskare hävdar", "arabiska lärde påstår", "sögner berättar", "egyptiska texter visar", "sanskriturkunder demonstrerar", "hemligstämplade dokument bevisar", etc. utan några som helst källhänvisningar. Tvärsäkra tolkningar och långsökta hugskott presenteras med aggressiva gliringar mot det "vetenskapliga etablissemang", mot de "överkloka" "dogmatikerna", som vägrar att acceptera de "bevis" som varje "opartisk icke-specialist" och "fördomsfri, ojävig läsare" kommer att se som övertygande. Fackfolket påläggs en mödosam omvänd bevisbörda: vederlägg detta, om ni kan!; det finns inga bevis för att det inte förhåller sig på detta sätt, o.s.v.

Här finns å ena sidan ett förakt för vetenskapens knegare och pedanter, å andra sidan ett upphöjande till auktoritet av varje person med någon form av formell forskande eller institutionell "legitimitet" som yttrar sig positivt om något hugskott eller själv trampar i klaveret på något annat fält än det egna. Men tyvärr är det ju så att vad en aldrig så rymdforskningskunnig NASA-ingenjör eller svensk flygdirektör säger om profeten Hesekiels keruber eller om indisk stridsflygkonst från 5000 f.Kr. inte har mer vetenskapligt värde än vad en nobelpristagare i fysik menar om Gud eller en i medicin om den egyptiska Dödsboken.

Detta påpekande är inte att fatta som kulturvetenskaplig facksnorkighet och ovilja mot amatörer, en kategori som betygt och kan betyda mycket för att öppna nya vägar. Men det avser att understryka att i det vetenskapliga samtalet gäller inte titlar, institutioner, berömmelse eller högljutt ropande utan bara vägande av evidens och kritisk granskning av resonemang. Och det är en källa till bekymmer då en större publik förleds att tro att detta är sättet på vilket vetenskaplig diskussion förs och sanningar eller sannolikheter etableras. Dessa författares irrationella och okritiska ovetenskaplighet leder bort från varje förståelse av det vetenskapliga arbetets väsen och villkor.

Efter att länge ha ryckt på axlarna åt allt detta börjar det ve-

tenskapliga samhället bli medvetet om den våg av irrationalitet och mystik som invaderar allt fler fält, alltifrån fornforskningen till fysiken. I flera länder har man börjat gå till motattack, att argumentera och debattera. Detta kan vara tröttsamt men ter sig nödvändigt. Och det är här som just teknikhistorikerna kan göra en viktig insats.

Bland de viktigaste länkarna i irrationalisternas resonemangskedjor är just fornkulturernas imponerande tekniska skapelser, främst då de stora byggnadsverken med deras kombination av maktighet och precision. Det är inte minst dessa verk som får fantasterna att söka förklara dem med antaganden om rymdvarelser eller avancerade teknologier som sedan gått förlorade. Och denna drift att mystificera eller kosmifiera aspekter av det förgångnas mödor resulterar i en avhumanisering av människans historia, att man stänger sig för det djupt imponerande för att inte säga gripande i människans uppfinningsförmåga och i hennes hängivenhet i att med enkla medel och med stort tålamod söka gestalta en idé, lösa svåra tekniska problem för att skapa storartade och komplexa verk.

Ofta kan dessa galenskaper skrivas därför att författarna inte känner till den mängd forskningsvetande som ändå finns, men inte sällan kan det ske därför att forskningen ännu inte eller endast otillräckligt bearbetat vissa intressanta problem och fört ut resultaten till en bredare publik. Det finns t.ex. för få böcker som de utmärkta volymerna av Sven Ove Hansson, *Vetenskap och ovetenskap - Om kunskapens hantverk och fuskverk* (Tiden 1983) och Sigvard Strandh, *Från pyramid till laser - Ur teknikens historia* (Natur och Kultur 1985). Här är det viktigt att en publikation som *POLHEM* kommit till och att man nu också ger ut ett nummer om antik teknik, ett angeläget fält att arbeta på och förmedla kritisk kunskap från: dels för att det är av fundamentalt intresse, dels för att det är ett av de konfliktområden där ovetenskaplighet och ohistorisk irrationalitet idag gör sig breda. Teknikhistoriker på alla fält, förenen eder!

Örjan Wikander

FRAMSTEG ELLER STAGNATION?

NYARE STRÖMNINGAR I ANTIK TEKNIKHISTORIA

Antikens teknikhistoria är ingen ung vetenskap, men den har länge varit sällsamt eftersatt. Från 1800-talsforskningens hop-samlade av material ur de klassiska auktorerna, så som det bäst dokumenterats i Hugo Blümners Technologie und Terminologie der Gewerbe und Künste bei Griechen und Römern (4 volymer, 1875-1887) fram till och med 1950-talet tillfördes anmärkningsvärt få nya fakta, och få mera djuplodande analyser gjordes av den antika utvecklingen. Inte heller gynnades spridningen av den kunskap som faktiskt fanns av populärvetenskapliga verk av hög kvalitet. Handböcker rörande teknikhistoria i allmänhet berörde normalt antikens teknik endast i förbigående, och de skrifter som efter Blümner var specialiserade på detta fält var i allmänhet behäftade med allvarliga brister. Ett stort inflytande fick Franz Feldhaus, som sedan 1910-talet i en rad verk spred delvis osakliga och obevisade påståenden till envid läsekrets. Bristen på vederhäftiga standardverk i ämnet bär nog en viss del av skulden för de framgångar som senare rönts av fantastaster som Henry Kjellson (Forntidens teknik, 1956) och Erich von Däniken, vilka överfört förhistoriens och antikens teknikhistoria till fantasiens värld. cf. Carl Nylander, POLHEM 4 (1986), 141-144.

Under 1950-talet möter vi åtminstone en ambition att förbättra förhållandena. Robert J. Forbes försökte med sina Studies in ancient technology (9 volymer, 1955-1964) skapa en heltäckande handbok rörande antik teknik i alla dess aspekter, men hans bristande kunskaper i klassiska språk i kombination med en påfallande omedvetenhet om nyare arkeologiska rön gör tyvärr, vissa goda analyser till trots, verket i dess helhet alltför otillförlitligt. Något bättre i detta avseende är de båda första volymerna av det av Charles Singer och andra utgivna samlingsverket A history of technology (1956-1957), men här har i stället den långt drivna uppsplattningen av materialet omöj-

liggjort en djupare analys av den tekniska utvecklingen.

Med sina obestridliga förtjänster och sina lika påtagliga brister är dessa båda standardverk från 1950-talet symptomatiska för den antika teknikhistoriens dilemma. Medan Blümner verkade vid en tidpunkt då också ingenjörer och tekniker kunde förväntas besitta kunskaper i latin och grekiska, är kombinationen av klassisk och teknisk bildning numera så sällsynt att vi inte längre kan räkna med den som en realitet. I praktiken bedrivs studiet av antikens teknik sedan lång tid tillbaka inom två skilda discipliner med nära nog vattentäta skott mellan sig. Ingenjörer utan djupare kunskaper i klassiska språk eller antik historia och klassiska arkeologer eller historiker med obetydliga insikter i teknikens elementa strävar var för sig att fördjupa vårt vetande om antikens teknik. Arbetet försvåras i båda fallen av allvarliga kunskapsbrister, och det hämmas ytterligare av att resultaten ofta inte når utanför den egna kretsen. Tekniker och klassiker publicerar sina resultat i olika tidskrifter, och ett studium av notapparater och bibliografier visar med all önskvärd tydlighet hur starkt beroendet av den egna forskningstraditionen normalt är.

Bland klassiska arkeologer och historiker tillkommer ännu en hämmande faktor. Sedan länge möter vi här en allmänt vedertagen uppfattning om antiken i allmänhet, och den romerska kejsartiden i synnerhet, som en period med få och långsamma tekniska framsteg, för att inte säga ren stagnation. Framför allt har denna bild utformats av forskare som Lynn White, (1962) och Moses I. Finley (1965), men inte heller i den mera måttfulla form som representeras av t.ex. H.W. Pleket (1973) utgör den någon uppmuntran för den som till äventyrs skulle vilja söka efter nya evidens för tekniska framsteg i den antika världen.

Ändå har mycket hänt under det senaste kvartsseket. Forskare från det tekniska såväl som det klassiska fältet har i en lång rad artiklar och monografier lagt grunden för en ny uppskattning av den antika världens tekniska utvecklingsnivå. Under de senaste åren har denna forskning också börjat sammanfattas i nya handböcker, som därtill i många avseenden positivt skiljer

sig från sina ofta otillförlitliga föregångare. Jag vill här särskilt framhäva tre: D.E. Strongs och P.D.C. Browns samlingsverk rörande viktigare romerska hantverk (1976), John Landels' ingående studie rörande grekisk och romersk ingenjörskonst (1978), samt Kenneth D. Whites brett upplagda översikt över den grekisk-romerska teknologien i allmänhet, med dess uttalade strävan att sätta in fakta på deras plats i den allmänhistoriska utvecklingen (1984).

Mer eller mindre uttömmande förteckningar över studier kring antik teknik i alla dess former står att finna i de årliga bibliografier som publiceras i tidskriften Technology and Culture och framför allt i antikbibliografierna Archäologische Bibliographie och L'Année Philologique. Ett ovärderligt arbetsinstrument utgör den omfattande, kommenterande bibliografi som just publicerats av John P. Oleson (1986). Här kommer jag av praktiska skäl att koncentrera min framställning till de framsteg som gjorts inom ett begränsat antal forskningsområden av särskilt intresse.

1. ENERGIRESURSER

R.J. Forbes har äran av att först ha ingående diskuterat och analyserat de energiresurser som faktiskt och potentiellt stod till förfogande för antikens människor: muskelkraft, människors och djurs, vattenkraft, vindkraft och ångkraft. Diskussionen har förts vidare av bl.a. Drachman (1965), Halleux (1977) och White (1984, sid 49-57), men viktigare för vår förståelse av de antika produktivkrafternas utveckling och begränsning är de studier som ägnats specifika former av kraftutnyttjande.

Av avgörande betydelse för möjligheterna att effektivt utnyttja djur- och vattenkraft blev en rad revolutionerande uppfinningar som under de sista århundradena f.Kr. gjorde det möjligt att omvandla olika slag av rörelser. Med hjälp av kugghjul kunde man öka eller sänka hastigheten på en roterande rörelse och förvandla den från horisontell till vertikal eller tvärtom (Drachmann 1963, i synnerhet sid. 200-203; Price 1974, sid 50-60). Med en kam på en hjulaxel kunde man åstadkomma en intermittent rörelse, t.ex. driva en fallhammare. En skruv (Kiechle

1969, sid. 20-44) kunde förvandla en roterande rörelse till en lineär.

Samtidigt skapades en rad maskiner, där djur i en vandring kunde utföra ett arbete som tidigare måst utföras av människor: den "pompejanska" timglaskvarnen för malning av mjöl; en roterande degknådningsmaskin lämpad för större bagerier; trapetum, en "edge-runner mill" för att krossa oliver; och sāqiyan, som med hjälp av en rätvinklig kugghjulsutväxling och ett paternosterverk lyfte vatten till en högre nivå. Det är naturligtvis inte någon slump att alla dessa maskiner är inriktade på agrar produktion och står i direkt samband med behovet av ökad effektivitet inom jordbruket under hellenistisk tid (Wikander 1984, i synnerhet sid. 8-9).

Sāqiyan och det vattenkraftsdrivna vattenuppfodringshjulet fick sin första ingående presentation av Thorkild Schiøler (1973), som kunde visa vilken betydelse dessa maskiner har haft i den antika världens ekonomi. Hans arbete har fortsatt av John P. Oleson (1984), vars monumentala verk om grekiska och romerska vattenuppfodringsmaskiner förutom ingående analyser av utvecklingen också ger en fullständig katalog över existerande evidens, arkeologiska såväl som skriftliga (de senare också i engelsk översättning), för alla maskiner av detta slag. Materialets omfattning och geografiska spridning ger oss en helt ny bild av denna tidigare tämligen okända teknik.

Vattenkraftens betydelse för mjölmalningen under den romerska kejsartiden, som också den länge varit kraftigt underskattad, har på senare år blivit föremål för en rad studier. Förutsättningarna för teknikens uppkomst har analyserats utifrån delvis nya utgångspunkter (Reynolds 1983, sid. 14-30; Smith 1984), och en noggrann genomgång av till buds stående källmaterial har lett till allvarliga tvivel på riktigheten av den etablerade uppfattningen att vattenmøllan saknat betydelse i den antika världen (Wikander 1980, 1984, 1985). Inte heller tycks utnyttjandet av vattenkraft ha varit så helt isolerat till vattenlyftning och mjölmalning som man tidigare tagit för givet. Förekomsten av vattenkraftsdrivna stensågar åtminstone sedan 300-talet e.Kr. kan nu anses bevisad, och antydningar finns om ytterliga-

re användningsområden (Wikander 1981).

Med undantag för segelbåten känner vi endast ett exempel på utnyttjande av vindkraft i den antika världen. Heron av Alexandria presenterade under första århundradet e.Kr. en pneumatisk orgel driven av väderkvarnsvingar. Samme vetenskapsmans stod också bakom antikens enda ångmaskin, den i modern litteratur ofta omnämnda och rekonstruerade "Heron's ångkula". Först Landels (1978, sid. 28-30) har genom praktiska experiment kunnat förvisa denna uppfinning till dess rätta plats i teknikhistorien. Det rörde sig aldrig om en potentiellt användbar ångmaskin, som antikens människor av okänd anledning avstod från att dra nytta av. Heron's ångkula saknade tekniska förutsättningar att utvecklas till något annat än den redan var - en leksak utan praktisk tillämpning.

2. SJÖTRANSPORT

Medan våra kunskaper om antikens landtransportväsen fördjupats i många avseende under de senaste decennierna (god översikt i White 1984, sid. 127-140), har studiet av sjöfartens utveckling varit föremål för en fullständig revolution. Med hjälp av nya dykmetoder och avancerad teknisk utrustning har en helt ny vetenskapsgren vuxit fram, marin arkeologien, som möjliggjort detaljerade undersökningar av de oräkneliga vrak från bronsåldern och framåt som vilar på Medelhavets botten (Bass 1966, 1972). Tekniken utarbetades redan under 1950-talet och har därefter skänkt oss ett ovärderligt material för studiet inte bara av fartygens tekniska konstruktion utan också av deras last - och har därmed blivit en första rangens källa till kunskap rörande antikens handel. Mängden av kända, registrerade eller undersökta, antika skeppsvrak ökar ständigt och blir allt mera oöverskådlig; en databaserad katalog är under utarbetande (Parker & Painter 1979).

Medan vi ännu bara en generation tillbaka var hänvisade till avbildningar och litterära beskrivningar vid försöken att rekonstruera antika skepp, kan dessa källor nu kompletteras med välbevarade delar av fartygen själva, vilka ger oss en långt mera konkret bild av deras konstruktiva detaljer och dimensioner.

Vrakfynden tillåter oss att följa tekniska framsteg som t.ex. de förbättrade kölar och effektivare ankare som spelade en viktig roll för sjöfartens uppblomstring under hellenistisk och romersk tid. Vad storleken beträffar tycks en lastkapacitet om ca 150 ton ha varit normal, och siffror upp emot 500 ton är långt ifrån ovanliga (Casson 1971).

Bland de nyare rön som inte är direkt baserade på marinarkeologien vill jag framför allt framhäva ett. Den vedertagna uppfattningen att antikens sjöfarare inte förmådde utnyttja tekniken att kryssa tycks sakna grund. De segel som användes lät sig med fördel utnyttjas för detta ändamål, och en rad indier ger oss snarare skäl att tro att kryssandet var en fast etablerad metod redan i den antika världen (Casson 1971, sid. 273-295). Inte minst torde denna teknik ha varit en av förutsättningarna för den utvecklade hellenistisk-romerska handeln, om vars omfattning vi först på senare år kunnat göra oss en verklig uppfattning (D'Arms & Kopff 1980).

De större och tyngre lastfartyg som blev vanliga under hellenistisk tid ställde också nya krav på hamnanläggningarna. Redan från 600- och 500-talen f.Kr. känner vi exempel på att de naturligt skyddade hamnar som grekerna så långt möjligt utvalde kunde kompletteras med artificiella pirar och dylikt. Det var dock först från 300-talet f.Kr. som större, djupare och bättre utrustade hamnar började bli vanliga kring Medelhavet. Med nya pirar, fyrorn och omfattande magasinskomplex effektiviserades insegling och omlastning och anpassades till den nya tidens krav. En rad viktiga studier av antika hamnar pågår för närvarande, i många fall med hjälp av marinarkeologisk expertis (Blackman 1982; Raban 1985). Så är fallet t.ex. med den väldiga hamnanläggningen vid Caesarea Maritima i Palestina och en av Korinths hamnar i Kenchreai (Scranton et al. 1978). Viktig är också den första detaljerade studien av Roms kejsartidshamn Portus nära Ostia (Testaguzza 1970).

Med hänsyn till de svårigheter som var förknippade med all frakt av tyngre gods till lands möter vi ända fram till järnvägarnas genombrott en strävan att så vitt möjligt använda sjötransportmedel också i inlandet, med utnyttjande av segelbara

vattendrag och grävande av artificiella kanaler. Traditionerna går här långt tillbaka i tiden, och den klassiska litteraturen ger oss en rad exempel på anmärkningsvärt ambitiösa projekt - särskilt i romersk tid då man exempelvis på allvar övervägde att förbinda Mosel med Saône för att skapa en direkt kontaktled mellan Atlanten och Medelhavet. Frågan har emellertid ägnats förvånansvärt ringa intresse i den moderna forskningen, och vi vet mycket lite om hur de tekniska problemen med ibland ganska kraftiga nivåskillnader kunde lösas. En viktig pionjärstudie har utförts av Smith (1978), som presenterar det tillgängliga materialet och definierar de tekniska frågeställningarna.

Amatörarkeologen Raymond Selkirk (1983) framlägger, med utgångspunkt från fältundersökningar i norra England, hypotesen att också små, snabbflytande vattendrag kan ha gjorts seglingsbara för mindre fartyg med hjälp av ett system av slussar. Boken leder en påtaglig brist på vetenskaplig underbyggnad, men den är ändå värd att tas på visst allvar då den antyder nya och utomordentligt intressanta möjligheter. Med hänsyn till landtransporternas dyrbarhet i det romerska riket (uppskattad till mer än femtio gånger kostnaden för sjötransport) förefaller det ingalunda otänkbart att också tämligen dyrbara investeringar kan ha ansetts motiverade för att enklare föra fram nödvändiga förråd till de romerska militärförläggningarna i området.

3. HYDRAULIK

Hanterandet av vatten i alla dess former är kanske det fält där den antika, framför allt den romerska, ingenjörskonsten firade sina största triumfer. Behovet av konstbevattning inom jordbruket i Sydvästasien och Egypten hade redan tidigt tvingat fram en avancerad teknik inom detta område, och den klassiska stadskulturen ställde motsvarande krav i fråga om effektiv vattenförsörjning till de växande storstäderna. Bäst känner vi sedan gammalt förhållandena i Rom, men genom en rad detaljundersökningar äger vi numera tämligen omfattande kunskaper om vattenförsörjningssystemen i den antika världen. Som exempel kan nämnas Burns' (1974) studie av de grekiska kolonistäderna Syrakusai och Akragas på Sicilien. Fahlbusch (1982) presenterar en jäm-

förande undersökning av de grekiska och romerska systemen och ger en intresseväckande introduktion till hela problematiken.

En uppfinning som diskuterats åtskilligt på senare tid är "den omvända häverten", som utnyttjades av både grekiska och romerska ingenjörer för att leda vatten över djupa dalar. Längre var ledningen till Pergamon i västra Mindre Asien det enda arkeologiskt kända exemplet (Garbrecht 1978), men vi vet nu att sådana ledningar förekom på många håll där större djup än 50 meter gjorde brobyggande svårt och riskfyllt (Smith 1976; Hodge 1983).

Betydelsefulla för vattenförsörjningen var också de väldiga dammar eller dalspärrar som under kejsartiden och senantiken uppfördes över stora delar av det romerska imperiet (Smith 1971; Schnitter 1978). De är kända framför allt från Sydvästasien, men flera välbevarade exempel finns också i Västeuropa, i synnerhet på den Iberiska halvön (Garcia-Diego 1977).

Påfallande ringa intresse har ägnats den andra sidan av vattenförsörjningen, hanteringen av avloppsvattnet. Imponerande dränerings- och kloaksystem förekommer i både grekiska och romerska städer, men våra kunskaper om dem är fortfarande begränsade. Särskilt intresse har också här av hävd ägnats förhållandena i Rom (Mocchegiano Carpano & Rossicarelli 1984); den mest ingående moderna studien berör den norditalienska staden Pavia (Tomasselli 1978).

Vattenuppföringstekniken har berörts redan tidigare (avsnitt 1). Också de stora vattenhjul som kom till användning vid dräneringen av romerska gruvschakt behandlas ingående av Oleson (1984, i synnerhet sid. 342-347). De från antik litteratur bekanta tryckpumparna, som länge uppfattades mest som en intellektuell lek bland hellenistiska vetenskapsmän, har visat sig ha en vid praktisk tillämpning - för dränering av gruvor, som länspumpar på fartyg, brandsprutor, o.s.v. Ett antal välbevarade bronspumpar har publicerats av Schiøler (1980) och tekniken diskuteras vidare av Oleson (1984, i synnerhet sid. 301-325).

4. JORDBRUKSTEKNOLOGI

Vår kännedom om det romerska åkerbruket har alltid varit väl utvecklad till följd av ingående beskrivningar i den antika litteraturen, framföra allt de bevarade jordbrukshandböckerna. De stora framsteg som ändå gjorts inom området, genom en kombination av arkeologiska fynd och förnyad analys av de klassiska källorna, är framför allt en enskild forskares förtjänst, K.D. White (1967a, 1970, 1975), som i en lång rad skrifter lagt en helt ny grund för vår kunskap om det antika jordbruket i allmänhet, och i synnerhet de redskap som kom till användning där. Viktiga bidrag har också lämnats av Kolendo (1980), som utifrån en marxistisk analys diskuterar förhållandet mellan agrar produktivitet och de enligt hans uppfattning påfallande få tekniska framstegen inom området.

Ett stort antal specialstudier har ägnats de viktigare enskilda jordbruksmaskinerna. Uppkomsten av den tunga hjulplogen, som vi först känner från Po-, Rhen- och Donau-dalarna i den romerska kejsartidens början, har senast studerats av Forni (1980), harvens spridning och genombrott av Kolendo (1971). Särskilt intresse har ägnats de åsne- eller oxdrivna skördemaskiner, vallus och carpentum, vars existens tydligt framgår av den klassiska litteraturen men om vars utseende och funktion man tidigare vetat mycket lite. Sedan 1958 har ett antal reliefavbildningar av sådana maskiner upptäckts och identifierats, varigenom förutsättningar äntligen skapats för detaljerade rekonstruktioner (White 1967b).

Vad mjölmalningen beträffar förblir standarverket Moritz' (1958), som först klargjorde de grundläggande stadierna i antikens kvarnutveckling - framför allt det då helt omvälvande faktum att vridkvarnen tycks ha introducerats så sent som på 200-talet f.Kr. Vattenmöllans utveckling har diskuterats ovan (avsnitt 1). Förvaringstekniken i kornbodar och spannmålsmagasin studeras ingående av Rickman (1971).

5. BYGGNADSTEKNIK

Litteraturen om antik arkitektur är omfattande och svåröverskådlig. Till största delen utgår den dock främst från estetiska bedömningsgrunder, medan studier av mera uppenbart teknisk natur är långt mindre vanliga. För de grundläggande konstruktionsmaterialen och deras behandling finns en rad goda handböcker, för den grekiska arkitekturen författade av Martin (1965) och Orlandos (1966-1968), för den romerska av Adam (1984). Studiet av byggnadsinskrifter, framför allt från Athen och Epidauros, har ökat vår förståelse av de grekiska arkitekternas insats, organisationen av de deltagande hantverkarna och inte minst de ekonomiska förutsättningarna för byggnadsverksamheten (Burford 1969; Coulton 1977).

