

Återskapandet av en av världens äldsta bevarade kikare

Isak Horney, Lukas Knutsson

Handledare: Martin Johansson

Abstract

From the shipwreck of "Kronan" (sunk 1676), a telescope has been salvaged. The telescope is one of the world's oldest preserved since it only exists about 20 other telescopes from that era (*NL TIMES* 2014), which means that the opportunity to examine such a telescope is extremely exceptional. We have been in contact with the museum of Kalmar and have gotten access to a conservation report which contains, among other things, the proportions of the telescope. Thanks to the report, we have been able to create a replica of the telescope (to the highest possible extent) and have by researching the production of lenses in the 1600s, found close to identical lenses. Once the replica was complete, the telescope, which most likely belonged to an officer of some kind, was examined and compared to the initial astronomical telescope. What is the ratio between the telescopes' magnification power? Has the difference in age contributed to improvements in the quality of observation? It was found that the magnification of Galileo's telescope was about 6,7 times greater than the one from Kalmar, and that the lens quality was quite poor even considering the difference in age.

Inledning

År 1676 sjönk det svenska regalskeppet Kronan, och efter att vraket återfanns på 1980-talet har över 30 000 föremål bärgats (*Wikipedia*, 2022), varav ett är en kikare. Den första kikare uppfanns 1608, och kikaren från Kronan följde med ner till botten 1676, vilket gör att kikaren är från en period då teleskopet genomgick en stor utveckling (*Wikipedia*, 2022). Den bärgade kikaren är en av de äldsta bevarade och ger därmed en chans att se vilka egenskaper kikare som inte tillhörde särskilda vetenskapsmän hade.

Teleskopet uppfanns 1608 av den nederländske Hans Lippershey och 1609 fick Galileo Galilei höras talas om uppfinningen. Galileo började utveckla en egen variant och genom att prova sig fram byggde han den form av teleskop som kom att kallas för galileoteleskop. Det var konstruerat som så att det innehöll två linser som var placerade i ändarna av en trätub där okularet var en konkav lins och objektivet var en konvex lins (Plotner 2016).

Under 1600-talet utvecklades teleskopet ytterligare; 1611 utvecklade Johannes Kepler refraktorteleskopet där han bytte ut den konkava okularlinsen mot en konvex, vilket ökade kvaliteten, synfältets räckvidd samt förstoringen (*Wikipedia*, 2022). Dessvärre innebar det också att bilden man såg blev upp- och nedvänd. 1624 beskrev Willebrord Snell "Snells lag", vilken kunde förklara hur ljus bryts (*Wikipedia*, 2022). 1656 (*The Galileo Project*) byggde Christiaan Huygens och hans bror ett Keplerteleskop med svagare linser, vilket gjorde teleskopet längre, för att undvika problemet med den kromatiska aberration (*Wikipedia*) - att olika våglängder bryts olika mycket (*Wikipedia*, 2022). 1663 föreslog James Gregory ett teleskop med en reflekterande spegel och ett hål i primärspegeln (*Wikipedia*, 2022). 1668 byggde Isaac Newton den första lyckade refraktormodellen, vilken använde sig av speglar som reflekterar ljuset till okularet (*Wikipedia*, 2022). 1672 uppfann fransmannen Cassegrain en reflektor som använde en konkav huvudspegel (*Wikipedia*, 2022).

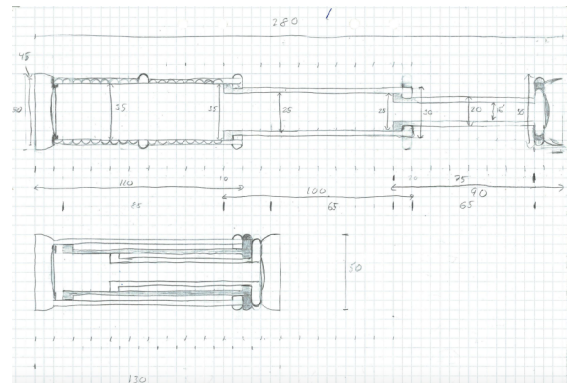
Mellan 1610- och 1660-talet utvecklades även lins-svarvarna som linstillverkare använde kraftigt (Bedini 1966). Bland annat kunde glas skäras mycket bättre, och det fanns fler, och mer gradvis fina mönster att polera linserna med.

