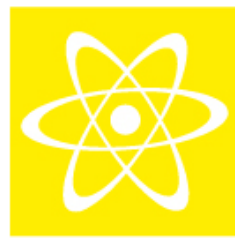
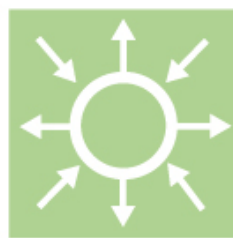




Erfarenheter med miljöanpassade Kaplanlöphjul

Elforsk rapport 13:33



Jan Ukonsaari m.fl

Augusti 2012

ELFORSK

Erfarenheter med miljöanpassade Kaplanlöphjul

Elforsk rapport 13:33

Förord

Som ett steg mot mer miljöanpassade vattenkraftanläggningar har sedan 1980-talet ett antal Kaplanlöphjul utan oljesmörjning installerats. För att reda ut några av de uppkomna frågeställningarna initierades ett projekt för att kartlägga eventuella problem med dessa miljöanpassade löphjul. Resultatet av denna kartläggning är dokumenterat i denna rapport.

Arbetet har utförts som en del av Elforsks program "Anläggningsteknik Vattenkraft 2011-2012" och genomfördes av Jan Ukonsaari, Vattenfall Research and Development, Vilhelm Boberg, Fortum Generation AB, Anders Skagerstrand, Vattenfall AB Vattenkraft, Lars Svensson, E.ON Vattenkraft Sverige AB och Kristian Toresson, Statkraft Sverige AB.

Medverkande företag är Vattenfall AB Vattenkraft, Fortum Generation AB, E.ON Vattenkraft Sverige AB, Statkraft Sverige AB, Skellefteå Kraft AB, Holmen Energi AB, Jämtkraft AB, Umeå Energi AB, Sollefteåforsens AB, Karlstads Energi AB och Gävle Energi AB.

Stockholm, februari 2013

Joel Sundström
Programområde Vattenkraft
Elforsk

Sammanfattning

I detta arbete har erfarenheter om funktionen med miljöanpassade Kaplanlöphjul undersökts. Dessa har ingen olja som smörjer lager för skovelregleringen. Naven är vatten- eller luftfyllda med självsmörjande lager. Det är även vanligt att öka reglertryck i hydraulik samt att placera servomotor för regleringen nedanför navcentrum och använda miljöanpassad syntetisk ester som hydraulvätska. Allt detta tillsammans med optimering av effekt och verkningsgrad kan misstänkas påverka funktionen för löphjulen.

Av sammanlagt 37 löphjul är det 43 % som haft något fel och 30 % som har haft någon form av lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter. Tas specifika upprepade axiallagerproblem bort återstår 16 %. En djupdykning i design med nya löphjulen visar att det endast är de i brons som har markant högre andel med reglermekanismproblem (50 %). Ett mörkertal för förhöjda reglerkrafter misstänks finnas. Alla problem kan inte hittills förklaras och maskinernas unga ålder ger också begränsning i erfarenhet.

Arbetsgruppens åsikt och återberättade exempel under arbetets gång visar att de gamla oljefyllda löphjulen inte heller alltid hade bra funktion eller lång livslängd. En återvändo ur funktionsaspekt är inte motiverad.

Många av de problem som setts har lösts och kan till stor del lösas med ordentlig analys av design. En oro för framtiden kan skönjas i vilken effekt som alla teknikförändringar gör på långtidsfunktion med tanke på framtida förutspådda ökade effekttregleringar och start och stopp hos maskinerna. Därför rekommenderas satsningar inom området materialutmattnings där första steget är att klargöra vilka krafter som ett löphjul utsätts för i verkligheten.

Summary

This study concerns environmentally adapted Kaplan runners, which have no oil for lubricating the blade regulation mechanisms and bearings. The runners are water or air filled with self lubricated bearings. Recent design also includes regulation system pressure increase and servo motor placement below runner centre and environmentally adapted synthetic ester as hydraulic fluid. These together with power output increase and efficiency optimization are suspected sources of poor runner function.

Of 37 runners 43 % have had some kind of problem and 30 % bearing or mechanism related ones. When the axial blade bearing problems are excluded the problems occurred at 16 %. Deeper look into the design of newer runners shows that only bronze based runner hubs is significantly more problem dense regarding regulation mechanisms (50 %). Hidden figures of increased runner regulation forces are suspected. All problems cannot be explained and the young machines limit the experiences.

The working group's opinion and bring ups of historical and present examples during the work show evidence that the old oil filled runners function is far from perfect, nor the life length. The future is not with oil filled runner hubs.

Main parts of the discovered problems have been solved and can be resolved by thorough design analysis. One future concern is what effects the recent design changes will cause due to increase demand for power output changes including the number of starts and stops. That is why the working group's recommendation is to put joint effort into material fatigue and in which a first step is to identify the real forces the runners are exposed to.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund, historik och teknik	1
2	Metod och syfte	4
3	Översikt av undersökta maskiner	5
4	Fördjupning i statistik	7
5	Löphjulsbelastningar	13
6	Arbetsgruppens diskussioner	16
6.1	Branschens roller och ansvar.....	16
6.2	Kompetensförändringar i branschen	16
6.3	Förutseende av problem	16
6.4	Framtiden	17
6.5	Potentiell livslängdsökning	17
6.6	Oljefyllda Kaplannav	17
7	Slutsatser	18
8	Diskussion	19
9	Rekommendation för framtida insatser	20

1 Inledning

Sedan sekelskiftet 2000 har ett antal Kaplanturbiner med miljöanpassade löphjul installerats. Liknande teknik har använts i ett antal mindre maskiner från 1980-talet. Det innebär framförallt att oljan för att smörja lager för bladreglering har ersatts med luft eller vatten. Självsmörjande lagertyper används och olja finns fortfarande i hydrauliken för reglering.

Erfarenheter med oljefria löphjul har medfört många funderingar och frågetecken angående funktion. I denna rapport har erfarenheten samlats, bearbetats och dokumenterats för att ge en mer korrekt samlad bild från el-producenter. Utifrån resultaten, analysen och diskussioner under arbetets gång har även framtida insatser rekommenderats.

