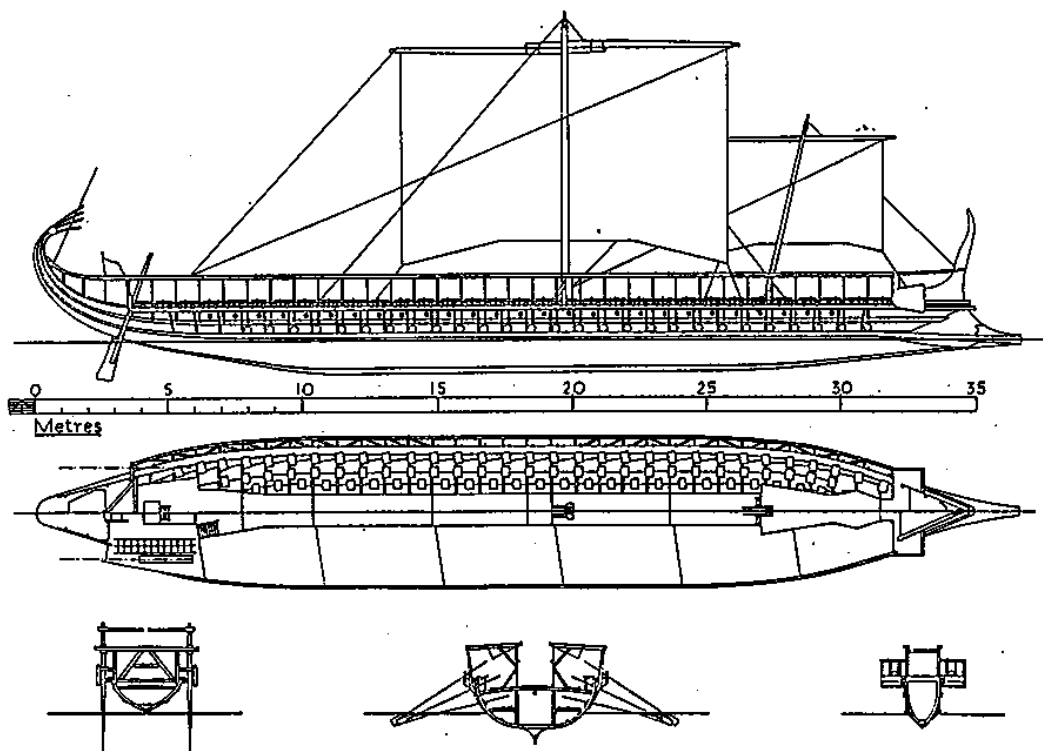


BO LINDMARK

FÖRSPÄNNING AV GREKISKA TRIERER.

För att möjliggöra bygge av en så autentisk grekisk triērēs från 500-400 f.Kr. som möjligt, har engelska forskare samlat och sammanställt en mängd historiskt och arkeologiskt material. Detta redovisas till stor del i en nyligen utkommen bok tillsammans med en beskrivning av en rekonstruktion jämte några ritningar på densamma (Morrison, J.S. & Coates, J.F. *The Athenian Trireme. The history and reconstruction of an ancient Greek warship*, Cambridge 1986). Med stöd av framtagna specificationer och rekonstruktionsritningar pågår sedan en tid ett fullskalebygge i Grekland. Figur 1 visar skeppets allmänna uppbyggnad.

Efter Morrison & Coates, *The Athenian Trireme*.

Figur 1

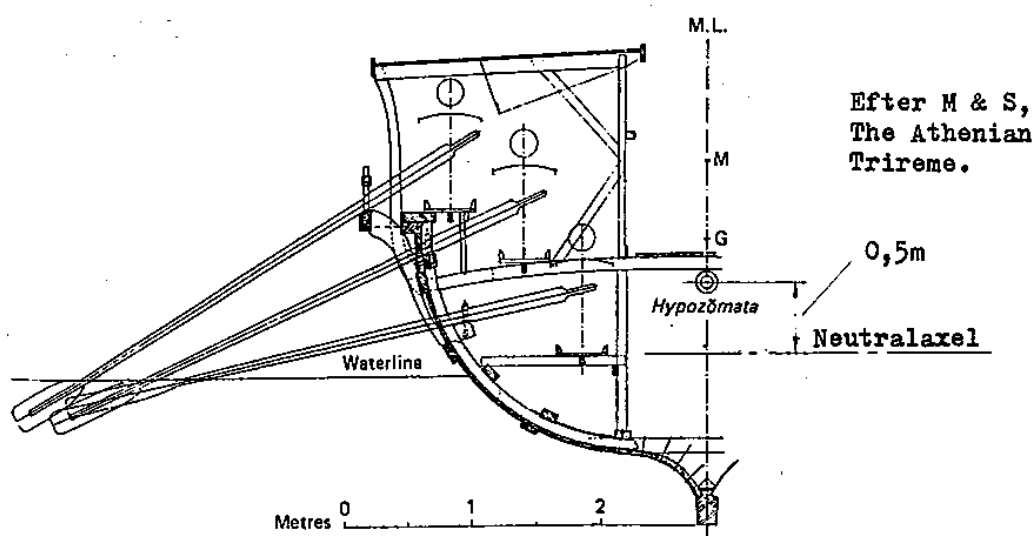
Eftersom den värdefullaste egenskapen hos dessa mycket långsmala och smäckert byggda skepp var snabbheten strävade grekerna efter att bygga dem så lätta som möjligt. De använde exempelvis helst gran, elatē, i bord och vägare (s 181). De förspände även skroven med hjälp av hypozōmata för att förbättra hållfasthetsegenskaperna hos de hårdbantade skroven.