Dessutom fanns det glas med färre brister, då det tidigare varit vanligt att glas hade luftbubblor, sprickor och svarta fläckar.

Kikarens optiska egenskaper i förhållande till samtiden är svagt dokumenterat, och på grund av det ville vi undersöka vilka möjligheter det fanns att återskapa kikaren med väldigt begränsad information. Kan förstoringen för kikaren beräknas genom att studera vetenskapshistorien? Var kikaren användbar? Hur bra bild gav kikaren?

Materiel & Metoder

Av konserveringsrapporten framgick att kikarens längd var 280 mm, samt att dess största diameter var ca 40 mm. Den var gjord i tre olika tuber, vilket gjorde den skjutbar. Tubernas tjocklek resonerades fram och anpassades under ritningsprocessen utifrån den kända informationen i konserveringsrapporten. Anpassning för eventuella misstag gjordes eftersom det var ett avancerat hantverk som skulle utföras. Den tjockaste diametern utökades till 50 mm vilket innebar att väggarnas tjocklek blev 2,5 mm. Längden på de olika delarna framgick i konserveringsrapporten och med dessa värden och anpassningar gjordes ritningen (figur 1).



Figur 1: Ritning till modellen

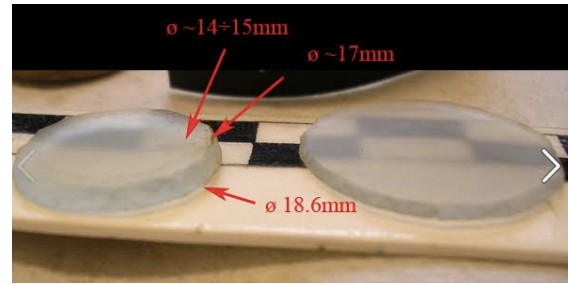
Träbitar svarvades till runda stavar med 50 mm i diameter. Stavarna svarvades sedan ner till sina respektive, korrekta diametrar 40 mm, 30 mm, och 20 mm, där en 1 mm hög fals lämnades i ena änden. Hålen borrades i en svarv, först från den ena kortsidan med det tunna borret, och sedan från den andra med det stora borret. Detta skapade falsarna på insidan som fäste tuberna i varandra. Delarna sågades av i rätt längd, monterades ihop och linserna fästes i ändarna.

Det gjordes flera försök att få tillstånd att praktiskt ta reda på linsernas optiska egenskaper, då konserveringsrapporten inte innehöll den nödvändiga informationen, men de godkändes inte av museet i Kalmar. Att mekaniskt undersöka linserna med en sfärometer eller att optiskt undersöka dem med hjälp av ljus, var ej möjligt då det ansågs riskera att skada kikaren. Linsernas egenskaper togs i stället fram teoretiskt med hjälp av beräkningar baserat på linstillverkningsmetoder från 1600-talet.

Genom en diskussion med Yuri Petrinin, VD hos teleskopstillverkaren Telescope Engineering Company i USA, fanns att ungefärliga värden kunde fås fram genom att undersöka hur linser tillverkades under 1600-talet, då konkava linser skapades genom att de slipades mot kanonkulor. I en inköpslista, som är daterad till mellan november 1609 och september 1610, framgår det att Galileo planerade att använda kanonkulor för att slipa konkava linser (Morrison-Low, Dupré, Johnston 2011, s11).

