

Sveiste konstruksjoner i vannturbiner ved Kværner Brug- Utviklingstendelser bestemt av forholdet materialkostnad/lønnskostnad. (Del I)

Foredrag ved Sveisedagen i Oslo av sivilingeniør Arne Bjørnsgaard 17. mars 1983

Sammendrag , del I

Det gis glimt fra utviklingen av sveiste konstruksjoner for vannturbiner ved Kværner Brug gjennom 50 år. Sveisingen ved Kværner begynte før 1930 med sammenføyninger med lav påkjenning av ulegerte stålplater og støpestål i løpehjul for lavtrykk Francisturbiner. Senere, i løpet av 40- og 50-tallet fortrenget sveisingen nagleskjøting som sammenføyningsmetode for plater i trykkbeholdere. I løpet av de siste 20 år har sveiste konstruksjoner av valsedede grovplater og emner erstattet størsteparten av støpestålet slik at nå er mindre enn 10% av turbindelene støpestål. Et viktig ledd i lønnsomheten har vært økningen av flytegrensen til 460 MPa i større trykkpåkente deler (som ringledninger for Pelton og spiraltrømmer for Francisturbiner). Dermed er vekten redusert til mindre enn halvparten av støpestålsutførelsen. Dette har imidlertid satt strengere krav til sveisekvalitet og detaljutforming av f.eks. stusser og avgreninger. Overgangen til sveiste konstruksjoner har tildels vært problemfylt pga. anisotropi i valset materiale (lagdeling) og hydrogeninduserte sprekker. Disse problemene ble imidlertid overvunnet i løpet av 70-tallet. Det må imidlertid erkjennes at parallell med kvalitetsutviklingen i valset materiale har det skjedd en tilsvarende kvalitetsforbedring av støpestålet. Derfor kommer en etter mitt skjønn aldri utenom støpestål i vannturbiner. Sveising av rustbestandige høyt trykk Francis løpehjul kommer i Del II.

Sveising er en relativt ny verkstedsdisiplin i Kværner Brugs 130-årige historie.

Sveisingen kom i gang for alvor på slutten av 20-tallet med lavtrykk Francis løpehjul, se fig. 1. Her sveises løpehjulesringen til skovlene. Forbindelsen til bosset blir ved dette ca. 50 år gamle løpehjulet støpt. Forankringen skjedde ved at ståsmelten rant inn i de borete hullene i skovlene. P.g.a. skovlenes dobbeltkrumme form var det relativt små krefter som skulle til for å overføre dreie-momentet og innspenningskrefter gjennom sveisene. Inntil da ble skovlene fremstilt av stålplater og presset og hamret til riktig form for deretter å innstøpes i boss og ring.

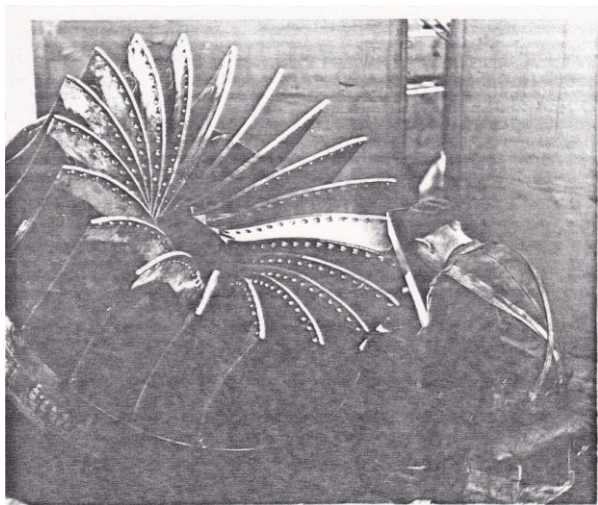


Fig. 1. Sveising av Francis løpehjul. Bare mot ring. ca. 1931

Det var 20 og 30 årenes store utbygging i Mørkfoss Solbergfoss i Nedre Glomma som krevde ny teknologi ved fremstillingen av Francis løpehjul. Diameter på 3000 mm og ytelse 11500 hk ved 20 – 25 m fallhøyde var den gang store turbiner.

