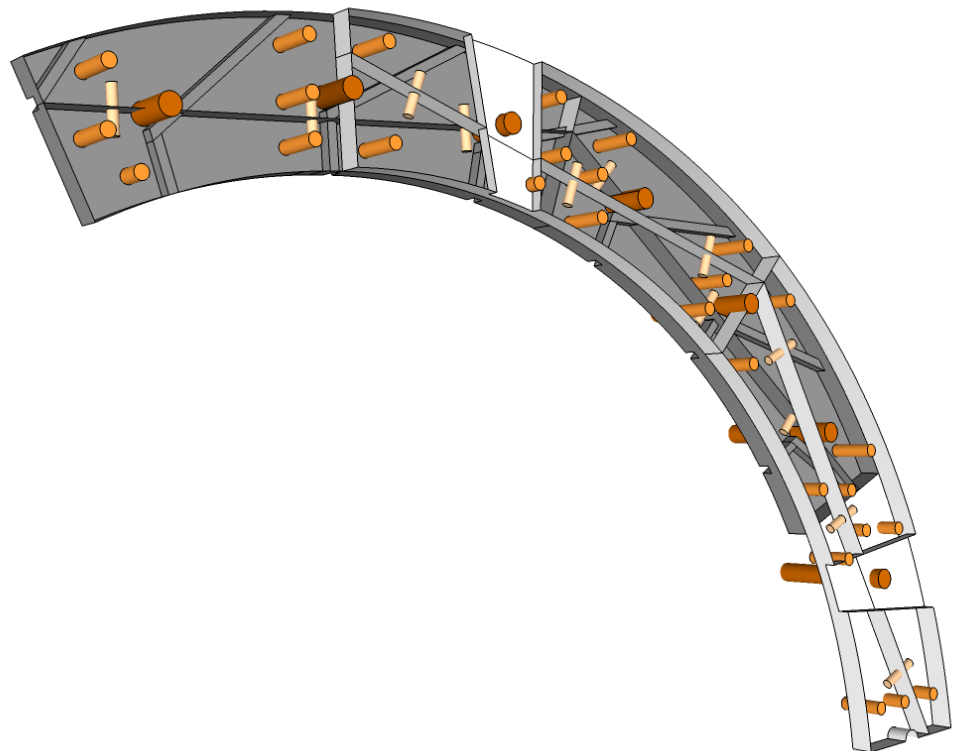


Tillverkning och infästning av komprimerade träaglar i en vattenhjulskonstruktion

– En försöksstudie i historisk träteknik



Elias Berg

Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen i
Kulturvård, Bygghantverk
22,5 hp
Institutionen för kulturvård
Göteborgs universitet

2016



Tillverkning och infästning av komprimerade tränaglar
i en vattenhjuls konstruktion
– En försöksstudie i historisk träteknik

Elias Berg

Handledare: Nils-Eric Anderson

Examensarbete, 22,5 hp
Bygghantverksprogrammet
LÅ: 2015/16

UNIVERSITY OF GOTHENBURG
Department of Conservation
Box 77
SE-542 21 Mariestad, Sweden

www.conservation.gu.se
Tel +46 31 786 00 00

Program in Conservation, Building Crafts
Graduating thesis, 2016

By: Elias Berg
Mentor: Nils-Eric Anderson

**Methods for producing and applying compressed treenails
in construction of a whaterweel
-An experimental study of historical woodworking technique**

ABSTRACT

This thesis investigates the construction and use of compressed treenails in a waterwheel construction. The method of compressing treenails is no longer in use, although it is being said to have a constructive advantage. When the compressed treenails are being exposed to water they expand in the construction, which results in a tighter and stronger joint.

The experimental part of the study accounts for the production and the attachment of compressed treenails. The methods are based upon the descriptions found in *Afhandlingen rörande Mechaniquen* (Rinman 1794). Experiments are also carried out on how much and why the expansion occurs.

In the results the author presents some of the experiences of the relations between techniques and material that were used in the experiments. Finally the results are being discussed according to their suitability in waterwheel constructions.

Title in original language: Tillverkning och infästning av komprimerade träaglar
i en vattenhjuls konstruktion
– En försöksstudie i historisk träteknik

Language of text: Swedish

Number of pages:

Keywords/Nyckelord: compressed wood pegmaker, treenail fastenings, tinecutter, whaterweel, dymlingar, komprimerat trä, nageljärn, organisk infästning, träaglar, vattenhjul,

Förord

Inledningsvis vill jag rikta ett varmt tack till Per Zackrisson. För ditt intresse och engagemang, för din generösa rådgivning och det oersättliga material du delade med dig av. Tack också till Gunnar Zackrisson för din hjälp och handledning under monteringen av vattenhjulet.

Jag vill också tacka Föreningen Järnet på Lapphyttan och Norbergs kommun för förtroendet att tillverka det nya vattenhjulet och den hjälp ni bistod med under projektet. Tack därmed till Catarina Karlsson och Ulf Öhman med flera. Tack också till Yngve Axelsson för din hjälp med litteraturen på Jernkontorets bibliotek, till Bertil Pärnsten på Bräcke Järn och Karl-Otto Ekdahl på Ekdahls Mekaniska för era snabba leveranser av fantastiskt utförda produkter.

På institutionen vill jag rikta ett stort tack till min handledare Nils-Eric Anderson. För dina kloka synpunkter över studiens upplägg, uppiggande kommentarer och till ditt omfattande förarbete under planeringsstadiet. Tack också till examinator och kursansvarige Göran Andersson för din välbehövliga kritik, vägledning och avdramatisering.

Slutligen ett stort tack till Maria Hörnlund. Till din vilja och förmåga att alltid gräva fram den litteratur som eftersöks.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Problemformulering och Frågeställningar	8
1.3	Syfte	8
1.4	Avgränsningar	8
1.5	Befintlig kunskap	9
1.5.1	De grundläggande kunskaperna om vattenhjulsbyggnad	9
1.5.2	Tillverkningsmetod och verktyg för komprimering av tränaglar	9
1.5.3	Material och utformning av naglar och kilar	12
1.5.4	Infästningsmetod	12
1.6	Metoder	14
1.7.1	Konstruktionsritning och Modellbygge av vattenhjulet	14
1.7.2	Verktygets utformning	14
1.7.3	Tillverkning och Komprimeringsförsök	14
1.7.4	Infästningsförsök	14
1.7.5	Expanderingsförsök	15
1.7.6	Vattenhjulets tillverkning med slutgiltig infästning	15
2.	Undersökning	16
2.1	Konstruktionsritning och Modellbygge	16
2.1.1	Grundläggande dimensionering	16
2.1.2	Detaljutformning och sammansättningar	16
2.2	Formgivning av verktyget	23
2.3	Tillverkning och Komprimeringsförsök	25
2.3.1	Försök 1: Tillverkning av Hjulnaglar	25
2.3.2	Delresultat och reflektioner	28
2.3.3	Försök 2: Tillverkning av Lötnaglar	29
2.3.4	Delresultat och reflektioner	29
2.4	Infästningsförsök	30
2.4.1	Försök 3: Infästning av Hjulnaglar	30
2.4.2	Försök 4: Infästning av Lötnaglar	33
2.5	Expanderingsförsök	36
2.5.1	Försök 5: Expansion i ökad luftfuktighet	36
2.5.2	Delresultat och reflektioner	36
2.5.3	Försök 6: Expansion i vatten	37
2.5.4	Delresultat och reflektioner	37
2.6	Källkritiskt ställningstagande	38
2.7	Sammanfattade försöksresultat	38
3.	Avslutning	39
3.1	Diskussion	39
3.2	Slutsatser	41
4.	Källförteckning	42

BILAGA 1: Expansion i ökad luftfuktighet

BILAGA 2: Expansion i vatten

BILAGA 3: Sammanställd bildokumentation från hjulringarnas tillverkning samt bilder från slutgiltig montering av vattenhjulet

BILAGA 4: Bedömning av vattenhjul Nya Lapphyttan 2015-01-05. Preliminär redovisning.

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Inför detta examensarbete antogs uppdraget att tillverka ett nytt vattenhjul åt föreningen Järnet på Lapphyttan i Norberg. På platsen har en historisk masugn byggts upp för att användas vid forskning om medeltida järnframställning. Till anläggningen hör ett drygt tre meter högt vattenhjul av överfallsmodell som driver blåsbälgar för smältprocessens syresättning. I juli 2015 gjordes ett besök på Lapphyttan för ett inledande möte med föreningens styrelse och representant från Norbergs kommun. Vid mötet närvarade också Per Zackrisson som tidigare besiktat hjulet och skrivit ett åtgärdsförslag. Vid detta tillfälle pågick sommarens järnframställningsförsök och det befintliga hjulet var i bruk. Det led dock av omfattande skador som tillkommit till följd av bristfälliga konstruktionslösningar samt undermålig virkeskvalitet. Bristerna gällde dels avsaknad av några viktiga konstruktionsdetaljer samt tvivelaktiga sammanfogningar där man valt en modern infästning med skruv istället för beprövade tekniker.

Ett intresse väcktes över skadornas bakomliggande orsaker och för vilka lämpliga material och tekniker som konstruktionen istället kunde ha satts samman med. Under en inledande litteraturstudie påträffades en intressant historisk sammanfogningsteknik med tränaglar som under tillverkningsprocessen komprimerats för att åstadkomma en långsiktig tät och stark infästning (Rinman 1794, s. 112). Efter samtal med personer med hantverksmässig erfarenhet av vattenhjul och ett antal observationer konstaterades att den påträffade metoden inte verkar vara något man använder sig av idag. På så sätt väcktes iden att det nya vattenhjulet kunde konstrueras med hjälp av Rinmans beskrivna infästningsmetod, samtidigt som det gavs en möjlighet att dokumentera en till synes bortglömd hantverksteknik.

Följande citat har i denna studie använts som en återkommande inspiration till att undersöka och dokumentera de viktiga detaljer i hantverkets praktiska utförande som så sällan beskrivs.

”Det öfriga om vattuhjuls byggnad, som egentligen hörer till handlag, hjälpredor, verktyg, mättings-sätt, ställningar och arbetsordning m.m. tillhörer hvar och en Byggmästare att förstå” (Rinman 1794, s. 133)

Sven Rinman var under 1700-talets senare hälft en av de mest inflytelserika personerna inom den svenska järn och stålmanufakturen och benämns ibland som *”den svenska bergshanteringens fader”* (Nationalencyklopedin). Han var utbildad kemist och metallurg och verkade som bergsinspektör och övermästare för utveckling av masugnar och förbättring av tackjärnstillverkningen i Roslagen och Bergslagen. Han skrev flera omfattande verk i kunskapsspridande syfte och efterlämnade många beskrivningar och ritningar över hela anläggningar som han byggt eller förbättrat. Ett av dessa beskrivande verk är *Afhandlingen rörande Mechaniquen*, varav ovanstående citat är hämtat ur. I denna avhandling finns ingående konstruktionsbeskrivningar av vattenhjul, som en viktig del av järnbruksanläggningen. I denna studie har Rinmans avhandling använts som huvudlitteratur för tillverkning av vattenhjulet till Nya lapphyttan samt för den specifika tillverknings- och infästningsmetod av komprimerade tränaglar som undersökts.

1.2 Problemformulering och Frågeställningar

För att åstadkomma starka sammansättningar av olika konstruktionsdetaljer i ett vattenhjul av trä fungerar inte alltid de lättillgängliga infästningsteknikerna som grundar sig på konventionella standarder och krav. Livslängden i ett felaktigt sammansatt vattenhjul kan förkortas avsevärt och resultera i kostsamma reparationsarbeten som inte självfallet kan finansieras. Vattenhjulen är idag inte inkomstbringande i samma utsträckning som när de ingick i vår industriella infrastruktur, vilket försvagat deras berättigade existens. Därför blir det extra viktigt att de arbeten som utförs idag håller vad de lovar och att konstruktionens livslängd inte reduceras på grund av ett bristande hantverk. De mekaniskt komprimerade tränaglar som påträffades i Rinman (1794) förefaller vara en lämplig metod för att skapa hållbara sammanfogningar i ett vattenhjul.

Det finns fortfarande hantverkare som behärskar de äldre teknikerna och som besitter den handlingsburna kunskapen. Problemet är att de är få och att kunskapen ofta är just handlingsburen och inte dokumenterad eller beskriven på ett sätt som gör den tillgänglig. Kunskaperna bakom ett välbyggt vattenhjul befinner sig inom ett marginaliserat och hotat hantverksområde och behöver den hjälp som står att finna för att lyftas fram och dammas av.

- Är det möjligt att rekonstruera den sammanhängande tillverknings- och infästningsmetoden med komprimerade tränaglar som beskrivs i Rinman (1794)?
- Kan metoden efter en undersökande försöksstudie tillämpas vid tillverkning av ett vattenhjul, och kan den behärskas i tillräcklig utsträckning för konstruktionens funktion och hållbarhet?
- Vilka betydande skillnader finns mellan denna metod och de som främst används idag?

1.3 Syfte

Syftet med detta arbete är undersöka den traditionsbundna metoden att sammanfoga delar i en vattenhjuls konstruktion med tränaglar som i tillverkningen genomgått en mekanisk komprimering. Målet är att tillgängliggöra kunskap kring ett nästintill bortglömt verktyg och en svagt dokumenterad infästningsmetod som utnyttjar träets materiella egenskaper och med fördel kan användas vid rekonstruktioner och restaureringar av vattenhjul.

1.4 Avgränsningar

Vattenhjulet konstrueras inte i syfte att åstadkomma en autentisk rekonstruktion från den tidsperiod anläggningen Nya Lapphyttan i grunden representerar (medeltid omkring år 1200). Den studien hade varit intressant, men eftersom det nya hjulet i första hand behövde anpassas efter den befintliga anläggningens hjulaxel, vattenhjulsmodell och storlek (ett drygt tre meter högt överfallshjul) antogs ett utförande från slutet av 1700- talet som bättre lämpad.

I den undersökande studien har enbart de delar som haft relevans för undersökningen redovisats. Bakgrunden och tillverkningen av hjulets konstruktion i helhet beskrivs därför endast i korthet.

Med hänsyn till arbetets begränsade tidsram kommer studien i resultat och diskussionsdelen i första hand baseras på infästningsförsök där tränaglarna används vid sammanfogning av mindre ämnen, så kallade dummies, som inte används i konstruktionen av vattenhjulet.

Nageljärnen som användes vid tillverknings/kompressionsförsöken nyttillverkades med fokus på funktion framför ett historiskt korrekt utseende och konstruktionsmaterial.

På grund av begränsningar i virkesmaterialet som projektet hade till förfogande har några viktiga konstruktionsdetaljer i utformning och dimension till viss del frångått rekommendationerna i huvudlitteraturen. Detta gällde framförallt skarvning av lötar och den problematik som det gav upphov till.

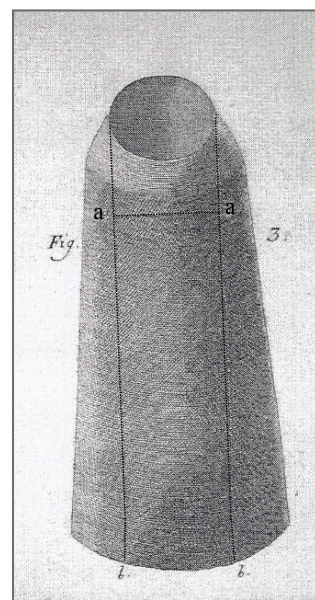
1.5 Befintlig kunskap

1.5.1 De grundläggande kunskaperna om vattenhjulbyggnad

De teoretiska kunskaperna om hur ett vattenhjul kan beräknas och utformas utifrån tillgängligt vattenflöde till önskad effekt finns väl bevarade i ett flertal svenska historiska avhandlingar. Däribland Bage (1853) och Ångström (1895). I den senare beskriver författaren att syftet med hans uppsats var att förse den svenska Tekniska Högskolan med en översättning av de senaste tekniska framstegen rörande vertikala vattenhjul som presenterats i två tyska verk. Uppsatsen har kompletterats med ett tiotal beskrivningar och illustrationer på konstruktionsdetaljer av trä, som han anpassat till den svenska traditionen. Enligt författaren kunde dock fullständiga konstruktionsritningar inte redovisas med hänsyn till uppsatsens begränsade omfång och ekonomiska förutsättningar. Praktiska beskrivningar om tillverkningsmetoder, material och anpassade verktyg finns över lag inte dokumenterat i samma utsträckning som det teoretiska underlaget. I Riksantikvarieämbetets rapport *Vattenhjul- Utförande, restaureringsexempel och litteratur* (1982:3), framhålls *Afhandlingen rörande Mechaniquen Del 2*, Rinman (1794), som det svenska standardverket i sammanhanget. Denna tidiga avhandling publicerades i en teoretisk del av E. Nordewall (1800) och i en praktiskt inriktad del av Swen Rinman år 1794. Rinmans del av avhandlingen ägnas åt beskrivningar av detaljutformning och sammansättningar vid de olika typer av vattenhjul som beskrivs och beräknas i Nordewalls teoretiska del. Emellanåt redovisas ingående förslag på vilka hantverksmetoder som kan tillämpas. I avhandlingens tredje kapitel finns sådana beskrivningar för hur tränaglar till sammansättning av konstruktionens hjulringar kan tillverkas och fixeras på ett sätt som bidrar till styrka och hållbarhet.

1.5.2 Tillverkningsmetod och verktyg för komprimering av tränaglar

Verktyget enligt Rinman(1794)- I det planschverk som Rinman kompletterar sina konstruktionsbeskrivningar med illustreras ett enkelt utformat verktyg i figur 3 under tabell 10. Ingen specifik verktygsbenämning används, men för enkelhets skull benämns verktyget i den här studien vidare som ett nageljärn. Nageljärnet ses här till höger i figur 1. I den tillhörande texten beskrivs verktyget som en utborrad järnhylsa för tillverkning av fästpinnar. Dessa benämns vidare i denna studie som hjulnaglar eller lötnaglar beroende på användningsområde. Det beskrivs att verktygets mynning beläggs med stål och slipas skarp. Illustrationen visar fyra punktlinjer som markerar viktiga sträckor. Punktlinjerna samt bokstäverna i sträckan a-a har här förstärkts. Enligt beskrivningen i kapitel 3 under rubriken *Fästpinnar* tillverkas nageljärnet över sträckan a-a, "en hårsman trångare" strax efter den skärande mynningen. För hylsans utformning nämns också att utgången i sträckan b-b, är "litet vidare" än mynningen. Tack vare nageljärnets utformning ska naglarna under tillverkningen bli: "icke allenast ganska runda, utan ock något tillhopa klämde, hvarefter de uti vattnet utsvälla och fastna så mycket hårdare" (Rinman 1794 s, 112).

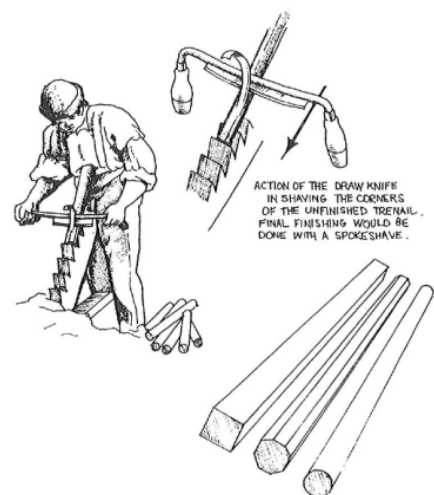


Figur 1. Verktygets utförande Rinman(1794, tab 10, fig 3)

Rinman förklarar på så sätt grundtanken med verktygets funktion men använder sig av vaga begrepp som inte kan översättas till millimetermått och vinklar och punktlinjernas exakta lägen är svårtydda. Möjligen kunde en svag brytning tydas i den vertikala linjen strax innan punkt b nere till vänster. Om arbetsgången nämns att kluvna fyrkantiga ämnen av någon tums övermått i längd, en efter annan drivs genom nageljärnet.

Liknande verktyg och metoder- För runda naglar beskrivs i McCarthy (1947, s. 97) att tillverkningen utvecklades då den enkla kniven ersattes av bandkniv eller "peg-cutters". Från fyrkantiga ämnen fasades kanterna succesivt av tills ämnet blev runt. Tillverkningsmetoden med bandkniv och spånhyvel illustrerar enligt fig. 2, men det beskrivs varken i text eller i bild vad som menas med en "peg-cutter".

