

Morten Pedersen

# Oppgangssag - fra elv til sagramme

Modelltesting og undersøkelse av vanddrevne sager.

Bacheloroppgave i Tradisjonelt bygghåndverk

Veileder: Roald Renmælmo

Medveileder: Arne Pedersen

Mai 2022



Foto: Morten Pedersen



Morten Pedersen

# Oppgangssag - fra elv til sagramme

Modelltesting og undersøkelse av vandrevne sager.

Bacheloroppgave i Tradisjonelt bygghåndverk  
Veileder: Roald Renmælmo  
Medveileder: Arne Pedersen  
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for arkitektur og design  
Institutt for arkitektur og teknologi



Kunnskap for en bedre verden





## Forord

I denne oppgaven har jeg valgt å jobbe med oppgangssager, og undersøke hva som skjer i kraftveien fra inntaksdam til sagramme. I arbeidet med dette har jeg fått mye god hjelp fra forskjellig hold, og møtt velvilje bak alle dører jeg har banket på. En forutsetning for oppgaven har vært Arne Pedersen sin erfaring, detaljkunnskap, gode hukommelse og evne til å svare godt på alle spørsmål. Veileder Roald Renmælmo har jobbet mye gjennom mange år med Aursfjordsaga, og gjort et stort arbeid med å dokumentere kunnskapen rundt denne. I tillegg er han en god handverker og et vandrende bibliotek, og har vært til stor hjelp i arbeidet. Torbjørn Kristian Nielsen, Vannkraftlaboratoriet, NTNU, og Lars Jenssen, Norconsult, har bidratt med mange gode innspill på modelltesting og vannkraft- teori.

Hjelp, veiledning og gode tips har jeg også fått, fra en rekke konservatorer, museumsansatte, smeder, kollegaer, medstudenter og kjentfolk. Arbeidsgiver har stilt opp, med fleksibilitet og gode rammer slik at det ble mulig å gjøre dette arbeidet.

Slekta som har stilt opp med akademisk kompetanse, tålmodighet og hele tiden hatt tro på dette prosjektet, har vært god å ha. Tusen takk til alle i hop! Men den aller største takken skal kona mi og barna mine få, som har lagt til rette for dette her, støttet meg, og gitt meg rom for å være ganske fjern ganske lenge nå.

Hell 25.05.2022

Morten Pedersen

## Sammendrag

Dette arbeidet undersøker hvilke faktorer som påvirker kraftveien fra inntaksdam til sagramme, på tradisjonelle vandrevne oppgangssager fra slutten av 1700-tallet. Arbeidet belyser kritiske punkt i konstruksjonen av denne typen sagbruk, og redegjør for tradisjonelle løsninger.

Kildenmaterialet viser at enkelte mål følger et mønster. Vannhjulet som driver saga har ofte en diameter rundt 2 alen, og en bredde fra 1 alen og oppover, avhengig av hvor tung last hjulet skal drive. 1 ny norsk alen er 62,8 cm, og var en vanlig måleenhet rundt 1800. Radius på krumtappen ligger rundt 26 til 34 cm, eller ca 10-13 norske tommer. Dette gir rundt en alen (24 norske tommer) slaglengde på sagramma. Veivstanga har en lengde på 1,5 til 3,3 meter. Materialet antyder at fallhøyden fra inntaksdam til vannhjul er omkring 4,5 til 5,5, meter, men grunnlagsmaterialet er tynt på dette punktet. Oppgangssagene har jobbet med en hastighet på 50 – 80 slag i minuttet. Det er likevel mange nyanser i dette mønsteret.

Framstillingen av grunnleggende prinsipper i moderne strømningssteori, og enkle beregninger av vannhastighet, omdreiningstall og kraftmengde viser hvordan vannet oppfører seg. En fremgangsmåte for enkel beregning av omdreiningshastighet ut fra fallhøyde og vannmengde blir beskrevet.

Beskrivelsen av de praktiske arbeidsforsøkene viser først planlegging og bygging av en modell av en halv oppgangssag i skala 1:6. Denne blir bygd med tradisjonelle teknikker i så stor grad som mulig, for å få fram, og løse, lignende problemstillinger som veileder Arne Pedersen kom opp i ved restaureringen av Aursfjordsaga i 1978. I denne prosessen er det mange mange momenter som ligner på bygging av en fullskala sag.

Modellen er bygd med to formål: Å fungere til testing av forskjellige problemstillinger som oppstår i kraftveien, og i neste omgang kunne fungere som en utstillingsmodell.

I det første eksperimentet med modellen settes den opp med tre forskjellige vannrenner og avslutninger mot vannhjulet, for å teste ut hvordan disse virker under ellers like forhold. Stikk i strid med forventningene, presterer en vannrenne som slutter inntil, og ikke går under vannhjulet, bedre enn en som gjør det.

I det siste eksperimentet blir vannstrømmen i den mest effektive vannrenna fra det første eksperimentet forstyrret på forskjellige måter. Testen bekrefter at en vannstrøm med mye turbulens og luft gir mindre kraft til vannhjulet.

Rapporten konkluderer med at tradisjonell kunnskap og erfaring på bygging og drift er avgjørende for at en oppgangssag skal fungere godt. Videre at modellen er godt egnet for testing og simulering av reelle problemstillinger på en fullskala sag.

## English summary

This work examines the factors that influence the power path from the intake dam to the saw frame, on traditional water-powered frame saws from the end of the 18th century. The work sheds light on critical points in the construction of this type of sawmill, and explains traditional solutions.

The source material shows that some measurements follow a pattern. The water wheel that drives the saw often has a diameter around 2 alen, and a width from 1 alen and upwards, depending on the working load on the wheel. 1 new Norwegian alen (divided into 24 Norwegian inches), is 62.8 cm, and was a common unit of measurement around 1800. The radius of the crank is around 26 to 34 cm, or about 10-13 Norwegian inches. This gives around 1 alen vertical movement on the saw frame. The crank rod has a length of 1.5 to 3.3 meters. The material suggests that the drop height from the intake dam to the water wheel is about 4.5 to 5.5 meters, but the material is thin at this point. The frame saws have worked at a speed of 50 - 80 beats per minute. But there are still nuances in this pattern.

The presentation of basic principles in modern flow theory, and simple calculations of water velocity, speed and amount of power show how the water behaves. A method for simple calculation of rotational speed based on drop height and amount of water is described.

The description of the practical work experiments first shows the planning and construction of a model of a frame saw in scale 1:6. This is built with traditional techniques as much as possible, to bring out, and solve, similar problems that supervisor Arne Pedersen came up with during the restoration of Aursfjordsaga in 1978. In this process there are many moments that are similar to the construction of a full-scale saw. The model is built with two purposes: To function for testing various issues that arise in the power path, and in the next round could function as an exhibition model.

In the first experiment with the model, it is set up with three different chutes and terminations against the water wheel, to test how these work under otherwise equal conditions. Contrary to expectations, a chute that ends close to, and does not go under the water wheel, performs better than one that does.

In the last experiment, the water flow in the most efficient chute from the first experiment is disturbed in different ways. The test confirms that a water flow with a lot of turbulence and air gives less power to the water wheel.

The report concludes that traditional knowledge and experience in construction and operation is crucial for a frame saw to work well. Furthermore, the model is well suited for testing and simulation of real problems on a full-scale saw.

## Innhold

<b>FORORD</b> .....	<b>1</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>2</b>
<b>ENGLISH SUMMARY</b> .....	<b>3</b>
<b>INNLEDNING</b> .....	<b>5</b>
ORD OG UTTRYKK .....	6
VIRKEMÅTE .....	7
BAKGRUNN OG KUNNSKAPSBEHOV .....	7
AVGRENSING OG PROBLEMSTILLING .....	8
DISPOSISJON .....	8
<b>ARBEIDSMETODE</b> .....	<b>9</b>
VALG AV METODE.....	9
<b>MATERIALE</b> .....	<b>9</b>
SKRIFTLIGE KILDER .....	9
PRESENTASJON AV AURSFJORDSAGA OG ARNE PEDERSEN.....	10
TEGNINGENE PÅ NORSK TEKNISK MUSEUM .....	11
SAGA VED SAGELVA VASSKRAFTSENTER, BJORLI.....	12
OPPGANGSSAGDELER I MUSEUMSMAGASINER OG ANDRE SAMLINGER .....	13
HORDAN OPPFØRER VANNET SEG? EN INNFØRING I STRØMNINGSTEORI .....	13
UTVIKLINGSTREKK, HOVEDTYPER AV VANNHJUL .....	14
BEREGNING ELLER TRADISJON? .....	17
BEREGNING AV KRAFT OG OMDREININGSHASTIGHET .....	18
MÅL FRÅ BEVARTE DELER OG EKSISTERENDE OPPGANGSSAGER.....	19
<b>TYPISK UTFORMING AV EN OPPGANGSSAG, FRA DAM TIL SAGRAMME</b> .....	<b>21</b>
NATURLIGE STEDER Å ANLEGGE EN SAG .....	21
INNTAKSDAM.....	21
INNTAKSLUKA ELLER DAMLUKA .....	26
VANNRENNA, ELLER TROGÅNGEN .....	27
STEMLUKE .....	31
SAGHJULET, VANNHJULET SOM DRIVER SAGA .....	33
KRUMTAPP ELLER VEIVAKSLING, OG BLADTAPP ELLER NÅL .....	36
SMØRING AV LAGER TIL VANNHJULET.....	38
VEIVSTANGA, ELLER KRUMTAPP- STOKKEN .....	39
SAGRAMMA .....	40
<b>ARBEIDSFORSØK</b> .....	<b>41</b>
RAMMEBETINGELSER OG AVGRENSNING.....	41
<b>BYGGING AV MODELL</b> .....	<b>41</b>
SMIING AV VEIV, BLADTAPP OG BESLAG .....	46
BYGGING AV SAGHJUL .....	47
BYGGING OG MONTERING AV SAGRAMME OG VEIVSTANG.....	50
BYGGING OG UTFORMING AV VANNRENNER.....	51
<b>EKSPERIMENT 1: TRE ULIKE AVSLUTNINGER AV VANNRENNE MOT SAGHJUL</b> .....	<b>53</b>
OPPSETT.....	53
UTFORDRINGER UNDERVEIS I TESTINGEN .....	55
EKSPERIMENT 1A: AURSFJORDMODELL .....	55

EKSPERIMENT 1B: BJORLIMODELL .....	56
EKSPERIMENT 1C: HØGFORSMODELLEN .....	57
<b>EKSPERIMENT 2: STØRRE AVSTAND RENNE -HJUL .....</b>	<b>58</b>
<b>EKSPERIMENT 3: FRIKSJONSTEST, ENDRINGER UNDERVEIS .....</b>	<b>58</b>
<b>RESULTAT OG OBSERVASJONER FRÅ EKSPERIMENT 1-3.....</b>	<b>59</b>
<b>EKSPERIMENT 4: LUFT OG TURBULENS I VANNSTRØMMEN.....</b>	<b>61</b>
<b>ANALYSE OG DRØFTING .....</b>	<b>64</b>
<b>FIGURLISTE.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERANSER .....</b>	<b>69</b>
<b>VEDLEGG.....</b>	<b>70</b>
VEDLEGG 1: TEGNINGER AV OPPGANGSSAGER FRA NORSK TEKNISK MUSEUMS TEGNINGSARKIV. ....	70
VEDLEGG 2: UTDRAK FRA LARVIK GREVSKAPS ARKIV, TAKSERING AV FRITZØE SAGBRUKS BYGNINGER OG DAMMER. ....	70
VEDLEGG 3: LENKE TIL FILMKLIPP AV EKSPERIMENT 1-3 .....	70

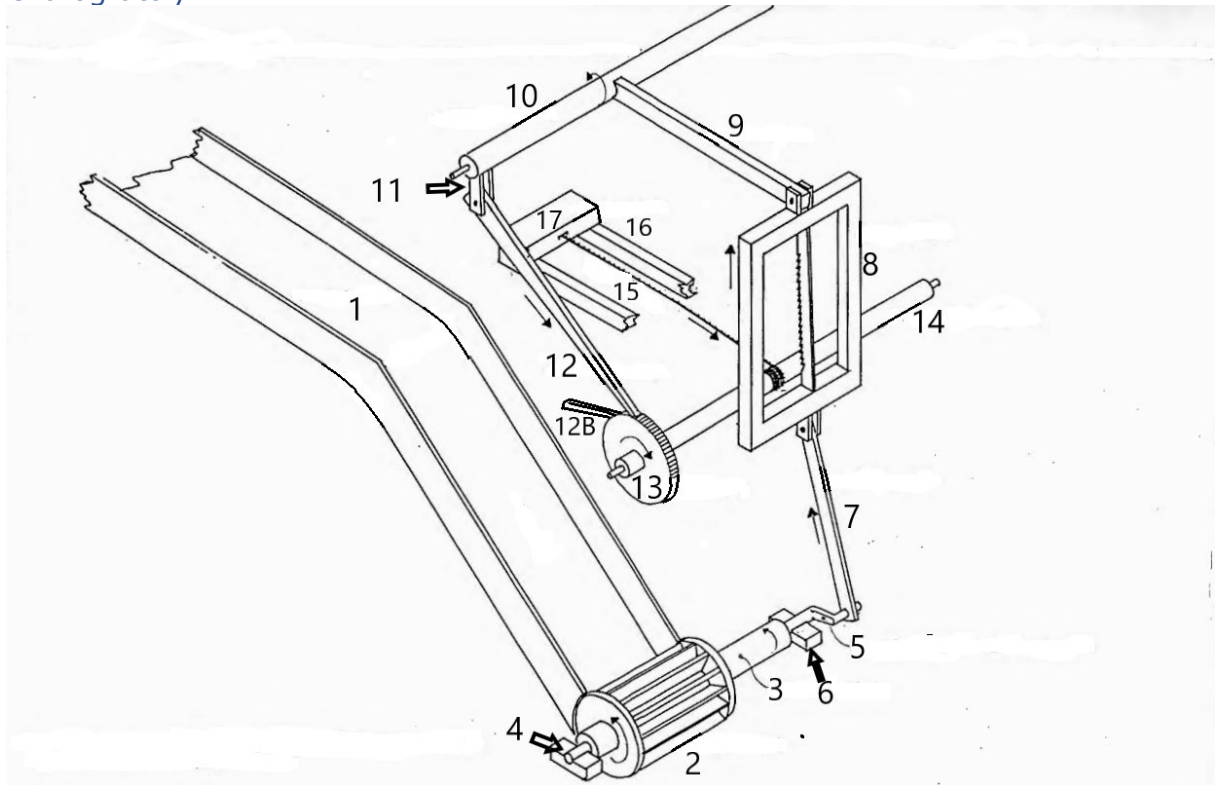
## Innledning

Når far min, Arne Pedersen, i 1978 begynte å restaurere Aursfjordsaga i Balsfjord i Troms og Finnmark Fylke, var jeg 2 år. Det har vært lite skjæring de siste tiårene, men forskjellige besøk på andre sager rundt i landet har etter hvert reist mange spørsmål. Jeg har gradvis innsett at det er mye jeg ikke har forstått, jeg vokste jo opp til klargjort sag og ferdigtenkte løsninger. Men noe erfaring fra Aursfjordsaga, sammen med muligheten for å kunne diskutere problemstillinger og løsninger med Arne som tradisjonsbærer og veileder, gir likevel et bra utgangspunkt for å arbeide med dette temaet.

I dag finnes det en rekke oppgangssager i Norge. Noen er gamle sager som er flyttet til museum. Noen er istandsatte gamle sager som står på sin opprinnelige plass. Andre er nybygde replikabygg, der det kanskje har stått en sag tidligere. Det er imidlertid ytterst få av disse som er i drift hver sesong og som kan levere noe volum av sagt material. Selv om flere sager kan kjøres, blir de ofte bare startet opp og kjørt litt «på tomgang» for publikum. Dermed blir det langt mellom sagmestere med mye «volumtrening» på oppgangssag, og kunnskapen om drift og vedlikehold blir mindre og mindre.

Det er et udekket behov for trelast skåret på oppgangssag. Den lager en spesiell sagskur, og bordene har et karakteristisk kløyvespor i den ene enden. Man vil ofte kopiere dette ved istandsetting av vernet og fredet bebyggelse. Dersom denne oppgaven kan øke kunnskapen om dette, vil den være nyttig i sammenheng med istandsetting og rekonstruksjon av andre sager, og slik bidra til å dekke dette behovet.

## Ord og uttrykk



Figur 1 Skisse basert på Kjeld Nash, redigert og endret av Morten Pedersen

(Nash, 1990, s. 17)

### Ordliste:

- 1: Vannrenna, vassrenne, trogång (AP) (Vand- rende, styrt- rende, V2)
- 2: Vannhjul. Vasshjul eller saghjul (AP) (Vand- hiul, V2)
- 3: Vasshjulåsen (AP) (Hiul -stock, V2)
- 4: Nål, («Blade-tap, pig», V2)
- 5: Krumtapp eller veivaksling (AP)
- 6: Veivlager (AP), («underlag», v2)
- 7: Veivstang, råde, Krumtappåsen (AP), (Krum-tap- stocken, V2)
- 8: Sagramma (AP), (Saug- griin, V2)
- 9: Spønelen (AP)
- 10 Vippebommen, mateåsen (AP) (Vike- kierring, V2)
- 11 Justergaffelen, Nikkearmen (AP)
- 12 Støtarm m/ skoning i jern(AP) (Viker- aas, V2)
- 12B Stoppknasten (AP) (skuver- støtte, V2)
- 13 Kamhjulet (AP) (Kam-hiulet, V2)
- 14 Kamhjulås (AP)
- 15 Kjettingen (AP)
- 16 sagbenken (AP)
- 17 Bakdyna (AP)

Navn i parentes: (AP)= uttrykk som Arne Pedersen Bruker. (V2)= Navnebruk fra vedlegg 2, fra Fritzøe Brug, Larvik i 1776.

Det er flere bevegelige deler enn dette på en oppgangsagsag, men disse er sentral i selve sagfunksjonen. Navnebruken i vedlegg 2 inneholder flere nyanser, og bør studeres nærmere. Det har også eksistert en stor variasjon i lokal navnebruk.

## Virkemåte

Vannet får økende fart nedover i vannrenna (1), og styrter mot vannhjulet (2) som roterer, og gir en opp- ned bevegelse på sagramma (8) via krumtappen (5) og råden (7). Sagramma har et sagblad montert loddrett, som henger litt fram over stokken øverst. Slik skjærer bladet kun på vei nedover. Stokken blir matet 10- 13 mm fram, og under sagbladet, hver gang sagramme og blad beveger seg opp.

Stokken ligger oppå sagbenken, fastspent på bak- og framdyna. Denne blir matet fram ved hjelp av delene 9-15. Sagrammas opp- ned bevegelse blir til en «nikkebevegelse» i delene 9-12. Slik dytter spønelen (12) frem kamhjulet (13) hver gang sagramma går opp. Stokken dras på denne måten under sagbladet for hvert sagskjær. Stoppknasten (12B) låser kamhjulet (13) mot å rotere tilbake for hver bevegelse.

I tillegg må en oppgangssag ha en stoppfunksjon hver gang stokken er skjært til endes. Det består av stemluka, stembokkstang og en form for utløser.

Attløpsfunksjonen drar sagbenken og stokken tilbake før neste sagskjær, og det er et eget vannhjul eller en attløpskall som sørger for dette.

## Bakgrunn og kunnskapsbehov

Oppgangssagene bredte seg utover i Skandinavia fra 1400- tallet, og hadde sin storhetstid på 1700- og tidlig 1800 – tall. De ble utviklet til effektive, stabile sager mot slutten av 1600- tallet. Utover 1800-tallet ble de gradvis avløst av mer effektive rammesager og sirkelsager. Oppgangssagene ga en mye bedre utnyttelse av tømmeret. Der man tidligere kløyvde og rydde til to bord av hver stokk, kunne man nå sage 4-6 bord ut av samme stokken. Norges eksport av trelast til England og andre land på kontinentet var omfattende på 16- og 1700 tallet. Oppgangssaga muliggjorde denne eksporten, og revolusjonerte også båtbyggerteknikken langs store deler av norskekysten.

Det er mange innfallsvinkler til kunnskap om oppgangssaga.

Sagene var skattlagt, og det fins mye arkivmateriale på antall sager, samt dimensjoner og mengder på trelasten. Sagene ble bygd av håndverkere som sto i en praktisk tradisjon, samtidig eksisterer og videreutvikles sagene i opplysningstiden. Mange av Europas vitenskapsmenn og matematikere kappes om å utvikle teorien og matematikken rundt vannets krefter, og å forstå og videreutvikle vannhjul og maskineri. Ingeniørkunnskapen utvikles, og teoretiske beregninger blir vanlige utover 1800- tallet. (Reynolds, 1983) Fra slutten av 1800- tallet og utover 1900-tallet skytter arbeidet med folkeminnegranskning og etablering av folkemuseer fart. Noen sager flyttes på museum, og flere sager registreres.

Disse kildene gir på hvert sitt vis mye informasjon, men de gir ikke en helhetlig praktisk forståelse av hva som er viktig for å få en oppgangssag til å fungere godt. Hvor mye vann trenger man? Hvilken fallhøyde er god nok? Hva avgjør om renne og hjul fungerer godt sammen? Hvordan utnytter man krafta i vannet på en god måte?