Betydelsefulla vid uppförandet av de stora grekiska templen var de förbättrade lyftkranar som framkom, troligen redan mot slutet av 500-talet f.Kr. (Coulton 1974). Det är dock först i romersk tid vi med hjälp av litterära beskrivningar och avbildningar har möjlighet att skapa oss en mer detaljerad bild av dessa kranars funktion (Landels 1978, sid. 84-98). För de grekiska templens takkonstruktioner av trä förblir Hodge (1960) ett standardverk.

En omvälvning i byggnadstraditionerna ägde rum i både Grekland och Italien på 600-talet f.Kr. i samband med tegeltakets införande. De tunga takteglarna krävde kraftigare väggkonstruktioner och, om inte nödvändiggjorde, så åtminstone uppmuntrade till rätvinkliga grundplaner. Tegeltaket är en av de antika nyskapelser som uppvisar de mest obrutna traditionerna ända in i vår egen tid, men dess betydelse till trots har vi först på senaste tid börjat få mera ingående kännedom om dess funktion och tekniska förutsättningar (McWhirr 1979). Om tillverknings-tekniken också i äldsta tid, 600- och 500-talen f.Kr., vet vi numera betydligt mera (Rystedt *et al.* 1986), inte minst genom praktiska tillverkningsexperiment omfattande såväl enkla taktegel (Rostoker & Gebhard 1981) som figurdekorerade takterrakottor (Hostetter 1981).

Den fundamentala skillnad som föreligger mellan grekisk och romersk arkitektur baserar sig i tekniskt avseende framför allt på två faktorer, valvslagningstekniken och betonggjutningen, vilka i kombination öppnade möjligheter för helt nya rumsskapande effekter. En föredömlig analys, med utgångspunkt från detaljundersökningar av ett antal typiska monument, står att finna hos MacDonald (1965). Valvslagningsteknikens bakgrund i den grekiska (och ytterst sydvästasiatiska) världen diskuteras av Boyd (1978), medan Coarelli (1977) framlägger nya synpunkter på dateringen av betonggjutningens genombrott i Rom.

6. METALLURGI

De senaste decennierna har bevittnat en revolutionerande utveckling av våra kunskaper rörande antik bergshantering och metallbearbetning. Analyser och tekniska undersökningar av enskilda föremål såväl som större föremålsgrupper har fördjupat och i många fall drastiskt förändrat vår uppfattning om de processer som kommit till användning. Mängden av publikationer är överväldigande. En tillförlitlig introduktion till hela problematiken lämnas av Healy (1978).

Genom arkeologiska undersökningar av en rad antika gruvor har de förändrade brytningsmetoderna kunnat följas från bronsåldern ända in i medeltiden. Den grekiska utvecklingen känner vi bäst från Athens silvergruvor i Laurion, som vi kan studera från dagbrytningen i äldsta tid till de upp till 125 meter djupa schakt som tillkom på 300-talet f.Kr. Närmare 2.000 vertikala schakt är kända inom området (Conophagos 1980; Jones 1982). Den omfattande etruskiska gruvindustrien belystes i en rad inlägg vid en etruskologisk kongress i Florens 1979 (Neppi Modona 1981). Romerska silver- och guldgruvor i Spanien har studerats av bl.a. Bird (1972) och Jones (1980).

Den varierande innebörden av begreppet "brons" har blivit uppenbar i och med de många kemiska analyser som på senare år kunnat utföras på föremål från skiftande tider och platser och med skiftande funktion. Legeringens sammansättning varierar påtagligt (Craddock 1976, 1977), och inom en grupp föremål är zinkandelen så hög att vi måste tala om mässing (Craddock 1978).

Järnets successiva inträngande mot slutet av det andra årtusendet f.Kr. tycks till en början inte ha berott så mycket på dess överlägsna egenskaper; det torde tvärtom ha accepterats motvilligt och endast av det skälet att handelns tillbakagång resulterade i en akut brist på tenn som legeringsmetall till bronzen. Först sedan 900-talet f.Kr. började järnet bli verkligt attraktivt genom en förbättrad bearbetningsteknik (Wertime & Muhly 1980). Järnframställningens praktiska problem diskuteras i en rad artiklar av Cleer, som bland annat beskriver experiment gjorda i kopior av romerska kejsartidssmedjor (1971). Exempel på framställning av stål redovisas av Congdon (1971).

Denna genomgång har behandlat ett litet urval skrifter från ett begränsat antal forskningsområden. Den torde dock räcka mer än väl för att visa hur illa dessa nyare rön rimmor med den etablerade bilden av antiken som en period utan väsentliga tekniska framsteg. En rad forskare har också på senare tid rest tvivel mot denna bild, åtminstone i den extrema form den normalt brukar presenteras.

I sammanfattningen till sin översikt över den antika tekniken påpekar K.D. White (1984, sid. 172-173) att Lynn White, Moses Finley och deras efterföljare alltför ensidigt koncentrerat sin uppmärksamhet på principiellt avgörande uppfinningar och nästan helt ignorerat det omfattande utvecklingsarbete för praktisk användning som ägt rum inom dessas ramar. Kiechle (1969) betonar de stora framsteg som gjordes inom en rad specifika områden, byggnadsteknik, keramik., glas- och brödproduktion, o.s.v., under hellenistisk tid och den romerska kejsartidens första århundrade. Först därefter skulle tillbakagång och stagnation ha inträtt. Oleson beskriver de storartade insatser som gjordes inom vattenuppfodringsområdet, men avslutar sin framställning (1984, sid. 397-408) med att betona hur atypisk denna utveckling enligt hans uppfattning var. Mina egna arbeten rörande antikens vattenkraftsutnyttjande har lett mig till liknande resultat (Wikander (1984), men i motsats till Oleson är jag inte beredd att utan vidare avfärda dem som atypiska. När den ena specialundersökningen efter den andra utmynnar i kraftigt ökad respekt för antikens insatser inom det aktuella området, före-

faller det finnas all anledning att fråga sig om inte den påstådda bristen på framsteg i övrigt kanske främst beror på vår egen okunnighet.

Okunniga är vi nämligen - högst okunniga. Ett allvarligt metodiskt fel i många av de framställningar som betonar antikens låga tekniska utvecklingsnivå är grunduppfattningen att det som inte finns omnämnt i den klassiska litteraturen heller inte kan ha existerat. I själva verket vet vi blott alltför väl hur ringa intresse grekiska och romerska författare i gemen ägnade uppfinningar av teknisk art (även dem som obestriddligen fanns), och av de skrifter vi känner till som specifikt koncentrerades på sådana frågor har ett försvinnande litet urval blivit bevarat till vår tid. Arkeologien utgör ett viktigt komplement, men länge spelade den en mycket begränsad roll av den enkla anledningen att rester av tekniska detaljer normalt kräver specialkunskaper för att låta sig identifieras.

Ett talande exempel på detta problem utgör den s.k. Antikythera-maskinen, en komplicerad mekanism av kugghjul och andra detaljer i brons som påträffades redan år 1900, men som först 1958 kunde identifieras som ett avancerat astronomiskt navigationsinstrument cf. Gunnar Pipping, POLHEM 4 (1986), 202. Maskinen är intressant inte bara i sig utan framför allt, såsom framhålles av Price (1974), som det enda exemplet på en lång teknisk tradition som överhuvud taget inte finns omnämnd i bevarad litteratur förrän mer än tusen år senare.

Om vi verkligen vill skapa oss en sann bild av antikens tekniska nivå, finns det bara en sak att göra; vi måste befria oss från alla förutfattade meningar om "stagnation" och "tillbakagång", för att i stället erkänna hur lite vi faktiskt vet och leta efter nya fakta var helst de kan dölja sig - i museimagasin såväl som vid nya arkeologiska utgrävningar. De senaste decenniernas forskning inger gott hopp för framtiden.

Bibliografi

- Adam 1984 Jean-Pierre Adam, La construction romaine: Matériaux et techniques, Paris 1984.
- Bass 1966 George F. Bass, Archaeology under water, London & New York 1966.
- Bass 1972 George F. Bass (ed.), A history of seafaring based on underwater archaeology, London & New York 1972 (svensk upplaga: Sjöfartens historia baserad på undervattensarkeologi, Malmö 1974).
- Bird 1972 D.G. Bird, "The Roman gold mines of North-West Spain", Bonner Jahrbücher 172, 1972, 36-64.
- Blackman 1982 D.J. Blackman, "Ancient harbours in the Mediterranean", International Journal of Nautical Archaeology 11, 1982, 79-104 och 185-211.
- Boyd 1978 Thomas D. Boyd, "The arch and the vault in Greek architecture", American Journal of Archaeology 82, 1978, 83-100.
- Burford 1969 Alison M. Burford, The Greek temple builders at Epidauros, Liverpool 1969.
- Burns 1974 A. Burns, "Ancient Greek water supply and city planning: a study of Syracuse and Akragas", Technology and Culture 15, 1974, 289-412.
- Casson 1971 Lionel Casson, Ships and seamanship in the ancient world, Princeton, N.J. 1971.
- Cleere 1971 Henry F. Cleere, "Ironmaking in a Roman furnace", Britannia 2, 1971, 203-217.
- Coarelli 1977 Filippo Coarelli, "Public building in Rome between the second Punic war and Sulla", Papers of the British School at Rome 45, 1977, 1-23.
- Congdon 1971 L.O. Keene Congdon, "Steel in Antiquity; A problem in terminology", Studies presented to G.M.A. Hanfmann (ed. by D.G. Mitten, J.G. Pedley & J.A. Scott), Mainz 1971, 17-27.

- Conophagos 1980 Constantin E. Conophagos, Le Laurium antique et la technique grecque de la production de l'argent, Athenes 1980.
- Coulton 1974 J.J. Coulton, "Lifting in early Greek architecture", Journal of Hellenistic Studies 94, 1974, 1-19.
- Coulton 1977 J.J. Coulton, Ancient Greek architects at work. Problems of structure and design, London 1977.
- Craddock 1976 Paul T. Craddock, "The composition of the copper alloys used by the Greek, Etruscan and Roman civilizations. 1. The Greeks before the Archaic period", Journal of Archaeological Science 3, 1976, 93-113.
- Craddock 1977 Paul T. Craddock, "The composition of the copper alloys used by the Greek, Etruscan and Roman civilizations. 2. The Archaic, Classical and Hellenistic periods", Journal of Archaeological Science 4, 1977, 103-123.
- Craddock 1978 Paul T. Craddock, "The composition of the copper alloys used by the Greek, Etruscan and Roman civilizations. 3. The origins and early use of brass", Journal of Archaeological Science 5, 1978, 1-16.
- D'Arms & Kopff 1980 John H. D'Arms & E.C. Kopff (eds.), The seaborne commerce of ancient Rome: Studies in archaeology and history = Memoirs of the American Academy in Rome 36, 1980.
- Drachmann 1963 Aage G. Drachmann, The mechanical technology of Greek and Roman antiquity: A study of the literary sources, Copenhagen 1963 (Acta historica scientiarum naturalium et medicinalium. Edidit Bibliotheca Universitatis Haunensis, 17).
- Drachmann 1965 Aage G. Drachmann, "Man power, animal power and water power in Greek and Roman antiquity", Actes du XI^e Congrès International d'Histoire des Sciences, Varsovie-Toruń-Kielce-Cracovie, 24-31 Août 1965, Vol III, 313-317.
- Fahlbusch 1982 Henning Fahlbusch, Vergleich antiker griechischer und römischer Wasserversorgungsanlagen, Braunschweig 1982

- (Mitteilungen des Leichtweiss Institute für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig, 73).
- Finley 1965 Moses I. Finley, "Technical innovation and economic progress in the ancient world", Economic History Review 18, 1965, 29-45.
- Forni 1980 Gaetano Forni, "Il 'plaumaratrum' (arato a carrello) di Plinio del quadro della storia dell'aratocoltura in Italia", Teconologia, economia e società nel mondo romano. Atti del convegno di Como, 27-29 settembre, 1979, Como 1980, 99-120.
- Garbrecht 1978 Günther Garbrecht, "Die Madragag-Wasserleitung von Pergamon", Antike Welt 9, 1978, no. 4, 40-49.
- Garcia-Diego 1977 J.A. Garcia-Diego, "Old dams in Estremadura", History of Technology 2, 1977, 95-124.
- Halleux 1977 R. Halleux, "Problèmes de l'énergie dans la monde ancien", Les Études Classiques 45, 1977, 49-61.
- Healy 1978 John F. Healy, Mining and metallurgy in the Greek and Roman world, London 1978.
- Hodge 1960 Alfred Trevor Hodge, The woodwork of Greek roofs, Cambridge 1960.
- Hodge 1983 Alfred Trevor Hodge, "Siphons in Roman aqueducts", Papers of the British School at Rome 38, 1983, 173-221.
- Hostetter 1981 Eric Hostetter, "The tiles of ancient Sardis", Archaeology 34, 1981, no. 3, 56-59.
- Jones 1980 G.D.B. Jones, "The Roman mines at Riotinto", Journal of Roman Studies, 70, 1980, 146-165.
- Jones 1982 John Ellis Jones, "The Laurion silver mines: A review of recent researches and results", Greece and Rome 29, 1982, 169-183.
- Kiechle 1969 Franz Kiechle, Sklavenarbeit und technischer Fortschritt im römischen Reich, Wiesbaden 1969 (Forschungen zur antiken Sklaverei, herausgegeben von J. Vogt und H.U. Instinsky, 3).

- Kolendo 1971 Jerzy Kolendo, "Avènement et propagation de la herse en Italie antique", Archeologia 22, 1971, 104-120.
- Kolendo 1980 Jerzy Kolendo, L'Agricoltura nell'Italia romana, Tecniche agrarie e progresso economico dalla tarda repubblica al principato, Roma 1980.
- Landels 1978 John G. Landels, Engineering in the ancient world, London 1978.
- Mac Donald 1965 William L. MacDonald, The architecture of the Roman Empire, I. An introductory study, New Haven, Conn. 1965 (2. uppl. 1983).
- Martin 1965 Roland Martin, Manuel d'architecture grecque, I. Matériaux et techniques, Paris 1965.
- McWhirr 1979 Alan McWhirr (ed.), Roman brick and tile. Studies in manufacture, distribution and use in the Western Empire, Oxford 1979 (British Archaeological Reports, International Series, 68).
- Mocchegiano Carpano C. Mocchegiano Carpano & A. Rossicarella, "Fogne", Roma sotterranea, Roma 1984, 157-199.
- Moritz 1958 Ludwig Alfred Moritz, Grain-mills and flour in Classical Antiquity, Oxford 1958.
- Neppi Modona 1981 L'Etruria mineraria. Atti del XII convegno di Studi Etruschi ed Italici, 16-20 giugno, 1979, A cura di A. Neppi Modona, Firenze 1981.
- Oleson 1984 John Peter Oleson, Greek and Roman mechanical water-lifting devices; The history of a technology, Toronto 1984.
- Oleson 1986 John Peter Oleson, Bronze Age, Greek and Roman technology. A select, annotated bibliography, New York & London 1986 (Bibliographies of the History of Science and Technology, 13).
- Orlandos 1966-1968 A. Orlandos, Les matériaux de construction et la technique architecturale des anciens grecs, Vol. I-II, Paris 1966-1968.

- Parker & Painter 1979 A.J. Parker & J.M. Painter, "A computer-based index of ancient shipwrecks", International Journal of Nautical Archaeology 8, 1979, 69-87.
- Pleket 1973 H.W. Pleket, "Technology in the Greco-Roman world: A general report", Talanta 5, 1973, 6-47.
- Price 1974 Derek J. de Solla Price, Gears from the Greeks. The Antikythera mechanism - A calendar computer from ca. 80 B.C., Philadelphia 1974 (Transactions of the American Philosophical Society, New Series, 64:7).
- Raban 1985 Avner Raban (ed.), Harbour archaeology. Proceedings of the first international workshop on ancient Mediterranean harbours, Caesarea Maritima, 24-28.6.83, Oxford 1985 (British Archaeological Reports, International Series, 257).
- Reynolds 1983 Terry S. Reynolds, Stronger than a hundred men: A history of the vertical water wheel, Baltimore 1983.
- Rickman 1971 Geoffrey E. Rickman, Roman granaries and store buildings, Cambridge 1971.
- Rostoker & Gebhard William Rostoker & Elisabeth Gebhard, "The reproduction of rooftiles at the Archaic temple of Poseidon at Isthmia, Greece", Journal of Field Archaeology 8, 1981, 211-227.
- Rystedt et al. 1986 Eva Rystedt, Margareta Strandberg Olofsson, Charlotte Wikander & Örjan Wikander, "Aspetti tecnici della produzione delle terrecotte architettoniche", Architettura etrusca nel Viterbese. Scavi svedesi a San Giovenale ed Acquarossa, Roma 1986.
- Schiøler 1973 Thorkild Schiøler, Roman and Islamic water-lifting wheels, Odense 1973 (Acta historica scientiarum naturalium et medicinalium, Edidit Bibliotheca Universitatis Hauniensis, 28).
- Schiøler 1980 Thorkild Schiøler, "Bronze Roman piston pumps", History of Technology 5, 1980, 17-38.
- Schnitter 1978 Niklaus Schnitter, "Römische Talsperren", Antike Welt 9, 1978, no. 2, 25-32.

- Scranton et al. 1978 Robert Scranton, J.W. Shaw & L. Ibrahim, Kenchreai, Eastern port of Corinth, I. Topography and architecture, Leiden 1978.
- Selkirk 1983 Raymond Selkirk, The Piercebridge formula, Cambridge 1983.
- Smith 1971 Norman A.F. Smith, A history of dams, London 1971.
- Smith 1976 Norman A.F. Smith, "Attitudes to Roman engineering and th question of the inverted siphon", History of Technology 1, 1976, 45-71.
- Smith 1978 Norman A.F. Smith, "Roman canals", Transactions of the Newcomen Society 49, 1978, 75-86.
- Smith 1984 Norman A.F. Smith, "The origins of water power; A problem of evidence and expectations", Transactions of the Newcomen Society 55, 1984, 67-84.
- Strong & Brown 1976 Donald E. Strong & David Brown (eds.), Roman crafts, New York 1976.
- Testaguzza 1970 O. Testaguzza, Portus: Illustrazione dei porti di Claudio e Traiano e della città di Porto a Fiumicino, Roma 1970.
- Tomaselli 1978 C. Tomaselli, Il sistema di fognature romane di Pavia, Pavia 1978.
- Wertime & Muhly 1980 Theodore A. Wertime & James D. Muhly (eds.), The coming of the Age of Iron, New Haven, Conn. 1980.
- White 1962 Lynn White, Jr, Medieval technology and social change, Oxford 1962.
- White 1967a Kenneth D. White, Agricultural imple-ments of the Roman world, Cambridge 1967.
- White 1967b Kenneth D. White, "Gallo-Roman har-vesting machines", Latomus 26, 1967, 634-647.
- White 1970 Kenneth D. White, Roman farming, London 1970.
- White 1975 Kenneth D. White, Farm equipment of the Roman world, Cambridge 1975.
- White 1984 Kenneth D. White, Greek and Roman tech-nology, London 1984.

- Wikander 1980 Örjan Wikander, Vattenmöllor och möllare i det romerska riket, Lund 1980 (Diss.).
- Wikander 1981 Örjan Wikander, "The use of water-power in Classical Antiquity", *Opuscula Romana* 13, 1981, 91-104.
- Wikander 1984 Örjan Wikander, Exploitation of water-power or technological stagantion? A reappraisal of the productive forces in the Roman Empire, Lund 1984 (*Scripta minora regiae societatis humaniorum litterarum Lundensis* 1983-1984:3).
- Wikander 1985 Örjan Wikander, "Archeological evidence for early water-mills - an interim report", History of Technology 10, 1985, 151-179.

Bjarne Huldén

METALLFÖRVÄRV OCH JÄRNUTVINNING UNDER ARKAISK TID I GREKLAND

Arkaisk renässans

I slutet av bronsåldern, omkring år 1200 f.Kr., utsattes östra medelhavsområdet för stor ödeläggelse. Greklands välmående mykenska kungariket överfölls och ödelades av inkräktarhorder från norr. Förstörelsen var så fullständig att hela den mykenska kulturen sopades bort och den grekiska världen lades i skriftlöst mörker för en lång tid. Sedan, under 800-talet f.Kr., sker en återhämtning. De trehundra åren från ca 800 till 500 f.Kr., som föregår den stora klassiska blomstrings-tiden, har kallats den arkaiska tiden; en ur kulturhistorisk och teknikhistorisk synpunkt fascinerande tid. Den var fylld av dynamisk aktivitet, sociala omvälvningar, litterärt uppvaknande och teknisk-ekonomisk utveckling. Historikers och arkeologers intresse för den arkaiska perioden har kraftigt ökat under de senaste 15 åren.¹ Det första århundradet, 700-talet f.Kr., har även kallats "den grekiska renässansen", en pånyttfödelse efter de mörka tiderna. En sådan karakteristik skall inte direkt jämföras med den italienska förebilden, men den är i alla fall slående. Historikern Jakob Burkhardt, som präglade renässansbegreppet, har kallat den arkaiska tidens människor "koloniala och agonala". Enligt honom innebär "agonal" den kamp- och tävlingsanda som då genomsyrade hela den grekiska tillvaron, inte bara de olympiska idrottsspelen. Denna anda var ett socialt ferment, en inspirerande och pådrivande kraft i individens strävan att vinna ära och berömmelse genom att vara bäst i någon social aktivitet. Det var en dygd att hävda sig på alla samhällsområden.²

Upptäcktsresor och navigationsmöjligheter

En okuvlig, agonal anda var säkerligen en nödvändig förutsättning för längre sjöfärder under tidig arkaisk tid. Havet var inte älskat, det var farligt och fruktat. Odysseus' äventyr under den tio år långa hemresan dominerades av hans kamp

mot den förolämpade, rasande Poseidon. På sin ålderdom skulle Odysseus inte få frid förrän han med en åra på axeln vandrat så långt inåt land, att han mötte människor som inte visste någonting om åror, skepp och hav.

Den maritima realismen i Odysséen är påtaglig och betecknande för den grekiska inställningen. Där förekommer inga romantiska havsskildringar och de borna sjömännen är mytiska fajaker, inte Odysseus' besättning.

Trots denna respekt för havet gjordes under den arkaiska tiden tidigt upptäcktsresor och sjöfärder till mycket avlägsna orter i Medelhavet och Svarta havet. Motivet för färderna var vanligtvis detsamma som för Jason på det snabba skeppet "Argo": att komma över värdefulla och outhärliga metaller såsom guld, silver, brons eller järn.

Vanligen färdades man enbart om dagen och övernattade i lämpliga hamnar eller skyddade vikar där de årdrivna skeppen kunde dras upp på låga stränder. I Egeiska havet var det relativt lätt att navigera från ö till ö. Distanserna var relativt korta; vid klart väder var nästa mål redan synligt över horisonten. Men om man t.ex. från ön Ithaka ville nå Messinasundet utan att gå kustvägen över Korfu och Tarantobukten, måste man bereda sig på en 200 sjömils färd över öppet hav. Det innebär nattnavigation under minst två dygn, men i gengäld förkortas resans längd till hälften. Det är troligt att man redan under förarkaisk tid företog sådana resor.

Odysséen nedtecknades sannolikt i mitten av 700-talet i skriftlig form och för Odysseus var nattnavigation med hjälp av stjärnorna välbekant.³ Att som Columbus navigera med hjälp av polstjärnan var inte möjligt för Odysseus eftersom ingen egentlig polstjärna existerade på hans tid. Vår nuvarande polstjärna låg ca 16 grader från himmelspolen, vilket ungefär är lika med den himmelsbåge solen gör under en timme. Den närmaste klart synliga stjärnan Kochab i Lilla Björnen cirkulerade runt polen på ca 8 graders avstånd. För blotta ögat gav denna dock en rätt god uppfattning om himmelspol och latitud, vilket senare även intygades av astronomen Eudoxos. Stjärnor

som vid midnatt just och jämt tangerade horisonten i norr var ett annat sätt att ungefärligt bestämma var man befann sig på nord-sydaxeln.