I løpet av 20-tallet ble det oppnådd usedvanlig høye modellvirkningsgrader for disse turbinene ved vannkraftlaboratoriet i Trondheim. Da prototypeturbinen skulle produseres, var det umulig å oppnå en tilfredsstillende overflatefinhet i skovlkanalene med tidens støpe- og slipeteknikk. Spesielt ut mot

løpehjuleringen var det viktig med en hydraulisk glatt og jevn overflate siden det er her vannhastigheten er størst i løpehjulskanalene. Derfor var her naturlig å få sveiset forbindelse mellom den dobbeltkrumme maskinerte flaten på løpehjuleringen og de pressede skovlene. Fig. 2 viser en prøve på sveiseovergang mellom skovl og ring. En gjør seg flere refleksjoner ved å granske den tilsynelatende overdrevent forseggjorte og kostbare sveisutførelse.¹⁾

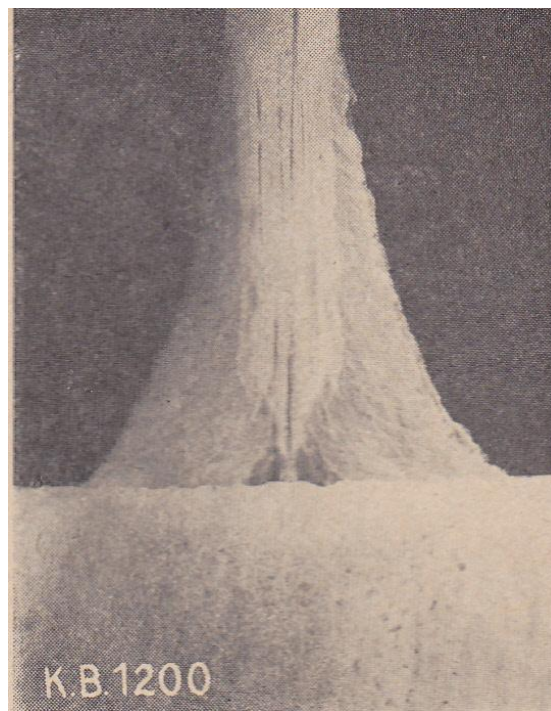


Fig. 2 Detalj av sveiseforbindelse mellom løpehjul og skovl i Francis løpehjul ca. 1931. Antydning til lagdeling i skovlplaten

¹⁾”Jeg synes nok at overingeniør H. Christie var pinlig nøye med utformingen av disse sveiseovergangene for vel 50 år siden” forteller tidligere sveiseformann Gunnar Nilsen. ”Men jeg skjønnte etter hvert at han hadde noe å fare med”. De begynte å sveise med blanke elektroder på 20-tallet med mindre godt resultat. Tidlig på 30-tallet kom Arcos med sveiseelektroden Stabilend (nøytral). Iflg. G. Nilsen var denne dekkede elektroden langt foran sin tid

P.g.a. dette utettede og oksydholdige stålet, og med sterk tendens til elding i HAZ, var det meget begrenset bæreevne sveiseforbindelsen hadde. Hvilke vansker de hadde med å sveise disse materialene, fikk en påminnelse om da Solbergfosshjulene omkring 1960 var fulle av sprekker og skulle sveiserepareres. Med forbedret sveiseutstyr og elektroder var en da ikke i stand til å sveisereparere sprekken. En av årsakene var nok platekvaliteten – utettet stål med svovelinhold over 0,06 %. På figur 3 er vist noen sveiseforbindelser i de nye Solbergfosshjulene i finkornstål fra 1960-tallet. Sammenligning av sveisefugene skulle vel forklare noe om hvorfor sveiseforbindelser hadde en trang fødsel på Kværner Brug, og vel også de fleste steder på dette tidspunkt.

Etter hvert som de fikk sving på løpehjulsveisingen våget de seg også på sveising av spiralskall ("sneglehus") i løpet av 30-tallet. I 1937-38 ble således den første spiraltrømme, med platetykkelse 16 mm, sveist i rundsømmene (dvs. de radiale sveiseskjøter). Langs skjøten mot stagringen som har over det dobbelte spenningsnivå, ble for alle spiraltrømmer nagleskjøtet frem til ca. 1950, og noen enkelte helt frem til 60-tallet.

Ved en stor teknologisk omlegging som det var fra nagleskjøting til sveising av spiraltrømmer, var det naturlig at en så an hvordan konstruksjonen tedde seg under drift. Etter mitt skjønn var det med bakgrunn i alle sprøbruddene i skip helt frem til 60-tallet fornuftig å holde igjen de mest påkjente sveiseskjøtene i spiraltrømmene til de mer aldringstrege platekvalitetene innfant seg.

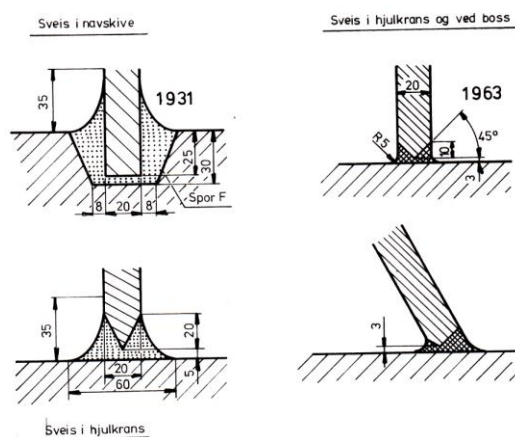


Fig. 3 Sammenligning av sveisefuger for Francis løpehjul fra 1931 og 1963. NB! Gjelder samme løpehjul

Konkurransforhold platekonstruksjon/ støpestålkonstruksjon

Støpestålstandarden DIN 1681 (fra 1929) var utgangspunktet for Norsk standard Sst 45.81 (fra 1937), for øvrig med krav til slagseighet, noe som ikke var vanlig ved valsede plater.