## Avgrensning og problemstilling

Dette arbeidet avgrenser jeg til følgende problemstilling:

*Hvilke faktorer påvirker kraftoverføringen fra elv til sagramme i en oppgangssag, og hvordan har dette vært løst tradisjonelt?*

For å svare på dette skal jeg jobbe med oppgangssager med underfallshjul. Disse har direkte drift til sagramma via en veivaksling. Oppgangssagene hadde i utgangspunktet som regel ett blad i sagramma, men mange ble etter hvert tilpasset med flere blad. Dette er en vanlig utforming av en mindre bygdesag i Norge rundt 1800.

Målet med arbeidet er å avdekke kritiske faktorer som påvirker vannstrømmen og kraftoverføringen fra inntaket i elva og fram til sagramma. Det er dette som danner grunnlaget for en effektiv sag. Sagblad, mateverk, stemluke og attløpsfunksjonen blir ikke behandlet i denne oppgaven.

## Disposisjon

Denne oppgaven er bygd opp rundt tre deler:

Grunnlagsmaterialet:

Jeg presenterer skriftlige kilder for arbeidet. Deretter følger en presentasjon av Aursfjordsaga og tradisjonen som Arne Pedersen står i. Videre eldre tegningsmateriale og andre sager som er undersøkt, med sentrale mål og en kort historikk. Deretter kommer en gjennomgang av kjente prinsipper for å beskrive vannets bevegelse, samt teoretiske beregninger. Jeg går gjennom forskjellige typer vannhjul, med en kort historikk og beskrivelse av deres egenskaper, fordeler og ulemper. Til slutt følger en beskrivelse av komponentene fra dam til sagramme, med en beskrivelse av typisk utforming og egenskaper.

Arbeidsforsøk: Her redegjør jeg først for valgene underveis i prosessen med å bygge en testmodell, og viser handverksutførelsen som ligger til grunn. Deretter kommer en beskrivelse av tre forskjellige eksperimenter som er utført med modellen. Tre forskjellige avslutninger av vannrenne mot samme saghjul testes ut. Deretter et eksperiment der vannrenna flyttes lenger vekk fra saghjulet. Tilslutt tester jeg om mye turbulens og luft i vannet reduserer ytelsen til saghjulet.

Funn og resultater fra de to første delene settes deretter i sammenheng og drøftes i kapittelet Analyse og drøfting.

I vedlegg 1 er alle tegninger av oppgangssager fra Norsk Teknisk Museum samlet. Vedlegg 2 inneholder et utdrag fra Fritzøe Bruks Arkiv, som i dag er oppbevart på Statsarkivet på Kongsberg. Beskrivelsen viser blant annet detaljert navnebruk på oppgangssager i Larvik i 1776. I vedlegg 3 er det en link til Youtube, en film med sammenstilte videoklipp fra de forskjellige testene i eksperiment 1-3.



## Arbeidsmetode

### Valg av metode

For å svare på problemstillingen, har jeg tatt utgangspunkt i min far, Arne Pedersen, sin praktiske kunnskap og erfaring fra istandsetting og drift av Aursfjordsaga. Det har vært mange gode diskusjoner med veiledere, parallellt med kildesøk og gjennomgang av eldre litteratur. 1. desember 2021 besøkte jeg og veileder Roald Vannkraftlaboratoriet på NTNU, og fikk drøfte synspunkter rundt modelltesting med professor Torbjørn Kristian Nielsen. Jeg har undersøkt eldre og nyere replikaer av oppgangssager. I tillegg har jeg besøkt tegningsarkivet til Norsk Teknisk Museum, og magasinet ved Norsk Skogmuseum.

Materialet fra dette arbeidet er deretter lagt til grunn for å bygge en nedskalert modell av en oppgangssag. Underveis i modellbyggingen ble det nødvendig å smi krumtapper og andre detaljer til modellen. Dette ble gjennomført på et smedtreff i Lima i Sverige, i april 2022. Eldre krumtapper ble undersøkt, og smedene lagde mange forskjellige utgaver med forskjellige metoder, i liten skala. For å prøve ut om modelltesting kan gi gode svar på forskningsspørsmålet, har jeg til slutt utført tre forskjellige eksperimenter med modellen.

Jeg vurderer det som nødvendig med et større statistikkgrunnlag for å kunne si noe om typiske løsninger på en oppgangssag. I tillegg virker det fornuftig å bruke kunnskap fra flere fagfelt. Ved å «triangulere» kunnskap fra moderne ingeniørfag, mål fra flere sager, eldre litteratur, og Arnes kunnskap, håper jeg å få fram nyanser, likheter og forskjeller i dette materialet.

Det er bygd flere replikaer av eldre oppgangssager, med forskjellige utgangspunkt og grunnlag. Man kan få mange svar ved å variere forskjellige detaljer, men det krever mange timer med bygging og ombygging hver gang man vil teste en ny problemstilling. Innenfor tidsrammen til dette studentprosjektet, er det ikke realistisk å bygge en fullskala sag til testformål.

Ut fra informasjon fra Vannkraftlaboratoriet ved NTNU, vil resultatene fra en modelltest være realistiske, så lenge modellen ikke er for liten. Skala 1:6 vil fungere godt.<sup>1</sup> Ved å lese av omdreiningshastighet ved jevn belastning/ motvekt, kan jeg få indikasjon på hvilke løsninger som gir bedre og dårligere effekt.

## Materiale

### Skriftlige kilder

Gjennom veileder Roald Renmælmo har jeg fått tilgang til en rekke skriftlige kilder som tilfører detaljer og gir god bakgrunnskunnskap.

**Christopher Polhem** (1661-1751) var en svensk håndverker, oppfinner og industri pioner. Polhem jobbet med vannkraft til gruver, industrianlegg, sagbruk og en mengde andre ting. Han etterlot seg over 20 000 manuskriptsider, men lite ble publisert i hans levetid. Detaljerte fremstillinger av handverksteknikker blandet med teoretiske beregninger, samt en interesse for formidling og opplæring, gjør manuskriptene særdeles interessante. De er renskrevet og utgitt i fire bind fra 1947 til 1954. I denne sammenhengen er bind 1 særlig interessant (Sandblad, 1946). Han viser stor praktisk kunnskap og forståelse, som dette eksempelet viser, der han beskriver tetting av en kverndam:

---

1 Epost fra Torbjørn Kristian Nielsen 02.02.2022

«...och lastas dammen utöfver dee indra väggarna medh sten, men i sielfa damen ejj anat än fyllning, dåk öfverst uppe medh något steen, som kan packa fyllningen tilsaman. Men emot den nedre delen bör fyllast och stenläggas så som en brant backe; och när man har steenlagt damen innan effter til fyllest medh groff och gran sten tillhopa; då fyller man der uppå aff samma fyllning så mycket som stenarna kuna hållas, och sist medh sågspån öfverstrött, huilket gör damen så tät omsijder att icke den ringaste dråpa går uth igjen, flyter icke håller sin koos, huilken ähr den aldra bästa damfyllning som kan finnas.(Sandblad, 1946, s. 335)

Han går like ofte inn på detaljerte teoretiske forklaringer i tekstene. Polhem var langt fremme i utviklingen av matematikk og teoriforståelse, og utførte avanserte eksperimenter rundt 1700. Han ble slik blant de første til å oppdage overfallshjulets suverene effektivitet framfor underfallshjulet (Reynolds, 1983, s. 235). I denne sammenhengen har jeg brukt hans praktiske beskrivelser og vurderinger av vannfall og dam- og sagkonstruksjoner. De matematiske utregningene har jeg forsøkt å forstå, men dels er de utført midt i vannkraftteoriens og matematikkens utvikling, og dels bruker han latinske begrep og andre måleenheter. Å gå dypt inn i dette går langt ut over denne oppgavens rammer, og det er vanskelig å få en detaljert forståelse.

**O.J. Näslund** ga i 1937 ut boken «Sågar». I dette verket, som tar for seg sagas historiske utvikling fra antikken og frem til sent 1800- tall, er det målt opp og tegnet flere svenske oppgangssager, som er fremstilt kronologisk.

**Terry S. Reynolds** ga i 1983 ut boken «Stronger than a hundred men». Utgangspunktet for boken er Reynolds doktorgrad fra universitetet i Kansas på det historiske forholdet mellom vitenskap og vannkraft – teknologi. Boken gir en detaljert framstilling av vannhjulets utvikling fra antikken til nåtid, og gir også et godt historisk bilde på utviklingen av den vitenskapelige forståelsen og matematikken som ble anvendt for å forklare de effektene som oppstår.

Konservator Bjørn Bekkelund ved Norsk Skogmuseum ga meg et utdrag fra **Larvik Grevskaps Arkiv**, der det fins en takstforretning over dammer og sager i Farriselva fra 1776. Takseringen av anleggene er utført av en gruppe betrodde menn, der både tilsynsman og sagmester deltar. På denne måten inneholder takseringen troverdige opplysninger med interessante navn på deler og utstyr i sagene, samt et imponerende bilde av omfanget på anleggene i Farriselva på denne tiden (Brandth, 1776).

**Nils Meinander** ga i 1945 ut boken «En Krønika om vattensaga». Denne beskriver utviklingen i det finske skogbruket og den tekniske utviklingen fra 1500 – 1900. Den finske historien kan ikke overføres ukritisk til norske forhold. Likevel har boken mange detaljopplysninger om sagteknologi og arbeidsmåter som er overførbare.

### Presentasjon av Aursfjordsaga og Arne Pedersen

Aursfjordsaga ligger i Aursfjord, Balsfjord Kommune, Troms og Finnmark Fylke. Den ble bygd av Ingebrigt Eliassen i 1796. Saga er en oppgangssag med ett blad i sagramma, og var i drift frem til 1952. I 1915 fikk den et tilbygg mot øst, med sirkelsag. Det ble da bygd et reimhjul på akslingen til saghjulet, slik at saghjulet drev både oppgangs- og sirkelsag. På slutten av 50- tallet ble den revet, da anlegget var falleferdig og farlig for folk å bevege seg i. Vitale deler som sagramme, krumtapp og mange beslag havnet på gårdene rundt. I 1978 gikk Arne Pedersen i gang med å restaurere saga. I den første tiden fikk han mye hjelp og informasjon av sin far og onkel, Alfred og Emil Pedersen, som begge hadde brukt saga mye. Alfred bygde også en modell av saga, for å kunne forklare proporsjoner og virkemåte bedre.

Når Arne Pedersen går i gang med dette arbeidet, har han bakgrunn som maskinpasser i utenriksfart, tømrer, fisker, og allsidig erfaring fra oppvekst på gård. Gjennom mange år har han vært i et lokalmiljø der mange hadde minner og erfaring fra den tiden Aursfjordsaga var i bruk. Denne kunnskapen kombinert med gode kilder, bevarte originaldeler og bilder av den gamle saga, gir et godt resultat. I 1981 starter han saga, og i de neste tiårene produserer den material som benyttes i flere istandsettingsprosjekter rundt i landet.

Arne fikk på denne måten mye kunnskap fra forrige generasjon med seg. Han er en erfaren håndverker, analytisk, og har god hukommelse.

«Aursfordsaga – enkelt og genialt», er en film som formidler bruk og historie til Aursfjordsaga på en god måte, med tradisjonsbærer Arne Pedersen i hovedrollen.(Lundvang og Renmælmo, 2018)



Figur 2 Aursfjordsaga. Foto: Roald Renmælmo.

## Tegningene på Norsk Teknisk Museum

I «Volund, Norsk Teknisk Museums Årbok fra 1956», kom jeg over en artikkel om en oppgangssag i Hardanger, skrevet av konservator Gunnar Thuesen (Thuesen, 1956) Dette ble inngangen til et spennende arkivsøk hos Norsk Teknisk Museum. Thuesen reiste i etterkrigsårene rundt i landet, tidvis på museets motorsykel, og målte opp en rekke oppgangssager. Tegningene hans er i 1:20 med enkelte detaljer i 1:10. I tillegg er målestokk også tegnet på. I arkivet fant jeg også en rekke bilder av en av sagene som er tegnet, saga på Grind i Tørvikbygd i Hardanger. Bildene bekrefter at tegningene er etterrettelige og stemmer godt, og jeg fester derfor lit til detaljene her.

Oppmålte sager:

- Saga på Haukebø ved Molde (bygd 1790, ombygd ca 1850) Oppmålt i 1945. Museet har også en detaljert modell av denne i utstillingen sin.
- Saga på Grind i Tørvikbygd, Hardanger. Bygd 1885, oppmålt i 1953.
- Saga på Aven i Korgen, Nordland. Bygd i 1840-årene, oppmålt i 1949.
- Framstadsaga fra Frønningen i Sogn. Bygget i 1860-årene. Oppmålt i 1945.

Disse fire sagene er detaljert oppmålt av Thuesen. I tillegg inneholder arkivet også en mer skisseaktig tegning av en oppgangssag merket «Åkra, Kinsarvik, 1933», samt en annen enkel tegning som kun er merket «oppgangssag».

I forbindelse med denne oppgaven er de originale papirtegningene scannet, og ligger i vedlegg 1. Tegningene gir et større bilde av forskjellige utforminger og variasjoner i detaljene på sager fra Hardanger til Helgeland. De viser også at avslutningen av vannrenna, med bratt vinkel mot hjulet og avslutning foran, ikke under hjulet, har vært utbredt.

### Saga ved Sagelva Vasskraftsenter, Bjorli.

I juni 2021 var fire studenter sammen med Arne Pedersen invitert til Norsk Vasskraftsenter på Bjorli, for å vurdere, og om mulig utbedre virkemåten til oppgangssaga på senteret. Denne oppgangssaga er en etterligning av en gammel oppgangssag fra Rudiåa på Dovre. Originalen er beskrevet i Kjeld Nash sin diplomoppgave (Nash, 1990). Oppgangssaga på Bjorli sto ferdig i 2012. Når vi var der i 2021, var saga tung å få i gang, og hadde mye friksjon i bevegelige deler. Vi vurderte, og utførte til dels tiltak, sammen med den flittige arbeidsgjengen ved senteret. I denne oppgaven har jeg brukt avslutningen av vannrenna mot saghjulet som et utgangspunkt for eksperiment 1.



Figur 3 Oppgangssaga ved Sagelva Vasskraftsenter. Foto: Morten Pedersen



Figur 4 Saghjulet på Oppgangssaga ved Sagelva Vasskraftsenter. Foto: Morten Pedersen



## Oppgangssagdeler i museumsmagasiner og andre samlinger

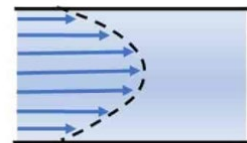
Jeg har brukt Digitalt museum for å lete opp deler til forskjellige oppgangssager. I tillegg har ryktet begynt å gå, slik at det tilslutt har blitt mange enkeltfunn som bidrar til å gi grunnlagsdata og statistikk til oppgaven. På Rørosmuseet fikk jeg adgang til sagblad og interessante gjenstander i magasinet, og et eldre saghjul som står i utstillingen. På Norsk Skogmuseum har de flere krumtapper og en bladtapp i samlingen. Jeg ble møtt med stor velvilje begge steder. Underveis har jeg også registrert sentrale mål på andre oppgangssager.

På en smedsamling i Lima, Sverige, ble en rekke krumtapper og sagblad som er bevart på Hembygdsgården registrert. Sagbladene er også målt opp, men er utelatt her som følge av avgrensning av denne oppgaven.

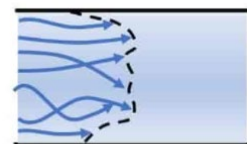
### Hordan oppfører vannet seg? En innføring i strømningsteori

Å beskrive vannets bevegelse teoretisk, på en presis måte, når det passerer i en vannrenne og gjennom saghjulet, er komplisert. Det kan likevel oppfattes intuitivt. Man kan gjøre tiltak som påvirker vannstrømmen, vurdere effekten av dette ut fra kraft og hastighet på saga, og slik erfare hva som virker uten å måtte beregne det teoretisk.

1: Man skiller på vann under trykk, og vann med fri overflate. Om man har en lukeåpning i bunnen av en tank, vil vannet spyle ut med høyere fart, på grunn av vekten av vannet over utløpet. Det samme skjer i lukkede rør, avhengig av trykket. I en åpen renne vil vannet bevege seg som strømning med fri overflate, lik det vi ser i en elv.



Laminær strømning



Turbulent strømning

Figur 5 Illustrasjon: Snl.no

2: Hvis gass eller væske strømmer uten turbulens, kalles det *laminær strømning*. Da vil væske- og gasspartikler stort sett bevege seg langs en nesten rett strømlinje som går mer eller mindre parallelt med den grenseflaten væsken beveger seg over. Hvis gassen eller væsken strømmer med turbulens, kalles det *turbulent strømning*. I turbulent strømning vil væske- eller gasspartiklenes uordnede bevegelse resultere i økt friksjon mot grenseflaten, slik at mer energi transporteres til grenseflaten. (Helseth, 2020)

Hvis grenseflaten er vannrenna, vil altså vannet stange mer mot sider og bunn i renna, og bevege seg tregere, når det er mye turbulent strømning. Vannet har da større friksjon mot bunn og sider i renna, og «henger igjen» mot disse. Vannstrømmen beveger seg derfor raskere midt i vannsøylen i renna, enn langs kantene. Dersom renna har en sving, vil vanntrykket øke mot yttersvingen, og avta mot innersvingen. Dette kan man lett observere i en elv, den har alltid gravd seg dypest i yttersvingen, ved ellers like bunnforhold av løse masser.

3: Overgangen fra laminær til turbulent strøm skjer når hastigheten øker over et visst punkt, eller vannet løper over en ujevnhet av en viss størrelse. Dette kalles for et *brudd eller sprang*. En tommelfingerregel er at vannet er gjennomsiktig når det er laminært, og blir mindre gjennomsiktig jo mer turbulent strømmen blir.



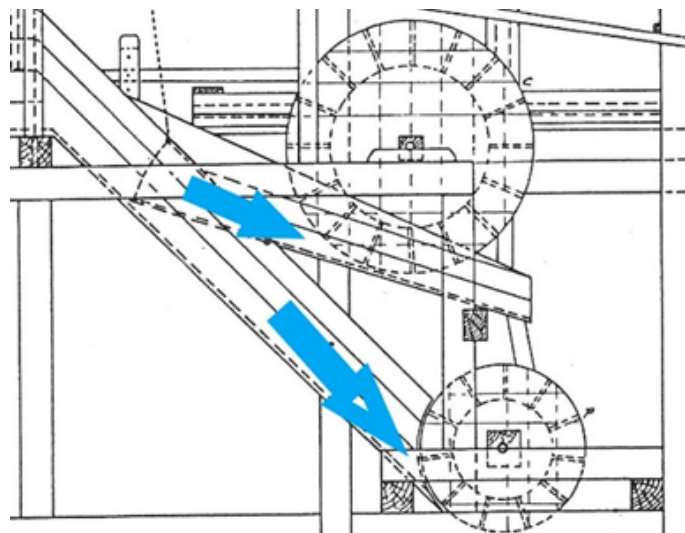
Figur 6 Foto: ITavisen.no, redigert av Morten Pedersen

### Utviklingstrekk, hovedtyper av vannhjul

Vannhjul kan i utgangspunktet deles inn i to hovedtyper: Overfallshjul og underfallshjul. På overfallshjulet blir vannet ledet inn på toppen av hjulet, mens underfallshjul får vannet i underkant. Det finnes mange forskjellige varianter av disse to hovedtypene.



Figur 7 Overfallshjul. Illustrasjon: Water wheel stoc image look and learn



Figur 8 Underfallshjul. Tegning: O.J.Näslund.

Vannhjulet omdanner bevegelsesenergien av vannet som treffer det, til roterende energi. Hvor mye av energien det klarer å omdanne, uttrykkes som *virkningsgrad*. Andre faktorer er *omdreiningshastighet*, og *dreiemoment*.

En vannstrøm som treffer et vannhjul med liten diameter, vil gi høy rotasjonshastighet på akslingen, og lavt dreiemoment. En tilsvarende vannstrøm som treffer et hjul med stor diameter, gir lav rotasjonshastighet på akslingen, men stort dreiemoment. Store hjul er altså tregere, men sterke. Små hjul er raske, men svakere.

Generelle egenskaper underfallshjul:

Lavere virkningsgrad, rundt 20-30%. God omdreiningshastighet, direkteoverføring til sagramme. Mindre dreiemoment. Billig og enklere konstruksjon, billig vedlikehold. Mye brukt på mindre bygdesager, blant annet på grunn av dette.

Generelle egenskaper overfallshjul:

God virkningsgrad, rundt 70-80%. Lavere omdreiningshastighet, men mer kraft. På store, kraftige hjul må man gire opp for å få god nok hastighet på saga. Store hjul i tre med jernbeslag (1700-tall) var dyre konstruksjoner, med dyrt vedlikehold. Utover 1800-tallet ble valsede stålplater tilgjengelige, og det ble enklere å bygge store hjul. Mye brukt utover 1800-tallet til større sagbruk, fabrikker og industrianlegg. (Reynolds, 1983, s. 266)

Tap av kraft (og dermed lav virkningsgrad) vises som vannsprut rundt vannhjulet. Friksjon i lager, samt vibrasjoner, og annen treghet i bevegelige deler gir også tap. Men den største utfordringen oppstår i overgangen mellom vannrenne og hjul. Et ingeniørbegrep er «Minimum impact in, Low velocity out» (Reynolds, 1983) Altså «Minimum impuls inn, lav hastighet ut». Høyest virkningsgrad oppnås når det ikke spruter når vannet treffer hjulet, og at vannet forlater hjulet med minst mulig fart.



