



SINTEF Energiforskning AS

Postadresse: 7465 Trondheim
Resepsjon: Sem Sælands vei 11
Telefon: 73 59 72 00
Telefaks: 73 59 72 50

<http://www.energy.sintef.no>

F. nr.: NO 939 350 675

TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

Klassifisering av løpehjul for Francis turbiner og reversible pumpeturbiner

SAKSBEARBEIDER(E)

Per Egil Skåre og Hermod Brekke

OPPDRAKSGIVER(E)

Energiforsyningens fellesorganisasjon, Enfo
NFR P3.03

TR NR.	DATO	OPPDRAKSGIVER(E)S REF.	PROSJEKTNR.
TR A 5164	2000-02-06	Thomas Wiborg, Enfo	17X150.01
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.)	GRADERING
C:\Bruddssikkerhet\Siste		Per Egil Skåre	Åpen
ISBN NR.	RAPPORTTYPE	FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.)	OPPLAG SIDER
82-594-1773-1	1	Nils Flatabø	14
AVDELING	BESØKSADRESSE	LOKAL TELEFAKS	
Kraftproduksjon og marked	Sem Sælandsvei 11	73 59 72 50	

RESULTAT (sammendrag)

En oversikt over type hjul fra 1945 til dagens design er gitt. Hoveddelen av informasjonen er laget på bakgrunn av opplysninger gitt av Kværner Energy, nå GE Hydro. Produksjonsinformasjon er også innhentet fra Sulzer. Notatet inneholder opplysninger om hvordan Francis turbinhjul er sammenstilt, samt ståltyper og sveisemetoder. Opplysninger om hjul fra andre leverandører som Voith, Neyrpic og Charmille osv. er ikke gitt.

Siden denne tekniske rapporten er et underlag til NDT Brukermanual – Francisløpehjul (Enfo – NFR P3.03) må følgende bemerkes:

Kontrollmetodene som er angitt for magnaflux (MT) og virvelstrøm (ET) i NDT Brukermanualene for løpehjul kan bare benyttes for hjul eller områder hvor det er artslik sveising. Det betyr at visuell og penetrant (PT) kontroll er de eneste metodene som kan benyttes for mesteparten av sveiseomfanget i Francis løpehjul i norske kraftverk. Unntakene er hjultypene med artslik sveising (se tabell 1.1).

STIKKORD

EGENVALGTE	Francis turbiner og pumpeturbiner	Sammenstillingsmetoder
	Bruddssikkerhet	Klassifisering

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1	INNLEDNING..... 4
1.1	Innstøpte og sveiste hjul, høytrykk 6
1.1.1	Type 1.A.1 6
1.1.2	Type 1.A.2 8
1.1.3	Type 1.A.3 8
1.1.4	Type 1.A.4a..... 9
1.1.5	Type 1.A.4b 10
1.1.6	Type 1.A.5 10
1.1.7	Type 1.A.6 11
1.1.8	Tidsepoker, høytrykkshjul 11
1.2	Støpte hjul, høytrykk..... 11
1.3	Innstøpte og sveiste hjul, lavtrykk 12
1.3.1	Type 2.A.1 12
1.3.2	Type 2.A.2 12
1.3.3	Type 2.A.3 12
1.3.4	Type 2.A.4 13
1.3.5	Type 2.A.5 13
1.3.6	Type 2.A.6 13
1.4	Støpte hjul, lavtrykk..... 13
1.4.1	Tidsepoker, lavtrykkshjul 13

1 INNLEDNING

Prosjektet "Bruddsikkerhet i vannturbiner" er delt opp i tre hoveddeler. Disse er:

1. Peltonturbiner
2. Francisturbiner
3. Kaplanturbiner

Denne delrapporten går inn i del 2 av prosjektet, som omhandler Francis og Kaplan turbiner. Et av underprosjektene var å få en oversikt over de ulike produksjonsmetoder, stål og sveisekvaliteter som er brukt. Undersøkelsen omfatter hjul som er produsert etter den andre verdenskrig, dvs. fra 1945. Før krigen var mesteparten av hjulene laget av støpejern. Av disse er majoriteten erstattet med nye hjul, og dermed ikke interessant for prosjektet.