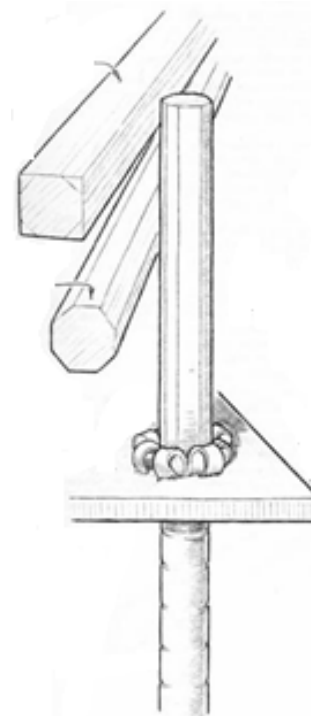
I boken *Oak-framed buildings* (Newman 2005, s. 120-122) beskrivs en tillverkningsmetod för runda eknaglar till stolpverksbyggnad med verktyget "peg-maker", som skulle kunna motsvara "peg-cutter" i *Ships' fastenings: from sewn boat to steamship* (McCarthy 1947, s. 121). Där ses ett fotografi som visar att verktygets övre del påminner om verktygets utformning i Rinman (1794). Enligt metoden klyvs fyrkantiga ämnen fram från färsk ved. Genom klyvning åstadkoms starka ämnen med obrutna fibrer och att den färskva veden är lättast att klyva. Ämnet ska sedan lämnas att lufttorka så att den färdiga tränegeln inte krymper i för stor utsträckning. Det torra ämnet drivs med träklubba genom verktyget och den runda nageln skärs exakt efter diametern på verktygets öppning. I beskrivningen nämns inget om att nageln komprimeras eller efterexpanderar till följd av tillverkningsmetoden.



Figur 2. Tillverkningsmetod för träneglar McCarthy (1947, s 97)

I *The evolution of the wooden ship* (Greenhill 1988) beskrivs och illustreras på s. 145 en tillverknings- och infästningsmetod av runda träneglar. Som i föregående beskrivningar förklaras att fyrkantiga ämnen klövs fram med yxa. Ämnet fasas därefter ner till oktagon form som drivs genom en metallplatta med borrarat hål, se fig. 3. Det berättas inte närmre hur hålet i metallplattan är utformat men förklarar att nageln komprimeras något under genomdrivningen.

Det här utseendet påminner om de mer vanligt förekommande pluggmallar som används idag för tillverkning av betydligt mindre ämnen. Dessa tillverkas bland andra av Lie-Nielsen Toolworks och i deras verktygsbeskrivning nämns inget om att pluggmallens hål har avsedd komprimerande effekt.



Figur 3. Komprimeringsmetod Greenhill (1988, s. 145)

Mer lik verktyget i Rinman (1794) är de så kallade ”*Tine Cutters*”, som bland andra beskrivs i *Woodland Craft* (Law 2016). Dessa används huvudsakligen för tillverkning av pinnar till krattor av betydligt mindre storlek än de tränaglar till vattenhjul som förekommer i Rinmans beskrivningar. I figur 5 ses här att verktyget påförts en stödfot samt att man använder sig av en stabiliserande arbetsbänk och en rejäl träklubba. Det framgår också att fyrkantiga ämnen drivs genom verktyget och i figur 4 ses hur de kan tas fram.



Figur 4. Bearbetning av tränaglar
Law (2015, s. 122)



Figur 5. Tillverkningsmetod med *tine-cutter*
Law (2015, s. 122)

I *Tränaglar i byggnadskonstruktioner* (Wahlström 2010) testas ett nageljärn för tillverkning av runda tränaglar. Där kartläggs olika typer av tränaglar som använts inom traditionellt bygghantverk och författaren studerar användningsområden, material och prövar olika tillverkningsmetoder. Nageljärnet som används i ett av tillverkningsförsöken beskrivs som en prototyp av *peg-maker*, med hänvisning till (Newman 2005, s.122).

Efter de praktiska försöken konstaterade Wahlström följande om verktyget och metoden:

- Att det bör tillverkas av stål som tål att slipas utan att eggen eller hålet försvagas eller deformeras.
- Genomdrivningen av ämnet krävde mycket kraft. En lägre eggvinkel tros kunna underlätta genomdrivningen.

Om trämaterialiet som användes i försöken konstaterades följande:

- Ämnet som drivs genom hylsan bör vara bara några millimeter grövre än hålet i verktyget. Vid större övermått tenderade ämnet att spricka upp på ett oönskat sätt.
- Materialet som används ska vara rätvuxet och klyvas fram till lämplig dimension.

Efter försöken konstaterades att exakta ämnen kunde produceras förhållandevis snabbt samt att metoden innebar en kvalitetssäkring av produkten då endast rätvuxna ämnen gav acceptabla tränaglar. Författaren nämner inte i gradantal vilken eggvinkeln verktyget hade eller vilken lägre vinkel som hellre hade föredragits. Författaren för inte någon diskussion kring om tillverkningsmetoden leder till en komprimering av tränageln.

På hantverksforumet *Bodgers Ask Answers* verkar föreningen *Association of polelathé turning and greenwood working*, för att sprida information kring trähantverk.

Det förs ingen diskussion om nageljärnets komprimerande effekt men det beskrivs dock att verktygets inre vidgning är väsentlig för att underlätta genomdrivningen av ämnet och att 1 - 2 millimeter kan vara ett lämpligt spelrum (jrccaim 2012). För att styra ämnet inledningsvis rekommenderas också att nageljärnet håller samma innerdiameter från öppningen och neråt 1-1 ½ tum (Williamson 2012). En översättning från engelsk tum ger 25,4 – 38,1 mm. Till verktygets eggvinkel rekommenderas 25-30 grader (jrccaim 2012).

1.5.3 *Material och utformning av naglar och kilar.*

Naglarnas träslag och kvalitet- Goda tränaglar kan tillverkas av ganska torr och rätkluvna ämnen furuved (Rinman 1794, s. 112). Träslagets förekomst och lämplighet i konstruktioner som utsätts för vatten framgår även i litteratur om skeppsbyggnad. I *Tre til båtar* (Godal 2001) sägs att furu använts i princip enarådande till tränaglar i Norge, men att lokala variationer förekommit till följd av annan materialtillgång. Det beskrivs likaså att valet av träslag i naglar präglas av materialtillgång, men också att hårdheten i det material som ska sammanfogas spelar roll (Hesthammer et al. 2008, s. 204). Naglar av ek används ofta då konstruktionen i övrigt består av det träslaget. Ene beskrivs också som traditionellt material till naglar i Bill & Johansson(1987). Om furuvedens kvalitet är samtliga studerade källor överens om att kärnan är mer lämplig än splint och att veden ska vara torr, rättvuxen och kvistfri. Splint kan enligt Hesthammer et al. (2008) godtas i de fall naglarna sitter under skrovets vattenlinje och därmed undgår problem med röta. Jon Godal påpekar att naglarna tas från de yttre delarna av kärnveden, en bit upp på stammens norrsida eller den sidan med minst kvist. Det skrivs vidare att nagelveden inte bör vara för fet och att 1½-2 millimeters årsringsavstånd är lämpligt.

Naglarnas utformning- Tillverkningsmetoden med nageljärnet begränsar utformningen till cylindriska naglar utan huvud. De flesta andra källor som studerats utgår från sammanfogningar inom skeppsbyggnad där ett antal olika utformningar av tränaglar ses. Här fokuseras dock enbart kring de naglar vars utformning kan diskuteras i samband med den tillverknings- och infästningsmetod som beskrivs i huvudlitteraturen Rinman (1794).

Ett antal studerade källor beskriver runda tränaglar som svarvats maskinellt eller manuellt till ett utseende med koniskt huvud i ena änden. Det koniska huvudet har den fördelen att det automatiskt pressas in mot infästningsämnet när den motsvarande änden drivs med kil. Nackdelen över lag med svarvning som tillverkningsmetod är att nagelämnet riskerar att orienteras snett i vedriktningen, vilket skapar brutna fibersträckor och en svagare nagel (Hesthammer et al. 2008, s. 205).

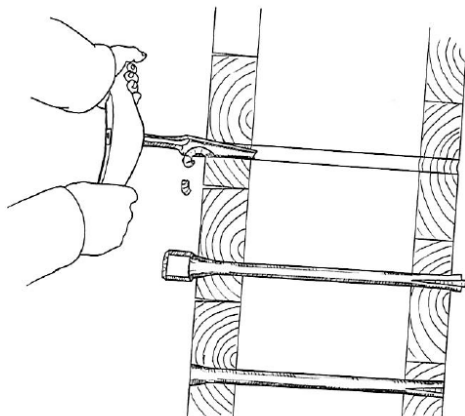
Kilarnas träslag, form och kvalitet- I litteraturen om skeppsbyggnad framgår att valet av träslag till kilar kan bero på träslaget i nageln. Det beskrivs att kilar kan skäras ut från änden av tränageln som sticker ut efter att ha blivit inslagen i borrhålet. På så sätt blir nagel och kil av samma träslag och kvalitet samt att årsringarnas riktning tangeras (Bill & Johansson 1987, s. 38, Hesthammer et al. 2008, s. 206). Enligt Jon Godal har kilar traditionellt tillverkats av gran eller furusplint, även då nageln var av kärnfura. Det berättas inte exakt varför man enligt traditionen valt furusplint eller gran till kilar, men illustrationerna kan ge en förklaring. Där ses att dessa kilar av den beskrivna modellen enbart placeras på skeppets insida och då rimligtvis inte utsätts för vatten. Det berättas vidare att veden orienteras så att kilen får stående årsringar, parallellt med nageln och veden i stycket runt om. Det ger minst komprimering av kilen som samtidigt möter nageln med dess hårdare sida. Risken att kilen trycks ut är då mindre än om den har liggande årsringar (Godal2001, s. 112). Om kilens utformning sägs att alltför trubbiga kilar riskerar att släppa fästet och tryckas ut från nageln. En lämplig stigning hålls därför mellan 1:5 och 1:7 (Hesthammer et al. 2008, s 205).

1.5.4 *Infästningsmetod*

Borrhål- Av huvudlitteraturens beskrivningar framgår inte exakt vilket förhållande som råder mellan nagel och håldiameter. Om hålen skriver Rinman att de borraras med noggrannhet till 1 1/8 tums diameter (2,78 mm) och att nageln ska gå trångt däri. Utifrån det som skrivs i A. Westcott (McCarthy 2005, s. 67) om ”drift”, härefter ”drivning”, framgår ett antal olika skolor kring förhållandet mellan borrhål och nagel. Som mest tillämpad beskrivs en håldiameter 1/16 tum mindre än nageln, men även 1/32 och 1/8 tums mindre borrhål eller ett förhållande med ”no drift”, där nagel och hål har exakt samma diameter. I millimeter motsvarande 1,6 0,8 och 3,1 millimeter. Dessa olika drivningar tillskrivs tränaglar från 30 till 50 millimeter i diameter. I McCarthys omarbetning av originaltexten framgår inte vilken drift och tränageldiameter som hör samman, men enligt storleksordningen kan rimligtvis 0.8 millimeters drift kopplas till 30 millimeters naglar.

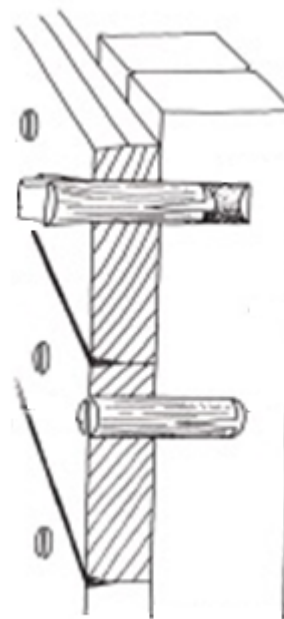
Kilning och nådning- I huvudlitteraturen nämns kort att naglar i båda ändar fästs med små furukilar. Först vidgas borrhålets mynning på två sidor så att nageln kan expandera därefter, då ändkilen slås ned. Metoden benämns som "nådning" och utförs enligt beskrivningen i nagelns båda ändar. Enligt informant 2 måste urtagen skäras i brant vinkel. Med en för flack vinkel riskeras att nageln inte kan fylla ut nådningen. Efter att kilningen utförts bör enligt huvudlitteraturen en såg användas för att avlägsna det överflödiga utsticket. Risker med att istället använda yxa beskrivs i Hesthammer et al. (2008, s. 204) med förklaringen att det ofta leder till att nageln knäcks invändigt samt att snittytan blir ojämn vilket därmed ökar risken för rötangrepp.

Koniskt huvud- Naglar som tillverkas med ett koniskt huvud i ena änden behöver där inte någon kilning. Dessa naglar används med det koniska huvudet mot bordens utsida eftersom de ansågs skapa tätare infästningar jämfört med de ändar som vidgades med en rektangulär kil. I figur 6 ses också hur borrhålet i mynningen vidgas med ett skråjärn för att motsvara nagelhuvudets koniska form. Det förklaras också att denna variant var mer skonsam än kilning och därför tillämpades vid infästning nära ändträ (Hesthammer et al. 2008, s. 205).



Figur 6. Skråjärn. Hesthammer et al. (2008, s. 205)

Dolda bottenkilade naglar- Ett antal studerade källor beskriver bottenkilade naglar. Oftast beskrivs dock utförandet med bottenkil i nagelns ena ände medan motsvarande har en öppen kilning. Denna infästning sker i två steg där nageln först drivs in med sin bottenkil och därefter kilas från utsidan och kapas av (McCarthy 1947, s. 68). Utseendet ses här i figur 7. En helt dold nagel beskrivs i *Benstampen i Skrikebo* (Hallgren, u.å.) I rapporten undersöker Hallgren en vattenhjulsanläggning av uppskattad ålder på 100 år. Det som framgår av Hallgrens redogörelse är bland annat att man skarvat vattenhulets samtliga lötar i den inre lötringen. De inre lötarna var av 2 tums tjocklek och infästningen bestod av trädubbar, omkring 19 millimeter grova och 75 millimeter långa. Det framgår dock inte i texten om dubbarna är kilade, men utifrån Hallgrens val att använda ordet *dubb* och inte *dymling* kan det eventuellt förstås att dessa inte är kilade. Just dymling är annars begreppet han använder för att beskriva den kilade infästningen.



Figur 7. Trånagel med bottenkil i ena änden. McCarthy (1947, s. 68)

1.6 Metoder

Anpassade hjälpmedel och övriga verktyg som använts under försök och laborationer tillverkades eller valdes utifrån författarens kunskaper och förmåga, om inget annat anges. Fotografier, ritningar och modeller är av författaren tagna eller utförda, om inget annat anges.

1.7.1 Konstruktionsritning och Modellbygge av vattenhjulet

Till denna studie användes vattenhjulet i syfte att skapa autentiska förutsättningar för tillverkning och infästning av tränaglar utifrån Rinmans beskrivningar (1794). Dessa utgjordes av 28 millimeters ändkilade naglar med öppen infästning och benämns vidare i arbetet som hjulnaglar. Under den fortskridande ritningsprocessen framkom att ytterligare en variant av tränaglar behövde tillverkas. Dessa utgjordes av 20 millimeters dolda naglar med bottenkilning och benämns vidare som lötnaglar.

Vattenhjulets konstruktion utformades inledningsvis i planritning och 3D- modell med hjälp av programvaran ScetchUp (årgång 2016). Konstruktionen och dess delar utformades med stöd i dimensionerings- och konstruktionsstandarder i huvudlitteraturen med kompletterande uppgifter i huvudsak från informant 1, och dennes åtgärdsförslag *Vattenhjul Nya Lapphyttan*, Zackrisson (2015).

Vidare ska också nämnas att konstruktionens sammanhållande stag i form av 24 hjälpinningar och 8 armpinnar, haft betydelse för övrig infästning. Förutsättningarna kunde ha underlättats om hjälpinningarna ersatts av järnstänger som varken behöver vara lika grova eller lika många till antalet (Rinman 1794, s.105). Metoden med trästag valdes till följd av författarens större intresse för trä som material och erfarenheten det förväntades att ge. Stagen behandlades dock inte i denna undersökning eftersom de inte tillverkades med samma metod som hjul- och lötnaglar.

1.7.2 Verktygets utformning

För att kunna studera tillverkningsprocessen och för produktion av de tränaglar som användes i infästningsförsöken samt i vattenhjulets slutliga konstruktion, togs två nageljärn fram. Dessa tillverkades utifrån Rinmans grundläggande beskrivning av verktyget och dimensionen på de hjulnaglar som där beskrivs för sammansättning av hjulringarnas lötar. Nageljärnet för tillverkning av de mindre lötnaglarna utformades med stöd i dimensionsbeskrivningar för liknande tränaglar i Hallgren (2015). I syfte att klargöra de frågetecken som kvarstod efter Rinmans verktygsbeskrivning och i brist på mer ingående facklitteratur, hämtades kompletterande uppgifter om verktygets detaljutförande från Williamson(2012) och jrccaim (2012). I syfte att åstadkomma ett smidig handhavande hämtades inspiration till verktygets fot från studerade illustrationer på liknande verktyg, däribland Law (2015, s. 122).

Nageljärnen tillverkades av C-O Ekdahls Mekaniska utifrån författarens ritningar.

1.7.3 Tillverkning och Komprimeringsförsök

Till försöken användes de två tidigare beskrivna nageljärnen. De nagelämnen som användes till försöken togs fram och förbereddes med stöd i material- och hanterings-specifikationer främst från Godal (2001) och Hesthammer et al. (2008), men även från Rinman (1794), och Greenhill (1988). Tillvägagångssätt och handhavandet i arbetet med nageljärnet utfördes med utgångspunkt i riktgivande beskrivningar från Greenhill (1988), Newman (2005) och Wahlström (2010). Under försöken tillverkades hjälpmedel utifrån författarens tidigare erfarenhet i förberedande av liknande processer.

De tränaglar som producerats har analyserats utifrån mått, form och ytstruktur med hänsyn till författarens tilltagande förmåga och förståelse för verktygets användning.

1.7.4 Infästningsförsök

Till försöken användes hjul- och lötnaglar som tillverkats på sätt som beskrivs i studiens tillverkningsförsök. Infästningens utförande utfördes med stöd i studerade beskrivningar i Rinman

(1794), Hesthammer et al. 2008), Godal (2001) samt McCarthy (1947). Under försöken analyserades det praktiska handhavandet med verktyget och ett antal utförda infästningar togs isär för ingående detaljstudie.

1.7.5 Expanderingsförsök

Expanding i ökad luftfuktighet- Försöket utfördes för att kunna studera om naglarnas komprimerade form efter tillverkningen påverkades till följd av en ökad fuktkvot i materialet. Syftet med detta var att ta redan på om naglarna kunde tillverkas i förhand utan att den avsedda expansionen inträffade innan infästningen.

Expanding i vatten- Försöket utfördes i syfte att undersöka eventuell expansion av komprimerade tränaglar som utsattes för vatten och hur denna expansion i så fall stod sig efter att naglarna återgått till samma fuktkvot som innan de utsattes för vatten. Vidare var syftet också att undersöka om tränaglarnas pendling i storlek skiljde sig beroende på om de tillverkades genom komprimering eller svarvning.

1.7.6 Vattenhulets tillverkning med slutgiltig infästning

Vattenhulet tillverkas efter författarens konstruktion. Under tillverkningen kunde de slutgiltiga infästningarna av hjul- och lötnaglar utföras utifrån de erfarenheter som framgätt under infästningsförsöken.

2. Undersökning

2.1 Konstruktionsritning och Modellbygge

2.1.1 Grundläggande dimensionering

Vattenhjulet som formgavs under denna process gavs huvudmått efter det tidigare hjulet och den befintliga anläggningen. Dessa var också föreslagna huvudmått i Zackrisson (2015).

Total yttre diameter	307 cm
Total yttre bredd	92 cm
Hjulaxel	40 x 40 cm

För blåshjul av överfallsmodell anges huvudmåten: 5 alnar och 3 tums hjuldiameter samt 36 tums hjulbredd (Rinman 1794, s. 103). En översättning från då gällande tum, ger hjuldiametern 304,3 cm och bredden 89 centimeter Birkeland (1968, s 30 och 117). Med en sådan marginell differens uppskattades vidare beskrivningar om blåshjul för överfall i huvudlitteraturen vara väl anpassad för fortsatt dimensionering och utformning av det nya hjulet till Lapphyttan.

2.1.2 Detaljutformning och sammansättningar

Följande redovisning har fokuserats kring de detaljer som haft relevans för dimensionering och infästning av konstruktionens träaglar. Konstruktionens övriga materialval, mått och sammansättningar har bestämts med stöd i huvudlitteraturens studerade konstruktionsbeskrivningar (Rinman 1794, kapitel 3, s. 94-138), eller i samspråk med informant 1.

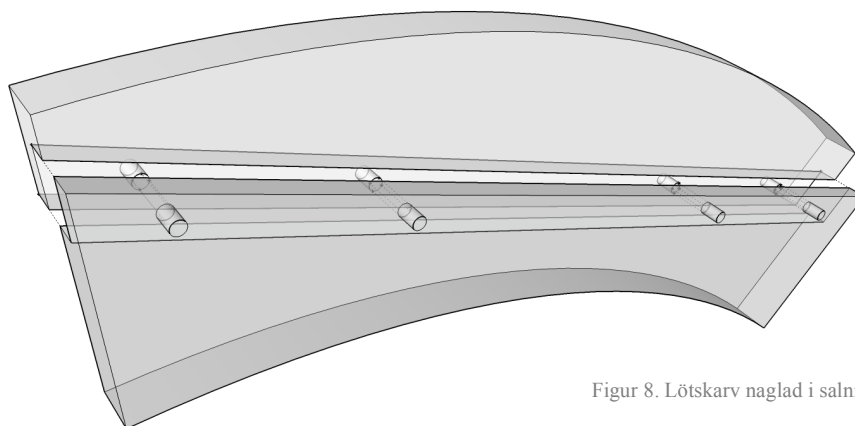
För att tydliggöra redovisningen benämns här vattenhjulets båda huvudringar efter sammansättning i två skikt som *hjulringar*. De separata inre och yttre ringarna bestående av 8 lötar vardera benämns vidare som *lötringar*.