Bevarade utrustningslistor antyder att varje skepp utrustades med fyra hypozōmata (eng. undergirdle). Genom en viktangivelse på en inskription

har man kunnat beräkna längden på en hypozōma till omkring 100m (s 170), varvid diametern angetts till c 40mm (s 206). Hur dessa spänntåg riggades i skrovet är emellertid okänt. Morrison har bl.a. följande synpunkter på detta problem (s 171):

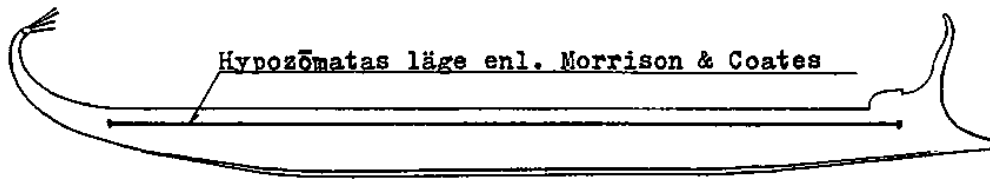
"The third-century Alexandrian poet Apollonius of Rhodes describes the launching of the Argo and the fitting of it with a hypozōma: 'the first thing they did was to girdle the ship strongly with a well-twisted rope from within, putting a tension on each extremity, so that the planks should fit well together with the dowels and withstand the opposing force of the sea'. In the representations of parts of the hull of a trieres which have been noticed earlier in this chapter there is no trace of an external rope. It seems that we must accept that the rope ran from stern to stem and back again within the hull, where alone it can be structurally significant. Plato and inscriptions, both in the fourth century, speaks of braces (tonoi, entonoi) of hypozōmata, and Plato speaks of them as adding to the ship's seaworthiness, confirming Apollonius' explanation of the purpose of the 'girdle'."

Mot denna bakgrund och av vissa hållfasthetsskäl (s 197) planerar man att förse rekonstruktionen med dubbla spänntåg av polyester eller hampa med diametern 40 mm, som förankras i särskilda anhäng i ändskeppen. De fyra parterna spänns genom att tvinnas runt varandra med hjälp av ett spännträ eller en spak midskepps (s 206,220). Figur 2 visar hypozōmatas läge i midskeppssektionen c 0,5 m över neutralaxeln (s 199). Figur 3 visar hypozōmatas läge i längsled.



Reconstructed ship: mid-section, October 1983.

Figur 2



Figur 3

Förspänningskraften anges till 300 kN (felaktigt angiven i kNm som är ett böjmoment). Under antagande att kraften är 300 kN eller drygt halva vikten av ett bemannat och rustat skepp (knappt 50 t, s 198,211) kommer vart och ett av de fyra 40 mm hamprepen att belastas med c 75 kN eller 7,5 ton. Enligt Hütte II, uppl 27, s 287 är brottspänningen 800-900 kg/cm² för Hanfseile. Brottlasten för ett nytt 40 mm hamprep blir c 10 ton. En 1,3-faldig säkerhet mot brott förefaller vara en oacceptabelt hög risktagning.

Vid sjögång beräknas midskeppssektionen bli påverkad av ett växlande böjmoment, som vid 0,85 m våghöjd uppgår till c 900 kNm och vid 1,7 m våghöjd till 1300 kNm (s 197). Förspänningsmomentet kommer endast att bli c 150 kNm och utgörs av spänntågskraften 300 kN multiplicerad med momentarmen 0,5 m, figur 2. Förspänningsmomentet blir alldeles för litet för att kunna dämpa utmattningseffekterna och höja livslängden alternativt medge smäckrare och därmed lättare skrov. Det kommer endast att utgöra högst 9 - 17% av det maximala böjmomentet.

När det gäller livslängden för de grekiska triererna från 500-300 f.Kr. anger Morrison (s 201):

"The fact that triereis, wooden ships lightly built and roughly used, lasted as long as twenty years indicates the highest standards of care and accuracy in building and maintenance."

