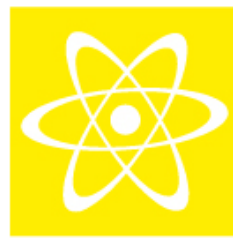
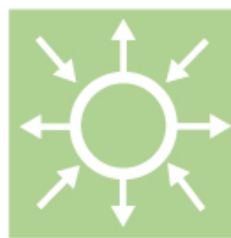




Funktion för vattenhydraulik i vattenkraftsapplikationer

En erfarenhetsuppföljning

Elforsk rapport 14:44



Jan Ukonsaari

September 2014

ELFORSK

Funktion för vattenhydraulik i vattenkraftsapplikationer

En erfarenhetsuppföljning

Elforsk rapport 14:44

Förord

Allt fler hydrauliksystem med vatten som medium installeras i vattenkraftanläggningar i Sverige. Hittills har det i huvudsak handlat om reglering av luckor. Tekniken är intressant, speciellt då den kan erbjuda miljöfördelar vid haverier eller läckage.

Tiden för teknikskiften i vattenkraften är lång. Denna studie har därför innefattat uppföljning av erfarenheter hittills. Den inkluderar erfarenheter från 33 luckregleringar och 1 ledskenereglering. Det är inte uteslutande positiva erfarenheter som rapporteras av användarna av tekniken. Merparten av medverkande företag i studien avser ändå att fortsätta att installera vattenhydraulik, medan andra inväntar förbättrade och mer tillförlitliga tekniska lösningar.

Uppdraget har utförts som en del av Elforsks program "Anläggningsteknik Vattenkraft 2013-2014. Rapporten har skrivits av Jan Ukonsaari, Vattenfall Research and Development med stöd av en referensgrupp bestående av Lars Svensson – E.ON Vattenkraft Sverige, Anders Bertilsson – Statkraft Sverige och Peter Altzar – Fortum Generation och Magnus Nilsson, Vattenfall Vattenkraft som har väglett och bidragit i detalj.

Följande företag har medverkat i "Anläggningsteknik vattenkraft 2011-2012": Vattenfall Vattenkraft, Fortum Generation, E.ON Vattenkraft Sverige, Statkraft Sverige, Skellefteå Kraft, Jämtkraft, Umeå Energi, Sollefteåforsens, Karlstads Energi och Jönköping Energi.

Stockholm september 2014



Cristian Andersson

Elforsk

Sammanfattning

Livscykeltiden för hydrauliksystem i Svensk vattenkraft är 30-50 år. Satsningar pågår kontinuerligt med miljöförbättringar men den långa cykeltiden ger utmaningar i teknikval och bedömning av medföljande funktionssäkerhet. Introduktion av en ny teknik har normalt begränsad genomslagskraft. Ett exempel på satsningar är att Svensk vattenkraft är ledande inom området vattenhydraulik i luckapplikationer. Det har gett en del lärdomar i form av bristande funktion. Vattenhydraulikinstallationer har i denna studie räknats till 34 stycken sedan år 2001. Med erfarenhet och kunskap som tillkommit kommer merparten av medverkande företag att fortsätta installera vattenhydraulik i Sverige. När miljövärde och risk sätts i jämförelse mellan vattenhydraulik, miljöanpassad olja och möjlighet för säker inbyggnad med mineralolja är inte valet självklart och installationstakten för vattenhydraulik blir begränsad. Full livslängd med mer än 30 års livslängd anses kunna uppnås för vattenhydraulik men här finns osäkerheter fortfarande eftersom så lång driftserfarenhet saknas. Även begränsad utprovning och installation av större system med högre flöden bromsar antalet installationer.

För framtiden finns en drivkraft hos alla medverkande företag att minska miljöpåverkan i vattenkraftsproduktion. Vattenhydraulik passar väl in till luckapplikationer. Vätskan som används är monopropylenglykol blandat med vatten. Den anses miljömässigt ett steg bättre jämfört med miljöanpassade oljor och har främsta fördelen att nedbrytning sker snabbare i naturen samt att vattenanläggningar klarar av vätskan bättre i reningsprocesserna. I Sverige är det dock inte helt klart hur vätskorna ska klassificeras och jämföras med varandra. I andra delar av Europa kan monopropylenglykol och miljöanpassad olja miljömässigt helt likställas vilket innebär att mest känd teknik används.

Denna erfarenhetsinsamling omfattar 34 installationer (33 luckregleringar och 1 Francisturbinreglering). Av dessa har 24 varit problemfria och 8 av de 10 med problem har åtgärdats till fullgod funktion. De 2 återstående har eller ska konverteras tillbaka till oljehydraulik. De allvarligaste problemen anses vara korrosion och att reglertider för stängning avvikit från förväntat. Vissa frågetecken återstår gällande korrosion men kunskapen har ökat och problemen anses numera kunna undvikas. Reglertider för luckstängning, i framförallt större installationer, är viktigt att öka kunskap och erfarenheten kring.

Vattenkraftens luckapplikationer har normalt få driftstimmar per år. Det ger en långsam återkoppling på åtgärder eller uteblivna sådana vid underhåll. Följden blir en diskussion om vad underhållet ska innehålla. Förutom funktionskontroll och status på elektriska och mekaniska komponenter är vätskans underhåll genom filtrering och kontroll av dess egenskaper att rekommendera. Ett prov av 13 i denna studie visade att åtgärder bör genomföras för att stärka vätskans egenskaper.

I en total utvärdering om satsning på miljöförbättrande teknik är kostnad en faktor som ingår. I dagsläget uppskattas vattenhydraulik i normalfallet vara 10-20 % dyrare än oljehydraulik men det kan också ge en kostnadsbesparing genom minskade ombyggnader.

Summary

The life cycle of hydraulic systems in Swedish hydropower plants is 30 - 50 years. Ongoing efforts to reduce the environmental impact/risk of these systems is complicated by the long lifecycle of these structures. It is challenging to choose appropriate technology to incorporate into these systems while ensuring their long term functionality. The industry is conservative with respect to new technology and as such the adoption rate of such technology is generally low. One example of new technology, where Swedish hydropower is a leading force, is the use of water-based hydraulics for maneuvering inlet and spillway gates. This has provided a wealth of information and experience pertaining to the malfunction of these systems. In this study the experience gained from 34 unique gate installations (33 inlet- and spillway gates and 1 Francis turbine wicket gate) from 2001 and forward have been collated. The experience and knowledge gained from these installations can be used by the industry when moving forward with new installations. The majority of participating companies will continue with water-based hydraulic based systems in spite of previous problems. However the choice is not obvious when the environmental aspects of this technology in conjunction with and functionality risks are compared between water-based hydraulics, environmentally acceptable lubricants (EALs, such as saturated synthetic ester oil types) and the possibility of eliminating the risk of leakage and using mineral oil. A 30 year life expectancy is considered possible with water-based hydraulics, however there are still questions that need to be answered due to a lack of experience. A limited number of trials and installations employing systems with larger system fluid flows have reduced the industry's eagerness to install water-based hydraulics into all systems.