2.1.2.1 Lötarnas bredd och inbördes skarvning

För blåshjul av överfallsmodell med tidigare nämnda huvudmått tillskrivs en rekommenderad hjulringsbredd på 15 tum och effekten av sådana hjul står i relation till hjulringens bredd (Rinman 1794, s120 och 124). En bredare hjulring ökar skoveldjupet och därmed mängden vatten som kan fångas in och driva hjulet. I Zackrisson (2015) föreslås en ringbredd på 250 millimeter och att lötringarna delas upp i åtta lötar.

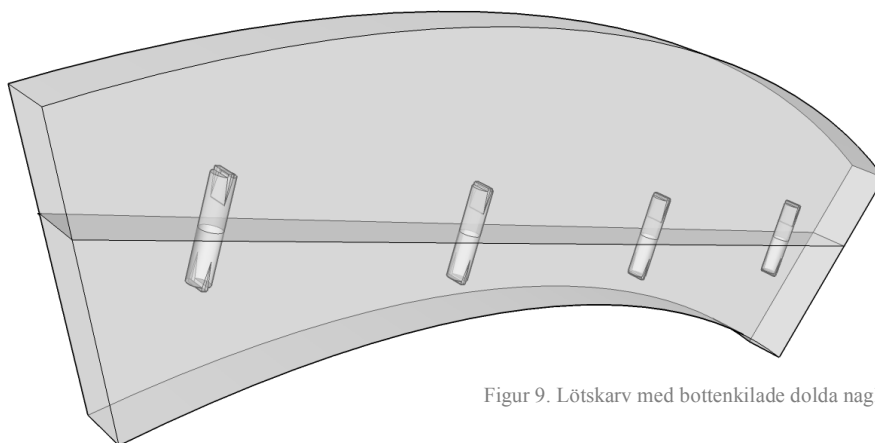
Virket som användes till hjulringarna i detta projekt var innan bearbetning 200 millimeter brett. Utifrån lötarnas beräknade längd och krökning i det utförandet hade materialet räckt till lötbodyor av knappt 11 centimeters bredd. Bredare lötbodyor hade kunnat erhållas om hjulringen delats upp i fler, kortare lötbodyor. Det tidigare hjulet på Nya Lapphyttan hade en indelning på 12 lötbodyor. Om den nya konstruktionen följt den indelningen hade materialet räckt till knappt 160 millimeters breda lötbodyor samt att lötbodyorlängden förkortats med omkring 380 millimeter. Enligt Zackrissons rekommendation föredras så långa lötbodyor som möjligt för konstruktionens stabilitet. Därav fattades beslutet att samtliga lötbodyor måste fogas samman för att åstadkomma en tillräckligt bred hjulring.

Följande citat beskriver en metod för skarvning av lötar: *"En eller annan mellanlöt kan dock uti bredden tillökas, genom en dymlad salning på yttre kanten, då en hel bred innan- eller utan-löt kan läggas däremot, allenast armlötarna bliva hela"* (Rinman 1794, s. 124). Lämpligheten i denna metod ifrågasattes till konstruktionen i det studerade fallet då samtliga lötar behövde skarvas. Dessutom skulle den sammansättningen innebära att ett antal centimeter går åt till salningen. I skarvat utförande med en uppskattad salningshöjd på sammanlagt 50 millimeter hade det tillhandahållna materialet i teorin räckt till lötar av 250 millimeter bredd, men helt utan marginal vid materialberedningen. I figur 8 ses författarens tolkning av Rinmans utförande.



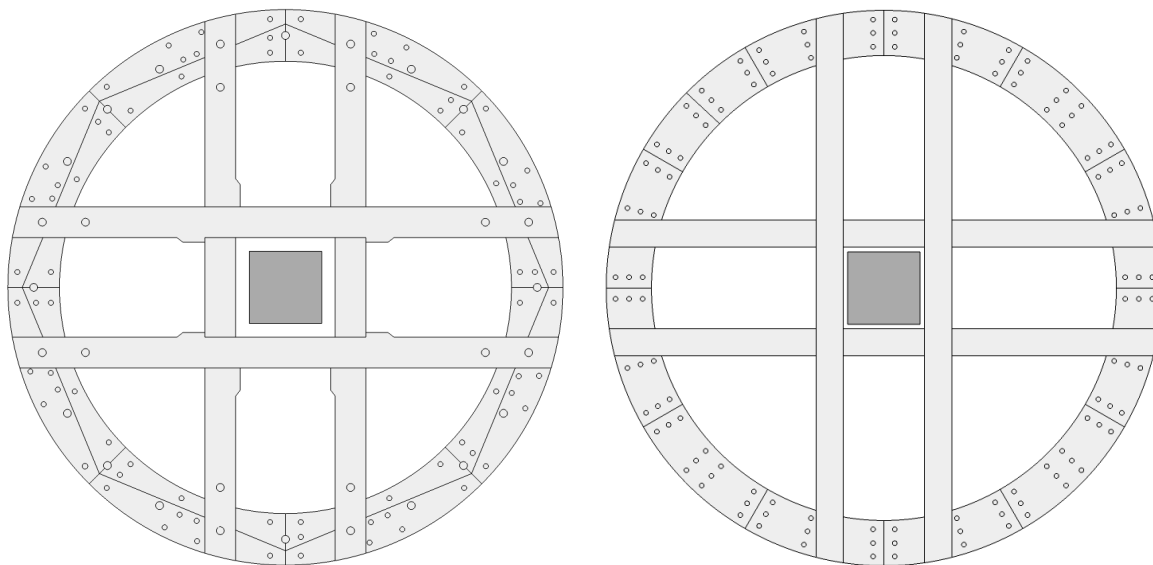
Figur 8. Lötskarv naglad i salning

Istället valdes en sammansättningsmetod med dolda bottenkilade naglar för sammanhållning av lötbitar i möte utan salning, med stöd i Hallgren (2015). De dimensioner och monteringsdjup till dolda naglar som Hallgren beskriver användes riktgivande under ritningsprocessen i denna studie. Antalet naglar som bör brukas till varje löt framgick inte av nämnda källor. Det antal lötnaglar som här illustreras i figur 8 och 9 har uppskattats av författaren i brist på exakta källor.



Figur 9. Lötskarv med bottenkilade dolda naglar

I figur 10 till vänster ses författarens planritning över det nya hjulets yttre lötring med skarvade lötar. Till höger ses det tidigare hjulet som ersattes, med korta oskarvade lötar.



Figur 10. Planritning över det nya hjulet t.v. och det ersatta t. h.

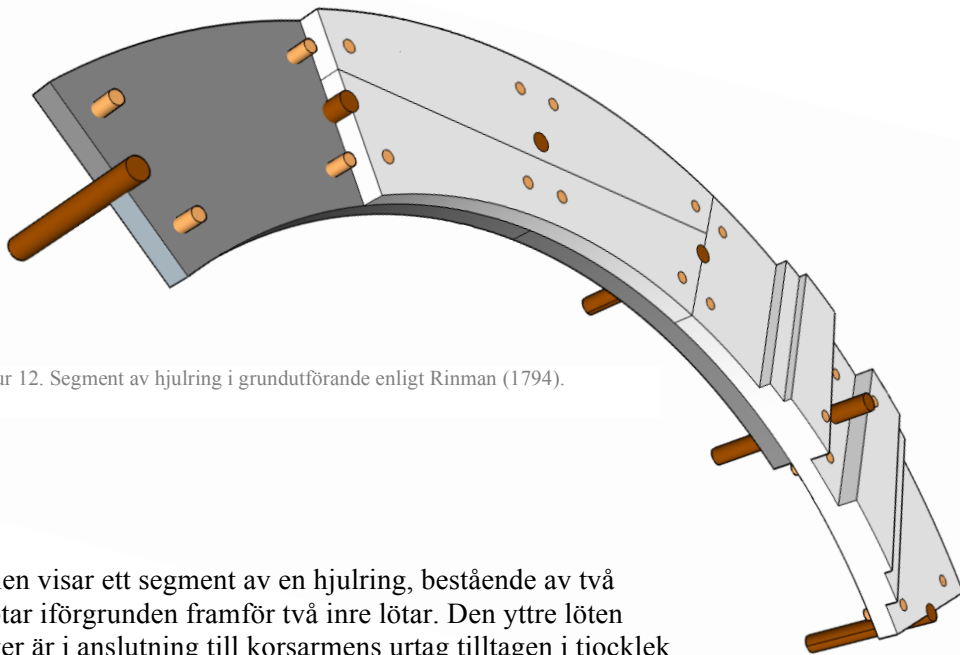
2.1.2.2 Hjulringens sammansättning och urtag

Det tidigare hjulet på Nya Lapphyttan bestod av 35 millimeters tjocka inre och yttre lötringar som fästs samman med försänkt skruv. Skruvhålet täcktes med en kilad träplugg och liknade därmed utifrån en infästning med homogen tränagel. se figur 11. Urtagen för skovlarna i inre lötringen var 8 millimeter djupa. Den yttre hjulringen vilade på en i korsarmarna utsågad klack på 50 millimeter, men för korsarmarna gjordes ingen infällning i lötringen.



Figur 11. Skadad hjulring. (Zackrisson 2015, s. 3).

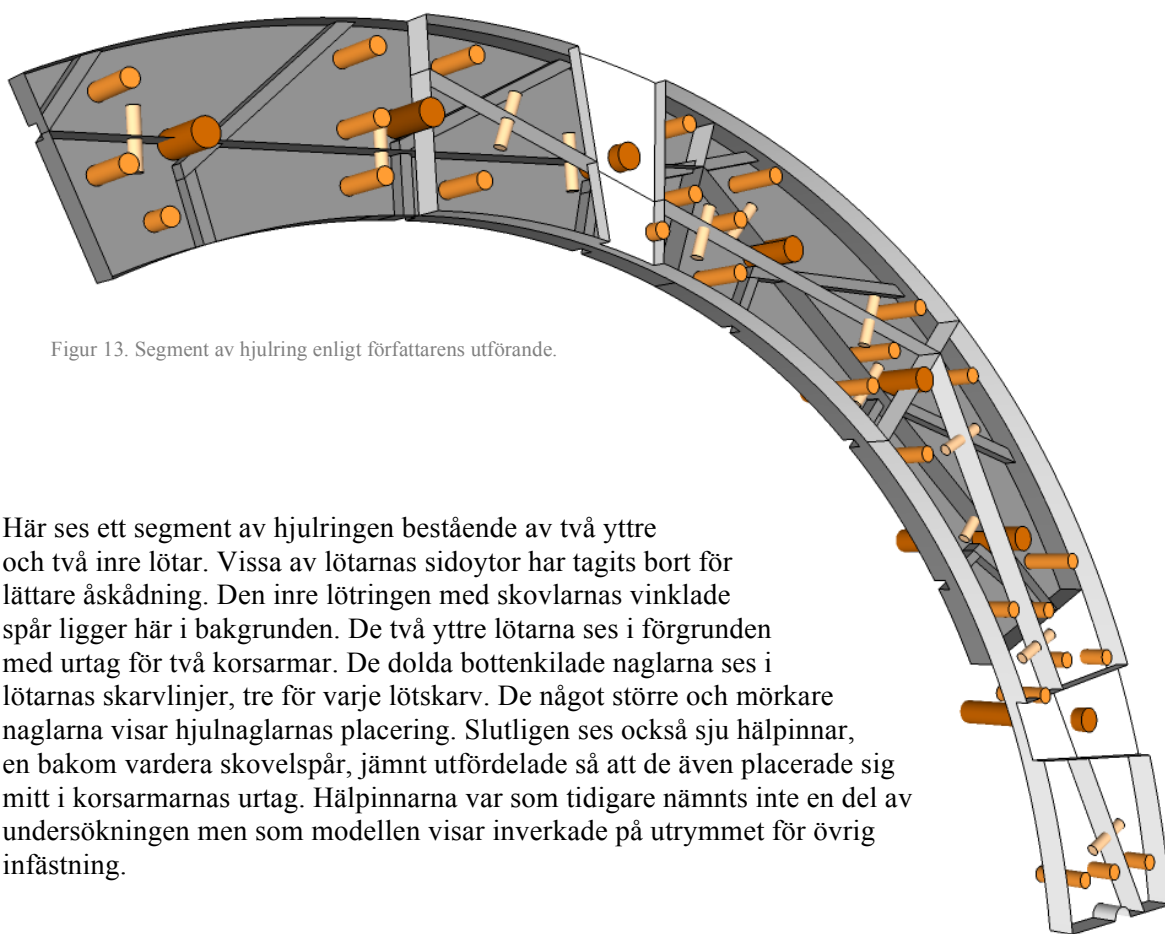
Specifikationer från Rinman 1794, s. 102-110- I beskrivningarna nämns att blåshjul för överfall inte behöver något hastigt omlopp och därmed inte betjänas av en tung konstruktion med stor svängkraft. För att inte belasta konstruktionen med onödig tyngd bör hjulringen därför tillverkas så lätt som med gott bestånd i längden kan åstadkommas. Den inre lötringen tillverkas enligt beskrivningen av ca 50 millimeter (2 tum) tjocklek och den yttre ca 100 millimeter (4 tum) där korsarmarna ska infällas. Vidare utförs skovlarnas fixering med 1 tums djupa spår i den inre lötringen. Till hjulringens sammansättning beskrivs att de "... sammannaglas med goda furupinnar uti därtill på tjenlige ställen borrhade hål, af 1 1/8 tums diameter ..." (Rinman 1794, s. 110). Vidare beskrivs att infästningen sker nära lötarnas skarvar längs två utslagna cirklar på 3 tums avstånd från lötarnas yttre och inre sidoträ. Det ska tilläggas att den indelningen av naglarna är anpassade till en hjulringsbredd på drygt 370 millimeter som Rinman utgår ifrån. I figur 12 nedan ses författarens tolkning av hjulnaglarnas placering utifrån Rinmans beskrivning.



Figur 12. Segment av hjulring i grundutförande enligt Rinman (1794).

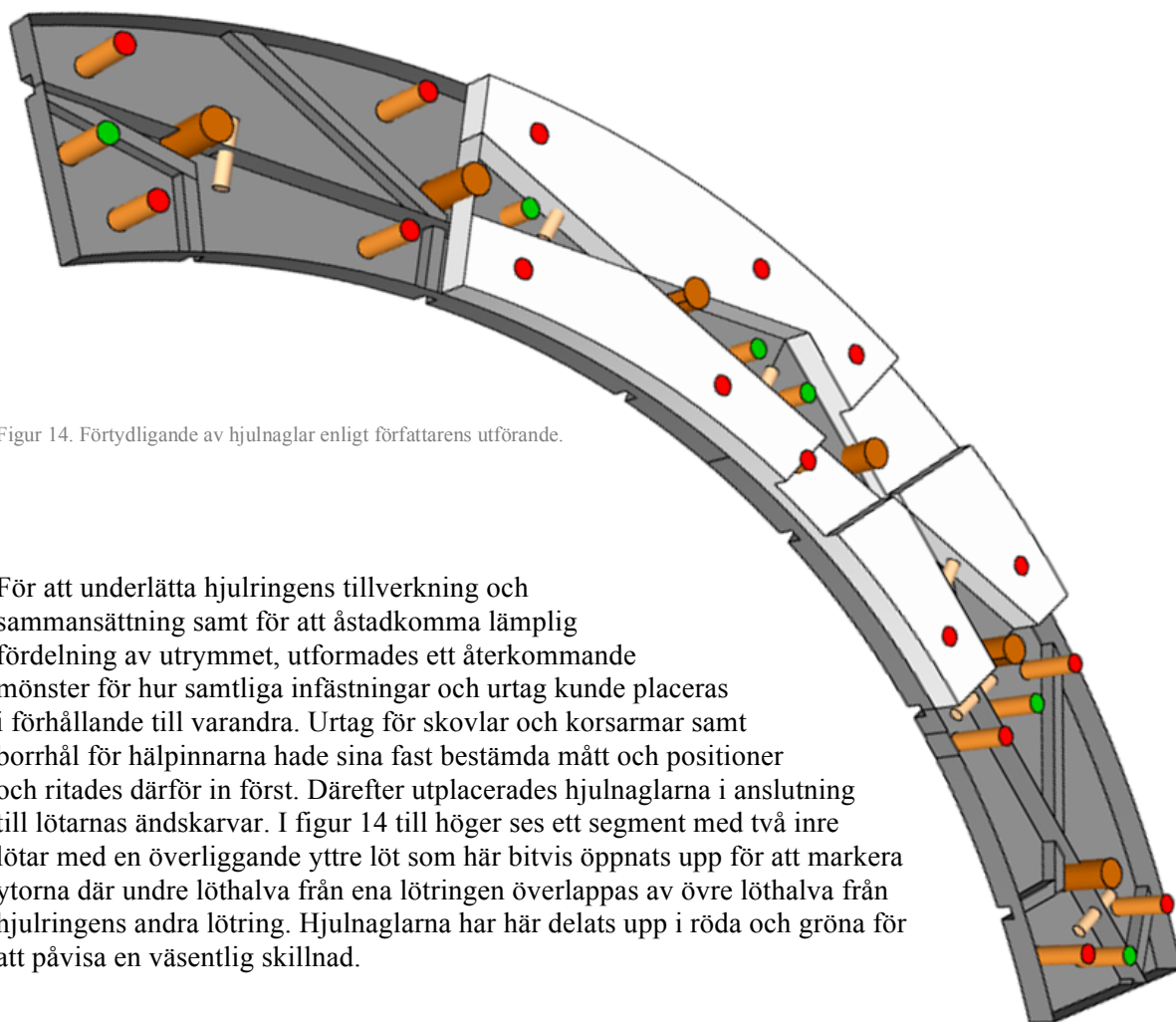
Modellen visar ett segment av en hjulring, bestående av två yttre lötar iförgrunden framför två inre lötar. Den yttre löten till höger är i anslutning till korsarmens urtag tilltagen i tjocklek enligt beskrivningen av en lasklöt. Den andra yttre löten har här påförts en skarvlinje för att illustrera hur väl denna indelning av hjulnaglar kunnat anpassas till enstaka skarvade lötar. Hjulnaglarna är här placerade 2 tum från lötarnas ändträ enligt författarens egen tolkning. Det visade sig dock att denna indelning av naglar inte gick att anpassa till konstruktionen som tillverkades i denna studie. Dels på grund av en smalare hjulringsbredd, men också då samtliga lötar var skarvade.

Utförandet som valdes- I Zackrisson (2015) föreslås att yttre lötring tillverkas 50 millimeter tjock och inre 38 millimeter med 15 mm djupa urtag för skovlarna. Yttre lötring dimensionerades efter nämnda förslag medan inre lötring utökades till 50 millimeter för att skapa utrymme åt de tillkommande dolda naglarna som annars delvis hade skurits av vid skovelspårens utskärning. Utformningen av mötet mellan korsarm och hjulring utfördes dels med stöd i beskrivningar från Rinman (1794, s. 110) med tillhörande illustration från tabell X, figur 5, samt utförandet i Ångström (1895, s. 93-94). Dimensionen på tränaglarna till hjulringens sammansättning bestämdes till 28 millimeter utifrån Rinmans beskrivning. Deras placering i hjulringen bestämdes dels utifrån övriga urtag och infästningar samt i samspråk med informant 1. Resultatet ses i figur 13 enligt författarens modell.



Figur 13. Segment av hjulring enligt författarens utförande.

Här ses ett segment av hjulringen bestående av två yttre och två inre lötar. Vissa av lötarnas sidoytor har tagits bort för lättare åskådning. Den inre lötringen med skovlarnas vinklade spår ligger här i bakgrunden. De två yttre lötarna ses i förgrunden med urtag för två korsarmar. De dolda bottenkilade naglarna ses i lötarnas skarvlinjer, tre för varje lötskarv. De något större och mörkare naglarna visar hjulnaglarnas placering. Slutligen ses också sju hjälpinnar, en bakom vardera skovelspår, jämnt utfördelade så att de även placerade sig mitt i korsarmarnas urtag. Hjälpinnarna var som tidigare nämnts inte en del av undersökningen men som modellen visar inverkar på utrymmet för övrig infästning.