Även om skeppen vanligtvis användes i närheten av land och regelbundet drogs upp för att torka ut och bli lätta, var användningstiden i sjögång under 20 år med mycket stor sannolikhet mer än tillräcklig för att utmattningseffekterna på bordläggning, köl och reling skulle bli mycket kännbara och då särskilt vid ospända eller otillräckligt förspända båtar. Eftersom dessa prismaformade 170-roddare var extremt grundgående (c 1,15m) i förhållande till deras längd (c 35m), påverkades de i avsevärt högre grad av vågkrafterna än tyngre och mer djupgående fartyg av samma längd. Bland annat vid gång undan vind i medelgrov sjö kommer ett

sådant skrov att ömsom rida på ett vågberg midskepps med fritt svävande ändskepp och ömsom hänga mellan två vågkammar med mycket luft

under mitskeppet. Belastningen på skrovet blir utpräglad växlande, den ogynnsammaste belastningsformen av alla. Genom att välja ett lämpligare förspänningssätt kan man emellertid, mer eller mindre fullständigt, omvandla den växlande belastningen till en pulserande belastning med åtföljande högre tillåten påkänning. På så sätt kan skroven byggas lättare utan att brottsäkerheten försämrans. Förspänningens verkningsätt finns närmare beskrivet i Meddelande nr 1 1986, s 33-39, som även visar ett utmattningsdiagram och några Wöhler-kurvor för trä.

Författarna till boken har trots de uppenbara utmattningsriskerna tolkat hypozömata enbart som en statistiskt verkande förstärkning (s 197). De har dock snuddat vid utmattnings effekterna i följande mening (s 200) men utan att tänka tanken fullt ut:

"An important additional advantage of hypozömata and similar devices in wooden ships and boats built with mechanical joints between their shell planks arises from preventing stress reversals, from tensile to compressive and vice versa, except in fairly extreme conditions which occur relatively rarely, thus reducing working at joints and therefore leakage." Orsaken till detta förbiseende är troligen svårigheten att finna litteratur som behandlar utmattning av träkonstruktioner. Forskarintresset tycks i det närmaste ha dött ut sedan man slutade bygga flygplan av trä någon gång på 30-talet. Det mesta finns samlat i träforskarnas "bibel", Kollmann, F. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Berlin 1951, och Principles of Wood Science and Technology, New York 1968 av samme författare.

En av de få arkeologer?, kanske den ende, som har berört utmattningsproblemet är Kennedy, D.H. i Cable reinforcement of the Athenian Trireme, The Mariners Mirror, vol 62, 1976, s 167, 168. Han medger dock att han inte till fullo förstår utmattnings effekterna på träet. Han sammanfattar funktionsfördelarna med sina förspänningsförslag på följande sätt:

"How cables actually would have interacted in all respects with the wood structure is a complex elastic problem. It must suffice to say that pre-loading the cables would have provided four distinct structural advantages. First, of course, cables would have contributed strength directly for the overall critical condition producing tension in the gunwale. Second, they would have resist hogging (but would have contributed to sagging, a less likely problem). Third, they would have eliminated countless cycles of low level load

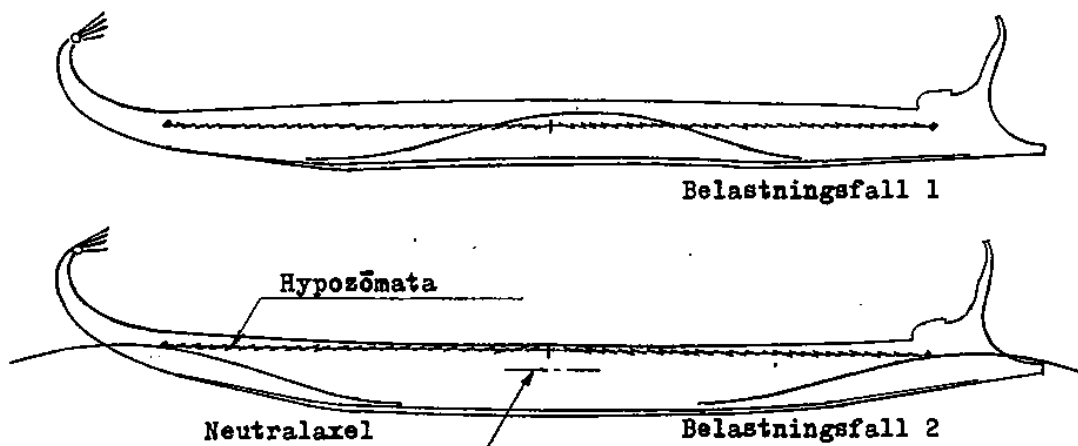
change in the wood. Just why that is so can probably only be understood by an engineer.

Fourth. The same obscurity exists regarding the fourth structural advantage, which is that cables would have eliminated countless cycles of actual load reversal from tension to compression.

All of the foregoing benefits contribute to safety and longer structural life, because structure weakens or fails not only from high or excessive loads but also from the cumulative effects of constantly repeated lower loads, especially if load reversal is involved.

The simple conclusion is that cables not only added directly strength of the trireme but indirectly must have added significantly to its service life."