Etter krigen kom C-Mn støpestålene med mikrotilsats av aluminium, (senere også Vanadium, Niob). I riktig mengde unngikk en da overflateporene ("pin holes"). Når en ser bort fra støpefeil var støpestålet dessuten langt mer isotropt enn platematerialet p.g.a. lagdelingen til dette. Og ikke minst, en oppnådde etter normalisering gode slagseighetsverdier ved 0 °C og lavere. (Vintertemperatur for vannkraftutstyr i Norge er et par plussgrader for innendørs turbindeler).

Siden Si-tettet platemateriale ikke kom i bruk før ca. 1950 og Al-tettet før siste halvdel av 50-tallet i vannturbiner ved Kværner Brug, hadde støpestålet et forsparg på platekonstruksjoner, særlig ved godstykkelse over 30 mm. Overingeniør H. Christie sa det slik: "En av de viktigste material-tekniske nyvinninger mellom 1930 og 1960 var det godt sveisbare støpestålet". Frem til 1960 var således reparasjon av støpestål en ikke uvesentlig del av sveisearbeidet på vannturbindeler. (Fra ca. midten av 50-tallet med basisk elektroder). Dette forteller imidlertid også noe om støpestålkvaliteten.

Med leveranse av Tokke I turbinene i 1960 kuliminerte støpestålanvendelsen i Francis turbinene, se fig. 4. Her er alle hoveddeler støpt unntatt løpehjulet hvor plateskovlene er innsveist i boss og ring. Disse løpehjulene var ved siden av Hemsil I (som har max. fallhøyde 540 m), de første høytrykks Francisløpehjul hvor varmpressede plateskovler ble sveist inn i støpestålsboss og ring. (Mer om løpehjul senere). Ved Tokke I var spiral-skallet støpt med godstykkelse 70 mm.

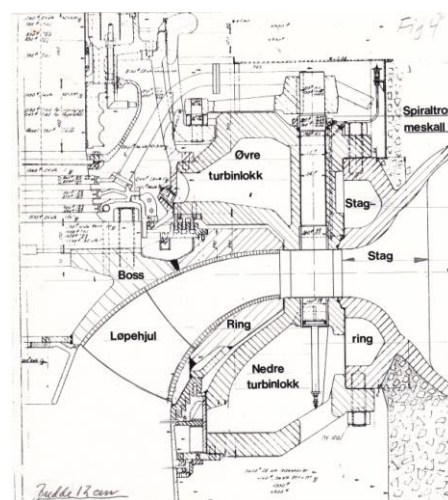


Fig. 4. Tokke I. Turbin, sammenstilt $P = 110.000 \text{ kW}$,
 $H_e = 377 \text{ m}$

De første spiralrommeskall med over 400 m fall som ble sveist, var 4 stk. til Sira Kvina Kraftselskap, Tonstad Kraftverk. Turbinene ble levert fra verkstedet 1967 – 1971, og var da så vidt vi vet de største inntil da med denne fallhøyden, 165000 kW. Fig. 5 viser en av spiralrommedelene i verksted. Som det skal fremgå av bildet er stagring og spiralflenser støpt. Forskjellen fra Tokke spiralrommen er at her er skallet sveist med finkornplater TTStE29. Dersom spiralskallet skulle være støpt ville godstykkelsen av støpetekniske hensyn vært ca. 100 mm mot den utførte ca. 50 mm.

For 10 – 15 år siden ble en som vannturbinkonstruktør gjort oppmerksom på at det var unødvendig å nytte kostbart finkornmateriale med slagarbeidsgarantier ved flere 10-talls °C lavere enn 0 °C. Nedenstående tyder imidlertid på at finkornanvendelsen har vært berettiget.

Iflg. Tidsskriftet "Brennstoff, Wärme, Kraft" 1965 nr. 9, ble det tidlig på 50-tallet sveiset en rørforgrening i et tilløpsrør til et vannkraftanlegg på kontinentet. Materialet var grovplater i DIN-kvalitet M II. (C-Mn-stål uten finkorntilsats). Normalt har ikke materialet slagseighetsgaranti under 20 °C. Under igangsetting ble grenrøret sprenget ved normal trykkstigning som opptrer

under belastningsavslag. Dette grenrøret ble skiftet ut med eldningsbestandig (eldningstregt) materiale i kvalitet HIIA, dvs. finkornstål.