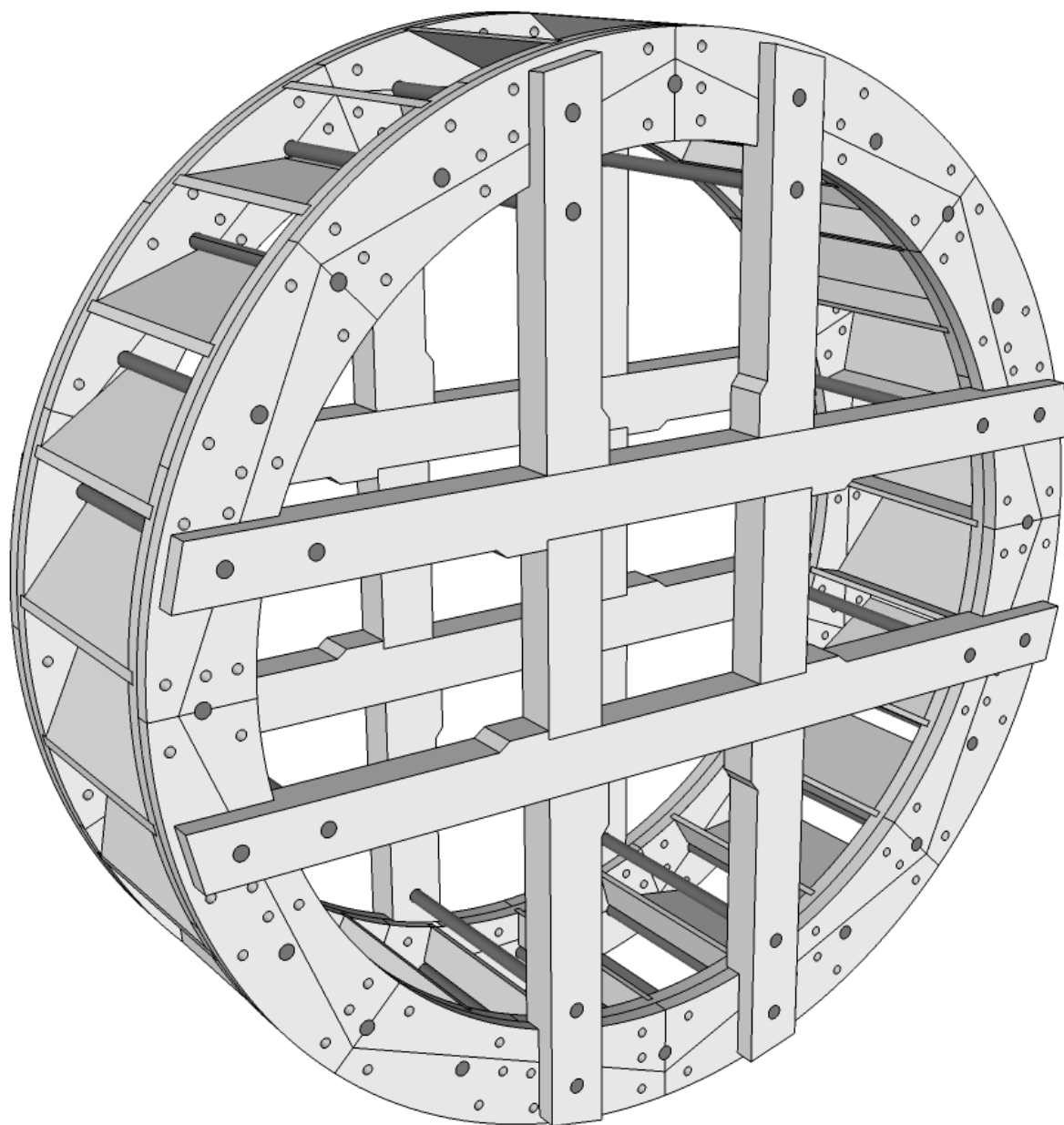


Figur 14. Förtydligande av hjulnaglar enligt författarens utförande.

För att underlätta hjulringens tillverkning och sammansättning samt för att åstadkomma lämplig fördelning av utrymmet, utformades ett återkommande mönster för hur samtliga infästningar och urtag kunde placeras i förhållande till varandra. Urtag för skovlar och korsarmar samt borrhål för hjälppinnarna hade sina fast bestämda mått och positioner och ritades därför in först. Därefter utplacerades hjulnaglarna i anslutning till lötarnas ändskarvar. I figur 14 till höger ses ett segment med två inre lötar med en överliggande yttre löt som här bitvis öppnats upp för att markera ytorna där undre löthalva från ena lötringen överlappas av övre löthalva från hjulringens andra lötring. Hjulnaglarna har här delats upp i röda och gröna för att påvisa en väsentlig skillnad.

De röda naglarna sammanbinder inre med yttre lötring antingen genom övre till övre löthalva eller undre till undre. De gröna hjulnaglarna sammanbinder övre löthalvor från inre lötring med undre löthalvor från yttre lötring eller vice versa. De grönmärkta naglarna är på så vis de komponenter som i första hand bär ansvaret att sammanbinda de båda lötringarna till en enhetlig hjulring. De rödmärkta hjulnaglarna bidrar indirekt till detta genom att övre och undre löthalvor är sammanlänkade via lötnaglarna. I varannan grupp av lötnaglar ses endast en grön. Där uteslöts en sådan grön hjulnagel på grund av intilliggande skovelspår. Det utförandet ses i grupp två från vänster i figuren ovan. Utrymmesbristen var ett problem framförallt vid inplaceringen av de gröna hjulnaglarna. Det resulterade i placeringar på 40 till 60 millimeters avstånd från lötarnas ändträ. De röda kunde placeras mer fritt efter mönsterbilden: 85 millimeter från ändträ och 50 millimeter från sidoträ. De dolda lötnaglarna placerades ut sist till följd av att de i arbetar och kräver utrymme i en mindre konkurrensutsatt riktning i konstruktionen.

I figur 15 nedan ses författarens slutgiltiga 3D-ritning över vattenhjulet i sammansatt utförande. Här med bottenbrädor och tillhörande tryckring bortplockade för att öka insynen.

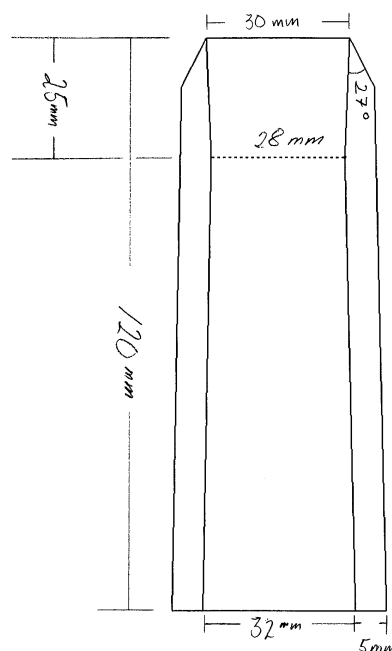


Figur 15. Vattenhjulet i sammansatt utförande enligt författarens ritning.

2.2 Formgivning av verktyget

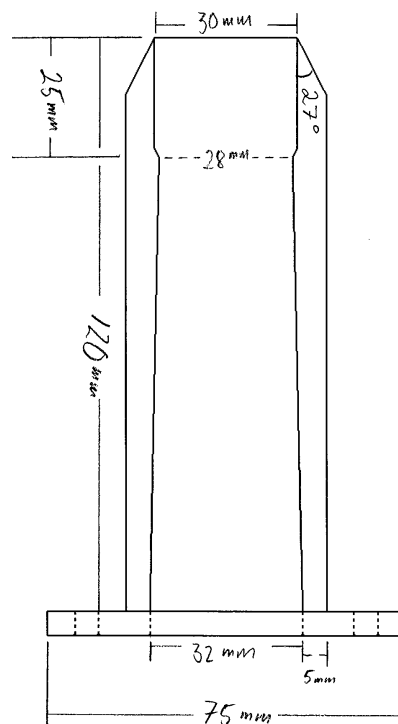
I figur 16 ses den första prototypskiss som presenterades för tillverkaren C-O Ekdahl Mekaniska. Tveksamheter i utformningen diskuterades varefter ett antal ändringar bestämdes. Den första ändringen gällde verktygets utformning från öppningen ner till punkten där nageln var tänkt att komprimeras. Som figuren visar var den sträckan på första ritningen konisk vilket hade inneburit att slipning av eggen resulterat i att öppningens skärande diameter förminskats.

Som andra ändring föreslog tillverkaren att verktyget delades upp i två separata delar, med en övre del i ett hårdare, slipbart stål och en nedre del i ett stål som är mjukare och lättare att bearbeta. För enklare tillverkning ändrades också verktygets utvändiga form till en rak cylinder istället för den lätt koniska formen enligt ritning den första ritningen.



Figur 16. Nageljärnet i första skiss.

Efter mötet med tillverkaren ritades en ny utformning med korrigeringar efter vad som tidigare nämnts, se figur 17. Sträckan från skärande öppning ändrades till att gå lodrät ner till en klack för nagelämnets komprimering. Klackens lutning bestämdes till ca 45 grader från verktygets inre vägg. Verktyget utvändiga form ändrades till en rak cylinder, medan sträckan från klacken ner till utgången fortfarande hade samma koniska form. På den nya ritningen syns också en fotplatta med skruvhål för fixering av verktyget under användning. Beslut om ändringarna och tillägg fattades över telefon utan att den nya ritningen visades för tillverkaren. Sammansättningen av de två separata delarna lämnades åt tillverkaren att bestämma. Ritningen visar författarens uppfattning över hur ändringarna skulle ha gjorts.



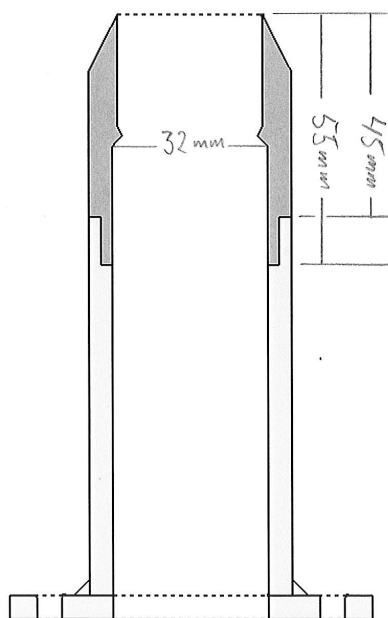
Figur 17. Nageljärnets tänkta utformning.

I figur 18 syns ett tvärsnitt av det färdiga verktyget. Här färglagt för att illustrera de separata delarna och hur de satts samman. Nageljärnets övre och undre del syns sammansatta med fals utan fast fixering.

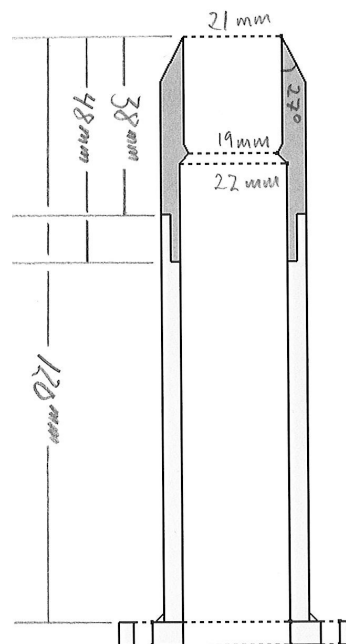
De mått som inte redovisas på denna ritning överensstämmer med mått från ritning nummer 2. Tvärmåttet under punkten där nagelämnet var tänkt att komprimeras har markerats för att utmärka den detalj som inte överensstämmer med utseendet från ritning nummer 2. Skillnaden blev att det färdiga verktyget inte vidgats succesivt från den tänkta klacken ner till utgången. Istället för en klack avslutades kompressionspunkten i spets med en 45 graders vinkel ut till den tänkta utgångsdiametern på 32 millimeter. Denna del av verktyget benämns vidare som kompressionskrans.

I figur 18 ses det mindre nageljärnet som tillverkats utifrån samma grundläggande utseende och funktion men dimensionerad för produktion av tränaglar med 19 millimeters diameter. Verktygets kransdiameter blev efter tillverkningen 20 istället för 19 millimeter enligt författarens ritning. Utifrån den förändringen fick målsättningen i senare tillverkningsförsök justeras till att producera naglar med 20 millimeters diameter

Nageljärnets verkliga utseende ses i figur 20 och 21.



Figur 18. Det större nageljärnet i slutgiltigt utförande.



Figur 19. Det mindre nageljärnet i slutgiltigt utförande.



Figur 20. Nageljärnen sammansatta.



Figur 21. Nageljärnen isärplockade

2.3 Tillverkning och Komprimeringsförsök

2.3.1 Försök 1: Tillverkning av Hjulnaglar

2.3.1.1 Materialberedning och tillverkning av hjälpmedel

Material till nagelämnena som användes till försöket valdes ut från ett parti sågade furuplank av två och tre tums tjocklek. Virket hade tidigare förvarats under plåttak för lufttorkning sedan avverkning januari 2015 och höll ca 18 % fuktkvot vid förberedningens start i början av mars 2016.

För att underlätta vidare bearbetning valdes i första hand plank som sågats parallellt längs med stammens växtriktning. Vidare valdes plank som hade så långa partier som möjligt av rätvuxen kärnved utan kvist och torrsprickor. I detta fall betraktades även följande som virkesfel och valdes bort:

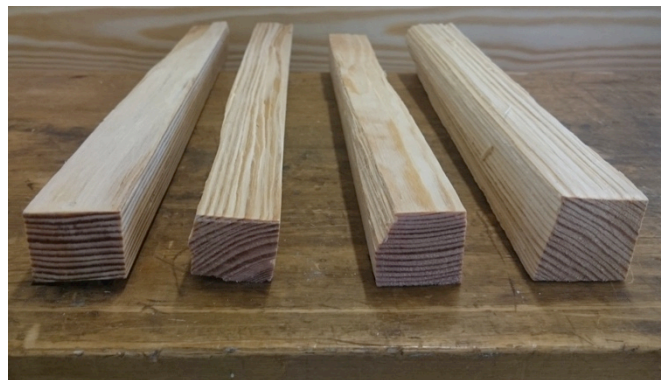
- Märg, splint- och juvenilved
- Ved med en årsringstäthet utanför intervallet 1-2 mm.
- Tydlig reaktionsved

Användbara plank kapades till bitar av ca 35 centimeters längd som därefter klövs med yxa till kubbar enligt figur 22. Under denna process upptäcktes dolda fel så som inväxta kvistar, småsprickor och spröd ved som tenderade att spricka okontrollerat under klyvningen. Kubbarna lades därefter att torka inomhus innan vidare bearbetning. Platsen för torkning var ett virkesförråd där redan befintligt furuvirke höll fuktkvot på 10-12 %.

Efter cirka två veckors torkning fortsatte bearbetningen genom att kubbarna klövs med yxa ner till någorlunda fyrkantiga ämnen av ca 3,5 x 3,5 centimeter. De ämnen som efter klyvningen blev mellan 2,5 till 3 centimeter grova sorterades i hög för sig till de mindre naglarna. Kluvna nagelämnena av olika storlek ses i figur 23.



Figur 22. Framkluvna kubbar.



Figur 23. Framkluvna nagelämnena.

Bearbetningen fortsattes med handhyvel och en hyvellåda som ses i figur 24 och 25.

Hyvellådan tillverkades efter bredd på utvald putshyvel och med fasta hyveldjup motsvarande slutmått på de två olika ämnen som skulle bearbetas. I figur 25, vänster under hyveln, syns en iläggsplatta som användes för att anpassa hyveldjupet till de mindre nagelämnena. Ämnena hyvlades ned till ca 32x32, respektive 23x23 millimeter, se figur 26. Efter hyvling förvarades samtliga ämnen för ytterligare nedtorkning innan vidare bearbetning. Efter ett par dagar syntes små sprickor i ändträet vilket föranledde limning av ändträet på samtliga ämnen.

Efter nedtorkning till fuktkvot på ca 12 % längdkapades de grövre nagelämnena till 120 millimeter och de klenare till 90 millimeter. På detta sätt förbereddes ämnen till drygt 200 färdiga tränaglar. Till försöken tillverkades en jigg som dels användes för att hyvla ner faserna på de fyrkantiga ämnena tills de antog formen av en någorlunda jämn oktagon, se figur 27. Dessutom anpassades jiggen för fixering av de båda nageljärnen för stabilitet under användningen, se figur 28.



Figur 24. Hyvellåda.



Figur 25. Hyvellåda med förhöjd botten.



Figur 26. Hyvlade nagelämnena.



Figur 27. Oktagonalt ämne i hyveljigg.



Figur 28. Nageljörn fastsatt i kombinerad jigg.

2.3.1.2 Tillverkning

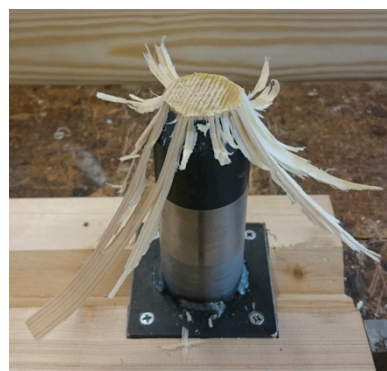
För att undvika skador på nageljärnets egg användes först en gummiklubba för neddrivning av nagelämnet. Kraften i gummiklubban visades otillräcklig och metoden övergavs snabbt. Därefter testades en träklubba med slät slagyta på 80 x 110 millimeter, med bättre resultat. Själva skärningen och avverkningen av det överflödiga materialet fungerade på ett tillfredställande sätt enligt figur 29 och 30. Nageljärnets egg skar släta ytor utan urslag. Drivningen gick lätt de första 25 millimetrarna ner till koppressionskransen där nageljärnets inre diameter övergick från 30 till 28 millimeter. Från den punkten krävdes större slagkraft och nagelämnet tenderade att söka sig snett genom verktyget vid fortsatt pådrivning. Detta ledde till att ena sidan av nagelämnet i slutskedet ofta hamnade innanför nageljärnets egg, se figur 31.

Fortsättningsvis gjordes olika försök att kontrollera nagelämnets riktning med blandade resultat. Bland annat testades långsammare pådrivning samt pådrivning med slagvinkel som kompenserade en påbörjad förskjutning i skärningen av nagelämnet. Ämnen av olika kvalitet testades med fortsatt slumpartade resultat.

Av ca tio nagelämnen tillverkades ett par tränaglar av önskvärd cirkulär form som kunde kontrollmätas för eventuell kompression. Dock blev naglarna lätt eller kraftigt krökta, se figur 32.



Figur 29. Inledande Drivning av nagelämnet.



Figur 30. Drivning i avslutande skede.



Figur 32. Krökta tränaglar.



Figur 31. Snett driven tränagel.

2.3.2 Delresultat och reflektioner

Det rådde oklarhet över vad som lett till att naglarna inte kunnat tillverkas efter önskat resultat. Möjligtvis ledde utformningen av nageljärnet till otillräcklig styrning, då nagelämnet direkt efter komprimeringen fått utrymme att ”driva” iväg. Eggvinkeln misstänktes vara för brant vilket bidragit till sneddrivning av nagelämnet. Det gick att tvinga tillbaka ämnet från en påbörjad sneddrivning, men med resultatet att nageln kom ut krokig.

Komprimeringen fungerade enligt plan på så sätt att verktygets invändiga krans tycktes trycka ihop nagelämnet snarare än att den skurit bort material. Tillverkningen lämnade små ”kompressionsringar” och naglar av fet ved blev rejält kladdiga av hartsämnen som pressats fram ur materialet. Effekterna ses i figurer 33 och 34.

De färdigkomprimerade naglarnas diameter mättes med manuellt skjutmått till mellan 28,9 och 29,2 millimeter beroende på vart på nageln måttet togs. Tangentiellt med nagelns årsringar var tvärmåttet efter komprimeringen ca 0,2 millimeter större än det radiella måttet. Den genomsnittliga procentuella komprimeringen blev således 0.95 millimeter $(28,9 + 29,2 / 2)$.

Nageljärnets komprimerande effekt konstaterades därmed till knappt en millimeter istället för målsättningen på två millimeter. Eventuellt kunde en komprimering på två millimeter ha uppnåtts om frigången mellan verktygets invändiga klackar minskats till 27 millimeter istället för 28. Alternativt om verktyget utformats så att kompressionen ägt rum över en längre sträcka. Att åstadkomma de efterjusteringarna av verktyget bedömdes dock inte som rimliga. Verktyget kunde istället från början ha tillverkats med en trängre komprimeringskrans som vid behov kunnat filas ner.

Förhoppningen var att kunna komprimera naglarna till åtminstone 28,5 millimeters diameter för att kommande infästningsförsök skulle kunna utföras enligt huvudlitteraturens föreskrivna dimensioner i största möjliga utsträckning. Effekten av differensen i kommande infästningsförsök återstår att se.



Figur 33. Tränagel med kompressionsringar.



Figur 34. Tränagel med frampressade hartsämnen.

KOMPRESSIÖNSFÖRSÖK 1	MM	%
SKÄRNINGSDIAMETER	30	
KRANSDIAMETER	28	
POTENTIELL KOMPRESSIÖN	2	6,5
RESULTATDIAMETER	29,05	
REELL KOMPRESSIÖN	0,95	3
KOMPRESSIÖNSGRAD (reell kompression/potentiell kompression)		47,5

2.3.3 Försök 2: Tillverkning av Lötnaglar

Eftersom verktygets kransdiameter efter tillverkningen blev 20 istället för 19 millimeter fick målet med tillverkningsförsöket justeras till naglar av 20 millimeter i diameter.



Figur 35. Färdigkomprimerade lötnaglar.