Men var användningen av kanonkulor endast en tillfällighet? Är det möjligt att Galileo endast provade metoden en gång? Med tidslinjen i åtanke är det känt att Galileo 1609 hade konstruerat ett teleskop med en förstoring av tre, och att han sedan under de kommande månaderna utvecklade ett teleskop med en förstoring av 20 gånger. Det var detta teleskop han använde när han observerade månen och upptäckte jupiters fyra största månar (van Helden 1995). Detta visar att vid tiden för skrivningen av listan hade Galileo redan skaffat sig erfarenhet av att konstruera teleskop, vilket talar för att kanonkulor var användbara för att slipa konkava linser. Det framgår även i listan att Galileo hade större erfarenhet av att slipa konkava linser än konvexa (Morrison-Low, Dupré, Johnston 2011, s12).

Vilken storlek hade då den kanonkula som kan ha använts på kikarens konkava lins? Under 1600-talet fanns det en tidig form av standardisering av kanonkulors storlekar i England. Det finns en tabell (tabell 1), daterad till ca 1590, som innehåller olika diametrar av kanonkulor, vilka grovt kan ha använts av tillverkare som grund (Collins 2022). För att ta reda på vilken kanonkula det kan ha rört sig om uppskattades diametern av den krökta delen av okularet till mellan 14 och 15 mm (figur 2), då linsens största omkrets redan var känd genom konserveringsrapporten.



Figur 2: Uppskattning av krökning av den konkava linsen [Y. Petrinin].

Då ett område för en rimlig diameter endast uppskattats, behövdes en undersökning av vilka storlekar på kanonkulor som möjligtvis kunde motsvara krökningens diameter. För att finna de kanonkulorna ritades kulorna upp enligt cirkelns ekvation (formel 1) tillsammans med en linje som var parallell med x-axeln och som motsvarade sagittan (krökningens djup) på 0,43 mm, för att genom linjernas skärningspunkter få fram "linsdiametern".

Gun Type	Round Shot diameter (in)	Shot Weight (lb)	Cannon Bore (in)
Minion	$2\frac{7}{8}$	$3\frac{1}{4}$	3
	3	$3\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$
Saker	$3\frac{1}{4}$	$4\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{2}$
	$3\frac{1}{2}$	6	$3\frac{3}{4}$
Demi Culverin	$3\frac{3}{4}$	$7\frac{1}{2}$	4
	4	9	$4\frac{1}{4}$
	$4\frac{1}{4}$	$10\frac{3}{4}$	$4\frac{1}{2}$
Culverin	$4\frac{1}{2}$	$12\frac{3}{4}$	$4\frac{3}{4}$
	$4\frac{3}{4}$	15	5
	5	$17\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{4}$
Demi Cannon	$5\frac{1}{4}$	20	$5\frac{1}{2}$
	6	30	$6\frac{1}{4}$
	$6\frac{1}{8}$	32	$6\frac{1}{2}$
	$6\frac{3}{8}$	36	$6\frac{3}{4}$

Tabell 1: Standardisering av kanonkulors storlekar (ca 1590). [Collins 2022]

$$r^2 = (x - a)^2 + (y - b)^2$$

Formel 1: Cirkelns ekvation

Det visade sig då att den kanonkula som bäst passade in i intervallet hade diametern 5". Därefter beräknades okularets brännvidd med formeln för brännvidd (formel 2), och fick till $f_{\text{obj}} \approx 125$ mm då brytningsindexet räknades som $n=1,51$, vilket Yuri menade var rimligt för dåtidens glas. Med hjälp av okularets brännvidd, beräknades brännvidden hos objektivet genom

formeln för linsavstånd (formel 3), till $f_o \approx 350$ mm, där avståndet mellan linserna räknades som 230 mm då Yuri informerades att kikaren skulle bli ostabil om den sträcktes ut längre. Därtill behövdes den extra sträckan till teleskopets fulla längd, för att eventuellt korrigera distansen mellan linserna för att få en klar bild. Till sist kunde förstoringen beräknas till $m = f_o / f_{\text{ok}} \approx 3$.