En omständighet som även kunde tala för tidiga nattseglingar är Homeros' epitet "oinops" för havet. En formel som ständigt upprepas är "epi oinopa ponton", över det mörka, vinfärgade havet. I engelska översättningar används uttrycket "wine-dark sea", Lagerlöf översätter det oftast med "det blånande djupet". Nyligen har formeln tolkats som en beskrivning av havets utseende efter solnedgången vid vindstilla väder, då risken för oväder är liten. Epitetet skulle därför vara ägnat att framkalla bilden av skepp som efter solnedgången lägger ut för en nattlig färd under stjärnornas ledning. Slutsatsen är tilltalande men knappast övertygande.⁴ Att havet sommartid någon timme efter solnedgången, om vinden helt dött ut, överraskande får en färg av vackert dunkelrött och violett, kan ibland iakttas även på våra breddgrader.

Sjöfärder och handelsplatser

I Tyrrenska sjön utanför Neapelbukten ligger Ischia, en bergig ö av vulkaniskt ursprung med heta källor, branta stränder och två goda hamnar. Vinodling och turism har i modern tid länge tryggt den lokala befolkningens utkomst. Här landade i början av 700-talet f.Kr. grekiska sjöfarare och här grundade de sin allra första utpost i västra Medelhavet. Enligt geografen Strabon (5.4.9) grundades den gemensamt av Chalcis och Eretria, de två förnämsta städerna på ön Euboia strax norr om Attika. Ischia kallades av grekerna Pithekoussai och arkeologiska utgrävningar under åren 1966-1976 har på ett avgörande sätt ökat våra kunskaper om den första grekiska bosättningen på ön.⁵ Den kan nu med säkerhet dateras till första hälften av 700-talet f.Kr. (ca 775), dvs till tiden för de första olympiska spelen, som enligt traditionen hölls år 776 f.Kr.

Avståndet till Ischia från moderstäderna på Euboia är sjövägen inemot 900 sjömil. En så lång resa kunde på den tiden kanske göras på tio dagar om väderleksförhållandena var gynnsamma;

vid sämre väder kunde resan lätt ta långt mer än den dubbla tiden. Det grekiska namnet för en koloni var "apoikia", vilket betydde "en bosättning långt borta hemifrån". En träffande definition av Pithekoussai! Resan dit var dessutom förbunden med stora risker. Vid denna tid konkurrerade fenicierna framgångsrikt med grekerna om sjöfart och handel i västra Medelhavet och vid lämpligt tillfälle kunde handelskeppen lätt förfalla till sjöröveri och slavhandel. Om detta vittnar t.ex. Odysseen, som i mycket beskriver världen från denna tid.⁶

Vad gjorde då grekerna här, varför grundades den första kolonin i väster så här långt från hemorten? En mycket snabbt växande befolkning och behov av mera jordbruksland än det fanns i det karga Grekland var huvudorsaken till att grekerna senare, under 700- och 600-talet f.Kr., grundade ett stort antal kolonier i västra Medelhavet och i Svartahavsområdet. Kargheten framgår bäst av det faktum att över tre fjärdedelar av Greklands landareal består av bergig terräng, som inte lämpar sig för sädesodling. Med detsamma gällde för den vulkaniska ön Ischia, som endast var lämpad för odling av vin och oliver, medan sjövägen dit gick längs kustområden med bördig jord i rika mått. Att fara ända till Neapelbukten för att finna jordbruksland var att gå över ån efter vatten. Det måste därför ha funnits andra motiv eller förklaringar.

De grekiska koloniernas tillkomst och karaktär har länge och livligt debatterats i facklitteraturen.⁷ Var det primära motivet hunger efter åkerbruksland eller grundades de i främsta rummet för handelsutbyte? Problemet engelska formulering är kort och slagkraftig: "flag or trade".⁸ Här är skäl att påpeka att begreppet koloni är i viss mån missvisande beroende på ordets moderna associationer. En grekisk koloni var helt suverän och politiskt och ekonomiskt oberoende av moderstaden grundaren. Den som anslöt sig till en koloniexpedition miste sina tidigare medborgerliga rättigheter och kunde inte utan vidare återvända även om han så önskade. Det finns exempel på att kolonister blivit bryskt avvisade, då de efter en misslyckad expedition försökt återvända till sin gamla hemstad.

Eftersom Ischia var obebodd och inte hade jord för åkerbruk var ön sannolikt en första, fjärran belägen handelsutpost i väster. Ur teknikhistorisk synpunkt är det synnerligen intressant att man funnit spår av en omfattande metallurgisk aktivitet redan från bosättningsens äldsta period. Det är främst rester och slaggavfall från smältning av järnmalm och bearbetning av järn och brons samt spår av ugnar med keramikmunstycken för bälgarna. Detta kan synas förvånande emedan Ischia inte har eller har haft några järnfyndigheter. Strabons uppgift om att det fanns guldfyndigheter på ön är en geologisk omöjlighet. Varifrån fick man då järn till ön?

En liten klump järnmalm i obearbetat skick har analyserats och visade sig vara hematit från fyndigheten Rio Marina på Elba, som ligger ca 200 sjömil längre norrut utanför den italienska kusten. Det järnrika Elba hörde till etruskernas (tyrrenernas) rike, medan Ischia låg utanför rikets södra gränstrakter. Redan tidigt har alltså grekerna haft ett centrum för bearbetning av järnmalm och järn från de etruskiska dagbrotten på Elba.⁹ Ett både intressant och överraskande faktum, som gett upphov till tvivlande frågor: varför skulle man färdas ända till Neapelbukten för att komma över järn, då det torde ha funnits rikliga järnfyndigheter hemma i Euboia och i det närliggande Boiotien? Härtill kan svaras att sådana visserligen har funnits, men att det inte finns några som helst belägg för en utnyttjning av dessa fyndigheter under arkaisk tid. Det är först senare under den klassiska perioden Euboias järntillgångar synes ha blivit utnyttjade.¹⁰

Järn, tenn och bärnsten

En annan, mycket eftertraktad handelsvara var tenn eller tennmalm, som kan ha lockat Euboias sjöfarare till Etrurien. Bronsålderns tennkällor är fortfarande ett mysterium,¹¹ men mycket tidigt, troligen redan under arkaisk tid, fraktades tenn från Cornwall över de s.k. tennöarna eller kassiteriderna (Scilly Islands?) till västra Medelhavet längs två olika vägar: dels landvägen över Frankrike till Etrurien, dels sjövägen till Spanien.¹²

Herodotos (III.115) berättar att "- om de yttersta landsändarna i Europa, åt vester till, kan jag icke säga något för visst. Ty jag antager icke, att det gifs en flod, som skulle af barbarerna kallas Eridanos och som skulle falla ut i det hafvet mot norr, varifrån man säger att bernstenen kommer; icke heller vet jag något om några Tennöar, från vilka tennet kommer till oss. Ty för det första tillkännagifver själva namnet Eridanos, att det är helleniskt, och icke barbariskt, samt upfunnet av någon skald; och för det andra har jag icke, oaktat all möda, kunnat af ett ögonvittne få några underrättelser om ett haf, som låge bortom Europa. Men så mycket är visst, att tennet och bernstenen komma till oss från de yttersta landsändarne." (övers. Fr. Carlstedt, 1871). Det intressanta i citatet är att tennbrons faktiskt påträffats i de mykenska schaktgravarna tillsammans med bärnsten, vilken här för första gången gör sitt inträde i den grekiska världen. Med hjälp av infraröd spektrometri har man under 1960-talet kunnat påvisa, att dessa äldsta bärnstensfynd i Grekland är av nordeuropeisk eller baltisk härkomst.¹³ Om denna samtidighet inte bara är en ren slump, kan det tolkas som en indikation på att handelsvägarna för tenn och bärnsten från norra Europa söderut vore mycket gamla, ända från 1400-talet f.Kr.¹⁴

I varje fall är det troligt att grekerna i början av 700-talet vid Ischia funnit en möjlighet att komma över brittiskt tenn, fraktat upp längs Seinefloden och ned till Medelhavet längs Rhône. Den handelsvägen beskrivs senare under romersk tid rätt detaljerat av Diodoros Siculus (V,22). Om vägen från Euboia till Ischia var lång och riskabel, så var vägen från Cornwall och Östersjökusten till Etrurien ännu längre och inte mindre farofylld. För att trygga sjöfärderna till Neapelbukten grundade Euboia ca 725 f.Kr. på bägge sidor om Messinasundet två strategiskt väl placerade utposter, Rhegion och Zancle.

Järntransporterna från Elba var i varje fall en förutsättning för den äldsta metallurgiska aktiviteten på Ischia. Elbas grekiska benämning Aithalia tyder etymologiskt på eld, rök och sot, eller med andra ord på att en bearbetning av fyndigheternas malm öven skulle ha skett på ort och ställe, men det

är möjligt att den igångsattes först senare. Omkring år 500 f.Kr. flyttades malmsmältningen sedan till fastlandet mitt emot, där jättestora högar av slagg i Barattibukten nära den etruskiska staden Populonia vittnar om en omfattande järnuttvinning under etruskisk och romersk tid.

I slutet av 700-talet f.Kr. grundades den grekiska kolonin Kyme på fastlandet mitt emot Ischia. Vid samma tid avtar verksamheten på ön, eventuellt beroende på vulkanisk aktivitet i området. Från Kyme är det inte mera än en 40 km till staden Capua i etruskerrikets södra gränsområde. Det är därför sannolikt att den nya fastlandskolonin grundades med etruskernas goda minne och att den senare, livliga kontakten mellan greker och etrusker fick sin början här i Neapelbukten.¹⁵

Al Mina, ett gammalt handelscentrum i öster

Bland fynden från Pithekoussai finns även två där tillverkade keramikvaser med inskrifter på arameiska och feniciska, vilket tyder på att fenicierna till en början medverkat i aktiviteterna på ön. Detta har sin naturliga förklaring i det faktum att Euboias pionjärer redan några generationer tidigare varit med om att grunda den första utposten i öster, handelscentret Al Mina, vid mynningen av floden Orontes i norra Syrien. Arkeologerna har daterat de äldsta fynden till den senare hälften av 800-talet f.Kr. eller till ca 825 f.Kr. Al Mina var från början en ren handelspost och grundades gemensamt med cypriotiska greker och fenicier.¹⁶ Den ligger ca 75 sjömil från Cyperns nordöstra udde, varifrån man vid klart väder kan se berget Kasion (Casius) som ligger strax söder om Al Mina på den syriska kusten.

Handelsposten måste ha varit mycket viktig för de oförvägna sjöfararna från Euboia. Den öppnade rika marknader och möjliggjorde förnyade kontakter med Främre Östern, vilka legat nere under de mörka århundradena. Behovet av skeppstimmer, tågvirke, linnevävnader till segel och kläder, olivolja, hampa och papyrus var stort, men framför allt var det brist på järn, koppar och tenn samt skickliga järnsmeder och bronsgjutare. Vad varuleverantörerna kunde acceptera i utbyte var sannolikt råvaror

som hudar, pälsverk, torkad fisk, viner, oliver och fikon. Al Mina blev inte den enda kontakten på den syriska nordkusten. I Tell-Sukas, ca 80 km söder om Al Mina, har man funnit lämningar av en annan fenicisk-grekisk bosättning från tidigt 700-tal f.Kr. Här fanns en annan viktig handelsstation.¹⁷

Genom Gibraltar Sund och Bosporens ström

Fenicierna var inte lika angelägna som grekerna att skaffa sig kolonier med goda möjligheter för åkerbruk. Enligt gammal grekisk tradition var de kända som skickliga båtbyggare, sjöfarare och handelsmän.¹⁸ I konkurrensen med grekerna kom de med tiden att behärska södra delen av Medelhavet. De anlade flera stödjepunkter eller handelsposter på Afrikas nordkust för att säkra vägen till dotterstaden Kartago och till södra Spaniens silvergruvor bortom Gibraltar sund. Den vägen kunde de sannolikt även komma över brittiskt tenn, som sjövägen fraktades ned längs Atlantkusten mot Gibraltar. Så berättar långt senare Strabon (3.5.11).

Att segla genom Gibraltar sund västerut var inte enkelt. Den starka östgående ytströmmen och västliga vindar kunde avsevärt försvåra utfarten för den tidens roende och råseglande sjöfarare. En överraskande uppgift - visserligen odokumenterad - gavs nyligen av den kände havsforskaren Jacques Cousteau.¹⁹ Han sade att feniciska segelskapp använde sig av den djupt liggande salta underströmmen, som med ca 2 knops fart går västerut genom Gibraltar sund på 150-300 m djup. När och hur de gjorde det framgick inte. Uppgiften verkar nog otrolig med tanke på den tidens tekniska möjligheter.

Det fanns dock enklare sätt att ta sig ut genom sundet. Huvudströmmen är alltså en ytström som går österut och täcker största delen av sundets bredd. Längs den spanska kusten går likaledes en svag ström inåt Medelhavet. Men mellan denna och huvudströmmen finns en ytström som strömmar mot väster, ut genom sundet mot Atlanten! Hemligheten låg alltså i att närma sig Gibraltar sund från den norra sidan, rätt nära den nuvarande fästningsudden, och att därefter hålla sig mellan kusten och mittlinjen på ungefär en fjärdedel av sundets bredd räknat

från den spanska sidan. Då kunde man, om vindarna var gynnsamma, fånga den västgående ytströmmen och segla ut mot Atlanten. Dessa säregna strömförhållanden var sannolikt kända av de gamla feniciska sjöfararna och den kunskapen var säkert en omsorgsfullt bevarad nautisk hemlighet.²⁰

Om fenicierna hade problem med att segla västerut genom Gibraltar sund, så hade grekerna mångdubbelt svårare att forcera Bosporen på väg från Egeiska havet till Svarta havets kuster. Enligt traditionen var de första grekiska kolonisterna i Svartahavsområdet från den joniska staden Miletos, som låg i den södra delen av Mindre Asiens västkust. Samverkande ström och vind kunde i delar av Bosporen alstra en sydgående ström av 5-6 knop. Det var därför nödvändigt för sjöfararna att under seglationssäsongen (april-september) vid inloppet invänta gynnsamma, sydliga vindar och att sedan skickligt använda sig av lugnvatten och bakströmmar för den över 12 sjömil långa färden till öppet vatten. När och hur och med vilka skepp de första kolonierna nåddes är fortfarande under debatt.²¹

Enligt den litterära traditionen skedde detta i mitten av 700-talet f.Kr. Då grundades den första milesiska kolonin Sinope med sin österut belägna dotterstad Trapezunt på den östra delen av Mindre Asiens nordkust. För en så tidig tidpunkt finns dock inga arkeologiska belegg. Men eftersom de arkeologiska fynden från Al Mina och Pithekoussai inte avsevärt rubbar den traditionella litterära kronologin, håller man idag gärna fast vid dess datering i väntan på mera arkeologiskt bevismaterial.²² Mindre Asiens nordkust är ännu i dag mycket ofullständigt utforskad genom utgrävningar.

Det är skäl att notera att det genom Bosporen, alldeles som genom Gibraltar sund, går en salt underström i motsatt riktning mot ytströmmen. Vid inloppet i den södra ändan där ytströmmen är starkast går underströmmen mot norr på ett djup av 10-20 m. Den kallas "kanal" och utnyttjas i dag av lokala sjömän med nedsänkta drivankaren som "draghjälp" vid uppfarten. Det finns inga antika uppgifter om denna "kanal", men det är

inte osannolikt att den kan ha upptäckts av antikens fiskare då de märkt att deras bragder rört sig på ett oväntat sätt.²³

Sjöresan från Miletos till Trapezunt är nästan lika lång som färden från Euboia till Ischia. Att denna första milesiska koloni förlades så här långt från moderstaden, såsom fallet var med Ischia, tyder på att det inte var odlingsjord man eftersträvade. Den närliggande kaukasiska kusten var enligt legenden målet för Jasons och argonauternas färd, där det gyllene skinnet och guldsanden fanns. I trakten kring Trapezunt fanns inte någon guldsand men däremot rika fyndigheter av järnsand och silver. Här mellan Sinope och Trapezunt låg enligt mycket känd och omvitnad grekisk tradition de legendariska chalybernas, järnarbetarnas, rike. I kustområdet väster om Trapezunt jämte dess bergiga uppland finns ännu i dag Turkiets rikaste fyndigheter av silver och järn, vilket klart bekräftar den grekiska traditionens uppgifter.²⁴

Egna idéer och andras

Nu, som du ser mig, jag lupit hitin med skepp och med
manskap

Stadd uppå segling till främmande folk över blånande havet
Koppar att köpa i Temesas stad för min blänkande järnlast

(Odysséen 1, 182-184)

Homeros rader om långa färder till främmande länder för handel med koppar och järn ger en träffande poetisk bild av de grekiska sjöfararnas nya aktivitet i Medelhavet och Svarta havet. De arkeologiska fynden och den litterära traditionen vittnar om att det var metaller man var ute efter i alla tre väderstreck, öst, väst och norr. Utom smycken och lyxartiklar var koppar, tenn, silver och framför allt järn eftersökta och begärliga varor för den tidens ledande aristokrati. Som en naturlig följd härav är skeppsbyggnad och sjöfart, gruvdrift och metallurgi sektorer där den tekniska utvecklingen under den arkaiska perioden var påtaglig och resultatrik. Men grekerna var inte ensamma om att utveckla ny teknik och att skapa bättre metoder. Såväl i Al Mina och Tell Sukas i öster som

i Pithekoussai i väster hade grekerna till en början samarbete med fenicierna. Detta folk med sina gamla förbindelser i Främre Orienten var vid den tiden framom grekerna i tekniskt kunnande och kunde sannolikt lära dem mycket, speciellt inom navigation och skeppsbyggeri.²⁵ De joniska grekerna hade tidigt förbindelser med Anatoliens fryger, mästare i arbeten med brons och elfenben, vilka även kunde förfärdiga utsökta vävnader och mattor av linne, hampa och mohair. Från alla dessa folk kunde idéer och kunskap lånas. Och vad grekerna lånade av främlingar - de lånade gärna och utan hämningar - det var de inte sena att uppfinningsrikt förbättra och omarbete för sina egna behov och ändamål. Detta kännetecknade deras verksamhet på alla områden, inte bara det tekniska. Ett bra exempel är alfabetet, som de övertog av fenicierna sannolikt genom sina kontakter i Al Mina på 700-talet f.Kr. Detta av grekerna förbättrade och med vokaler kompletterade alfabet blev ju sedan modellen för hela den västerländska världen. Det dåtida skrivsättet att börja raderna turvis från vänster och höger var sannolikt härlett ur hettitisk praxis och förmedlat av frygerna.²⁶

Tenn och arsenik

Vad var det då som gjorde att speciellt järn var en så eftersökt råvara vid den tiden? För att få ett svar på frågan är det nödvändigt att gå tillbaka i tiden och se hur tillgången och behovet utvecklats sig för basmetallerna koppar och järn.

Av en kopparlegering har ju bronsåldern fått sitt namn. Brons är en hård, motståndskraftig metallegering med god gjutbarhet (smältpunkt ca 1000°C). Järn var dock ingalunda okänt under den perioden, men var en så pass sällsynt metall att små järnstycken användes som smycken och prydnader. I de flesta fall var det då fråga om meteoritiskt järn, vilket även det gamla grekiska namnet för järn, sideros, möjligen syftar på.²⁷ Ren koppar som material för verktyg och vapen under tidig bronsålder var nog i användning, men dess betydelse har undervärderats emedan den förmodats vara för mjuk för sådana praktiska ändamål. Detta är inte riktigt. Kallbearbetad ren koppar är

hårdare och starkare än rent järn! En avsevärd förbättring kan dessutom fås till stånd genom att legera kopparn med tenn. Då kan hårdheten i bearbetat tillstånd höjas till nästan det dubbla.²⁸

Emellertid var tenn under bronsåldern en svåröverkomlig och rätt dyrbar vara i Medelhavsregionen. Tennkällorna befann sig på mycket långt avstånd. Det är fortfarande något av ett mysterium varifrån man fick tenn till Främre Orienten och den syriska kustens handelsplatser.²⁹ Detta kan förklara varför man från början av bronsåldern funnit talrika föremål av en annan kopparlegering, nämligen arsenisk koppar eller arsenikbrons (med normalt 3-7% arsenik). Denna legering ger en brons som är nästan lika stark som tennbrons, och den är lättare att gjuta och bearbeta. Arsenikhaltiga sulfidiska kopparmalmer var under bronsålderns början en viktig metallkälla och användes under ca 500 år parallellt med tennbrons. Denna ersatte senare helt den arsenikhaltiga kopparn.³⁰ Orsakerna härtill kan ha varit, utom att tenn kanske blev lättare tillgängligt, svårigheten att uppnå önskad arsenikhalt i produkten och den stora hälsoriskerna vid arbete med arsenikhaltig malm. Koppararseniksulfider fordrar en förberedande rostning (upphettning) före smältningen. Då avgår (sublimerar) svårkontrollerbara mängder arsenik vilka kan leda till långsam förgiftning och förkortad livslängd hos bronssmederna. Det är sannolikt att man småningom blev medveten om denna fara. Arsenikångorna avger dessutom en karakteristisk lukt av vitlök, vilket sannolikt även användes som kriterium då man genom upphettning ville pröva om en malm var arsenikhaltig. Arsenikförgiftning innebär nervinflammationer (polyneuritis) och muskelatrofi och kan leda till förlamningar och andra varaktiga skador. Kanske ett sådant hälsovådligt arbete med arsenikhaltig kopparbrons utgjorde den reella bakgrunden till att smedernas olympiska gud och starka skyddspatron Hefaistos enligt Homeros var halt och hade spinkiga ben.³¹

Arsenikens giftighet och svårigheten att komma över tenn var troliga orsaker till att man övergick till att utvinna järn

ur malmfyndigheterna i Medelhavsområdet. Därför var järn en eftertraktad metall under den arkaiska tidens början.

Finansiärer, skeppare och köpmän

Långa havsfärder under tidig arkaisk tid krävde snabba sjödugliga skepp och en besättning som kunde försvara sig mot sjörövare. Risken var stor att stormar eller pirater omintetgjorde alla planer. Därför är det troligt att färderna gjordes med årdrivna skepp som bara vid gynnsamma vindar använde ett råsegel som hjälpkraft.

I Odysseen (9,322) omtalas ett "dugande skepp med tio par åror, rymligt och timrat för frakt och som plöjer det väldiga djupet", och pentekontern, skeppet med femtio roddare och två befälhavare. Dessa var sannolikt de normala skeppstyperna för långa sjöresor under den arkaiska periodens pionjärskede.³² Att bygga, utrusta och underhålla sådana skepp krävde stora insatser av kapital och arbete. Endast rika jordägande aristokrater hade möjligheter att ställa sådana resurser till förfogande. Men att idka handel hade lågt anseende i den tidens grekiska samhälle. I ett ofta citerat avsnitt av Odysseen blir Odysseus hånad och förolämpad för att han inte ville ställa upp i fajakernas idrottslekar:

"Främling, javisst, du ser mig ej ut att vara förfaren uti de tävlingsspel, som bland folk är brukligt att idka, utan som en, den där flackar och far med sin skuta beständigt, havande under sig folk som är idel krämare, svenner, tänkande blott på sin last och spejande jämt efter bakfrakt och efter hastig förtjänst. Nej, en idrottsman du ej liknar."