There is a strong desire from all participating companies to reduce the environmental impact of hydropower. Water-based hydraulics is well suited for spillway gate applications. The system fluid, monopropylen glycol mixed with water, is considered to be an improvement from an environmental perspective compared to EALs. The biodegradability is much faster, and water treatment plants handle the water-based hydraulic fluid better. In Sweden it is not yet clear how the fluids should be classified and compared with one another. In other European countries the water-based hydraulic glycol fluid and EALs are have been given an equal environmental classification. This in turn leads to the implementation of the most known technology.

Out of the 34 installations, 24 have had no problems and 8 of the remaining 10 has been restored to full function. 2 of them have or will be re-converted to oil hydraulics again. The most serious problems are considered to be corrosion and gate closing speed deviating from what is expected. A few questions still remain regarding corrosion, but the knowledge has improved and the problems are considered to be preventable. It is important to investigate gate closing speed performance in larger installations in order to increase knowledge and experience in this area.

Hydropower inlet - and spillway gate applications are normally used infrequently over the course of a year. This infrequent use means that feedback from maintenance is sporadic. The operational nature of these systems necessitates a discussion on how maintenance and reporting are best undertaken. It is recommended that an analysis of the hydraulic fluids

properties is undertaken in conjunction with the current control of other mechanical and electrical systems. Continuous of-line filtering of the fluid is recommended.

A complete evaluation of environmentally sound technology includes cost. Currently, the use of water-based hydraulics leads to an approximately 10-20 % higher total cost. This additional cost has to be compared to the savings made on avoiding the construction of new and the alteration of existing systems.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Allmänna applikationsbeskrivningar	1
1.2	Bakgrund	1
2	System med vattenhydraulik	5
3	Erfarenheter	6
3.1	Drift	6
3.2	Underhåll	6
3.3	Upplevelser från handhavande personal	7
3.4	Uppföljning av status på systemvätskor	7
4	Leverantörers erfarenhet	10
5	Frågeställningar och lärdomar	11
5.1	Funktion	11
5.2	Underhåll och mer om hydraulvätska.....	12
5.3	Korrosionsprov med två systemvätskor.....	13
5.4	Renhetsanalys av systemvätska.....	16
6	Slutsatser och framtiden	18
7	Referenser	20
8		21

1 Inledning

Vattenhydraulik har funnits inom svensk vattenkraft sedan 2001-2002. År 2007 genomfördes en Elforsk studie om teknik, branschens erfarenheter och syn på framtiden [1]. Då ansågs att vattenhydraulik rent tekniskt kan anpassas till samtliga system men att optimala komponenter saknas bl.a. svivel för löpskovelreglering och proportionalventiler för turbinreglering. Hittills är insatserna för vattenhydraulik genomförda för luckhydrauliksystem, och något enstaka mindre ledskovelreglersystem. I framförallt lucksystem finns risk för utsläpp av systemvätska till vattendrag och drifttiden är låg vilket ger starkt motiv och goda förutsättningar att lyckas med tekniken.

I denna studie har en insamling av erfarenheten sammanställts från såväl problemfria installationer av vattenhydraulik som de med problem. Sammanställning finns också för underhåll, kontroll av vätska och handhavande personalens erfarenheter och upplevelser. Anläggningsägarens syn på och tilltro till tekniken samt återstående närliggande och långsiktiga frågor och önskemål är viktiga resultat.

1.1 Allmänna applikationsbeskrivningar

Intags- och utskovsluckor manövreras ofta via hydraulsystem som kan innehålla 0,2-15 m³ olja, i mindre dammar och småskalig vattenkraft förekommer mindre volymer. Luckorna skall i många fall även kunna öppnas vid strömavbrott. Temperaturer för systemmiljön är -40°C till 40°C. Risken för utsläpp till vattendrag från läckande hydraulsystemen anses i många fall mycket stor och chanserna att fånga upp utsläppt vätska är liten. Systemen manövreras allt från någon gång dagligen till någon enstaka gång per månad eller år, det förekommer också upp till 10 manövrar i timmen för nivåreglerande planluckor.

Ledskovlar manövreras vanligen med hydraulsystem via cylindrar och pådragsring eller via individuella vridservon alt. cylindrar till varje ledskovel. För aggregat över 20 MW kan äldre systemtypen med tryck på 20-40 bar innehålla 5-40 m³ olja och de nya systemen på 160 bar minskar oljemängd med upp till ~80 %. I mindre aggregat är oljevolymen lägre. Temperaturer för systemmiljön är 0°C till 30°C. Läckagerisken bedöms vara liten till medelstor. Reglering till bestämda positioner sker under drift och vid start/stopp. Frekvensreglerade maskiner kan ha flera regleringar per minut och rent producerande enheter regleras mer sällan.

1.2 Bakgrund

Anledningen att just luckmanövreringsapplikationer till vattenkraft i Sverige försetts med vattenhydraulik är möjligheten att få fullgod funktion med en bra vätska. Det mesta tyder på att en monopropylen- och vattenblandning som vätska i hydraulik har egenskaper som minskar negativ effekt vid utsläpp till vatten jämfört med några andra vanliga hydraulvätsketyper i vattenkraft. Här blir system med denna glykoltyp som vätska kallad vattenhydraulik.

Vätskans uppgift i hydraulik i luckapplikationer är förutom de tekniska uppgifterna att ha önskvärda miljöegenskaper med låg giftighet, hög nedbrytbarhet och förnyelsebarhet. Förnyelsebarhetens betydelse bör värderas i relation till eventuell återanvändning eller regenerering. Det är en möjlighet för mineraloljor men den tillämpas inte i Sverige. En relativ jämförelse [2] nedan visar översiktligt hur egenskaperna kan se ut för basvätskor anpassade för luckhydraulik och vattenkraft (Tabell 1). Monopropylenglykol blandat med vatten har framförallt låg giftighet och hög nedbrytbarhet. Hög nedbrytbarhet kan också minska risk för ackumulerbarhet. Ovarsamt valda additivtillsatser kan förändra egenskaperna.

Tabell 1. Relativ jämförelse av miljöegenskaper för olika vätsketyper, skala från dåligt och lågt (min 0) till bra och högt (max 3), från [2].