For Francis turbiner deler en grovt inn i høytrykks- og lavtrykksturbiner. Innenfor de to hovedgruppene har en flere ulike inndelinger. Det er innstøpte plateskovler i boss og ring av støpestål, sveiste hjul i både ulegert og rustfritt stål og til slutt helstøpte hjul. I denne rapporten har en valgt å sette alle sammenstilte turbinhjul i gruppe A, mens helstøpte hjul er i gruppe B. Følgende undergrupper er da brukt:

- 1.A Innstøpte og sveiste hjul, høytrykk
- 1.B Støpte hjul, høytrykk
- 2.A Innstøpte og sveiste hjul, lavtrykk
- 2.B Støpte hjul, lavtrykk

Dermed omfatter gruppe A utviklingen fra 1945 og frem til dagens teknologi på hjul sammensatt av flere deler, dvs. ring, boss og skovler. Fra innstøping av plateskovler i boss og ring i tiden rett etter andre verdenskrig og frem til dagens fremstillingsmetode med bruk av 5-akse fresemaskiner har det vært mange utviklingssteg. Tabell 1.1 og 1.2 gir en oversikt for hjul produsert av hhv. tidl. Kværner (nå GE Hydro) og Sulzer.

Tabell 1.1 Hovedinnndeling av Francis løpehjul fra Kværner

H ø y t r y k k	Type 1.A.1 Plateskovler innstøpt i boss og ring Disse hadde for høytrykks- turbiner rust- frie pålegg eller innlegg		Type 1.A.3 Sveist ulegert stål Rustfritt avløp / påleggsveis for de høyeste fall- høydene	Type 1.A.4 Sveist rustfritt		Type 1.A.5 Med "stubber" på ring og boss Artslik sveising i hele hjulet	Type 1.A.6 Dagens design "Ultra high head" har stubber ved avløp ved ring, ellers uten
		-----		a: Sveist med 248 SV – ikke artslik avsett på grunn av høyt innhold av nitrogen	b: Sveist med 16/5 elektroder på de mest utsatte områdene - artslik avsett		
Material	Mayari		Mayari	16%Cr 5%Ni	16%Cr 5%Ni	16%Cr 5%Ni	16%Cr 5%Ni
Tidsrom	1946 – 61		1957 – 67	1965 – 78	1974 – 93	1992 – 97	1998 →
L a v t r y k k	Type 2.A.1 Plateskovler innstøpt i boss og ring	Type 2.A.2 Plateskovler innstøpt i boss og sveist mot ring	Type 2.A.3 Sveist ulegert stål	Type 2.A.4 Sveist med 248SV (eller 316)		Type 2.A.5 Med stubber på ring og boss	Type 2.A.6 Dagens design er uten stubber, sveist med 316 elektroder
	Mayari	Mayari	Mayari	16%Cr 5%Ni		16%Cr 5%Ni	16%Cr 5%Ni
Material	Mayari	Mayari	Mayari	1972 – 93		1992 - 97	1998 →
Tidsrom	1945 – 51	1953 – 60	1957 – 74				

Tabell 1.2 Hovedinndeling av Francis hjul fra Sulzer

H ø y t r y k k	Skovler av stålstøpegods
	Skovlene er innstøpt eller sveist avhengig av størrelsen på turbinen.
	Alle hjul levert i Norge er sveiste hjul.
	Materiale : G-X 5 13%Cr 4%Ni
L a v t r y k k	Skovler av plater som er presset i riktig form
	Plateskovler innstøpt i boss og ring
	Plateskovler sveist mot boss og ring
	Materiale : X 5 13%Cr 4%Ni
Tidsrom	1945-60
	1960 →

Sulzer oppgir at for alle leverte turbiner er det brukt artslike sveiser.