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Formel 2: Brännviddsformel för smala linser

$$d = F_o + F_{Ep}$$

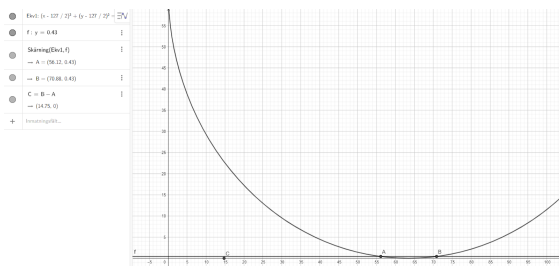
Formel 3: Formel för linsavstånd

Efter att den nödvändiga informationen fått fram gällande linsernas optiska egenskaper, kunde representativa linser beställas hos *Edmund Optics* och *MKS Newport*, vilka sedan placerades i kikaren.

Resultat

Modellens egenskaper:

- Okular – $\varnothing = 25,4$ mm, $f = -125$ mm
- Objektiv – $\varnothing = 25,4$ mm, $f = 350$ mm
- Kikare – $20 \leq \varnothing \leq 50$ mm, $l = 280$ mm, linsavstånd ≈ 230 mm, förstoring ≈ 3



Figur 3: Kanonkula i förhållande till lins.



Figur 4: Färdig modell.



Figur 5: Kikaren från Kronan.



Figur 6: Jämförelse av förstoring.

Diskussion

Arbetet visade att det var möjligt att skapa en modell av kikaren från Kronan. Det fanns inte någon möjlighet att praktiskt undersöka kikaren i Kalmar, utan alla beräkningar är teoretiskt grundade, och det är kikarens ömtålighet som har varit den underliggande orsaken bakom det komplicerade arbetet med modellen. Arbetet har därmed grundat sig i teleskopets och lensens vetenskapliga historia för att möjliggöra utformningen av en representativ modell där det relaterade historiska materialet till kikaren i fråga har applicerats. Modellen fungerar som en replika med viss avvikelse från originalet då den tillgängliga specifika informationen samt de praktiska förhållandena rådande vid tillverkningen varit väldigt begränsade. Utifrån vetenskapshistorien, har modellen en rimlig noggrannhet.

Kikaren visade sig inte vara särskilt användbar då den endast hade tre gångers förstoring. Det är därför troligt att kikaren främst fungerade som ett statusföremål och tillhörde en högre uppsatt besättningsmedlem; kapten eller liknande. Givet att kikaren var ett Galileo teleskop, var synfältet väldigt begränsat (*Australia Telescope National Facility*, 2022). Utöver det framgår det i rapporten att den ena linsen var väldigt repig och innehöll många luftbubblor. Reporna uppstod förmodligen under vistelsen i havet, men luftbubblorna måste ha funnits även när kikaren var i användning. Detta talar ytterligare för att kikaren främst var ett statusföremål. Det som arbetet har visat är att Galileos teleskop hade cirka 6,7 gånger större förstoring än kalmarteleoskopet, vilket var väntat då det Galileos teleskop användes till krävde en större förstoring än det kikaren användes till. Modellen ger därmed endast en representativ bild av förstoringen, och inte av originalets bildkvalitet.

Som tidigare nämnt i metoden, anpassades själva teleskopets diameter för att öka de annars väldigt små marginalerna. Tjockleken ökades från $\varnothing=40$ mm, till $\varnothing=50$ mm för att underlätta tillverkningen, och även för att göra den mer tålig vid användning. Sträckan mellan linserna ändrades inte, vilket innebär att den optiska förstoringen är den samma.

De införskaffade linserna var inte fullt representativa då utbudet var begränsat. På grund av det prioriterades linsernas optiska egenskaper för att skapa en modell med

motsvarande funktioner och en liknande bild till den som originalkikaren bör ha gett (förstoringsmässigt och inte kvalitetsmässigt) utefter våra beräkningar. Det skedde dock på bekostnaden av linsernas proportioner. Okularen har visserligen båda brännvidden $f_{EP} = -125$ mm gemensamt, men diametrarna skiljer dem åt; 25 mm hos modellen i förhållande till 18,6 mm hos originalet - tjockleken; 2,5 mm i mitten i förhållande till 1,57 mm, och 3,8 mm i kanten i förhållande till 2,0 mm - typen; dubbelkonkav i stället för plano-konkav. Objektiven skiljer sig också åt även om brännvidden $f_{EP} = 350$ mm är den samma och båda är plano-konvexa. Dock skiljer diametrarna sig åt; 25,4 mm hos modellen i förhållande till 24,3 mm - och tjockleken; 3,5 mm i mitten i förhållande till 1,7 mm.