Vätsketyp	Låg giftighet* 0=Giftighet finns 3=Nära ogiftig	Hög nedbrytbarhet ≥60 %, 28 dagar 1=0-59 %, 2=60 %, 3=över 80 %	Hög förnyelsebarhet, råvaror 0=0-25 %, 3>75 %
Mineralolja	1 (API grupp I)	1	0
Vitolja (Food grade oil)	2	1	0
Syntetisk ester, mättad	3	2	2
Monopropylenglykol	3	3**	0
Monopropylenglykol/vatten	3	3**	1-2 (50/50 blandning)
Vatten	3	3	3

* Gäller låga till måttliga koncentrationer i vatten vanligen testat med kräftdjur och fiskar.

** Överträffar övriga produkter (undantaget vatten), tar ca 5 dagar för fullständig aerob nedbrytning eller 14 dagar anaerob nedbrytning. Det skall jämföras med 60 % nedbrytning efter 28 dagar i förhöjd temperatur för oljor.

För att det motivera teknikvalet för hydraulik till luckapplikationer behöver teknikerna jämföras åskådligt på något sätt. Ett exempel nedan visar hur det kan se ut när livslängd, underhållsinsatser, saneringskostnader och relativ kostnad jämförs mellan olika vätsketyper (Tabell 2). Livslängden för ett system med syntetisk ester och monopropylenglykol blir kvalificerade gissningar då inte tillräcklig erfarenhet finns. Sanering går att uppskatta men svårare är det att enkelt uppskatta samhällets reaktion vid utsläpp. Totalkostnaden är generellt högst för vattenhydraulik men det kan även medföra minskade kostnader i specifika fall när tekniken kan minska ombyggnationsomfattningen. Priset för en syntetisk ester är ca fyra gånger högre än för en mineralolja men totalkostnaden för en installation påverkas marginellt.

Tabell 2. Relativ jämförelse av bedömd livslängd, underhåll, saneringskostnad samt totalkostnad för system och inköpskostnad för vätska.

Vätsketyp	Livslängd 0=Kort 3=Lång	Underhåll insatser 0=Hög 3=Lågt	Sanering- kostnad 0=Hög 3=Lågt	Relativ total kostnad i %, (faktor för inköpspris på vätska)
Mineralolja	3	1	3 ¹	100, (1 referens)
Vitolja (Food grade oil)	3	1	3 ¹	100, (2)
Syntetisk ester, mättad	2-3*	1	2-3 ²	100-102, (4)
Monopropylenglykol/vatten	(1?)2-3*	1-2*	1 ³	110-120, (1)

* För kort erfarenhet för fullgod jämförelse

¹Uppfångning och sanering obligatorisk

²Uppfångning obligatorisk och sanering kan bli aktuell

³Uppfångning ej möjlig

I delar av Europa likställs kraven på system innehållande glykol och miljöanpassad olja medans högre krav gäller vid användning av vanlig mineralolja, installationsförbud kan förekomma. Dessa krav tillsammans med större erfarenhet med olja gör att miljöanpassade oljor föredras jämfört med vattenhydraulik. I Sverige har reningsanläggningar för färskvattenintag processer som klarar av monopropylenglykol men har svårt med mineral- och miljöanpassad olja. Generellt föreskriver den svenska miljöbalken att bästa möjliga teknik skall användas i naturnära installationer. Dessa två saker borde motivera fortsatt intresse för vattenhydraulik när vätskornas egenskaper jämförs.

Följande text är hämtat från [2] och beskriver utvalda delar från historien och omvärlden.

"I övriga världen pågår aktiviteter för miljöförbättringar. Dock bör nämnas att vid ett möte (CEATI/HPLIG i Florida) möttes en presentation av vattenhydraulik för luckreglering med många förvånade ansikten. Det verkar bara vara i Norden som vattenhydraulik installerats för luckreglering.

I Naussac i Frankrike finns ett exempel på en maskin med helt oljefria hydraulsystem (rent vatten). Försöket genomfördes 1996 och har enligt uppgifter haft problem med alger och bakterier i vattnet. Inga speciella tillsatser användes. Vanligt är också att trottventiler drivs av fallhöjdstrycket, vilket bör betraktas som vattenhydraulik.

Går man längre tillbaka i tiden kommer man exempelvis till The London Hydraulic Power CO som med start 1883 drev hissar och industrier med vattenhydraulik. Den mest kända anläggningen är för Tower Bridge som reglerades med vattenhydraulik fram till år 1977.

Ett vanligt mål under utformning av lucksystem är förstås att minska läckagerisken ut till vattendrag. I flertalet befintliga luckor skulle dessa åtgärder vara så omfattande (kostsamma) och riskfyllda att andra lösningar måste beaktas. Graden av ansträngning för omkonstruktion är inte helt känd.

Intåget av olja skedde på 1900-talet som en "fantastisk vätska" som kunde användas överallt. Men om det medfört utveckling inom alla områden kan man fråga sig med tanke på tidigare installationer av vattenhydraulik och återgången till denna.

Inom skogsindustri har det länge funnits stort fokus på miljöanpassade oljor där föregångsarbeten genomförts. Det arbetet medförde generellt en kvalitetsökning på tätningar och toleranser eftersom man började uppmärksamma läckage mer. Det har medfört en generell förbättring för mobil hydraulik. Den svenska standarden SS ISO 1554-34 passar bra att tillämpa för just skogsmaskiner. I Europa finns ett antal standarder som på någon punkt varierar jämfört med den svenska. Någon kan ha krav på viss del förnyelsebarhet eller extra höga krav på nedbrytbarhet. Der Blaue Engel och Ecolabel är två av dem.”

2 System med vattenhydraulik

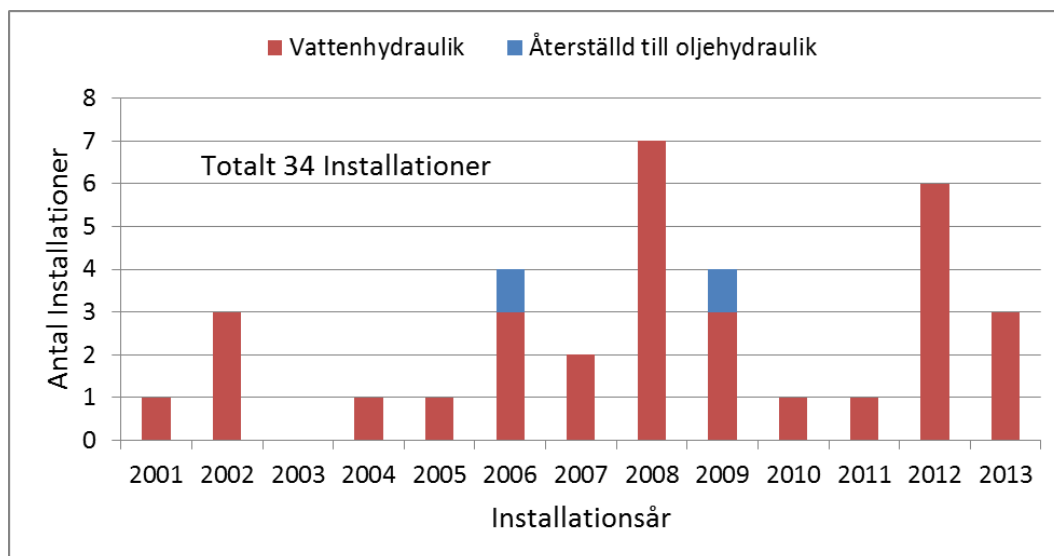
Sedan år 2001 har 34 stycken installationer gjorts av medverkande företag i denna studie (Figur 1). Två intagsluckor som installerades år 2006 och 2009 har eller ska återställas till oljehydraulik. Fördelningen är 14 utskovsluckor (dammluckor), 18 intagsluckor och ett pådragssystem till en Francisturbin.