Stagringen er en kritisk konstruksjonsdel idet den skal overføre hele aksial-lasten fra turbinlokkene pluss de aksielle kreftene på stagring og spiral, helt ut til senterlinje i spiral (torus). (Ved våre største Francis-turbiner overføres det gjennom stagene aksiale krefter på størrelse 250-300 MN (25000-30000 tonn kraft).

De helstøpte stagringer funksjonerer godt, men fra lønnsomhetssynspunkt er konstruksjoner med større partier med lavt spenningsnivå ("daukjøtt") sterkt uønsket. I slike stagringer er slikt uønsket gods vanskelig å unngå. Derfor begynte en relativt tidlig å sveise stagringer for å redusere vektene. I 1965 var en kommet opp i godstykkelser på 80-90 mm i stagene. Til å begynne med støpte en stagringene separat og sveiste disse til stagskovler av støpestål eller finkornplater, se fig. 6. Pga. aksiallasten fra vanntrykket var det med lagdelingsfare i grovplatene lite tilrådelig å utføre selve stagringen platekonstruksjon. (Forutsatt T-skjøt).

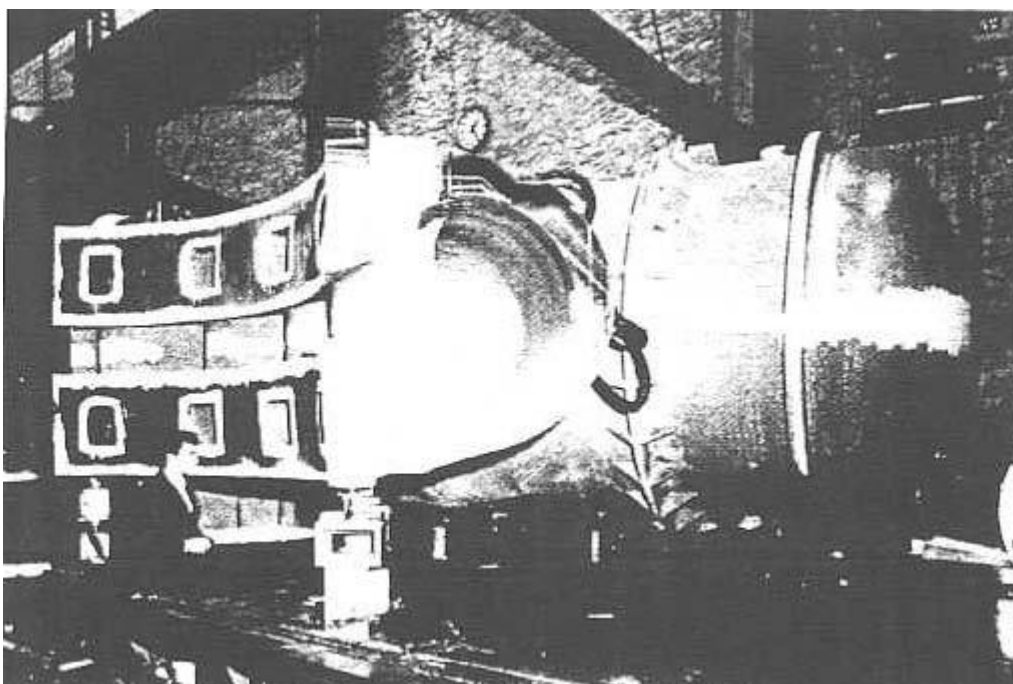


Fig. 5. Spiralrommedel i verksted Tonstad

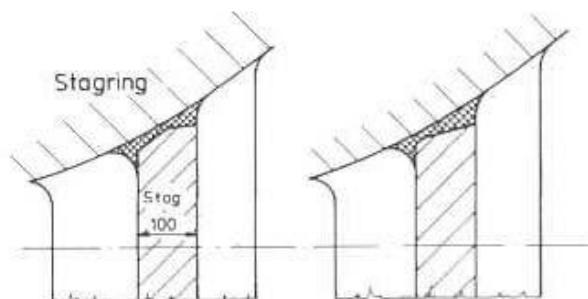


Fig. 6. Stag - stagring sveisedetaljer

På denne tiden hadde en heller ikke på langt nær kommet til bunns i årsaken til sveisesprekkene.¹⁾ Derfor fikk disse først større sveiste stagringer en trang fødsel gjennom flere år. En visste nok at tørking og forvarming hadde gunstig virkning, men man hadde ikke den fulle forståelse av sprekkdannelse p.g.a. hydrogen. Noen ganger gikk det bra uten disse forholdsregler. Men neste gang ble det kanskje dobbelt arbeid. Hovedsveisen var forbindelsen mellom stag og stagring, se fig. 6. En startet med symmetrisk K-fuge, men det var nesten umulig å få bunnstrengen til å holde. Adskillig bedre resultat fikk man ved å gå over til 90 % V-fuge, selv om sveisevolumet ble adskillig større med 80-90 mm platetykkelse. Japanske og engelske undersøkelser (Welding Institute) i 1977 og 1981 [I] bekrefter empirisk/teoretisk hvorfor V-fuge gir lettere sprekkfri rotstreng. Da var imidlertid "sprekkepoken" p.g.a. hydrogen alt overveiende et tilbaketragt stadium ved Kværner Brug.