Odysséen 8,159-164

Att de förmögna jordägarna utrustade skepp för långa handelsfärder rimmar därför illa med köpmännens, "krämarnas", låga status i samhället. En förklaring som redan för länge sedan framförts är att "affärer är respektabla om vinsten är tillräckligt stor".³³ Frågan har analyserats i en ny undersökning som väckt stort intresse. Analysen utgår från det äldsta bevarade grekiska affärsbrevet daterat ca 500 f.Kr. Den kommer

till slutsatsen att det var möjligt för en rik man att på eget skepp sända ut sina underlydande (eller av honom direkt beroende personer) att idka handelsverksamhet utan att hans sociala anseende blev lidande. I undantagsfall kunde han t o m själv delta som passagerare.³⁴ Att grekiska aristokrater ägde och använde skepp för färder till religiösa fester och olympiska spel, för diplomatiska expeditioner och för krigföring är känt. Här förklaras nu hur de första upptäckts- och handelsfärderna kunde vara organiserade under arkaisk tid. Starkt stöd får förklaringen av de fakta man fått fram från vraket av ett bronsåldersskepp som man år 1959 fann på havsbotten utanför Kap Gelidonya vid Turkiets sydkust mellan Rhodos och Cypern. De visar att åtminstone en del av handeln med metaller under den sena bronsåldern (ca 1200 f.Kr. då skeppet blev vrak) sköttes av privata företagare på egna skepp. De färdades över Medelhavet med sin last av metaller från hamn till hamn och kunde sägas vara företagsamma förmögna redare med internationell metallhandel som specialitet. Ombord hade de kunniga smeder och all nödvändig utrustning för metallbearbetning.³⁵ Om en sådan verksamhet vittnar även Homeros i ovan citerade rader om skepparen med sin blänkande järnlast. I de raderna finns inte en skymt av föraktet för krämarna, ty skepparen Mentos, som är gudinnan Athene i förklädnad, sägs vara "härskande drott på det sjöfartsidkande Taphos". Kanske verksamheten är tillräckligt omfattande och ger god vinst?

Historien om flussmedel

En avsevärd del av de arkaiska grekernas resurser och nyvaknade aktivitet ägnades alltså åt malmletning och metallhantering. Det var naturligt och nödvändigt ty det var ett livsvillkor att inte bli efter i metallurgiskt kunnande. Framför allt gällde detta den nya teknologi som var baserad på järn. Modern forskning i metallurgins historia har på belysande sätt visat hur följdriktigt järnframställning ansluter sig till och s a s naturligt växer ur en på koppar baserad teknik. Utvecklingen kunde även kallas historien om flussmedel.³⁶ (Ämnen som sätts till vid smältprocesser för att sänka slaggens smält-

punkt och underlätta separation av slagg och metall kallas inom metallurgin för flussmedel - engl. fluxes.)

Här skall i korthet anges några metallurgiska fakta om flussmedlen vid utvinning av koppar och järn ur malmer.

Utvinning av koppar ur kopparhaltig malm gjordes under bronsåldern i ugnar, där man upphettade malmstyckena tillsammans med träbränsle eller träkol. Genom inverkan av värme och kolmonoxid reducerades kopparföreningarna småningom till ren koppar, som vid tillräckligt hög temperatur (1085°C) smälte och i droppar rann ned i ugnens botten. De kopparhaltiga malmenerna innehöll emellertid som regel även slaggbildande ämnen, s k gångarter, vilkas silikater försvårar en effektiv kopparutvinning genom att de binder en avsevärd del av kopparn, dels som kopparsilikat, dels som droppar inneslutna i en slagg. Denna slagg är tjockflytande och seg, därför att dess smälttemperatur ligger betydligt högre än kopparns. Svårigheterna kan övervinnas om man tillför smältprocessen ett flussmedel. För detta ändamål lämpar sig järnmalm eller järnoxider utomordentligt väl. Flussmedlet sänker slaggens smälttemperatur (gör den flytande, därav namnet) och försvårar en inneslutning (engelska: inclusion) av koppar i slaggen.³⁷ Dessutom ökar järnoxiderna kopparutvinningen genom att järnet ersätter och frigör koppar ur silikatföreningar.³⁸ Analyser av slagghögar från antika kopparfyndigheter har bekräftat att sådant flussmedel var välkänt redan under bronsåldern. Användningen av denna metod hade säkert underlättats av det faktum, att kopparhaltiga sulfider inte sällan ligger under ett ytskikt av järnoxider, som av gruvfolk kallas "järnhuva" (engelska: iron cap). Detta beror på att en järn- och kopparhaltig malmkropp undergår förvittring om den går i dagen. Överst bildas då en på järn starkt anrikad huva, medan genomsipprande vatten för kopparlösningar till ett underliggande kopparhaltigt sulfidskikt. Järnhuvan utgörs främst av limonit, den är porös och lätt att bryta. Den ger alltså ett utmärkt, nära tillhands liggende flussmedel för effektivare utvinning av koppar ur kopparmalmer. Och från flussmedel är steget inte långt till järnutvinning med samma ugnsteknik som för kopparproduktion.

Den väsentliga skillnaden är att reduktion av järnoxider med kolmonoxid till järn och koldioxid fordrar en oerhört mycket högre monoxidhalt än reduktion av kopparoxider. För koppar räcker ett CO/CO_2 -förhållande av ungefär ett till femtusen (1:5000), vilket är lätt att åstadkomma även i en primitiv ugn. För järn måste förhållandet vara minst tre till ett (3:1) och det ställer mycket större krav på ugnprocessens styrning.

Det intressanta med dessa metallurgiska fakta är, att de visar ett klart samband mellan utvinning av koppar och utvinning av järn. De bildar således en naturlig övergång från en kopparbaserad metallurgi till en järnbaserad. Det är nämligen klart att avvikelser från den optimala kopparutvinningen kunde resultera i att man erhöll små järnkorn eller starkt järnhaltiga små slaggklumpar vid smältprocessen. Sådana erfarenheter kan ha varit vägledande då man senare började experimentera med utvinning av järn ur malmer, vilka tidigare använts enbart som flussmedel vid högeffektiv kopparutvinning.

Det som sedan revolutionerade järntechnologin var de upptäckter som gjorde att man kunde omvandla mjukt järn till härdat stål. Då fick man en metall som i hårdhet och styrka var helt överlägsen alla bronslegeringar och som skulle bli den dominerande nyttometallen för människan ända intill våra dagar.

Järn och härdat stål

Att stål är rent järn med en liten tillsats (0,2%-1,5%) av grundämnet kol påvisades vetenskapligt först i slutet av 1700-talet kort före den franska revolutionen, inemot 3000 år efter de första lyckade försöken att tillverka vapen och verktyg av härdat stål. Stål kan nämligen härddas till en hårdhet som är mångdubbelt större än bronsens, kolfritt järn kan inte härddas alls. De senaste 20-30 årens forskningar har klarlagt hur långt man redan under arkaisk tid hade kommit i praktisk kunskap om järnutvinning och ståltillverkning.³⁹ Kunskapen var helt empirisk och ofta ett resultat av "försök och misstag" under många hundra år. Man visste ingenting om fasta lösningar (kol i järn), kristallstrukturer, eutektika och andra tekniska data av idag. Viktiga kännetecken var i stället

färg, utseende, lukt, vikt och smidbarhet, liksom även iakttagna förändringar vid upphettning och avkylning. Och med hjälp av sådan praktisk erfarenhet kom man långt.

Men arbetet med järnmalm och järn var svårt och mödosamt även för skickliga smeder. Det är betecknande att Homeros använder attributet "polykmetos" för järn. Det attributet betonar att framställningen, till åtskillnad från arbetet med koppar, fordrar mycken möda och stort besvär.⁴⁰

Reduktionen av järnmalm i en primitiv schaktugn har beskrivits och undersökts i många publikationer under senare tid. Även i den processen spelar flussmedlen en viktig roll. Malmens innehåll av gångarter såsom kvarts och andra silikater kan utgöra naturliga flussmedel för sänkning av slaggens smältpunkt till något under 1200°C , eller den temperatur man väl kunde uppnå i en ändamålsenligt byggd schaktugn. Det väsentliga i denna process är att man inte uppnår järnets smältpunkt 1540°C , utan järnoxiden frånrövas sitt syre av kolmonoxid i övre delen av ugnen.⁴¹ Detta sker i temperaturområdet $700-1000^{\circ}\text{C}$. Sedan sjunker det syrefria järnet nedåt mot den hetare, syrerika zonen i ugnens nedre del. Ett tunt skikt av smält slaggt kring järnkornen kan då effektivt förhindra en återoxidering av järnet; som samlas till en klump på ugnens botten. Klumpen, som är sammansatt av slaggt och en svampliknande järnmassa (eng. bloom, grek. mydros), måste sedan upphettas och hetamras i flera reprisar för att frigöra järnet från slaggen. Det är en fordrande och arbetsam process, som gör allt skäl för attributet "polykmetos".

Emellertid kan rent järn, som tidigare nämnt, inte konkurrera med koppar och brons som verktygsmaterial. Det kan endast den legering av järn och kol som kallas stål.

Alla metaller har i fast tillstånd en kristallin struktur. Legeringen järn-kol uppvisar en komplicerad och varierande kristallstruktur, allt beroende på kolhalt och temperatur. Vid en kolhalt av 0,2-1,5% bildas stål, som kan smidas och härddas. En kolhalt av 2,5-4,3% ger upphov till tackjärn: ett hårt järn som kan smältas och gjutas vid mycket lägre tempe-

raturer än rent järn (1150°C vid 4,3% kol). Tackjärn har dålig slaghållfasthet och kan varken smidas eller härdas. Stål och tackjärn är sålunda två metaller med helt olika egenskaper, trots en rätt obetydlig skillnad i kolhalten.

Vid upphettning och avkylning genomgår stål överraskande kristallomvandlingar resulterande i högst varierande styrka och hårdhet. Det är speciellt den snabbhet med vilken avkylningen sker, som bestämmer stålets egenskaper.

Vilka möjligheter hade då forntidens smeder att tillverka redskap och vapen av hårt, härdat stål, trots att de var fullständigt okunniga om dessa grundläggande metallurgiska förutsättningar? Här är man frestad att med en lätt travestering återge Hippokrates' första och mest kända aforism:

"Livet är kort, vägen till smideskonsten är lång;
man måste handla snabbt i rätt ögonblick; erfarenheten
kan vara bedräglig; bedömningen är svår."

Stålteknologin är resultatet av otaliga smedgenerationers arbete att praktiskt pröva sig fram, att ta lärdom av tidigare misstag och framgångar. Det anses numera sannolikt att kunskapen om järn och stål kom till östra medelhavsregionen och Grekland någon gång efter 1200-talet f.Kr. från norra Anatolien och Främre Orienten över Palestina och Cypern. Ett par hundra år senare var järnåldern redan långt utvecklad i den grekiska världen.⁴² Den teknik som här användes utgick från schaktugnens slaggblandade järnklump. För att avlägsna slaggen lärde man sig att upphetta klumpen i en ässja med träkol till så hög temperatur att slaggen under hamring kunde flyta ut. En ugnsupphettning och bearbetning förbättrade resultatet.

Men denna process kunde också medföra ett annat resultat. Vid temperaturer över 900°C ökar lösligheten för kol i järn kraftigt. Ju längre tid järnklumpen hålls kvar i ässjan omgiven av glödande kol, desto mera kol diffunderar in i järnets ytskikt och höjer dess kolhalt. Efter en timme i 920°C har kolhalten stigit till 0,2% på ett djup av 1 mm in från ytan. Efter fyra timmar är kolhalten 0,4% och efter nio timmar 0,5%. Vid högre

temperatur är motsvarande kolhalter högre. Ytskiktet har från att ha varit rent järn förvandlats till stål, hårdbart stål.⁴³ Att härda stålet innebär att från 900°C temperatur snabbt avkyla stålet t.ex. genom att doppa det i ett vattenbad (eng. quenching). Då får ytan en kristallstruktur som gör den mycket hård, mångdubbelt hårdare än brons. Denna uppkolning av järnytan var forntidens smeder naturligtvis helt omedvetna om, men att glödgningen i ässjan med efterföljande snabb avkylning gav en överlägsen produkt lärde man sig under århundraden av praktiskt utövad smideskonst.

Ett av de tidigaste exemplen på härdat stål har man funnit på Cypern. Det är två knivblad av järn som enligt moderna analyser blivit uppkolade och härdade till en ythårdhet som motsvarar modernt kolstål. Fynden är från Idalions akropolis och daterade till ca 1100 f.Kr.⁴⁴

Härdat stål kan bli så hårt att det blir sprött. Detta kan avhjälpas genom att stålet efter härdningen åter upphetas till en lägre temperatur, 100-300°C. Då löser sig de inre spänningar som gör stålet sprött; det förlorar i hårdhet men vinner i seghet. Denna procedur kallas anlöpning (eng. tempering). Det är svårt att långt efteråt konstatera om en avsiktlig anlöpning skett. En oavsiktlig anlöpning sker nämligen om härdningstiden är kort. Då strömmar nämligen värme efteråt från den icke avkylda kärnan mot den kylda ytan och denna temperaturutjämnning ger en automatisk anlöpning. Ytans kristallstruktur kan även under flera tusen år undergå sådana förändringar, t.ex. rostning, att det blir omöjligt att konstatera om en anlöpning skett. Det är dock sannolikt att antikens smeder småningom lärde sig att undvika stor sprödhet genom att göra härdningstiden kort och därigenom uppnå en viss anlöpning. En härdning i olivolja kunde även förhindra en alltför stor sprödhet genom att oljans kylningseffekt är svagare.

I Odysseen finns en berömd episod som klart visar att grekerna redan tidigt lärt sig att producera härdat stål. Eposet bevarades länge endast genom muntlig tradition tills det under

700-talet f.Kr. blev nedtecknat med hjälp av det nya alfabetet. Det är därför troligt att denna nya, metallurgiska teknik varit känd i Grekland långt tidigare, kanske redan på 900-talet i form av en inlärd rituell procedur bland de kunnigaste smederna. Formuleringen i Odysseen innebär att det ligger något magiskt, något av trolldom över härdningsproceduren. När Odysseus och hans medhjälpare bländar den enögda kyklopen Polyfemos genom att stöta spetsen av en glödande olivstam i jättens öga, jämför Homeros händelsen med härdning av stål:

"Såsom när smeden den yxa han smitt eller väldiga bila,
doppar i vattnets kyliga bad så det visslar och fräser
härdande smidet, ty slikt ger järnet dess yppersta styrka,
likaså fräste nu starkt kring olivepålen hans öga."

Odysseen 9,391-394

När Lagerlöf i denna svenska översättning använder uttrycket "härdande", så är det nog en rätt så fri, modern tolkning. I originaltexten använder Homeros här verbet "farmasså", vilket innebär att smidet undergår en medicinsk behandling, såsom då man använder läkemedel, "färmaka", vilka har en helande eller renande, magisk kraft. Verbet har översatts till engelska med det träffande uttrycket "doctoring". Det är betecknande att Aristoteles ansåg stål vara en renare form av järn.⁴⁵

Svartahavsstålet

De första milesiska kolonierna på Svarta havets sydkust grundades såsom nämnts i trakter som var speciellt rika på silver och järn. Det ligger därför nära till hands att det i första hand var fråga om handelsplatser som senare blev koloniserade. Vid denna kust förekommer järn i en form som helt skiljer sig t.ex. från hematiten i Elbas dagbrott: det är fråga om alluvial järnsand som sedimenterat på flodernas botten. Den innehåller enligt moderna analyser upp till 70-80% ren magnetit medan resten är kvarts. Råvaran för det legendariska högklassiga chalyberstålet var således svart järnsand. Aristoteles säger i skriften "Om underbara ting som man hört" (Peri thaumasion akoumaton) "att framställningen av chalybernas järn är mycket underlig.

Det växer fram ur sand som floderna fört med sig. Efter tvättning bränns den i ugn med en tillsats av vad som kallas eldfast sten (pyrimachos) av vilket det finns rikligt i dessa trakter. Järnet är mycket vackrare än andra sorter för om det inte brändes i ugnen, skulle det uppenbarligen inte alls skilja sig från silver. Även sägs det att detta järn ensamt inte rostar, men det finns inte mycket av det."

Denna beskrivning har hittills gäckat metallurghistorikernas tolkningsförsök. Egenskaperna hos chalyberstålet påminner här starkt om rostfritt stål. Rent kolstål utan andra legerade tillsatsämnen liknar inte silver och korroderar lätt. Flussmedel förbättrar inte egenskaperna hos rostfritt stål, det kan snarare ha motsatt effekt i en direkt schaktugnsprocess. Den eldfasta sten (pyrimachos) som tillsattes var därför knappast ett vanligt flussmedel. En mycket intressant hypotes har framlagts för några år sedan: chalyberstålet var högnickellegerat.⁴⁶ Den eldfasta stenen kunde då ha varit en nickelhaltig sulfid, t.ex. nickelarseniden cloantit med ca 10% Ni. Hypotesen är baserad på analyser av nickelhaltiga järnföremål från antik tid som man tidigare trott vara meteoritiska men som visat sig ha klart jordiskt ursprung.

Av arbetet framgår inte om man idag funnit spår av denna nickelsulfid i de trakter där det fortfarande finns järnsand. Prov av denna svartahavssand är föremål för fortsatta studier i avsikt att testa nickelteorin. Hypotesen är tillsvidare den enda som rätt väl överensstämmer med de klassiska författarnas uttalanden. Nickellegerat järn ger som direkt produkt en metall med samma goda egenskaper som härdat och anlöpt stål, det kan i viss mån påminna om silver och har god motståndskraft mot korrosion.

Intressant i detta sammanhang är att senare, under romersk tid, det s.k. Noricum-järnet var vida berömt för sin goda kvalitet. Det var tillverkat ur manganhaltig järnmalm. Manganet binder skadliga ämnen såsom svavel och fosfor samt ökar järnets förmåga att lösa kol. Den senare egenskapen möjliggör direkt tillverkning av stål i schaktugn ur svavel- och fosforfri malm utan efterföljande uppkolning.⁴⁷

En annan intressant och högtstående teknik för ståltillverkning med anor från 300-talet f.Kr. har metallurgerna för inte så länge sedan funnit i Afrika.⁴⁸ Man har där uppnått mycket hög luftförförvarning med hjälp av smältande slaggen rinnande över långt in i ugnen instuckna blästerrör. Moderna experiment med denna gamla teknik har bekräftat att de afrikanska smederna i sina tillsynes primitiva ugnar kunde tillverka gott kolstål direkt ur sin normala järnmalm. Denna återupptäckta, sofistikerade teknik har helt ändrat vår uppfattning om gammal afrikansk ståltillverkning och den förtjänar att behandlas i annat sammanhang tillsammans med den intressanta järntechnologin i det gamla Kina.

NOTER

1. Snodgrass, A.M. "The Dark Age of Greece. An archaeological survey of the eleventh to the eighth centuries B.C." Edinburgh 1971, 456 s.
 Jeffery, L.H. "Archaic Greece, The City-States c. 700-500 B.C." 272 sidor, London 1976
 Starr, C.G. "The Economic and Social Growth of Early Greece 800-500 B.C." 276 sidor, New York 1977.
 Coldstream, J.N. "Geometric Greece" 405 sidor, London 1977
 Murray, O. "Early Greece" 320 sidor, Fontana Paperbacks 1980
 Snodgrass, A.M. "Archaic Greece. The age of experiment" 236 sidor, London 1980
 Hägg, R. (red.) "The Greek Renaissance of the Eighth Century B.C.: Tradition and Innovation" Skrifter utgivna av Svenska Institutet i Athen, 4, XXX 225 sidor, Stockholm 1983
2. Burckhardt, J. "Kulturgeschichte der Griechen" uppl. Oeri, 1902, del IV, s. 60-95
 Raubitschek, A. "The Agonistic Spirit in Greek Culture" Ancient World, vol. VII, 1983, s. 7
3. Odysseen 5,270-277
4. Rutherford-Dyer, R. "Homer's Wine-dark Sea" Greece & Rome, Sec.ser. vol. xxx s. 125-128
5. Buchner, G. "Recent work at Pithekoussai (Ischia), 1965-71" J. Hellenic Studies 91 (1971) Arch. Reports 1970-71, s. 63-67
 —, "Pithekoussai. Oldest Greek Colony in the West" Expedition 8 Nr 4, Summer 1966, s. 5-12
 Ridgeway, David "The first Western Greeks: Campanian Coasts and Southern Etruria" i verket "Greeks, Celts and Romans" redigerat av C. & S. Hawkes, London 1973, s. 10-24
 Klein, J. "A Greek metalworking quarter. Eighth century excavations on Ischia" Expedition, vol. 14 Nr 2, Winter 1972
6. Odysseen 15,415 ff.

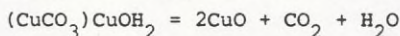
7. Boardman, John "The Greeks overseas. Their early colonies and trade"
Ny reviderad, utvidgad upplaga, Thames and Hudson, London 1980,
s. 165-168
Graham, A.J. "The colonial expansion of Greece" Cambridge Ancient
History III:3, andra uppl. 1982, s. 97-103
Desborough, V. "The Background to Euboean Participation in Early
Greek Maritime Enterprise" i "Essays presented to Marc Fitch",
London 1976, s. 25-40
8. Blakeway, Alan "Prolegomena to the study of Greek commerce with
Italy, Sicily and France in the eighth and seventh centuries B.C."
The Annual of the British School at Athens Nr XXXIII Session 1932-
1933, s. 202.
Blakeway var en tidig förespråkare för den numera vanliga uppfatt-
ningen att handeln föregick koloniseringen under grekernas expansions-
period: "flag follows trade".
Graham, A.J. "Patterns in early Greek colonisation" J. Hellenic
Studies 91 (1971) s. 43-45
9. Voss, Olfert "Jernudvinning" i verket "Etruskernes verden", National-
museet, Brede-Köpenhamn 1982, s. 22-26
10. Jacobsen, T.W. & Sackett, L.H. "A note on metalworking in Euboea"
The Annual of the British School at Athens Nr 61, 1966, Appendix
III, s. 109-110
Waldbaum, Jane "From Bronze to Iron", Studies in Mediterranean
Archaeology vol LIV, Göteborg 1978, s. 63-64
Bakhuizen, S.C. "Chalcis-in-Euboea, Iron and Chalcidians abroad"
Studies of the Dutch Archaeological and Historical Society, vol V,
Chalcidian Studies III, Leiden 1976, 89 sidor
Bakhuizen framlägger den tillsvidare obekräftade hypotesen att skick-
liga smeder från Chalcis exporterade avancerad järn- och stålteknologi
samt goda järnprodukter till både Levanten och Etrurien ("The emigrant
iron smiths of Chalcis") s. 65-69. Hypotesen är intressant men bygger
på antaganden om järnutvinning på Euboia redan under förarkaisk och
arkaisk tid för vilka inga belägg finns. Det är först senare, under
600-talet, som de chalcidiska svärderna blir berömda för sin kvalitet.
Och den yrkerskickligheten kan väl ha varit importerad från de avlägsna
handelsutposterna.
Bakhuizen, S.C. "Greek Steel" World Archaeology vol. 9, Nr 2 Oct.
1977, s. 221-234
Graham, Se not 8, s. 44. Även Graham utgår ifrån att Euboias järn-
fyndigheter utnyttjades tidigt: "- there was no need for eighth-
century Euboians to go and settle in the far West simply to obtain
iron; there was plenty at home." För detta finns som sagt inga arkeo-
logiska belägg!
11. Muhly, J.D. "Copper and tin" Trans. Connecticut Academy of Arts and
Sciences, New Haven, vol. 43, 1973 & vol. 46, 1976
Charles, J.A. "Where is the tin?" Antiquity XLIX, 1975, s. 19-24
Franklin, A.D., Olin, Jacqueline och Wertime, Theodore (redaktörer)
"The Search for Ancient Tin" Washington 1978
12. Boardman, Se not 7, s. 210
13. Jensen, J. "Nordens guld. En bog om oldtidens rav, mennesker och
myter" Köpenhamn 1982, s. 92-93
14. Muhly, J.D. "Tin Trade Routes of the Bronze Age. New Evidence and
new techniques aid in the Study of metal sources of the ancient
world" American Scientist, vol. 61, 1973, s. 404-413

15. Boardman, Se not 7, s. 198-210
16. Boardman, Se not 7, s. 35-54
17. Riis, P.J. "Sukas I. The North-East Sanctuary and the First Settling of Greeks in Syria and Palestine." Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, Historisk-Filosofiske Skrifter 5,1 Köpenhamn 1970, 175 sidor.
Riis' publikation är en mycket grundlig och välskriven redogörelse för de danska arkeologernas arbete i Syrien under åren 1958-1963 samt de resultat man kommit till.
18. Odysséen 15,415-484
Pindaros diktar i Pythiskt Ode 2,67 att hans sång går snabbt över det skummande havet som feniciska handelsvaror.
I Al Mina och Pithekoussai hade grekerna under den första tiden samarbete med fenicierna, vilket framgår av de senaste arkeologiska utgrävningarna från dessa handelsplatser (se M. Frederiksen, JHS, Arch. Reports 1977, s. 43-44)
19. En film om Cousteau och hans forskning i västra Medelhavet visades i Finlands television den 30.12.1984.
20. Ponsich, M. "La Navigation Antique dans le Detroit de Gibraltar" i "Melanges Offerts à Roger Dion" (ed.) R. Chevallier, Paris 1974
Se även
Trevor Hodge, T. "Massalia Meteorology and Navigation" The Ancient Worlds, vol VII 1938, s. 78-79
21. Boardman, Se not 7, s. 238-242
Carpenter, R. "The Greek Penetration of the Black Sea", American J. Archaeology vol. 52 1948, s. 1-10
Labaree, B.W. "How the Greeks Sailed into the Black Sea" American J. Archaeology vol. 61 1957, s. 29-33
Graham, A.J. "The date of the Greek penetration of the Black Sea", Bud. Inst. Classical Studies, No 5, 1958, s. 25-42
Drews, R. "The earliest Greek settlement on the Black Sea" J. Hell. Studies vol. 96 1976, s. 18-31
22. Drews, Se not 21, s. 24-25
Boardman, Se not 7, s. 240-242
23. Graham, Se not 21, s. 30
24. Drews, Se not 21, s. 26-28
25. Culican, W. "The first merchant ventures. The ancient Levant in history and commerce" London 1966
Boardman, Se not 7, s. 42 och 210
26. Cambridge Ancient History III, andra uppl. "Phrygian Life and Culture" s. 431-434
Jeffery, L.H. "The local script of archaic Greece. A study of the origin of the Greek alphabet and its development from the eighth to the fifth centuries B.C." Oxford 1961
27. Pleiner, R. "Iron working in ancient Greece" Prag 1969, s. 47 not 11
28. Charles, J. "From Copper to Iron - the Origin of Metallic Materials" J. Metals, 1979, s. 6-13
—, "The coming of copper and copper-base alloys and iron" i verket "The Coming of the Age of Iron" Yale University Press 1980, s. 167
Hårdheten hos ren koppar i obearbetat tillstånd är ca 50 Vickers enheter, men kan genom kallhamring höjas till ca 120 medan rent smi-

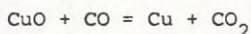
desjärn har hårdheten ca 90. Brons med 8% tenn (eller arsenik) kan bearbetas till en hårdhet av ca 220 enheter!