Samtliga system innehåller en blandning av monopropylenglykol och vatten. Glykolen som används har korrosionskydd och används i koncentration över 25 % för att även förhindra bakterie- och alg tillväxt, och kan anpassas för kyla där lägsta fryspunkt nås med ca 60 % glykolkoncentration. Hittills har 40-67 % monopropylenglykol i vatten använts.

Många system har alla komponenter helt anpassade för vatten men det är också vanligt att servo (hydraulcylinder) behållits vid en uppdatering från oljehydraulik. Mer ovanligt men förekommande är system med komponenter i svartstål (ej rostfritt) som inte är helt anpassade för vatten.

Driftstiden varierar men är i allmänhet låg, övervägande del genomgår endast ett funktionsprov eller har upp till 10 manövrar per år, vilket möjligtvis motsvarar en timmes drifttid. Ett lucksystem manövreras periodvis 10 gånger per timme och ett reglersystem för en Francisturbin har mer frekvent reglering.

Hydraulaggregat med tank är mestadels installerade i varma utrymmen medan cylindrar kan vara i utomhusmiljö, takskydd är då vanligt.



Figur 1. Installationsår för vattenhydrauliksystem 2014.

3 Erfarenheter

Installationerna har gett en del erfarenheter. Av 34 installationer är 32 idag i drift med vattenhydraulik. Två är eller ska bli återställda till oljehydraulik. 24 installationer har varit och är utan problem och 10 av dem har haft ett eller flera problem varav någon enskild installation utvärderas fortfarande för eventuella åtgärder. Fördelningen för de 10 med problem har varit:

Korrosionsproblem (4 st): Cylinder (3) och tank (1)

Rostskador på cylinder som i två fall medfört beslut om byte tillbaka till oljehydraulik. Även prestandaproblem vid fällning och bedömning av tidsåtgång/kostnad/risk medförde återgång till olja. En tank i svartstål rostade och medförde flera filterbyten, tank byttes till rostfri.

Läckage (4): Cylinder och tätningar (2), kopplingar (2), ventiler (1)

Det har förekommit många små läckage i rörkopplingar och ventiler vid drifttagning. En cylinder har läckt vid trycklöst läge då tätningsfunktion inte är såsom vid trycksatt system.

Förorening av olja (1)

Leverantör provtryckte kolv med olja vilket sedan förorenade systemet.

Ventilproblem (2)

Problem med en fällningsventil (1). En tätning på kägla lossade under drifttagning av luckan, vilken slog ut hela systemet så att luckan ej kunde manövreras med ordinarie hydraul aggregat. Problem med utslitna ventiler efter bara ett år (1). Ventilerna byttes ut och luckautomatiken justerades så att luckan inte går så ofta som tidigare.

Lägesgivare (2)

Lucklägesgivare integrerad i cylinder fungerade inte, extern lägesgivare har installerats.

3.1 Drift

Uppgiften hos vattenhydraulik är densamma som oljehydraulik i applikation. Drift är beroende av funktionen och prestandan. Tidigare nämnda problem har gett eller skulle komma att ge driftstörningar eller stopp om de inte åtgärdats. Luckfällningstid har i ett par fall inte varit under full kontroll. I värsta fall är det en säkerhetsrisk.

3.2 Underhåll

Ett lucksystem förväntas ha 30-50 års livslängd och då finns alltid frågor hur underhåll skall skötas. Det finns exempel på leveranser av vattenhydrauliksystem där medföljande instruktioner föreskriver vätskebyte var 6:e månad. Samtidigt finns problemfria system som fortfarande har ursprungsvätskan kvar. Det är en tydlig skillnad mellan rekommenderat

förfarande och verklighet. Just brist på kunskap om underhåll utpekas som en svaghet för vattenhydraulik inom vattenkraft.

3.3 Upplevelser från handhavande personal

Personal som kommit i kontakt med vattenhydraulik har både positiva och lite mer skeptiska kommentarer om teknik, funktion och livslängd när systemen är nya. En omställning är att olja förorenar vattenhydraulik och ett ökat fokus på renhet finns för att inte få det i systemen. Vid installation eller reparation är det extra viktigt med tanke på att oljeprodukter är vanligt förekommande i verkstadsmiljöer.

Monopropylenglykol som vätska känns annorlunda på huden än andra hydraulvätskor, vilket kan öka eller minska irritation på olika individer. Skyddsföreskrifter ska följas.

3.4 Uppföljning av status på systemvätskor

I denna studie har ett antal systemvätskor provats för att följa egenskaperna och möjliga förändringar. Viktiga egenskaper är att pH värdet är bra och att det finns en buffert mot bildning av syra som försämrar korrosionsskydd. Fryspunkt, föroreningar och additivernas koncentration ger också vägledande information om vad för åtgärder som kan bli aktuella för att återställa en god vätska (Tabell 3).

Vid avvikelser i pH-värde (se intervall i Tabell 3) indikerar det risk för korrosion eller instabilitet i vätskan. Normalt sjunker det vilket indikerar bildandet av syror som sker vid nedbrytning av vätskan i hög temperatur eller oxidation i luft. Värden under 7 bör undvikas då delvis utbyte av vätska blir aktuellt. Alltför lågt värde förordar en inspektion före vätskefyllning.

Densiteten indikerar att vätskan är korrekt tillverkad samt även koncentrationen. Det ger ett begränsat analysvärde på koncentrationen då den enklare och säkrare metoden med refraktionsindex till att tillgå.

Refraktionsindex indikerar koncentration och fryspunkt, värden bör avstämmas till förväntat.