Figur 9 Vann pulserer ut fra hjulet på Aursfjordsaga. Foto: Roald Renmælmo



Figur 10 Restaurert overfallshjul på Brent Canvas Mill, Devon, England. I dag brukt til kraftproduksjon. Vannet slippes med lite impuls oppå skovlene. Fotograf ukjent.



Men virkningsgrad har ikke vært det eneste kriteriet for å velge hjulstype. Et overfallshjul kan ha diameter lik fallhøyden, og det har skålformede skovler med tett bunn, vannet kan da renne ganske rolig inn i skovlene fra dammen. Da er det vekten av vannet som ligger i skovlene som driver hjulet rundt, i større grad enn farten og impulsen fra vannet på et underfallshjul. Dermed er dette mye brukt i flatt terreng med lite fallhøyde der det blir lav fart på vannet som treffer hjulet. På grunn av bedre virkningsgrad gir dette høyere effekt med mindre vannmengde.

Vi finner vanligvis overfallshjul i flattere dalbunner og innlandsdistrikter sør og øst i Norge. På et enkelt underfallshjul med radielle skovler blir det uansett mye impuls kraft inn på hjulet, og mye vannsprut. Men om terrenget ga nok fallhøyde, og det uansett var nok vann, så valgte man et enkelt underfallshjul.

Store hjul var kompliserte både å bygge og vedlikeholde. Vi finner de oftest på større eksportsager, i gruver, som saktegående pumpeverk og til å løfte opp malm. Fellesnevneren er ofte eiere med god økonomi.

En mellomtype er Brystfallshjulet, der vannet ledes inn på høyde med akslingen, men det kan likevel ha lukkede skovler som et overfallshjul. Hjultypene ble forbedret utover 17- og 1800-tallet. Det skjedde parallelt med at turbinen ble utviklet, som gradvis avløste vannhjulet som primær kraftkilde (Reynolds, 1983).

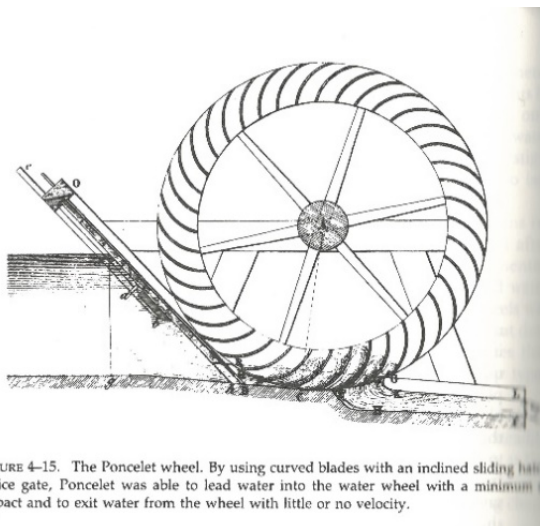


FIGURE 4-15. The Poncelet wheel. By using curved blades with an inclined sliding sluice gate, Poncelet was able to lead water into the water wheel with a minimum impact and to exit water from the wheel with little or no velocity.

Figur 11 Poncelet- hjul. illustrasjon: Reynolds, 1983.

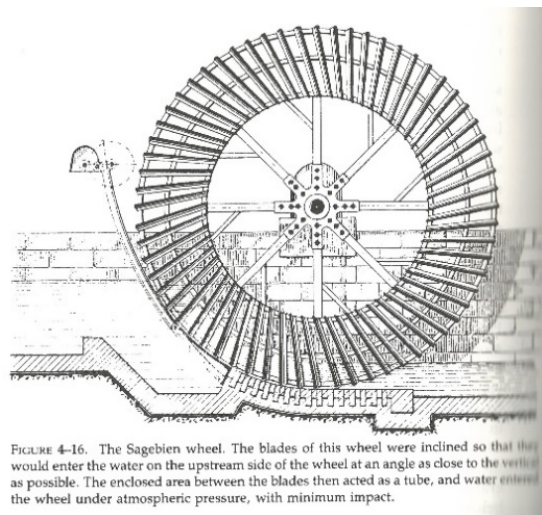


FIGURE 4-16. The Sagebien wheel. The blades of this wheel were inclined so that they would enter the water on the upstream side of the wheel at an angle as close to the vertical as possible. The enclosed area between the blades then acted as a tube, and water entered the wheel under atmospheric pressure, with minimum impact.

Figur 12 Sagebien- hjul. Illustrasjon fra Reynolds, 1983.

Poncelet- hjulet bruker bøyde skovler for å roe ned impuls og vannsprut. Sagebien- hjulet har skovler formet som tette rom, der det blir et overtrykk som stabiliserer vannet når det passerer skovlene. Sammen med nøyaktige luker foran hjulet som optimaliserer vannstrømmen, øker dette virkningsgraden. (Reynolds, 1983, s. 260-262) I Norge er det eksempler på at man etter hvert bruker bøyde Poncelet- inspirerte skovler, men uten den avanserte luken rett foran hjulet. Slike hjul er det blant annet på sirkelsaga ved Norsk Vasskraftsenter på Bjorli, og på rammesaga i Herand, Hardanger (Kristiansen, 2013).

Selv om jeg her kun jobber med underfallshjul, har det likevel vært viktig å få oversikt på de forskjellige hjultypene, for å tolke variasjonene som dukket opp i kildematerialet.



## Beregning eller tradisjon?

Christopher Polhem beskriver en beregningsmetode som tar utgangspunkt i «vattubrynen», altså vannspeilets høyde ved inntaket. Da må inntaksdammen forberedes så langt at «damstocken» ligger på plass, og at begge sidene er murt eller tømret opp. Damstokken er den stokken som danner bunnen av renna ved inntaket. Når dette er på plass, måler han hvor høyt det er fra damstokk opp til vannspeilet i strømmen, og ut fra bredden i inntaket får man et tverrsnitt av vannstrålen. Slik får man vannets mengde/ vekt. Han bruker deretter dette som utgangspunkt for videre beregninger. Med Polhems egne ord:

*«På huad sett mäter man sielfa vafttnet vid et vattufall? Effter tuene egeneskapar; det ena effter quantiteten som kan løpa ständigt utan oppdämning, och det andra efter oppdämning. Huad det förra vidkommer, så har man dervid ingen säkerhet förän dam och damluuka ähr först gjorda, då kan man terminera strömen inom sina vissa sijdor, huars area effekter högd och bred då noga mätas.» (Sandblad, 1946, s. 308)*

Dette kommer fra en av Sveriges fremste vitenskapsmenn, det var neppe alle forunt å ha inngående kunnskap om teoretiske beregninger. Men måtte man starte med en detaljert kraftberegning når man bygde sag på 1700-tallet?

Arne forteller en historie som er muntlig overlevert i Aursfjorden. Noen tiår før saga var ferdig, hadde Ingebrigt Eliassen, som bygde Aursfjordsaga, tatt imot en 8 år gammel gutt, på grunn av hungersnød i Nord- Sverige. Etter å ha vokst opp i Aursfjord, reiste gutten tilbake til hjemtraktene, og skal angivelig ha jobbet på en sag der noen år, før han returnerte som voksen kar til Aursfjord. Her hjalp han Ingebrigt med byggingen. Etter dette hjalp Ingebrigt drengen, som tar navnet Kristian Pedersen, med å få bygslet jord og slå seg ned på Keianes innerst i fjorden. Det er lett å tenke seg at Kristian tok med seg erfaring og innsikt fra Sverige. Jeg tror dette var verdifullt i byggeprosessen. Arne påpeker også at saga i Sultindvik, lenger ut i fjorden, ble satt i drift i 1782. Dermed fantes teknologien i området før Aursfjordsaga ble bygd.

Jeg har ikke funnet noe entydig svar på hvordan fallhøyde og krefter ble vurdert, og hvordan vannrenne og saghjul ble tilpasset mot dette. Polhem viser generelt stor matematisk forståelse for vannets bevegelse, og beregningen av dette, i sine skrifter. Dette viser at matematisk kompetanse har eksistert, men det er usikkert hvor tilgjengelig denne kunnskapen har vært for folk flest. Meinander fikk i 1945 høre fra sine kilder at saghjulet skal ha et «gängse mått på 2 alnar» (Meinander, 1945, s. 92) for at saga ikke skulle gå for sakte. Dersom man ikke kunne utføre de matematiske beregningene, kan denne typen «tommefingeregler» ha vært et utgangspunkt. Med en skjønnsmessig tilpasning ut fra dette, basert på god forståelse og praktisk innsikt, tror jeg de kunne bygge en velfungerende sag. Jeg mener de må ha hatt et eller annet utgangspunkt for vurderingen sin (beregning, tommefingerregler, tidligere sagbruk eller lignende). Men jeg har ikke funnet konkrete opplysninger som forklarer dette.

## Beregning av kraft og omdreiningshastighet

Denne beregningen tar utgangspunkt i dagens ingeniørlære, der jeg har fått en innføring i aktuelle beregningsmetoder og formler, av ingeniør Lars Jenssen i Norconsult.<sup>2</sup>

For å forstå hvordan kraftveien til saga fungerer er det to setninger som er sentrale: Kraften som treffer hjulet, er avhengig av vannmengde og fallhøyde. Hjulets omdreiningshastighet er avhengig av vannmengde, fallhøyde og hjulets diameter.

Vi begynner med å finne vannføringen, altså hvor mye vann som passerer pr tidsenhet. Da bruker man **overløpsformelen**:  $Q = C B H_1^{1,5}$   
Q = vannføring. C = 1,7. C er overløpskoeffisienten, og henger primært sammen med formen på overløpet, og vannstanden oppstrøms for overløpet. Overløpet er altså der vannet strømmer inn i renna, fra en dam eller elv. Et relativt flatt innløp i renna har en verdi på 1,71, og er derfor aktuell å bruke her. B = Bredde på vannrenne (meter).  $H_1$  = Høyde fra bunn i renne til overkant vannspeil, målt i inntaket av renna (meter).

Vannføring i Aursfjordsaga:  $Q = 1,7 \times 1,15 \times (0,2^{1,5}) = 0,175 \text{ m}^3$  pr sekund, eller **175 liter/sekund.**

For å finne ut hastigheten på vannet i bunnen av vannrenna, inn mot hjulet, bruker man formelen for **vannhastighet**:  $V = \sqrt{2gH_2}$   
V = vannhastighet. g = vannets gravitasjonshastighet i fritt fall: 9,81 m/s.  $H_2$  = Fallhøyde + høyde på vannsøyle i inntaket. Vær obs på at formelen ikke tar hensyn til noen tap i vannrenna.

Vannhastigheten for Aursfjordsaga:

$H_1 = 0,2 \text{ m}$ ,  $H_2$  er fallhøyde 5,6 m + høyde vann i inntak 0,2 m = 5,8 m

$V = \sqrt{2g5,8} = \sqrt{2 * 9,81 * 5,8} = \mathbf{10,667 \text{ m/s}}$

**Omdreiningshastighet** regnes ut ved å bruke hjulets største omkrets utvendig på skovlene. Vannhastighet (m/s) : omkrets (m).

Aursfjordsaga sin omdreiningshastighet: Vannhjulet har største diameter 1,53 m. Omkrets blir da  $1,53 \times 3,14 = 4,775 \text{ m}$ . Teoretisk maksimal omdreiningshastighet for hjulet:  $10,667 \text{ m} : 4,775 \text{ m} = 2,24$  omdreining/sekund.  
 $2,24 \text{ o/s} \times 60 \text{ s} = \mathbf{134,4 \text{ o/min.}}$

Hjulet gir mest kraft når det går i **½ fart av vannhastigheten**. Dette er Christopher Polhem klar over (Sandblad, 1946, s. 281), og Torbjørn Kristian Nielsen ved Vannkraftlaboratoriet, NTNU, bekrefter også dette.

På Aursfjordsaga blir optimal hastighet:  $134,4 \text{ o/min} : 2 = \mathbf{67,2 \text{ o/min.}}$

Man regner ut hvor stor kraft som trykker mot hjulet med denne formelen:  $F = \rho QV$ .  $\rho$  = Vannets tyngdetetthet, = 1000 kg/m<sup>3</sup>. Svaret får man i Newton (N).

Dette er en enkel utregning, som kun viser energien mot en skovel som står 90° på vannstrømmen, når hjulet står stille. Når hjulet roterer, blir beregningen langt meir kompleks. Men et nyttig inntrykk får man likevel.

For Aursfjordsaga:  $F = 1000 \times 0,175 \text{ m}^3/\text{s} \times 10,67 \text{ m/s} = \mathbf{1867,25 \text{ N}}$

---

<sup>2</sup> Epostutveksling i perioden 06.03.2022- 17.05.2022

Newton brukes for å beskrive kraft som kan virke i alle retninger, mens vektenheten kilogram er gravitasjonsavhengig og virker i en bestemt retning. For mange av oss er det likevel lettere å se for seg kraften beskrevet i kilo. 1 N = 0,101971621 Kg.

For Aursfjordsaga:  $1867,25 \times 0,101971621 = \mathbf{190,4 \text{ Kg}}$ .

Disse utregningene er kun en grov skisse over hvilke krefter som opptrer, ikke et detaljert bilde. Likevel vil det være til god hjelp når man skal planlegge eller vurdere en sag. Tap som følge av friksjon og lekkasjer i renna er ikke med her.

Det er viktig å tenke på at dette bare beskriver hastighet og kraft levert frem til hjulet. De største tapene, som følge av hjulets virkningsgrad, friksjon og tregthet i alle sagas bevegelige deler, er langt mer komplisert å regne på.

## Mål fra bevarte deler og eksisterende oppgangssager

I tabellene under er hovedmål og målene på forskjellige deler sammenstilt. Det er enkelte hull i skjemaene, der det ikke har vært mulig å måle. I tabellen er det tatt med både nyere rekonstruksjoner, originale enkeltdele, og opprinnelige saghus. Dette er det grunnlaget som ble tilgjengelig i oppgaveperioden. Det kan med fordel suppleres med mål fra flere originaldele og sager framover.

De forskjellige objektene er merket rødt, gult og grønt. Nyere rekonstruksjoner som jeg vurderer å være langt fra en historisk sammenheng, eller som ikke fremstår med helt opprinnelige løsninger, er merket rødt. Likevel utfyller de helhetsbildet, og kan ha velfungerende enkeltdele. Derfor er de med her. Gul merking er satt på tegninger og annet som virker autentisk, men der den originale saga eller delen ikke var tilgjengelig. En tegning erstatter ikke originalen, og er en litt mer usikker kilde. Grønn merking brukes på originaldele, eller der det er dokumentert at objektet i all hovedsak har opprinnelig utførelse.

Dette er gjort ut fra tilgjengelig informasjon og inntrykket jeg fikk under oppmålingen. Om det kommer mer informasjon om kildematerialet, kan dermed denne sorteringen endre seg.

Navn på sag	Sted	Fallhøyder og renne	Merknader	Fallhøyde	Bredde renne	Vannspeil
				(meter)	(centimeter)	(meter)
Aursfjordsaga	Malangen	Restaurert, 1977- 83		5,6	98	0,2
Østbyfossen	Egge, Steinkjer	Nybygg, 1997. Et lite overfallshjul. Falløyde til OK Hjul: 6,1 M		7,36	42	0,23
Oppgangssag	Dovre, Bygn. Hist. Park	Nybygg ca 2000?		3,8	86	
Oppgangssag	Bjorli	Nybygg 2012, underfallshjul	minimum:	4,2		
Bevart vannhjul	Rørosmuseet	Utgravd vasshjul med 2 veiver/råder, til rammesag				
Oppgangssag	Trysil (oppr. Flermoen)	Flyttet, uten vassrenne, ikke orig. 1. etasje				
Ukjent tegning 1		Tegning i NTM, står ikke navn/ sted/dato på denne	minimum:	5,1	120 øverst, 57 mot hjul	
Åkra- sagan	Kinsarvik, Hardanger	Tegning i NTM, merket "Åkra, Kinsarvik, Hardanger 1933"	usikker:	6,2	65	
Haukebø	Molde	Tegning i NTM, underfallshjul, detaljert stor	minimum:	4,65	65	
Framstadsagan	Frønningen/ Sogn	Tegning i NTM, nøyaktig og stor		3,95	74	
Saga på Grind	Tørvikbygd/ Hardanger	Tegning NTM, merket "enkeltbladet oppgangssag, Tørvikbygd"	minimum:	3,7	86 øverst, 48 mot hjul	
Aven	Korgen, Nordland	Tegning NTM, nøyaktig, underfallshjul		3,65	63	
Fundlibekken	Vinje/ Telemark	Tegninger fra 1994, ved NTM.		4,5	60	

Figur 13 Oversikt over fallhøyder og mål på renne. Tabell: Morten Pedersen

I tabellen over er det Aursfjordsaga som har inntak og vannhjul på dokumentert opprinnelig plassering. Egge, Dovre og Bjorli er alle nyere kopier. Selv om det har vært sager på disse plassene tidligere, har jeg ikke fått avklart hvor mye fallhøyde og andre detaljer, ligner på sagene som en gang sto her. Saga i Trysil er flyttet ut av opprinnelig plassering, men har mange gamle detaljer bevart. De fleste tegningene

fra Norsk Teknisk Museum har ikke hele renna tegnet inn, dermed er fallhøyden kun målt som minimumsmål, ut fra det som er med på tegningen. Tegning av Fundlibekken har hele renna med. Fallhøydene 5,6 m (Aursfjord) og 4,5 m (Fundlibekken) virker derfor mest troverdige.

Navn på sag	Sted	Vannhjul Merknader	Ø skovler	Ø Vange	Utvendig	Effektiv	Effektiv høyde	antall	Form skovler
			(cm)	(cm)	bredde (cm)	bredde (cm)	skovler (cm)	skovler	
Aursfjordsaga	Malangen	underfallshjul, renne under hjulet. Rekonstr. på gamle mål	152	147	93	80	20,5	16	rett/ radielt
Østbyfossen	Eqge, Steinkjer	Overfallshjul, med skålformede skovler ( se skisse i bilder)	126	126	77	53,5	20		skålformet
Oppgangssag	Dovre, Bygn. Hist. Park	Underfallshjul, er rekonstr. ukjent kilde for rekonstr. hjul	150	147	105	85		24	rett/radielt
Oppgangssag	Bjørli	Underfall	135		97	83		16	rett
Bevart vannhjul	Rørosmuseet	Til dobbel rammesag, nyere type (ca 1850-1900)	133	133	133	126	29	16	rett/ radielt
Oppgangssag	Trysil (oppr. Flermoen)	Uoriginalt vasshjul, vasshjulås kan være eldre, flyttet	100	100	95	78		12	rett/radielt
Ukjent tegning 1		Usikre mål, tegningen er delvis en skisse, ukjent nøyaktighet	190	190	125	83			
Åkra- sagan	Kinsarvik, Hardanger	Tegning NTM, underfall	119	108	93	66			
Haukebo	Molde	Tegning NTM underfall							rett/ radielt
Framstadsagen	Frønningen/ Sogn	Tegning NTM underfall	128		90	74		24	skrå
Saga på Grind	Tørvikbygd/ Hardanger	Tegning NTM underfall	130	130	78	50		20	rett/ radielt
Aven	Korgen, Nordland	Tegning NTM underfall	100	100	88	63	15	16	rett/ radielt
Fundlibekken	Vinje/ Telemark	Tegning NTM, fra 1994, underfall	140	140	97	67	26	24	"Poncelet"
Andrå- saga	Ehørum (Rendalen)	Uoriginalt vasshjul, usikker kontekst, flyttet	90	90	125	106	20		rett

Figur 14 oversikt over mål på vannhjul. Tabell: Morten Pedersen

Gjennomsnittlig største diameter på vannhjulene er 130 cm. Effektiv bredde, altså synlig bredde på skovlene som blir truffet av vannet, er fra 50 cm og opp til 126 cm. Ser vi bort fra hjulet på Røros, som har drevet en dobbel rammesag, og ikke en enkeltbladet oppgangssag, og hjulet til Andrå – saga, som er et nytt hjul til utstillingsbruk, varierer bredden fra 50 til 85 cm. Hjulene har som oftest 16 skovler. Inndeling og plassering av skovler er da gjort med vinkeldeling fra 90°, til 45° og 22,5°.