1.1 Innstøpte og sveiste hjul, høytrykk

Etter hvert som metodene for å sette sammen løpehjul, sveisemetodikk og nye stålkaliteter er blitt utviklet har også tilvirkningsmåten for høytrykkshjul blitt endret. Tabell 1.1 og 1.2 gir en oversikt over hjul produsert av Kværner¹ og Sulzer fra perioden 1945 og frem til dagens teknologi. Nedenfor er det gitt mer detaljerte opplysninger om de ulike typene og eksempler på hvor de ulike klassene har vært i bruk eller fortsatt brukes. I de to første underklassene for høytrykk Francisløpehjul, dvs. 1.A.1 og 1.A.3, er det også laget en oversikt over antall turbinhjul som fortsatt er i drift fra tiden 1945 til 1967 (NB! Bare turbiner større enn 10 MW er med i oversikten).

1.1.1 Type 1.A.1

Før 1958 ble skovlene fra Kværner og flere andre turbinfabrikanter støpt fast i ring og boss av ulegert støpestål. Løpehjulene fra Kværner (tidl. Kværner Brug) ble fremstilt ved at skovlene av Mayari stålplater ble presset til riktig form og støpt fast i ring og boss av ulegert støpestål (platene var utstyrt med hull mot boss og ring som sikret god innfesting av skovlene). Ved de høyeste trykkene ble det på avløpet og innløpet mot boss og ring påleggsveist med 18%Cr 8%Ni (se figur 1.1 a)) eller påsveist et stykke med 13%Cr 1%Ni stål² på avløpet. Dette ble gjort for å unngå kavitasjonsskader eller turbulenskorrosjon der vannet var surt ($\text{pH} < 5$). Et annet mål var å redusere strømningsstapene.

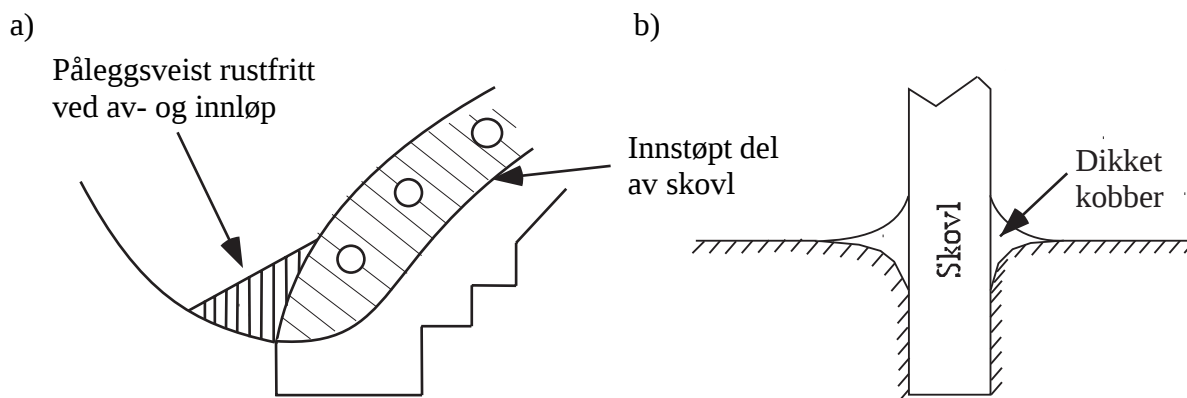
En ulempe med denne påleggsveisen var at en fikk områder med korrosjon på Mayari stålet pga. en galvaniserende effekt og vannet som spylte vekk det beskyttende oksydsjiktet.

¹ Kværner Energy AS ble i 1999 kjøpt opp av GE Hydro. Produsentnavnet Kværner er beholdt i denne rapporten.

² For de eldste hjulene ble først avløpet uttynnet og påleggsveist et lag med 18%Cr 8%Ni (ASW 316L). Deretter ble skovlene maskinert før de ble presset til riktig form.

Spesielt for denne type innfesting av skovler var at ble det dikket kobber i hulkilene som illustrert i figur 1.1 b).

NB! Sveising av den kontinuerlige "sprekken" mot skovlene ved innfestingen må frarådes da utmattingssprekker vil oppstå. Eventuelle reparasjoner må gjøres av eksperter.