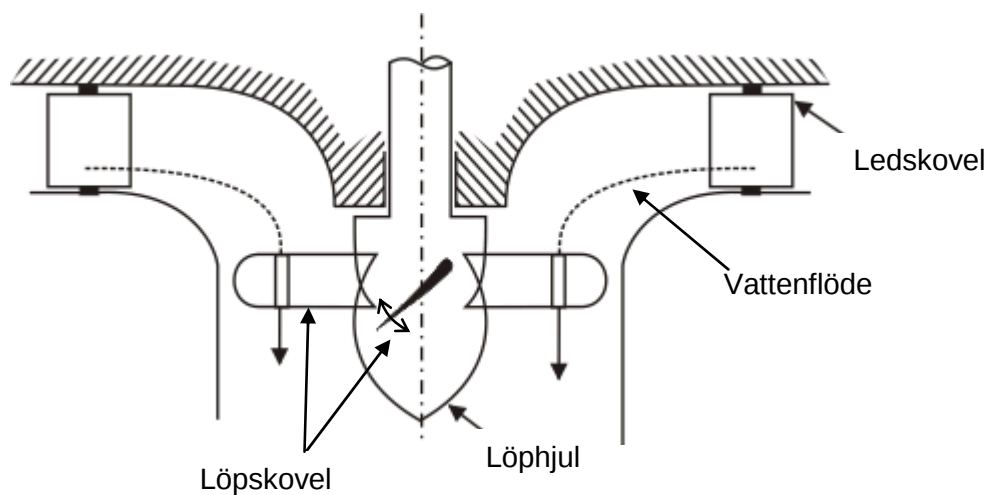
1.1 Bakgrund, historik och teknik

Kaplanturbinen har fördelar jämfört med bl.a. francis- och propellerturbiner tack vare ett brett driftområde med hög verkningsgrad. För prestanda i framförallt låga till medelhöga fallhöjder är Kaplanturbinen i topp (upp till ca 60 m). Komplexiteten ökar i jämförelse med de andra typerna på grund av de reglerbara turbinbladen (Figur 1-2). Kaplannav anses också utgöra en risk för utsläpp av olja direkt till vattenflödet, oljan blir svårångad vid direktläckage från löphjul. Ett byte av en Kaplanturbin till någon annan typ är ofta inte genomförbart utan att det ger påverkningar på elproduktionen.

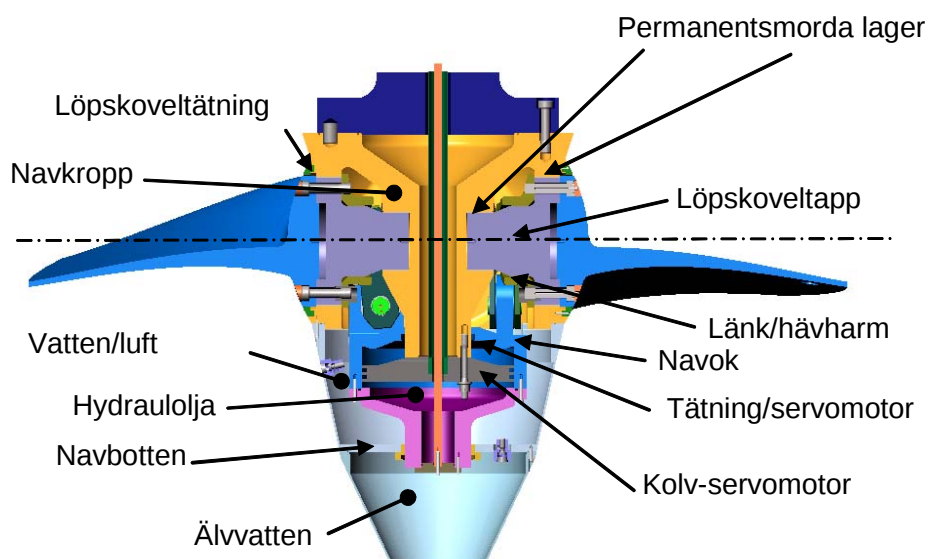
Risk för oljeutsläpp har alltid funnits men har sedan 25 år tillbaka blivit en mer drivande faktor till att, parallellt med verkningsgradsoptimering och eventuell effektökning, även miljöanpassa Kaplanturbinen. Ett miljöanpassat Kaplannav definieras av att oljefyllnaden för lagersmörjning och korrosionsskydd är ersatt av vatten eller luft (Figur 2). Det finns dock flera viktiga förändringar i teknik som ingår i utvärderingen, dessa är

- Vatten- eller luftfyllda löphjul: Självsmörjande lager används i stället för oljesmorda bronslager. Det är ett avsteg från vad som historiskt använts inom vattenkraften.
- Högre hydraultryck: Mindre kolvareor i servomotorer ger samma kraft för reglering, vilket medger en möjlighet till en mer slimmad design som kan användas i optimering av effekt och verkningsgrad. Detta kan förändra hur högt materialen belastas och medföra större deformationer och påkänningar.
- Servomotor placerad nedströms om löpskovlarna (Figur 2): Detta är genomförbart till följd av punkten ovan men också ett krav med tanke på enklare åtkomst av servomotor (ex. inget demontage av turbinaxel). En nedströms placerad servomotor förändrar hur krafterna påverkar navkroppen jämfört med en uppströms placerad servomotor eller dragstång genom hela axeln.
- Miljöanpassad olja i reglersystem: Ger ingen speciell förändring i design men är också ett avsteg från mineralolja i historiken.

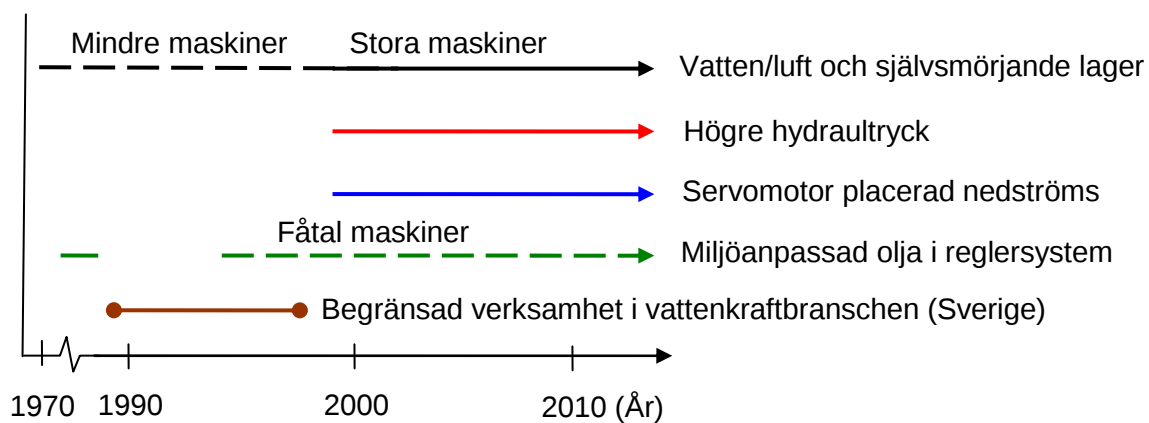
Det finns säkert exempel som visar undantag från hur dessa förändringar exakt placeras i en tidsskala (Figur 3). Men de ger en inblick i att flera teknikförändringar har skett nästan parallellt.