Den andre måten er å dele ut fra 60°, som også er en vinkel som enkelt kan konstrueres. Da får man 12 eller 24 skovler. De fleste skovlene er plassert radielt ut fra sentrum av hjulet. Men på enkelte tegninger er det skråstilte skovler, tegningen av Framstadsagen viser et sofistikert vannhjul.<sup>3</sup>

Navn på sag	Sted	Krumtapp Merknader	Radius	Diameter	Diameter	Vekt (kg)	Total Lengde	Bredde (x tykkelse
			veivaksling	veivlager	rådelager (mm)	(cm)	på blad (mm)	
Aursfjordsaga	Malangen, Troms	Smidd krumtapp, rett veivarm, med blad	28		80	52	96	
Østbyfossen	Steinkjer	Sveist/ støpt krumtapp og bladtapp, rett veivarm	32					
Oppgangssag	Dovre, bygn. hist. park	Smidd krumtapp med buet veivarm	36	85	55			
Bevart vannhjul	Røros, Rørosmuseet	støpte jernvanger og veiv, nyere rammesag m/ doble rette veiver	26	90	80			
Oppgangssag	Bjørli	Nyere sveist veiv med rett veivarm, stor radius, dessverre bare cirka min. mål:	>40					
Oppgangssag	Trysil (Flermoen)	Støpt veiv og bladtapp, begge m/ spade	26	91	78		260 (x 37)	
Ukjent tegning 1	NTM	veiv virker rart tegnet, vinding ramme tegnet ca 70 cm, usikker radius:	55					
Åkra - sagan	Kinsarvik/Hardanger	cirka mål på radius	35					
Haukebo- sagan	Molde							
Framstadsagen	Frønningen/ Sogn	cirka mål på radius	35					
Saga på Grind	Tørvikbygd, Hardanger		25					
Aven	Korgen		27					
Fundlibekken	Vinje, Telemark	Alle mål unntatt radius er usikre	26	50	40		< 60	
Krumtapp Lima 1	Lima, Sverige	"T-type", kon ende, T er essesveist på	26,2	85	60	45	131 330 bredde på T	
Krumtapp Lima 2	Lima, Sverige	"T-type", kon ende, T er klinket på, delvis knekt, reparasjon? Buet veivarm	31	95	75	79	80	
Krumtapp Lima 3	Lima, Sverige	"T-type", ser støpt ut, tung, var fastfrosset, fikk ikke veid den.	32,7	105	78		112	
Krumtapp Lima 4	Lima, Sverige	Liten knekt veiv, rett arm, kun 1/2 bevart. Annet enn sag? Cirka radius:	26		50			
SJF 12775	Øyer, Oppland	Norsk Skogmuseum. Krumtapp rett veivarm med blad	29	70	70	36	76,5	
SJF.02563	Dep fra Glomdalsmuseet	Norsk Skogmuseum. Krumtapp, buet veivarm, med blad	34	73	73	48,7	79 285 (x 25)	
SJF.02564	ukjent	Norsk Skogmuseum. Krumtapp med blad, buet veivarm, merket MSV, kont blad	28	92	78	57,3	81 290 (x 20/25)	
SJF.02565	ukjent	Norsk Skogmuseum. Bladtapp		92		29,9	52 320 (x26)	
SJF.01411	Namsos	Norsk Skogmuseum. T- type, kon ende. Rett veivarm	33	75	75	47,4	92,5 315 bredde på T	
Andrå- saga	Rendalen	Norsk Skogmuseum. Rett veivarm med blad. Støpt	26	118	105			

Figur 15 Oversikt over mål på krumtapper. Tabell: Morten Pedersen

Til sammen har jeg målt opp 8 løse krumtapper og 1 bladtapp, ved Norsk Skogmuseum og Hembygdsgården i Lima, Sverige. Disse ble også veid. I tillegg har jeg målt radius og hovedmål på krumtappen som er montert i 5 sager, og tatt mål på 5 krumtapper ut fra oppmålingstegningene ved Norsk Teknisk museum.

<sup>3</sup> Se vedlegg 1.

Oppmålte krumtapper (grønt) varierer i radius fra 26- 34 cm, eller 10 – 13 norske tommer. Mål tatt fra oppmålinger av sager (gult) plasserer seg noe lignende, men her er sjansen for feil større. Saga på Dovre virker å ha en gammel krumtapp som er gjenbrukt, den er noe lengre.

Hjulet på Røros, Saga i Trysil og Andrå- saga har alle veiver som er støpt med 26 cm radius (10 tommer). Disse tolker jeg til å være yngre, rundt 1850. Den største veiva, Lima 3, har 12 ½ tomme radius. Krumtappen på Bjorlisaga har over 40 cm radius, men dette er en nyere, sveiset utgave.

## Typisk utforming av en oppgangssag, fra dam til sagramme

### Naturlige steder å anlegge en sag

Nøyaktig plassering av inntaksdam, renne og sarhus har vært vurdert ut fra en rekke faktorer på 1700-tallet:

Vannmengde i elva, både i flommen vår og høst, og midt på sommeren

Fallhøyde fra dammen ned til drivhjul

Berg og terreng, mulighet for å anlegge en dam på en gjennomførbar måte, uten for store omkostninger.

Isforhold, minimere risiko for ødelagte renner og inntaksluker.

Overordnede faktorer som tilgang til skog og hensyn til annen bruk av elva (øvrige møller, fiske, og etter hvert tilrettelegging for fløtning) måtte avklares. I tillegg måtte man ha tillatelse fra myndighetene, gjennom en tildeling av «privilegier» fra Kongen. Dette privilegiet definerte hvor mange sagde bord hver sag hadde lov å sage, og om disse kunne selges, eller kun var til «gaardens fornødne behov». Videre dannet privilegiet utgangspunktet for skattlegging av saga (Hutchison, 2015).

I de områdene der man opp gjennom historien tok i bruk vannkraft, etablerte man først mindre anlegg i passe store elveløp. Så lenge det var plass nok, og man hadde et valg. Jo mer av elvene som ble tatt i bruk, jo mer teknikken utviklet seg, og jo mer folketallene vokste, desto større ble kampen om ressursene. Det førte til bedre utnyttelse av tilgjengelige vannressurser, og større anlegg. Dermed beveget man seg gradvis fra små elver til å ta i bruk større vassdrag og bygge større anlegg. (Reynolds, 1983, s. 51-97). Når vi i dag vurderer utforming og plassering av gamle oppgangssager, bør man også ha med dette perspektivet.

### Inntaksdam

Inntaksdammen skal sikre at tilstrekkelig vann er tilgjengelig for å kjøre saga. Dammen henger nøye sammen med terreng, vannføring og fall, samt grunnforholdene. Derfor varierer utformingen av dammen mye. Dammen kan være alt fra større damanlegg som fylles opp og tappes ned som et batteri, eksisterende store vann der utløpet kontrolleres med demninger, til små ledevegger som kun leder en del av en stabil elvestrøm inn mot vannrenna. Oppgangssager med ett blad på slutten av 1700- tallet har som oftest hatt relativt små damanlegg.

*«Den dåtida tekniken kunde inte uppföra dammar tvärs över starka och breda forsar. Om det i älvfåran låg en klippa, som avdelade en smalare älvgren, kunde en dam byggas där.» (Meinander, 1945, s. 92)*

Arne Pedersen mener Ingebrigt Eliassen som bygde Aursfjordsaga i 1796 gjorde en nøye vurdering av hvor saga og inntaksdammen skulle plasseres. Her er det naturlige forhold for en dam mellom et berg et stykke ut i strømmen, og bredden mot øst. Elveløpet har en svak sving ovenfor dammen. Dammen ligger i innersvingen av elva, og isen vil treffe hardest i yttersvingen, der den kraftigste delen av strømmen legger seg, når isen går på våren.

Det sto tidligere en rist i inntaket for å stoppe isflak, trær og andre ting som kom med vårflommen (Lundvang og Renmælmo, 2018). Ifølge Arne er det mest vann og best forhold for å sage i mai og juni, fra isen går og så lenge vårflommen varer. I tillegg hadde «gamlingen» en damstokk liggende på bunnen av hovedstrømmen, på skrå over elva, som ledet mer av hovedstrømmen inn i dammen jo mindre vann det var i elva utover sommeren. Det ga tilstrekkelig vannføring til at denne saga kunne skjære hele sommeren.



Figur 16 Inntaksdammen på Aursfjordsaga (gul pil). Plassering av damstokk (gul strek). Foto: Skjermdump fra filmen "Aursfjordsaga- enkelt og genialt"

På bildene fra saga på Grind i Tørvikbygd, Vestland Fylke, ser vi hvordan det naturlige fallet blir utnyttet. Selv om bildet ikke viser selve inntaket, er det trolig ikke noe stort damanlegg øverst.





Figur 17 Fossen og øvre del av renne på saga på Grind, Tørvikbygd, Hardanger. Foto: Gunnar Thuesen/ Norsk Teknisk Museum

Å se an elva, og mulighetene man hadde for å utnytte vannfallet med minst mulig behov for større damanlegg, kan etter min mening ha vært avgjørende for om det ble bygd sag eller ei. Større dammer må ha vært svært ressurskrevende, og utgjort en stor del av jobben. Men likevel var kunnskapen om å bygge større dammer godt kjent på 1700- tallet.

Christopher Polhem beskriver i manuskriptet «Om quarndammar» flere løsninger for å anlegge en dam og holde den tett (Sandblad, 1946, s. 332-346). Han retter beskrivelsene inn mot dammer til alle vanddrevne formål:

*«Vijdh alla vattuvärk som fodra sin drift aff vattn, ähr merendels dammar aff nödhnen, dåk sombliga större och svårare, och sombliga mindre, effter naturens förmåner (...) om huilket iag icke håller något särdeles behöfver beskrifva, emedhan det ähr ingen bonde som icke veet att updäma så mycket vatten som han behöfver til sin squaltquarn...» (Sandblad, 1946, s. 332-333)*

Etter en innledende teoretisk del om vannets tyngde i forskjellige høyder og posisjoner, tar Polhem utgangspunkt i bygging av en dam med løsmasser og tømmer. Damveggene må gå like dypt ned i marka fra bunnen av dammen, som dammens høyde opp fra bunnen. (Sandblad, 1946, s. 344)

Polhem forutsetter en nøye vurdering av grunnforholdene på tomta, og beskriver flere detaljerte løsninger for bygging i løsere masser, og på steingrunn.

*«Til små dammar behöfes icke sådhana afsättningar, fodrandes huar afsättning icke vara under eller öfver 6 quarter eller 4 huarf aff timber. Orsaken hvar före man bör belasta de indra väggarna med sten och ej de yttra, ähr: att vattnet har den natur att den alltid lyftar den innre väggen upföre, men ej den yttra, som det icke så fullkomligen nååkas, huilken och förutan det att sielva timbretz tyngd gör på den yttra väggen til fyllest, så varder hoon och medelst vattnetz uthskjutande, mera*

*tilsamman tryck än lättat, och ju bredare foot og större affsättningarna göras, iu sterkare står den emot vattnet.» (Sandblad, 1946, s. 335)*

Det er altså viktig å legge stein innvendig i dammen for å motvirke at tømmeret flyter opp, og at vannet ikke får tak. Jo bredere fylling, jo bedre står den mot vannet. Han påpeker videre at den ytre tømmerveggen kan råtne fortere enn den indre veggen, som sammen med øvrig tømmer nærmest stukkene vil være konstant fuktig. Tømmer som vekselvis er tørt og vått vil råtne. Tømmer som hele tiden holdes fuktig varer lenge:

*«Man kan och med flijt göra öfversta såtet så otät att vattnet som siger sig ut igenom sanden, kan hålla den öfra delen af veggen våt. På det sättet ruttnar hön ej på 100 åhr och kan skie längre»(Sandblad, 1946, s. 343)*

*«De besta och varachtigaste dammar ähro dee som byggas aff gråsteen, uppå en hårdh steengrundh, dåk der han ähr blötare kan icke mindre pålas under sten, än under trä. Steendammar läggas medh groff steen utantil och grannare innanefter och sädhan grus och sandh. Man kan och låta pålarna vara lijka höga medh damen, och fylla medh steen utanföre, och grus och jordh innanföre damen» (Sandblad, 1946, s. 337).*

Det er ingen tvil om at håndverket med å bygge dammer og elveforebygninger i stein og tømmer, med fyllinger av forskjellige materialer var godt utviklet på 1700-tallet. I takstforretningen fra Fritzøe Bruk<sup>4</sup> er oppbygningen av «Faris hoved dam» beskrevet. Dammen er totalt 203 ½ alen bred og 10 alen høy midt på (ca 128 x 6,3 meter) Dammen kontrollerte vannet fra den store Farris- sjøen øverst i Farris- elva, ei elv med rundt 20 meters fall ned til sjøen gjennom dagens Larvik sentrum. Dammen leverte vann til å drive en rekke masovner, smihammere samt 7 sagbruk som er beskrevet langs elveløpet. På øst og vestsiden er det bygd fløyer,

*«opsadt af hugen graae stens Muur, hvortil ned lagt i seqvent, at længde 67 Alen.....samt høyde ved brystet 8 til 9 alen...» For den vestre fløyen, oppgitt til 70 alens lengde, oppgis det også: «Udi hvilken fløy i Grunden er Slynge Værk den heele Længde igiennem fra Brystet, ligeleedes af Eege-tømmer, og skiet med Furre-planker, hvorpå Muuren er andlagt.» Midt i strømmen beskrives et «Bryst- værk af Eege-tømmer, fra Grunden af oppført, Langt 66 ½ Alen, Bredt 16 ½ alen. Og høyt for til 10 Al (.....)hvorudi 4re Under Grund Løb, og 5 Over Løb, alle indklæddee i Bonden med Eege- og på siiderne med Furre- planker(...) Dette bryst- værk er tillige skiet fortill dobbelt med Fuurre Planker, samt tæcket oven paa med 4re Længder furre bord høvlede og tiærede.....»(Brandth, 1776, s. 242)*

Anlegg som dette krevde mye kapital, som på denne tiden var forbeholdt adelen og kongemakten. Håndverket med dambygging har vært høyt utviklet, selv om det nok har variert hvor tilgjengelig den har vært i de forskjellige områdene av landet. En bonde med ordinær økonomi som ønsket å sette opp en enkel sag, kan ha fått impulser og kunnskap fra de større anleggene, selv om hans egne løsninger måtte være mindre og rimeligere.

Opplysningene over viser at det var god økonomi og mindre risiko å gjøre seg godt kjent med elva før man plasserte inntaksdammen, renna og saghuset. Slik reduserte man arbeidsmengden med å bygge saga, og reduserte risiko for is – og flomskader.

---

<sup>4</sup> Se vedlegg 2





*Figur 18 Ising på Saga i Bygningshistorisk Park, Dovre, i April 2022. Foto: Morten Pedersen*

## Inntaksluka eller Damluka

Inntaksluken står ved inntaket fra dammen, for å kunne stenge av vannforsyningen til saga. Denne er gjerne utformet slik at vannrenne, hjul og saghus ikke er utsatt for vann om vinteren, for å unngå frostskafer. Isen gir mest skader dersom den får sprengning på konstruksjoner og luker. Selv om isen ikke ødelegger noe, vil det ta lengre tid før den smelter vekk, og gi kortere sagesesong på våren. På Aursfjordsaga er dette en hengslet luke der åpningen står mot strømmen, og vannet slippes ut i bunnen av renna når saga ikke er i bruk.



Figur 19 Arne Pedersen gjør klar til å sette vann på Aursfjordsaga, damluka i øvre posisjon. Foto: Skjermdump fra filmen "Aursfjordsaga- enkelt og genialt"



Figur 20 Damluka senkes til nedre posisjon, og vannet begynner å renne nedover i renna. Foto: Skjermdump fra filmen "Aursfjordsaga- enkelt og genialt".

En annen måte å løse dette på er en loddrett luke med løfteanordninger av forskjellig slag, som står i en slisse i en loddrett lukeåpning. Luker som står med hele flaten sin 90 grader på tvers i vannstrømmen, vil ha et stort vanntrykk mot seg. Generelt må en slik lukelem være tung om den skal synke på tvers i vannstrømmen. Det virker som mange luker har vært laget for å skjære gjennom, eller treffe vannstrømmen på skrå, nettopp for å redusere vanntrykket mot disse, slik figur 19 og 20, samt tegningene i 1 viser. Tverrluker kan lages av en skiferhelle, det er gjort slik på de rekonstruerte sagae på Bjorli og Dovre. Om dette har vært gjort slik før i tiden, har jeg ikke fått kartlagt i dette arbeidet.

## Vannrenna, eller Trogången

Vannrenna skal føre vannet mest mulig effektivt fra inntaksdam til vannhjulet. Dersom renna har store knekker og ujevnheter, kan det skape krefter i vannet som går i mange uønskede retninger. Det kan bli en mer uforutsigbar strøm dersom det er motfall eller lommer som bremser opp deler av vannstrømmen. En slett og ryddig renne med myke former fungerer derfor best. Vanlig sagd eller økset overflate gir ikke friksjon av stor betydning.

Hvis vannet får anledning til å bremse mye eller stoppe helt opp på vei nedover, forsvinner mye bevegelsesenergi der. Da må vannet «ta fart igjen». I verste fall stopper vannet helt opp, da kan fallhøyden beregnes fra stopp- punktet lenger ned i renna, og ikke fra inntaket. Det gir da mindre kraft mot vannhjulet. En renne med gradvis økende fall, eller en renne med en flatere del øverst mot en bratt «styrtrenne» nederst vil derfor fungere best.

Dersom en lang, og tilnærmet flat renne med høye vegger har en tverr luke nederst, kan man lagre opp en stor mengde vann før luka åpnes. Denne mengden kan bli større enn det som er i renna når saga kjører, siden det blir mer fart på vannet under kjøring. Dette kan gi en uforutsigbar vannstrøm. Saga kan «ruse opp» med høyere turtall rett etter at luka åpnes<sup>5</sup>. Men en slik «puls» kan også kompensere for andre feil, og starte en treg sag. Det beste er om saga ikke har andre feil, og starter lett og går jevnt fra start. Plassering og utforming av stemluke, og utforming av renne er derfor viktig for hvordan saga oppfører seg.

For handverkeren er det interessant at det som gir en mest hensiktsmessig vannstrøm også er det som ser jevnt og pent ut, det «skjær ikkje i auan».

På Aursfjordsaga observerer jeg at vannet øker hastigheten jo lenger nedover i renna det kommer. Så lenge vannmengden i renna er konstant, vil høyden fra bunnen av renne til overkant vannstrøm bli lavere nedover i renna. På Aursfjordsaga er renna litt bredere øverst. Ved inntaket ca 1,2 m, etter ca 10 meter er bredden 1 meter, herifra har den samme bredde ned til saghjulet. Øvrige sager i det undersøkte materialet har jevn bredde i nedre del av renna. Men på tegningen av saga på Grind er renna bygd smalere, som en trakt, de siste metrene ned mot saghjulet. Dette vil gi en smalere og høyere vannstrøm inn mot vannhjulet.

---

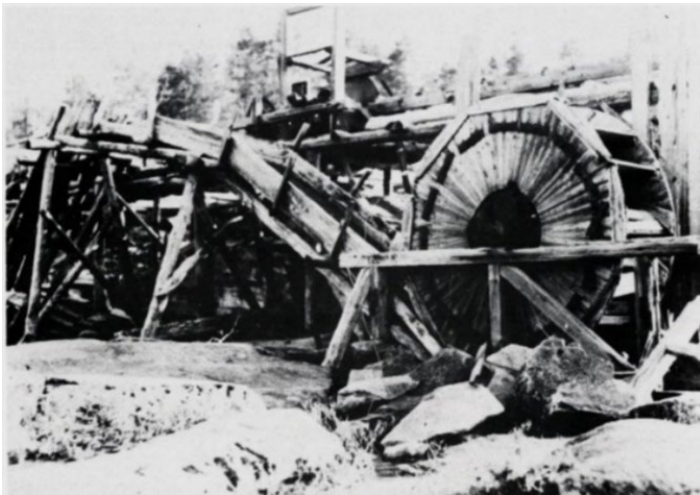
<sup>5</sup> Observasjoner på Sagelva Vasskraftsenter, Bjorli, 21. – 24.06.2021



På bildene under ser vi nedre del av renna på Aursfjordsaga, samt en sag på Hamarøy og en i Vefsn. Det er lagt mye arbeid i å forme en jevn og pen renne.



Figur 21 Aursfjordsaga ca 1950. Fotograf ukjent.



Figur 22 Oppgangssag på Hamarøy, 1965. Fotograf N.O. Kaasen



Figur 23 Almdal i Vefsn, 1950. Foto: J. Aune

Arne bruker navnet trogången, vassrenna eller renna litt om hverandre. I filmen om Aursfjordsaga poengterer han at far hans, Alfred Pedersen, kalte vannrenna for Trogången (Lundvang og Renmælmo, 2018).

Ordboka til Ivar Aasen fra 1873 forklarer ordene tro og gång slik:

«Tro, f. (Fl. Trør), 1) en udhulet Blok, et langagtigt Kar som er dannet ved Udhuling. Østl. (Smaal. Gbr.). Afvig. Tron, Hall. (Andre St. Brydja, Kupa, Stokk). G.N. þró (pl. þrær); Ang. þruh. – 2) en Rende, Vandrende af Træ; f. Ex. ved en Mølle. Gbr. Østerd. Trondh. Nordl. (Andre St. Slok el. Renna). – Om et andet Tro (f.) s. Troda.»  
Jeg oppfatter «- gång» til å være dialekt for gang eller gangen: «Gang, m. 1) Gang, Gaaen; Fodvandring. Afvig. Gaang, B. Stift og fl. Vera aa Gange: være paa Færde, i Bevægelse. Lyder som "aa gaangje", Nordre Berg. Paa Sdm. ogsaa "aa gaagnaa", vistnok af et gammelt Dativ: á göngunum. – 2) glidende Bevægelse, Fart, Fremskriden. Faa Baaten paa Gang. Det gjeng sin jamne Gang (f. Ex om et Arbeide). – 3) Stigning, Opsvulmen, Opbruusning. Jf. Sjogang, Brjostgang.» (Aasen, 2003).