Figur 1.1 Eksempel på a) påleggsveis, b) på dikking av kobber

Tabell 1.3 Eksempler på hjultype 1.A.1 levert av Kværner

År ³	Ant.	Navn / Eier ⁴	Skiftet	Oppgradert / Erstattet
1946	1	Nedre Vinstra / Vinstra Kraftselskap		
1948	1	Blåfalli / Sunnhordland Kraftlag	1974	Erstattet
1950	1	Hodneberg /Voss komm. el.verk		Møller Energi
1950	3	Nedre Røssåga / Statkraft	1960	Oppgradert
1950	2	Hol I / Oslo Lysverker		
1950	1	Skjerka / Vest Agder E.verk	~1960	Erstattet
1950	1	Nedre Vinstra / Vinstra kraftverk		
1952	3	Skjerka / Vest Agder E.verk	~1990	Erstattet
1952	1	Blåfalli 2 / Sunnhordland Kraftlag	1974	Erstattet
1952	1	Nedre Vinstra / Vinstra Kraftselskap		
1954	1	Kaldhuseter / Tafjord Kraftlag	1999	Møller Energi
1955	2	Daja / Balmi kraftlag	1999	Oppgradert; + 19% effekt
1955	1	Nedre Røssåga / Statkraft		
1955	2	Øvre Vinstra / Oplandskraft		
1955	1	Skjerka / Vest Agder E.verk	~1990	Oppgradert
1956	3	Nea / Trondheim E.verk	1986	Erstattet
1960	1	Blåfalli 2 / Sunnhordland Kraftlag	1974	Erstattet
1961	2	Sundsford / Sundsfjord Kraftlag	1976	Erstattet

³ Året er når turbinen ble bestilt og ikke når den ble igangsatt.

⁴ Eier ved oppstart av kraftverket.

Tabellene 1.3 og 1.4 er satt opp med utgangspunkt i leveringslisten og oppgraderingslisten til Kværner, samt samtaler med A. Bjørnsgård (Kværner). I perioden fra 1946 til 1961 ble det bestilt ca. 28 hjul av type 1.A.1. Av disse er det i dag under 10 stykker som ikke er skiftet ut og som fortsatt er i drift.

For hjul produsert av Sulzer ble skovlene som var laget i stålstøpegods innstøpt eller sveist avhengig av størrelsen på hjulet. Ståltypen som ble brukt var G-X 5 13%Cr 4%Ni.

1.1.2 Type 1.A.2

Fremstillingsmetoden som ble brukt for lavtrykkshjul, der skovlen ble innstøpt mot boss og sveist mot ring, ble ikke brukt for høytrykkshjul. Betegnelsen er imidlertid beholdt for å beholde lik indeksering for både lavtrykks- og høytrykkshjul.

1.1.3 Type 1.A.3

Etter en mellomperiode med sveising på lavtrykkshjul mot ring ble denne metoden videreutviklet til høytrykkshjul der skovlene ble sveist både mot ring og boss. Skovlbladet er i Mayari stål og for de høyeste fallhøydene er skovlene påsatt 13%Cr 1%Ni avløp. Hjulene er sveist med C, Mn elektroder mot den ikke rustfrie delen av skovlene, mens avløpet er sveist med 18%Cr 8%Ni elektroder (316). Rustfritt er delvis påleggsveist, utvendig på ring og boss i labyrinttettingen og ved innløpet for å redusere friksjonstapene. Hjul med rustfri avløpskant er eksempelvis Øvre Røssåga. Flytespenninger oppsto i 18%Cr 8%Ni sveisen på disse hjulene, men utvendig påleggsveis på ringen gav krympespenninger som dempet faren for utmatting.