Kennedys första och andra strukturella fördelar enligt ovan sammanfaller helt med Morrisons & Coates uppfattning. Fördelarna vid belastningsfall 1 då skeppet balanserar på ett vågberg uppvägs emellertid av nackdelarna vid belastningsfall 2 då skeppet hänger mellan två vågkammor. I det senare fallet kommer ju spänntåget vid de av Kennedy och Morrison & Coates föreslagna spännsätten att öka tryckpåkänningarna i relingsnivå, vilket är olämpligt eftersom träets tryckhållfasthet endast är ungefär hälften av dess draghållfasthet. Kennedys första och andra fördelar kan därför knappast anses vara några fördelar, åtminstone inte med de föreslagna spännsätten.



Figur 4

De två skisserna i figur 4 visar något överdrivet hur spännsättet i figurerna 2 och 3 fungerar i sjögång, dels när båten balanserar på en vågkam (belfall 1) och dels när den hänger mellan två vågkammor (belfall 2). På grund av skrovets formförändring (elastisk fjädring + plastisk rörelse i bordskarvar, nåt etc) kommer spänntågets avstånd till mittsektionens

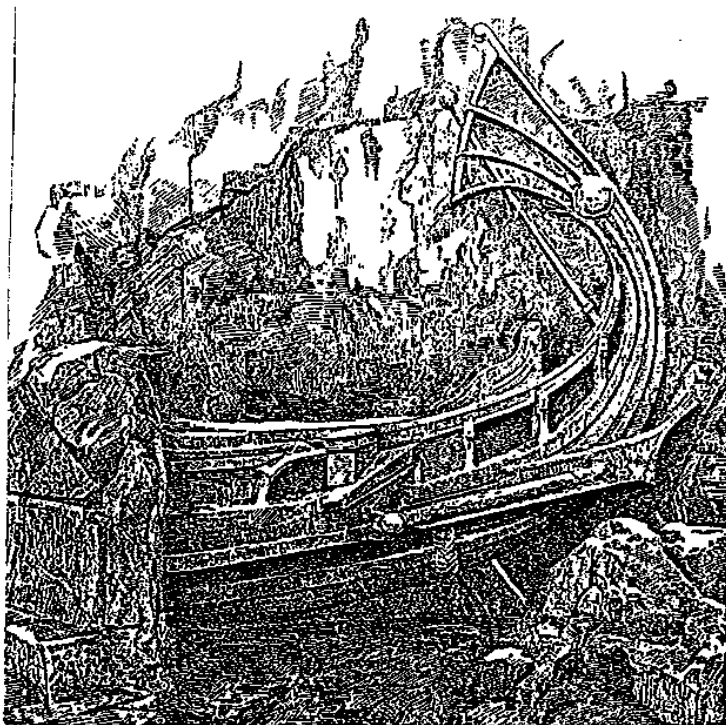
neutralaxel att minska vid belastningsfall 1 och att öka vid bel.fall 2 samtidigt som spänntågets längd och därmed förspänningskraftens storlek i det närmaste blir oförändrad. Detta leder till att förspänningsmomentet minskar i bel.fall 1 när det borde öka och ökar i bel.fall 2 när det borde minska, vilket är mycket olämpligt. Genom att välja elastiska polyesterrep i stället för stummare hamprep (s 206) kommer detta förhållande att accentueras.

Orsaken till dessa felbedömningar torde vara ett alltför okritiskt fasthållande vid den gamla idén att spänntågets enda uppgift var att förstärka skroven i längskeppsled. Enligt det nya synsättet är ju huvudsyftet med förspänningen en helt annan, nämligen att omvandla den ospända båtens växlande spänningar eller påkänningar till pulserande spänningar. Genom att brottspänningen vid pulserande belastning är avsevärt högre än vid växlande belastning, kommer den förspända båten att tåla mer last, grövre sjö etc än den ospända båten. Alternativt kan den förspända båten, vid samma belastning som den ospända, byggas lättare och därigenom bli avsevärt snabbare än den ospända.

Kennedy har varit inne och nosat på "rätt spår" i sina tredje och fjärde fördelar. Hans förmodan att förspänningen eliminerar flertalet låga spänningar är helt riktig, men är i och för sig ingen större fördel eftersom man i stället får en jämn högre spänning. Den stora fördelen ligger i att dessa spänningar blir pulserande och inte växlande, något som Kennedy mycket riktigt anger i den sista av sina fyra fördelar.

Några av Morrisons tidigare refererade åsikter behöver kommenteras innan vi kommer in på lämpliga spännsätt. Hans påstående att bilderna inte visar några spår av utvändiga rep stämmer inte, Lindos-reliefen visar en tydlig repgördel runt akterskeppet, figur 5. En utvändig repslinga är även synlig på några romerska reliefer, som visserligen inte visar grekiska trierer men skepp med mycket likartat utseende, figur 6.