Figur 1. Kaplanturbin.



Figur 2. Exempel på Kaplannav med servomotor placerad nedströms om navcentrum.



Figur 3. Tidsplacering av förändringar i Kaplannav.

2 Metod och syfte

I denna studie har maskinunderlaget med Kaplanlöphjul studerats ur en statistisk synvinkel för att kunna påvisa fel som är frekvent förekommande. Feltyp har identifierats och räknats samt jämförts med referensvärden, där möjlighet fanns. Bedömning har gjorts om felen har kunnat lösas eller om de kvarstår. Diskussioner utifrån resultaten till funderingar om misstänkta framtida problem har stått till grund för rekommendation för framtida insatser.

Syftet har inte varit att peka ut tillverkare eller leverantörer av turbiner eller komponenter.

3 Översikt av undersökta maskiner

Bland de undersökta maskinerna finns 16 st med en felbeskrivning (Tabell 1). Maskin 1 och 3 är likadan design men 3 har inte fel som åtgärdats av reparation ännu. I underlaget ingår totalt 44 maskiner varav 37 maskiner med mer ingående detaljer om teknik (Tabell 2). Övervägande andel (~60 %) har inte haft några problem och resterande har haft eller har något problem eller är under utredning. Felens samband med viss teknik utreds mer i detalj i efterföljande kapitel. De flesta maskiner har stålnav och mineralolja i hydrauliken.

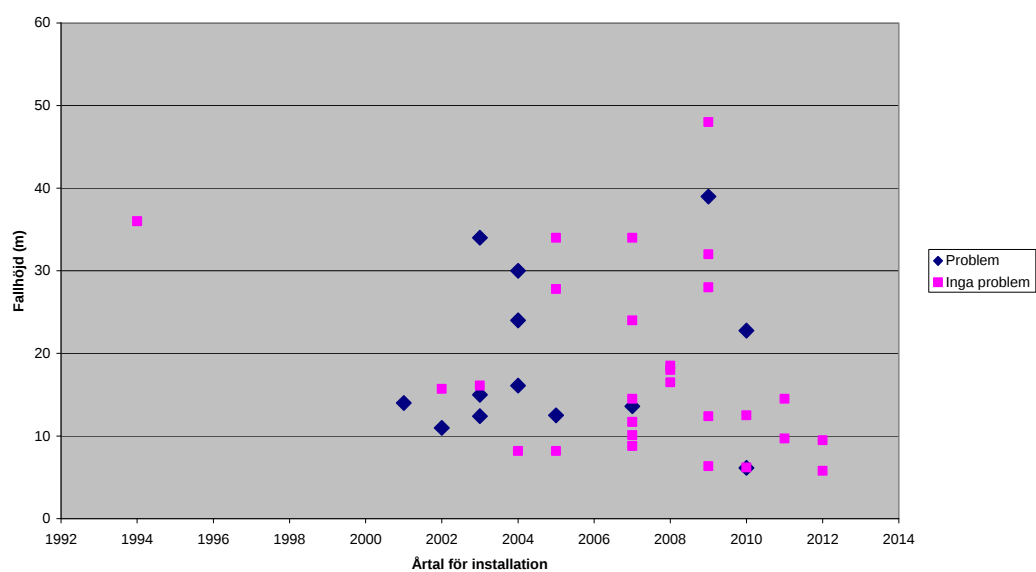
De maskiner som har problem ser ut att minska vid senare installationsårtalet (Figur 4). Denna trend bör tolkas något försiktigt.

Tabell 1. Beskrivning av fel.

Maskin	Beskrivning av fel
1	Svag konstruktion vev, axiallagring trasig.
2	Förhöjda reglerkrafter, korrosion i löphjul.
3	Axiallager, konstruktion konstaterat dålig, inget haveri ännu.
4	Axiallager trasigt, skovel tog i löphjuls-kammare
5	Läckage vatten till reglerolja, troligen via leak oil unit
6	Vibrationer, litet spel blad till kammare, skovlar tog i väggen
7	Tätning oljeföring trasig, felaktigt programmerat styrkort
8	Läckage i tätning i avtappning servomotor
9	Smuts reglerolja, haveri reglerpumpar, inre läckage servo, vridstyrningar trasiga, förhöjda reglerkrafter
10	Smuts reglerolja, haveri reglerpumpar, inre läckage servo
11	Yttre skovellager lös
12	Navoksbussning lös, förhöjda reglerkrafter på vintern
13	Navoksbussning lös, yttre lagring lös, axiallager lossnat
14	Navoksbussning lossnat, navokstätning vek, ökande reglerkraft
15	Inre läckage O-ringar
16	Sprucken skoveltapp, inre skovellager trasigt, varierande reglerkraft

Tabell 2. Översikt av maskinerna i arbetsunderlaget.

	Antal	Andel	Antal	Andel
Antal Maskiner	37		44	
Konstaterade problem	14	38%	14	32%
Åtgärdade problem	14	38%	14	32%
Osäkerhet om problem finns/Avvikelser/Utredning	5	14%	5	11%
Inga problem	22	57%	29	64%
Servomotor nedströms	25	68%		
Servotryck över 10 MPa	25	68%		
Servomotor nedströms och över 10 MPa tryck	21	57%		
Bronsnav	6	16%		
Stålnav	31	84%		
Mineralolja i hydraulik	32	86%		
Syntetisk ester i hydraulik	5	14%		
Vattenfyllt	20	54%		
Luftfyllt	17	46%		



Figur 4. Årtal för installation av undersökta maskiner och problem.

4 Fördjupning i statistik

I de maskiner med någon typ av fel anses 24 % ha kvalitetsfel och 27 % designfel (Tabell 3). Kvalitetsfel är oftast något som kan åtgärdas med varierande storlek på insats och resultatet blir acceptabelt. Dessa anses inte vara specifika för miljöanpassade löphjul. Andelen som har mineralolja och totala antal fel är liknande den andel som ses för miljöanpassad olja. Hittills verkar inte statistiken för val av olja ge inverkan på löphjulets problem.

