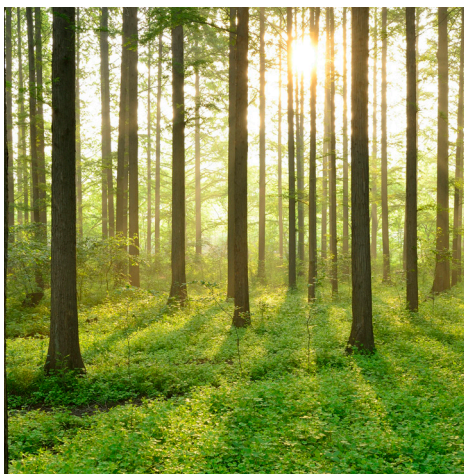


# MILJÖANPASSADE LÖSNINGAR INOM VATTENKRAFTEN

RAPPORT 2023:916



SVENSKT  
VATTENKRAFTCENTRUM





# Miljöanpassade lösningar inom vattenkraften

KIM BERGLUND

ISBN 978-91-7673-916-7 | © Energiforsk januari 2023

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se



## Förord

**Denna rapport är resultatet av projektet Miljöanpassade smörjmedel för vattenkraftsapplikationer. Projektet har utförts av Kim Berglund på Luleå tekniska universitet.**

Projektets syfte var att göra en genomlysning av vilka alternativ som finns för smörjmedel i vattenkraftsbranschen och att presentera detta på ett överskådligt sätt. Denna rapport ska därmed ge branschen aktuell och vederhäftig information om de lösningar som finns tillgängliga och utgöra beslutsunderlag för företag som överväger nya lösningar.

Projektet har följts av följande industrigrupp:

Jan Ukonsaari, Vattenfall  
Jenny Jungstedt, Skelleftekraft  
Peter Altzar, Fortum

Projektet har även förankrats i forskningsmiljöns referensgrupp, som består av följande personer:

Mats Billstein, Vattenfall  
Jenny Jungstedt, Skellefteå Kraft AB  
Jens Österud, Vattenfall  
Göran Sandström, Skellefteå Kraft AB  
Gregory Simmons, Vattenfall  
Magnus Nilsson, Vattenfall  
Johanna Normark, Skellefteå Kraft AB  
Henrik Viklands, Vattenfall  
Peter Altzar, Fortum  
Anders Bertilsson, Statkraft  
Patrik Nilsson, Rainpower

Projektet genomfördes inom ramen för Svenskt vattenkraftcentrum, SVC. Svenskt vattenkraftcentrum etablerades av Energimyndigheten, Energiforsk och Svenska Kraftnät tillsammans med Luleå tekniska universitet, Lunds universitet, Kungliga Tekniska Högskolan, Chalmers tekniska högskola och Uppsala universitet. Medverkande organisationer är: Andritz Hydro, Falu Energi & Vatten, Fortum Generation, GE Renewable Energy, Holmen Energi, Jämtkraft, Jönköping Energi, Karlstads Energi, Mälarenergi, Norconsult, Rainpower, Skellefteå Kraft, Sollefteåforsens, Statkraft Sverige, Sweco Energuide, Sweco Infrastructure, SveMin, Umeå Energi, Uniper, Vattenfall Research and Development, Vattenfall Vattenkraft, VG Power, WSP Samhällsbyggnad och ÅF Industry.

Stockholm, januari 2023  
Lennart Kjellman, Energiforsk

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

## Sammanfattning

**Det ideala smörjmedlet skulle kunna beskrivas som miljövänligt med lång livslängd och hög prestanda, samt att det är direkt utbytbar mot smörjmedlen i dagens system. Finns det?**

Det finns i dagsläget mycket osäkerheter kring olika aspekter av miljöanpassade smörjmedel och det saknas en kartläggning över vad de olika alternativen för miljöanpassade lösningar har för konsekvenser i termer av miljöpåverkan, teknisk prestanda, underhåll och kostnad.

Utöver behovet att kartlägga olika typer av miljöanpassade lösningar och dess konsekvenser så finns det i vissa applikationer inom vattenkraften en problematik kring ökad friktion hos självsmörjande lager och det finns ett behov att utvärdera om denna friktionsökning kan motverkas genom användning av ett miljöanpassat smörjmedel.