Dette viser at navnet som Alfred Pedersen brukte har stor tidsdybde. Den ene betydningen av tro er «rende, vandrende af træ», som Aasen finner brukt fra Gudbrandsdalen til Nordland. Her nevner han også navnene «Slok eller Renna» i bruk andre steder. De tre første betydningene av «Gang» med avvikende form «gaang» peker mot bevegelse og fart, samt stigning, opbrusing, sjøgang. Tro peker altså på utforming, gaang beskriver det som skjer i renna.

Christopher Polhem påpeker at vannets naturlige løp i fri luft følger en parabelform. Han er opptatt av at en god renne minst mulig skal tvinge vannet ut av sin opprinnelige form. Han påpeker at det alltid vil være friksjon mot rennas bunn og sider, men at fordelene med å konstruere en perfekt renne blir overskygget av at



Figur 24 Vannstråle i naturlig løp i fri luft. Foto. Therese Heimdal

«...icke tijden med reparationer, ovuligt fålk, stränga vintrar, ijs, och annan orenlighet gjør all accurates i detta falllet förgiäfvdes...»(Sandblad, 1946, s. 326-327).

Polhem skriver dette på første halvdel av 1700- tallet, og det er først 50 -70 år etter hans død det ble mulig å lage vannrør og kanaler i valsede, glatte jernplater.

Lite fall gir lav vannhastighet. Derfor kan en flat renne fungere godt sammen med et stort overfallshjul, der vekten av vannet, mer enn farta på vannet, dreier hjulet rundt. I denne sammenhengen, der renna skal forsyne et underfallshjul, er det et poeng å la vannet løpe mest mulig uhindret ned mot underfallshjulet med størst mulig fart, uten at turbulensen i vannet blir større enn nødvendig. Selv om vannstrømmen blir mer turbulent med økende fart i renna så vil en mest mulig ensrettet vannsøyle ivareta energien i vannet best, fram til vannet treffer skovlene.

Når Arne siterer far sin, Alfred, på at «du må ikkje slå luft i vatnet», tolker jeg dette i denne sammenhengen.

Mye luftbobler og «rot» i vannet er en konsekvens av mye turbulens, der en større del av kreftene i vannet jobber i andre retninger enn i hovedretningen.

Arne siterer også Alfred som fortalte han at «Trogången må gå helt under saghjulet». Renna på Aursfjordsaga er bygd på denne måten.



Figur 25 Vannhjulet som driver Aursfjordsaga. Foto Morten Pedersen



Figur 26 Nærbilde av skovler og bunn av renna under vannhjulet på Aursfjordsaga. En setning i opplagringen til hjulet gjør at hjulet tar bort vannrenna. Foto: Morten Pedersen

For meg har dette vært en selvfølgelig utførelse, noe vi snakket om som en fordel når vi brukte saga. Med en slik renna tett under saghjulet tvinger du vannet mot skovlene, vannet *må* trykke mot skovlene for å passere. Det er cirka 12 millimeter mellom skovlene og bunnen av renna. En annen viktig effekt får man dersom saga treffer stor kvist, eller når man skjærer grovt tømmer. Når lasten på hjulet øker, bygger vannet seg opp *foran* hjulet, og vekta og trykket av vannet blir større akkurat

når du trenger det. Man får altså en «turbo»- lignende effekt, saga får mer krefter på kvist og stort tømmer.

På Bjorlisaga treffer vannet høyere opp på hjulet, ca klokka 8 sett frå siden. Renna er avsluttet *foran* hjulet, og følger ikke undersiden av hjulet. Her får man ikke effekten som på Aursfjordsaga, da vannet ramler ut av skovlene mye tidligere i rotasjonen, og vannet vil trolig ikke bygge seg opp på samme måte ved stor belastning. Når jeg studerer tegningene fra Norsk Teknisk Museum, viser det seg at en lignende avslutning som på Bjorli har vært utbredt (vedlegg 1).

Begge disse løsningene er tradisjonelle. «Trogången under renna» ble muntlig overlevert fra Alfred til Arne som et viktig punkt når de restaurerte saga på 70-tallet. Jeg finner det likevel rart om tegningene i vedlegg 1, fra Nordland til Hardanger, som ellers framstår veldig nøyaktige, skulle være helt feil på dette punktet. Derfor er dette hoveddelen av arbeidsforsøk 2.

Vanrenna er nok den delen av saga som råtnet vekk først, og det er vanskelig å finne gode originaler å måle opp. Oppmålingstegninger har ikke alltid hele renna med, og sager flyttet til museum avslører heller ikke opprinnelig fallhøyde. Nybygde rekonstruksjoner er også et usikkert grunnlag, så lenge jeg ikke har inngående kjennskap til grunnlaget og måten de er rekonstruert på. Aursfjordsaga med sikker oppmåling/ rekonstruksjon har 5,6 meter fall. Fundlibekken (målt fra tegninger) har 4,5 meter, og ingen av sagae på øvrige tegninger fra Norsk Teknisk museum har *mindre* enn 3,7 meter fall, men trolig noe mer. (øvre del av renna er ikke med på tegningene). Jeg har ikke hatt kapasitet til å måle fall på flere sager i dette prosjektet. Grunnlaget er derfor tynt, men et lite inntrykk får man.

## Stemluke

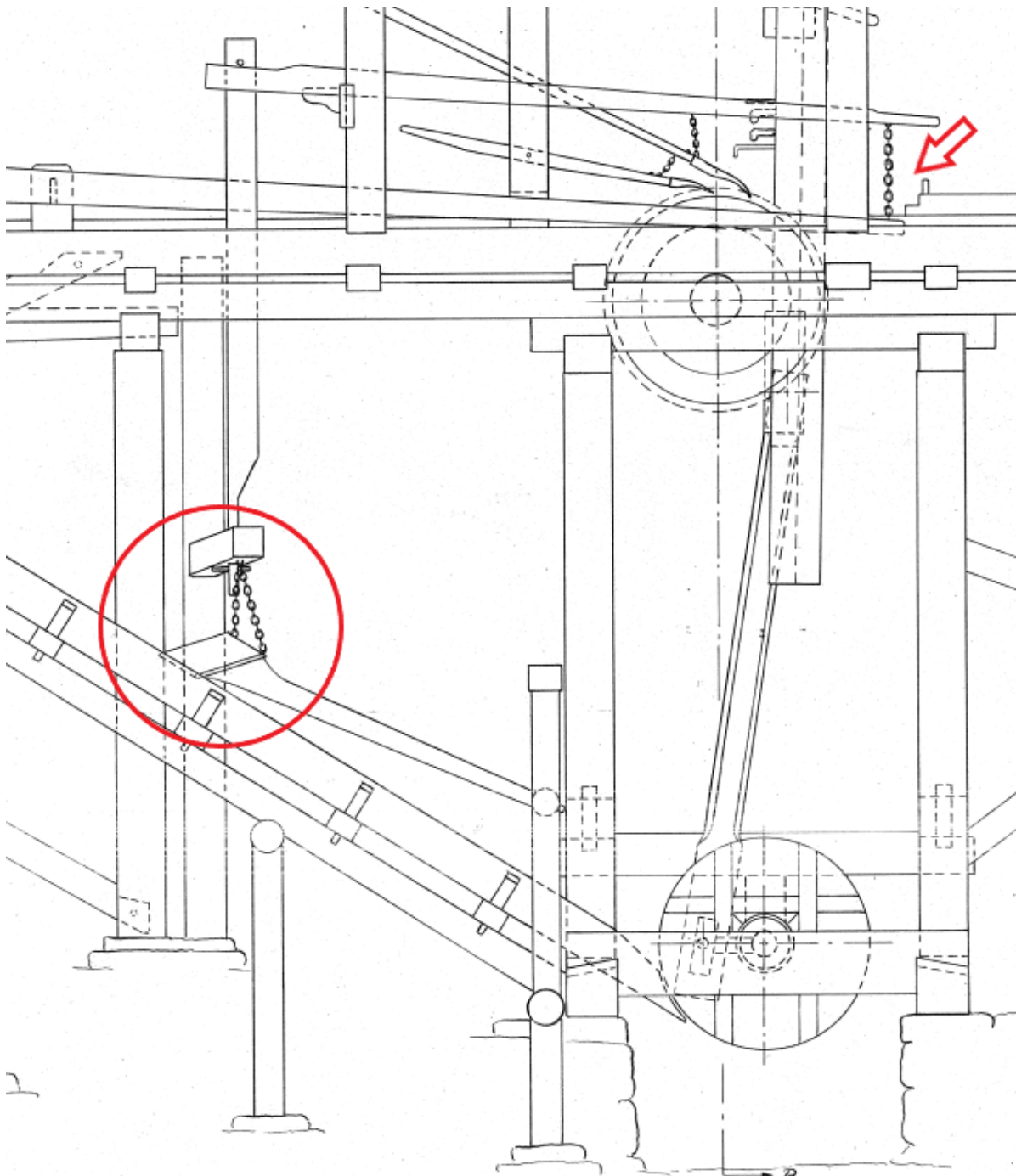
Stemluka står nærmere saghjulet, og er som regel en fall- luke med en hengslet arm nedstrøms mot et kraftig anlegg. Den «stemmer» mot vannet, derav navnet. Ivar Aasen har også her god oversikt:

*«stemma, v.a. (er, de), stoppe, standse, sætte Dæmning for. Nogle St. stæma (stæme). G.N. stemma; Sv. stämman. (Jf. demma). Stemma ei Kvern: standse en Mølle ved at stoppe Vandets Tilløb.*

*Stemma, f. 1) Stoppelse, Standsning. Sjelden. S. Blodstemma. – 2) Stigbord, Luge hvormed man stopper Vandet i en Rende. Nogle St. Stæma. (B. Stift). – 3) Dam, opdæmmed Vand; s. Stemm.»(Aasen, 2003)*

Vektarmen har som regel en automatisk stopp, den løses ut når sagbladet nærmer seg enden av stokken, slik at ikke bladet sager inn i dyna som ligger under enden av stokken.





Figur 27 Utsnitt fra tegningen av Haukebøsa, Molde, i vedlegg 1. Stempluka (rød ring) henger i åpen posisjon over renna under, klar til å løses ut fra et punkt ved sagbenken (rød pil). Tegning: Gunnar Thuesen, Norsk Teknisk Museum.



## Saghjulet, vannhjulet som driver saga

Vannhjulet skal omdanne vannets retning og kraft i vannrenna, til en roterende bevegelse, der mest mulig fart og kraft beholdes.

Som beskrevet vi altså hastigheten på saga være bestemt av fallhøyde og størrelse på saghjulet. Så vil reell hastighet henge sammen med hvor tungt saga belastes (vekt på ramme, sliping og event. antall blad, bredde på sagskår, friksjon i mateverk, størrelse stokk). Selv om hastigheten i utgangspunktet bestemmes av diameter på hjul, og vannmengde, så kan bredden på hjulet økes, for å tåle større belastning med samme hastighet.

Arne forteller at Aursfjordsaga ideelt sett skal gå 70 slag pr minutt. Siden veivakslingen ikke er balansert, oppstår det sentrifugalkrefter. Det gir for mye vibrasjon om saga går stort fortere enn dette. Likevel kan man skjære med lite vann ned mot 40 – 50 slag, men det går tregt. Fra Finland viser Meinander til et oppslagsverk fra 1800 når han beskriver hastigheten til en 1700- talls sag:

*«...Sjuttonhundretalets vattensag hade fortfarande ramens vevstake direkt förbunden med hjulaxeln, så at ramarna rörde sig i takt med vattenhjulet. På det sättet nådde man – enligt bergsmekanikern Nordwalls uppgift i den år 1800 utgivna skriften «afhandling rörande mekaniken» - med ett hjul om 2 alnar i diameter en hastighet av 50 skär i minuten.»*

Dette er skrevet i sammenheng med en beskrivelse av framskrittet i sagindustrien, der denne varianten avløses av sager med større saghjul og utveksling. Fortsatt med henvisning til Nordwall, beskriver han hastigheter på 70 -80 slag i minuttet på sagramma, drevet av et 8 alens hjul via utveksling. (Meinander, 1945, s. 251) Det har dessverre ikke vært rom for å studere Nordwalls avhandling nærmere i denne oppgaven.

Forholdet mellom hastighet på hjulet, fallhøyde, hvor fort saga skjærer og hva saga tåler av vibrasjoner er et sentralt punkt, der hjulets størrelse er sentralt.

*«Vattenhjulet måste göras litet, då dess gang annars hade blivit för långsam. Som ett gängse mått anförs 2 alnar i diameter» (Meinander, 1945, s. 92).*

Stemmer denne opplysningen fra Finland, som omhandler underfallshjul til oppgangssag, med sagene i Norge? 2 Svenske alen blir 118,8 cm. 2 Norske alen = 125,6 cm. 2 gamle norske alen = 110 cm. Det er ikke mulig å være sikker på hvilken alen som er nevnt her, men det omtales uansett som et omtrentlig mål.

Størst er hjulet på Aursfjordsaga, med 152 cm utvendig. Arne forteller at han ved rekonstruksjonen hadde den gamle vasshjulåsen, der en eike i hjulet enda satt fast, med avtrykk etter vangen til selve vasshjulet. Jeg regner derfor dette som et sikkert mål. Minst er hjulet på tegningen av saga fra Aven, med 100 cm. Sagene på Åkra, Framstad og Grind er nærmest to nye norske alen, med mål fra 118 -128 cm. Jeg tolker dette som at 2 alen kan ha vært en sannsynlig tommelfingerregel, men ikke et absolutt mål.

Bredden på saghjulet varierer vel så mye i grunnlagsmaterialet. Breddene ligger mellom 62 – 85 cm effektiv bredde. Dette er målt innvendig mellom vangene, og er bredden av skovlene som vannet kan virke på. Jeg har da utelatt hjulet på Østbyfossen som er et nyere overfallshjul, og hjulet på Rørosmuseet, som er et bredere hjul med veiv i hver ende, beregnet for å drive 2 sagrammer samtidig.

Teoretisk beregning viser at diameteren på hjulet avgjør farten på saga. Men bredden på hjulet kan varieres uten at det påvirker farten i stor grad. Slik kan bredden økes for å dra tyngre last mens man beholder samme fart, bare det fins tilstrekkelig med vann.



Figur 28 Vannhjul med 2 alens bredde, gravd ut i tomten etter rammesaga som sto ved Smelthytta på Røros. Foto. Morten Pedersen



Figur 29 Samme hjul som i figur 28. Hjulet er trolig produsert et stykke ut på 1800- tallet, støpte vanger, krumtapper og lager tyder på det. Foto: Morten Pedersen

Selve utformingen av vannhjulene kan variere mye. Aursfjordsaga har eiker i kryss gjennom vasshjulåsen, boltet til vanger, der skovlene er felt inn. Eikene ligger på innsiden av vangen, og renna går på utsiden av vangene<sup>6</sup>



Figur 30 Vannhjulet på Grind- Saga, Tørvikbygd, Hardanger. Foto. Gunnar Thuesen/ Norsk Teknisk Museum.

En annen variant er eiker som ligger rundt den firkantige åsen, boltet på utsiden til vangene. Denne passer godt der renna er smalere og avsluttes foran hjulet, slik det var på saga på Grind i Tørvikbygd. I figur 30 vises også renna som smører veivlageret, bak hjulet.

---

<sup>6</sup> Se figur 25 og 26.



## Krumtapp eller veivaksling, og bladtapp eller nål

Krumtappen skal omdanne den roterende bevegelsen fra vannhjulet til en opp-ned bevegelse, som overføres via veivstangen til sagramma. Så langt har jeg funnet 2 hovedtyper. Begge typer kan ha både rett og buet veivarm.



Figur 31 Krumtapp med blad, rett arm. Fra Ile, Øyer. SJF12775. Foto: Bård Løken/ Anno Norsk Skogmuseum



Figur 32 Krumtapp med blad, buet arm. SJF02563. Foto: Bård Løken/ Anno Norsk Skogmuseum.



Figur 33 Krumtapp med T-fasong fra Ausvass- saga. SJF01411. Foto: Bård Løken/ Anno Norsk Skogmuseum.



Figur 34 Krumtapp med T-fasjon. Buet arm, tangen er klinket på og knekt, mulig det er en reparasjon. Lima Hembygdsgård. Foto: Morten Pedersen

I andre enden av vasshjulåsen, i enden nærmest vannhjulet, er hjulet lagret opp i en bladtapp eller en nål, som er felt inni enden av vasshjulåsen.



Figur 35 Bladtapp, brukt i ytterste ende av vasshjulåsen. SJF02565. Foto: Bård Løken/ Anno Norsk Skogmuseum.



Figur 36 Nål, brukt i ytterende av vasshjulås. Fra Drevja. Foto: Jon Dahlmo.



Det mest sentrale målet på krumtappen er radiusen, som bestemmer hvor mye sagramma beveger seg opp og ned (radius x 2). Jo større radius, jo større sentrifugalkrefter settes i sving. Dette bestemmer hvor fort saga kan kjøre, i forhold til hvor mye risting det blir. Om vi fjerner Bjorli ( unormalt lang radius, ny sveist modell) og Ukjent tegning 1 (en skisseaktig teikning med litt rare detaljer), så ligger radius fra 25 cm til 36 cm.

Uten å kunne fastslå dette sikkert, er tendensen at vandringen på sagbladet ligger rundt 1 alen (24 tommer).

I Lima, Sverige, var 4 smeder, Mathias Helje, Jon Dahlmo, Torgeir Henriksen og Alfred Pedersen samlet 2. – 3. april 2022, sammen med undertegnede og veileder Roald Renmælmo. De smidde veiver og bladtapp til modellen i denne oppgaven, og vurderte samtidig flere gamle krumtapper. T- fasong krumtapp later til å være smidd til av ett langt emne, der T-stykket på enden er essesveist på. «Lima 2» har en T som er klinket på, dette kan være en reparasjon (se figur 34).

Vi fikk ikke noen sikker konklusjon på hvordan krumtappene med blad er laget, men mye tyder på at de kan være laget av 3 -4 deler som er essesveist sammen<sup>7</sup>. Det har uansett vært en solid oppgave å smi sammen 45 -70 kg jern i essa, og er kanskje en god grunn til at støpte krumtapper dukker opp.

#### Smøring av lager til vannhjulet



Figur 37 Lager av rikule i furu med beslag, Aursfjordsaga. Foto: Morten Pedersen



Figur 38 Bevart lager i stein, ved Sagelva Vasskraftsenter, Bjorli. Foto: Morten Pedersen

---

<sup>7</sup> Vurdering fra Alfred Pedersen ved undersøkelse av krumtappene på Norsk Skogmuseum 04.04.2022.

Krumtappen og bladtappen sitter i hver sin ende av vannhjulet, og hviler i hvert sitt lager. Lageret skal sørge for minst mulig friksjonstap når vasshjulåsen roterer, og hindre slakke og banking. Det må derfor smøres godt for å unngå varmgang og begrense slitasjen mest mulig.

Man brukte tilgjengelige materialer til lager. I kyst- og fjordområder der skatebygging var vanlig, kunne importert Pokkenholt brukes. Lager av stein var utbredt, og Rirkule av feit furu var vanlig, som på Aursfjordsaga<sup>8</sup>. På denne saga hviler ytterste ende av vasshjulåsen i et nedfelt hakk i en stor feit kvist i stokken som hjulet hviler på. I takseringen over Fritzøe sagbruks bygninger og dammer er bøk beskrevet brukt i lager til Krum- og bladtapp<sup>9</sup>.

Man smurte nok med det som var for hånden. Steinlager kunne smøres med tynn tjære, og vannsmøring har også vært vanlig. Bildet frå saga på Grind<sup>10</sup>, viser en liten vannrenne som spyler vann inn på veivlageret. I kystområdene var råtran vanlig, den fantes i store mengder, og er en fet olje fra forskjellig fiskelever som smører godt. Dette brukes fortsatt på Aursfjordsaga. Fra Finland er selspekk og talg nevnt (Meinander, 1945, s. 65)

### Veivstanga, eller Krumtapp- stokken

Veivstanga sin oppgave er å overføre opp/ned – bevegelsen som veivakslingen skaper, til sagramma. Navnet «Krum-tap-stocken» brukes i Larvik i 1776. Det er viktig at det ikke oppstår slakke og banking i lageret mot veiva nede, og i hengselet på sagramma oppe.

Det er stor variasjon i hvordan lager og hengsel er utformet. Jo kortere veivstanga blir, jo mer av bevegelsen vil trykke nedre del av sagramma litt frem og tilbake i hver omdreining. Med unntak av saga på Østbyfossen («ny» rekonstruksjon) er lengden ca 1,5 – 3 meter. Dette er ganske stor variasjon, men kan også henge sammen med terrenget sagene har stått i.

Min teori er at så lenge veivstanga ikke er for kort (mindre enn 1,5 meter), hindrer den ikke funksjonen selv om den er ganske lang. Vandringen til sagramma blir uansett like lang. Eneste ulempe er at stanga blir tyngre jo lengre den er, men dette er nok ikke avgjørende. Dermed kan man ha en høy mur, eller et høyt bolverk eller reisverk i bratt terreng. Men dette kan også være et motsatt hensyn i flatt terreng. Kanskje må saghuset bygges høyt nok til at veivstangen får en fornuftig lengde?

---

<sup>8</sup> Samtale med Arne Pedersen 03.02.2022

<sup>9</sup> Se vedlegg 2, side 245

<sup>10</sup> Se figur 30

## Sagramma

Inni rammen er bladet spent opp. Sagramma må være formstabil og kraftig nok til at den ikke slår seg under sagingen, og den må tåle at bladet spennes opp inni ramma med en viss kraft. I tillegg skal den over tid tåle slitasjen som oppstår mot sleidene eller klossene på begge sider.