Tabell 1.4 Oversikt over leveranser for hjultype 1.A.3

År ³	Ant.	Navn / Eier ⁴	Skiftet	Oppgradert / Erstattet
1957	4	Tokke / Statkraft		Erstattet
1957	2	Hemsil I / Oslo Lysverker	1989	Erstattet
1958	2	Ø. Røssåga / Statkraft		
1959	1	Matre / Bergenshalvøens komm. kr.		Oppgradert
1959	4	Tunnsjødal / Nord-Trøndelag E.verk.		Modernisert/Erstattet
1960	1	Matre / Bergenshalvøens komm. kr.		Oppgradert
1960	1	Grytåga / Midt-Helgeland kr.		
1961	1	Nedre Tessa /Eidefoss		
1961	3	Tokkeverkene / Statkraft		
1961	1	Sokna / Sør-Trøndelag E. verk	1999	Oppgradert, +25%
1961	1	Nea / Trondheim E. verk	1988	Erstattet
1961	1	Finnsåsen / Vest Agder E. verk		
1961	1	Brokke / Øvre Otra I/S	1981	Erstattet
1962	2	Kvænangbotn / Kvænangen kraftverk		
1962	1	Tokkeverkene / Statkraft		
1962	2	Innsetverk / Statkraft		
1962	2	Usta / Oslo Lysverker		Erstattet
1963	1	Suldal 2 / Røldal Suldal Kraft		

1964	2	Uvdal 2 / Asker og Bærum krafts.		
1964	1	Målset / Fellesselskapet Vikfalli		Oppgradert
1964	2	Trollheim ⁵ / Statkraft	1992	Erstattet
1964	2	Ranaverkene / Statkraft		
1964	4	Nes / Oslo Lysverker	1988	Erstattet
1964	1	Røldal I / Røldal Suldal Kraft		
1964	1	Novle / Røldal Suldal Kraft		
1964	1	Håen / Sør-Trøndelag E. verk	1999	Oppgradert, +25%
1965	2	Refsdal 1 & 2/ Statkraft	2000	Oppgradert, +18%
1965	1	Tokkeverkene, Byrte / Statkraft		
1965	1	Tokkeverkene, Lio / Statkraft		
1965	1	Suldal 2 / Røldal Suldal Kraft		Erstattet
1967	1	Ranaverkene / Statkraft		

I 10 årsperioden fra 1957 til 1967 ble det bestilt ca. 51 hjul av type 1.A.3. En del av disse hjulene med rustfritt avløp. Omtrent 50% av hjulene er i tiden etter 1967 byttet ut med nye hjul.

På grunn av den dyre påleggsveisen på inn- og avløp og korrosjonsproblemer prøvde en tidlig på 60-tallet å finne rustfrie stål kvaliteter for skovlplater, boss og ring. Før 1965 var det kommet tre sveisbare rustfrie stål kvaliteter. Disse var:

- 1) 13%Cr 6%Ni stål fra Bofors
- 2) 13%Cr 4%Ni stål fra Georg Fischer og andre støperier på kontinentet
- 3) 16%Cr 5%Ni stål fra Avesta (tilsvarer 17%Cr 4%Ni fra kontinentet)

Den varmepåvirkede sonen i disse stål kvalitetene inneholder partiell martensitt, noe ferritt og 15-30% stabil restaustenitt (F-A-M stål). Størst andel restaustenitt har stålet fra Bofors, som går under benevnelsen M-A stål.

Felles for disse rustfrie stål kvalitetene er at de er normalisert til typiske temperaturer på 950 til 1050 °C med hurtig avkjøling for å få en finkornet struktur (det vil i praksis bety luftavkjøling). Til slutt er stålet anløpet ved 590 – 610 °C avhengig av legering og om det tidligere er utført anløpninger eller sveisereparasjoner. Ved sveisereparasjoner må en være oppmerksom på at anløpningstemperaturen må være lavere (10 - 20 °C) enn ved den siste anløpningen for ikke å endre de mekaniske egenskapene.

For Kværner sin del ble stål kvaliteten 16%Cr 5%Ni den mest brukte i Francis løpehjul, med noen få unntak med helstøpte hjul.

1.1.4 Type 1.A.4a

Fra 1965 benyttet Kværner som nevnt rustfri kvalitet i 16%Cr 5%Ni stål i sine Francis løpehjul. Skovlen ble sveist mot ring og boss med 248SV elektroder i 16%Cr 5%Ni, men med nitrogen (N)

⁵ Trollheim har bare ett aggregat men det ble opprinnelig levert 2 hjul fra Kværner

i elektrodebelegg. Dette gjorde at avsettet ble austenittisk og fikk dermed en større termisk utvidelse enn selve skovlstålet. Dette førte til at det ble innebygd relativt store spenninger, med fare for sprekkvekst. På grunn av det austenittiske avsettet er penetrant kontroll den eneste inspeksjonsmetoden som er aktuell. Ved bruk av magnaflux eller virvelstrøm vil overgangssonen mellom den austenittiske sveisesonen og grunnmaterialet gi sprekkindikasjon, selv om materialet er uten sprekker.