Alkalinitet skvallrar hur känslig vätskan är för störningar eller hur stor marginal som finns för att ta hand om syror som bildas, t.ex. vid en korrosionsprocess eller nedbrytning av glykolen. Utan reservalkalinitet påverkas pH värdet snabbt och vätskan blir korrosiv. Värden under 8 ml bör initiera åtgärd.

Hydraulsystem och ingående komponenters och vätskans livslängd är beroende av vätskans renhet. En väl standardiserad metod att bli medveten om partikelinnehållet är via partikelräkning. Det kan i huvudsak ske på 2 sätt; genom automatisk partikelräknare (APC = automatic particle counter) med ett flöde och ljusblockering samt genom filtrering och mikroskåpräkning av partiklar fastnat på filtret. Speciellt den första metoden kan vara ifrågasatt. En annan metod är gravimetrisk provning där en mängd vätska passerar ett filter som sedan vägs. Med rena vätskor är metoden osäker men den kan också ge information om kemiska egenheter som pågår i en vätska. Resultatets värde beror mycket på kunskapen hos testutförare om något

avvikande påträffas. Standardiserat är viktmåttet men vanligt är att man studerar färg och söker svar från tidigare erfarenheter. Ovanligt men möjligt är mer avancerade analyser på det som fastnat i filtret.

För just vattenhydraulik i luckapplikation kan renhetens inverkan livslängd ha betydelse. Stickprov för att säkerställa att metoderna är tillämpliga på vätsketyperna genomförs. Provtagningsförfarandet medger inte säkra resultat enligt standard.

Tabell 3. Viktiga egenskaper som följs upp vid vätskekontroll [Univar, Dow Chemicals].

Parameter	Vanligt värde	Förklaring
pH	7,2-8,2	Buffert mot syrabildning (ASTM D 1287)
Densitet nD20	1,045-1,055	Densitet vid 20°C
Refraktionsindex ND	1,35-1,43	Koncentration (DIN 51423), ger fryspunkt
Alkalinitet (min 8-10 ml)	15-24 ml	Buffert mot syrabildning, hur mycket 0.1 N av hydroklorid som behövs för att titrera 10 ml till pH 5,5 (ASTM D 1121)
Visuell bedömning	Färg, klarhet	Upptäckt av föroreningar, anmärkning i text

Resultat av de prover som tagits och analyserats i samband med denna studie återfinns i Tabell 4. De flesta proverna befinner sig inom intervallen för vanliga värden (Tabell 3). Där värden avviker kan det medföra att åtgärder såsom utbyte av delar eller hela vätskan blir aktuellt.

Tabell 4. Värden på egenskaper för ett antal testade systemvätskor med Dowcal 20.

Station	pH	Densitet	Refraktions-index	Alkalinitet	Visuell bedömning	Övrigt
Skoga (2008)	8,22	1,0463	1,3922	24,596	Klar	
Forshaga (2008)	8,26	1,0458	1,3901	23,147	Klar	
Nederede L1 (2013)	7,85	1,0546	1,4079	31,541	Ljusbrun	Inga partiklar
Vitforsen L3 (2009)	8,27	1,0461	1,3913	20,609	Ljusbrun	Inga partiklar
Älvkarleby (2009)	7,83	1,0422	1,3849	15,798	Klar	
ATP Åtorp (2006)	8,37	1,0417	1,3833	17,044	Klar gul vätska	
Degerfors (2004)	8,42	1,0364	1,3761	12,590	Klar gul vätska	
Yngseredsfors (2008)	8,1	1,045	46 % fryspkt -33°C			
Emsfors (2008)	7,2		Fryspunkt -45°C			Lågt pH
Kvarnaholm 1 (2006)	8,52	1,0158	1,3554	7,171	Ljus grön	Inga partiklar, låg glykolhalt
Kvarnaholm 2 (2006)	8,64	1,0517	1,3914	24,218	Ljus grön klar	
Majenfors (2007)	8,41	1,0332	1,3778	18,970	Klar ljusblå vätska	Inga partiklar
Jössefors (2012)	8,38	1,0441	1,3861	27,882	Klar vätska	Inga partiklar

4 Leverantörers erfarenhet

I Sverige har intresset för vattenhydraulik drivits av slutanvändare och hydrauliksystemleverantörer som tillsammans med den hittills vanligaste komponentleverantören till vattenhydraulik (Danfoss) genomfört installationerna. Dessa hydrauliksystemleverantörer får normalt förfrågningar från de större huvudleverantörerna inom vattenkraft. En osäkerhet som finns är att de tekniska lösningarna inte har provats för de höga flöden som förekommer i stora lucksystem vid luckfällning. Riskerna i en sådan leverans har vid tillfällen bedömts för stor och någon hydrauliksystemleverantör har tackat nej. Tänkbara komponenter eller komponentkombinationer har inte bedömts tillräckligt utprovade.

De stora huvudleverantörerna av system till turbin och generator är multinationella och stöter på olika åsikter i Europa och Sverige. Anpassningen till efterfrågan av vattenhydraulik i Sverige kan skilja från företagets internationella. Ett exempel är när monopropylenglykol likställs med miljöanpassad olja i delar av Europa. Det har inneburit en grundsyn att vattenhydraulik inte är en miljöriktig åtgärd om inte rent vatten används. Med rent vatten ökar svårigheterna och riskerna för problem som i sin tur minskat intresset att leverera. Klargörande av svensk syn på monopropylenglykol vs. miljöanpassad olja är av värde.

Det finns exempel på vattenhydrauliska probleminstallationer som åtgärdats med återgång till oljehydraulik. Möjligtvis har detta gett vattenhydraulik dåligt rykte. Leverantörer av vattenhydraulik anser det av stor vikt att bedöma felorsaker.

Underhåll och översyn av vattenhydraulik är av intresse för leverantörer då det dels ger en marknad och dels en kunskap inom området. De räknar med att vattenhydraulik kräver motsvarande underhåll som rekommenderat för oljehydraulik.

Leverantören av vanligaste vätskan har egentligen inte någon större erfarenhet av dessa vätskor i långtidsanvändning liknande vattenkraftens luckapplikationer. Ca 13 år är idag äldsta installationen och hittills har inte förändringar påvisats för vätskan. Vattnet och glykolen har aldrig separerat i någon applikation men möjligtvis kan korrosionsinhibitorer bli förbrukade, vid låg vätskecirkulation kan detta ske lokalt. Temperaturförändringar och tid kan göra att additivtillsatserna kan få förändrad löslighet och fällas ut i vätskan. Hittills har det inte skett i vattenkraft i Sverige.

5 Frågeställningar och lärdomar

Svensk vattenkraft är ledande med vattenhydraulik till luckmanövrering. Att vara först sätter stort fokus på funktion och här återges de frågeställningar som uppkommit samt generella lärdomar.