29. Muhly, J. "Sources of Tin and the Beginning of Bronze Metallurgy" American J. Archaeology vol. 89 1985, s. 275-291
30. Charles, J.A. 1979 och 1980, Se not 28
Eaton, E.R. & McKerrell, H. "Near Eastern alloying and some textual evidence for the early use of arsenical copper" World Archaeology vol. 8 1976, s. 169-191
31. Charles, J. 1979, Se not 28, s. 12
32. Morrison, J.S. och Williams, R.T. "Greek oared ships 900-322 B.C." Cambridge 1968, s. 67
Casson, L. "Ships and Seamanship in the Ancient World" Princeton 1973, s. 43-70
33. Burn, A.R. "The World of Hesiod" London 1936, 2:a uppl. New York 1966, s. 235: "Business is respectable if the profit is large enough".
34. Austin, M.M. & Vidal-Naquet, P. "Economic and social history of ancient Greece: An introduction" London 1977, s. 220-223
Bravo, B. "Le commerce maritime et la noblesse dans la Grèce archaïque" Dialogues d'histoire ancienne vol. 3 1977, s. 1-59
Humphreys, S.C. "Anthropology and the Greeks" London 1978 s. 166-167
Cartledge, P. "Trade and Politics revisited: Archaic Greece" i samlingsverket "Trade in the ancient economy", ed. Garnsey, P., Hopkins, K. och Whittaker, C.R. London 1983, s. 1-15
Cartledge presenterar här en kort och redig sammanfattning av Bravos omfattande artikel.
35. Bass, G. "Cape Gelidonya: A Bronze Age Shipwreck" Trans. Amer. Philos. Society, vol. 57 part 8, 1967, s. 163-167
Muhly, J., Whecker, T. och Maddin, R. "The Cape Gelidonya Shipwreck and the Bronze Age Metals Trade in the Eastern Mediterranean" J. Field Archaeology, vol. 4 1977, s. 361-362
36. Wertime, Th. "The pyrotechnological background" i verket "The coming of the age of iron" London 1980, s. 12
37. Charles, J.A. "The coming of copper and copper-base alloys and iron" i verket "The coming of the age of iron" London 1980, s. 164-165
—, "From Copper to Iron - the Origin of Metallic Materials" J. Metals, July 1979, s. 9-10

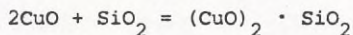
38. Vid upphettning av t.ex. kopparkarbonatmalmer sönderfaller karbonatet och kvar blir kopparoxid



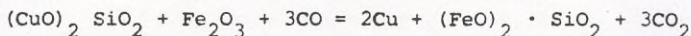
Sedan kan oxiden reduceras till ren koppar med hjälp av kolmonoxid



Silikatgångarter i malmen reagerar med en del av kopparoxiden och bildar en glasartad kopparhaltig slagg



För att frigöra den i slaggen bundna kopparn kan man tillföra järnoxid



- En effektiv smältning av kopparn kan alltså åstadkommas genom tillsats av järnoxid.
39. Forbes, R. "Studies in ancient technology" vol. IX s. 175-277, Leiden 1964
 - Halleux, R. "Le problème des métaux dans la science antique" Paris 1974
 - Tylecote, R.F. "A history of metallurgy" London 1976
 - Ramin, J. "La technique minière et métallurgique des Anciens" Collection Latomus, vol. 153, Bryssel 1977
 - Healy, J.F. "Mining and metallurgy in the Greek and Roman world" London 1978
 - Wertime, Th. (ed.) "The coming of the age of iron" London 1980
 40. Pleiner, R. "Iron working in ancient Greece" Prag 1969, s. 9
 41. Schürmann, E. "Die Reduktion des Eisens im Rennfeuer" Stahl und Eisen, vol. 78 1958, s. 1297-1308
 - Heynert, G. et al. "Betrachtungen und Versuche zur Reduktion der Eisenerze" Stahl und Eisen, vol. 78 1958, s. 1493-1505
 - Austin, N. & Wraith, A. "The mechanism of the bloomery process in shaft furnaces" J. Iron & Steel Institute, May 1971, s. 342-363
 - Tylecote, R.F. "Furnaces, Crucibles and Slags" i verket "The Coming of the age of iron", 1980, s. 183-228
 - , "A history of metallurgy", London 1976, s. 40-52
 - Schuster, W.F. "Das alte Metall- und Eisenschmelzen, Technologie und Zusammenhänge". Technikgeschichte in Einzeldarstellungen Nr. 12, VDI, Düsseldorf 1969
 42. Wertime, Th. (red.) "The coming of the age of iron", 1980, s. 82-83, 346
 43. Maddin, R., Muhly, J., Wheeler, T. "How the Iron Age Began" Scientific American, 273 No 4, 1977, s. 122-131
 44. Tholander, Erik "Evidence of the Use of Carburised Steel and Quench Hardening in Late Bronze Age Cyprus" Opuscula Atheniensi X 1971, s. 22
 45. Aristoteles "Meteorologica" 4.6
 46. Seminarierreferat i "Technology and Culture", vol. 20 1979, s. 595
 - Piaskowsky, J. "A Study of the Origin of the Ancient High-Nickel Iron Generally Regarded as meteoritic" i verket "Early Pyrotechnology", red. Wertime, Th., Washington 1982, s. 237-243
 - Ur denna artikel framgår inte att Halleux redan tidigare framfört samma tanke i verket "Le problème des métaux dans la science antique", Paris 1974, s. 195, n. 35: "- l'acier des chalybes, que est peut-être un acier naturel contenant du nickel".
 47. Vettors, H. "Ferrum Noricum", Anzeiger, vol. 103, Wien 1966, s. 167-185
 - Healy 1978, Se not 39, s. 215 och 233
 48. Avery, D.H. & Schmidt, P. "A Metallurgical Study of the Iron Bloomery, Particularly as Practiced in Buhaya" J. of Metals, October 1979, s. 14-20
 - van der Merwe, N.J. & Avery, D.H. "Pathways to Steel" American Scientist, vol. 70 1982, s. 146-155

POWER ADJUSTMENT BEFORE JAMES WATT

It was in 1788 that James Watt saw a governor working in a watermill. He thought that this device could be a good solution to control the throttling of the steam valve.

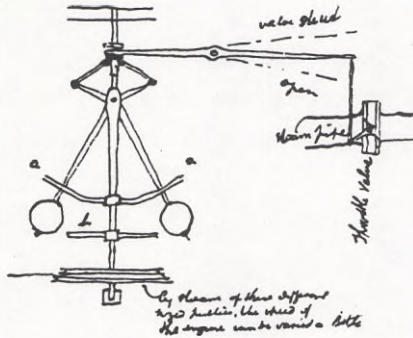


Fig. 1. Drawing by James Watt showing his governor. Copied from the original.

In the mill the governor adjusts the clearance between the upper and lower millstones depending on the speed of the revolving waterwheel.

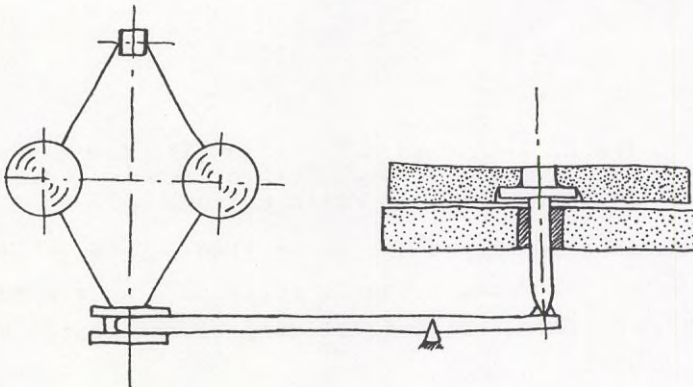


Fig. 2. The governor adjusts the gap between the runner and the bedstone

If the clearance is too high only a small fraction of the corn will be ground to fine flour and as nearly no power is used the speed will rise. This can be avoided by reducing the clearance between the stones, which causes a larger fraction of the corn to be ground. Therefore more torque is needed which results in a lower speed. The governor adjusts the clearance by means of a pair of scales. This tentering mechanism is a crucial feature in all grinding devices and its history is old but has not attracted historians.

The history of the control system is very much connected to the grinding process and the tentering mechanism. In the neolithic grinding process there is no automatic control, but if we look



Fig. 3. The neolithic saddle quern still finds use in the third world. This sculpture from the V dynasty is on display in the Cairo museum.

at the next step in the evolution we find some sort of control. Here the upper stone has a square form and a square funnel holds the corn. This is the first step to what later became the vibratory hopper.

The upper stone is moved to and fro following the path of a circle and as long as the stone moves the grain trickles out. If the operator rows faster more grain is ground. When he stops,

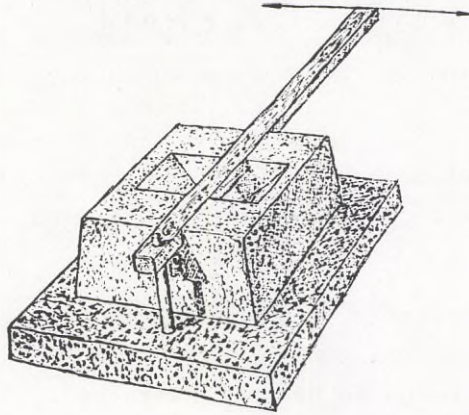


Fig. 4. The Greek quern.

the flow stops. This is a primitive control system - although it is not really a control system because there is no feed-back.

The rotating hand-quern is also a step forward, but from a technical point of view it functions in the same way as the Greek quern.¹

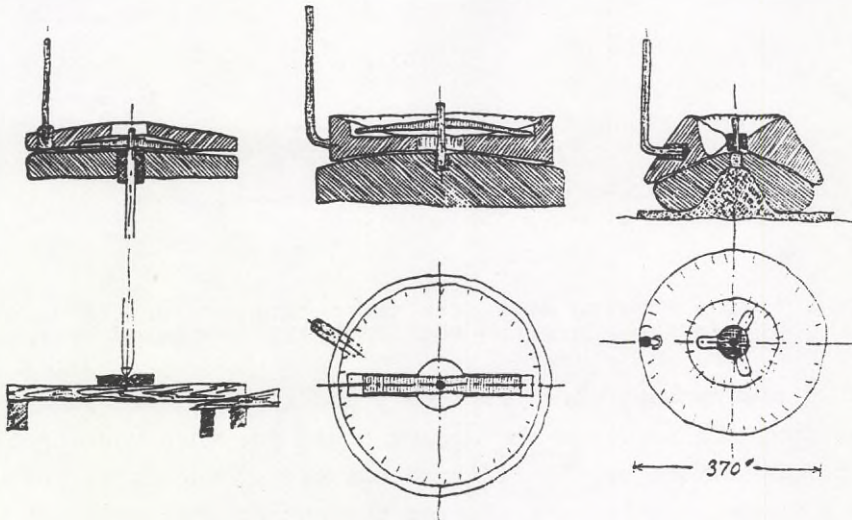


Fig. 5. The rotating quern. The hand quern. These three are Roman and are displayed in museums in Roumania.

Power and work.

The grinding process is highly labour consuming. To make flour for a single loaf of bread 0.020 kWh is needed. This means that in a Roman family one of the members was always engaged in grinding.

As the steady output of a man is not more than 20 watts the work of ten men could be saved if we could find a power source of 200 watts.

Such a power saving machine was made a few hundred years B.C. The new invention was the donkey mill or the Pompeian mill. A donkey or a mule turns an hour-glass shaped runner in which upper cone the grain is fed. The grinding of the corn takes place between the runner and the conical bedstone.

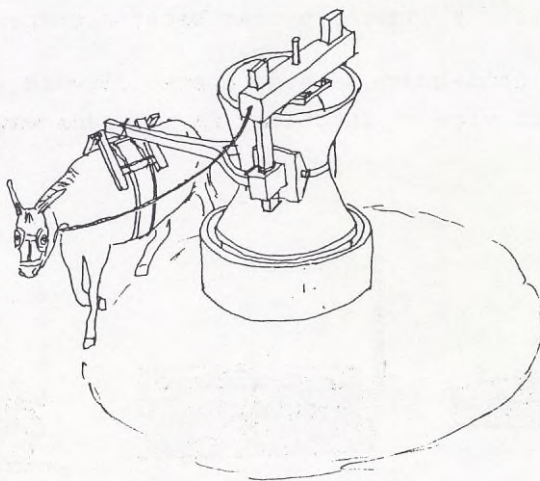


Fig. 6. The Pompeian mill. The reconstruction of the harness and the tentering mechanism are suggested by the author.

Some of the runners were very heavy and if they were placed right upon the bedstone the donkey could not turn the runner. The torque caused by the friction was simply too high. Therefore a wooden framework supported the runner. This support we will call the bridge tree. The bridge tree was pivoted above the center of the bedstone and probably by means of a wedge or

screw the necessary clearance between the stones could be adjusted. This was a true tentering mechanism.²

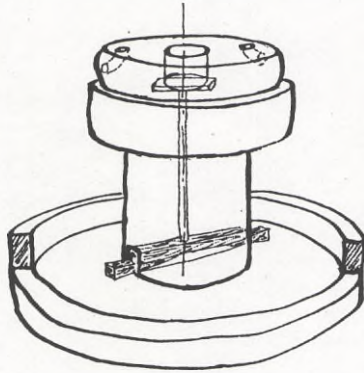


Fig. 7. The tentering mechanism in a donkey mill from Syria. Possibly Roman.

The donkey could work for three hours with an output power from the mill of about 200 watts. In all bakeries of Pompeii there are three or four mills which means 800 watts during three hours. Twenty-four hours divided by three gives 8 shifts. As a donkey can work only for two shifts a day, we need 16 donkeys.

Here some time in the first century B.C. there must have arisen the need for a new power source of about 800 to 1000 watts. The waterwheel was such a source.³

The bridge tree.

Up till now very few Roman millsites have been described in literature but this state of affairs has changed in the last few years.⁴ Today we know of about twenty Roman millsites but no more than three of them are properly described. The best preserved has recently been excavated in the city of Rome.⁵ As it was easy to reconstruct we can try to estimate its output. As the wooden millrace is missing we have to study the outlet to get a measure of the capacity of discharge. From the dimension of the outlet only $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ($3.5 \text{ ft}^3/\text{s}$) leaves the wheel. As the waterhead was a little more than 2 metres we can conclude that an input of 2000 watts was possible. According to old

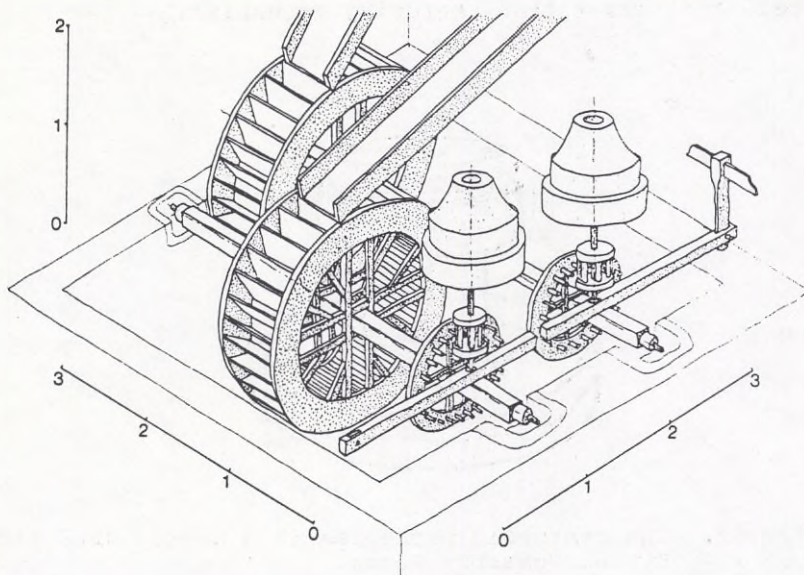


Fig. 8. Reconstruction of a 3rd Century vertical mill from Rome.

rules the efficiency is about 50%.⁶ Twenty-four hours of milling will then give flour for 1200 loaves of bread.

A calculation like this has been made many times before and in one case even to calculate the number of inhabitants in Arles in Roman France.⁷ This is of course an impossible task. A calculation of this sort might be presented in this way: "A watermill is more powerful than a hundred men or twenty donkeys. It could perhaps make flour for 1000 loaves of bread daily but no more than 300 kilograms of wheat in twenty-four hours."

The adjustment.

As the input power should match the output and the fineness of the flour should satisfy demands, an adjustment was needed.

The waterhead in the Roman mill in the Baths of Caracalla was fixed by the diameter of the wheel but the flow could be adjusted. This was done through by-passing some of the water. The remains of the sluice gate can be seen. If there was too little water one of the two mills could be stopped. The flow of the

corn into the eye of the runner was in direct proportion to the speed of the runner because the hopper was vibrated by a "shake-shoe" which played on the upper stone. The main flow could also be adjusted by means of a corn-regulating gate.

If the runner is too heavy (up to 800 kilograms) and without a bridge tree a very large torque is needed. If at the same time an upgearing is wanted the torque must be even greater. To get the whole mill to work the input power must match the output. This is done by means of the bridge tree. The introduction of the bridge tree must have been a great step forward not only because the fineness of the flour could be varied but also because the torque could be adjusted.

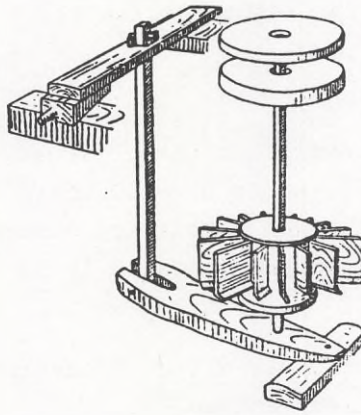


Fig. 9. The principle of the tentering mechanism.

Today we know two Roman millsites where the remains of the bedding for the bridge tree can be seen. One is at Chemtou in Tunisia where there was a horizontal waterwheel. The other was the mill in the Baths of Caracalla. Both of them date back to the third century A.D.

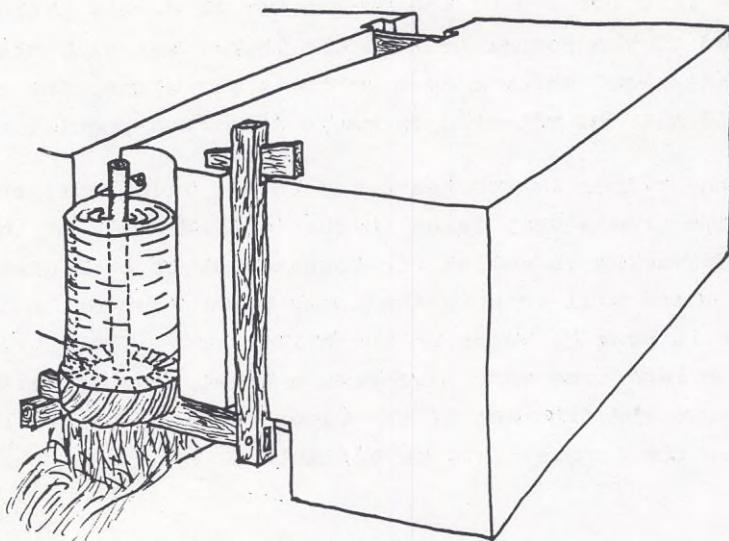


Fig. 10. Sketch of a 3rd Century horizontal mill from Tunisia.

The governor.

As the water-flow to a watermill is rather steady there is no need for a governor, but for a cotton mill there is. But if the power comes from a windmill then a modified control system is necessary. As it is not a feed-back system it is not a true control system.⁸

A steam engine with a governor is a true feed-back system for which the problem of stability arises.

As far as we know James Watt made his feed-back system to work although his governor is non-linear and in addition the throttling valve has a very small damping.

The theoretical solution to the problem of stability was not available to James Watt as not even the equations of Lagrange were published, and James Clerk Maxwell was not born.

During the last two-hundred years thousands of papers about the governor have been published and hundreds of governor constructions have been invented, but only today can we compute whether they are stable or not. What a shame as today there is nearly no need for any governor!

Notes

1. The hand mills are described in great detail in East European literature, such as

A. Selmeczi Kovács, "Die Trogmühle im Karpatenbecken", Ethnographica et Folkloristica Carpathica 2, Debrecen 1981, 33-47.

Nicolae Branga, "Ackerbau- und Haushaltgeräte der Dazier und Römer im Brukenthalmuseum", Cibinium, Muzeul Brukenthal - Sibiu 1969-1973, 39-55.

Corneliu Bucur, "Die Handmühle in der Geschichte der technischen Zivilisation des rumänischen Volkes", Cibinium 1979-83, Muzeul Brukenthal - Sibiu 1984, 63-96.

2. In the Aarhus-journal Sfinx 5 (1982), 141-143, I called attention to the problems relating to the tentering mechanism in mills. It was clear to me that the problems could be solved by means of a wedge, but how?

Dr. John Lund at the National Museum in Copenhagen called my attention to an illustrated article about mills, written in Arabic, in the journal Les annales archeologiques arabes syriennes XXIII, 1973, p. 167 in the Arabic part. The solution to the wedge problem is reproduced here in Fig. 7.

There exist some twenty reliefs showing hourglass shaped mills with draught-animals. Zimmer has found a few additional, cf.

Gerhard Zimmer, Römische Berufsdarstellungen, Berlin 1983, 20-39 & 106-120 & 183-184.