Målet med detta arbete är därför dels att ta fram ett underlag för att kunna välja bland olika alternativ av miljöanpassade lösningar, dels att ta fram ett glycerolbaserat smörjmedel som kan förbättra driftmöjlighet hos maskiner där självsmörjande lager utvecklats för höjda friktionsnivåer.

Rapporten utgör ett underlag för vattenkraftsindustrin att göra informerade val angående miljöanpassade lösningar som smörjfetter- och vätskor samt vattenhydraulik. Standarder och klassifikationer för befintliga smörjmedel beskrivs som ett underlag till att göra mer informerade beslut vad gäller krav på teknisk prestanda vid byte av smörjmedel. Vidare beskrivs kriterier för miljöanpassning av smörjmedel och innebörden av miljömärkningar. Utifrån detta underlag får varje enskilt företag ta beslut om tekniska och miljömässiga krav vid byte av smörjmedel.

Genomförda tester med ett glycerolbaserat smörjmedel visar också på lovande resultat för att kunna sänka friktionen för självsmörjande lager med förhöjda friktionsnivåer och därmed underlätta fortsatt drift med tillräckliga reglerkrafter

## Nyckelord

EAL; miljöanpassade smörjmedel, vattenhydraulik, glycerol

## Summary

**The ideal lubricant could be described as environmentally friendly with a long service life, high performance and directly interchangeable with the lubricants in today's system. Is there such a lubricant?**

There are currently many uncertainties regarding various aspects of environmentally adapted lubricants and there is no mapping of the various alternatives for environmentally adapted solutions and their consequences in terms of environmental impact, technical performance, maintenance, and cost.

In addition to the need to map different types of environmentally friendly solutions and their consequences, in some applications in hydropower there is a problem with increased friction in self-lubricating bearings and there is a need to evaluate whether this increase in friction can be counteracted by using an environmentally adapted lubricant.

The aim of this work is therefore partly to produce a basis for being able to choose from different alternatives of environmentally friendly solutions, and partly to develop a glycerol-based lubricant that can extend the service life of self-lubricated bearings with increased friction levels.

The report forms a basis for the hydropower industry to make informed choices regarding environmentally adapted solutions including lubricating greases and liquids as well as water hydraulics. Standards and classifications for existing lubricants are described as a basis for making more informed decisions regarding requirements for technical performance when changing lubricants. Furthermore, criteria for environmental adaptation of lubricants and the meaning of eco-labels are described. Based on this data, each individual company may decide on technical and environmental requirements when changing lubricants.

Tests carried out with a glycerol-based lubricant also show promising results to be able to extend the life of self-lubricating bearings with elevated friction levels.

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Smörjsystem inom vattenkraften</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Miljöanpassade smörjmedel – definitioner</b>	<b>10</b>
3.1	Miljömärkning	11
3.2	Kritik mot miljöstandarder	13
<b>4</b>	<b>Miljömärkning enligt svensk standard relevanta för svensk vattenkraft</b>	<b>14</b>
4.1	Hydraulvätskor – Tekniska krav, miljöegenskaper och provningsmetoder, SS 155434:2020	14
4.1.1	Tekniska krav	14
4.1.2	Allergiframkallande ämnen	14
4.1.3	Akvatisk toxicitet	14
4.1.4	Biologisk nedbrytbarhet	14
4.2	Industriella växellådsoljor – ISO 12925-1	15
4.3	Krav för miljöanpassade smörjfetter (familj X), SS 155470:2020	15
4.3.1	Krav för miljöanpassade smörjfetter, SS 155470:2020, Klass B	16
4.3.2	Krav för miljöanpassade smörjfetter, SS 155470:2020, Klass D	16
<b>5</b>	<b>Miljöanpassade smörjmedel - kategorier</b>	<b>18</b>
5.1	Vegetabiliska oljor (HETG)	18
5.2	Polyalkylenglykoler (HEPG)	18
5.3	Syntetiska estrar (HEES)	19
5.4	PAO och andra syntetiska kolväten (HEPR)	20
5.5	Vatten	20
5.6	Glycerol – nytt miljöanpassat smörjmedel	21
5.7	Jämförelse - olika miljöanpassade basoljor	22
5.8	Miljöanpassade smörjfetter inom vattenkraften	23
<b>6</b>	<b>Vattenhydraulik</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>Glycerolbaserat smörjmedel för löphjul med förhöjda reglerkrafter</b>	<b>27</b>
<b>8</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>29</b>
<b>9</b>	<b>Referenslista</b>	<b>30</b>