I underlaget finns det tre maskiner som fortfarande är under utredning efter att problem är åtgärdade en gång. Fem maskiner anses ha förhöjda reglerkrafter som är på gränsen till att inte fungera. En känt problem har varit att anliggande motyta för axiallager varit för liten och därmed har lagret i 5 konstaterade fall varit trasigt eller ha en felaktig design. Tas dessa bort från lagerproblem eller de med förhöjda reglerkrafter återstår 5 maskiner (14 %) som inte är lika enkla att förklara fel på. Här bör noteras eventuella mörkertal för antalet maskiner med förhöjda reglerkrafter. Samtliga maskiner som har lagerproblem anses vara orsakat av designfel. 43 % av dem har dessutom kvalitetsfel.

Tabell 3. Statistik över maskinhistorik, status var fel kan kopplas i processen.

	Antal	Av	Andel (Ref)
Kvalitetsfel	10	37	27%
Designfel	9	37	24%
Totala fel och mineralolja	14	32	44% (43%)
Totala fel och miljöanpassad olja (syntetisk ester)	2	5	40% (43%)
Konstaterade problem och nu fullt fungerande	11	14	79%
Konstaterade problem och kvarstående efter rep	3	14	21%
Förhöjda reglerkrafter*	5	37	14%
Lagerproblem (inklusive axiallagerproblem)	7	37	19%
Axiallagerproblem	5	37	14%
Lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter	11	37	30%
Lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter men inte axiallagerproblem**	6	37	16%
Lagerproblem och designfel	7	7	100%
Lagerproblem och kvalitetsfel	3	7	43%

* Mörkertalet med avvikelser mellan beräknade och verkliga reglerkrafter kan vara stort till följd av att mätningar normalt inte utförs förrän problem uppstår.

** Osäkerhet angående exakta urvalet då maskiner kan ha flera fel.

Lagerproblem och förhöjda reglerkrafter kan ibland kopplas samman. Studeras lagerproblem närmare är det svårt att urskilja speciell statistik när antalet är lågt för vissa typer av lager (Tabell 4). För lagertyp 1 finns underlag för att påstå att 10-20 % av maskinerna har lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter. Tar man bort problem med axiallager så återstår en maskin med förhöjda reglerkrafter.

För de lager som finns i få installationer ger statistiken inte något generellt.

Maskiner med blandade lager finns i 13 maskiner, 6 har problem eller förhöjda reglerkrafter och 2 har axiallagerproblem.

Tabell 4. Lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter med specifik lagertyp..

	Antal	Av	Andel (Ref)
Enbart Typ 1 (Orkot)	16	37	43%
Lagerproblem med enbart Typ 1 (Orkot)	2	16	13% (19%)
Lagerproblem men inte axiallagerproblem med enbart Typ 1 (Orkot)	0	16	0% (5%)
Lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter med enbart Typ 1 (Orkot)	3	16	19% (30%)
Enbart Typ 2 (Tufcot)	2	37	5%
Lagerproblem med enbart Typ 2 (Tufcot)	1	2	50% (19%)
Lagerproblem men inte axiallagerproblem med enbart Typ 2 (Tufcot)	0	2	0% (5%)
Lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter med enbart Typ 2 (Tufcot)	1	2	50% (30%)
Enbart Typ 3 (DEVA)	4	37	11%
Lagerproblem med enbart Typ 3 (DEVA)	1	4	25% (19%)
Lagerproblem men inte axiallagerproblem med enbart Typ 3 (DEVA)	1	4	25% (5%)
Lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter med enbart Typ 3 (DEVA)	1	4	25% (30%)
Enbart Typ 4 (Fiberglide)	1	37	3%
Lagerproblem med enbart Typ 4 (Fiberglide)	0	1	0% (19%)
Lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter med enbart Typ 4 (Fiberglide)	0	1	0% (30%)
Enbart Typ 6 (Thordon)	1	37	3%
Lagerproblem med enbart Typ 6 (Thordon)	0	1	0% (19%)
Lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter med enbart Typ 6 (Thordon)	0	1	0% (30%)
Blandade lager	13	37	35%
Lagerproblem och blandade lager	3	13	23% (19%)
Lagerproblem men inte axiallagerproblem och blandade lager	1	13	8% (5%)
Lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter med blandade lager	6	13	46% (30%)

Att mineralolja eller miljöanpassad syntetisk ester används i hydraulsystemet har enligt statistiken ingen betydelse (Tabell 5), antalet för syntetisk ester är få. Vattenfyllda löphjul har högre statistik på fel men det enda löphjulet som misstänks ha problem orsakade av korrosion är luftfyllt. Några luftfyllda löphjul kan misstänkas att till slut få vattenläckage in i navet, vilket troligen ställer högre krav på korrosionsskydd än designen är anpassad för. Det är en allmän åsikt att vattenfyllnad är något säkrare.

Tabell 5. Totala fel med oljetyp, vatten- eller luftfyllnad.

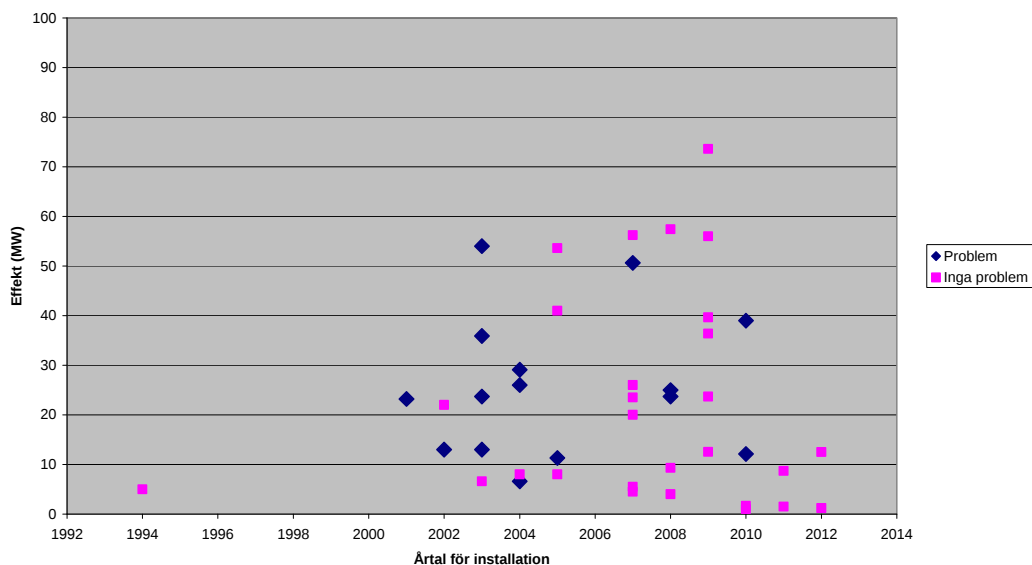
	Antal	Av	Andel (Ref)
Totala fel och mineralolja	14	32	44% (43%)
Totala fel och syntetisk ester	2	5	40% (43%)
Totala fel och vatten i löphjul	10	20	50% (43%)
Totala fel och luft i löphjul	6	17	35% (43%)

Studerars effektgruppering av maskinerna så har de minsta maskinerna färre fel än övriga grupper (Tabell 6). 5 av dessa 14 är installerade 2010 och framåt och är fortfarande unga (Figur 5), statistiken är troligen överdrivet positiv. Problemtätare är det för maskiner mellan 10-40 MW. Från 40-60 MW minskar andelen fel något och ytterligare uppåt i effekt så minskar antalet maskiner. För lagerproblem har statistiken liknande fördelning som för problem utan karakterisering, men färre i antal.