¹⁾ En er kjent med at ved et større oversjøisk pumpeturbinanlegg på første halvdel av 70-tallet var stagringer utført i T1-kvalitet og sveiset med stagtykkelse 150 mm. Under trykkprøvingen sprakk stagsveisene før vantrykket hadde nådd det nominelle driftstrykket.

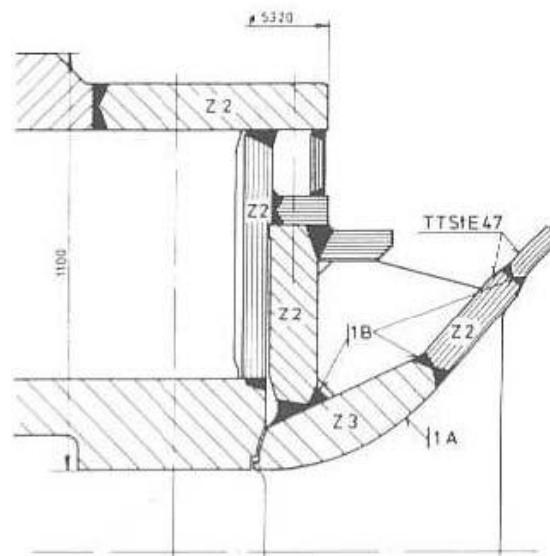


Fig. 7. Detalj av turbinlokk - stagring Kvilldal 1978. Anvendelse av Z-plater.

Ved siden av hydrogensprekkene var problemene med lagdeling (sjiktbristing) i platematerialet som var det andre hovedproblemet i sveiste konstruksjoner til langt ut på 70-tallet. Dette var nok en viktig årsak til at støpestålet med sin mer isotrope materialeegenskap konkurrerte med sveiste konstruksjoner helt frem til 70-tallet for de største godstykkelsene.

Ved at Z-stålene ble tilgjengelige fra midten av 70-tallet, fikk sveisingen av valset materiale sin største teknologiske nyvinning siden finkornstålene 20 år tidligere (etter mitt skjønn).

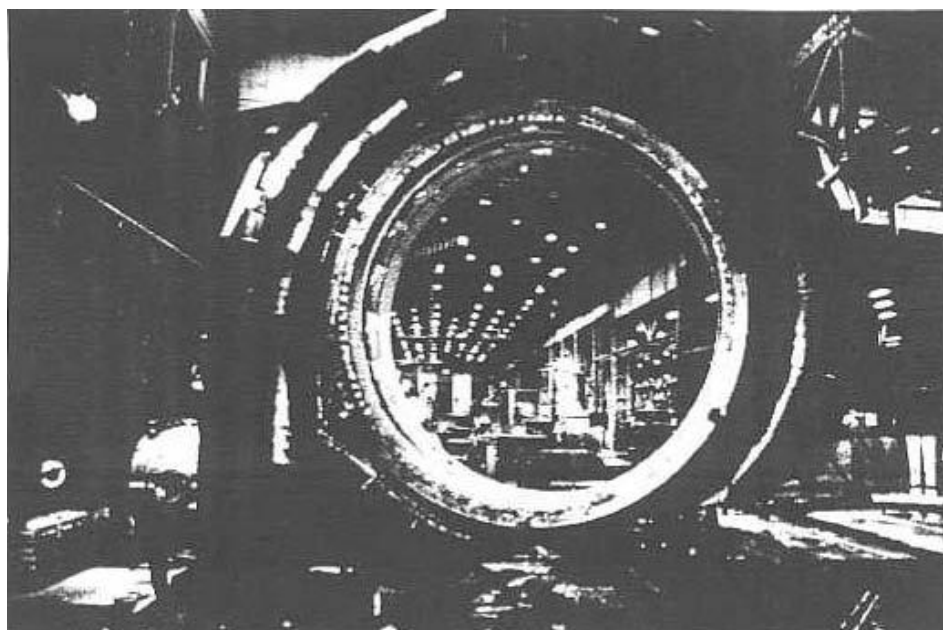
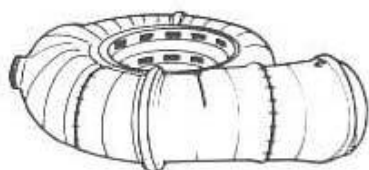


Fig. 8. Helsveiset spiralromme til Kvilldal Kraftverk. $P = 315.000$, $H_e = 520$ m, vekt 95 tonn, største diameter 10,5 m.