# 1 Introduktion

Det ideala smörjmedlet skulle kunna beskrivas som miljövänligt med lång livslängd och hög prestanda, samt att det är direkt utbytbart mot smörjmedlen i dagens system. Finns det? Det finns i dagsläget mycket osäkerheter kring olika aspekter av miljöanpassade smörjmedel. Vattenhydraulik, miljöanpassade estrar, isoparaffiner och glycerol är några exempel på miljöanpassade smörjmedel eller lösningar som finns eller diskuteras inom vattenkraften.

Det saknas dock en kartläggning över vad de olika alternativen har för konsekvenser. Det kan röra sig om teknik och komplexitet d.v.s. ifall det krävs förändringar av dagens system eller om det är direkt utbytbart. Miljönytta, kostnader, förväntad livslängd för olika lösningar samt eventuellt behov av underhållsåtgärder är andra aspekter att ta hänsyn till.

Utöver behovet att kartlägga olika typer av miljöanpassade lösningar och dess konsekvenser så finns det i vissa applikationer inom vattenkraften en problematik kring ökad friktion hos självsmörjande lager och det finns ett behov att utvärdera om denna friktionsökning kan motverkas genom användning av ett miljöanpassat smörjmedel.

Syftet med denna rapport är därför att underlätta för vattenkraftsindustrin att utvärdera konsekvenser vid byte till miljöanpassade smörjmedel och fetter. Kartläggningen kommer således inte resultera i en rekommendation av ett specifikt "optimalt" miljöanpassat smörjmedel, utan det kommer vara upp till varje enskilt företag att välja strategi. Målet för projektet är en kartläggning över hur olika miljöanpassade samt miljövänliga smörjmedel, där begreppet smörjmedel innefattar både vätskor och fetter, kan integreras inom vattenkraften.

Denna rapport innefattar:

- en genomgång av de vanligaste smörjsystemen i vattenkraften idag samt vilka typer av smörjmedel som används.
- en genomgång av vilka krav de smörjmedel som används inom vattenkraften idag uppfyller.
- en genomgång av miljömärkningar av olika typer av smörjmedel och vad som menas med att ett smörjmedel är bioanpassat respektive miljöanpassat.
- en genomgång av de alternativ som finns vad gäller miljöanpassade smörjmedel inklusive fördelar och nackdelar; miljömässiga såväl som tekniska.
- en genomgång av ett nytt tänkbart miljöanpassat smörjmedel baserat på glycerol.
- en vidareutveckling av formuleringen för ett glycerolbaserat smörjmedel för att kunna motverka problemet med ökade reglerkrafter hos engångsmorda lagringar.
- en genomlysning av vattenhydraulik vad gäller teknik och komplexitet, kostnader och underhåll.