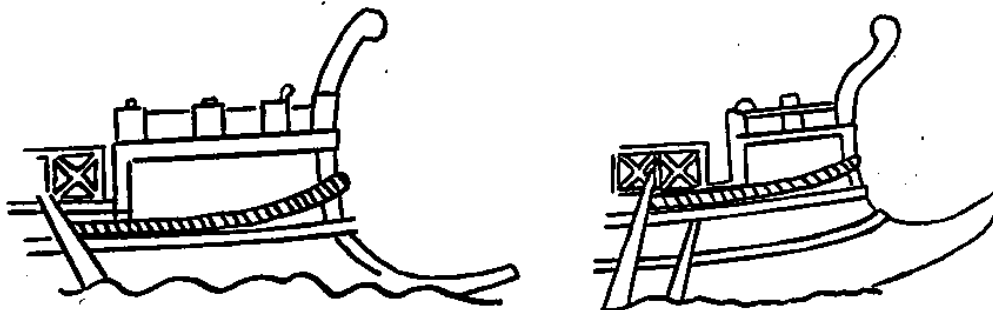
Morrison tycks förutsätta att om grekerna riggade hypozōmata synliga på sina skepp så borde de, enligt tidigare referat, även finnas med på reliefer och andra bilder. Eftersom repen mätte bättre av att ligga förvarade ospända, nedriggade och skyddade för väder och vind, riggades de troligen inte förrän de behövdes, d.v.s. vid kraftig sjögång och kanske vid sjösättning/uppdragning. Vissa rep kunde dock vara permanent riggade så-



Reconstruction of a relief showing the stern of
a Rhodian galley, ca. 200 B.C.

Efter Casson, L.
Ships and Seaman-
ship in the Anci-
ent World.

Figur 5



7.18 Reconstruction drawings of ships with horizontal straps around one end: from Trajan's Column, Rome, and the
Triumphal Arch, Orange, France

Efter Johnstone, P. The Seacraft of Prehistory.

Figur 6

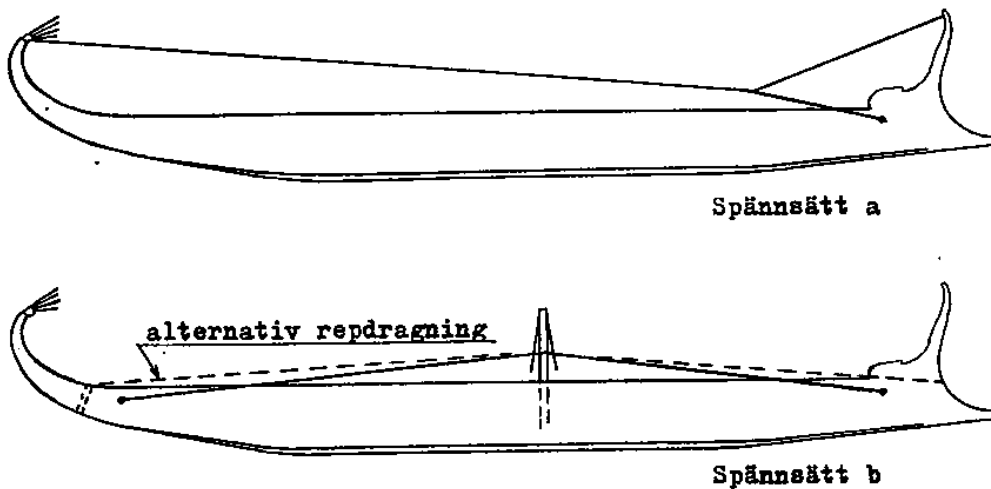
som gördlarna i för och akter. När grekerna avbildade ett sådant skepp är det inte alls givet att de tog med sådant som huvudsakligen var riggat och synligt till sjöss i hårt väder. Det är därför fel att helt utesluta ett spänsätt där vissa delar var synliga i en sidovy.

Grekernas term hypozōmata tolkas av Morrison på följande sätt (s 172): "Its name 'undergirdle' suggests that it was placed low down in the ship." På ett annat ställe (s 198) konstaterar han dock att "... the proper place for the hypozōmata became high in the hull section." En rimligare

tolkning av ordets betydelse är att grekerna även använde övre zōmata tillsammans med undre zōmata, t.ex. som brassar eller spännare (tonoi, entonoi) för de undre zōmata. Alternativt kan namnet vara en kvarleva från en tidigare båtkonstruktion där man använde ett annat spännsätt med såväl undre som övre zōmata.

Efter alla dessa synpunkter kommer vi nu till den knepiga frågan hur man bedömer nyttan med ett visst spännsätt. Den bästa metoden torde vara att se efter hur väl spännsättet uppfyller följande tre huvudkrav.

- Det maximala förspänningsmomentet bör helst vara av samma storleksordning som det maximala böjmomentet vid sjögång (inkl. dynamiskt tillskott).
- Det maximala förspänningsmomentet skall endast förekomma vid belastningsfall 1 då skeppet balanserar på ett vågberg. Vid bel.fall 2 bör förspänningsmomentet närma sig noll.
- Momentarmen eller avståndet mellan spänntåg och neutrallinje i midskeppssektionen skall vara så stort som möjligt för att få så låg spänntågskraft som möjligt.