Et eksempel på anvendelse av Z-stål er vist i fig. 7, utsnitt av øvre turbinlokk og stagrin, Kvilldal Kraftverk. De fleste plateemnene her er i finkornkvalitet TTStE36, Z2 og Z3, (dvs. midlere kontraksjon i tykkelsesretningen på henholdsvis 25 og 35 %). På fig. 7 er også angitt Kværners akseptkriterier av sveisekvalitet og overflatekvalitet av sveis. Sveiseklasse I tilsvarer nærmest ASME, SECTION VIII DIV. 2. Overflatekvalitetene A og B må nærmest betegnes som "Kværnerske", uten referanser. Spiralskallet er i kvalitet TTStE47 (DIN). (Denne kvaliteten ble først nytt til ringledning i peltonturbiner, herom senere). Spiraltrommen ferdigsveiset i verkstedet er vist på fig. 8. P.g.a. begrensning i veitunnel mangler en kalott.



	Spiral 1	Spiral 2	Spiral 3
Konstruksjonsår	1958	1965	1976
Turbinytelse MW	110	165	315
Ferdig vekt Tonn	100	100	100
Vektfaktor			
$\left(\frac{D_{sn}}{D_{st}}\right)^2 \frac{D_{in}}{D_{it}}$	1.0	1.45	2.58
Vekt omregnet fra turbin 1- Tonn	100	146	258

Fig. 9. Utvikling av vekt av spiraltrommer fra 1958 – 1978.

For å få et begrep om utviklingen av sveiste konstruksjoner for Francis turbiner over 18-årsperioden 1958-1976 er valgt 3 stk. 100 tonns spiraltrommer i fallhøydeområdet 400-600 m I, II og III. Konstruksjonsårene er 1958, 1965 og 1976, se fig. 9. Da turbinene er tilnærmet likedannede, ville altså spiraltromme III (Kvilldal) med 1958-teknologi veiet ca. 250 tonn, (mot altså 100 tonn). Det må erkjennes at skal en oppnå så stor vektreduksjon med helsveiset spiraltromme må en unngå å dele stagringsen. Dersom "flaskehals" for transporten underveis til anlegget krever deling av stagringsen blir denne da tyngre. For Kvilldal var transportmulighetene med trailer og båt klarlagt tidlig på prosjektstadiet. "Nåløyet" for denne transporten var baugporten på MS "Elektron" med bredde 4,8 m mens minstediameter for spiraltrommen var 8,2 m. Den laveste tunnelhøyde var ca. 5,5 m. Med disse dimensjonsbegrensningen hadde en med ukløvet stagringsen valget mellom mekanisert løfteutrustning av kjøredonningen eller at transporten skulle eskorteres av 2 stk. 60 tonns mobilkraner gjennom de forskjellige nåløyene. Da en allerede på prosjektstadiet hadde flere

stor spiraltrommer i ordre, valgte en det første alternativet.

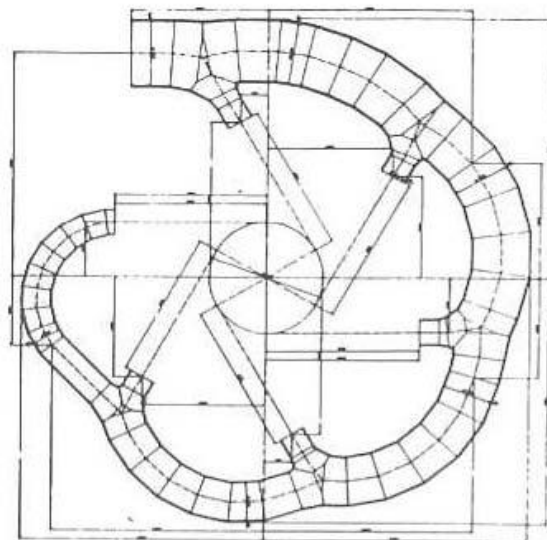


Fig. 10. Ringledning for 6-strålet Peltonturbin.

Høyfast materiale i Peltonringledning

Platekvaliteten TTStE47 ble som nevnt første gang nytt ved Kværner Brug i 1969.

Opp mot slutten av 60-tallet fikk Kværner Brug bestilling på 1 stk. Pelton turbin til Oslo Lysverkers anlegg Aurland I. Maksimal ytelse var ca. 250.000 kW ved fallhøyde 840 m V.S. (Ingen annen turbinleverandør hadde til da levert Pelton turbiner med større effekt). Ved vurdering av materialkvaliteten til ringledningen, (se fig. 10), fant en ut at med kvaliteten TTStE36 ble platetykkelsen i ringledningen 90 mm.