Eksempler på type 1.A.4:

1965 Tonstad / Sira-Kvina Kraftselskap

1965 Blåfalli 3 / Sunnhordland Kraftlag

1965 Sjøa / Sør-Trøndelag E. verk

....

1974 Svandalsflona / Røldal-Suldal Kraft (overtatt av Norsk Hydro)

1976 Kvilldal 4 / Statkraft

1978 Rana / Statkraft

1.1.5 Type 1.A.4b

Dette er en videreføring fra 1.A.4a med det ble her brukt artslike elektroder fra Oerlicon (Citochrom) eller fra Bohler på 16%Cr 5%Ni hjulene. I denne klassen ble det også for noen hjul brukt 248 SV (ikke artslike elektroder) på midtpartiet på skovlene (hvor spenningene er lave), mens artslike elektroder ble brukt på de utsatte områdene på innløp og avløp. Eksempel på dette er de to siste hjulene på Kvilldal, mens de første hjulene ble sveist med 248 SV over alt slik at magnaflux som kontrollmetode ikke er brukbar for disse hjulene.

Eksempler på type 1.A.4b:

1974 Bratsberg / Trondheim Energiverk

1974 Åmela / Tussa kraft

....

1980 Kvilldal 4 / Statkraft

....

1988 Fagervollan / Helgeland Kraftlag

1993 Åsebotn / Bergenshalvøens komm. kraftselskap (BKK)

Totalt ble det levert mellom 60 og 70 turbiner av type 1.A.4a og 4b til nyanlegg i perioden 1974 til 1993.

1.1.6 Type 1.A.5

For å unngå sveising i hulkilene ble det på 1990 tallet utviklet et metode med utfreste "stubber" på ring og boss. Dermed unngikk en sveising i de områdene med høyest spenningskonsentrasjoner. Sveising mellom skovl og ring/boss er gjort med 16/5 (artslike) elektroder. Dette er ansett som den sikreste fremstillingsmetoden, men også den dyreste. Den eneste sprekkindikasjonen for denne klassen er rapportert for en skovl i løpehjulet til Trollheim kraftstasjon (Statkraft). Årsaken var at skovlen sakset med "stubben" slik at denne skovlen fikk en feil. Løpehjulet til Lakshola

kraftstasjon (Elkem) er med "lange stubber", dvs. at skovlen er delt på midten og sveist kun med en sveis.

Eksempler på type 1.A.5:

1992 Trollheim / Statkraft

....