Förhöjda reglerkrafter kan finnas i ett stort mörkertal av maskinerna då det endast kan upptäckas vid enstaka driftstörningar eller reglerkraftmätningar. Dessa finns i nästan en maskin i varje effektintervall. Summeras maskinerna med lagerproblem och förhöjda reglerkrafter ihop visar endast den största maskinen på båda problemen.

Tabell 6. Fel kopplat till storlek, samtliga 44 maskiner är inkluderade.

	Antal	Av	Andel (ref)
Antal till 10 MW och problem	2	14	7% (43%)
Antal 10-20 MW och problem	4	7	57% (43%)
Antal 20-40 MW och problem	8	14	57% (43%)
Antal 40-60 MW och problem	2	7	29% (43%)
Antal 60-80 MW och problem	0	1	0% (43%)
Antal över 80 MW och problem	1	1	100% (43%)
Antal till 10 MW och lagerproblem	0	14	0% (19%)
Antal 10-20 MW och lagerproblem	2	7	29% (19%)
Antal 20-40 MW och lagerproblem	3	14	21% (19%)
Antal 40-60 MW och lagerproblem	1	7	14% (19%)
Antal 60-80 MW och lagerproblem	0	1	0% (19%)
Antal över 80 MW och lagerproblem	1	1	100% (19%)
Antal till 10 MW och förhöjda reglerkrafter	1	14	7% (14%)
Antal 10-20 MW och förhöjda reglerkrafter	1	7	14% (14%)
Antal 20-40 MW och förhöjda reglerkrafter	1	14	7% (14%)
Antal 40-60 MW och förhöjda reglerkrafter	1	7	14% (14%)
Antal 60-80 MW och förhöjda reglerkrafter	0	1	0% (14%)
Antal över 80 MW och förhöjda reglerkrafter	1	1	100% (14%)
Antal till 10 MW och förhöjda reglerkrafter eller lagerproblem	1	14	7% (30%)
Antal 10-20 MW och förhöjda reglerkrafter eller lagerproblem	3	7	43% (30%)
Antal 20-40 MW och förhöjda reglerkrafter eller lagerproblem	4	14	29% (30%)
Antal 40-60 MW och förhöjda reglerkrafter eller lagerproblem	2	7	29% (30%)
Antal 60-80 MW och förhöjda reglerkrafter eller lagerproblem	0	1	0% (30%)
Antal över 80 MW och förhöjda reglerkrafter eller lagerproblem	1	1	100% (30%)



Figur 5. Maskineffekt, årtal och fel (största maskinen exkluderad).

Totalt 30 % av maskinerna har någon typ av lager- eller reglerkraftproblem och tas inte axiallagerproblem med kvarstår 16 % (6 av 37) (Tabell 7). För bronsnav är andelen med lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter hög (5 av 6) och 3 av 6 när axiallagerproblem räknas bort (även i Figur 6). För stålnav är antalet 6 (av 31 st) med lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter och 3 återstår utan axiallagerproblem.

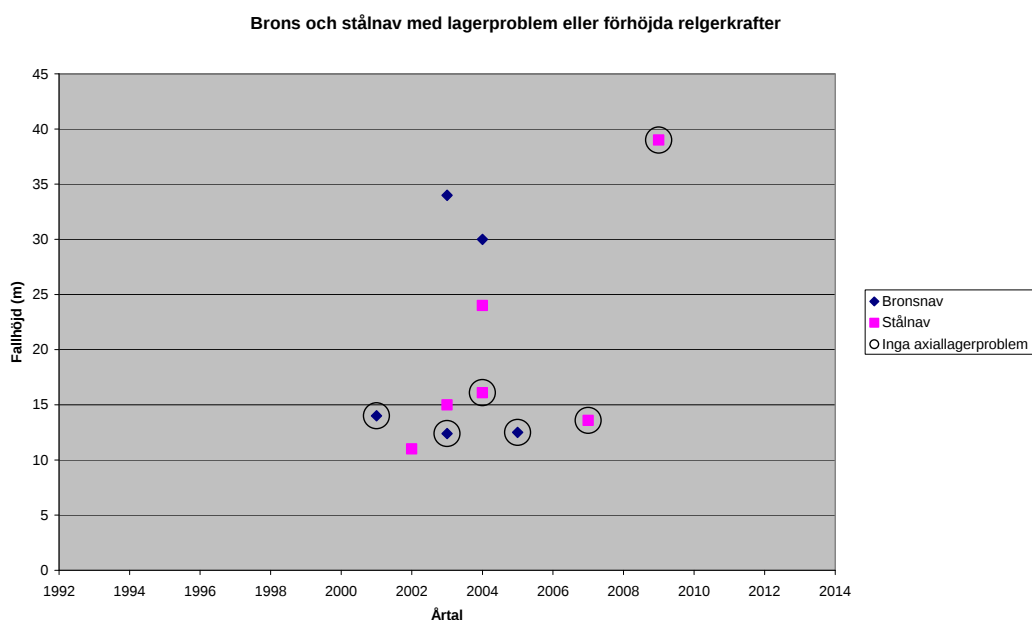
Maskiner med servomotorplacering nedströms är typiskt för nyare design av maskiner och dessa har medelstor andel med lagerproblem. Med hydraultryck över 10 MPa gäller liknande siffror. Tas axiallagerproblem bort för maskiner med högt hydraultryck i nedströms placerad så ses ökning av andelen (24%) med lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter. Jämförelsevärde är 16%.

Det anmärkningsvärda är hur stor del av bronsnaven som har problem som direkt påverkar reglering.

Tabell 7. Urvalda designdetaljer, reparationer och problem.