3. The most comprehensive work in English on the history and technology of the water mill is

Terry S. Reynolds, Stronger than a hundred men. Baltimore, 1983.

For technical details the following works are recommended. They are all illustrated with drawings in perspective.

Jorge Dias et al, Sistemas primitivos de moagem em Portugal. Vol. I. Moinhos de água e azenhas, Porto 1959.

Astrida Bugarski, "Mühlen in der Herzegowina, Wassermühlen mit horizontalem Mühlrad". Wissenschaftliche Mitteilungen des Bosnisch-Herzegowinischen Landesmuseums 1 Heft B, Volkskunde, Sarajevo 1971, 131-179.

Guiseppe Šebesta, La via dei mulini (molinologia), Trento (Arti Grafiche Saturnia) 1977.

Jean Orsatelli, Les moulin; les moulins á vent, les moulins a eau. Jeanne Laffitte éditeur Marseille 1979. 435 drawings.

The journal Cibinium has published a number of papers on mills. There are four volumes: 1966, 1969-73, 1974-78, 1979-83.

4. Roman mill ruins appear steadily in literature, but archaeologists often note them only in passing, cf: Stéphane Gsell, Enquête administrative sur les travaux hydrauliques anciens en Algérie, Paris 1902.
- p. 7.. Barrages Anciens... département d'Oran ... barrage ... actionnant le moulin ... might be a Roman mill.
- J. Birebent, Aquae Romanae, recherches d'hydraulique romaine dans l'est Algérien, Algérie 1962.
- p. 204 ... et du moulin installés ... ruines romaines. Map on p. 205 "Le moulin".
- p. 322, Lambese ... 20 à 30 litres/seconde ... conduisant au moulin. Map p. 323 "Moulin"
- p. 349 Map of Henchir el HESSIR ... 1. s(our)ce du moulin
- p. 363 ... l'actuel moulin
- p. 386 - sur la rive droite Henchir Touta, les ruines du IV^e moulin
- p. 387 Map of Aquae CLAVDIANAe .. 4^{eme} MOULIN
- p. 390 ... et á 60 metres d'un moulin
- p. 436 ... le moulin des Isles ...
- p 437, Map of Plaine de Chateaudun Mⁱⁿ(=moulin) des Isles. Several of these mill ruins might be Roman.

Philippe Leveau et Jean-Louis Paillet, L'alimentation en eau de Caesarea de Mauretanie et l'aqueduc de Cherchell, Paris 1976 p. 175 ... on voit un curieux massif de maçonnerie de 3,50 m á 4 m de haut. Ce massif contient un puits vertical de 0,80 m de diamètre ... d'un canal de 0,86 m de large dont l'extrémité se rétrécit á 0,38 m de large en arrivant au puits (173). This is a mill as shown in Fig. 10.

Note (173) Une construction analogue est mentionnée dans la région de Ténés. Revue Africaine tome 2, 1858 p. 270.

Philippe Leveau, "Caesarea de Maurétanie", Collection de l'École française de Rome 70, Paris 1984, 381. No. 211 ... , dans l'oued (river) Bou-Ardoun, un "moulin romain"...

5. Thorkild Schiøler and Örjan Wikander, "A Roman Water-Mill in the Baths of Caracalla". Opuscula Romana XIV:4 47-64.
- In the vicinity of this mill on Circus Maximus one has found, this year, the ruins of two turbine mills. At first sight they appear to be medieval, but mills from that time are also rare.
6. It is not unknown to the readers of POLHEM that already in 1704 Parant determined the theoretical efficiency of the water mill to be 4/27. His derivation with the title "Sur la plus grande perfection possible des machines" may be found in Memoires de l'Academie Royale des Sciences 1704 p. 432-451 but has later been reprinted.

To a modern physicist the derivation is almost incomprehensible, but after some trimming one arrives at the same result as Parant. It is interesting here to note that D.S.L. Cardwell suggests that Parant has left out a factor 2. Instead of $v^2 = 2gH$ Parant should have used $v^2 = gH$. Parant, however, does not use any of these formulas. By just using calculation by proportions he concludes that the pressure on the buckets of a water wheel is proportional to the mass and the stream velocity to the second power.

During my work on a textbook on waterlifting wheels for developing countries I arrived at the same result as Parant by different reasoning. It should be remarked that this theoretical model of a water wheel has only one bucket. A comprehensive literature review of this field is found in Svante Lindqvist, Technology on Trial, Uppsala 1984, 76 note 55.

7. In order to give an impression of the difficulty in "calculating" the number of inhabitants in Arles we shall only consider the simple part of the problem. How much power was available for the water mills at Barbegal?

In 1948 Sagui finds that 260 hp = 196 kW was available. In 1978 Landels assumes that each wheel receives ca 3 kW. He further assumes that there are only 16 wheels, which gives 48 kW. In 1983 Sellin finds that 60 kW are available:

Robert H.J. Sellin, "The Large Roman Water Mill at Barbegal", History of Technology 8, 1983, 101.

In July 1984 I noted that the water flow in the stream which now runs outside the mill had a flux of about 0.1 m³/s. With a total head of 20 m this corresponds to an input power of 20 kW. Hence, already in this simple part of the problem, the largest and smallest estimate differ by a factor of ten.

8. The same system may be found in an old gramophone motor. If the speed was too great a brake was activated by the governor.

For windmills it is known that the available power depends on the third power of the wind velocity. But this also holds for the power delivered.

The torque depends on the gap between the stones, which in turn is proportional to the wind velocity. The torque also depends of the flux of the grain, but this flow also depends on the wind velocity. The power is proportional to the angular velocity. Hence in summary: the delivered power is proportional to the cube of the wind velocity.

Gunnar Pipping

REDAN DE GAMLA GREKERNA ...

Antikytherafyndet i teknikhistoriens ljus.

Det var en gång - så börjar alla vackra sagor - ett lag grekiska svampdykare, personer som dyker efter naturliga tvättsvampar helt utan dykeritekniska hjälpmedel förutom en sten på några kilo som sänke, som låg stormbundet i lä av ön Antikythera i sundet norväst om Kreta; det var vid påsketid år 1900.

På 42 m djup hittade dykaren Elias Stadiatis resterna av ett vrak, lastat med antika statyer av marmor och brons, amforor och mycket annat. Han förde upp till ytan en lös högerarm av brons. Dykarna förde så småningom den bärgade armen till Nationalmuseet i Aten. Fyndet väckte sensation. Museet utrustade en bärgningsexpedition som trots stora svårigheter lyckades lyfta flera statyer. De daterades till första århundradet före vår tideräkning och finns nu utställda i museet i Aten.

Upp i ljuset med statyerna följde också en korroderad, oformlig metallklump. Ett halvår senare kom den att granskas av utbildningsministern Spyridon Staïs, arkeolog och fil. dr. - en riktig bildningsminister. Han fann spår av grekisk text och något som föreföll att vara kugghjul, se fig. 1. Specialister kopplades in, man kom till att det kunde ha varit något slags mekaniskt astrolabium. Det publicerades ett antal uppsatser i lärda tidskrifter, men ingen kunde ge någon nöjaktig förklaring. Det be-
tvivlades starkt att en så komplicerad mekanism kunde vara sam-
tida med statyerna. Den sista uppsatsen utkom år 1934, skriven av viceamiralen Jean Theophanidis. Sedan föll fyndet mer eller mindre i glömska.

Den engelske lärdoms- och teknikhistorikern Derek de Solla Price började på 1950-talet intressera sig för Antikythera-fyndet i sitt sökande efter det matematiska instrumentmakeriets, urmake-
riets och framför allt planetarieapparaternas historia. Han fann snabbt att detta fynd var väsentligt och måste analyseras ingåen-

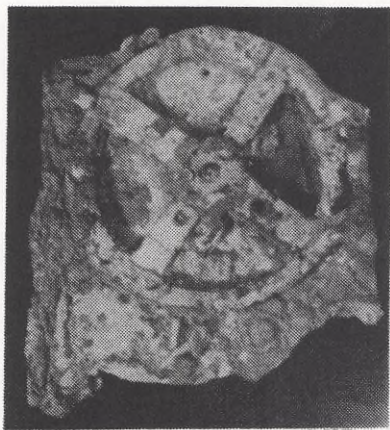


Fig. 1. Fotografi av fragment A i sitt nuvarande skick.

de. Han fick all möjlig hjälp av Nationalmuseet i Aten, liksom från atomforskningsinstitutet "Demokritos", där fysikern Charalampos Karakalos och hans medhjälpare bistod med gammastrålnings- och röntgenfotografering av fyndet. Detta hade delat sig då det torkat och bestod nu av fyra större och ett antal mindre bitar, se fig. 2.

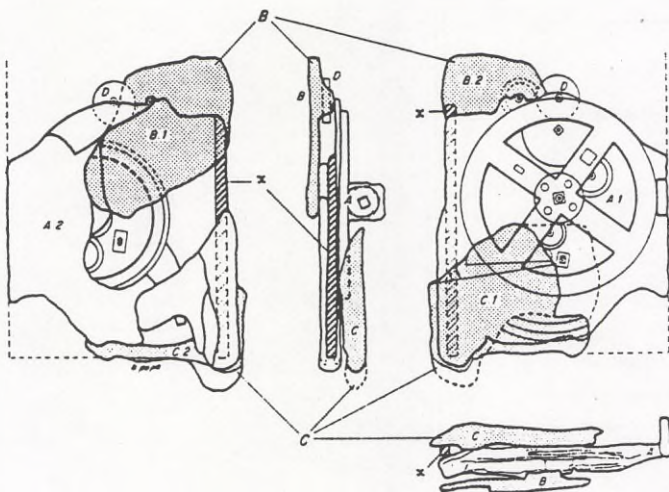


Fig. 2. Schema visande fragmentens inbördes lägen X markerar en i fyndet innesluten träbit som C14-daterats.

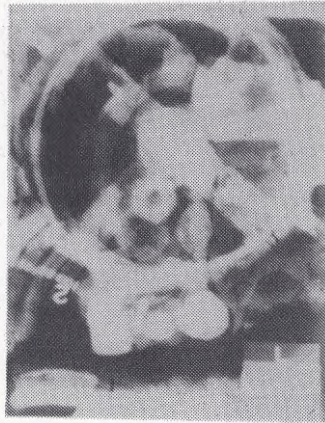


Fig. 3. Gammastrålningsbild av mittpartiet. Bottenhjulet B1 med sina fyra skänklar syns i bildens övre del, i den nedre de små hjulen F, G, H och I.

Röntgenbilderna, se fig. 3, visade klart att apparaten bestod av en komplicerad kuggväxelmekanism, som sannolikt varit innesluten i ett fodral av trä och metall med dimensionerna $1 \times 1/2 \times 1/4$ fot, ungefär $300 \times 150 \times 75$ mm, och med två visartavlor på baksidan och en huvudtavla på framsidan, se fig. 4.

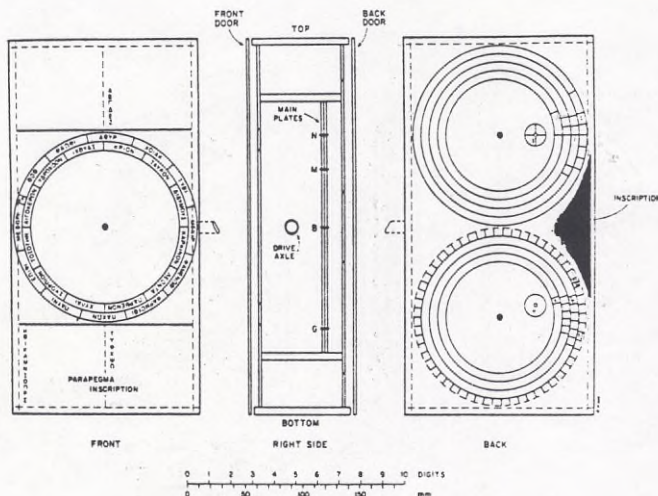


Fig. 4. Rekonstruktion av apparatens yttre. På framsidan ses de två koncentriska kalenderskalorna, vilka ses i detalj i fig. 10.

En del av skalorna var ännu läsbara; sammanlagt hittades nästan 800 bokstäver på apparaten. Derek Price och hans medarbetare lyckades klarlägga konstruktionens detaljer och kunde tolka mekanismens funktion. Apparaten visade sig vara en mekanisk kalender, som åskådliggör solens och månens relativa rörelser och som kan ställas in för olika år, vi kan kalla den en evighetskalender. Fig. 5 visar en plan av kuggväxelmekanismen, som innehåller ett 30-tal drivar och hjul med kuggtal från 15 till 225.

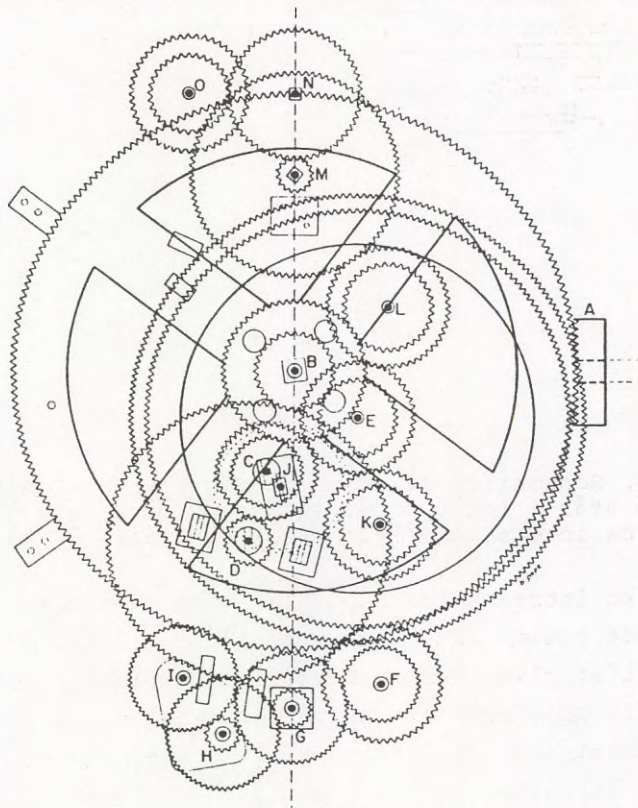


Fig. 5. Plan visande kugghjulens inbördes lägen och ingrepp.

I fig. 6 ser vi en sektion i starkt schematiserad framställning: i flera fall är här hjuldiametrarna inte proportionella mot kuggtalen. Schemat ger oss en möjlighet att förstå apparatens konstruktion. Överst är inritade ett par sol- och månvisare, vilka inte bevarats. Nederst t.h. syns axlar för månår och synodiska månader. Apparaten åskådliggör den välkända Metons cykel, som säger att det går 235 synodiska månader på 19 solår och vilken t.ex. kan användas till att förutsäga sol- och månför-mörkelser.

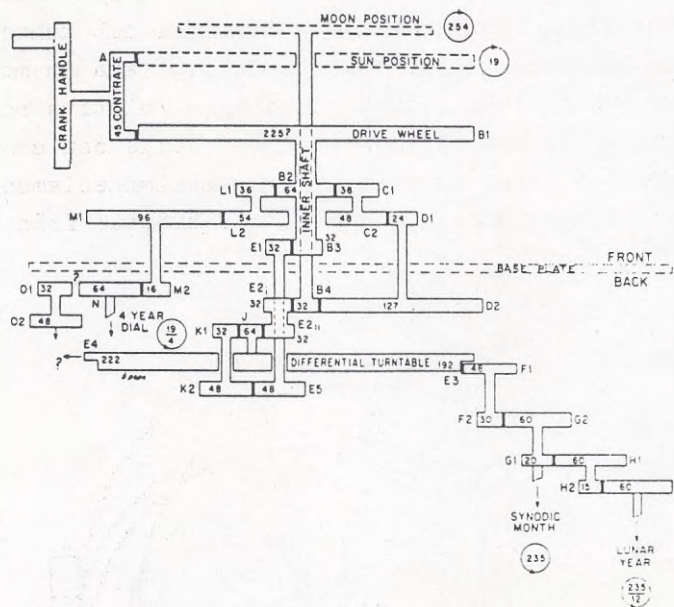


Fig. 6. Schematisk sektion genom kuggväxeln, visande hur hjulen står i ingrepp med varandra. Observera att hjuldiametrarna inte alltid svarar mot kuggtalen.

Den tekniskt intressantaste delen utgörs av hjulen E3-E4 med de däri lagrade hjulen E2-J-K-E5. De bildar tillsammans en differential- eller planetväxel. Det är en tekniskt mycket elegant lösning till problemet att hålla visartavlorna samlade. Man undviker på så sätt besvärliga rörelseöverföringar. Ett schema över differentialväxeln visas i fig. 7. Differentialen känner vi igen från den mekaniska differentialanalysatorn MDA på Chalmers och från bakaxeln i våra bilar. Konstruktionen visar sig ha gamla anor, det förefaller sannolikt att Archimedes är uppfinnaren.

Derek Prices och hans medarbetares föredömligt grundliga och utomordentligt skarpsinniga analys av Antikythera-mekanismen sträckte sig över nästan tjugo år. Den slutliga rapporten "Gears from the Greeks" publicerades år 1974 (1). Låt oss göra en källkritisk granskning av resultaten.

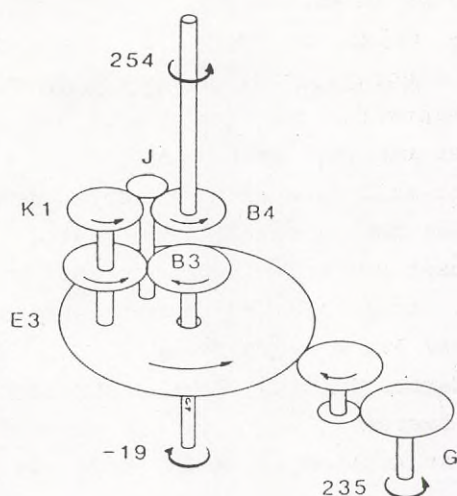


Fig. 7. Schema över differentialväxels uppbyggnad. Beteckningarna är desamma som i fig. 6.

Vi har framför oss ett marinarkeologiskt fynd som genom alla till buds stående metoder har daterats till ca. 80 år före vår tideräknings början: man har C14-daterat en i fyndet innesluten träbit, märkt x i fig. 2; epigrammatiker har daterat bokstavformerna i texten till samma tid; konsthistoriker har på stilhistoriska grunder daterat statyerna i vraket till första århundradet före vår tideräkning; man har C14-daterat virket i fartyget till -220 ± 43 , hon var tydligen en gammal plimsollare då hon sjönk; man har också med hjälp av sigillerna daterat amfororna ombord till ungefär decenniet 80-70. Också den astronomiska informationen stämmer överens med dåtida kunskap; mekanismen visar både den fasta grekiska och den rörliga egyptiska kalendern, den ger data för solens och månens relativa rörelser och för ett antal stjärnors och stjärnbilders heliakiska upp- och nedgång. Vi har således framför oss ett prov på antik teknik, ett bevis som inte kan betvivlas. Fastän det rör sig om ett enstaka fynd är dock bevisningen så överväldigande att vi måste ta hänsyn till fyndet; det finns ingen annan förklaring som är mindre osannolik än den att kalendermekanismen har gjorts av grekerna för 2000 år sedan.

Finns det något jämförbart material bevarat i form av föremål eller av texter? Av föremål finns intet jämförbart, blott omkring 300 antika solur, de flesta av sten och utan rörliga delar. Däremot finns ju en mängd metallföremål av olika slag, vapen och konsthantverk, som klart visar att metallbearbetnings-tekniken förvisso var högt utvecklad och inte kan ha begränsat möjligheterna att tillverka en komplicerad mekanism som denna av brons. Läget är bättre beträffande texter, även om urvalet är starkt begränsat och tolkningen nästan oöverstigligt svår, så länge vi inte har de nödvändiga referensramarna. I sin avhandling ger Derek Price några exempel, och jag vill här återge ett avsnitt ur Marcus Tullius Ciceros "De re publica" efter Keyes' engelska översättning, i vilket verk Cicero beskriver ett planetarium av Archimedes på följande sätt:

"Jag minns en gång, då Gaius Sulpicius Gallus, som du vet en mycket lärd man, råkade vara hos Marcus Marcellus, konsul i Rom (år 166 f.K.) tillsammans med Gallus. Marcellus lät taga fram den himmelsglob som hans farfar medfört från Syrakusa efter erövringen av denna rika och vackra stad (år 212, då också Archimedes slogs ihjäl av en soldat).

Fastän jag på grund av Archimedes stora berömmelse ofta hört globen nämnas, blev jag inte särskilt imponerad då jag såg den, eftersom den andra globen som Archimedes konstruerat - den som står i Vestatemplet - är vackrare och lika känd hos allmänheten.

Men då Gallus gav en mycket lärd förklaring av apparaten förstod jag att den berömde sicilianaren begåvats med större genialitet än man trott vara möjligt för en människa att besitta. Gallus berättade nämligen för oss att den andra arten av himmelsglob, vilken är massiv och utan hålighet inuti, är en mycket tidig uppfinning; den första av det slaget hade konstruerats av Thales från Miletus (640-546) och senare Eudoxus från Cnidus (408-355) - elev till Platon, uppges det - försetts med stjärnbilder och fixstjärnor på himlen. Han förtalte även att Aratus (300-tal.) några år senare, lånade hela detta arrangemang och planen från Eudoxus, hade beskrivit den på vers, utan kunskap i astronomi men med avsevärd poetisk talang.

Men detta nyare slag av glob, sade han, på vilken Solens och Månens rörelser avbildades, liksom de fem stjärnors som kallas vandringsstjärnor (dvs. de fem planeterna). innehöll mera än vad som kunde visas på en solid glob, och att Archimedes uppfinning förtjänade särskild beundran därför att han utfunderat ett sätt att med en enda vev (2) för att vrida globen noggrannt kunde demonstrera dessa olika och varierande rörelser med sina olika hastigheter.

Och då Gallus vred på globen hände det verkligen att bronsapparatens Måne alltid var just så många varv efter Solen som den var dagar efter Solen på himlen. På samma sätt inträffade en solförmörkelse på globen som den skulle komma att inträffa i verkligheten, och Månen kom till den punkt, där jordskuggan var just då, då Solen ..."
(Här saknas ett avsnitt i Ciceros text.)

Cicero, De re publica, I:xiv

Detta är ju en ganska klar beskrivning, trots den retsamma bristen på detaljer, men texten är svårtolkad så länge man saknar tillhörande referensram. Den får man genom Antikytherafyndet; tack vare detta vågar man ta Cicero på orden och man inser att Archimedes konstruerade och gjorde, eller lät göra, en apparat som påminner om de tellurier eller planetarieapparater vi känner igen från 1700-talets fysiska kabinett eller från fysiksalarna i vår ungdoms gymnasier.

Det är naturligtvis intressant att granska även andra antika skribenter i tekniska ämnen i relation till den referensram, som Antikythera-mekanismen ger oss. Då får vi klart för oss att t ex. Herons tekniskt tämligen enkla apparater inte representerar det yppersta av antikens teknik, utan kanske snarare ett tekniskt allmångods. Vi får heller inte glömma att så ytterst litet av skriftliga källor har bevarats och att urvalet är helt slumpmässigt. Man vet t ex att Archimedes skrev en bok "Om att göra sfärer", vilken inte har bevarats.

Varför har så litet av detta tekniska arv kommit oss sena tiders barn till godo; varför har det mesta försvunnit så spårlost? Visst har vi fått ära, även om arvets ursprung inte alltid är så tydligt (3). För några år sedan dök det upp delar av ett bysantinskt mekaniskt astrolabium även det försett med kugghjulsväxling. Delarna har noga undersökts och kan dateras till 400 - 500-tal (4). Konstruktionen bygger med säkerhet på arvet ifrån grekerna och visar oss att traditionerna inte bröts. Fyndet ansluter helt till det mekaniska astrolabium som beskrivs i al-Birunis manuskript från 1000-talet och som i sin tur är nästan identiskt med ett mekaniskt astrolabium från 1221-2, som finns i Oxford (3). Det förefaller också sannolikt att samma tråd går vidare i väven till de kända medeltida mekanismerna: Giovanni de Dondis planetarieklocka från 1360-talet

(5) och de senmedeltida uren i domkyrkorna, och från dem till industriell urtillverkning och till vår tids verkstadsindustri. Våra dagars maskinindustri har sin viktigaste rot i Antikythera-fyndet.