Dessa nagelämnen gick lättare att driva jämfört med föregående försök. De blev dessutom mindre krokiga i formen, även då ämnets fiberstruktur i grunden var något krokig. I figur 35 ses färdiga naglar av olika rätfibrighet. Efter ett par försök testades därför att driva fyrkantiga ämnen direkt, utan att hyvla ner faserna till ett oktagonalt ämne, figur 36. På detta sätt gavs något större marginaler med resultatet att färre ämnen drevs innanför nageljärnets egg. I övrigt innebar metoden ingen märkbar påverkan över resultatet annat än en förkortad tillverkningsprocess.



Figur 36. Driving av fyrkantiga ämnen.

2.3.4 Delresultat och reflektioner

Efter mätning av tio naglar konstaterades en genomsnittlig kompression på knappt 1 millimeter. Från 21 millimeter i skärning till färdig nagel på 20,1 - 20,2 millimeter. Precis som i föregående försök komprimerades ämnet något mer radiellt än tangentiellt. Kompressionsgraden var dock nära dubbelt så stor som i föregående försök vilket kan antas sammanhöra med den lägre potentiella kompressionen för verktyget i försök 2. Det går möjligtvis utifrån tabellvärdena i de båda kompressionsförsöken att räkna ut vilken potentiell kompression i verktyget som krävs för att uppnå önskad resultatdiameter.

KOMPRESSIÖNSFÖRSÖK 2	MM	%
SKÄRNINGSDIAMETER	21	
KRANSDIAMETER	20	
POTENTIELL KOMPRESSIÖN	1	4,7
RESULTATDIAMETER	20,15	
REELL KOMPRESSIÖN	0,85	4
KOMPRESSIÖNSGRAD (reell kompression/potentiell kompression)		85

2.4 Infästningsförsök

2.4.1 Försök 3: Infästning av Hjulnaglar

2.4.1.1 Materialberedning

Till försöket användes kärnfura från samma virkesparti som senare togs till lötarna i vattenhulets hjulringar. Virket bearbetades till planhyvlade ämnen av samma tjocklek som lötarna, men i mindre stycken. Dessa benämns vidare som dummies. Två ämnen placerades med överlapp enligt samma vinkel som lötarna i konstruktionen, se figur 37 (med hänvisning till figur 12 och 13 under konstruktionsritningar.) Kilarna sågades fram ur 10 mm tjocka och 30 mm breda remsor av kärnfura. Detta utfördes med hjälp av en framtagna sågjigg för tillverkning av kilar med stigning 1/5 samt 1/7.

2.4.1.2 Borrhål

I detta försök tillämpades 28 millimeters håldiameter, med hålets kant ca 50 millimeter från dummyns ändträ. Detta gav en drivning på 1 millimeter i förhållande till hjulnaglarna av 29 millimeters tjocklek som här togs från tidigare tillverkningsförsök. Förhållandet gav en något hårdare drivning än den närmast beskrivna i McCarthy(1947).

2.4.1.3 Nådning

Borrhålets mynningar vidgades ca 3 millimeter på ömse sidor i dummyns fiberriktning enligt figur 38. Till detta användes en 25 mm bred skölp med 30 mm radie över eggen, samt en av 18 mm bredd med 22 mm radie. Nådningen vinklades nedåt till ett djup av ca 15 mm. Efter nagelns islagning ses det vidgade hålet enligt figur 1.

2.4.1.4 Nagel och kil

I figur 39 ses att nageln orienterats med fiberriktning mellan riktningen på dummyns övre och undre bit. Nageln förbereddes med ett tunt sågsnitt för att underlätta kilens indrivning och sågsnittet placerades tvärs nageln fiberriktning för att styra kilens expanderande effekt nådningens riktning. Dessa förberedelser gjordes med stöd i beskrivningen av önskvärd samverkan mellan nagel och kil i Godal(2001). Till kilar användes kärnfura med jämna årsringsavstånd på ca 1 mm som orienteras stående enligt figur 40. Kilar klövs fram på bandsåg efter naglarnas bredd med stigning på 1/5 (ca 11 grader). De kapades sedan i ett uppskattat övermått till totalt 55 millimeter i längd.



Figur 37. Gestaltning av lötarnas förskjutning i fiberriktning.



Figur 38. Markerad nådning.



Figur 39. Hjulnagelns fiberorientering.



Figur 40. Kilning av hjulnagel

2.4.1.5 Kilning

Drivningen utfördes med träklubba med plan slagyta tills kilen började deformeras snarare än att fortsätta ner i nageln. Vissa försök resulterade i att kilen började deformeras innan nageln helt fyllt ut nådningen. Figur 41 visar en sådan mindre lyckad infästning som här kapats längs dummyns yta. I figuren ses också hur sommarveden komprimerat den mjukare vårveden i mötet mellan nagel och kil. Fortsättningsvis utfördes nådningen med större noggrannhet och till ett ökat djup av 20-25 mm för att bättre motsvara kilens stigning och därmed nagelns troliga expanderingsvinkel. Fler försök resulterade då i en total utfyllnad av nådningen men i vissa fall till följd av att nageln knäckts enligt figur 42. Här upptäcktes också att naglar med onödigt långt utstick från borrhålet oftare knäcktes än de med utstick på omkring 10 millimeter. Först efter samtal med informant 3 utfördes istället ändring av kilens utformning från stigning på 1/5 till 1/7 (ca 8 grader). Efter detta kunde de flesta infästningar utföras på ett önskvärt sätt.



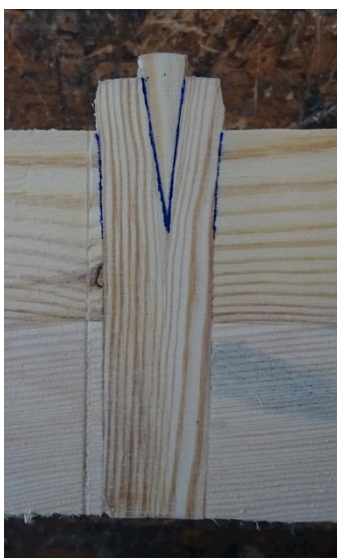
Figur 41. Otät nådning.



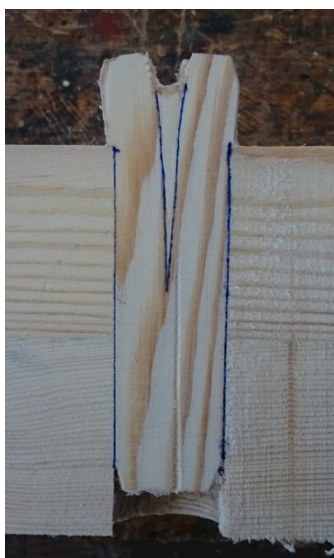
Figur 42. Knäckta hjulnaglar.

2.4.1.6 Samverkan

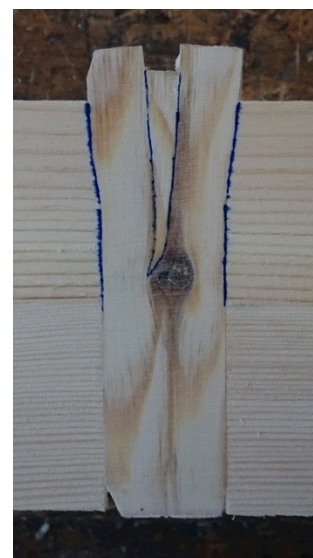
För att närmare studera hur nagel, kil och borrhålet med dess nådning samverkade utfördes ett antal olika infästningar som därefter sågades upp. I figur 43 ses en infästning med en lätt urtagen nådning som helt fyllts ut av nageln. Kilen har här stigningen 1/5 och har som bilden visar inte kunnat drivas längre än ca 20 mm. Årsringsavståndet på nageln var ca 1 mm. I figur 44 ses en mer lyckad drivning av en 1/7 kil ner till ca 40 mm. Detta trots att ingen nådning utförts. Nageln har här inte knäckts trots ett långt uppstick. Årsringsavståndet på denna nagel var ca 2,5 mm. I figur 45 ses ännu en lyckad drivning av kil och utfyllnad i nådning. Trots att nådningen i detta fall var väl tilltagen i bredd samt att nageln borde ha försvagats av kvisten har nageln inte knäckts. I de båda senare fallen ses också att kilen kunde drivas förbi nagelns utstick.



Figur 43. Hjulnagel i snitt, 1.



Figur 44. Hjulnagel i snitt, 2.

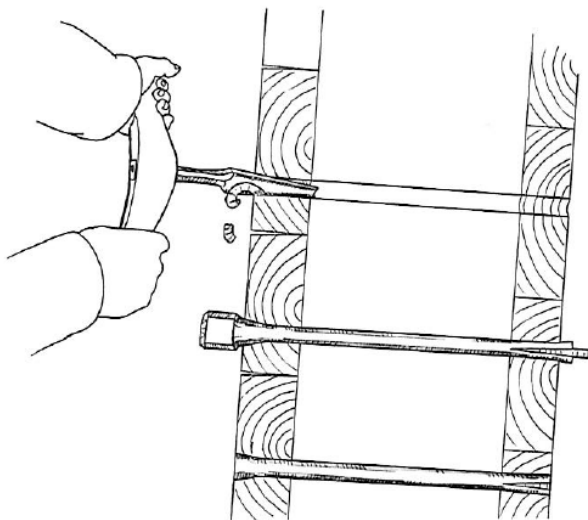


Figur 45. Hjulnagel i snitt, 3.

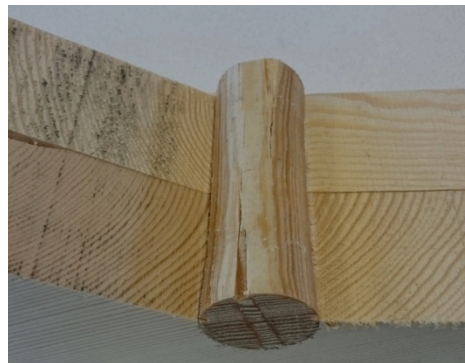
I figur 46 ses en komplett infäst nagel med kilning från båda ändar. Trots att hälften av materialet runt den totala fästytan sågats bort fick en klubba användas för att få nageln att lossna. I figur 47 ses infästningshålet till samma nagel och nådningens utförande som fungerat väl i fallet. I figur 48 ses slutligen den utplockade nageln kluven längs mitten. Det ses att kilarna i djup passerat varandra men med viss förskjutning vilket lett till att nageln fortfarande håller ihop. Det kan även ses av nagelns kontur att den antagit form efter hålets nådning.

2.4.1.7 Delresultat och reflektioner

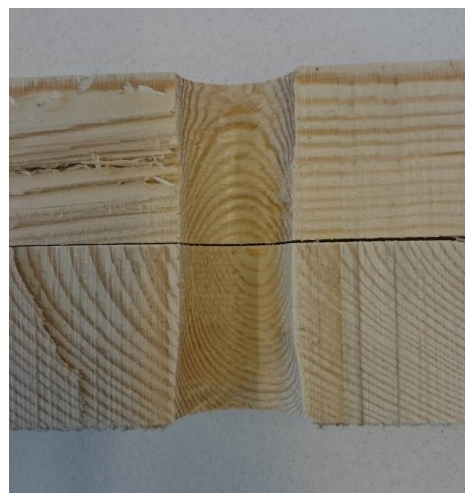
Infästningen kunde slutligen utföras på någorlunda kontrollerat sätt med tillfredsställande resultat. Infästningsmetoden krävde dock ett antal justeringar på en oväntad hög detaljnivå. Några detaljer låg i handhavandet som förfinades vart eftersom. Till exempel visade sig den smalare skölpen mer lämpad för nådningens utskärning. Eventuellt kunde ett skråjärn enligt figur 49, ha nyttjats bättre till detta ändamål. Efter att tekniken blev bekant och utförandet kunde ske med till synes upprepad precision, fortsatte oförutsedda problem ändå att inträffa. Nådningens bredd och djup uppfattades som den mest troliga förklaringen till dessa problem, men någon mer lämplig metod kunde inte finnas.



Figur 49. Skråjärn enligt (Hesthammer et al. 2008, s. 205)



Figur 46. Hårt sittande hjulnagel.



Figur 47. Hjulnagelns borrhål och nådning i snitt.



Figur 48. Kilens gång i hjulnagel.

2.4.2 Försök 4: Infästning av Lötnaglar

2.4.2.1 Materialberedning

Till försöket användes material från samma parti som beskrivs i föregående försök. De dummys som infästningen testades i bearbetades till planhyvlade ämnen utifrån måtten på de lötar som naglarna i den slutgiltiga konstruktionen skulle användas i. Utifrån tillgängligt material var dock dummyns breddmått något smalare, vilket inte ansågs ha någon betydande effekt i försöket.

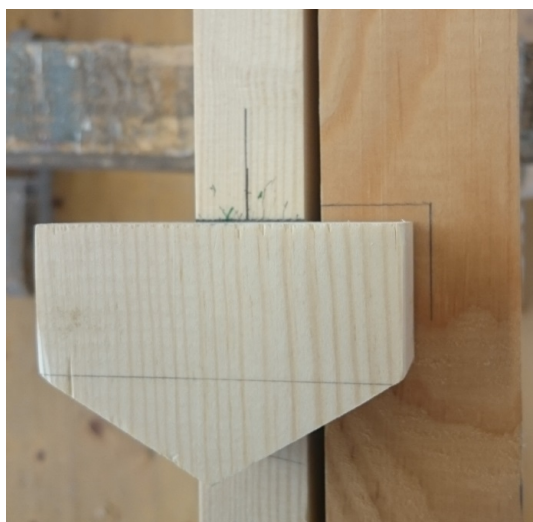
2.4.2.2 Borrhål

I detta försök tillämpades 19 millimeters håldiameter, vilket gav en drivning på 1 millimeter i förhållande till lötnaglarna av 20 millimeters tjocklek. Hålet borrades med kant ca 12,5 millimeter från dummyns sidoträ till ett djup av ca 48 mm. Borrhålens exakta placering utmärktes med hjälp av en schablon som här ses i figur 50-52. Denna anpassades efter lötnaglarnas indelning som beräknats under ritningsprocessen. Schablonens totala längd anpassades för utmärkning av lötarnas längd, figur 52.

Till försöket användes spiralborr med borrarpspets i handdriven bormaskin. På borrstålet ritades streck för önskad djupangivelse. Det visade sig till en början svårt centrera borrstålet samt att hejda borringen vid rätt djup. Fortsättningsvis förborrades hålen med ett 5 mm borr. På så vis kunde det större borrstålet lättare centreras samt att dess drivning inte blev lika kraftfull och lättare kunde avstannas vid önskat djup.



Figur 50. Schablon för påmärkning av lötnaglar.



Figur 51. Schablon för påmärkning.



Figur 52. Schablon för påmärkning.

2.4.2.3 Nagel och Kil

Lötnaglarna tillverkades med nageljärnet av 90 mm långa ämnen på sätt som tidigare beskrivs i försök 2. Efter komprimeringen placerades nageln åter i verktygets mynning för fixering vid sågning av kilsnittet. Kilarna klövs fram på samma sätt som beskrivs i försök 3, men från remsor av 20 mm bredd och 6 mm tjocklek. Kiljiggen med stigning på 1/7 användes vilken gav en killängd på 40 mm. Ändar på både kil och nagel fasades av för att underlätta neddrivningen och hindra kilen från att fastna i borrhålets sidor innan den nått botten. Utförandet ses i figur 53. Eftersom dummyämnen i detta fall sammanfogades utan förskjutning kunde både nagel och kil orienteras med stående årsringar efter dummyns fiberriktning.

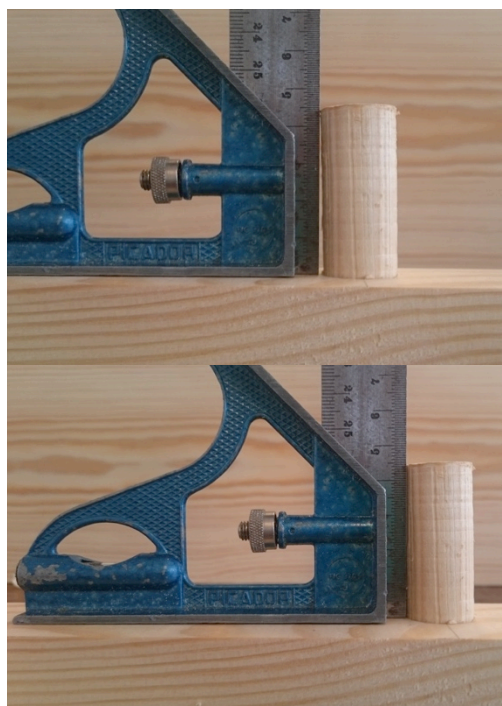
Den kilade nageln drevs ned med träklubba tills ca 45 millimeter av nageln kvarstod. Nagelns vinkel kontrollerades därefter och eventuella skevheter justerades med kniv. Ojusterad och justerad nagel ses i figur 54.

2.4.2.4 Sammanpressning

Efter att samtliga borrhål iförts bottenkilade lötnaglar placerades båda dummyns liggandes över tre limknektar enligt figur 55. I de första försöken lossades knektarna kort efter att dummyn tvingats samman. Det resulterade i att sammanfogningen sviktade isär och skapade en glipa på ca 2 mm. Under fortsatta försök lossades knektarna först efter ca 15 minuter, vilket resulterade i antingen helt täta eller tätare sammanfogningar.



Figur 53. Lötnagel och kil.



Figur 54. Justering av sned lötnagel.



Figur 55. Sammansättning av lötämnen.

2.4.2.5 Samverkan

I figur 56 visas en uppsågad infästning med lötnageln kluven mitt i. Det som framförallt kan utläsas är hur kilen till vänster börjat deformera borrhålets botten istället för fortsatt indrivning i nageln. Det kan även antydast att sommarveden i borrhålets väggar tryckt sig in i lötnageln.



Figur 56. Infäst lötnagel i snitt.

2.4.2.6 Delresultat och reflektioner

Täta sammanfogningar kunde utföras på ett rationellt och kontrollerat sätt. Ett lyckat försök ses i figur 57. I likhet med en limfog krävdes dock en viss presstid för att åstadkomma täta fogar. Orsaken ses sannolikt i figur 56, med förklaringen att deformationen i borrhålets botten arbetar för att trycka ut infästningen.



Figur 57. Sammansatta lötämnen.

2.5 Expanderingsförsök

2.5.1 Försök 5: Expansion i ökad luftfuktighet

Till experimentet användes 28 stycken hjulnaglar som komprimerats med nageljärnet till ca 29 mm i diameter, kapade till längder på 120 mm. Till ca hälften av naglarna användes tätvuxen ved av ca 1 mm årsringsavstånd och till resterande glesvuxen av ca 3 mm. Under tillverkningen drevs ca hälften av vardera materialgrupp lätt och resterande hårt, med syftet att studera om kompressionen blev mer eller mindre beständig till följd av en varierad drivning. Naglarnas fuktkvot mättes direkt efter tillverkning ca 5 mm in i veden på nagelns mitt. Diametern mättes med manuellt skjutmått till ett medelvärde runt nagelns mitt. Efter mätning placerades naglarna utomhus i 20 dagar med skiftande väderlek. Under tiden låg naglarna täckta under plast för att hindra naglarna från att utsättas för vatten. Samtliga värden kan ses i bilaga 1.

2.5.2 Delresultat och reflektioner

Utifrån tabellen i bilaga 1 ses följande resultat här i medelvärden.

Inför försöket antogs att naglarnas fuktkvot till följd av en högre luftfuktighet skulle stiga mer än i utfallet. Att den sammanställda medelfuktkvoten endast steg omkring en halv procent måste vägas in i den sammanställda förändringen av naglarnas medeldiameter. De olika expanderingsvärdena gav inte några tydliga svar på vilken ved eller drivning som resulterade i störst expansion. I tabell 3 ses snarare något motsägelsefulla värden. Om försöket utförts med ett större antal naglar och om förändringen i fuktkvot varit större kunde eventuellt tydligare slutsatser ha dragits. Det som trots allt kunde konstateras var att naglarna efter en genomsnittlig fuktkvotsökning på 0,5 %, uppnådde en medelexpansion på 0,27 mm utan att behöva utsättas för vatten.

VED	DRIVNING	GRUNDMÅTT		SLUTMÅTT	
		FUKTKVOT I PROCENT	DIAMETER I MILLIMETER	FUKTKVOT I PROCENT	DIAMETER I MILLIMETER
TÅT	HÅRD	10,40	28,97	11,97	29,30
TÅT	LÄTT	11,39	28,93	11,86	29,16
GLES	HÅRD	11,23	29,03	11,73	29,27
GLES	LÄTT	13,66	29,09	13,10	29,40
SAMMANSTÄLLNING		11,67	29,00	12,14	29,27

VED	DRIVNING	EXPANDERING I MILLIMETER
TÅT	HÅRD	+0,33
TÅT	LÄTT	+0,23
GLES	HÅRD	+0,23
GLES	LÄTT	+0,31
SAMMANSTÄLLNING		+0,27

2.5.3 Försök 6: Expansion i vatten

Till experimentet användes 13 komprimerade hjulnaglar och 13 svarvade tränaglar. Samtliga naglar togs fram från ett och samma ämne. Detta gjordes för att åstadkomma validitet i jämförelsen mellan de olika tillverkningsmetoderna, med minimerad inverkan från naglarnas inbördes material. Som grundämne valdes ett stycke från en 35 mm tjock, jämn- och rätffibrig furubräda utan kvist och sprickor. De svarvade naglarna tillverkades efter målmåttet 29 mm, för att motsvara den konstaterade storleken på komprimerade hjulnaglar enligt försök 1. Efter tillverkning gavs samtliga ämnen en individuell vattenfast numrering samt en märkning över var på nageln diametermåttet skulle tas. Efter en första kontrollmätning av inbördes diameter och fuktkvot placerades samtliga ämnen i en balja med vatten. Efter ca fyra timmar togs naglarna upp för andra kontrollmätning. Därefter placerades samtliga naglar i ugn, ställd på 50°C i tre till fem timmar beroende på när naglarnas fuktkvot sjunkit till mellan 10-15%. Vid denna fuktkvot utfördes en tredje kontrollmätning. Diametermått togs med manuellt skjutmått och fuktkvoten mättes med digital fuktkvotsmätare. Processen upprepades ytterligare en gång och samtliga värden redovisades i tabell som kan ses i bilaga 2. En sammanställning av relevanta medelvärden ses i tabellerna nedan.