	Antal	Av	Andel (ref)
Lagerproblem	7	37	19%
Lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter	11	37	30%
Lagerproblem (-axiallager) eller förhöjda reglerkrafter	6	37	16%
Bronsnave med Lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter	5	6	83% (30%)
Bronsnave med Lagerproblem (-axiallager) eller förhöjda reglerkrafter	3	6	50% (16%)
Stålnav med Lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter	6	31	19% (30%)
Stålnav med Lagerproblem (-axiallager) eller förhöjda reglerkrafter	3	31	10% (16%)
Servomotor nedströms och problem	12	31	39% (43%)

Servomotor nedströms och lagerproblem	6	25	24% (19%)
Servotryck över 10 Mpa och problem	11	25	44% (43%)
Servotryck över 10 Mpa och lagerproblem	4	25	16% (19%)
Servomotor nedströms och över 10 Mpa och lagerproblem	4	21	19% (19%)
Servomotor nedströms och förhöjda reglerkrafter	4	25	16% (14%)
Servomotor nedströms över 10 Mpa och förhöjda reglerkrafter	4	21	19% (14%)
Servomotor nedströms och över 10 Mpa och lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter	7	21	33% (30%)
Servomotor nedströms och över 10 Mpa och lagerproblem (-axiallagerproblem) eller förhöjda reglerkrafter	5	21	24% (16%)

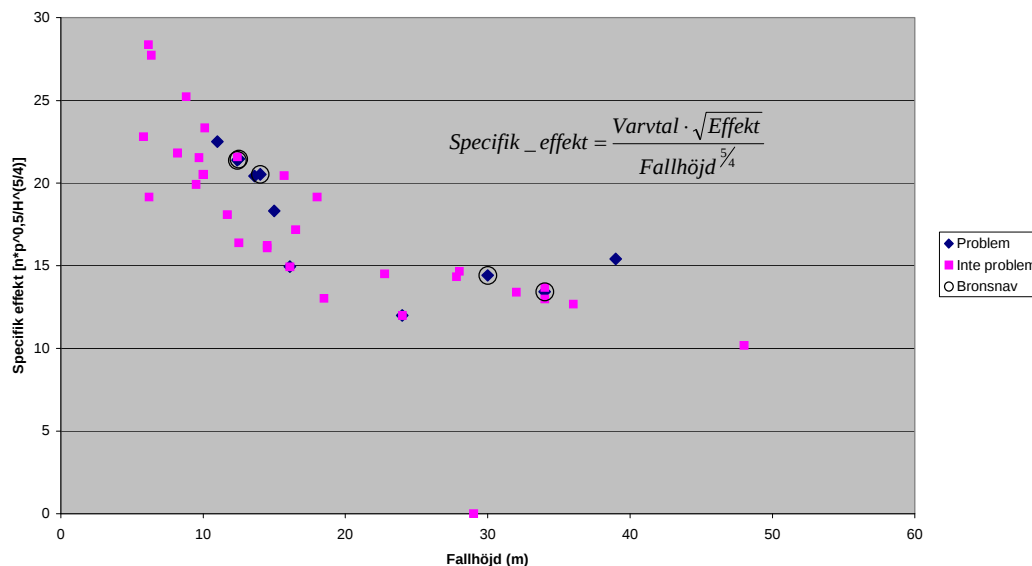


Figur 6. Brons- och stålnav med lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter.

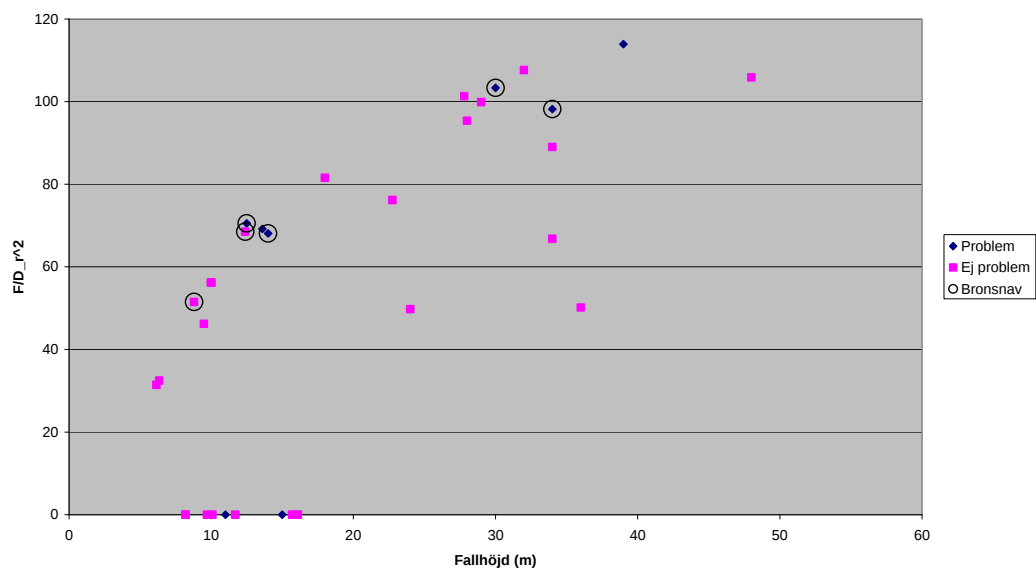
5 Löphjulsbelastningar

När nya löphjul installeras kan effektökningar och verkningsgradsoptimeringar vara aktuella. Det innebär förändringar av löphjulen och dess belastningar.

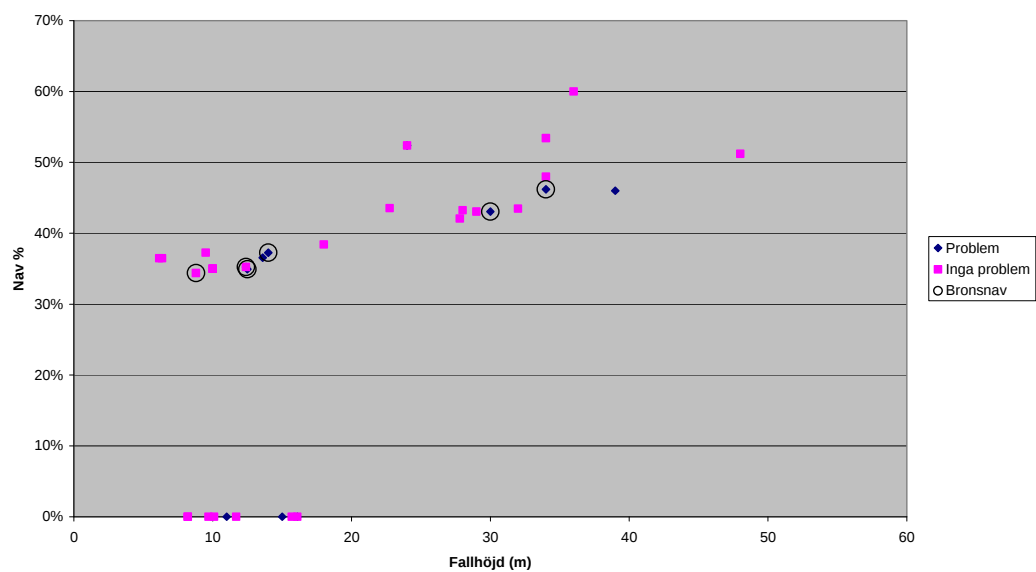
Studeras olika parametrar för löphjulen och belastningarna (Figur 7-Figur 10) kan man skönja att maskiner med problem tenderar att vara bland de mest belastade. Definitivt en mindre andel med lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter bland de lägre belastade löphjulen. Bronsnav, som har hög andel sådana problem, verkar vara lika högt belastade som stålnav.