Jeg finner 2 hovedtyper. Ramme som glir i fastmonterte sleider, som på Aursfjordsaga (figur 40), eller ramme opplagret med klosser som er festet til saghuset med jernbøyer og kiler oppe og nede (figur 39).

Sagramma er i underkant festet til veivstanga, den er opplagret på begge sider i sleider som er fastmontert loddrett i saghuset. Ramma må være stor nok til at grovt tømmer slipper igjennom. På 1700-tallet er det fortsatt den grove urskogen som blir til eksportbord, og til eksport skulle materialene holde minstemål. 12 x 2 tommer, og 6 alens lengde, var en vanlig handelsstandard på denne tiden (Meinander, 1945)



Figur 39 Sagramma på Andrå-saga. Foto: Tore Fossum/ Anno Norsk Skogmuseum.



Figur 40 Rolf Hundal inspiserer sitt nye hagebord, fra en stokk på ca 90 cm diameter, som ble sagt på Aursfjordsaga. Foto: Arne Pedersen

## Arbeidsforsøk

### Rammebetingelser og avgrensning

For å få en fysisk bekreftelse på hva som påvirker kraftveien i en oppgangssag, er det hensiktsmessig å utføre modellforsøk.

Selv om jeg i denne sammenhengen ikke går inn på en matematisk oppskalering av resultatene, er det smart å utforme modellen slik at man kan gjøre dette senere, ved behov. Det interessante er først og fremst å observere effekten av de endringene man gjør, og få en pekepinn på hva som øker eller reduserer saga sin ytelse.

Ut fra det jeg har funnet i det registrerte materialet, og Arne sin tradisjonskunnskap, er det noen kritiske områder i kraftveien som er interessant å teste ut.

Avslutning av vannrenne mot saghjul; Hvor mye av kraften i vannet får virke på saghjulet? Må renna gå under hjulet eller avsluttes imot hjulet?

Hvor mye påvirker det hjulets ytelse om vannstrømmen blir forstyrret med turbulens og luft i vannet?

Det er også en mengde andre detaljer som påvirker saga sin ytelse. I dette arbeidsforsøket fokuserer jeg på disse to punktene. Modellen bygges likevel slik at den kan tilpasses flere ulike forsøk senere.

For å simulere vannstrømmen gjennom saghjulet er det ifølge Torbjørn Kristian Nielsen ved Vannkraftlaboratoriet viktig at ikke hjulet blir for lite. Han bekrefter at målestokk 1:6 er stort nok til at det oppstår turbulent strømming i hjulet, med god margin. Dette gjør at resultatene lar seg overføre til en fullskala sag. Jeg bygger derfor sagmodellen i målestokk 1:6<sup>11</sup>. I denne målestokken vil også fallhøyden bli cirka en meter, noe som ikke er større enn at det kan rigges til rimelig enkelt.

Modellen skal ha to oppgaver; Den må gi troverdige testresultater som lar seg skalere opp, og den skal ha en formidlingsfunksjon med en tradisjonell oppbygning. Prosessen med å bygge den gir meg i tillegg større innsikt i det å bygge en fullskala sag, og jeg får en god mulighet til å diskutere løsninger med Arne underveis.

## Bygging av modell

Det er i utgangspunktet *maskinen* oppgangssag som definerer *saghuset*, ikke omvendt. Dermed er det ikke nødvendig å lage en tro kopi av et spesielt saghus for å simulere virkemåten. Jeg bygger i stedet saghuset ut fra det maskineriet trenger for å fungere godt. Modellen blir i utgangspunktet tilpasset testing ved Vannkraftlaboratoriet, NTNU. Aktuell testplassering der er nedi en renne som er 1 meter bred. Modellen må kunne flyttes dit (og andre steder).

Jeg lager derfor en «bærestol» i bunnen som er 95 cm bred, med handtak i begge ender. Disse forutsetningene begrenser hvor stor modellen kan bli. Siden mateverk og sagbenk ikke er en del av denne oppgaven, lager jeg et saghus bredt nok til å romme sagramma med god margin, men i halv lengde. Svill og liner mot den manglende halvparten beholder jeg lang nok til at disse kan skjøtes mot en eventuell seksjon til senere.

---

<sup>11</sup> Epost fra Torbjørn Kristian Nielsen 02.02.2022



Utgangspunktet for modellen blir saghjulets størrelse, krumtappens radius, og at ikke veivstanga blir for kort. Vannhjulets diameter med 2 alen som utgangspunkt blir da 21 cm i skala 1:6. Jeg tar høyde for Aursfjordsaga sitt noe større hjul, som da blir  $\varnothing$  25,3 cm.

Jeg hentet senvokst myrfuru til modellen i desember og januar. Jeg kombinerer dette med tettvokst furu fra større trær oppover i modellen. Myrfuru var vanskelig å finne bein nok til selve saghuset. Inntrykket mitt er at tettvokst og grovt tømmer ofte er brukt nederst i syll og fundament på saga. Myrfurua blir derfor brukt her.



Figur 41 Hugging av tettvokst småfuru. Foto Morten Pedersen



Figur 42 Fundament og sviller tar form. Foto. Morten Pedersen



Siden modellen under testing kan bli stående i rennende vann, er det greit at den er tung. Jeg legger noen skiferheller nederst, som også illustrerer berg, og bygger opp med skifer som holdsteiner i hjørnene. Vekten på saghuset blir proporsjonalt mye mindre enn 1/6. Vekten vil derfor ikke holde bygningsdelene stabile på samme måte. Derfor setter jeg skruer skjult gjennom langsyllene og gjennom alle hjørnesteiner ned i ramma under steinen.



Figur 43 Felling på svill under vannrenne. Foto: Morten Pedersen



Figur 44 Gulvåsene på plass. Foto: Morten Pedersen

Saghuset bygges som en tradisjonell stavkonstruksjon, med liner, staver og skråband. Dobbel line i etasjeskillet/ saggulvet gir god innfesting for å felle ned gulvåser. På saghuset utelater jeg det ene hjørnet for å gi bedre innsyn til sagramma og detaljene her.

Utformingen blir en balanse mellom hvor mye jeg kler og lukker saghuset, og hvor enkelt det er å komme til sagramma mens jeg kjører testforsøk.

Skråband i 1. etasje lager jeg med enkel tapp i enden. Dette for å kunne skifte disse, slik at jeg senere skal kunne teste modellen med kortere veivstang. Jeg må erkjenne at ulempen med dette er at de kun jobber i trykk, ikke strekk. Jeg skrur derfor fast 3 «moderne» loddrette staver i 1. etasje, som holder huset ned på staver og skråband. Da blir det stabilt. I 2. etasje bruker jeg skråband med innfelte låsehakk. Disse jobber både i strekk og trykk. Det er fascinerende å observere hvor stiv konstruksjonen blir, selv i så små dimensjoner. Inne på saga bruker jeg greinkrok av furu til å simulere rotkne i stedet for skråband tverrskips i bygget. Dette var gjort på mange sager for å spare plass.



Figur 45 Bærekonstruksjonen på saghuset. Foto: Morten Pedersen



Figur 46 Felling av skråband. Foto: Morten Pedersen



Figur 47 Demlinger. Foto: Morten Pedersen



Figur 48 Smiing av hoder på boltene. Foto: Morten Pedersen



Figur 49 Litt greinkrok å velge i. Foto: Morten Pedersen



## Smiing av veiv, bladtapp og beslag

For å kunne lage en fungerende modell, er det en fordel at også jerndetaljene til saghjulet er laget på samme måte som på originalen. Jeg er ingen smed. Selv om jeg kunne fått maskinert dette på moderne vis, er dette en god anledning til å studere hvordan de er laget. På smedsamling 2.-3. april fikk 4 gode smeder anledning til å lage flere typer krumtapper og bladtapper. De smidde flere utgaver til modellbyggingen, både T- fasong, med blad, og med rett og bøyd veivarm. I tillegg varierte de radiusen på armen slik at det tilsvarte de oppmålte krumtappene med radius fra 26 til 33 cm.



Figur 50 Torgeir Henriksen og Jon Dahlmo smir krumtapp. Foto: Morten Pedersen



Figur 51 2 Bladtapper og 3 krumtapper er klar. Foto: Morten Pedersen



Figur 52 En krumtapp med flatt blad er underveis. Foto: Morten Pedersen

Smedene begynte å tenke *vekt* i 1:6, mens jeg tenkte *mål* i 1:6. Det ble derfor skuffende små deler å holde på med, og det blir for smått til å øve seg på arbeidsteknikker for en fullskala krumtapp. Det blir fort 50 kg jern i en fullskala krumtapp, noe som krever rett utstyr, god planlegging av prosessen, samarbeid og dyktighet. Likevel fikk de testet splitting og essesveis av bladet inn i akslingen, og testet ut essesveis av rundsmidd lagertapp 90 grader på veivarmen. Med nøyaktig smiing og filing, ble resultatet presist. Selv om ikke størrelsen gir overførbar erfaring, fikk vi satt i gang hodet, og det ble gode diskusjoner og mer innsikt i de mulige måtene dette har vært gjort på.

Til modellen plukket jeg ut en krumtapp med blad, som er stilt 45 grader på en rett veivarm, med radius 47 mm. Det tilsvarer 28,2 cm, eller 10  $\frac{3}{4}$  tomme, i fullskala, lik krumtappen på Aursfjordsaga.

### Bygging av saghjul

Jeg tar utgangspunkt i hjulet til Aursfjordsaga av flere grunner. Her har jeg godt dokumentert grunnlag, et hjul som harmonerer med en kjent fallhøyde og vannmengde. Å bygge det på tilnærmet samme måte er fint for å lære prosessen som Arne Pedersen brukte når han rekonstruerte hjulet til Aursfjordsaga. Derfor bygger jeg hjulet sammen med han.

Arne forteller at han begynte med å høvle til vasshjulåsen, før han felte inn krumtappen og nåla i hver sin ende. Det var viktig å felle vasshjulåsen nøyaktig rundt veiva. Han skar inn et spor med motorsag, og utvidet dette med et langt skjøljern gradvis, mens han prøvde om veiva passet. I andre enden sveiste han et skjær på en gjengestang og boret ut et sentrert hull til nåla. Når han hadde plassert krumtapp og nål så beint som det gikk, lagde de en bukk i hver ende der vasshjulåsen ble hengt opp. Ved å dreie på krumtappen, og sette fast en pinne inntil hver ende, kunne de enkelt se hvor det var kast. Slik finjusterte han krumtappen og åsen, og fikserte endelig plassering med å slå innpå jernringene i begge ender. Nå kunne åsen henge i bukkene, mens han fortsatte med åkene til vasshjulet.



Figur 53 Arne Pedersen kontrollerer om det blir beint. Foto: Morten Pedersen





Figur 54 Eikene blir felt inn i vasshjulåsen. Foto: Morten Pedersen



Figur 55 Krumtappen felles inn i vasshjulåsen. Foto: Morten Pedersen

Når disse var felt og satt fast i åsen, dreide han åsen rundt, og mot et fast punkt kunne nå innerkant av vange merkes opp på eikene. Vangene ble slått opp med samme metode som når man merker bunnen i en tønne. Sirkelen for ytterkant av vanger ble slått opp med en snor. Deretter delte han inn sirkelen med seks passerstikk til 6 deler. Hver del av vangen utgjør da en  $60^\circ$  sektor av hjulet. Med doble vanger, blir delene i hvert lag forskjøvet  $30^\circ$ .

Delene ble midlertidig satt sammen med skruer, og tilpasset eikene. Når vangene var festet, ble ytterkant vange dreid rundt, merket og finhøvlet, før delene ble klinket og boltet sammen. Til slutt gjorde han det samme med ytterkant skovler. Skovlene ble plassert med vinkeldeling, ut fra  $90^\circ$ . Vinklene deles ned til  $45^\circ$  og  $22,5^\circ$ , da blir det til sammen 16 skovler i hjulet. Framgangsmåten er enkel, men krever nøyaktighet. Du må justere ferdig hvert trinn i prosessen, og sette fast hver del av vasshjulet før du går videre til neste trinn.



Figur 56 Eiker er felt inn i åsen, vangene sentreres. Foto: Morten Pedersen



Figur 57 Skovlene finjusteres med målekloss mot slett underlag. Foto: Morten Pedersen

Jeg bruker samme metode til saghjulet til modellen. Arne slo opp hele hjulet i 1:1 på gulvet, jeg kan i stedet bruke finérmaler. I stedet for midlertidige skruer i vangene, kryper jeg til korset og bruker noen dråper lim, før jeg stifter det sammen til slutt. Fra gammelt av kan nok trenagler ha fungert fint, men på modellhjulet blir det såpass smått at det er vanskelig å få til et stabilt hjul som tåler testing.

Metoden gir meg et sentrert vannhjul som fungerer bra. Sideveis får eikene et lite kast på 1 mm, det er vanskelig å tappe disse så nøyaktig at jeg unngår dette. Hjulet får diameter på 253 mm utvendig på skovlene, og 156 mm bredde utvendig på vangene.



Figur 58 Vannhjul klart til montering. Foto: Morten Pedersen

## Bygging og montering av sagramme og veivstang

Jeg velger å lage ramme som går i sleider, ikke en frittstående ramme som må styres med klosser festet i saghuset. Dette blir stødigere i en testsituasjon, og ligner på det vi finner på Aursfjordsaga. Sagramma må holde fasongen i mye bevegelse og med en del vekt på under testingen. Den settes sammen med trenagler som ikke gnager inni sleidene. Her lager jeg en ramme med gjennomsnittlige mål ut fra oppmålingene. Selv om rammen på Aursfjordsaga er i fet og tettvokst furu, velger jeg å lage modellrammen i bjørk, for å tåle påkjenningene på de tynne dimensjonene.

Rammen lages med gjennomgående tapp i alle hjørner, og to trenagler boret inn med tynn navar i hvert hjørne. Sleidene rettes nøyaktig med langhøvel ut av rett- og tettvokste emner i furu. Jeg bruker en skarp falshøvel for å lage sporene for sagramma.

Arne lager et lite beslag som både er hengsel mellom sagramme og veivstang, og er klargjort for å holde sagbladet nede. Dette er klipt og bøyd ut av galvanisert bandjern, som jeg gløder og brenner i tjære før montering. Det blir ikke sagblad i rammen under testing, men jeg vurderer det som et poeng med noe strekk her, for å holde fasongen på rammen. Setter derfor inn en gjengestang mellom beslag nede, som strammes mot overliggeren i rammen.



Figur 59 Sagramme loddet opp med en laser. Foto: Morten Pedersen



Figur 60 Sagramme med beslag, og veivlager/ vannhjul er klar for montering av veivstang. Foto: Morten Pedersen

Sleidene vatres opp, i senter over vannhjulås og sideveis over rådelageret på krumtappen. Lik Aursfjordsaga settes ene siden fast, mens den andre sleiden er festet med bolter gjennom vannrette spor, og kan justeres sideveis. Jeg bruker gjengestenger og gløder og smir hode på disse.

Med rammen på plass løftes denne slik at beslag nederst er rett under gulvnivå. Veivakslingen settes på topp. Da har jeg lengden på veivstangen. Høyden på sagramma er slik at den er litt høyere enn bredden inni sagramma når den er på det laveste. Veivstangen lages til, og får et beslag oppe og nede, svidd i tjære og klinket med 1,7 mm dykkert.

### Bygging og utforming av vannrenner

På modellen er det et poeng å kunne teste ut flere utforminger på renna, og det blir viktig å bygge den slik at renna, og avslutningen inn mot hjulet, kan skiftes ut. Tradisjonell utforming på vannrenne er ikke avgjørende. Det er fasong og mål som blir viktig. Jeg lager derfor disse i finèr, og skyter de sammen med kramper.

Modellrennene er ikke enn tro kopi av de originale rennene, det vil kreve en større byggejobb og svært forskjellig lengde og utforming på hver renne. Målet er et sammenlignbart resultat, og det krever at fallhøyde, vannmengde, hjul og motstand er den samme. Aursfjordsaga har over 70 meter lang renne, den blir knapt 12 meter i 1:6. I elva jeg skal teste modellen vil ca 6 meter renne passe bra, Fallhøyden blir nedskalert fra 5,4 meter på Aursfjordsaga, til 93 cm på modellen.

Renna er 19,3 cm bred innvendig rett nedenfor inntaket. Det tilsvarer 1,15 meter, som på Aursfjordsaga. Renna på Aursfjordsaga krymper til 1 meter bredde i øvre del, derfor krymper jeg bredde på modellbredde til 17 cm 2,5 meter fra inntaket.



Ut fra min erfaring er det utforming av nedre del mot hjulet som får mest å si, siden vannhastigheten er størst her. Dette så lenge vannet ellers går uhindret fra inntak til hjul med økende fall hele veien. Aursfjordmodellen har 28° fall inn mot hjulet, og en liten seksjon som går under hjulet nederst med 9° helning. Jeg kopierer bredden av renne rundt hjul, 170 mm, slik at alle åpninger stemmer.

Bjorlimodellen har 44° bratt fall, og har sidene av renna like bred som vangene på hjulet nederst. Da krymper renna til 134 mm innvendig, og spisser noe ned mot hjulet. På Bjorlimodellen skal renna treffe rundt 35 mm høyere enn bunnen av hjulet, cirka «klokka 8» på hjulet.

For å simulere en tredje variant, bygger jeg en liten forlenger til Bjorlirenna, slik at jeg får en renne som følger undersiden av hjulet i en bue. Dette er en løsning som jeg finner på tegningen av saga fra Kramfors i Jämtland (Näslund, 1937, s. 161).

Renna blir «prefabrickert» i ferdige deler som jeg tar med og bygger sammen der testene skal utføres.



Figur 61 Rennedeler er prefabrickert, og prøvemontert i verksted. Foto: Morten Pedersen



## Eksperiment 1: Tre ulike avslutninger av vannrenne mot saghjul

Målet med dette arbeidsforsøket er å få frem eventuelle forskjeller mellom tre ulike avslutninger av vannrenne mot saghjul. Dette vil også vise om modellen fungerer for denne type simuleringer.



Figur 62 Testoppsett er rigget til med Aursfjordmodell. Foto: Morten Pedersen

### Oppsett

Det ligger en velegnet liten elv i nabolaget, med et lokalt fall på cirka 1 meter over en beleilig bergnabb. Det ble dessverre ikke tid og mulighet for å teste modellen på vannkraftlaboratoriet til NTNU.

For å måle opp høyder på inntak og fundament, bruker jeg nivelleringskikkert, Leica NA524. Så måler jeg ut og rigger et flatt fundament til modellen, slik at høyde fra planlagt inntak til fundament for modell blir litt over en meter. Da kan jeg justere modellen opp til rett fallhøyde, 93 cm. Omdreinings hastigheten måles med et tachometer, Testo 570, med mulighet for mekanisk og optisk måling. En digital fiskevekt fungerer fint til å veie blyet som henges på sagramma. Helningsvinkler på renna måles med en gradfjøl.



Figur 63 Fundament for modellen rigges til. Foto: Morten Pedersen



Figur 64 Utstyret som er brukt i testingen: Trankanne, Nivelleringskikkert, tachometer, loddffjøl og fiskevekt. Foto: Morten Pedersen

For at forsøket skal si noe om forskjeller på de tre utformingene, må vannmengden inn i renna hele tiden være så jevn som mulig. Fallhøyden må være konstant, og det samme vannhulet med samme veivaksling, kjøres mot alle tre renner. Jeg bruker fallhøyde, hjulstørrelse og vannmengde fra Aursfjordsaga, siden jeg har et godt dokumentert utgangspunkt her.

De tre rennetyperne skal testes i fire situasjoner. Uten veivstang og sagramme, da går hjulet i «fri», og er nærmest vannhastigheten, men blir bremsset noe av friksjon i opplagring i begge ender. Deretter måler jeg hastigheten med veivstang og sagramme påkoblet, og til sist to situasjoner med «trivselsvekt» og «maksimal belastning» på sagramma. Jeg tester Aursfjord- modellen først, siden denne saga er velfungerende og jeg derfor antar at kraftveien fra inntak til sagramme er godt utformet.

Ut fra dette settes trivselsvekten skjønnsmessig ut fra hvordan den oppfører seg. Deretter øker jeg vekten til den så vidt klarer å gå rundt. På denne måten definerer jeg en trivsels- og maksbelastning ut fra hva Aursfjordsaga klarer. Samme trivselsvekt og maksvekt brukes deretter på de andre to rennemodellene, for å få sammenlignbare resultater. Ved å måle omdreiningshastigheten i alle situasjonene, får jeg fram forskjellene i ytelse. Alle målinger utføres to ganger, over 10-15 sekunder hver gang, for å være sikker på målingen.



Forsøk ble utført 12. – 13. mai 2022. Det var god vannføring, og jevnt vær disse dagene, med små regnbyger, og lite forskjell på dag- og nattetemperatur (ca 8-12 grader). Dette skulle i utgangspunktet gi en jevn vannføring med lite variasjoner, men som vi skal se ble det ikke helt slik.

### Utfordringer underveis i testingen

Modellen sto en natt ute før jeg kunne begynne, og den finjusterte sagramma hadde da trutnet fast. Det ble flere runder med justering i starten, og mye smøring måtte til for at alt skulle bevege seg så lett som mulig og gi like forhold for alle forsøkene.