Även om en förstoring av tre är rimlig för teleskopet, är tillvägagångssättet som användes väldigt osäkert. Då kikarens historia inte är känd, varken varifrån den kommer eller hur den är tillverkad, är det väldigt osäkert huruvida linserna blev slipade i en svarv eller mot en kanonkula. De värden som användes vid antagandet att kanonkolor användes i tillverknings-processen, utgick från en äldre form av brittisk standardisering. Även om kanonkolor använts vid tillverkningen av just den här kikaren, är det inte säkert att det rör sig om brittiska kanonkolor, eller att de delade den brittiska storleksindelningen. De kanonkolor Galileo skrev om i sin lista var förmodligen från Venedig, men dock säger inget att de kanonkolor som användes vid linstillverkning var tvungna att komma från Italien. Att linsernas form i vår modell har beräknats utifrån en brittisk standardisering beror på den bristande informationen kring kanonkolor från 1600-talet. Det är inte heller säkert att kanonkolor har använts för att göra kikaren då det, som tidigare nämnt, fanns alternativa tillverkningsmetoder där olika typer av svarvar användes, vilket förklaras djupare i artikeln av Bedini som tidigare refererats till.

I detta arbete har en linstillverkningsprocess under 1600-talet anpassats och applicerats på kikaren från Kronans lins för att på teoretisk grund skapa en modell med rimligen liknande egenskaper som originalet.

Referenser

Wikipedia, "Regalskeppet Kronan (1668)", hämtad 22/1-2022.
[https://sv.wikipedia.org/wiki/Regalskeppet_Kronan_\(1668\)](https://sv.wikipedia.org/wiki/Regalskeppet_Kronan_(1668))

Wikipedia, "Optiskt teleskop", hämtad 22/1-2022.
https://sv.wikipedia.org/wiki/Optiskt_teleskop

Wikipedia, "Kromatisk aberration", hämtad 5/2-2022.
https://sv.wikipedia.org/wiki/Kromatisk_aberration

Universe today, "What is Galileo's Telescope?", Tommy Plotner, 2016.
<https://www.universetoday.com/15763/galileos-telescope/>

The Galileo project, "The telescope", Albert Van Helden, 1995.
<http://galileo.rice.edu/sci/instruments/telescope.html>

Optica Publishing Group, "Lens Making for Scientific Instrumentation in the Seventeenth Century", Silvio A. Bedini, 1966.
<https://www.osapublishing.org/ao/viewmedia.cfm?uri=ao-5-5-687>

Australia Telescope National Facility, "Galileo and the Telescope", hämtad februari 2022.
<https://www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/galileo.html#galtelescope>

From Earth-Bound to Satellite: Telescopes, Skills and Networks, Alison D Morrison-Low, Sven Dupré, Stephen Johnston, 2011.
https://books.google.se/books?id=QeIXAQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=From+Earth-Bound+to+Satellite:+Telescopes,+Skills+and+Networks+google+books&hl=sv&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=From%20Earth-Bound%20to%20Satellite%3A%20Telescopes%20C%20Skills%20and%20Networks%20google%20books&f=false

MISCELLANY, "British Cannonball Sizes", Dr. A R Collins, hämtad 28/1 2022.
<https://www.arc.id.au/Cannonballs.html>

NL TIMES, "17th cent. telescope found in Delft" (2014).
<https://nltimes.nl/2014/05/14/17th-cent-telescope-found-delft>

Regalskeppet Kronan, "Konserveringsrapport (kikare)", 2003.