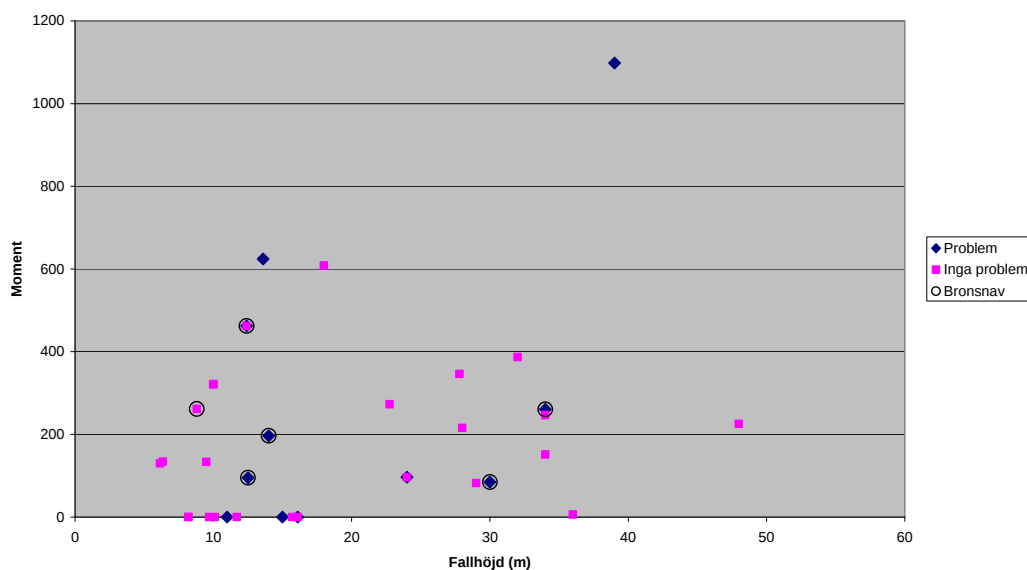
Figur 7. Specifik effekt för löphjul med lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter.



Figur 8. Lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter och navbelastning på löphjul: Vattenlast(ton) / Navdiameter².



Figur 9. Lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter och navets andel av löphjulsdiameter.



**Figur 10. Lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter och moment per blad:
(Löphjulslast(ton) / blad) * Löphjulsdiam. * (1-Nav %).**

De konkreta slutsatserna från statistiken säger att över 40 % av löphjulen har någon typ av fel, varav fördelningen är jämn mellan kvalitetsfel och designfel. Avvikande funktion i negativ bemärkelse har bronsnav som är lika högt belastade som stålnav.

6 Arbetsgruppens diskussioner

Vid arbetsgruppens träffar pågick diskussioner inom flera områden. Alla medverkande företag utom ett har eller har haft problem med miljöanpassade löphjul. Det företag som inte har problem gjorde en bytesaffär, varav det har visat sig att två helt upprustade maskiner har fått problem hos nya ägaren.

Generellt anser gruppen att miljöanpassade Kaplannav fungerar bra med några undantag. Problemen är oproportionerligt stora i "rykteskorridoren" i förhållande till verkliga problem. Framtidstron på miljöanpassade Kaplannav är enat positiv.

6.1 Branschens roller och ansvar

I branschen pågår ett spel mellan köpare och säljare. Spelet blir komplicerat då maskinerna förväntas ha livslängd långt överskridande rådande garantier. De akuta frågorna under garantitid blir leverantörens problem medan långtidsfunktionen blir ägarens problem. Relevant kravställning blir viktig.

Vid introduktion av tekniksprång som de senare löphjulen omfattar finns en otydlighet var ansvaret finns. Här ställs saker på sin spets. Ägare vill ha de mest miljöanpassade löphjulen och leverantör vill leverera. Utvecklingen riskerar ske i verklig applikation då ingen är beredd att ta utvecklingskostnader eller har svårt att inse behovet av utveckling. Så har skett och kostnaden för ändrad teknik har skett och sker nu både under och efter garantitider. I slutändan betalar kunden.

När en ny teknik introducerats har köparen/anläggningsägaren haft tendens att snabbt övergå till att det är standard att använda tekniken i förnyade löphjul. Tiden för erfarenhetsåterföring har inte varit tillräcklig för löphjul.

6.2 Kompetensförändringar i branschen

En del i svårigheten att inse behov av utveckling och även föra utvecklingen framåt är de förändringar som branschen genomgått, framförallt de senaste 20 åren. Under bl.a. 1990-talet var verksamheten låg i Sverige angående leveranser av Kaplanlöphjul (Figur 3). En följd av det blev stora företagsförändringar; internt i företag, uppköp av företag, kompetensurlakning och brist på erfarenhetsuppbyggnad för nya resurser. Detta har egentligen skett hos både ägare och leverantörer. Här kan skönjas sådana tecken för turbingenerationen där bronsnav ingår.

6.3 Förutseende av problem

Det är lätt och ibland orättvist att vara efterklok när problem uppstår. Elforsk har insett att det fanns framtida kompetensbehov till vattenkraft under 1990-talet och initierat flera forskningsinsatser bl.a. inom strömningsmekanik och miljöanpassade smörjmedel i Kaplannav. Dock har inte satsningarna eller

övrig bransch helt lyckats fånga de problem som teknikförändringarna medfört.

6.4 Framtiden

Sedan ett antal år tillbaka finns möjlighet att undersöka design och mekanismer mer ingående på de fåtal maskiner som har svårförklarliga avvikelser. Det finns också tecken på att leverantörer använder dessa verktyg i större utsträckning än tidigare. Att effektiva analysverktyg finns tillgängligt ger ingen som helst garanti för relevansen i genomförda analyser. Här är ett branschgemensamt område att bli bättre inom. Skillnaden mellan funktion i analys och verklighet är huvudorsak till designproblem, förutsatt att vi har rätt indata i beräkningarna. Det handlar om att analysera rätt saker.