De tekniska färdigheterna överfördes enligt urgammal hantverkartradition från mästare till lärling i en ändlös räckta. De flesta är för oss namnlösa, någon enstaka gång råkar ett namn bli bevarat: de Dondi, Imsser, Burgi, men knappast något namn från antiken. Mycket var ju yrkeshemligheter - arcana - som inte fick spridas till bönhasar utanför de invigdas krets. Klyftan mellan de två kulturerna som C.P. Snow talar om, har mycket gamla anor; handens färdigheter anförtroddes ej åt böcker eller skrift, också därför finns så ytterst ringa kunskap om gammal teknik bevarad. Ett och annat blev dock nedskrivet och därav har fragment råkat bli kvar till våra dagar (6). Men vid läsning av texterna får man betänka att förhållandena då i vissa avseenden säkert liknade dagens: de som skrev var ofta utomstående, amatörer om man så vill kalla dem, som skrev för andra utomstående, tag som exempel arkitekten Vitruvius, som bl a skrev om solur. Det var sällan på den tiden fråga om läroböcker som en mästare skrev för att ge sina färdigheter vidare till nästa generation; så gör vi idag också i fråga om hantverk, så gjorde man aldrig då. Vi måste idag läsa texterna med stor försiktighet, de är ofullständiga och ofta säkert felaktiga.

Beträffande bristen på artefakter må man minnas att metallskrot alltid har varit värdefullt, inte bara ädelmetaller utan även koppar och brons och naturligtvis också järn. Man slänger inte bort en bit järn som kan användas till något nyttigt. Häri ligger naturligtvis främsta orsaken till att nästan intet av gammal teknik finns kvar. Det är blott genom gravfynd som vi har fått kunskap om forna tiders metallbearbetningsteknik, men på grund av gravfyndens speciella karaktär blir urvalet av föremål alltid mycket selektivt. Marinarkeologin ger oss - trots sina begränsningar, främst i fråga om fyndfattigdom - ett föremålsurval av mycket mera allmängiltig art. Det är att hoppas att marinarkeologin får större resurser, och att sådana undersökningar kan bedrivas systematiskt och målmedvetet.

Låt oss ett ögonblick begrunda hur man med dåtida teknik kan ha gjort en så komplicerad apparat. Den kan inte ha tillkommit som resultat av ett enda genis verksamhet. Mekanismen måste ha en förhistoria, en teknologisk bakgrund, som vi hittills inte har känt till och inte ens ansett möjlig. Men av bevarade gravfynd att döma har otillräcklig metallbearbetningsteknik inte utgjort något hinder, se t ex de skytiska gyldföremål från Ryssland, som häromåret visades på Historiska museet i Stockholm och av vilka, då detta skrives, några visas på utställningen "Sidenvägen" i Göteborg. Också de föremålen har en grekisk bakgrund. De är dock några sekler äldre än Antikythera-mekanismen. De uppvisar en suverän färdighet i metallarbete. Spånavskiljande bearbetning förekom, järnet var känt sedan länge, liksom konsten att härda stål. Filen var ett vanligt verktyg. <uppenbarligen kunde man borra lagerhål i stomplåten och göra runda axlar med en diameter av 3-6 mm. Det är heller inte så svårt att dela kugghjul utan en delningsmaskin. Vinklar som på klassiskt maner kan delas med passare och linjal erbjuder inga svårigheter, men också hjul med stora primtalsfaktorer går bra att dela, t ex $30 = 2 \times 19$. Man tar ett band av lämpligt material, tyg eller tunn plåt eller en metalltråd och avsätter 38 lika delar. Så lindar man bandet kring en cylinder just så stor att bandets ändrar möts. Man kan få hyvla på cylindern en stund för att få det att passa. Man ritar upp 38 radier efter märkena och kan sedan använda skivan till att dela hjulämnen av godtycklig diameter. Man kan också använda en approximativ metod för att t ex göra ett hjul som D2 med 127 kuggar. Man delar ämnet till $128 = 4 \times 32$ och låter sedan en kvadrant få en kugg för litet genom att förstora var kugglucka en aning eller med bråkdelen $1/32$. Kuggarna filades sedan till för hand, en teknik som urmakare vid behov har använt sig av långt upp i 1800-talet och ibland använder än i dag. Kuggarna i Antikythera-mekanismen är liksidigt triangulära med raka kuggflanker, vilket klart framgår av bilderna. Sådana kuggar fungerar förvånande bra och användes allmänt till medeltidens slut och längre, t ex i de Dondis klocka; ännu i tornuret på Skoklosters slott från 1670-talet hittar man vinkelväxlar med stjärnformiga hjul ock med alldeles raka flanker. Fig. 8 visar ett diagram över

delningsfelen i en kvadrant av skalan på Antikythera-mekanismens framsida, fig. 9.

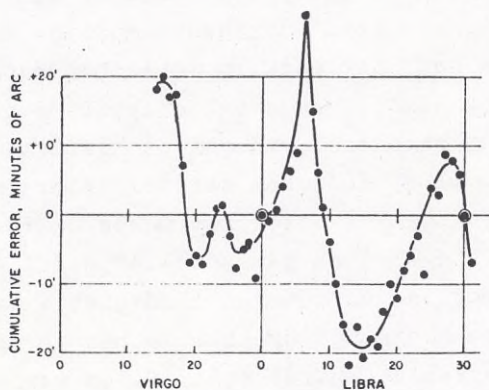


Fig. 8. Diagram över delningsfelen i zodiakringens 360 skala, den inre av de två skalorna i fig. 10. Medelfel $\pm 6''$.

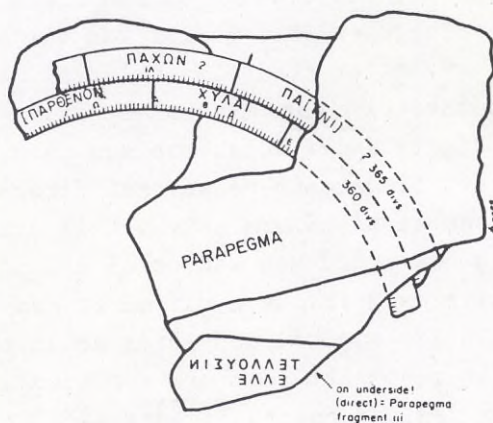


Fig. 9. Delar av framsidans skalor, fragment C 1.

Man kan mycket väl tänkas ha arbetat efter ritningar, då man konstruerade en så komplicerad apparat som denna. Nyligen har en tysk arkeolog upptäckt detaljerade byggnadsritningar inristade på en finhuggen, men aldrig färdigslipad mur i Apollotempellet i Didyma strax söder om Efesos (7). Liknande ritningar är

också kända från franska medeltidskatedraler och även från gotländska kyrkor.

Bland insiktsfullt folk är det en sedan länge övergiven uppfattning att grekerna i gemen skulle ha utgjort en arbetsskygg överklass som djupt föraktade tillvarons praktiska sidor och som vandrade bland kolonnerna i templen, ivrigt diskuterande tusen intrikata filosofiska spörsmål, medan slavarna arbetade. Det är sedan länge uppenbart att grekisk naturvetenskap också hade en praktisk, en teknisk, sida och inte uteslutande var teoretisk, spekulativ, såsom det tidigare ofta har hävdats.

Antikythera-fyndet - vårt enda bevarade prov på komplicerad teknik från antiken (8) - visar otvetydigt att medelhavskulturernas och framför allt grekernas tekniska kunnande stod högt över de ganska enkla mekaniska apparater vi hittills känt till. Vi bör med nya ögon granska tidigare tolkade texter, och därtill ägna ett flitigt studium åt de ännu ej granskade - framför allt arabiska - texterna.

Noter

1. Transactions of the American Philosophical Society, New Series, Vol. 64:7, 1974. Denna uppsats bygger väsentligen på ovanstående, varifrån även bilderna tagits, med undantag för fig. 1 och 3, vilka välvilligt ställts till förfogande av dr. Karakalos i Aten.
2. "vev": I den latinska texten står conversio kringvridning, kretslopp, här översatt med vev.
3. Beträffande urmakeriets förhistoria, se t ex Price, D., On the origin of clockwork, perpetual motion, and the magnetic compass. Smithsonian Institution, Washington D.C. 1978.
4. Field, J.V. - Wright, M.T., Gears from the Byzantines: A Portable Sundial with Calendrical Gearing. Annals of Science, 42, 1985.
5. Ward, F.B., (red.), The Planetarium of Giovanni de Dondi, Citizen of Padua. Antiquarian Horological Society, London 1974.
6. Se t ex John H. Leopold, The Almanus Manuscript. Heineman, London, 1971.
7. Se Lothar Haselberger, The construction plans of the temple of Apollo at Didyma. Sc. Amer. Dec. 1985:114.
8. Eftersom uppsatsen handlar om grekerna, måste här givetvis ingå en hexameter.

Bjarne Huldén

ARKIMEDES OCH SOLSTRÅLARNAS

En solig, vindstillad novemberdag år 1973 kunde man i Pireus hamn bevittna ett märkligt skådespel. Ute på redan, förankrad knappt 40 m från kajkanten sågs en 3,5 m lång trämodell av en gammal grekisk trier, krigsskeppet med 170 roddare och ett råsegel. Längs kajen stod 60 marinsoldater uppradade, var och en utrustad med en bronserad spegelskiva i form av en antik grekisk sköld. På ett givet tecken riktade alla sköldbärarna sina solkatter mot en gemensam punkt på modellen. Inom två minuter antändes det lilla träskeppet och fortsatte länge att brinna.

Avsikten med detta experiment var att praktiskt demonstrera hur Arkimedes lät bränna upp romerska skepp som attackerade Syrakusa under stadens krig med Rom i slutet av 210-talet f.Kr. Sköldarna i Pireus var plana, rektangulära (1,8 x 0,9 m) och gjorda av glas överdraget med en bronsfilm. Ytan var skrapig och något dammig för att vara lik den tänkta förebilden. Demonstrationen fick stor publicitet och blev ivrigt diskuterad.¹ I en av våra dagstidningar ingick många år senare en entusiastisk skildring av denna moderna rekonstruktion och dess antika bakgrund.² Skildringen inleds med följande konstaterande: "Gång på gång visar det sig att historiska berättelser talar sant även när det gäller nästan ofattbara händelser. Men vi saknar ofta både den nödvändiga kunskapen och den vetenskapliga fantasin för att riktigt förstå forntiden. - - - Det tog således omkring 2200 år innan en otrolig berättelse om forntidens stora allsidiga geni Archimedes fick sin jordbundna och plausibla förklaring."

Sant är att Arkimedes tekniska prestationer vid försvaret av Syrakusa i hög grad fascinerat eftervärldens "vetenskapliga fantasi". Den "otroliga berättelsen" om brännspeglarna har föranlett talrika diskussioner om de tekniska möjligheterna, men också skarpsinnig kritik av berättelsens historiska källor. Ända sedan renässansen har uppfattningarna pendlat mellan

tilltro och tvivel. En lyckad demonstration bevisar ännu inte att Arkimedes faktiskt använde sig av brännspeglar, den visar endast att metoden under givna förutsättningar kunde ha varit möjlig.

De tidigaste ryktena om Arkimedes pyrotekniska prestationer härstammar från senare hälften av 100-talet e.Kr. Sofisten och satirikern Lukianos från Samosata i Syrien har skrivit att "Arkimedes, så erfar vi, med hjälp av teknik satte fiendens skepp i brand". Lukianos levde under åren 120-180 e.Kr. Något senare finner vi en kort notis av läkaren Galenos från Pergamon, som levde åren 129-199 e.Kr. Han berättar i sitt arbete "Om blandningar", att små orsaker kan ha stora verkningar och nämner som exempel att "enligt hörsägen lär Arkimedes på något sätt med hjälp av pyria ha satt eld på fiendens trierer". "Pyria" betydde normalt elddon eller brännbart material, men kunde enligt Heron från Alexandria även användas om brännspeglar.³

Dessa bägge vittnesmål återger endast vad som ryktas eller berättas. Det är först senare, under 500-talet, som mera detaljerade och kritiska reflexioner anläggs på den gamla legenden om Arkimedes brännspeglar. Matematikern, mekanikern och byggmästaren Anthemios från Tralleis i Lydien (död 534 e.Kr.), Hagia Sofia-kyrkans arkitekt i Konstantinopel, har i ett fragment "Om paradoxala maskiner" lagt fram teorier om brännspeglars konstruktion och effektivitet. Under rubriken "Hur man skall förfara för att på ett givet avstånd, minst ett bågskott, åstadkomma en antändning med hjälp av solstrålar" framhåller han, att det inte är möjligt att med en brännspegel få till stånd detta; den skulle bli ofantlig och omöjligt stor. Men emedan det inte är möjligt att minska ryktbarheten hos Arkimedes, om vilken alla enligt berättar att han brände upp de fientliga skeppen med hjälp av solstrålar, så är det rimligt att anta, säger Anthemios, att problemet kan lösas.

Han konstaterar först att man kan åstadkomma förbränning genom att flera män försedda med jämna, plana speglar riktar solstrålar mot en gemensam punkt. Det fordras dock, säger han,

på detta avstånd (ett bågs-kott) inte mindre än 24 spegelreflexer för antändning, och för att slippa besväret att engagera så många personer föreslår han en annan metod. En hexagonal spegel förses på alla sex sidor med liknande, något mindre speglar på gångjärn längs centralspeglens sex kantlinjer. Då kan man efter någon övning luta de kringliggande speglarna så mycket inåt att alla sju speglar koncentrerar sina solreflexer mot en gemensam punkt av målet. Effektivare förbränning åstadkommer man med fyra eller fem, kanske t o m sju sådana kombinerade speglar. Det är tydligt att Anthemios har tänkt sig en reflektor sammansatt av sju plana ytor placerade som tangentplan till en ändamålsenligt sfärisk eller parabolisk yta. Han tillägger att de som berättar om den gudomliga Arkimedes spegelkonstruktioner uttryckligen talar, inte om en utan om flera speglar, och det stöder denna hans teori om det enda möjliga sättet att få till stånd antändning på så långt avstånd.⁴ Senare upprepades dessa argument, på 1100-talet, av den bysantinska författaren Tzetzes, men nu i den formen att Anthemios teori ordagrant sades beskriva en faktisk uppfinning av Arkimedes själv!⁵ Därmed blir Tzetzes helt otillförlitlig och bidrar endast till legendbildningen kring Arkimedes.⁶

Experimentet i Pireus hamn var inte det första i sitt slag. På 1640-talet hade prästmannen Fader Athanasius Kircher gjort några enkla prov med 1-5 plana speglar på ett avstånd av 30 m och dragit slutsatsen att ett stort antal plana speglar arrangerade på lämpligt sätt skulle vara effektivare än en parabolisk spegel eller en spegel av något annat slag. Men Kircher gjorde mer än så. Han företog en studieresa till Syrakusa för att kontrollera hur hamnen och dess omgivningar praktiskt lämpade sig för användningen av speglar. Och han ansåg sig ha fått starkt stöd för sin uppfattning att matematikern och filosofen Descartes hade fel: denne hade nämligen i sin bok "Dioptrique" på teoretiska, optiska grunder stämplat historien om Arkimedes brännspeglar som en fabel, till stor bestörtning för samtiden. Hundra år senare tog naturforskaren George Buffon upp temat och urförde ett mera avancerat experiment för att bevisa att Kircher hade rätt. Med 128 små plana glas-

speglar (6" x 8") monterade i en paraboliskt formad träram lyckades han i parken "Jardin du Roi" i Paris antända en träkloss på 50 m avstånd. Glädjen var stor ty Buffon ansåg att Descartes hade försökt tillrättavisa och överglänsa Arkimedes och hade förnekat möjligheten av en sådan uppfinning. Buffon var den praktiska handlingens man och ansåg att experimenten kullkastade Descartes nedlåtande tvivel. Intressant är att bland sina spegelarrangemang föreslog Buffon ett system som direkt föregriper den av flera prismatiska zoner uppbyggda lins som Fresnel senare uppfinner på nytt.⁷

Fyrtio år efter Buffon uppträder en ny tvivlare av cartesianska mått, den berömde historikern Edward Gibbon. Han skriver på 1780-talet om hur de bysantinska kejsarna understödde arkitektur och ingenjörskonst som baserades på matematik och mekanik. Mästare som Anthemios och Proklos kunde tävla med Arkimedes i ryktbarhet. Enligt en förhärskande tradition skall Arkimedes med hjälp av brännspeglar ha reducerat den romerska flottan till aska i Syrakusas hamn. Det påstås även att Proklos på 400-talet med ett likartat instrument förstörde de gotiska skeppen i Konstantinopels hamn för att skydda sin välgörare Anastasios mot Vitalianos djärva företag. En maskin var uppmonterad på stadsmuren bestående av en hexagonal spegel av polerad mässing med många små och rörliga polygoner som kunde mottaga och reflektera middagssolens strålar; detta instrument kastade en förtärande flamma mot mål ända till tvåhundra fots avstånd. Emellertid påpekar Gibbon att sanningen om dessa båda remarkabla fakta förlorar sin trovärdighet på grund av att de mest pålitliga historikerna helt tiger om dem; i fråga om Syrakusas belägring gäller tystnaden Polybios, Plutarkos och Livius, i fråga om Konstantinopel Marcelinus och alla samtida från det sjätte århundradet. Men Gibbon uttrycker sin stora beundran för experimenten i Paris. Han saluterar "den odödlige Buffon": "vilka underverk skulle inte detta geni ha presterat i rikets tjänst med furstligt understöd under Konstantinopels och Syrakusas starka sol!".⁸

Vilka är då de tekniska förutsättningarna för att man med brännspeglar skall kunna antända trävirket i ett gammalt

skepp? Här har man god hjälp av moderna forskningsresultat gällande brandfaran för trämaterial vid värmestrålning. Ehuru forskningen visar att flera olika faktorer påverkar både antändningstiden och strålningsintensiteten vid vilken spontan tändning sker, har man sammanfattningsvis konstaterat att minimiintensiteten för olika träslag, som torkats i 90°C temperatur under 24 timmar, varierar inom rätt snäva gränser från 25 till 30 kW/m². Proven omfattar såväl cederträ som ek och mahogny. Antändningstiden vid lägsta intensitet för dessa träslag varierar mellan en och två minuter, vid högre intensitet minskar tiden rätt snabbt.⁹ Under minimet sker överhuvud ingen antändning.

Solens strålning till jorden ovanför atmosfären uppgår i medeltal till ca 1,4 kW/m² vinkelrätt mot strålningsriktningen. Atmosfärens absorption är beroende av fuktighet, moln och solhöjd. Vid klart väder och en solhöjd över 45 grader är 1kW/m² ett gott medelvärde för intensiteten. Vid användningen av enkla solspeglar reflekteras endast 60-80% och man får ett utgångsvärde per spegel av ca 0,6-0,8 kW/m². Den strålning som når målet kan ytterligare bli begränsad av små speglar på långa avstånd. Dessa värden stämmer rätt väl överens med de utförda experimenten.

Anthemios teori om 24 speglar på ett bågskotts avstånd ger ett maximivärde av ca 20 kW/m², vilket inte ligger långt från det empiriskt uppmätta minimet 25 kW/m². Buffons 128 små speglar ger enligt beräkningarna endast 18 kW/m² med 60% reflexionsvärde för speglarna.¹⁰ Med 80% reflexion stiger värdet till 24 kW/m². Buffon drog i alla fall den riktiga slutsatsen att Arkimedes kunde ha lyckats. Försöken i Pireus ger med 60% reflexion (dammiga speglar) 0,6 x 60 = 36 kW/m² eller klart över minimigränsen 30, vilket således skulle uppnås redan med 50 speglar.

Buffon skulle säkert med förtjusning ha inspekterat ett modernt solkraftverk där tusentals rörliga speglar, heliostater, följer solens bana och reflekterar strålarna till en central mottagare monterad högt över markytan. Heliostaterna är arrangerade i

cirkulära band på ytan och fungerar i mycket som en omvänd Fresnel-lins med mottagaren i brännpunkten. Ett värmeverk i Kalifornien har trettio heliostater med sammanlagt 1584 m^2 spegelyta i fem cirkulära bågar runt mottagaren på 20 m höjd och är i stånd att alstra 1000 kW värmeenergi vid klart väder; verkningsgraden är således ca 65%.¹¹

Den moderna forskningen är rätt överens om att berättelsen om Arkimedes och brännspeglarna är en legend.¹² Stort intresse har forskarna ägnat frågan om hur en sådan legend kunnat uppstå och hållas vid liv så länge, i över 2000 år, trots att t ex de ansedda, tillförlitliga historieskrivarna Polybios, Livius och Plutarkos inte har ett enda ord om brännspeglar i sina ofta mycket detaljerade skildringar av Syrakusas försvar och Arkimedes insatser och stordåd, som på ett avgörande sätt bidrog till att den romerska krigsmaktens attacker länge blev fruktlösa. Att Arkimedes i en bok skulle ha behandlat optiska reflektorer och brännspeglar härstammar från Apuleius, ca 350 år efter Arkimedes död.¹³ Det har säkert bidragit till legendbildningen under bysantinsk tid, men anses numera sakna historiskt värde. En arabisk översättning av en bok om brännspeglar av matematikern Diokles, som skrev den någon tid efter Arkimedes död, ca 200 f.Kr., har nyligen blivit funnen och publicerad.¹⁴ Där löser han ett problem om koniska sektioner som Arkimedes enligt Diokles hade behandlat ofullständigt. Dessutom gör Diokles anspråk på att vara den första som bevisat att en parabel har en brännpunkt och att en parabolisk spegel koncentrerar solens strålar i en punkt. Men där finns ingen som helst referens till något verk av Arkimedes om brännspeglar.¹⁵

Det anses därför att grunden för legendbildningen låg i det faktum, att Arkimedes blev föremål för en måttlös beundran och ansågs ha nästan övernaturlig begåvning som ingenjör och matematiker.¹⁶ Redan Anthemios kallar ju Arkimedes för "gudomlig" eller "gudalik". Han var förvisso värd all beundran. Det har t o m sagts att han var den enda människa i antiken som kunde ha förstått Einstein.

Att brännspegelberättelsen verkligen är en legend styrkes även av det faktum att romarnas arsenal efter Syrakusas fall inte kompletterades med brännspegelvapen. En övertygande argumentering gör gällande att, ifall legenden haft verklighetsbakgrund, skulle Medelhavet efter år 211 f.Kr. ha lysts upp av brinnande skepp överallt.¹⁷

Men kvar står faktum att Arkimedes kunde ha gjort det, det har senare experiment klart visat. Även här har dock tvivel anförts. Alla utförda experiment har haft som mål ett stillastående trävirke. Eftersom antändningstiden i praktiken sannolikt inte kan understiga 1/2 minut, kan rörliga mål och brandsläckningsåtgärder menligt försvaga experimentens bevisvärde. Men ingenting kan försvaga den strålande glorian kring antikans största matematiska och tekniska geni, Arkimedes.