5.1 Funktion

För applikationerna har funktionen varit som förväntad, det finns dock ett par undantag.

För intagsluckor är luckfällning är en fråga om stationssäkerhet och här har fällningstider avvikit från de förväntade. För vattenhydraulik saknas högflödesventiler för luckfällning med högre flöden. Ett antal on/off-ventiler kan parallellkopplas tills rätt flöde kan åstadkommas eller komponenter från oljehydraulik kan användas med anpassade tätningar och packningar för aktuell vätska. Begränsad erfarenhet finns angående användning av oljehydraulikkomponenter. I stålverksindustrin förekommer det system med en annan glykoltyp, etylenglykol, i miljö med brandrisk. Systemen kan ha tryckkompenserande pumpar och proportionalventiler. Dimensionering och anpassning av högre stängningsflöde är en frågeställning som är aktuell.

Den låga driftstiden skulle kunna medge att oljehydraulikkomponenter kan användas, framförallt högflödesventiler som idag är begränsat prövade för vattenhydraulik. Det finns exempel på ventiler som har betydande kavitationsskador efter 100 h drifttid, men det kommer långt i ifråna alla lucksystem upp i under hela sin livstid. Undersökningar för utökat komponentval kan i förlängningen både säkra funktion och minska prisbild för komponenter till vattenhydraulik i lucksystem.

En fråga är korrosion på framförallt cylindrar där valet ibland är att behålla befintligt svartstål. Det ställer krav på korrosionsskyddande egenskaperna hos vätskan. Ett problem som förekommit är att den trycklösa sidan på cylindern tömts eller aldrig fyllts med vätska. Då finns risk att den tomma sidan korroderar. Orsaker till detta kan vara kondensbildning och/eller att vätskans förmåga att behålla korrosionsskydd efter ytkontakt inte varit tillräcklig. Just denna korrosionsfråga är inte unik för vattenhydraulik utan gäller även med olja, känsligheten verkar dock öka med vatten.

Några lärdomar som kan återkopplas från tidigare installationer är:

- *Rostfria komponenter:* Använd så mycket rostfria komponenter som möjligt, eller material som inte korroderar med vatten. Även om glykolen skyddar så kan kondens bildas lokalt och risk för korrosion uppstå.
- *Ventiler, pumpar och cylindrar:* Komponenter anpassade för rent vatten är utprovade men om de har begränsad kapacitet kan systemet bli komplext om flera komponenter ska parallellkopplas. Oljekomponenter med anpassade tätningar kan vara ett alternativ för att minska antalet komponenter eller förenkla beräkning av reglertider.

Sedan 2006 är ett enklare positionsreglersystem med on/off-ventiler för en Francisturbin igång med enbart komponenter gjorda av svartstål, vilket kan vara en framtida väg då glykolen faktiskt har god smörjande förmåga jämfört med rent vatten för stål-stål kontakter. Korrosionsrisk ökar dock med svartstål.

- *Kopplingar:* System med monopropylenglykol och högt tryck är en utmaning att få helt tätt i alla klämkopplingar utan att efterdra. Kragade rör som kopplingar (Rolls-Royce) med O-ringar har visat sig vara täta utan efterdragning. Kragning rekommenderas.
- *Konvertering av servo/cylinder:* Vid konvertering av oljehydraulisk cylinder med svart stål (ej rostfritt) bör interna utrymmen vätskefyllas för korrosionsskydd. En enkelverkande cylinder med en luftsida ger risk för kondensbildning och korrosion. Tätningar byts och även omförmörkning av kolstänger är vanligt. Anordning för ändlägesdämpning eller inre läckage (säkerställd cirkulation) kan göras.
- *Filtrering:* Filtrering av vätskan ökar komponenternas livslängd. Lägsta krav på filtrering har varit med filter β_{10} -200, en av 200 partiklar större än 10 μm passerar filtret utan att fångas. Det säger inte så mycket om renheten eftersom flödet genom filtret inte är med, inte heller takten av partiklar in till systemet eller bildningen av dem. Vanligt är returfilter samt en off-line filterkrets. Systemandningsfilter behöver inte avskilja vatten.
- *Cirkulation av vätska:* Monopropylenglykolen och dess tillsatser gynnas av att hållas i rörelse genom att risk för utfällning av tillsatserna minskar. Det kan bl.a. ske genom en off-line filtrerings krets eller periodvisa manövreringar då luckor kan ha lång tid mellan regleraktiviteter.

5.2 Underhåll och mer om hydraulvätska

För vanlig oljehydraulik finns rekommendationer om underhåll. Hur dessa tolkas för just luckapplikation med tanke på den generellt låga drifttiden är individuellt på företagsnivå. Underhåll för vattenhydraulik innehåller frågor som inte är klarlagda. Det gäller kontroll och byte av vätska, filterbyten och allmän komponent- och systemöversyn.

Vätskan för vattenhydraulik är annorlunda jämfört med olja som är mer känd i luckapplikation. Hur vätskan bör behandlas och kontrolleras för luckhydraulik är något som kommer att utvecklas med erfarenheten. Här är lite vägledning att utgå ifrån:

- *Utbyte av vätska:* Enligt en vätskeleveratör är det framförallt utbyte av vätska som kan ske för att återställa lämpliga egenskaper. Både vatten och ren monopropylenglykol har i sig själva inte så goda korrosionskyddande egenskaper och additiverna är viktiga här. Hittills finns enbart standardprodukten med valfri vattenblandning att tillgå vid utbyte. Att själv tillsätta enbart additiver är inte lämpligt då löslighet mellan vätskan och additiver kräver väl provade metoder för ett lyckat resultat. Risk för utfällning blir stor. I ett hydraulsystem

kan det vara värt att tänka på hur man kan få påfylld vätska väl blandad med systemvätskan då cirkulation normalt är måttlig, liten eller nästan obefintlig i luckapplikation.

- *Inköp av färdigblandad eller outspädd vätska:* Se till att vattenkvaliteten vid spädning är god. Rekommenderade gränsvärden för klor, sulfat och total hårdhet finns. Med färdigblandad vätska undviker man dessa funderingar.
- *Förvaring:* En monopropylenglykol har "bäst före datum" satt till ungefär 2 år efter inköp (liknande rekommendationer finns för olja). Erfarenhet visar att de håller längre och vätskan kan testas om osäkerhet finns. Förvaring av monopropylenglykol bör vara i plastbehållare. Se även brandsäkerhet.
- *Brandsäkerhet:* I koncentrationer upp till 80 % (20 % vatten) finns ingen mätbar flampunkt. I koncentrerad form klarar sig monopropylenglykol precis gränsen för att undvika att klassas som brandfarlig i klass 3 (intervall 55-100°C).
- *Destruktion:* Även om monopropylenglykol är nedbrytbart och har låg giftighet skall den destrueras enligt de regler som gäller för vätsketypen. Utsläpp i natur eller vatten skall inte förekomma. Tag kontakt med reningsverk för rådgivning vid destruktion.
- *Provtagning för vätskestatus:* Provtagning och analys (förslag i Tabell 3) av vätska rekommenderas till varje eller vart annat år.