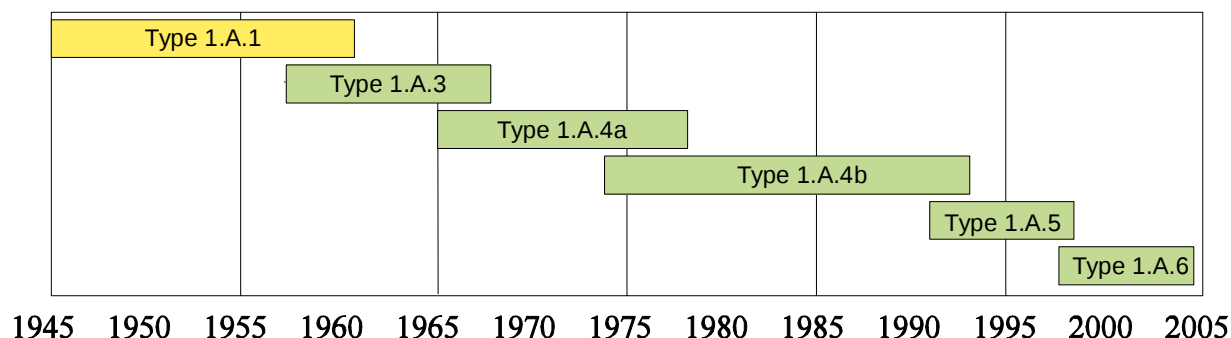
1997 Lakshola / Elkem

1.1.7 Type 1.A.6

Etter 1998 har man gått bort fra å bruke stubber langs hele skovllengden ved ring og boss. Ved "Ultra high head" eller ved store fallhøyde er det nå vanlig å beholde en stubb ved avløpet ved ring. Denne starter litt inne på ringen og øker gradvis i høyde ut mot avløpet. Ved små høytrykksturbiner og for de lavere fallhøydene for høytrykksmaskiner har man gått helt bort fra stubber. Artslik sveising er brukt ved avløp og innløp, mens 316 (ikke artslik) er benyttet på mindre påkjente områder inne i skovlkanalen og for mindre hjul.

1.1.8 Tidsepoker, høytrykkshjul

Figur 1.2 viser aktuelle tidsepoker som de forskjellige fremstillingsmetoder for sammenstilte hjul brukt ved leveranser i Norge.



Figur 1.2 Tidsperspektiv på fremstillingsmåte for høytrykkshjul fra Kværner

1.2 Støpte hjul, høytrykk

En mindre del av hjulene som er levert i kraftverk i høytrykksområdet er også helstøpte hjul. Stålkvaliteten er 13%Cr 4%Ni, og akseptkriteriene på støpte hjul angis etter standarden CCH 70-3. Feilomfang avhengig av støperi. Hjul støpt av Georg Fischer er meget bra, men støperiet er nedlagt i dag. Det finnes fortsatt bra støperier i Italia og Frankrike, som oppfyller de strenge kravene til akseptable feil.

Eksempel på helstøpte hjul ble installert på:

1984 Myster / Bergenshalvøens komm. kraftselskap (BKK)

....

1987 Dale II / Bergenshalvøens komm. kraftselskap (BKK)

1.3 Innstøpte og sveiste hjul, lavtrykk

Påkjenningen fra innebygde termiske spenninger er ikke så store i lavtrykkshjul som for høytrykkshjulene. Hjulene har en mer elastisk konstruksjon sammenlignet med høytrykkshjul og får dermed reduserte innebygde spenninger. Det er dermed ikke lagt ned så mye arbeid i å kvantifisere antall hjul i de ulike klassene som for høytrykkshjulene (se delkapittel 1.1.1 og 1.1.3).

1.3.1 Type 2.A.1

I noen få år etter krigen ble det produsert noen lavtrykkshjul med samme tilvirkningsmetode som for høytrykkshjul. Skovlene ble støpt fast i ulegert støpeståls ring og boss. Skovlene var plater som var blitt presset og disse var laget av Mayari stål. Det ble dikkert kobber i hulkilene som vist i figur 1.1 b).

Eksempler på hjul type 2.A.1:

- 1946 Fiskumfoss / Nord-Trøndelag E. verk.
- 1947 Fosse / Bergenshalvøens komm. kraftselskap (BKK)
-
- 1951 Svean 3/ Trondheim Energiverk

I perioden 1945 til 51 ble mindre enn 10 hjul levert av denne type fra Kværner.

Løpehjul produsert av Sulzer ble laget av pressede skovler av plater som fra 1945 til 1960 ble innstøpt i boss og ring.

Det ble også levert helstøpte hjul eller en blanding av støp og sveist konstruksjon (støpt mot boss med påsveist ring) i det samme tidsrommet.

1.3.2 Type 2.A.2

Som en mellomfase mellom de innstøpte hjulene og de sveiste hjulene, ble hjulene fra ca. 1955 laget ved at man sveiste skovlene mot ring. Mot boss ble den gamle metoden med innstøping og dikking med kobber brukt (se type 2.A.1).

Eksempler på denne hjul type:

- 1953 Håverstad / Vest Agder El. v.
- 1954 Steinfossen / Kristiansand E. verk
-
- 1958 Bardufoss / Bardufoss Kraftlag A/S
- 1960 Bøylefoss / Arendal Fossekompani A/S
- 1960 Øvre Røssåga / Statkraft

Av denne type ble det levert ca. 8-10 hjul fra Kværner til nyetableringer.