Noter

1. Times (London) 7.11.1973; Washinton Star News, 13.11.1973; Time 26.11.1973; New Scientist 1.11.1973, 22.11.1973, 18.7.1974; T.W. Africa, "Archimedes through the Looking Glass", Classical World 68 (1975) s. 305-308.
2. J. Juhldahl, "Archimedes använde solstrålar som vapen", Hufvudstadsbladet 28.9.1981.
3. Schneider 1969, s. 6; not 18.
4. Huxley, G.L., "Anthemius of Tralles: A Study in Later Greek Geometry", Monograph 1, Cambridge, Mass. 1959, s. 12-15.
5. Tzetzes, Book of Histories, i verket "Greek Mathematics" av Ivor Thomas, del II, 1968, s. 19-23.
6. Knorr, W., "The Geometry of Burning Mirrors in Antiquity", Isis vol. 74 (1983) s. 54-55.
7. Middleton, Knowles W.E., "Archimedes, Kircher, Buffon and the Burning Mirrors", Isis 52 (1961) s. 533-543.
8. Gibbon, Edward, "Decline and Fall of the Roman Empire" 1776-1787. The Modern Library, New York (1930?), volym II, kapitel 40, avsnitt V, s. 505-506.
9. Lawson, D.J. & Simms, D.L., "The ignition of wood by radiation", British Journal of Applied Physics, vol. 3 (1952), s. 290.
10. Middleton 1961, Se not 7, s. 452. - Obs. i formeln på denna sida finns ett förargligt tryckfel. Faktorn II (π) i nämnaren har bortfallit.
11. Kreith, F. & Meyer, R., "Large-Scale Use of Solar Energy with Central Receivers", American Scientist, vol. 71 (1983), s. 604.
12. Dijksterhuis, E., "Archimedes", Köpenhamn 1956, s. 28.
Schneider, Ivo; "Die Entstehung der Legende um die kriegstechnische Anwendung von Brennsiegeln bei Archimedes", Technikgeschichte, Bd 36 (1969), s. 1-11.

- Schneider, Ivo, "Archimedes. Ingenieur, Naturwissenschaftler und Mathematiker", Erträge der Forschung Band 102, Darmstadt 1979, s. 91-97.
- Africa, Th., "Archimedes Through the Looking Glass", The Classical World, February 1975, s. 305-308.
- Simms, D., "Archimedes and the Burning Mirrors of Syracuse", Technology and Culture, vol. 18 (1977), s. 1-24.
13. Schneider 1979, s. 96.
 14. Toomer, G., "Diocles On Burning Mirrors. The Arabic Translation of the Lost Greek Original. Edited with English Translation and Commentary, 1979, 223 sidor.
 15. Simms, Se not 12, s. 13-14.
 16. Schneider 1969, Se not 12, s. 11.
 17. Africa 1975, Se not 12, s. 306.

Bjarne Huldén, Kate Larsen and Olaf Pedersen

AAGE GERHARD DRACHMANN (1891-1980): A BIBLIOGRAPHY

Reprinted, with permission, from *Centaurus* 28 (1985), 101-107.

With the death of Dr. A.G. Drachmann the international community of historians of science and technology suffered a very serious loss indeed since no other modern scholar has contributed more than he to our knowledge of the mechanical technology of Graeco-Roman Antiquity. A full evaluation of his many achievements in this field would need a long and careful study which still awaits its author. In the meantime the following bibliography, compiled by Bjarne Huldén and Kate Larsen will serve as a guide to Dr. Drachmann's publications, and we are pleased to be able to publish it in this journal of which he was both a founding father and a faithful collaborator who contributed more papers to its pages than any other author.

Aage Gerhard Drachmann was born 1891 October 22 in Copenhagen as son of the well-known classical scholar, professor A.B. Drachmann. He himself also received a classical education, graduating in 1915 from Copenhagen University. His secondary subject was English language and literature which he later cultivated with a lifelong and deep-rooted love and understanding. A bachelor all his life he led a quiet existence as a librarian at the University Library of Copenhagen where he worked from 1917 to 1956 when he took an early retirement in order to be able to devote all his time to research and publication, only interrupted by occasional - and always extremely well prepared - lectures to learned societies or international conferences, or by fishing expeditions to the rivers and streams of Jutland which he even as an old man visited on his small motor cycle, calling on friends and entertaining their children by his unusual dexterity in making string figures.

His scholarly career began in 1932 with the seminal work on *Ancient Oil Mills and Presses* which was in 1948 followed by the great book on *Ktesibios, Philon and Heron* for which he was

awarded a degree of Doctor of Philosophy. Among his later books the *Mechanical Technology of Greek and Roman Antiquity* will remain the standard monograph on this subject. Also a number of minor books appeared, some of them revealing an unusual gift for popularisation at a highly scholarly level.

Dr. Drachmann's success in his field was based on two very different circumstances which are but rarely combined in a single individual. First and foremost he was a meticulous philologist possessed of a complete mastery of the art of critical analysis of classical texts in manuscript versions, supplemented over the years by an intimate knowledge of such different languages as Arabic and old Norse. This enabled him carefully to discuss the traditional literary accounts of ancient inventions and to place the history of ancient technology within a safely established historical framework, although the social history of science always occupied a secondary place in his mind, the text itself being the principal object and point of departure for his research and its resulting reconstructions of ancient machinery. But secondly, these reconstructions were never merely desk-work. Dr. Drachmann was a superb craftsman who, in his private workshop, transformed bits of wood and metal into working models of the objects he was studying. If the model did not work there were three possibilities - that we had misunderstood the text, that it had been corrupted by scribes, or that the author himself had been mistaken. This practical attitude enabled him to illuminate many obscure textual passages which had otherwise proved resistant to ordinary philological interpretation.

This highly original approach yielded very many fascinating results and made Dr. Drachmann a scholar of great international renown. In 1971 he was awarded the Leonardo da Vinci Medal, and three years later he was elected an honorary member of the Académie Internationale d'Histoire des Sciences. Just before he died he was presented with the rare Gold Medal of the Royal Danish Academy of Science and Letters, a learned society which by a strange oversight never gave him that place among its fellows which he so obviously deserved.

Being fully possessed of his mental faculties Dr. Drachmann enjoyed a more fruitful retirement than most other scholars of his age, always eagerly pursuing some new problem which challenged his ingenuity. He died on April 9th, 1980, working on another application for a grant which would enable him to continue his research.

BIBLIOGRAPHY

- 1931 *Ledetraad i Biblioteksarbejde for Ikke-fagmaend.* 90 pp. København.
- 1932 "Hero's and Pseudo-Hero's Adjustable Siphons", *Journal of Hellenic Studies* 52, pp. 116-118.
Ancient Oil Mills and Presses, in: Kgl. Danske Videnskaberne Selskab, *Archaeologisk-kunsthistoriske Meddelelser* I,1, pp. 1-181, Copenhagen.
- 1933 *Kogebog for Studenter og andre Ungkarle*, 55 pp., København.
"E.B. Browning and Hans Andersen" (2/4 1805 - 4/8 1875), *Edda*, Nordisk Tidsskrift for Litteraturforskning, 20. Aarg., Bd. 33, pp. 494-502.
- 1935 "Schraube", *RE Suppl.* 6, cols. 654-659.
"Digitus", *RE Suppl.* 6, col. 1287.
- 1936 "Heron's Screwcutter", *Journal of Hellenic Studies* 56, pp. 72-77.
- 1938 "Pflug", *RE* 19.2 (vol. 38) cols. 1461-1472.
Hvad var det for en Fugl, 56 pp., København (2. ed. 1948).
- 1941 "Philon", *RE* 20.1 (vol. 39) col. 53.
- 1942 "Faustproblemer" (Kritik af Carl Roos' Afhandling), *Gads danske Magazin*, Aarg. 36, pp. 488-513.
- 1944 "Lidt om danske Fuglenavne. Laegmandsbetragninger", *Dansk ornithologisk Forenings Tidsskrift* 38, pp. 118-122.
- 1948 *Ktesibios, Philon and Heron. A Study in Ancient Pneumatics* (Thesis), *Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium* vol. 4, 197 pp., København.
- 1950 "Heron and Ptolemaios", *Centaurus* 1, pp. 117-131.
- 1951 "On the Alleged Second Ktesibios", *Centaurus* 2, pp. 1-10.
"Footnotes and Bibliography", *Libri*, International Library Review, 1951:1, pp. 362-366.
- 1953 "Remarks on the Ancient Catapults", *Actes du VII^e Congrès International d'Histoire des Sciences*, Jerusalem

- 1953 (Collection des Travaux de l'Académie Internationale d'Histoire des Sciences 8), pp. 279-283, Paris.
- 1954 "The Plane Astrolabe and the Anaphoric Clock", *Centaurus* 3, pp. 183-189.
- "Til Solformørkelse med Uraniaklubben den 30. Juni 1954", *Urania* 11, pp. 66-72.
- 1955 "An Experiment in Indexing", *Libri*, International Library Review 1955:1, pp. 33-35.
- 1956 "A Note on Ancient Cranes", *A History of Technology* (ed. Singer, Holmyard, Hall and Williams) Vol. II, pp. 658-662, Oxford.
- "The Danish Standard for Abbreviation of Titles of Periodicals", *Libri*, International Library Review 6, pp. 247-254.
- 1957 "Jean Anker" (obituary), *Centaurus* 6, pp. 167-169.
- 1958 "How Archimedes Expected to Move the Earth", *Centaurus* 5, pp. 278-282.
- "Heron's Dioptra and Levelling Instrument", *A History of Technology* (ed. Singer, Holmyard, Hall and Williams) Vol. III, pp. 609-612, Oxford.
- "The Screw of Archimedes", *Actes du VIII^e Congrès International d'Histoire des Sciences, Florence 1956* (Collection des Travaux de l'Académie Internationale d'Histoire des Sciences 9), pp. 940-943, Paris.
- 1959 *Dorothy Sayers som Dramatiker, Essayist og Æstetiker, Studier fra Sprog- og Oldtidsforskning nr. 238* (udg. af Det Filologisk-Historiske Samfund) 64 pp.
- 1960 "Caesar's Scorpio and Philon's Repeating Catapult", *Actes du IX^e Congrès International d'Histoire des Sciences, Barcelona-Madrid 1959* (Collection de Travaux de l'Académie Internationale d'Histoire des Sciences 12), pp. 203-205, Paris.
- "Heron's Windmill", *Centaurus* 7, pp. 145-151.
- 1961 "Archimedes og Vandsneglen", *Naturens Verden* 1961, pp. 83-87, København.
- 1962 "Folkevisen om Germand Gladesvend", *Danske Studier* 1962, pp. 5-16, udg. af Universitets-Jubilaeets Danske Samfund, København.
- 1963 *The Mechanical Technology of Greek and Roman Antiquity. A Study of the Literary Sources*, *Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium* vol. 17, 218 pp., København.
- Antikkens teknik. Redskaber og opfindelser i den graeske og romerske oldtid*, 144 pp., København. Transl., Stockholm 1965, København 1983.
- "Fragments from Archimedes in Heron's Mechanics", *Centaurus* 8, pp. 91-146.

- 1964 "How to Write a Paper on Ancient Technology", *Actes du X^e Congrès International d'Histoire des Sciences, Ithaca 1962* (Collection de Travaux de l'Académie Internationale d'Histoire des Sciences 15), pp. 343-345, Paris.
- "To Saxo Grammaticus, *Gesta Danorum* (4:4:9-10) On Vermund and Uffe", *Classica et Mediaevalia* XXV, fasc. 1-2, pp. 241-243.
- "En moderne kande med gamle æner" (Fixeerkande), *Naturens Verden* årg. 46, pp. 161-167; *Naturens Värld* 5, pp. 129-135.
- 1965 *Caesars bro over Rhinen*, Studier fra Sprog- og Oldtidsforskning nr. 259 (udg. af Det Filologisk-Historiske Samfund), 44 pp.
- "Mechanics in Antiquity", in L. Pareti, *History of Mankind* 2.3, pp. 765-769, London.
- 1967 "Grosse griechische Erfinder", in *Lebendige Antike*, 80 pp., Zürich.
- "The Classical Civilizations", *Technology in Western Civilization* (ed. Kranzberg & Pursell) pp. 47-66, New York etc.
- De navngivne svaerd i saga, sagn og folkeviser*, Studier fra Sprog- og Oldtidsforskning nr. 264 (udg. af Det Filologisk-Historiske Samfund), 75 pp. (See also 1968)
- 1968 "Archimedes and the Science of Physics", *Centaurus* 12, pp. 1-11.
- "Man Power, Animal Power and Water Power in Greek and Roman Antiquity", *Actes du XI^e Congrès International d'Histoire des Sciences, Varsovie-Torun. Kielce-Cracovice 1965*, Warszawa-Krakow.
- "On the Named Swords, especially in the Icelandic Sagas", *Centaurus* 13, pp. 29-35. (See also 1967)
- "A Physical Experiment in Heron's Dioptra", *Centaurus* 13, pp. 220-224.
- 1969 "A Detail of Heron's Dioptra", *Centaurus* 13, pp. 241-247.
- "Heron von Alexandria", *Veröffentlichungen des Forschungsinstituts des Deutschen Museums für die Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik*, Reihe B, Abh. Nr. 2, 18 pp.
- "Capital Letters and Small Letters in Mathematics", *Centaurus* 14, pp. 47-48.
- Haevnmotivet i Kiplings fortaellinger*, Studier fra Sprog- og Oldtidsforskning nr. 272 (udg. af Det Filologisk-Historiske Samfund), 32 pp.
- 1970 "A New Interpretation of the Golden Horns. A Comment on Professor Willy Hartner's Book", *Centaurus* 15, pp. 124-134. (See also 1971)
- 1971 "Heron's Model of the Universe" (Pneumatics 2:7), *Actes du XII Congrès International d'Histoire des Sciences, Paris 1968*, pp. 47-50, Paris.

- 1971 *Laegaest og hans guldhorn. Betragtninger i anledning af Willy Hartners tolkningsforsøg, Studier fra Sprog- og Oldtidsforskning nr. 279* (udg. af Det Filologisk-Historiske Samfund), 98 pp. (See also 1970)
- 1973 "The Crank in Graeco-Roman Antiquity", *Changing Perspectives in the History of Science, Essays in Honour of Joseph Needham* (ed. Teich & Young), pp. 33-51, London.
- 1976 "Ktesibios' Waterclock and Heron's Adjustable Siphon", *Centaurus* 20, pp. 1-10.
- 1977 "Biton, and the Development of the Catapult", *Prismata. Festschrift für Willy Hartner* (ed. Maeyama and Saltzer), pp. 119-131, Wiesbaden.
- 1979 "Han opsøger problemerne og løser dem" (interview by Michael Meyerheim), *Politiken*, May 20.

Address to A.G. Drachmann:

- 1972 "The Leonardo da Vinci Medal". Presented for 1971 to Dr. A.G. Drachmann. Review of his career. *Technology and Culture* 13, pp. 434-439.

REVIEWS

- 1950 Siggel, Alfred, *Arabisch-deutsches Wörterbuch der Stoffe aus den drei Naturreichen, die in arabischen alchemistischen Handschriften vorkommen*, Berlin 1950. (*Centaurus* 1, pp. 274 ff.)
- 1951 Forbes, R.J., *Man the Maker*, New York 1950. (*Centaurus* 2, pp. 93 f.)
Forbes, R.J., *Metallurgy in Antiquity*, Leiden 1950. (*Centaurus* 2, pp. 263 f.)
Siggel, Alfred, *Decknamen in der arabischen alchemistischen Literatur*, Berlin 1951. (*Centaurus* 2, pp. 368 f.)
- 1955 Moody, E.A., Clagett, M. (eds.), *The Medieval Science of Weights*, Madison 1952. (*Centaurus* 4, pp. 85 f.)
- 1956 Cittert, P.H. van, *Astrolabes*, Leiden 1954. (*Centaurus* 5, p. 90)
Feldhaus, F.M., *Die Maschine im Leben der Völker*, Basel 1954. (*Centaurus* 5, p. 176)
- 1958 Rosenboom, M., *Microscopium*, Leiden 1956. (*Centaurus* 5, p. 375)
- 1959 Aetii Amideni *libri medicinales V-VIII* (ed. Alexander Olivieri), Berlin 1951. (*Centaurus* 6, p. 100)
Westcott, G.F., *Mechanical and Electrical Engineering*, London 1955. (*Centaurus* 6, pp. 103 f.)
Moritz, L.A., *Grain Mills and Flour in Classical Antiquity*, Oxford 1958. (*Gnomon* 31, pp. 371-373)

- 1960 Sarton, George, *Six Wings*, Bloomington 1957. (Centaurus 7, pp. 231 f.)
John Baptista Porta, *Natural Magick* (ed. D.J. Price), New York 1957. (Centaurus 7, p. 230)
- 1963 Thaer, Cl. (ed.), *Die Data von Euklid*, Berlin 1962. (Centaurus 9, pp. 135 f.)
Sprague de Camp, L., *The Ancient Engineers*, New York 1963. (Centaurus 9, pp. 132-134)
Kirby, R.S., a.o., *Engineering in History*, New York 1956. (Centaurus 9, pp. 135 f.)
Forbes, R.J., Dijksterhuis, E.J., *A History of Science and Technology*, 1-2, Baltimore 1963. (Centaurus 9, pp. 131 ff.)
- 1964 Klemm, F., *A History of Western Technology*, London 1959. (Centaurus 10, pp. 310 f.)
Needham, J., a.o., *Heavenly Clockwork*, Cambridge 1960. (Centaurus 10, pp. 201 f.)
- 1965 White, Lynn, *Medieval Technology and Social Change*, Oxford 1962. (Centaurus 11, pp. 311 f.)
- 1967 Brumbaugh, R.S., *Ancient Greek Gadgets and Machines*, New York 1966. (Science 156 (1967))
- 1970 Marsden, E.W., *Greek and Roman Artillery: Historical Development*, Oxford 1969. (Technology and Culture 11, pp. 620-623)
- 1972 Marsden, E.W., *Greek and Roman Artillery: Technical Treatises*, Oxford 1971. (Technology and Culture 13, pp. 487-494)
Krafft, F.J., *Dynamische und statische Betrachtungsweise in der antiken Mechanik*, Wiesbaden 1970. (Centaurus 17, pp. 330-335)
- 1976 Price, D. d. Solla, *Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism*, New York 1975. (Technology and Culture 17, pp. 112-116)
Philo of Byzantium, *Pneumatica* (ed. F.D. Prager), Wiesbaden 1974. (Technology and Culture 17, pp. 116-119)

Urval av kompletterande litteratur

Charles Singer, E J Holmyard, A R Hall and Trevor I Williams, A History of Technology, Volume II: The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages, c. 700 B.C. to c. A.D. 1500. Oxford University Press 1956. 802 sidor.

Maurice Daumas (red), Histoire Générale des Techniques, Tome I: Les Origines de la Civilisation Technique. Presses Universitaires de France, Paris 1962. 652 sidor.

Henry Hodges, Technology in the Ancient World. Penguin Books, Harmondsworth 1970. ISBN 0 14 02 1103 9. 260 sidor.

Carlo M Cipolla & Derek Birdsall, The Technology of Man. Holt, Rinehart and Winston, New York 1979. ISBN 0 03 057792 6. 271 sidor.

Gerard L'E Turner, Antique Scientific Instruments. Blandford Press, Poole 1980. ISBN 0 7137 1068 3. 168 sidor.

Donald Hill, A History of Engineering in Classical and Medieval Times. Croom Helm, London 1984. ISBN 0-7099-1209-9. 263 sidor.

Äldre litteratur i nytryck

utgiven av Georg Olms Verlag, Hildesheim, BRD

Hugo Blümner, Technologie und Terminologie der Gewerbe und Künste bei Griechen und Römern, 4 band. Leipzig 1879-1912. Nytryck: 1969. 1732 sidor.

Franz Maria Feldhaus, Die Technik der Antike und des Mittelalters. Postdam 1930. Nytryck: 1985. ISBN 3-487-04038-7. 442 sidor.

Johann Christian Ginzrot, Die Wagen und Fahrwerke der Griechen und Römer und anderer alten Völker. München 1817. Nytryck: 1975. ISBN 3-487-08107-5. 1104 sidor.

Johann Christian Ginzrot, Die Wagen und Fahrwerke der verschiedenen Völker des Mittelalters und der Kutschen-Bau neuester Zeiten, 2 band. München 1830. Nytryck: 1979. ISBN 3-487-08176-8. 574 sidor.

Curt Merckel, Die Ingenieurtechnik im Alterthum. Berlin 1899. Nytryck: 1969. 658 sidor.

Wolfgang Riepl, Das Nachrichtenwesen des Alterthums mit besonderer Rücksicht auf die Römer. Leipzig 1913. Nytryck: 1972. ISBN 3-487-04281-5. 478 sidor.

Antikke afløbssystemer

är titeln på en rapport av Inge Faldager och Knud Høyer, utgiven av Teknologisk Institut, Byggeteknik, Postboks 141, DK-2630 Tåstrup, Danmark. Faldager är verksam som ingenjör vid Rørcentret på Teknologisk Institut och har i rapporten kunnat lägga tekniska synpunkter på kloaksystemen i Pompeji, Ostia och Rom. Skriften är rikt illustrerad (135 bilder med planer av byggnader, ritningar, fotografier och stadsplaner).

Pompejis vandtårne

är titeln på en artikel av Thorkild Schiøler i den danska tidsskriften Sfinx 8 (1985), 112-116. Författaren diskuterar möjligheten att vattenförsörjningen i Pompeji kan ha reglerats med hjälp av en typ av regulatorer av samma typ som används i moderna toalettstolar.

ICOHTEC

I samband med symposiet i Dresden höll the Executive Committee of ICOHTEC ett möte den 26 augusti 1986. Vid mötet behandlades inbjudningar till kommande ICOHTEC-symposier enligt följande:

Madrid 1988: "Civil and constructional engineering"

Paris 1988: (reserv om symposiet i Madrid ej kan anordnas)

Hamburg 1989: "Failed Innovations". Anordnas i samband med the International Congress for the History of Science, Technology and Medicine, som äger rum i Hamburg och München 1989.

Paris 1990: Detta förslag bordlades till nästa sammanträde.

"ICOHTEC Handbook" är titeln på en 16-sidig broschyr som redigerats av R A Buchanan, Secretary-General of ICOHTEC. Den innehåller en kort historik, en förteckning över de 15 hittills anordnade symposierna, en medlemsförteckning samt ICOHTEC:s stadgar. Adressen till ICOHTEC:s sekretariat är

Centre for the History of Technology, Science and Society
University of Bath
Claverton Down
Bath BA2 7AY, England

Författare i detta häfte:

Bjarne Huldén, Diplomingenjör

Stationsvägen 14 A, SF-02700 GRANKULLA, Finland.

Kate Larsen

History of Science Department, University of Aarhus,
Ny Munkegade, DK-8000 AARHUS, Denmark.

Carl Nylander, Fil.dr.

Professor, föreståndare för Svenska Institutet i Rom.
Istituto Svedese, Via Omero 14, I-00197 ROMA, Italien.

Olaf Pedersen, Dr.phil.

Professor, History of Science Department, University of
Aarhus, Ny Munkegade, DK-8000 AARHUS, Denmark.

Gunnar Pipping, Fil.mag.

Förste intendent, Sveriges Tekniska Museum, 115 27 STOCKHOLM.
Adress: Stiftelsen Observatoriekullen, Drottninggatan 120,
113 60 STOCKHOLM.

Thorkild Schiøler, Ingeniør, Dr.phil.

Strandgade 86, DK-1401 KÖPENHAMN, Danmark.

Örjan Wikander, Fil.dr.

Docent, Klassiska institutionen, Lunds universitet,
Sölvegatan 2, 223 62 LUND.

Redaktionen

POLHEM publicerar uppsatser, recensioner, notiser och andra inlägg i teknikhistoriska ämnen. Bidrag mottas på svenska, norska, danska och engelska. I undantagsfall kan bidrag på tyska eller franska accepteras.

Maximalt omfång för uppsatser är 30 sidor. Debattartiklar mottas med intresse. Skriv kort, en à två sidor. Korta presentationer av teknikhistoriska kurser, utställningar m.m. är också välkomna.

Författaranvisningar

Manuskript insänds i två exemplar. De skall vara maskinskrivna med dubbelt radavstånd (som i denna text) och bara på en sida av papperet. Vänstermarginalen skall vara 4 cm.

Noter numreras löpande 1, 2, 3, ... Text för sig och noter för sig.

Litteraturreferenser skrivs enligt Historisk Tidskrift.

Illustrationer och tabeller förses med förklarande text.

Måttenheter bör anges i SI-systemet.

Manuskript kan sändas till endera av följande medlemmar av redaktionen:

Jan Hult, Centrum för teknikhistoria, CTH, 412 96 GÖTEBORG

Svante Lindqvist, Teknikhistoria, KTHB, 100 44 STOCKHOLM