## 2 Smörjsystem inom vattenkraften

Ett vattenkraftverk innehåller en rad olika mekaniska system där olika typer av smörjmedel används. Ett smörjmedel består dels av en basolja, dels ett additivpaket. Basoljan står för oljans fysikaliska basegenskaper, till exempel viskositet. Tillsatserna i additivpaketet förbättrar specifika egenskaper hos smörjmedlet; till exempel antioxidanter för förbättrad livslängd, korrosionsinhibitorer för att motverka korrosion, friktionsmodifierare, tillsatser för att motverka nötning, tillsatser för att hålla ytor rena och partiklar och föroreningar lösliga i oljan. Vilka tillsatser och vilken basolja som behövs beror på vilket applikationsområde och vilka arbetsförhållanden som smörjmedlet ska arbeta under. Indelning i olika smörjmedelsfamiljer görs på dessa grunder i ISO 6743:99, se tabell 1. I tabellen indikeras också vilka smörjmedelsfamiljer som är vanliga inom vattenkraften. I de detaljerade klassificeringarna inom varje smörjmedelsfamilj specificeras olika smörjmedelsklasser beroende på både smörjmedelsammansättning och applikationsområde. Till exempel innebär en CKB-klassning av en kuggväxelolja (familj C) att typiskt användningsområde är kuggväxlar som arbetar vid låga till medelhöga laster samt att oljan består av raffinerad mineralolja med oxidationsstabilitet, korrosionsskydd och antiskumegenskaper. Den detaljerade specifikationen med minimikrav på olika egenskaper ges i fallet kuggväxlar sedan i ISO 12925-1.

Inom den detaljerade klassificeringen i ISO-6743-5 anger 4 klasser av turbinoljor anpassade för vattenkraft varav två med låg toxicitet (THA, THCH, THCE, THE).

Smörjfetter består av basolja, förtjockningsmedel och tillsatser. Klassificering av fetter ges av ISO 14924 och ISO 6743-9 enligt ISO-L-X-S1-S2-S3-S4-NLGI konsistensvärde, se tabell 2. En senare bokstav i alfabetet innebär bättre prestanda för den givna egenskapen.

Vid utbyte av ett smörjmedel kan det vara av god nytta att ta reda på hur det nuvarande smörjmedlet är klassificerat samt vilka tekniska krav det uppfyller enligt den detaljerade kravspecifikationen. Detta möjliggör en prestandajämförelse mellan det nuvarande och det miljöanpassade smörjmedlet.

Tabell 1 Klassificering av smörjmedel enligt ISO 6743-99:2002(E) och en indikation av vilka klasser som är vanliga inom svensk vattenkraft.<sup>1</sup>

Huvud användning i dagsläget	Familj	ISO standard för detaljerad klassificering (inom parentes anges förslag på standarder för detaljerad kravspecifikation)	Exempel på applikationsområde inom vattenkraften
Total loss systems	A	ISO 6743-1	
Mould release	B	-	
Kuggväxlar	C	ISO 6743-6 (ISO 12925-1:2)	Utskovs-, intag- och sugrörsluckor Övriga växellådor Grindrensare
Kompressorer	D	ISO 6743-3	
Förbränningsmotorolja	E	ISO 6743-15	
Spindellager, lager och tillhörande kopplingar	F	ISO 6743-2	
Slideways	G	ISO 6743-13	
Hydraulsystem	H	ISO 6743-4 (SS 155434:2020, ISO 11158:2009, ISO 15380)	Utskovs, intag och sugrörsluckor Grindrensare
Metallbearbetning	M	ISO 6743-7	
Elektriskt isolerande	N	IEC 61039	
Luftverktyg	P	ISO 6743-11	
Värmeöverföringsvätskor	Q	ISO 6743-12	Falsvärmesystem Vattenhydraulik Löphjul
Tillfälligt skydd mot korrosion	R	ISO 6743-8	
Turbinolja	T	ISO 6743-5 (DIN 51515, DIN 51524, SS 155434)	Lager (axelsystem) Reglersystem turbin
Värmebehandling	U	ISO 6743-14	
Fetter	X	ISO 6743-9 (ISO 12924:2010)	Ledkransar inkl. ledskovellagringar Kuggstänger (utskov och intag)
Diverse	Y	ISO 6743-10	
Ångturbin cylindrar	Z	-	

Tabell 2 Klassificering enligt ISO 12924<sup>2</sup>.

Beteckning	Egenskap	Gradering
S1	Mätvärde för lägsta arbetstemperatur	A-E
S2	Mätvärde för högsta arbetstemperatur	A-G
S3	Vattenkontamination och antikorrosionsegenskaper	A-I
S4	Mätning av förmågan att smörja under hög last	A-B
NLGI konsistensnummer	Beskriver fettets hårdhet och konsistens.	000 00 0-9

<sup>1</sup> (ISO 6743-99:2002(E) ii 2002)

<sup>2</sup> (Lubricants, industrial oils and related products (Class L)-Family X (Greases)-Specification 2010)

### 3 Miljöanpassade smörjmedel – definitioner

För att kunna klassificera ett smörjmedel som miljöanpassat bör det först definieras vad det är för egenskaper hos smörjmedel som kontrollerar graden av miljöanpassning. De egenskaper som i första hand associeras med ett miljöanpassat smörjmedel är biologisk nedbrytbarhet, akvatisk toxicitet och bioackumulering.