När man förutser hur maskinerna kommer att användas i framtiden är det sannolikt att behovet för snabb reglerkraft kommer att öka. Vattenkraft passar just för det behovet och därmed kommer maskinerna att köras med fler start och stopp och i frekvensreglerande drift, då effekten justeras för att kompensera avvikelse från elnätets ideala 50 Hz. Maskinegenskaperna bör anpassas efter detta behov.

6.5 Potentiell livslängdsökning

När framförallt självsmörjande lager diskuteras är många undrande över långtidsfunktionen i form av nötning och andra lagerhaverier. Referensen är de traditionella oljesmorda bronserna som kan ha fullgod funktion i Kaplannav. Vid testjämförelser mellan självsmörjande lager och oljesmorda bronser är det vanligt att de bästa självsmörjande lagren har bättre prestanda än oljesmorda referensen. Korrekt dimensionerade och installerade lager ger en potentiell livslängdsökning om man får tro tester.

Andra frågor som är viktiga för livslängd är hur förändringar i körsätt, yttre laster, ökat systemtryck i hydraulik och servomotor placerad nedströms löphjul påverkar långtidsfunktion.

6.6 Oljefyllda Kaplannav

Oljefyllda Kaplannav är referensen i vattenkraft för väl fungerande löphjul. Vid arbetsgruppens möten beskrivs flera exempel på löphjul installerade under 1990-talet som anses och har konstaterats slutkörda. Funktionen hos oljefyllda Kaplannav är definitivt inte problemfri och vid jämförelsen med miljöanpassade nav är det också en fråga om accepterade och icke accepterade problem.

Oljefyllda nav som läcker olja skall tas ur produktion och tätas innan produktion kan återupptas. Detta är en produktionsrisk och ansvarsfråga för ägaren.

7 Slutsatser

I statistiken framgår att det egentligen inte finns något, gällande införande av miljöanpassad teknik i Kaplanlöphjul, som har påverkat funktionen nämnvärt. Det enda som säkert kan fastställas är att bronsnav har varit svåra att få fullt fungerande angående lager och delar som direkt påverkar reglering. Alla bronsnav är dock av samma generation löphjul. Merparten av de maskiner som har lagerproblem eller förhöjda reglerkrafter verkar finnas bland de högre belastade. I allmänhet är dessa inte utmärkande då det finns flera exempel på fungerande löphjul med lika höga belastningar.

Kombinationen höga belastningar och mjukare material i navkropp (brons) ger större utmaningar i konstruktion för att löphjulen ska fungera. Brons som konstruktionsmaterial i nav och alla nämnda lagertyper kan mycket väl fungera i Kaplannav.

8 Diskussion

I denna undersökning pekas bronsnav ut som svårare att få fullt fungerande. Mycket troligt beror detta på skillnaden på egenskaper mellan stål och brons. Brons har lägre elasticitetsmodul och högre temperaturutvidgningskoefficient, vilket ger större utmaningar i design med de stora krafter och faktiska temperaturskillnader som förekommer. Exempelvis ett lagerspel på 0,2 mm med $\varnothing 1000$ mm halveras nästan vid 20°C temperaturminskning och det finns risk för ogynnsam lagerfunktion. I denna studie ses ingen skillnad mellan belastningar på stål- och bronsnav men däremot kan noteras att alla bronsnav är av samma generation löphjul tillverkade under ett antal år. Bättre men inte felfri funktion för stålnav i samma generation kan ses.

Många av felen kan härledas till okunskap eller brist på erfarenhet angående nya lagertyper, hur de ska fastsättas, krav på motytor och lämpliga spel i konstruktioner med betydande deformationer.

Det finns ett antal löphjul som är svårare att förklara fel på, där reglerkrafter har mätts och de avviker jämfört med de beräknade. Marginalen till dålig funktion har minskat avsevärt. Mörkertalet kan här vara stort bland alla maskiner eftersom få maskiner har kontrollerats ordentligt. Högre reglerkrafter än beräknat kan vara en följd av själva designen men även ha andra orsaker såsom icke medtagna yttre laster. Högre krafter än beräknat kan också ge kortare livslängd för löphjulet, främst till följd av materialutmattningar.

I jakten på fel som beror på design med miljöanpassade Kaplannav kan man urskilja att hälften av alla fel är kvalitetsfel och hälften designfel varav i denna ingår en mindre andel fel som beror på miljöanpassning.

Med tanke på tidigare erfarenheter kanske det är för tidigt att förklara miljöanpassade löphjul som väl fungerande. Kanske har inte alla fel upptäckts ännu?

9 Rekommendation för framtida insatser

Arbetsgruppens analys pekar på att de problem som setts under de senaste 10 åren kan hänföras till kvalitetsbrister och designfel. Några exempel är tydliga fall av bristande teknisk analys på delar av löphjulens funktion. Gruppen har möjlighet och ansvar att i detta skede försöka identifiera misstänkta framtida problem och insatser för att belysa situationen.

De akuta problemen börjar kunna skönjas lösningar till. De relativt stora tekniska förändringarna de senaste åren med högre reglertryck, förflyttning av servomotor och nya lagermaterial bör inte ge fortsatta osäkerheter om långtidsfunktion så länge ett gott designarbete genomförs. Bra långtidsfunktion är dock starkt beroende av materialens och konstruktionens hållbarhet.

I Kaplanlöphjulens historia finns exempel på utvärdering av materialens långtidsfunktion (utmattning) men senare tids teknikförändringar kommer att påfresta materialen mer än tidigare. Ökat reglerkraftbehov för framtiden och förändrad maskinkörning pekar på samma sak. Beräkningsteknik och utvärderingsmetodik har också utvecklats under årens gång och markant med dagens FE-analyser. Sammanlagt finns ett glapp mellan dagens kunskap och de beräkningar som faktiskt utförs på Kaplanlöphjul. Det ger en osäkerhet. Förslaget från arbetsgruppen är därför att gemensamt föreslå insatser angående långtidsfunktion i två huvuddelar:

1. Bestämma dimensionerande laster på löphjul vid start-stop, konstant produktion och frekvensreglering.
 - a. Karakteristik hos yttre krafter.
 - b. Löphjulens reglerkrafter.
2. Dimensionering och lämplig kravställning för långsiktig hållbarhet.
 - a. Identifiering av kritiska komponenter
 - b. Krav för beräkning.

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30, Telefax: 08-677 25 35
www.elforsk.se