Sivilingniør *Hermod Brekke*, som utviklet disse turbinene, kom (etter samarbeid med vår sveiseingeniør *K. Hasund*) etter omfattende sveisprøver, bl.a. Tekkenprøven, frem til kvaliteten TTStE47. Etter diverse analyseforbedringer har denne følgende analyseverdier (maks):

C	Mn	Cu	Ni	V	S
0.13	1.5	0.7	0.7	0.10	0.01

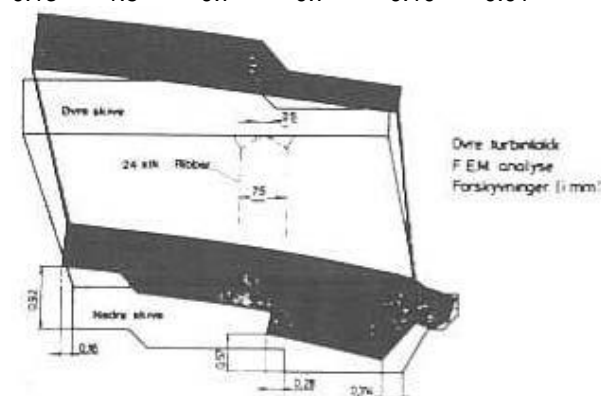


Fig. 11. Øvre turbinlokk. Deformasjon p.g.a. vanntrykk beregnet ved hjelp av elementmetoden.

Den øvre grense for flytegrense og bruddfasthet kom en frem til etter bruddmekaniske vurderinger:

Lekkasje før ustabil brudd.

Eller mer detaljert: Med levetid på 50 år og med 3 ganger daglig start stopp gir dette ca. $5 \cdot 10^4$ belastningsvekslinger mellom null trykk og fullt vanntrykk i ringledningen. Kravet var at eventuell utmatningsprekk skal ha gått gjennom platetykkelsen 60 mm (og dermed gi lekkasje) før ustabil oppstod. Ut fra dette fant en at TTSiE47 hadde den høyeste fastheten som tilfredstilte kravet (Med bruksspenning lik 40% av flytegrensen): *Lekkasje før ustabil brudd.* Risikoen for eventuelle ustabile brudd p.g.a. at en har oversett feil ved ikke-destruktiv prøving, mener en ytterligere å ha eliminert ved at de vanntrykkpåkjennte turbindelene trykkprøves til 50 % over høyeste opptredende driftstrykk.

Sveising av turbinlokk for høytrykk Francis turbiner

Ved sveising av turbinlokk, fig. 11, er de radielle ribbene hovedsaklig påkjent med skjærpåkjening. (Unntatt den ytterste delen av ribben, hvor det er relativt store sprekkspenninger). Hensikten med stor stivhet er å gi minimum lekkasje mellom ledeskivler og ledeskiver. For hver 1/10 mm aksial deformasjon av lokket i forhold til stagring, reduseres virkningsgraden for en 200 MW Francis turbin med fallhøyde 500 m med ca. 2 promille. Denne turbinen vil derfor ha minst 400 kW tap ved nevnte klaringsøkning. Med de strenge krav til deformasjon av turbinlokkene blir spenningsnivået i disse lavere enn f.eks. i stagen i stagringen. P.g.a. det lavere spenningsnivå er det ikke nødvendig med K-sveis fri for rotfeil på den indre del av sveis mellom ribb og lokkskiver. Dvs. at det tillates rotfeil lik ca. 1/3 av ribbetykkelsen.

Frem til midten av 70-tallet var det vanskelig med denne K-sveis å unngå sprek i bunnstreng selv med forvarming og tørkede elektroder. Grunnmaterialet var St52-3N. P.g.a. sveisevolumet ønsket en ikke å ha stor fugevinkel og dermed ble lengde-energien ofte for liten til å unngå sprek i rotstreng. Løsningen på dette problemet var overgang til sveis med helmantlet rørtråd. Derved oppnådde en ved siden av redusert sveisevolum at en både unngikk sprek i bunnstreng samtidig som rotfeilen ble begrenset til $< 1/3$ skovltykkelsen. Bunn-strengproblemet var det samme som omtalt foran vedr. K-fuge ved sveising av stag til stagringen. (I)

P.g.a. kravet til stivhet av turbinlokk bygger disse seg høye. Deformasjoner av turbinlokket på fig. 11 er beregnet ved hjelp av elementmetoden (220 MW Francis turbin med 450 meters fallhøyde). Som en ser er den aksielle deformasjonen forholdsvis mye større en den radielle. Dette indikerer at selv med 75 mm ribbetykkelse er disse for myke.

Spesielt for mindre og middels store høytrykks Francis turbiner har en av disse årsakene funnet det lønnsomt å konstruere turbinlokkene massive. Ved aksielle deformasjonsmålinger på slike lokk har en naturlig nok funnet bedre samsvar mellom aksielle og radielle deformasjoner.