2.5.4 Delresultat och reflektioner

Experimentet visade en liten men entydig skillnad mellan expansionen hos svarvade respektive komprimerade naglar. Den huvudsakliga expansionen inträffade efter det första vattentestet och det var även vid den mätningen som de båda tillverkningsmetoderna skiljde sig som mest.

TILLVERKNINGSMETOD	GRUNDMÅTT mm	SLUTMÅTT mm	SLUTFÖRÄNDRING	
			I mm från första mätning	I procent från första mätning
SVARVAD	28,98	29,05	0,06	0,2
KOMPRIMERAD	29,18	30,05	0,86	3

TILLVERKNINGSMETOD	MÄTNING 1	FÖRÄNDRING 1	FÖRÄNDRING 2	FÖRÄNDRING 3	FÖRÄNDRING 4
	I mm vid fuktkvot 18 %	I mm vid medelfuktkvot 30 %	I mm vid medelfuktkvot 12,5 %	I mm vid medelfuktkvot 27,5 %	I mm vid medelfuktkvot 13,5 %
SVARVAD	28,98	0,31	-0,22	0,21	-0,24
KOMPRIMERAD	29,18	0,97	-0,12	0,29	-0,28

2.6 Vattenhjulets tillverkning med slutgiltig infästning

Under tillverkningen av vattenhjulet infästes sammanlagt 176 hjulnaglar och 96 lönnaglar. De tillkommande erfarenheterna från utritning och borrning samt naglarnas tillverkning och infästning redovisas i bilaga 3, som en sammanställd bildokumentation med beskrivande kommentarer.

2.7 Källkritiskt ställningstagande

Rinmans redogörelse av nageljärnet kan kritiseras i sina diffusa detaljbeskrivningar men kan av samma orsak knappast bestridas. Frågan blir följaktligen om den då kan rekonstrueras? Merparten av de källor som studerades gällande verktygets utformning saknade beskrivningar om nageljärnets komprimerande effekt. För studien var just den effekten en av de viktigaste detaljerna i verktygets utformning. Den information om verktygets detaljutförande som hämtades från forumet *Bodgers Ask & Answer* kan inte med säkerhet sägas ha bidragit till att återskapa verktygets funktion, så som den beskrivs i huvudlitteraturen.

I brist på mer utförliga redogörelser över infästningens detaljutförande kompletterades metoden med hjälp av beskrivningar i litteratur för skeppsbyggnadsteknik. Från det källmaterialet applicerades enbart tekniker och materialspecifikationer som i grunden motsvarade den studerade metoden. Infästningsteknikerna inom vattenhjul- och skeppsbyggnad uppfattades som tillräckligt likartade för att inte försvaga studiens relevans.

2.8 Sammanfattade försöksresultat

Ritning och modellbygge- Den inledande ritningsprocessen resulterade i en utformning av vattenhjulet där hjulnaglar och lötnaglar kunde tillverkas och infästas i ett autentiskt sammanhang med förutsättningar som gav relevans till undersökningens fortsatta moment. De dolda bottenkilade lötnaglarna blev ett tillägg i undersökningens grundläggande omfattning eftersom samtliga lötar behövde skarvas för att nå upp till nödvändig storlek. Förutsättningarna för konstruktionens övriga sammansättningar påverkades på så vis, vilket resulterade i tillämpning av andra metoder än de som rekommenderades i huvudlitteraturen. Med samtliga lötar skarvade ansågs inte det beskrivna utförandet med falsad sammanfogning bli tillräckligt stark. Dessutom inverkade detta på hur många hjulnaglar som behövdes och var de kunde placeras, se figur 13 och 14 här i arbetet på s. 20-21.

Utformning av verktyget- På grund av en kommunikationsmiss tillverkades inte nageljärnen helt efter författarens ritning. Det tänkta utförandet kunde eventuellt ha bidragit till att verktygets komprimerande effekt blivit större och att styrningen av nagelämnet under neddrivningen underlättats. Författaren ansåg inte att lämpliga efterjusteringar kunde utföras och det fördes inte någon diskussion med tillverkaren i efterhand om det hade varit möjligt att tillverka verktyget i det tänkta utförandet.

Tillverkningsförsök- Det kunde konstateras i tillverkningsförsöken att verktygen trots detta hade en komprimerande effekt av ca 1 millimeter på både hjul- och lötnaglar. Efter att verktygets handhavande repeterades kunde användaren utveckla en rutinmässig och lyckosam tillverkningssteknik. Verktygets stödfot ansågs som en positivt bidragande detalj eftersom verktyget därmed kunde fixeras och skapa stabilitet under tillverkningen. Den teknik som slutligen visade sig mest fördelaktig var att driva nageln från olika riktningar vilket verkade hindra nageln från att dra sig snett genom verktyget och bli krokig. Denna teknik underlättades av att nageln efter varje slag kunde roteras genom en liten vridning av nageljärnets ovandel. Detta var en oväntat lyckosam effekt av att verktyget tillverkats i två separata delar.

De tillverkade hyveljiggarna och dess användning under naglarnas förberedande bearbetning upplevdes inledningsvis som en rationell metod. Dessa visade sig dock efter hand vara överflödiga. Då tekniken allt eftersom förbättrades kunde tillverkningen ske direkt från allt större grundämnen utan bearbetning.

Infästningsförsök- Under infästningsförsöket av hjulnaglar upplevdes oväntat höga krav på materialet och utförandets precision. De problem som uppstod var antingen att nageln knäcktes då kilen drevs in, att kilen började gå sönder innan den drivits till önskat djup eller att nagel och kil inte fyllde ut nådningen. Efter att kilens stigning ändrats från 1/5 till 1/7 samt att borrhålets urtag minskats ca en millimeter per sida upphörde oftast problemen. Under konstruktionsarbetet av vattenhjulet där omkring 120 hjulnaglar infästades fortsatte emellanåt liknande problem att inträffa. Ett nytt problem som uppdagades var även att kilningen av vissa naglar orsakade sprickbildningar ut mot lötarnas ändträ. Metoden upplevdes därmed inte helt pålitlig.

Infästningen av de dolda lötnaglarna utfördes på ett mer oproblematiskt sätt. De glipor som först uppstod upphörde efter att sammanfogningen lämnades i press under en något längre tid. Eventuellt hade detta problem inte uppstått alls om kilarnas vinkel minskats. På så sätt kunde de ha drivit längre in i nageln utan att börja deformera borrhålets botten.

Naglarnas expanderings- Efter det första försöket kunde det konstateras att naglarna som testats inte genomgått någon betydande expansion efter tillverkningen då de legat utomhus i 20 dagar och då den genomsnittliga fuktkvoten stigit 0,5 %. Eftersom det inte gjordes mätningar av luftfuktighet som naglarna under försöket befunnit sig i, kan det inte hävdas att komprimeringen håller sig opåverkad då luftfuktigheten ökar.

I försöket då naglarna utsattes för vatten inträffade en expansion som varierade av tillverkningsmetod. De komprimerade naglarna hade vid slutet av försöket i genomsnitt komprimerats 0,8 millimeter mer än de som svarvats.

3. Avslutning

3.1 Diskussion

I och med att infästningstekniken för både hjul- och lötnaglar inte enbart testades i försök på dummys, utan även tillämpades under tillverkningen av det fullskaliga vattenhjulet, kan studiens resultat bedömas utifrån autentiska förutsättningar och därmed tillskrivas en god relevans i sammanhanget. Försöket att rekonstruera infästningsmetoden försvårades dock på ett grundläggande plan till följd av att ytterligare infästning tillkom, samt att materialet till hjulringarna inte kunde anpassas efter det utförande som Rinman baserade sina rekommendationer på. De dolda bottenkilade lötnaglarna ingick inte i Rinmans utförande och den undersökning som därmed tillkom tillsatte visserligen en bredd men placerade också studien i ett sammanhang som stod utanför de tilltänkta ramarna. I efterhand kan det dock hävdas ett behov av just den tillkommande undersökningen av hur vattenhjulets lötarna kan skarvas. Enligt beskrivningarna av lötarnas storlek (Rinman 1794, s. 103) krävs furuämnen av 1,2 m i längd och 0,46 m i bredd för att kunna tillverka lötarna i ett och samma stycke. Redan där finns ett begränsat materialutbud och om det därtill räknas bort splint- och juvenilved krävs väl mogna rotstockar av omkring 0,6 m i diameter. Dessa ska också vara rätvuxna, inte innehålla sprickor eller allt för mycket kvist. De här specifikationerna var kanske inte svåra att leva upp till i slutet av 1700- talet men idag är läget ett annat och behovet av en fungerande skarvningsmetod blir ett resultat därefter.

Beträffande tillverkningsmetoden och frågan om den kan rekonstrueras har studien huvudsakligen fokuserats kring nageljärnets komprimerande effekt och de tillverkade naglarnas expansion. Utifrån beskrivningen att naglarna ska bli ganska runda, något tillklämda och utsvälla när de utsätts för vatten, Rinman(1794, s. 112), kan metoden rimligen sägas vara rekonstruerad i denna studie. Här blir de exakta måttförändringarna inte lika intressanta som de beskrivande ordens innebörd i sammanhanget. Vad menar Rinman exempelvis med *ganska runda*? Utgår han ifrån att nageljärnets skärning inte nödvändigtvis behöver eller ska vara helt rund, att eggen kommer skära ojämnt och riva ut flisor eller är det den komprimerande delen av verktyget som har en avvikande utformning? Med tanke på att komprimeringsmetoden också förekommit vid tillverkning av infästning till skepp kan det betvivlas att ett sådant verktyg inte kunnat prestera tränaglar utan urslag. Utifrån de täta sammanfogningar som krävts till skeppskrovets utsida hade sådana naglar rimligtvis inte accepterats.

Att Rinman skulle syfta på skärningens form och att den inte behöver vara helt rund kan möjligtvis kopplas till dåtidens begränsade möjlighet att åstadkomma detta under tillverkningen. Den hypotesen har dock inte undersökts närmare i denna studie.

Några av de problem som inträffade under studiens infästningsförsök skulle kunna ge en förklaring till Rinmans ordval. Utifrån de glipor som emellanåt uppstod i nådningen efter att hjulnaglarna kilats kan det sägas att behovet av naglarnas efterexpanding främst ligger i den tangentiella riktningen. Och med tanke på att somliga naglar efter islagning orsakade sprickor i lötarna behövs det rimligtvis inte någon ytterligare expansion i nagelns radiella ritning. Om verktyget utformats så att kompressionen av hjulnageln på så vis enbart hade ägt rum i ena ledden skulle en sådan färdigtillverkad nagel kunna motsvara beskrivningen *ganska rund*.

Utifrån problematiken som upplevdes under infästningsförsöken och vattenhjulets tillverkning hade en hjulnagel som komprimerats på det sättet kanske varit att föredra. För att helt och hållet dra den slutsatsen skulle dock vattenhjulets infästningar behöva observeras i sin rätta miljö och över en längre tid.

Med hänsyn till Rinmans beskrivande ordalag i övrigt upplevs det inte helt orimligt att han låtit beskriva en sådan genomtänkt detalj med orden; *ganska rund*. Med respekt för hans förkunnande redogörelser överlag ska det dock tillstås att en sådan åsyftad tanke, om den fanns, borde ha framgått.

Inom detta resonemang ryms även diskussionen för vilken tillverkningsmetod som är bäst lämpad i sammanhanget. Utifrån en konstruktion där hjulringen består av två lötringar som överlappas med förskjutning kommer samtliga hjulnaglar i ena änden alltid vara placerad nära ändträ. En tränagel med ett koniskt huvud som inte behöver kilas hade kanske inte orsakat de sprickor som uppstod i samband med kilningen av den komprimerade nageln. Eftersom metoden med nageljärnet är begränsat till att producera ämnen utan huvud kan svarvningsmetoden ha en fördel här.

En annan detalj att diskutera som också hör ihop med problemet att hjulnaglarna vid några tillfällen orsakade sprickor i lötarna är storleksförhållandet mellan tränagel och borrhål. Enligt Rinmans beskrivning ska naglarna gå trångt i de borrhålen. Vad det motsvarar i drivningsförhållande utifrån beskrivningarna om *drift* i McCarthy (1947, s. 67) förblir i sig en obesvarad fråga, men utifrån problematiken i denna studie kan det konstateras att drivningen i vissa fall varit för hård och att ett *no drift*-förhållande kanske borde ha tillämpats.

Om den studerade expansionen ska det över lag tilläggas att mätningen och de jämförda differenserna utfördes på en decimalnivå där ett digitalt skjutmått hade varit att föredra. Med det manuella skjutmått som användes måste samtliga resultat tillskrivas en viss felmarginal. Denna uppskattas av författaren till 0,2 millimeter. Resultatvärdena över naglarnas expansion i försök 5 var i förhållande till felmarginalen så pass liten, att den faktiska expansionen kan ha varit nästan det dubbla eller i princip obefintlig. I försök 6 var dock skillnaden i expansion mellan svarvade och komprimerade naglar tillräckligt stor för att resultatet ska kunna styrkas även efter inräknad felmarginal.

En analys av naglarnas expanderande effekt i den sammansatta konstruktionen hade krävt andra typer av försök än de som utfördes i studien. Det som dock kunde konstateras var att de komprimerade naglarna antog en större diameter efter att ha utsatts för vatten jämfört med svarvade och att de på så sätt bör åstadkomma jämförelsevis starkare infästningar i ett vattenhjul.

Idag påträffas vattenhjul som inte används eller som till följd av väderskydd och en begränsad användning sällan utsätts för vatten. Dessa förutsättningar innebär en potentiell risk för konstruktionen då virket torkar ut och trycket i infästningarna minskar. Enligt försök 6 i denna studie, där den komprimerade tränageln konstaterades till en större slutgiltig diameter kan tillverkningsmetoden innebära en konstruktiv fördel för vattenhjul med dessa förutsättningar.

3.2 Slutsatser

Kan det då slutligen avgöras om de inledande frågeställningarna har kunnat besvaras efter denna studie? Och har frågorna formulerats på ett sätt som varit till fördel för undersökningens syfte och målsättning?

- Är det möjligt att rekonstruera den sammanhängande tillverknings- och infästningsmetoden med komprimerade tränaclar som beskrivs i Rinman (1794)?
- Kan metoden efter en undersökande försöksstudie tillämpas vid tillverkning av ett vattenhjul, med säkerhet för konstruktionens funktion och hållbarhet?
- Vilka betydande skillnader finns mellan denna metod och de som främst används idag?

Syftet var inte att besvara den första frågeställningen med ett enkelt ja eller nej. Tanken var att styra undersökningen mot de underliggande frågor som behövde ställas för att identifiera problematik och faktiska samband mellan tillverknings- och infästningsmetoden. Det som därefter framkommit är en god uppfattning om metodernas potential och begränsningar och därmed möjligheten att föra ett relevant resonemang kring nageljärnets utformning och metodernas utförande.

Fråga två var likaså hypotetiskt ställd för att inte utesluta de viktiga följdfrågor som förväntades dyka upp under arbetets gång. Efter att metoden tillämpats uppstod framförallt insikten att en lyckad infästning baseras på utövarens förmåga i utförandet, i kombination med dennes erfarenhetsbaserade förståelse för materialets samverkan i varje individuell infästning. Det tillverkade vattenhjulets funktion och hållbarhet måste bedömas därefter och om utövarens förmåga och förståelse i detta fall varit tillräcklig återstår att se.

En konstaterad skillnad var att komprimerade tränaclar sväller i vatten på ett sätt som svarvade tränaclar inte gör. Utifrån författarens bedömning kan det ha en positiv inverkan på konstruktionens styrka och hållbarhet under förutsättningen att infästningen i övrigt utförs på ett korrekt sätt. På så sätt har studien närmast sig sin målsättning att belysa metodens tekniska fördelar och förhoppningsvis kan den förfinas ytterligare och reproduceras utifrån tillgängliggjorda kunskaper.

4. Käll- och litteraturförteckning

Otryckta källor – rapporter

Zackrisson Per (2015). *Bedömning av vattenhjul Nya Lapphyttan 2015-01-05. Preliminär redovisning.* (Rapport Vireda 2015-01-07). Vireda: Svensk Byggtradition. [Kopierat ex].

Tryckta och elektroniska källor

- Bagge, Jonas Samuel (1853). *Afhandling om wattendrifter. H. 1, Om öfverfallshjul.* Fahlun: Åkerblomska boktryckeriet [Kopierat ex].
- Bill, Jan & Johansson, Tomas (1987). *Arnljot, vikingabåten i Gällö.* Östersund: Institutet för forntida teknik
- Godal, Jon Bojer (2001). *Tre til båtar.* Oslo: Landbruksforl
- Greenhill, Basil & Manning, Samuel F. (1988). *The evolution of the wooden ship.* Caldwell, N.J.: Blackburn Press
- Hallgren, Mattias (u.å.) *Benstampen i Skrikebo: undersökt av Traditionsbärarna dec 2015.* Traditionsbärarna.se
- Hesthammer, M., Arisholm T., Åsmund K & Rasmussen T (2008). *Kravellbygging i Norge: historie, teknik, utvikling.* Norheimsund, Oslo: Hardager fartøyvernsester, Norsk sjøfartsmuseum
- (jrccaim 2012). *Bodgers Ask & Answer* [forum], 27 mars.
<http://www.bodgers.org.uk/bb/phpBB2/viewtopic.php?t=2274> [2016-05-26]
- Law, Ben (2015) *Woodland Craft.* Permanent Publications and GMC Publications
- McCarthy, Michael (2005). *Ships' fastenings: from sewn boat to steamship.* 1. ed. College Station: Texas A&M University Press
- Nationalencyklopedin, Sven Rinman. [http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/sven-rinman-\(1720-92-utgav-gruvlexikon\)](http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/sven-rinman-(1720-92-utgav-gruvlexikon)) (hämtad 2016-06-01)
- Newman, Rupert (2005) *Oak-framed buildings.* Lewels: Guild of Master Craftsman
- Nordewall, Erik (1794). *Afhandling rörande mechaniquen. Stockholm. 1-2. 1794-1800.=.* [Del 2], *Afhandling rörande mechaniquen med tillämpning i synnerhet til bruk och bergwerk, af Swen Rinman ... Tom. 2. Stockholm. Tryckt hos J.A. Carlbohm 1794.* [Kopierat ex].
- Rinman, Sven (1794). *Grundritningar och profiler uti 53 tabeller, hörande til afhandlingen i mekaniken, författad af Swen Rinman ...* [Kopierat ex].
- Sven Rinman, <http://sok.riksarkivet.se/sbl/artikel/6768>, *Svenskt biografiskt lexikon (art av Marie Nisser), hämtad 2016-06-01.*
- Vattenhjul: utförande, restaureringsexempel och litteratur.* (1982). Stockholm: Riksantikvarieämbetet (distr.)
- Wahlström, R (2010). *Tränaglar i byggnadskonstruktioner. Former, Material och Tillverkningsmetoder.* Kandidatuppsats, Institutionen för kulturvård. Mariestad: Göteborgs Universitet.
https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/22759/3/gupea_2077_22759_3.pdf
- (Williamson. B 2012). *Bodgers Ask & Answer* [forum], 11 januari.
<https://www.bodgers.org.uk/BB/viewtopic.php?f=2&t=2193>[2011-05-26]
- Ångström, C. A. (1895). *Vertikala vattenhjul: deras beräkning och byggnad.* Stockholm:

Muntliga källor

Informant 1: Per Zackrisson, Svensk ByggTradition, telefon- och mejlkontakt under perioden november 2015 – juni 2016

Informant 2: Mattias Malmros, Båthantverkarna, telefonsamtal 2016-02-13

Informant 3: Gunnar Zackrisson, Svensk ByggTradition, telefonsamtal 2016-04-15

Bilaga 1:

TABELL 1: EXPANDERING I ÖKAD LUFTFUKTIGHET

ÄMNE	VED	DRIVNING	GRUNDMÅTT		SLUTMÅTT	
			fuktkvot i %	diameter i mm	fuktkvot i %	diameter i mm
1	Tät	Hård	11,8	29	11,9	29,2
2	Tät	Hård	11,1	29	12,2	29,3
3	Tät	Hård	9,8	28,9	12,3	29,3
4	Tät	Hård	9,1	28,9	11,9	29,4
5	Tät	Hård	9,3	28,9	11,8	29,6
6	Tät	Hård	8,9	28,9	12	29,3
7	Tät	Hård	11,4	29,1	12,4	29,3
8	Tät	Hård	11,7	29	12,1	29,1
9	Tät	Hård	10,5	29	SAKNADES	SAKNADES
10	Tät	Lätt	11,5	29	12,4	29,2
11	Tät	Lätt	11,7	28,9	12,2	29
12	Tät	Lätt	12,3	28,9	11,6	29,1
13	Tät	Lätt	11,4	28,9	11,7	29,2
14	Tät	Lätt	9,1	28,9	11,8	29,2
15	Tät	Lätt	12	28,9	11,9	29,3
16	Tät	Lätt	11,7	29	11,4	29,1
17	Gles	Hård	9,8	29	10,2	29,2
18	Gles	Hård	15	29,2	13,1	29,3
19	Gles	Hård	13,3	29,1	12,5	29,4
20	Gles	Hård	10,1	29	11,7	29,3
21	Gles	Hård	9,6	28,9	10,5	29,1
22	Gles	Hård	9,6	29	12,4	29,3
23	Gles	Lätt	15,4	29,1	13,3	29,2
24	Gles	Lätt	11,6	29	13	29,9
25	Gles	Lätt	12,2	29	11,6	29,3
26	Gles	Lätt	16	29,1	13,2	29,2
27	Gles	Lätt	15,3	29,2	13,2	29,4
28	Glas	Lätt	15,5	29,2	14,5	29,2

Bilaga 2:

TABELL 2: EXPANDERING I VATTEN

ÄMNE	MÄTNING 1	MÄTNING 2	MÄTNING 3	MÄTNING 4	MÄTNING 5
S1	29	29,5	29,1	29,3	29,1
S2	28,9	29,1	29	29,3	29
S3	29,1	29,4	29,1	29,5	29,1
S4	28,9	29,1	29,1	29,4	29
S5	28,8	29	28,8	29,1	28,9
S6	29	29,4	29,1	29,2	29
S7	29	29,4	29,1	29,3	29,2
S8	29	29,5	29,1	29,2	29,1
S9	29	29,1	29,1	29,2	29,1
S10	29,1	29,4	29,2	29,4	29
S11	29	29,3	29,1	29,3	29,1
S12	29	29,4	29,1	29,3	29,1
S13	29	29,2	29,1	29,2	28,9
K1	29,2	30,2	30,1	30,4	30
K2	29,1	30,1	30,1	30,1	30,1
K3	29,4	30,3	30,1	30,5	30,1
K4	29,3	30,1	30	30,4	30,1
K5	29,1	30,1	30	30,2	30
K6	29,1	30,1	29,9	30,2	30
K7	29,1	30,2	30,1	30,5	30,1
K8	29,2	30,2	30	30,5	30
K9	29,2	30,1	30,1	30,2	30,1
K10	29,2	30,2	30	30,2	30
K11	29,2	30,1	30	30,2	30
K12	29,2	30,2	30	30,4	30,1
K13	29,1	30,1	30	30,4	30,

Ämneskod S: svarvad tränagel

Ämneskod K: komprimerad tränagel

Mätning 1: diameter i mm efter tillverkning vid 16,5-19,5 % fuktkvot

Mätning 2: diameter i mm efter uppfuktning till 25-35 % fuktkvot

Mätning 3: diameter i mm efter nedtorkning till 10-15% fuktkvot

Mätning 4: diameter i mm efter uppfuktning till 27-34 % fuktkvot

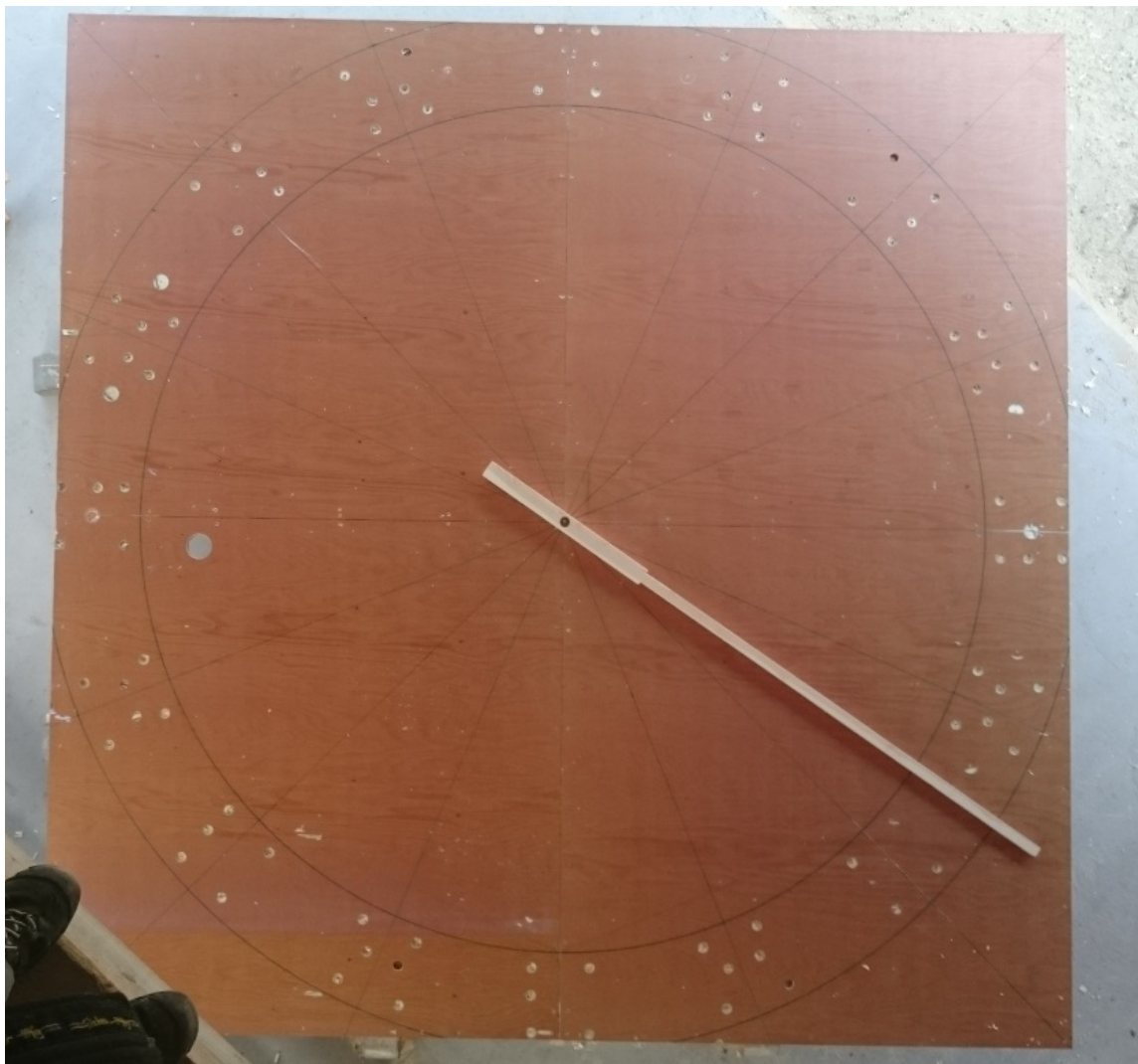
Mätning 5: diameter i mm efter nedtorkning till 12,5-15% fuktkvot

Bilaga 3:

Sammanställning av författarens bildokumentation från hjulringarnas tillverkning.

Steg 1. Arbetsbänk

Till arbetsbord användes fyra st. 12 millimeters formplywood av måtten 1,5 x 3 meter. Dessa skruvades ihop i två skikt till en sammanhängande kvadratisk skiva på 3 x 3 meter. Skivan placerades på stabila bockar och vägdes in noggrant till ett jämnt horisontellt plan.



Steg 2. Utslagning av planritning

Därefter utritades stömlinjer för att markera lötarnas inplacering och möten i både yttre och inre lötring. Samtliga utifrån kvadratens inmätta mittpunkt. Från mittpunkten slogs sedan hjulringens inre och yttre radie ut med hjälp av tillverkad ritarm. Anordningen var författarens egen tolkning av ett *ringspel* (Rinman 1794, s. 134). Då fotot togs hade bänken redan använts till en hjulring vilket syns på de runda märkena efter borrning av hjulnaglar och stag på föregående sida.

På närbilden syns att ritarmen fästs med en spik och att stömlinjerna som markerar lötarnas möten har olika färg beroende på om de markerar inre eller yttre lötring. Ritarmen utformades så att markeringspennan enkelt kunde flyttas mellan olika radier.



Steg 3. Inpassning av första (yttre) lötring

De åtta ämnena till den yttre lötringen har här justerats in efter sina respektive stöddlinjer. De två cirklarna som slogs ut på arbetsbänken fungerade i detta skede som dolda markörer. Så länge de inte framträdde garanterades att den pålagda lötringen var korrekt inplacerad och tillräckligt stor. Samtliga lötämnena är skarvade i bredd med hjälp av bottenkilade lötagnar så som tidigare beskrivs i infästningsförsöket. Detta foto är taget under tillverkningen av den första hjulringen. Här valde författaren att använda sig av tråklossar som skruvades fast i arbetsbänken intill varje löt för att slutligen fixera hela lötringen. Vid tillverkningen av nästa hjulring rationaliserades klossarna bort eftersom det gick minst lika bra, och framförallt snabbare att använda längre skruv och fästa löten direkt i arbetsbänken. Eftersom skruvarna placerades i de yttre delarna av lötarna som senare sågades bort gjordes ingen åverkan på själva hjulringen.



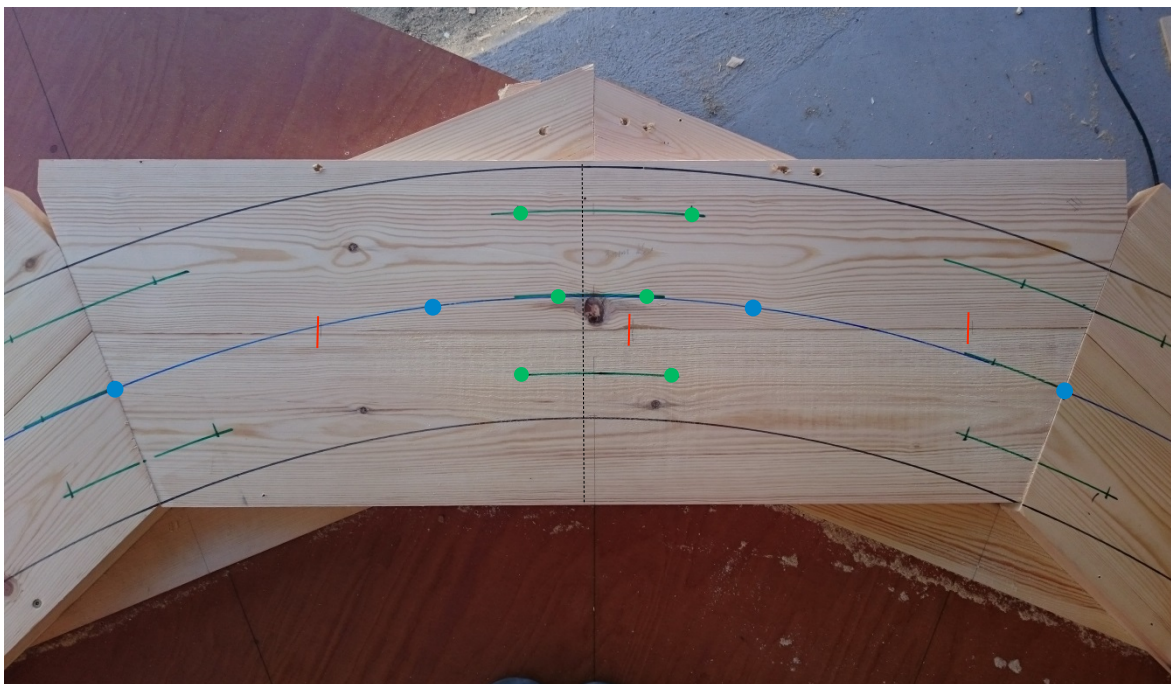
Steg 4. Utslagning för nästa (inre) lötring

Ritarmen höjdes upp till den första lötringens nivå med hjälp av foten som ses i bilden nedan. Denna tillverkades helt kvadratisk och kunde därmed centreras med sina ytterhörn efter parallella stödlinjer på arbetsbänken. I centrum placerades en rundstav som ritarmen kunde rotera kring. Hjulringens yttre och inre radie slogs ut på nytt för att fungera på samma sätt som tidigare. Aktuella stödlinjer fördes upp på yttre lötringen för att kunna användas vid inplaceringen av den kommande inre lötringen. Två av dessa har här markerats i rött på bilden underst.



Steg 5. Inpassning av inre lötring

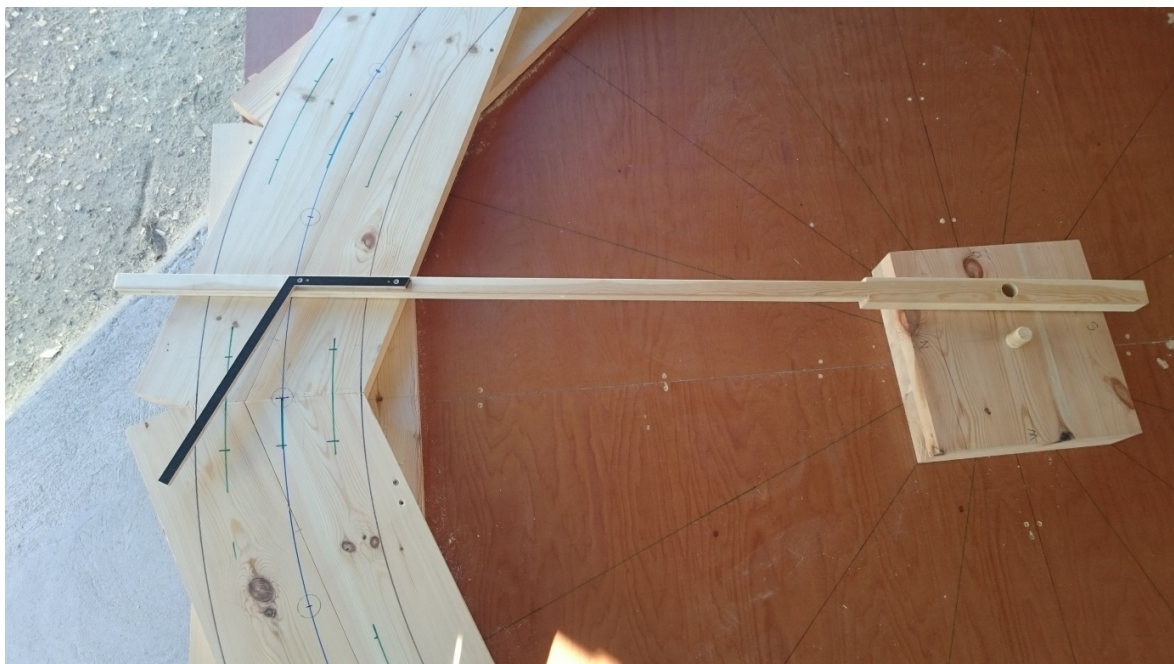
Den inre lötringen placerades på den yttre och justerades in efter stöddlinjerna och positionerna kunde kontrolleras ytterligare mot de utslagna radierna. Om lötämnena haft större marginal i bredd hade den löpande kontrollen mot hjulringens radie förmodligen inte behövts. Men som bilden nedan visar överlappas i detta fall både inre och yttre radie med bara några millimeters marginal, vilket krävde stor precision i inpassningen för att materialet skulle räcka till.



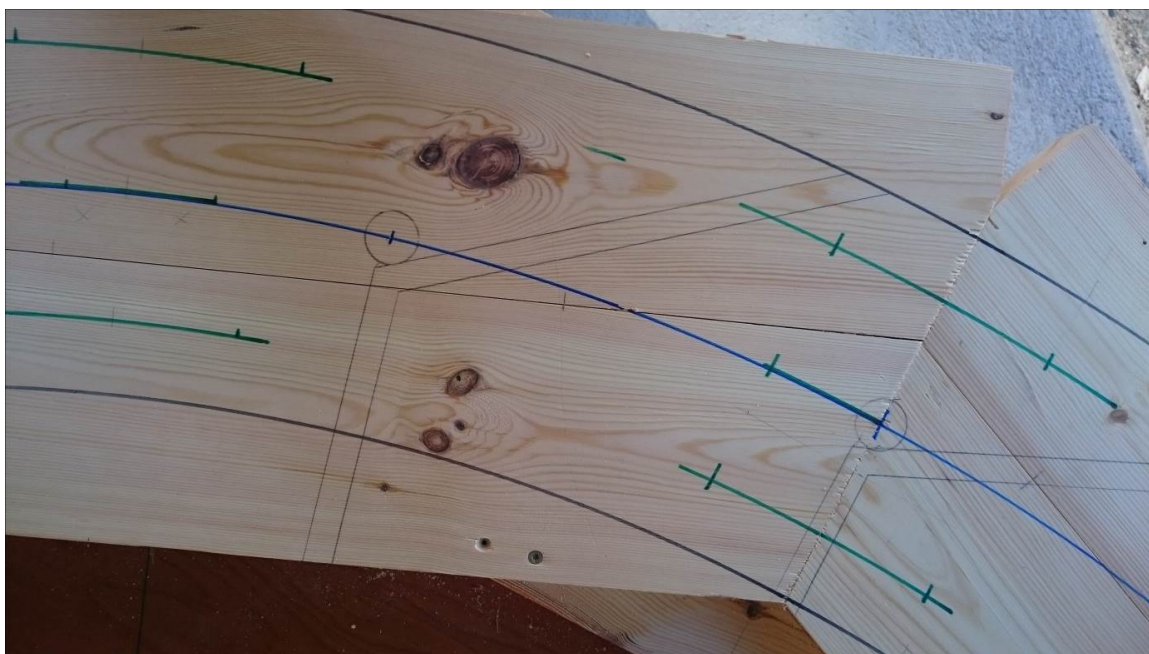
Steg 6. Utslagning av slutgiltig hjulring samt utmärkning av hjulnaglar, stag och skovelspår

Lötämnena i den inre (här den översta) lötringen justerades in och skruvades fast i den yttre på samma sätt som beskrivs i steg 3. Skruvhålen ses här på några ställen i materialet utanför hjulringen. Därefter slogs hjulringens slutgiltiga radier ut. Dessa ses här i svart. Den blå cirkeln är slagen mitt i hjulringen och markerar radien för hjulets tvärgående stag. På denna radie utritades 24 markeringar, jämnt fördelade i avstånd från varandra. Ytterligare två cirklar slogs ut 50 millimeter vardera från hjulringens yttre och inre kant. Dessa ses här i grönt och har enbart påförts över lötarnas skarvar där hjulnaglarna har sin placering. De dolda lötnaglarna fanns under hela processen markerade så att det där inte placerades naglar eller stag av misstag. All infästning mättes här in och placerades efter beräknade mönster från författarens ritningar. De gröna och blå punkterna och de röda stavarna är här förstärkta.

Vid utmärkningen av skovelspår användes en ritmall som tillverkats för ändamålet. Mallen fästes med den kortare vinkeln, alltså bottenkoveln, parallellt längs ringspelets arm. På så sätt orienterades varje skovelspår efter planritningens centrum. Metoden var författarens tolkning av beskrivningarna i Rinman (1794, s. 111).