5.3 Korrosionsprov med två systemvätskor

En vätska från ett problemfritt system och från ett system med korrosionsproblem har analyserats i ett korrosionsprov ASTM D 1384 "Standard Test Method for Corrosion Test for Engine Coolants in Glassware". Provet är ett standardprov för kylvätskor till motorer. Metallerna i provet är

1. Stål kallrullad UNS G10200 (SAE 1020, C: 0,17-0,23 %, Mn: 0,3-0,6 %, P: max 0,04 % och S: max 0,05 %)
2. Koppar kallrullad UNS C11000 eller UNS C11300 (SAE CA110 eller SAE CE 113)
3. Mässing UNS C26000 (SAE CA 260)
4. Lödmateriel Alloy Grade 30A, mässing täckt med lödmateriel (SAE 3A)
5. Aluminium gjutet UNS A23190 (SAE 329)
6. Gjutjärn UNS F10007 (SAE G3500)

Under 336 h i 88°C förses luft till vätskan med de vätsketäckta metallbitarna. Korrosionen mäts i viktförändring.

Testen ASTM D 1384 är inte den mest representativa testen för vattenhydraulik i luckapplikation. Provet anses ha större elektrokemiskt

påverkan än verkligheten pga. att fler material testas samtidigt och högre temperatur, men ingen nötning förekommer såsom det kan ske i en cylinder. Provet ger ett mått på förändringar i egenskaperna jämfört med ny vätska och kan även jämföras med andra leverantörers vätskor.

Resultaten visar att vätskorna har påverkat provbitarnas vikt före och efter test (Tabell 5 och Tabell 6). Viktändringarna är noterade direkt efter test (Before treatment) samt efter en specifik putsning och rengöring av de olika metallerna (After treatment). Värden med plus-tecken innebär viktökning och värden utan tecken är viktnedgång. För Åtorps vätska var påverkan på järn och aluminium högre jämfört med Älvkarlebys. Skillnaderna från en ny vätska är marginell (jämför Dowcal 20G i Tabell 8) och de har betydligt bättre korrosionsskyddande egenskaper jämfört med rent vatten (Tabell 8).

En visuell inspektion av provbitarnas utseende efter test visar att Åtorps provbitar bedöms vara mer påverkade för stål och gjutjärn (Tabell 5-Figur 2, Tabell 6-Figur 3 samt skalförklaring i Tabell 7). pH värde, alkalinitet samt vattenkoncentration före och efter test har även de vissa förändringar (Tabell 5-Tabell 6).

Det system med påvisade korrosionsproblem har en vätska som bedömts ha något sämre korrosionsskyddande egenskaper än systemet utan problem. Slutlig inverkan på problemen av dessa resultat bör utvärderas tillsammans med bedömning av bl.a. nötning.

Tabell 5. ASTM D1384 testresultat av vätska från Älvkarleby intagshydraulik.

<i>Test specimen</i>	<i>Mass change (mg/metal specimen)</i>		<i>Metal specimen appearance</i>
	<i>Before treatment</i>	<i>After treatment</i>	
Copper	0,5	1,5	8
Solder	+ 0,5	4,9	9
Brass	+ 0,0	1,3	7
Steel	+ 1,0		9
Cast iron	+ 1,7		8
Cast aluminium	+ 1,9	+ 1,3	9

<i>Coolant characteristics</i>	<i>Before test</i>	<i>After test</i>
pH :	7,6	7,7
Alkalinity reserve, ml Hcl 0.1 M	12,4	14,2
Water content (% m/m)	57	59



Figur 2. Foto på testbitar efter genomfört test (Älvkarleby).

Tabell 6. ASTM D1384 testresultat av vätska från Åtorp intagshydraulik.

Test specimen	Mass change (mg/metal specimen)		Metal specimen appearance
	Before treatment	After treatment	
Copper	1,3	2,0	8
Solder	+ 0,6	3,4	9
Brass	+ 0,3	0,9	7
Steel	+ 1,4		8
Cast iron	+ 4,4		6
Cast aluminium	+ 3,1	+ 2,5	9

Coolant characteristics	Before test	After test
pH :	7,6	7,6
Alkalinity reserve, ml Hcl 0.1 M	12,8	14,2
Water content (% m/m)	59	55



Figur 3. Foto på testbitar efter genomfört test (Åtorp).

Tabell 7. Skala för visuell bedömning av provbitar efter test.

Appearance of specimens	Cotation
Clusters of metal salts on the entire surface	1
Clusters of metal salts on the surface of a part	2
Pitting or mottling of 100% of the surface	3
Pitting or mottling of 50% of the surface	4
Pitting or mottling of 25% of the surface	5
Some pitting or mottling	6
strong staining	7
Dull and slightly colored	8
Light bright coloration	9
appearance unchanged	10

Tabell 8. Normalvärde för ASTM D1384 med ny glykol med 70 % vattenblandning enligt tillverkaren.

	DOWCAL™ N & 20G and water	Propylene glycol and water	Water only
Copper	3	4	2
Solder	1	1095	99
Brass	4	5	5
Mild steel	1	214	212
Cast iron	3	345	450
Aluminum	+2	15	110

Samples with a "+" showed weight gain

5.4 Renhetsanalys av systemvätska

I väskeanalyserna (Tabell 4) finns flera noteringar att "inga partiklar" förekommer i visuell bedömning. Små partiklar, som är mindre än ögat kan uppfatta, har inverkan på livslängden för ett hydraulsystem och dess vätska. Den vanligaste standarden inom hydraulik är att räkna antalet partiklar med en automatisk partikelräknare med ljusblocker (ISO 11500:2008 med APC, Automatic Particle Counter) och klassa antalet in i en renhetskod. Standarden heter ISO 4406:99 som klassar antalet partiklar i storlekar över 4, 6 och 14 µm. Definition av partiklarnas storlek beskrivs i standarden ISO 11171:1999.

Ett alternativt sätt att räkna antalet partiklar är att räkna dessa på ett genomströmmat filter efteråt i mikroskåp. Även det kan ske automatiskt med bildbehandling idag. Denna metod bedöms vid tillfällen ge säkrare resultat än med ljusblocker då anmärkningsvärda resultat ibland fås med APC.