1.3.3 Type 2.A.3

Etter noen år med både sveising og innstøping gikk en over til å sveise skovlene både mot ring og boss. Hjulet ble laget i Mayari stål med 13%Cr 1%Ni avløp. Hjulene er sveist med C, Mn

elektroder, mens avløpet er sveist med 18%Cr 8%Ni elektroder (18/8). Noen av hjulene ble også utstyrt med påsveist rustfritt avløp.

Eksempler på type 2.A.3

1957 Mæl / Norsk Hydro

1957 Høgefoss / Aust-Agder kraftverk

....

1974 Mørre / Sør-Trøndelag Kraftselskap (Trønder Energi)

Fra 1960 ble hjul fra Sulzer produsert med artslike sveiste skovler mot ring og boss.

1.3.4 Type 2.A.4

Fra 1965 ble det innført rustfri kvalitet i 16%Cr 5%Ni stål. Skovlen ble sveist mot ring og boss med 248SV elektroder i 16%Cr 5%Ni som ikke gav artslik avsett, på grunn av høyt nitrogen innhold. Store hjul i denne klassen kan være elektro-slagg sveist, men ifølge forfatterne sin kjennskap er det ikke levert slike hjul i Norge.

Eksempler på type 2.A.4

1972 Nedalsfoss / Trondheim Energiverk

1972 Bjelland / Vest Agder E. verk

....

1993 Frøystul / Norsk Hydro AS

1.3.5 Type 2.A.5

Denne klassen omfatter lavtrykkshjul med stubber. Skovlene i 16%Cr 5%Ni kvalitet og med artslik sveising. Relativt få lavtrykkshjul er levert av denne klassen. To hjul er levert til Pangué i Chile.

1.3.6 Type 2.A.6

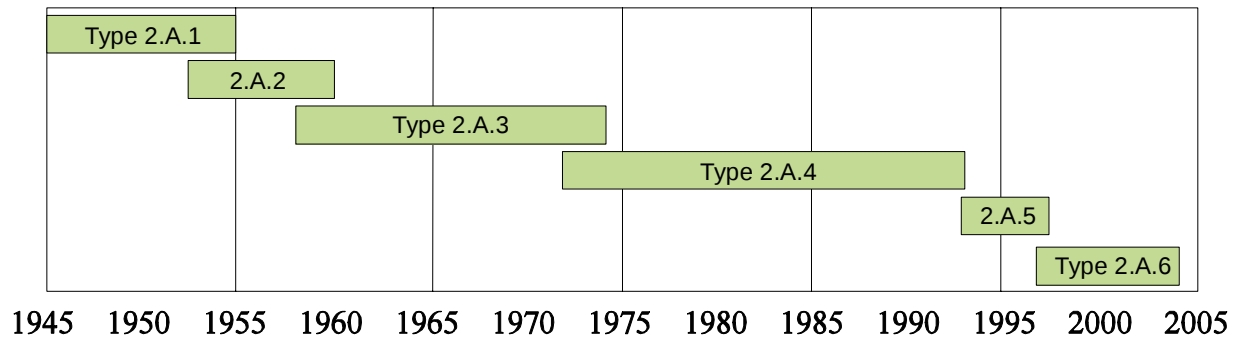
I likhet med dagens fremstilling av høytrykkshjul er det gått vekk fra stubber på lavtrykkshjul, da dette fordyrer produksjonene og anses som unødvendig.

1.4 Støpte hjul, lavtrykk

Store lavtrykkshjul skaper normalt ikke store problemer dersom strenge klasser i normen CCH 70-3 er brukt.

1.4.1 Tidsepoker, lavtrykkshjul

Tilsvarende som for høytrykkshjul er det på neste side satt opp en oversikt over tidsrommet hvor de ulike hjulene er levert. Oversikten gjelder for Kværner hjul.



Figur 1.3 Tidsperspektiv for lavtrykkshjul levert av Kværner