Två sätt att förspänna grekiska trierer.

Det finns även andra spännsätt som är användbara.

Figur 7

Figur 7 visar några förslag som till stor del uppfyller de uppställda kraven till skillnad mot M & C:s spännsätt. I båda förslagen är hypo-zōmatas ändskeppsfästen belägna över gångdäcket och inte under som vid M & C:s spännsätt. I båda fallen sträcker ett lämpligt antal man hypo-zōmata-parterna för hand så mycket som möjligt innan parterna binds ihop, vilket är viktigt. När sedan hypo-zōmata spänns tvinnas de inte

som vid M & C:s spännsätt, utan de lyfts istället uppåt med hjälp av tonoi och entonoi. Vid det ena spännsättet, 7a, är dessa brassar infästade längst upp i toppen på det förliga hornet och vid det andra sättet, 7b, mellan de två långa stöttorna, parastatai (s 160) invid deras övre ändar. Båda spännsätten förutsätter ett ganska stunt spännutåg, varför polyester är uteslutet. Hampa är stummare men lin är troligen ännu lämpligare eftersom lintågorna anses ha låg töjbarhet. Lin har dock en något lägre draghållfasthet, c 70% av hampans. Grekerna tillverkade vissa rep av lin vid denna tid (s 186,191).

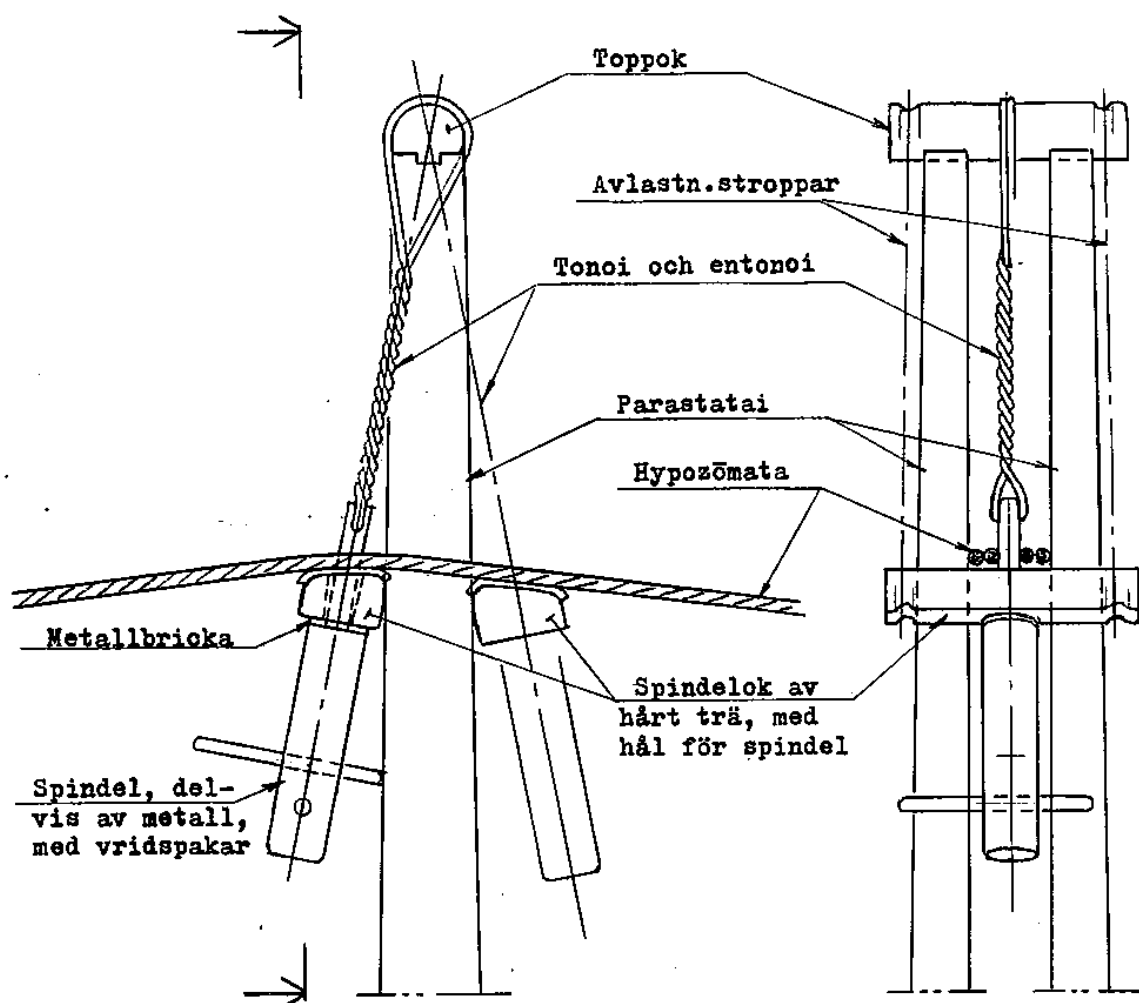
Genom hypozōmatas mycket flacka vinkel i förspänt skick erfordras en relativt liten lyftkraft i de två brassarna, tonoi och entonoi, särskilt vid spännsättet 7b. Detta spännsätt tycks dessutom, till skillnad mot Morrisons & Coates och 7a, passa ganska väl in i Platons beskrivning som Morrison återger på s 171:

"The hypozōma features most enigmatically in Plato's Republic where a story is told of Er's journey as a soul in the country of the dead. At one point with other souls he came to a place where they could see

from above stretched over the whole heaven and earth a straight light, like a pillar but resembling most of all a rainbow. Arriving at this light after a day's journey they saw there in the middle of this light stretched from heaven the ends of the bonds of it (i.e. of the light) for this light is the constricting bond of heaven like the hypozōmata of triereis thus holding together the whole revolution (i.e. this light ties the heaven together just as hypozōmata tie triereis together). And from the ends (of the bonds of it) is hung the spindle of necessity.

Det ligger ganska nära till hands att likna parastatai i spännsätt 7b vid en pelare och de på mitten uppspända hypozōmata vid en flack regnbåge. Även de sammandragna tonoi-entonoi i mitten med sina nedåtriktade vriden passar in på Platons beskrivning, jämför figur 8.

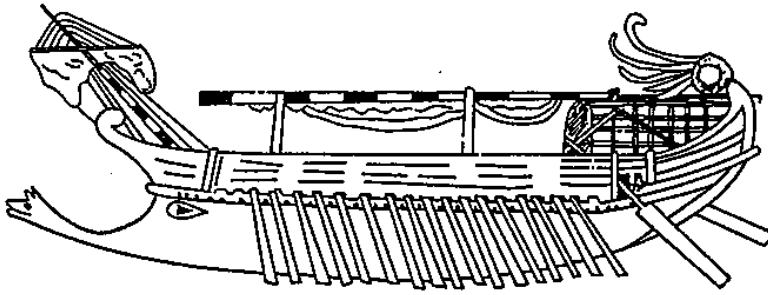
Eftersom spännsättet 7b är både effektivt och i viss överensstämmelse med alla kända beskrivningar, finns det anledning att titta närmare på hur spännanordningen kan ha sett ut. Figur 8 visar med en sidovy och en sektion en lämplig utformning av mittpartiet med dess två spännare, tonoi och entonoi. Dessa används växelvis. Lyfthöjden vid varje omtag är ganska liten och lika med repslingans förkortning vid hoptvinningen. Figur 8 visar repslingan i hoptvinnat skick. Antal omtag bestäms av den totala lyfthöjden som i sin tur är beroende av flera faktorer såsom skrovets elastisitet, hypozōmatas stumhet och hur hårt det sträckts vid riggningsen.



Figur 8

Som nämnts tidigare bör lyfthöjden H och därmed momentarmen vara så stor som möjligt för att spänntågskrafterna skall bli låga. Krafterna i tonoi och entonoi ökar emellertid ju större H blir, varför man i detta fall kanske finner att c 1,5 m är lagom (måste utprovas). Hypozōmatas högsta punkt kommer då att befinna sig ungefär i nivå med det övre däck, katastrōma. Den enda del av spännanordningen som blir synlig utanför skepets konturlinjer är den övre delen av de två stöttorna, parastatai (s 160, not 1), jämte toppoket med nedhängande tonoi och entonoi samt eventuellt gördlarna i för och akter, figur 5 och 6.

I brist på någon annan förklaring har Morrison tolkat de icke fastsittande parastatai som maststöttor, men de kan givetvis även ha fungerat som stöd för hypozōmata med bifunktion som maststöd när masten restes eller när den förvarades nedtagen, figur 9. När parastatai används som hypozōmatastöd tvingas de av spännkrafterna att stå vertikalt, de behöver således inte fästas in i skrovet utan endast ställas på en tryckplatta.

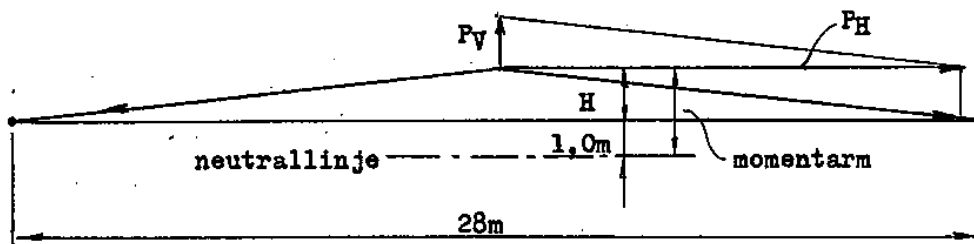


Roman oared ship on a mosaic from Themetra, AD 225-250.

Efter Morrison &
Coates,
The Athenian Tri-
reme.