Ser en på utviklingen mellom materialkostnad og lønnskostnad, jfr. Fig. 12, fremgår det at i de siste årtier har råvarene stadig blitt billigere i forhold til lønnskostnadene i verkstedet. Ved turbindeler som turbinlokk, hvor det er viktig å holde deformasjonene nede, har derfor øket anvendelse av massivkonstruksjoner funnet sted selv om disse blir tyngre enn "dobbeltdækkerlokkene". Ved massivlokk kan derfor høyden reduseres. Dermed øker imidlertid spenningsnivået men de aksielle deformasjoner holdes omtrent konstant (på nivå med sveisede lokk). P.g.a. dette er det et materialteknisk forhold som en må ta i betraktning: Ved at godstykkelsen øker (ofte over 300 mm) sammen med spenningsnivået, settes det større krav til bruddseigheten ved at godstykkelsen kan komme opp til de tykkelser som gir gyldighet for lineærelastisk bruddmekanikk. (Selv for finkornstål i mellomklassen 36). Forenklet kan en si at materialet ter seg sprøere jo større godstykkelsen er, (flerakset spenningstilstand "sperrer" deformasjon). Å fastlegge bruddmekaniske verdier med slike godstykkelser er imidlertid meget kostbart.

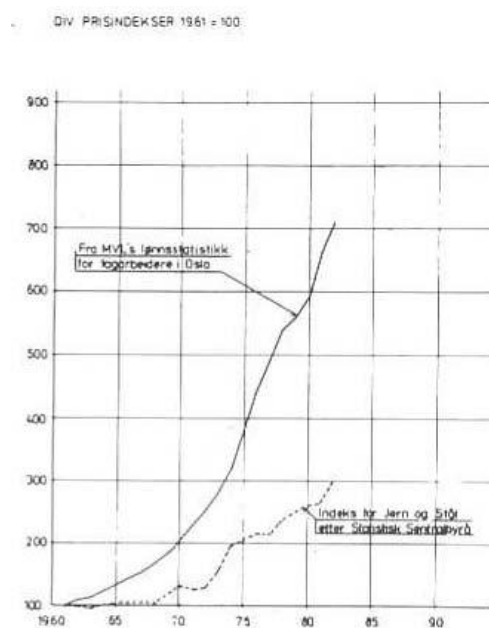


Fig. 12. Utvikling av lønnsstatistikk og indeks for jern- og stålmaterialer i tidsrommet 1961 – 1982 = 100.

I [2] vises det til en fransk undersøkelse som gir korrelasjon mellom temperatur TK_{27} (temperatur for slagseighetsverdi ISO-V27J) og den temperatur TK_{IC100} hvor K_{IC} er lik $100MP_a \sqrt{m}$. I praksis vil det si at med dette sprøbruddkriteriet må en i avhengighet av godstykkelsen foreta slagseighetsprøver flere 10-talls

grader under driftstemperaturen. Disse prøvekostnadene er imidlertid neglisjerbare i forhold til bruddmekaniske prøver.

Ved alle større vannturbiner med fallhøyde over ca. 150 m utføres det trykkprøving av hoveddelene spiraltrømme og turbinlokk. Med masivt lokk kan en si at denne prøven blir mer sprøbruddskritisk enn et vanlig oppsveist lokk med moderate godstykkelser 100-200 mm.

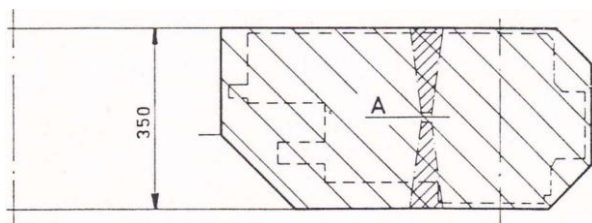


Fig. 13. Massivt turbinlokk for høytrykk Francis turbin, $P = 60.000 \text{ kW}$, $h_e = 485 \text{ M}$.

Fig. 13 viser snitt gjennom et slikt massivt turbinlokk. P.g.a. breddebegrensning av valseemnet samt bedre materialutnyttelse er det ofte aktuelt å skjøte 2 lokkhalvdeler. På fig. 13 er inntegnet en hittil vanlig sveisefuge, A (Dobbelt V-fuge). Det er fristende her å bruke sveisemetoder med stor lengdeenergi som for eksempel elektroslaggsveising. P.g.a. grovkornet struktur i materiale kreves det etterfølgende normalisering og vi har hittil ikke funnet metoden lønnsom.

Litteraturhenvisning.

- (1) T.G. Davey, BSc (Eng) and PHM Hart, BSc (Eng) ARSM, MIM, MWeld: "The influence of weld preparation and restraint on the risk of root pass HAZ cracking in butt welds in C, Mn, Si Nb Steel. *The Welding Institute Research Report 135/1981*
- (2) H.S. Wintermark. "Betraktninger over stålvalg til sokkelinstallasjoner I Nordsjøen" *Sveiseteknikk* nr 4 1982