Aursfjordsaga har rundt 12 millimeter klaring mellom skovler og rennebunn. Jeg justerer modellen til denne åpningen er ca 1,5 millimeter. Renna går litt ned forbi hjulet på sidene, klaringen her er også skalert ned i 1:6. Det er viktig at alle renner treffer tett mot hjulet, for å gi de best mulighet til å prestere godt.

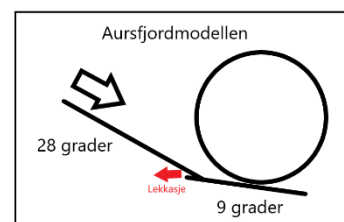
Det blir uventet vanskelig å måle høyden på vannspeilet i inntaket. Prøver med flere målepunkt, må lage en «spoiler» for å slette vannstrømmen forsiktig, uten å trykksette eller bremse vannet. Jeg er etter hvert temmelig sikker på at jeg har 35 mm høyde, og tester videre med det (skal være 33 mm, men umulig å få det så nøyaktig). Renna på Aursfjordmodellen starter med rundt 2,5° fall i inntaket, og øker rimelig jevnt til fallet har 28° inn mot hjulet, lik originalen.

Jeg får ikke samsvar mellom beregnet vannmengde, og hastighet på saga. Aursfjordsaga går med 70 o/min, men hastigheten blir mye høyere på modellen. Belastning med bly gir ikke lav nok hastighet, Aursfjordmodellen stopper nesten opp med 1,8 kg bly, som derfor blir maksvekt. Når den først roterer, går den i 125 o/min. Hvorfor? For høy hastighet går igjen i alle forsøkene. Jeg må derfor velge: Prøve å finne rett hastighet ved å justere vannmengde ned i forhold til det jeg har målt på Aursfjordsaga, eller teste videre med for høy hastighet? Jeg justerer litt ned, men modellen virker svak med mindre vann, og tempoet reduseres ikke nevneverdig. Jeg velger derfor å teste videre med 35 mm vannhøyde i inntaket, og la alle hastigheter være «for høye», men fortsatt sammenlignbare.

Det er vanskelig å finne gode målepunkt på vasshjulås, råde og veiv. Jeg prøver flere punkt. Tachometeret er ikke alt for glad i fukt, og det er ingen akslingsende som egner seg for mekanisk måling. Med optisk måling limes man på en liten reflekstape, og sikter med lyset fra tachometeret på denne. Lyset blir reflektert tilbake som en puls hver gang refleksjonen passerer. Man må være nøye på å sikte, det er fort gjort å måle dobbel hastighet om både opp- og nedbevegelsen blir med.

### Eksperiment 1A: Aursfjordmodell

Jeg måler Aursfjordmodellen i eksperiment 1A optisk, på enden av veiv (på tomgang uten veivstang), og nedre ende av råde ( med forskjellige belastninger) . Den går fra 183 o/min på tomgang, til 125 o/min med maks last. Da er det så vidt den kommer i gang. Det lekker litt vann i overgang mellom de to rennedelene. Jeg justerer dette til et minimum, men blir ikke helt kvitt lekkasjen. Det kan påvirke resultatet, men neppe i noen vesentlig grad.



Figur 65 Aursfjordmodell.  
Illustrasjon: Morten Pedersen

Ut fra min erfaring med Aursfjordsaga (den fungerer godt), og fjorårets arbeid med saga på Bjorli (den fungerer dårlig) antar jeg at renne som

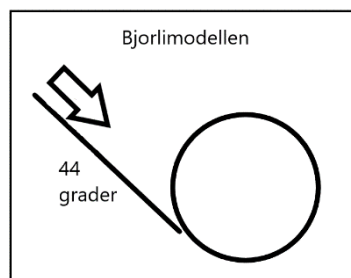
stuper mot hjulet, og ikke går under hjulet, fungerer dårligere (vannet får ikke bli med, faller ut av skovlene og mister kraft). Likevel har jeg diskusjoner med veilederne på forhånd. Lignende løsning som på Bjorli er det også på tegningene av sager fra Kinsarvik, Tørvikbygd, Molde og Korgen. Hvorfor er samme løsning dokumentert i et stort område, dersom det ikke fungerer så bra?



Figur 66 Åpning mellom skovler og renne. Foto: Morten Pedersen

### Eksperiment 1B: Bjorlimodell

Det ble derfor en solid overraskelse når Bjorlimodellen i eksperiment 1B utklasser Aursfjordmodellen. Den holder høyere fart i alle fire målinger (225 – 166 o/min), og går jevnt og fint med samme maksvekt, uten startproblemer. Ende av renne er også her finjustert med ca 1,5 mm klaring inn mot skovler. Jeg observerer mer «trykk» i bevegelsen til hjulet, og en svak brummelyd. Det meste av vannet spyles ut under hjulet, mens Aursfjordmodellen «vasker» mer i vannet, og sender det mer vannrett ut, og mer oppover.



Figur 67 Bjorlimodell: Illustrasjon: Morten Pedersen

Til eksperiment 1B må renna bygges om, siden Bjorlimodellen må ha flatere renne øverst, ca 1°, mot ca 2,5° i eksperiment 1A. Dette kompliserer det hele, og gjør at en ensidig måling av vannhøyde i inntak ikke blir sammenlignbart. Selv om inntaket i forhold til elva er urørt, er vannspeilet ca 7 cm over bunn renne nå. Det står høyrere med flatere renne. Dette henger sammen med farten på vannet. Så lenge like mye vann renner inn, blir vannstanden lavere jo høyere fart det har. Men i utløpet av luken 5 meter ned fra inntaket observerer jeg at vannstrømmen ser helt lik ut, og høyde på vannet rett foran hjul er også likt. Jeg konkluderer ut fra dette at det fortsatt er like mye vann inn i renna (inntaket er jo urørt, og elva like stor). Jeg tester derfor videre med urørt inntak og det jeg vurderer til å være samme vannmengde i renna.



Figur 68 Modellen under testing. Foto: Morten Pedersen



Figur 69 Åpning mellom renne og hjul. Foto: Morten Pedersen





Figur 70 Måling av vannhøyde ved inntaket, nedenfor "spoileren". Foto: Morten Pedersen

Når jeg fortsetter om morgenen dag to, oppdager jeg at vannføringen i elva har minket i løpet av natten. Jeg må derfor justere åpningen i inntaket (ikke høyden), og oppnår cirka 70 mm vann i inntaket i renna, som fortsatt er flat med 1° fall. Dette er litt mindre enn dag 1, men så bra det er mulig å treffe.

Jeg kjører derfor et ekstra eksperiment, 1B.2 med samme oppsett som i 1B. Jeg har da i snitt 4-5 omdreininger mindre enn i eksperiment 1B, men jeg vurderer dette som tilstrekkelig nøyaktig.

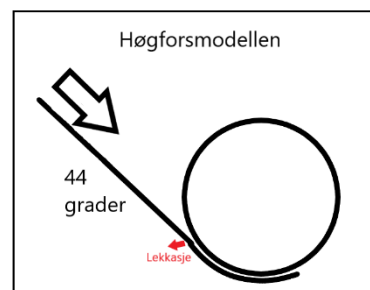
### Eksperiment 1C: Høgforsmodellen

I dette eksperimentet monterer jeg den tilpassede renna under hjulet på Bjorlimodellen, slik at det blir en renne tilnærmet lik saga fra Høgfors i Jämtland. Resultatet kommer ganske likt ut som i test 2, med et par små nyanser; Den mister noen omdreininger på toppfart i tomgang, 219 o/min, men holder litt bedre fart på trivsels- og maksbelastning, 169 o/min. Forskjellene er imidlertid små.

Som på Aursfjordmodellen observerer jeg at det blir mer «vasking» nederst i hjulet.

Rød pil viser også et lite lekkasjepunkt. Det var en liten lekkasje, mindre enn på Aursfjordmodellen. Jeg vurderer at den neppe har påvirket ytelsen vesentlig.

Dette eksperimentet er mest for å teste prinsipiell utforming, og skape en enkel sammenligning med de to andre løsningene. Renna på Høgfors- saga har annet fall, hjulet er mye større, beregnet på en sag med utveksling til veivakslingen. Denne løsningen bør derfor testes mer nøyaktig før man trekker noen spesifikke konklusjoner for Høgfors- saga sin del.

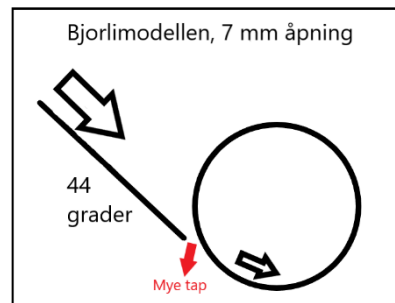


Figur 71 Høgforsmodellen.  
Illustrasjon: Morten Pedersen.

## Eksperiment 2: Større avstand renne -hjul

Resultat og observasjoner fra de første eksperimentene gjør at det dukker opp nye spørsmål. Hva skjer på Bjorlimodellen om enden på vannrenna flyttes lenger unna hjulet? Dette var ting vi diskuterte når vi vurderte Bjorlisaga<sup>12</sup>. Det gjør at det er interessant å teste ut dette.

Nå flytter jeg renna frå hjulet slik at det blir en åpning på 6-7 millimeter mellom enden av renna og skovlene. Jeg har dessverre ikke notert toppfart her, men på de viktige målene, trivsels- og maksbelastning, skjer det mye. Sammenlignet med test 3 (samme vannstand/renne) går trivselshastigheten ned fra 169 til 159 o/min. Med maks belastning faller hastigheten fra 162 til 145 o/min, og det er så vidt den lar seg starte. Som forventet forsvinner nå mye av vannet mellom renna og hjulet, og dette blir verre jo større belastningen blir.

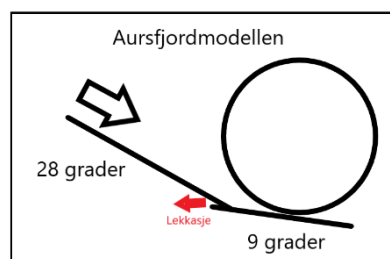


Figur 72 Bjorlimodellen med større avstand mellom renne og hjul. Illustrasjon: Morten Pedersen

## Eksperiment 3: Friksjonstest, endringer underveis

For å være sikker på at modellene i Eksperiment 1 er testet under så like forhold som mulig, tester jeg Aursfjordmodellen en ekstra runde på slutten av dag 2. De bevegelige delene i modellen har nå blitt kjørt i 10-12 timer, og friksjonen kan ha blitt mindre.

Nå settes renna opp som i eksperiment 1A. Den kjører nå med 205- 117 o/min. Altså noe høyere på tomgang enn første gangen. Dette tolker jeg som mer innkjørte bevegelige deler, og mindre friksjon. På trivsels og maksbelastning kjører den litt saktere, noe jeg mener er logisk siden det er litt mindre vannføring på dag to.



Figur 73 Aursfjordmodellen. Illustrasjon: Morten Pedersen

<sup>12</sup> Diskusjoner på Sagelva Vasskraftsenter 23.06.2021

## Resultat og observasjoner frå eksperiment 1-3

Under ellers like forhold utnytter Bjorlimodellen vannet bedre enn Aursfjordmodellen. En generell observasjon er at friksjon har noe å si, Jeg må gjennom alle forsøkene passe på at alle deler er godt smurt, for å oppnå like forhold. Jeg vurderer at dette vil ha en del å si på en ordentlig sag, selv om massen i de bevegelige delene er mye større.

Vannet ut av hjulet «pumper» mer, jo tyngre belastning det har. Dette skjer i alle testene. Dette ser man også på Aursfjordsaga, og man kan ut fra dette vurdere hvor tungt saga har det, ved å se på vannspruten.

<b>Eksperiment 1</b>	<b>Eksperiment 1A</b>	<b>Eksperiment 1B</b>
Testoppsett renne/ dato:	"Aursfjord" 1. test/ 12.05.2022	"Bjørli" / 12.05.2022
Forsøksvis målt vannstand/ betingelser:	35 mm i inntak/ ca 2,5° fall ved inntak	Samme inntakshøyde, men ca 1° fall ved inntak. Gir ca 75 mm vann i inntak, men selve inntaket urørt fra 1. test.
Fall på renne inn mot hjul:	28°	44°
Belastning:		
Frikoblet, kun aksling/ hjul, uten ramme og veivstang:	183 o/min	225 o/min
Med ramme og veivstang:	155 o/min	194 o/min
Med "trivselsvekt" på ramme, belastet med 1,375 kg bly:	140 o/min	176 o/min
Med "Maksvekt" på ramme, belastet med 1, 85 kg bly:	125 o/min ( stopper nesten pga vekt)	166 o/min ( kjører fint med denne vekten)
	<b>Eksperiment 1B.2</b>	<b>Eksperiment 1C</b>
Testoppsett renne/ dato:	"Bjørli" 2. test/ 13.05.2022	"Bjørli" med "svensk skål", 13.05.2022
Forsøksvis målt vannstand/ betingelser:	elv minket ilt natten.	ca 1° fall.
	fortsatt 1° fall ved inntak, samme høyde. inntak åpnes mer, til ca 70 mm vannstand.	Vannstand i inntak ca 70 mm.
Fall på renne inn mot hjul:	44°	44°
Belastning:		
Frikoblet, kun aksling/ hjul, uten ramme og veivstang:		219 o/min
Med ramme og veivstang:	189 o/min	191 o/min
Med "trivselsvekt" på ramme, belastet med 1,375 kg bly:	169 o/min	178 o/min
Med "Maksvekt" på ramme, belastet med 1, 85 kg bly:	162 o/min (så vidt den starter)	169 o/min ( kjører godt)

Figur 74 Oversikt resultater eksperiment 1- 3. Tabell: Morten Pedersen

I disse eksperimentene er det viktig å understreke at jeg ikke var fortrolig med beregningsmetoden på side 18, og stolte ikke på denne, før testene var gjennomført. Ut fra beregningsmetoden vil modellen få en vannføring på 4,35 m/s, hjulet har diameter på 0,253 m, omkrets på 0,795 m. Teoretisk maksimal omdreiningshastighet blir 328 o/min, og optimal hastighet blir 164,2 o/min. Omdreiningshastigheten blir ikke som på originalen, men går faktisk opp på grunn av kombinasjonen lavere vannhastighet og mindre hjul. Beregningen forklarer dette, men det var ikke godt å skjønne underveis i testingen.

Med en beregning på forhånd kunne testen vært utført på en annen måte. I stedet for å spørre «hvor fort kjører løsningene med samme trivsels- og maksvekt?» kunne jeg ha justert vekten på sagramma i alle løsningene til modellen kjørte med optimal hastighet 164 o/min. Mest effektive løsning vil da ha den høyeste vekten. Dette viser at praktiske modellforsøk absolutt har noe for seg, men at det også bør ligge en god teoriforståelse til grunn når forsøket planlegges.

Aursfjordsaga:

Vannføring:

$$Q = 1,7 \times 1,15 \times (0,2^{1,5}) = 0,175 \text{ m}^3 \text{ pr sekund, eller } \mathbf{175 \text{ liter/sekund.}}$$

Vannhastigheten:

$$H1 = 0,2 \text{ m, } H2 \text{ er fallhøyde } 5,6 \text{ m} + \text{ høyde vann i inntak } 0,2 \text{ m} = 5,8 \text{ m}$$

$$V = \sqrt{2g5,8} = \sqrt{2 * 9,81 * 5,8} = \mathbf{10,667 \text{ m/s}}$$

Omdreiningshastighet:

Vannhjulet har største diameter 1,53 m.

$$\text{Omkrets blir } 1,53 \times 3,14 = 4,775 \text{ m.}$$

Teoretisk maks omdreiningshastighet

$$10,667 \text{ m} : 4,775 \text{ m} = 2,24 \text{ o/s.}$$

$$2,24 \text{ o/s} \times 60 \text{ s} = \mathbf{134,4 \text{ o/min.}}$$

Optimal hastighet:  $134,4 \text{ o/min} : 2 = \mathbf{67,2 \text{ o/min.}}$

Modell:

Vannføring:

$$Q = 1,7 \times 0,193 \times (0,033^{1,5}) = 0,00196 \text{ m}^3 / \text{s, eller } \mathbf{1,96 \text{ liter/sekund.}}$$

Vannhastigheten:

$$\text{Fallhøyde } 0,93 \text{ m} + \text{ høyde vann i inntak } 0,033 \text{ m} = 0,966 \text{ m}$$

$$V = \sqrt{2g0,966} = \sqrt{2 * 9,81 * 0,966} = \mathbf{4,35 \text{ m/s}}$$

Omdreiningshastighet:

Vannhjulet har største diameter 0,253 m.

$$\text{Omkrets blir da } 0,253 \times 3,14 = 0,794 \text{ m.}$$

Teoretisk maks omdreiningshastighet:

$$4,35 \text{ m/s} : 0,794 = 5,5 \text{ o/s.}$$

$$5,5 \text{ o/s} \times 60 \text{ s} = \mathbf{330 \text{ o/min.}}$$

Optimal hastighet:  $330 \text{ o/min} : 2 = \mathbf{165 \text{ o/min.}}$

Figur 75 Sammenlignende beregning for Aursfjordsaga, og modell. Beregning: Morten Pedersen



Figur 76 Sagramma med maksvekt av bly. Foto: Morten Pedersen





Figur 77 Reflekstape på enden av krumtappen gir målepunkt når saga går på tomgang uten sagramme og veivstang koblet på. Foto: Morten Pedersen

## Ekspiriment 4: Luft og turbulens i vannstrømmen

Her ønsker jeg å teste ut hvor mye jeg klarer å påvirke saga, gjennom å forstyrre vannstrømmen og «slå luft i vannet».

I praksis ble dette eksperimentet gjennomført mellom eksperiment 1B.2 og 1C, med Bjorlimodell og trivselsbelastning på 1,375 kg. Forholdene er altså som beskrevet for dag 2 av testingen.

Jeg begynner med en kile på hver side av renna, 150 cm unna hjulet.

Plasserer deretter en 7 mm høy terskel i bunnen av renna 50 cm unna hjulet.

Gradvis flytter jeg kiler og terskel nærmere hjulet, fram til mye av vannet spyles inn midt oppi hjulet, i test 4. I test 5 legger jeg en plate over renna foran hjulet sammen med kiler og terskel, slik at alt vannet treffer skovlene. Vannet blir da pisket til en blanding av luft og vann.



*Figur 78 Kiler montert øverst, terskel montert 50 cm fra hjulet. Foto Morten Pedersen*



*Figur 79 Kiler og terske montert rett foran hjulet. Mye sprut høyt opp i vannhjulet. Foto Morten Pedersen*



Figur 80 En plate er montert over vannspruten, da treffer alt vannet skovlene. Foto: Morten Pedersen

Tabellen under viser at jeg senker omdreiningshastigheten fra 169 o/min og helt ned til 137 o/min, jo flere hindre, og jo nærmere de står foran hjulet. Men test 5 er nok mer representativ enn test 4. I test 4 blir mye av vannet slengt opp av renna og bommer på hjulet, mens blandingen av vann og luft blir spylt inn i skovlene i test 5. Da er hastigheten nede på 155 o/min. Etter testen går imidlertid hjulet kun med 163 o/min når alle hindre er fjernet. En mindre variasjon fra starten av testen, som kan skyldes en liten endring i friksjon eller vannmengde.

<b>Eksperiment 4</b>	
Forstyrning av vannstrøm, påvirker det hastigheten?	
13.05.2022: 70 mm vannstand, 1°fall i inntak.	
Utgangspunkt: 3. test/ arbeidsforsøk 2.	
Hjul belastet med trivselsvekt 1, 375 kg belastning	
Test 1: utgangspunkt uten hindring:	169 o/min
Test 2: 1 kile på hver side, 150 cm unna hjul:	160 o/min
Test 3: 1 kile på hver side, +spoiler i bunn, 50 cm unna:	158-159 o/min
Test 4: Kilene rett over spoiler, som er 5 cm unna:	137 o/min (mye vann bommer på hjulet)
Test 5: Legger plate over, alt skum treffer hjul:	155 o/min
Test 6: Tilbake til utgangspunkt, alle hindre fjernes	163 o/min.

Figur 81 Resultater fra eksperiment 3. Tabell: Morten Pedersen

Jeg ser en tendens i dette forsøket. Jo nærmere hjulet vannstrømmen blir forstyrret, jo mer reduserer det ytelsen til hjulet.



## Analyse og drøfting

Kildematerialet beskrevet i denne oppgaven peker på enkelte fellestrekk blant oppgangssager fra forskjellige områder. Det er viktig å lese dette som tendenser, ikke absolutte mål. Materialet er i noen tilfeller tynt, og det bør suppleres med flere oppmålinger fremover.

Fallhøyden kan typisk være rundt 4,5 – 5,5 meter. Diameter saghjul: 100 – 150 cm, som kan tolkes til å være +/- 2 alen. Effektiv bredde saghjul: 1 alen eller mer, avhengig av last.

Radius på krumtapp: 26 – 34 cm, som tilsvarer 10-13 norske tommer. Dette gir rundt en alen (24 norske tommer) slaglengde på sagramma. Veivstanga har en lengde på 1,5 til 3,3 meter. Oppgangssagene har jobbet med en hastighet på 50 – 80 slag i minuttet.