Figur 9

Spännsystemets mått i spänt skick framgår av figur 10. Vid ett förspänningsmoment lika stort som böjmomentet 900 kNm (vid 0,85m våghöjd, s 197) blir horisontalkraften $P_H = 360 \text{ kN}$ ($900/2,5$) och spännkraften P_Y i tonoi och entonoi = 39 kN ($360 \cdot 1,5/14$). Hypozōmata kommer då att belastas med 362 kN eller c 36 ton fördelat på lämpligt antal parter.



Figur 10

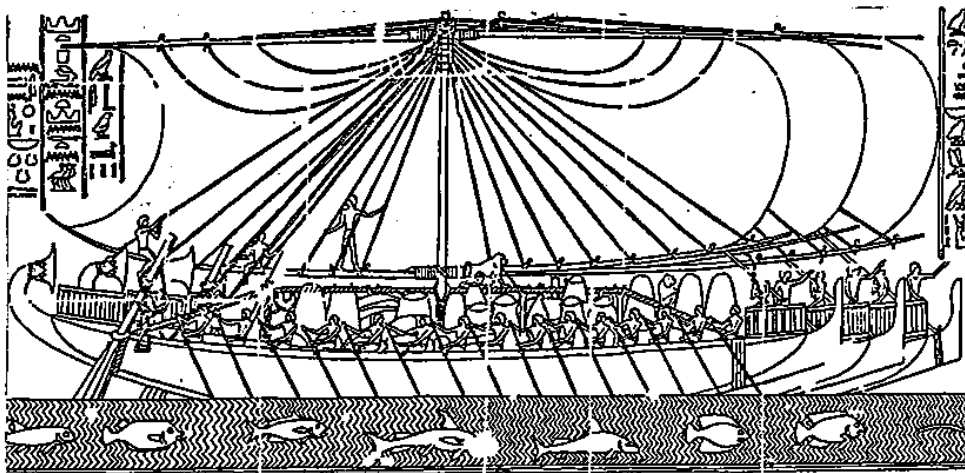
Spännsättet 7b tycks uppfylla de uppställda kraven på ett tillfredsställande sätt:

- förspänningsmomentet blir ungefär lika stort som max böjmoment, jämför dessa 100% med 17% vid spännsätt M & C,
- förspänningsmomentet vid belastningsfall 2 blir avsevärt lägre, hur mycket bestäms av skrovets formförändring vid sjögång och hypozōmatas stumhet. Vid stor formförändring eller fjädring i längskeppsled och/eller mycket stumma rep ingen eller låg förspänning. Vid stelt skrov och/eller tøjbara rep ingen eller obetydlig ändring av förspänningen,
- spänntåskrafterna blir relativt låga genom den ganska stora momentarmen. Trots det stora förspänningsmomentet blir spännkraften i ändskeppen endast obetydligt större än vid M & C:s spännsätt.

Finns ett behov att förspänna skeppet när masterna är resta kan man med smärre ändringar använda samma spännsätt (7b). Frågan är dock om stormasten var rest i hårt väder. Man blev då troligen tvingad att falla undan för sjö och vind, varvid endast det lilla förseglet på den s.k. båt masten var användbart.

Till sist något om förspända båtar inom ett annat område invid Östra Medelhavet. Det finns belägg (reliefer) som visar att egyptierna förspände vissa skepp redan o 2500 f.Kr. och att de fortfarande förspände dessa och mindre lastfartyg o 1500 f.Kr. Sannolikt fortsatte de att förspänna sina havsgående skepp ännu en tid. Hur länge är dock okänt eftersom man inte vet om en skeppsbild utan spänntåg avsåg ett skepp som aldrig förspändes eller ett som ibland förspändes t.ex. vid havsfärder i grov sjö. Genom egyptiernas färder utefter kusterna i Östra Medelhavet bör rimligtvis befolkningen inom de olika områdena ha känt till det egyptiska spännsättet och särskilt de egeiska folken, som själva var sjöfarare såsom mincerna, mykenarna och senare grekerna.

Egyptiernas spännsätt, figur 11, var utan tvekan överlägset Morrison & Coates; högre och pulserande förspänningsmoment, större hävvarm och lägre spännkraft. Det är osannolikt att grekerna valde ett avsevärt sämre spännsätt till sina trierer än det som egyptierna och kanske även mincerna och mykenarna använde under ett tidigare skede. Tvärtom torde grekerna ha använt ett bättre spännsätt än egyptierna eller åtminstone en förbättrad version av deras spännsätt. Man kan se spännsätt 7b och 8 som en utveckling av det gamla egyptiska spännsättet.



Efter Landström, B. Egyptiska skepp.

Figur 11

Det finns som synes mycket som talar mot M&C:s spännsätt och för det i denna artikel föreslagna spännsättet 7b och 8. Bland annat därför och för undvikande av framtida utmattningsfenomen på den nybyggda trieren bör M&C tänka igenom problemen ännu en gång. Det vore ju pinsamt om båten plötsligt sprang läck vid våghöjder över 0,85m, som Coates befarar med det planerade spännsättet (s 197).