Ytterligare information kan man få via massbestämning av smuts på ett genomströmmat filter av en definierad (ISO 5885). Det kan kompletteras med färganalys (MPC – Membrane Patch Calorimetry) för att studera främst oxidationsprocesser i vätskan.

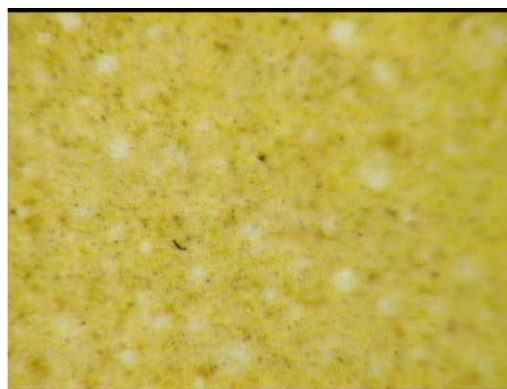
Här har partiklarna för Åtorps vätska räknats med APC ISO 11500 och visar på renhet ISO 4406 klass 20/19/13 samt gravimetrisk vikt 29 mg/l (Tabell 9 och Figur 4). Resultaten ska inte tolkas absolut med tanke på osäkerheten i provtagningsförfarande och hantering till analys. Resultatet kopplat till denna studie är att provmetoderna går att genomföra.

Tabell 9. Resultat from partikelräkning med APC med vätskan från Åtorp.

Particules counting	ISO 11500	
Particles > 4 µm/ml	ISO 4406	9134
Particles > 5 µm/ml	ISO 4406	5353
Particles > 6 µm/ml	ISO 4406	3007
Particles > 10 µm/ml	ISO 4406	350
Particles > 14 µm/ml	ISO 4406	63
Particles > 18 µm/ml	ISO 4406	17
Particles > 22 µm/ml	ISO 4406	5
Particles > 26 µm/ml	ISO 4406	2
Classification	ISO 4406	20/19/13



Filtration View or oil spot



Filtration View x100

Figur 4. Foto på filter vid gravimetrisk vikprovning.

6 Slutsatser och framtiden

Processen att miljöförbättra hydrauliksystem i vattenkraft har en cykeltid på 30-50 år. En naturlig följd är att medverkande företag satsar på en bredd av teknikval vid introduktion av ny teknik. Det minskar konsekvenser av felsatsningar.

För framtiden finns en drivkraft hos alla medverkande företag att minska miljöpåverkan i vattenkraftsproduktion. Här passar vattenhydraulik till luckapplikationer väl in tack vare en miljömässigt lämpligare vätska än nuvarande alternativa oljor. Åtgärder såsom inbyggnad av system (läckagesäkring) och användning av mineralolja eller miljöanpassad olja är starka alternativ som kan föredras i en total utvärdering. Inbyggnad kan vara svår och kostsam och då ökar motivet för vattenhydraulik.

Svensk vattenkraft är med sin erfarenhet ledande inom området vattenhydraulik i luckapplikationer och det har givit en del lärdomar. Denna erfarenhetsinsamling omfattar 34 installationer (33 luck- och 1 turbinreglering). Av dessa har 24 varit problemfria och 8 av de 10 med problem har åtgärdats till fullgod funktion. De 2 återstående har eller ska konverteras tillbaka till oljehydraulik. Full livslängd på 30 år eller mer bedöms kunna uppnås med vattenhydraulik i luckapplikation.

De allvarligaste problemen anses vara korrosion och att fällningstider avvikit från förväntat. System och systemmodifieringar enligt dagens kunskap ger ökade förutsättningar att undvika hittills kända korrosionsproblem. Framtida uppföljningar kommer visa dess både återstående och nya problem. Säkerställning av fällningstider, framförallt i installationer med högre flöden, behöver förbättras.

I vattenkraftens hydrauliksystem är förväntad livslängd 30 år eller mer och luckapplikationer har en mycket låg driftstid. Den låga driftstiden ger långsam återkoppling på insatser i underhåll och det ger en diskussion om vad underhållet ska innehålla. Förutom funktionskontroll och status på elektriska och mekaniska komponenter är underhåll genom filtrering och kontroll av framförallt vätskan att rekommendera. På de 13 år som installationer funnits i svenska vattenkraftstillämpningar finns ingen erfarenhet av de åtgärder som kan genomföras för att säkerställa vätskans egenskaper när ett kontrollprov har visat på bristande status. Tillvägagångssätt finns för stärkning av vätskans egenskaper.

Enklare reglering av Francisturbiner kan få fler installationer för att prova nyare teknik men också för att få erfarenhet snabbare än i luckapplikationer. För Kaplan-turbiner med servo i nav är nyttan av vattenhydraulik större än för Francis men tekniken ligger längre fram i tiden.

Det finns ett antal saker som kan förtydligas eller förbättras:

- Skillnader som finns mellan Svensk praxis och lagstiftning jämfört med Europeiska föreskrifter och lagstiftning för olja och monopropylenglykol.

- Säkring av stängningstiden dvs. flöden vid stängning (luckfällning), alternativ:
 - o Utveckling/utprovning av komponenter för högre flöde.
 - o Provning av karakteristik på mindre parallellkopplade komponenter.
 - o Mer erfarenhet med oljekomponenter med anpassade tätningar.
- Livslängdsstudier i form av installationer i mer frekvent använda system, ex. reglersystem Francis eller luckor med mer aktiv reglering.
 - o Provning och installation av system med mer komplex reglerkaraktistik för att studera lämplighet till andra reglersystem. Ett sådant exempel är "digital hydraulik" med sekvensstyrning av flera sammankopplade enkla ventiler istället för en proportionalventil.
- Medverkande företag är "pionjärer" inom området vattenhydraulik i luckapplikationer som är en av flera möjliga tekniker. Vattenhydraulik är inte den slutliga lösningen i miljövänlighet, snarare har tekniken tagits in i en ständigt pågående utvärderingsprocess med flera teknikval. I problematiken att få utvärderingen optimal ingår:
 - o Funktion
 - o Miljö
 - o Kostnad
 - o Tidsaspekt 30-50 år
 - o Lagar

7 Referenser

- 1 Vattenhydraulik till vattenkraft, En förstudie om branschens erfarenheter och syn på framtiden, Elforsk rapport 07:43, Mikael Sendelius och Jan Ukonsaari, September 2007.
- 2 Alternativ vätska i naturnära reglerhydraulik för vattenkraft, En studie om potential för tunn syntetisk paraffinolja framställd från gas, Elforsk rapport 13:35, Jan Ukonsaari och Anders Pettersson, September 2013.

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