I arbeidet med å bygge modell har jeg på enkelte detaljer måttet velge mellom at løsningen ser autentisk ut, eller at det fungerer på en autentisk måte. Jeg har prioritert at den skal fungere best mulig i eksperimentering. Å bygge den med handverksteknikk tett opp til tradisjonen har gitt den et utseende som ligner på de gamle sagene. Oppretting og sentrering av vannhjul er et eksempel på dette. Bruk av kryssfiner i renne ser ikke bra ut, men det fungerer til testing. Til utstillingsbruk kan dette bygges om i ettertid. Løsningen med skråband med tapp i 1.etasje, som er avhengig av vekt oppå for å fungere, gir mulighet til å teste saga med kortere veivstang. Men her måtte jeg inn med ekstra avstiving for å kunne flytte, og teste, modellen.

Likevel er det mange fordeler med å bygge modellen med teknikk og fremgangsmåte som på en ordentlig sag. Dette ga mange gode og lærerike diskusjoner med Arne Pedersen, og jeg fikk utfordringer lik de jeg vil møte i bygging av en fullskala sag. Dette ble spesielt tydelig i prosessen med å smi veivakslinger, bygge hjul, råde og sagramme, samt smøring og justering under testforsøkene. På en moderne 3D-printet modell ville jeg gått glipp av mange problemstillinger som den tradisjonelle byggeprosessen ga meg.

Ut fra mitt ståsted, er den største overraskelsen at «Bjorlimodellen» framstår langt mer effektiv enn «Aursfjordmodellen». Eksperiment 1 antyder at det ikke nødvendigvis er en fordel at renna går under hjulet, som tradisjonen på Aursfjordsaga sier. Likevel kan dette være en fordel når belastningen øker, at vannet bygger seg opp foran hjulet og gir ekstra kraft. Det ble ikke rom for inngående testing av dette i denne testrekken. Et annet forbehold er lekkasjer i renna rundt saghjulet på Aursfjordmodellen. Det oppsto små lekkasjer i skjøt mellom de to rennedelene, slik at det spylte litt vann ut «motstrøms» der 28° og 9° bunn møttes. Dette kan ha påvirket resultatet, men trolig i liten grad, siden lekkasjen ble justert til et minimum.

Eksperiment 2 antyder også at nøyaktig avslutning av renne mot hjul har mye å si på Bjorlimodellen. Kraften forsvinner fort når åpningen blir større.

En mulig forklaring er at vannet må forlate hjulet fort nok for best effekt. I de delene av eksperiment 1 der renna går under hjulet på forskjellig vis, observerer jeg at vannet «vasker» mer under hjulet. Det virker som hjulet sliter med å få unna vannet, og bremser opp. Bjorlimodellen får i stedet høyere turtall og gir til og med en liten brummelyd fra hjulet. Testen antyder at overgangen renne - hjul på Aursfjordsaga isolert sett ikke er den mest effektive. Likevel fungerer Aursfjordsaga meget godt. Dette viser også verdien av at alle detaljer på Aursfjordsaga er



gjennomarbeidet og godt utformet, og blir vedlikeholdt, justert og smurt. Resultatene fra eksperiment 1 kan også forklare hvorfor løsninger som ligner på Bjorlimodellen er brukt på alle sager som er målt opp av Norsk Teknisk Museum. Resultatene fra eksperiment 3 viser at «luft i vatnet» har en negativ effekt på vannstrømmen. Dette blir verre jo nærmere vannhjulet forstyrrelsen skjer.

Eksperimentene i dette arbeidet kan senere bli supplert av flere tester, og når man først har modellen, er det ikke veldig mye arbeid som skal til for å rigge flere forsøk. I tillegg oppfører vannstrømmen seg forholdsvis likt, sammenlignet med en stor renne. Den fungerer derfor fint til å observere forskjeller i vannstand, hastighet og strømning, uten at resultatet nødvendigvis er så lett å måle presist. I mine øyne bekrefter dette at modelltesting kan gi større trygghet i valg av løsninger, når man planlegger tiltak på en fullskala sag.

Som antydnet i avsnittet «Beregning, vurdering eller tradisjon?», tror jeg fremgangsmåten rundt det å anlegge og konstruere en oppgangssag på slutten av 1700-tallet har variert mye. Det kan ha vært en blanding av flere metoder.

Jeg setter opp et hypotetisk eksempel: Vi ser for oss at man hadde tommelfingerregler på følgende mål: Veivaksling «ikke mer enn 12 tommer radius», Vannhjul «rundt 2 alen», fallhøyde «rundt 8 alen» og vannmengde «3 fot bred og 1 fot høy i inntaket». Da har man i utgangspunktet oppskriften på en fungerende sag. Så vil resten handle om tilpasning til terreng, håndverksutførelse, og teknisk innsikt til å justere bevegelige deler. Det er også viktig å huske at man som regel har justeringsmuligheter, gjennom å bremse vannstrømmen inn i renna, demme opp mer vann i dammen, eller å justere hvor mye stokken mates under sagbladet i hver omdreining. Alle disse justeringene vil regulere hvor mye belastning som oppstår i forskjellige deler av kraftveien.

Fra den nordenfjeldske båtbyggertradisjonen er det godt dokumentert hvordan båtene ble bygd ut fra velprøvde forholdstall som er enkle å huske. For eksempel skal botnet i nordlandsbåten være  $\frac{1}{4}$  bred i forhold til lengden. Hele «grunnriset» av båten kan beskrives med forskjellige brøker. De var neppe avhengig av å tenke veldig matematisk, utover å dele inn forskjellige mål. De hadde egne båtalter der hovedmålene var merket på med hakk. Jo mer erfaring båtbyggerne fikk, jo flinkere ble de til å variere kompliserte nyanser, for å tilpasse hver enkelt båt til forskjellige behov. De ble altså bygd som et best mulig kompromiss av mange sammensatte faktorer, ut fra et relativt enkelt og oversiktlig målesystem (Eldjarn og Godal, 1990). Båtbyggerhåndverket eksisterte side om side med oppgangssagene. Ingebrigt Eliassen som bygde Aursfjordsaga var også båtbygger<sup>13</sup>. Det er etter min mening ikke usannsynlig at man brukte en lignende tilnærming når man satte opp en sag, og kombinerte enkle hovedmål med høy handverkskompetanse.

Poenget her, både med tanke på bygging av båt og bygging av sag, er at man *kan* beskrive og planlegge en sag eller en båt matematisk, men man *må* ikke. Man kommer neppe i mål med en matematisk tilnærming alene, den må suppleres med håndverkerkunnskap og innsikt for at resultatet skal fungere. Men i motsatt fall kan gode handverkere bygge en velfungerende sag ut fra et lite antall erfaringsbaserte hovedmål.

---

<sup>13</sup> Opplysning fra Arne Pedersen, informasjonen har vært muntlig overlevert i Aursfjord.

Det er lett å sette søkelys på tall, måleresultater og beregninger. Men Arne viser at det er helt sentralt å bruke sansene og følge med. Han observerer hvordan vannstrømmen ser ut, og hvordan lydene og vibrasjonene i saghuset forandrer seg. Hvordan vannstrømmen endrer seg gjennom dagen var ofte et tema når vi skar på saga. Han har alltid en slumrende beredskap når han skjærer, og reagerer på bankelyder, svidd lukt, eller vibrasjoner som vanligvis ikke er der. Han snakker om hvordan det er når «saga går godt», ved passe vannmengde, skarpt blad og god smøring. Det virker som summen av alle timene på saga ender opp i en følelse, en ryggmargsrefleks, som man på ingen måte skal undervurdere betydningen av.

Slik erfaring får man gjennom praktisk arbeid med en oppgangssag. Jeg kan bruke mange sider på å beskrive hvordan svidd tran lukter, eller hvilke faesignaler som kommer når en stor stokk begynner å knipe rundt bladet. Vi kan filme hvordan Arne gjør det, og vi kommer langt på vei i å forstå det. Men vi blir aldri trygge sagmestere, uten nok praktisk erfaring. Skal slik kunnskap bevares, er det avgjørende at et tilstrekkelig antall personer får tilstrekkelig mengde tid til å jobbe med tilstrekkelig mange sager i et tilstrekkelig stort område. Det gir et miljø for erfaring, læring og samhandling.

Dette arbeidet har belyst noen momenter rundt kraftveien fra elv til sagramme på en oppgangssag. Men det er mye som står igjen å undersøke. Man bør undersøke flere sager med opprinnelig plassering, og ta nøkkelmålene på disse. Fallhøyde kan kanskje måles selv om saga er borte. Vet man hvor den sto, og finner tufter etter dam og fundamenter, kan man få gode høydemål.

Matematiske beregninger og andre beskrivelser fra 1700-tallet kan undersøkes nærmere, og det finnes flere skriftlige kilder enn det som er anvendt i dette arbeidet. Med større statistikkgrunnlag kan man også gå lenger i å analysere sammenhenger i materialet enn det jeg har gjort i denne oppgaven. Og det fins en film, 300 meter 16 mm film fra oppgangssaga på Grind, tatt opp i 1953, der gammelkarene kjører saga. Ingen vet lenger hvor filmen er. Spennende? Det syns jeg.

## Figurliste

Figur 1 Skisse basert på Kjeld Nash, redigert og endret av Morten Pedersen .....	6
Figur 2 Aursfjordsaga. Foto: Roald Renmælmo. ....	11
Figur 3 Oppgangssaga ved Sagelva Vasskraftsenter. Foto: Morten Pedersen .....	12
Figur 4 Saghjulet på Oppgangssaga ved Sagelva Vasskraftsenter. Foto: Morten Pedersen....	12
Figur 5 Illustrasjon: Snl.no .....	13
Figur 6 Foto: ITavisen.no, redigert av Morten Pedersen .....	14
Figur 7 Overfallshjul. Illustrasjon: Water wheel stoc image look and learn .....	14
Figur 8 Underfallshjul. Tegning: O.J.Näslund. ....	14
Figur 9 Vann pulserer ut fra hjulet på Aursfjordsaga. Foto: Roald Renmælmo.....	15
Figur 10 Restaurert overfallshjul på Brent Canvas Mill, Devon, England. I dag brukt til kraftproduksjon. Vannet slippes med lite impuls oppå skovlene. Fotograf ukjent. ....	15
Figur 11 Poncelet- hjul. illustrasjon: Reynolds, 1983. ....	16
Figur 12 Sagebien- hjul. Illustrasjon fra Reynolds, 1983. ....	16
Figur 13 Oversikt over fallhøyder og mål på renne. Tabell: Morten Pedersen.....	19
Figur 14 oversikt over mål på vannhjul. Tabell: Morten Pedersen .....	20
Figur 15 Oversikt over mål på krumtapper. Tabell: Morten Pedersen .....	20
Figur 16 Inntaksdammen på Aursfjordsaga til venstre i bildet. Foto: Skjermdump fra filmen "Aursfjordsaga- enkelt og genialt" .....	22
Figur 17 Fossen og øvre del av renne på saga på Grind, Tørvikbygd, Hardanger. Foto: Gunnar Thuesen/ Norsk Teknisk Museum .....	23
Figur 18 Ising på Saga i Bygningshistorisk Park, Dovre, i April 2022. Foto: Morten Pedersen	25
Figur 19 Arne Pedersen gjør klar til å sette vann på Aursfjordsaga, damluka i øvre posisjon. Foto. Skjermdump fra filmen "Aursfjordsaga- enkelt og genialt" .....	26
Figur 20 Damluka senkes til nedre posisjon, og vannet begynner å renne nedover i renna. Foto: Skjermdump fra filmen "Aursfjordsaga- enkelt og genialt". ....	26
Figur 21 Aursfjordsaga ca 1950. Fotograf ukjent. ....	28
Figur 22 Oppgangssag på Hamarøy, 1965. Fotograf N.O. Kaasen .....	28
Figur 23 Almdal i Vefsn, 1950. Foto: J. Aune.....	28
Figur 24 Vannstråle i naturlig løp i fri luft. Foto. Therese Heimdal.....	29
Figur 25 Vannhjulet som driver Aursfjordsaga. Foto Morten Pedersen.....	30
Figur 26 Nærbilde av skovler og bunn av renne under vannhjulet på Aursfjordsaga. En setning i opplagringen til hjulet gjør at hjulet tar borti vannrenna. Foto: Morten Pedersen .	30
Figur 27 Utsnitt fra tegningen av Haukebøsaga, Molde, i vedlegg 1. Stempluka (rød ring) henger i åpenposisjon over renna under, klar til å løses ut fra et punkt ved sagbenken (rød pil). Tegning: Gunnar Thuesen, Norsk Teknisk Museum. ....	32
Figur 28 Vannhjul med 2 alens bredde, gravd ut i tomten etter rammesaga som sto ved Smelthytta på Røros. Foto. Morten Pedersen .....	34
Figur 29 Samme hjul som i figur 28. Hjulet er trolig produsert et stykke ut på 1800- tallet, støpte vanger, krumtapper og lager tyder på det. Foto: Morten Pedersen.....	34
Figur 30 Vannhjulet på Grind- Saga, Tørvikbygd, Hardanger. Foto. Gunnar Thuesen/ Norsk Teknisk Museum. ....	35
Figur 31 Krumtapp med blad, rett arm. Fra Ile, Øyer. SJF12775. Foto. Bård Løken/ Anno Norsk Skogmuseum.....	36
Figur 32 Krumtapp med blad, buet arm. SJF02563. Foto: Bård Løken/ Anno Norsk Skogmuseum. ....	36

Figur 33 Krumtapp med T-fasong fra Ausvass- saga. SJF01411. Foto: Bård Løken/ Anno Norsk Skogmuseum. ....	36
Figur 34 Krumtapp med T- fasong. Buett arm, tangen er klinket på og knekt, mulig det er en reparasjon. Lima Hembygdsgård. Foto: Morten Pedersen.....	37
Figur 35 Bladtapp, brukt i ytterste ende av vasshjulåsen. SJF02565. Foto: Bård Løken/ Anno Norsk Skogmuseum.....	37
Figur 36 Nål, brukt i ytterende av vasshjulås. Fra Drevja. Foto: Jon Dahlmo. ....	37
Figur 37 Lager av rikule i furu med beslag, Aursfjordsaga. Foto: Morten Pedersen .....	38
Figur 38 Bevart lager i stein, ved Sagelva Vasskraftsenter, Bjorli. Foto: Morten Pedersen ....	38
Figur 39 Sagramma på Andrå- saga. Foto: Tore Fossum/ Anno Norsk Skogmuseum. ....	40
Figur 40 Rolf Hundal inspiserer sitt nye hagebord, fra en stokk på ca 90 cm diameter, som ble sagd på Aursfjordsaga. Foto: Arne Pedersen .....	40
Figur 41 Hugging av tettvokst småfuru. Foto Morten Pedersen .....	42
Figur 42 Fundament og sviller tar form. Foto. Morten Pedersen.....	42
Figur 43 Felling på svill under vannrenne. Foto: Morten Pedersen.....	43
Figur 44 Gulvåsene på plass. Foto: Morten Pedersen .....	43
Figur 45 Bærekonstruksjonen på saghuset. Foto: Morten Pedersen .....	44
Figur 46 Felling av skråband. Foto: Morten Pedersen .....	44
Figur 47 Demlinger. Foto: Morten Pedersen .....	45
Figur 48 Smiing av hoder på boltene. Foto: Morten Pedersen.....	45
Figur 49 Litt greinkrok å velge i. Foto: Morten Pedersen .....	45
Figur 50 Torgeir Henriksen og Jon Dahlmo smir krumtapp. Foto: Morten Pedersen.....	46
Figur 51 2 Bladdtapper og 3 krumtapper er klar. Foto: Morten Pedersen.....	46
Figur 52 En krumtapp med flatt blad er underveis. Foto: Morten Pedersen .....	46
Figur 53 Arne Pedersen kontrollerer om det blir beint. Foto: Morten Pedersen.....	47
Figur 54 Eikene blir felt inn i vasshjulåsen. Foto: Morten Pedersen.....	48
Figur 55 Krumtappen felles inn i vasshjulåsen. Foto: Morten Pedersen.....	48
Figur 56 Eiker er felt inn i åsen, vangene sentreres. Foto: Morten Pedersen .....	49
Figur 57 Skovlene finjusteres med målekloss mot slett underlag. Foto: Morten Pedersen....	49
Figur 58 Vannhjul klart til montering. Foto: Morten Pedersen .....	49
Figur 59 Sagramme loddet opp med en laser. Foto: Morten Pedersen .....	50
Figur 60 Sagramme med beslag, og veivlager/ vannhjul er klar for montering av veivstang. Foto: Morten Pedersen .....	51
Figur 61 Rennedeler er prefabrikkert, og prøvemontert i verksted. Foto: Morten Pedersen .	52
Figur 62 Testoppsett er rigget til med Aursfjordmodell. Foto: Morten Pedersen.....	53
Figur 63 Fundament for modellen rigges til. Foto: Morten Pedersen.....	54
Figur 64 Utstyret som er brukt i testingen: Trankanne, Nivelleringskikkert, tachometer, lodd fjøl og fiskevekt. Foto: Morten Pedersen .....	54
Figur 65 Aursfjordmodell. Illustrasjon: Morten Pedersen .....	55
Figur 66 Åpning mellom skovler og renne. Foto: Morten Pedersen.....	56
Figur 67 Bjorlimodell: Illustrasjon: Morten Pedersen.....	56
Figur 68 Modellen under testing. Foto: Morten Pedersen .....	56
Figur 69 Åpning mellom renne og hjul. Foto. Morten Pedersen .....	56
Figur 70 Måling av vannhøyde ved inntaket, nedenfor "spoileren". Foto: Morten Pedersen	57
Figur 71 Høgforsmodellen. Illustrasjon: Morten Pedersen.....	57
Figur 72 Bjorlimodellen med større avstand mellom renne og hjul. Illustrasjon: Morten Pedersen.....	58



Figur 73 Aursfjordmodellen. Illustrasjon: Morten Pedersen .....	58
Figur 74 Oversikt resultater eksperiment 1- 3. Tabell: Morten Pedersen .....	59
Figur 75 Sammenlignende beregning for Aursfjordsaga, og modell. Beregning: Morten Pedersen.....	60
Figur 76 Sagramma med maksvekt av bly. Foto: Morten Pedersen .....	60
Figur 77 Reflekstape på enden av krumtappen gir målepunkt når saga går på tomgang uten sagramme og veivstang koblet på. Foto: Morten Pedersen.....	61
Figur 78 Kiler montert øverst, terskel montert 50 cm fra hjulet. Foto Morten Pedersen.....	62
Figur 79 Kiler og terske montert rett foran hjulet. Mye sprut høyt opp i vannhullet. Foto Morten Pedersen .....	62
Figur 80 En plate er montert over vannspruten, da treffer alt vannet skovlene. Foto: Morten Pedersen.....	63
Figur 81 Resultater fra eksperiment 3. Tabell: Morten Pedersen .....	63

## Referanser

Brandth, P. (1776) Larvik Grevskaps arkiv, oppbevart på Statsarkivet Kongsberg. Takster over Fritzøe Sagbruks Bygninger og Dammer 1776, i Bækkelund, B. (red.) (s. 240 - 250).

<https://doi.org/SAKO/A-1056/F/FL/Flg/L0006/0017>

Eldjarn, G. og Godal, J. B. (1990) *Nordlandsbåten og Åfjordsbåten : B. 4 : System og oversyn*. Rissa: Båttikka.

Helseth, L. E. (2020) Turbulens , Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra:

<https://snl.no/turbulens>.

Hutchison, R. (2015) Endringer i den norske tømmerproduksjonen og europeiske markeder – ca. 1780–1840, *Historisk tidsskrift*, (2), s. 205-228.

Kristiansen, Å. (2013) *Oppgangssaga i Herand*. Tilgjengelig fra:

<https://www.youtube.com/watch?v=MSxEeWvde2c>.

Lundvang, A. og Renmælmo, R. (2018) *Oppgangssaga i Aursfjord - enkelt og genialt*.

Tilgjengelig fra: <https://www.youtube.com/watch?v=AcwWmxX0qAY> (Hentet: 15.08. 2021).

Meinander, N. (1945) *En Krönika om vattensågen*. Finska Sågverksägareföreningen.

Nash, K. (1990) *Første del av diplomarbeidet Vannhuldrevet sag på Dovre*. Diplomoppgave, Norges Tekniske høgskole NTH.

Näslund, O. J. (1937) *Sågar - bidrag til kännedomen om sågarnas uppkomst och utveckling*. Stocholm: Generalstabens Litografiska Anstalt.

Reynolds, T. S. (1983) *Stronger than a hundred men - a history of the vertical water wheel*.

Sandblad, H. (red.) (1946) *Christopher Polhems Efterlemnade Skrifter*. Uppsala och Stockholm: Lærdomshistoriska Samfundet, på oppdrag av stora Kopparbergs Bergslags Aktiebolag.

Thuesen, G. (1956) En gammel oppgangssag, i Dannevig Hauge, T. (red.) *Volund - Selskapet Norsk Teknisk Museums Årbok*. Oslo: Norsk Teknisk Museum, s. 57-66.

Aasen, I. (2003) *Norsk Ordbog : med dansk Forklaring*. Ny utg. ved Kristoffer Kruken og Terje Aarset. Oslo: Samlaget.

## Vedlegg

Vedlegg 1: Tegninger av oppgangssager fra Norsk Teknisk Museums tegningsarkiv.

Vedlegg 2: Utdrag fra Larvik grevskaps Arkiv, taksering av Fritzøe Sagbruks bygninger og dammer.

Vedlegg 3: Lenke til videopresentasjon av testresultater