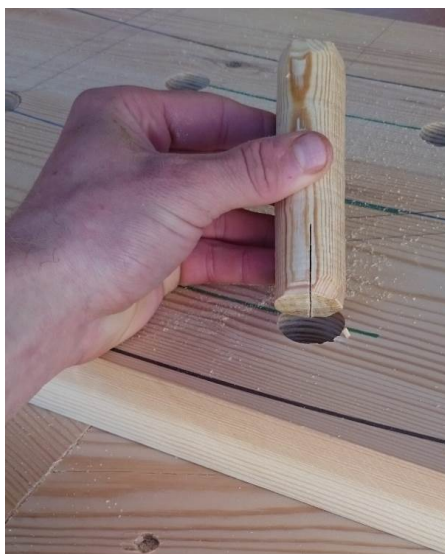
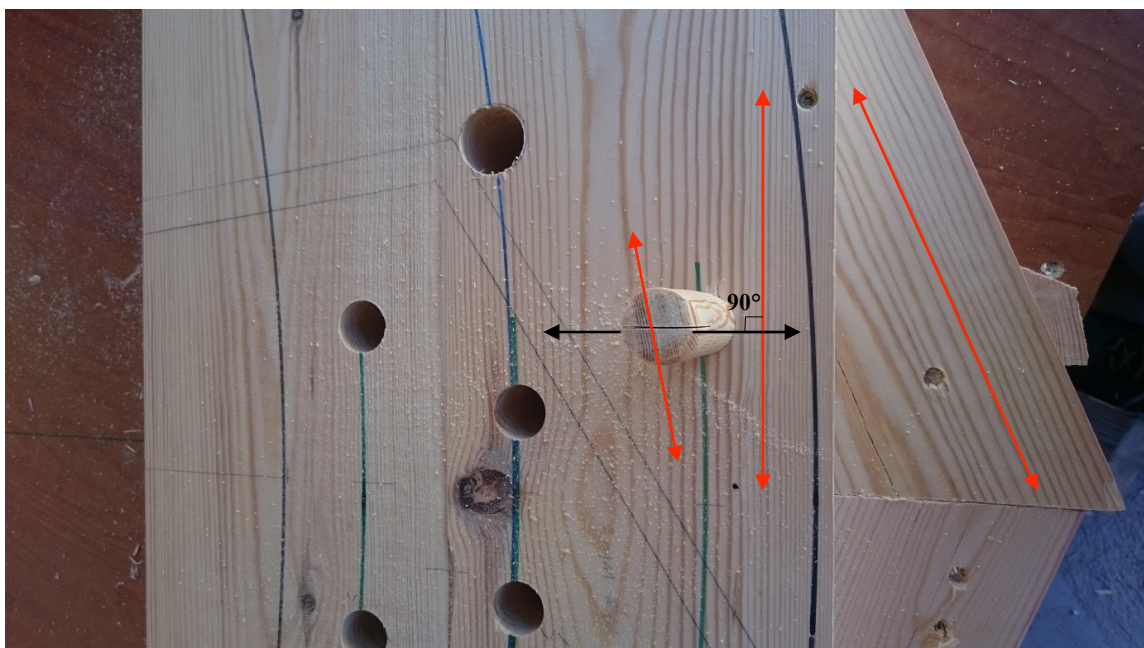
Indelningen var beräknad så att varje skovelspår i bakkant stödde mot hjulets stag, vilket ses i bilden nedan.



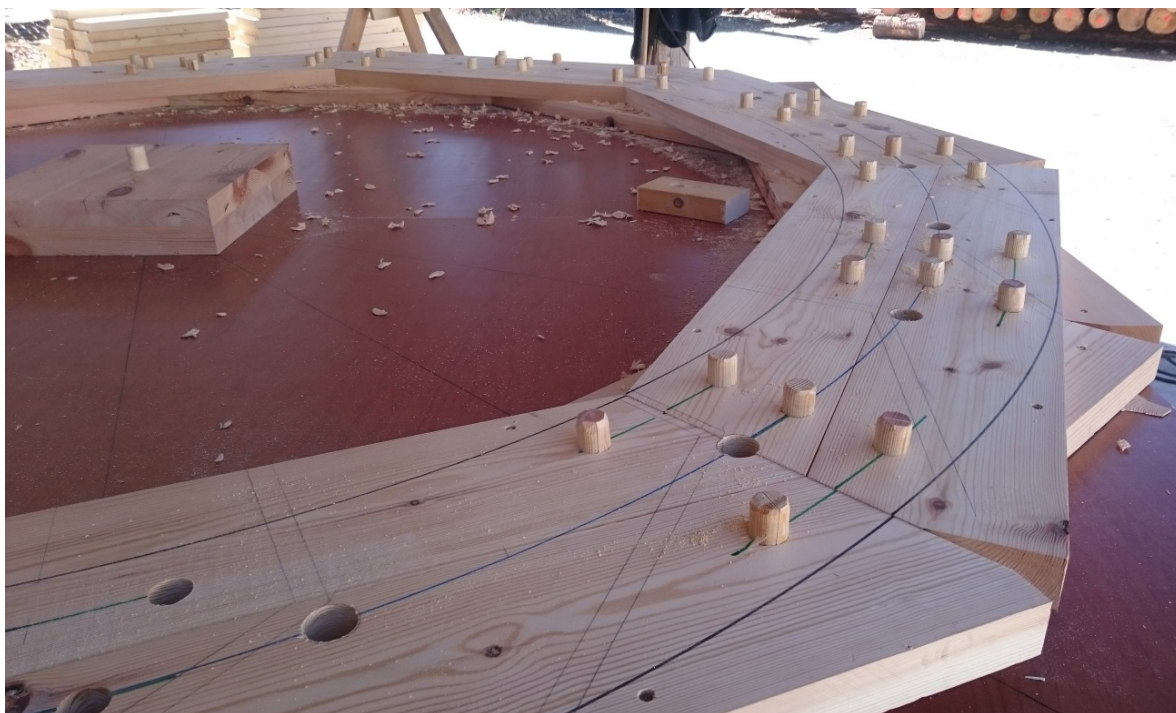
Steg 7. Infästning av hjulnaglar

Efter att samtliga markeringar utförts kunde hålen för hjulnaglar och stag borras. En tanke med arbetsbänken var att genomgående hål skulle kunna borras från samma håll utan att det uppstod urslag på hjulringens undersida. Efter att den första hjulringen borrats på det sättet visade det sig dock att en del urslag ändå uppstod. Vid nästa hjulring sänktes borrarstålet därför endast tills borrarspetsen gick igenom. På så sätt kunde borrhålen senare enkelt lokaliseras på hjulringens motsvarande sida.

Hjulnaglarna tillverkades med nageljärnet på det sättet som tidigare beskrivs i tillverkningsförsöken. Det första snittet för ändkilen sågades med nageln ståendes i borrhålet. Nagelns årsringar riktades mitt emellan fiberriktningen i inre och yttre lötrिंग enligt de röda riktningsspilarna nedan. Det första snittet i hjulnageln sågades tvärs riktningen i den övre löten. I nästa steg vändes hjulnageln med sågsnittet istället placerat tvärs fiberriktningen i den undre löten. Följande snitt sågades återigen tvärs efter fiberriktningen i den övre löten och nageln drevs därefter ner i borrhålet.



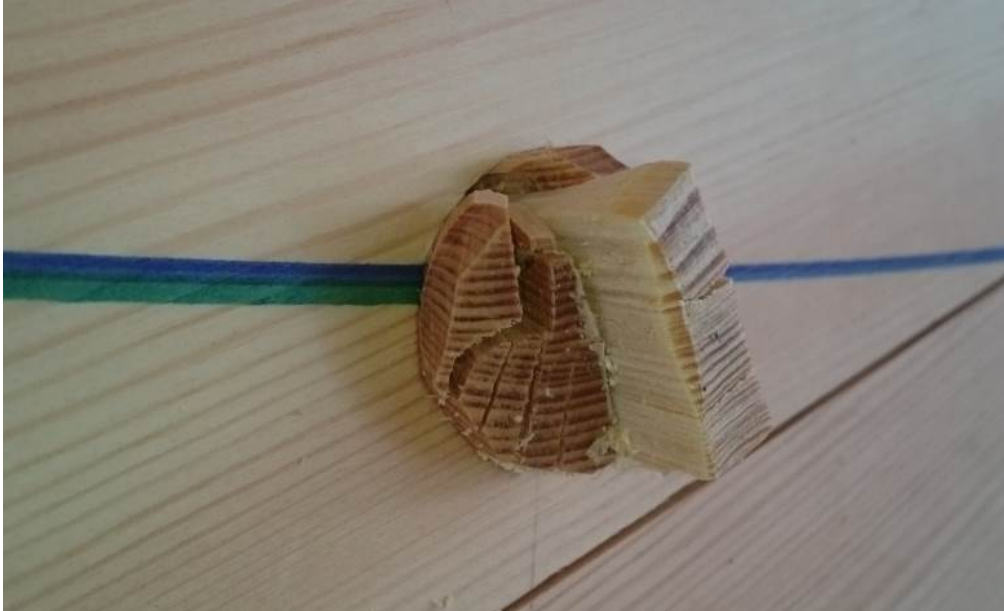
Eftersom hålen inte var genomborrade drevs hjulnageln endast ca 8 centimeter för att inte trycka ut hålets botten. Naglingen upprepades tills två halvor av hjulringen var ihopsatta. Två parallella lötar från den undre lötringen lämnades i detta skede lösa utan att naglas fast. De skruvar som höll fast dessa två lötar drogs ur så att hjulringen kunde tas isär i två halvor.



Den halva hjulringen restes därefter upp och skruvades fast i stödet som ses i bilden nedan. I det här skedet satt även skruvarna som hjälpte till att hålla ihop hjulringens båda skikt kvar. Hålen till naglar och stag kunde lokaliseras och borraras ur med hjälp av de anvisningar som beskrivs på föregående sida.



Fördelen med att ha hjulhalvan upprest var att naglarnas kilning kunde utföras och kontrolleras i samma moment. Nackdelarna var dels att arbetsställningen i vissa fall blev obekvä, samt att hjulhalvan blev något svajig och inte svarade stumt när kilarna drevs in. För att sammanfoga inre mot yttre lötar så tätt som möjligt användes även tvingar under arbetet med kilningen av hjulnaglarna. Emellanåt hände det att en hjulnagel spräcktes eller att nådningen inte helt fylldes ut under kilningen. Det gick åt mycket tid till att åstadkomma lagom bredd och djup på urtagen i nådningen. I vissa lägen där det var svårt att komma åt utfördes kilningen därför utan nådning. Problemen med hjulnaglar som spräcktes i bitar eller knäcktes en bit in drabbade nästan uteslutande naglar av den fetaste veden. Misslyckade infästningar fick knackas ut och ersättas med nya.



De flesta infästningar kunde dock utföras på ett tillfredsställande sätt och efter att kilarna drivits in sågades den utstickande delen av nagel och kil av ett par millimeter ovanför lötens sida. Slutligen hyvldes det sista utsticket bort.



Steg 8. Fräsning av skovelspår och utsågning av hjulringens form.

Skovelspårerna frästes ur med överhandsfräs och en tillverkad jigg. Under det arbetsmomentet sattes hjulhalvorna och de två lösa lötarna samman med tillfälliga korta hjulnaglar utan uppstick eller kilning. Den tillfälliga sammansättningen kunde inte utföras med gängad bult och mutter eftersom de hade kommit i vägen för fräsjiggen.

Därefter sågades hjulringens form ut med hjälp av en vertikal handdriven bandsåg.

Steg 9. Iläggning av korsarmar

Under det här arbetsmomentet sattes hjulringens halvor samman med gängad bult, brickor och mutter. Återigen injusterades hjulringen efter stödlinjerna och de utslagna cirklarna på arbetsbänken. Denna gång med den yttre lötringen vänd uppåt. Här kunde korsarmarnas utplacering och eventuella skevheter kontrolleras mot bänkens horisontella plan och dess ritning.



I mötet med hjulringen var korsarmarna i änden placerade mitt över varsitt borrhål för stag. Hålet borrades senare vidare genom korsarmen så att infästning med kilar kunde utföras på utsidan av denna. Här ses att mötet förberetts genom att korsarmens konturlinjer har förts över på lötringen och vice versa.



Utifrån hjulringens konturlinjer omarbetas korsarmens huvud till en försänkt laxstjärt. Korsarmen placeras därefter åter på hjulringen så att laxstjärtens motsvarande urtag kan märkas på.



Efter att alla åtta möten färdigställts placerades två korsarmar i sina urtag och de andra ovanpå för påmärkning av deras inbördes mötespunkter.



Inför nästa steg vändes hjulringen återigen med den inre lötringen uppåt.



Steg 10. Korsarmarnas borrhål och slutlig finish

För att få stagets borrhål från hjulringen helt parallellt genom korsarmen borrades dessa först efter att hjulringen vänts. Hålet fick dock borraras i etapper eftersom borrarstålet inte var långt nog. Slutlig finish utfördes med putshyvel.



Vattenhjulets slutliga montering

Steg 1: Montering av korsarmar och första hjulringen

Korsarmarnas inbördes möten fixeras tillfälligt med skruvtvingar.



Foto: Gunnar Zackrisson

Korsarmarna fixeras tillfälligt mot hjulstocken med salningsbitar och små kilar.



Foto: Gunnar Zackrisson

De smidda kransarna träs på, en över varje korsarm. Hjulringens första halva tvingas fast mot fyra korsarmar



Foto: Gunnar Zackrisson

Andra halvan av hjulringen tvingas fast. Den sista lösa löten i inre ringen naglas fast och sammanfogar hjulringens båda halvor. Korsarmar och hjulring fixeras tillfälligt med gängad bult och mutter.



Foto: Gunnar Zackrisson

Steg 2: Montering av korsarmar och andra hjulringen

Proceduren upprepas med nästa hjulring.



Foto: Gunnar Zackrisson

Steg 3: Förstärkning i korsarmarnas möten

Varje korsarm förses med en extra tryckkloss i syfte att fördela trycket och förstärka korsarmen under slutgiltig kilning mot hjulstocken. Den smidda kransen håller tryckklossen på plats och fixeras av kilar i bakkant och en spik på vardera sida.



Foto: Kenneth Sundh

Steg 4: Montering av skovlar

Bottenskovlarna monteras först och nästs fast tillfälligt med en liten dyckert i bakkant mot bottningen. Därefter skjuts bröstskovlarna in och fästs tillfälligt med små kilar i framkant.

Med samtliga skovlar monterade tvingades hjulringarna sedan samman tillfälligt med gängstång.



Foto: Gunnar Zackrisson

Steg 5: Injustering och fastkilning mot hjulstocken

Den tillfälliga kilningen mellan hjulstock och korsarmar ersätts med större kilar som slås in parvis. Detta utförs med försiktighet och hjulets position kontrolleras kontinuerligt i sidled och längdled mot en måttatt riktbräda, som här ses monterad tvärs över brunnen på hjulets vänstra sida.



Foto: Gunnar Zackrisson

Steg 6: Byte av tillfälliga till permanenta infästningar, samt avjämning av överskottsmaterial.

Kilarna som hållit fast bröstskovlarna byts ut till 8 millimeters träpluggar. Överskottsmaterialet uti bröstskovlarnas hörn huggs bort till ett jämnt möte mot hjulringen, se nästa bild.



Foto: Elias Berg

Gängstängerna som tidigare hållit hjulringarna samman byts ut till trä-stag som kilas i båda ändar. Stagen är koniska och motsvarar ett 35 millimeters borrhål i ena änden och ett på 45 millimeter i den andra. Detta för att underlätta monteringen.



Foto: Elias Berg

Till sist fasas korsarmarnas utstickande ändar av och en invändig bottning av falsade brädor spikas fast.



Foto: Kenneth Sundh

4: Bedömning av vattenhjul Nya Lapphyttan 2015-01-05. Preliminär redovisning.

**Svensk
Bygg-
Tradition**

Vireda 2015-01-07

Norbrgs kommun
Att Ulf Öhman
e-post

Bedömning av vattenhjul Nya Lapphyttan 2015-01-05. Preliminär redovisning.

Hjulet mäts upp och studeras för att utgöra underlag för beskrivning av nytt vattenhjul.

Hjulets nuvarande skick bedöms inte klara drivning av bälgarna.

Leveranstid för nytt vattenhjul är minst 1,5 år, verkets torktid + tillverkning och montering. Beställning läggs ett år före leverans.

Virke tas fram jan-feb 2015 genom kommunen.

Bilddokumentation av skador med kommentarer sida 3-5.

Någon kvalificerad kostnadsbedömning är inte utförd, c:a 380 000 kr + moms bör budgeteras för tillverkning och montering. Demontering av det gamla hjulet föreslås att utföras av föreningen eller lokalentreprenör.

Nuvarande vattenhjul	Förslag till nytt vattenhjul	kommentar
Allmänt Ytterdiameter 307 cm, yttre bredd 92 cm. Vattenhjulet har byggts med hög estetisk ambition. Låg autentisk ambition vad avser fogningsteknik. Konstruktion med ovanlig skovelindelning.	Allmänt Lika huvudmått. Vattenhjulet byggs med hög ambition vad gäller traditionell konstruktion. Ytor maskinhyvlade. (Handhyvlade ytor kan levereras) Allt virke vinterfälld kärnfura. Lika skovelindelning	De bilade ytorna ger ålderdomligt intryck. (äldre än konstruktionen)Fogning med skruvar dolda med dekordymplingar fungerar inte. Skovelindelningen fungerar bevisligen här.
Lötar 12 st /ring Tjl 3,5+3,5 cm, Bredd 25 cm Sammansatta med skruvar, "dekordymplingar"	Lötar 8 st / ring Tjl 3,8 + 5,0 Dymplas ihop. Korsarmarna fälls in i ytteringarna.	Längre lötar ger stabilare ringar.
Korsarmar 15x15 cm. Fogade halvt i halvt utan förstärkningar. Uttag för lötarna 50 mm, plant mot lötarna. En korsarm har undermålig virkeskvalitet.	Korsarmar Lika dimension. Förstärkning utanför korspunkterna.	Olika förstärkningsmetoder övervägs.

Skovlar 48 st 2,5 x 10 + 2,5 x 24,5 cm. längd 60,5 cm + tapp 2x0,8 cm. Gerade tillsammans.	Skovlar Lika antal och dimension, tappning ökas till 1,5 cm. Ytterskovlarna låses med dymlingar.	
Botten 4x9 cm med urtag till 2 cm i ändarna. Skrubarna som bottenbrädorna är fästa med de ända som håller ihop hjulet.	Botten 2,5 x 9 cm utan urtag. Spikas i inre lötringen och förses med tryckring.	
Sammansättning Hjulet hade, tills nyligen, inga sammanhållande förband, dragbultar. Mellanrummet mellan korsarmarna och den nya hjulstocken är för litet, hindrar korrekt fastkilning av hjulet.	Sammansättning Hjulet hålls ihop av c:a 16 st dragbultar. Avståndet mellan korsarmarna ökas med 10 cm för att skapa kilningsutrymme mot hjulstocken.	Kilning med enkelkil ger otillräcklig friktionsyta, lossnar.

Den här preliminära rapporten utgör tidigt underlag för informationsutbyte inför projektering av nytt vattenhjul. Utförandet avses följa anvisningar i de äldsta kända konstruktionsbeskrivningarna, E Nordwall och S Rinman, Afhandling rörande mekaniken.. 1794,1799. Om så önskas finns möjlighet att ersätta dragbultar med träkonstruktioner som fyller motsvarande funktioner.

Anskaffning av furuvirke förbereds omgående. Behovsberäkning utarbetas snarast, överslagsmässigt behövs 10 st rotstockar av grov, mogen, fura.

Finns underlag för tillverkningen av det nuvarande vattenhjulet att tillgå så är det ett värdefullt underlag i projekteringen, särskilt intressant är skovelindelningen.

Per Zackrisson

Svensk ByggTradition
Vireda
578 92 Aneby

Per Zackrisson
070-5721100

perz@byggtradition.se
Godkänd för F-skatt
VAT nr SE490625167501

Bilder med kommentarer om vattenhjulets skick januari 2015.

Vattenhjulet som driver två blåsbalgar .
Foto januari 2015.



Här har lötarna lossnat från varandra. Lötarna är skruvade samman med träskruv under dekorationsdymlingarna.

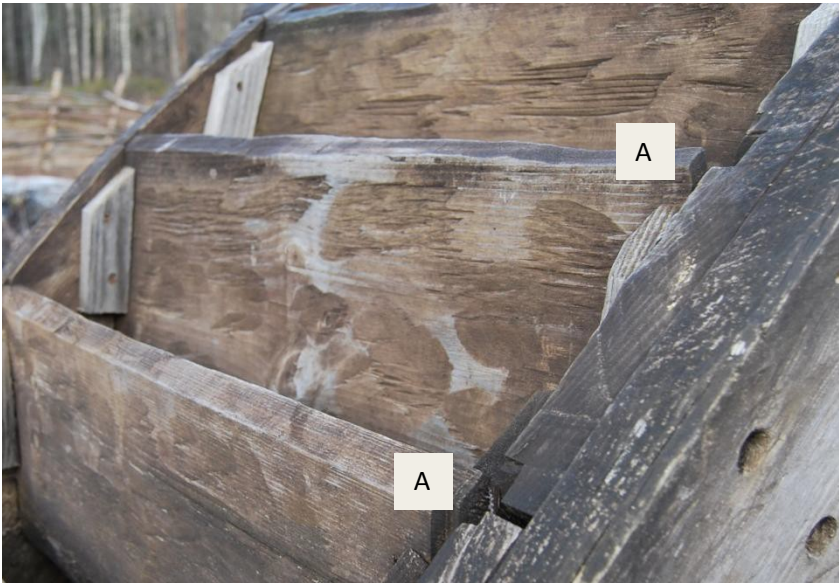
Korsarmarna skruvade med vagnsbult inifrån lötringen.



Rötskadad korsarm, undermålig virkeskvalitet. Korsarmarnas förstärkningar har osäker verkan.



Samma korsarm som ovan. Bjälken har skjuvats sönder, bristfälligt utförande. Stor belastning från kilningen mot hjulstocken.



Skovlarna har glidit ur sina spår, (A). Sekundära styrningar med läktbitar skruvade i lötarna. Lötringarna har skjutits isär på grund av otillräcklig sammandragning. Sekundär bult i bildens nederkant.



Några av bottenbrädorna har släppt från lötarna.



Kilning av vattenhjulet mot hjulstocken med enkla kilar. Den lilla friktionsytan mellan kil och hjul gör att kilen lätt lossnar.