Den **biologiska nedbrytbarheten** för ett material är ett mått på hur mikroorganismer kan bryta ned en kemikalie eller kemikalisk blandning. *Primär biologisk nedbrytbarhet* innebär att det skett en förändring av den kemiska strukturen hos ett ämne till följd av biologisk påverkan som resulterar i att en specifik egenskap hos ämnet förloras. *Fullständig biologisk nedbrytbarhet* innebär att ämnet fullständigt brutits ned av mikroorganismer till koldioxid, vatten, mineralsalter och biomassa. *Biologiskt lättnedbrytbar* är en klassificering av kemikalier baserat på att dessa klarat specificerade screeningtester för fullständig biologisk nedbrytbarhet. Dessa tester antas motsvara att ämnena snabbt och fullständigt skulle brytas ned biologiskt vid syrerika förhållanden i vattenmiljöer ute i naturen. Med termen potentiellt biologiskt nedbrytbar menas att en kemikalie är klassificerad som biologiskt nedbrytbar, primär eller fullständig, enligt någon testmetod för biologisk nedbrytbarhet.

Den **akvatiska toxiciteten** ska vara låg för ett miljöanpassat smörjmedel och det finns en rad olika testmetoder för att bestämma denna. Några exempel:

- Bedömning av, för ett specifikt tidsintervall, vid vilken ämneskoncentration som 50% av en specifik kräddjursart hämmats i sin rörelseförmåga.
- Bedömning av vid vilken ämneskoncentration som 50% av en zebrafiskpopulation har dött, efter ett specifikt tidsintervall.
- Bedömning av vid vilken ämneskoncentration som encelliga sötvattenslevande grönalger erhåller en 50% minskning i tillväxttakt.

De exakta test som krävs anges i respektive miljömärkning/standard. Ämnen som uppvisar akut akvatisk toxicitet vid en ämneskoncentration mindre än 1 ppm klassificeras som akut 1 och anses vara mycket toxiska. Ämnen med en akut akvatisk toxicitet mellan 1-10 ppm klassas som akut 2, 10-100 ppm som akut 3 och de över 100 ppm anses praktiskt sett vara icke-toxiska.

**Bioackumulering** är en gradvis ökad koncentration av ett ämne från ett smörjmedel i en organism. Detta kan i förlängningen få negativa biologiska konsekvenser och det är därför åtråvärt att använda sig av ämnen i smörjmedel med låg risk att bioackumuleras. Risken för ett ämne att bioackumuleras är direkt länkat till ämnets löslighet i vatten. Ämnen med låg löslighet tenderar att lösas in i fettvävnader hellre än att stanna kvar i vatten. De två vanligaste testen för att etablera om en substans kan vara bioackumulerande innebär att det testade ämnet blandas med oktanol och vatten. Sedan mäts lösligheten i oktanol respektive vatten och resultatet rapporteras i form av en fördelningskoefficient, log Kow, och ett lågt värde på denna innebär att ämnet primärt löser sig i vatten. Ett högre värde innebär att ämnet hellre löser sig i oktanol, vilket innebär ökad risk för att ämnet

kan lösas in i fettvävnaden i en organism. Väldigt höga värden av fördelningskoefficienten har dock associerats med låg risk för bioackumulering av en rad olika skäl<sup>3</sup>. Detta är anledningen att syntetiska kolväten som till exempel PAO klassas som icke bioackumulerande trots väldigt dålig löslighet i vatten.

### 3.1 Miljömärkningar

Det finns en rad olika miljömärkningar med olika kriterier vad gäller bland annat biologisk nedbrytbarhet, akvatisk toxicitet och bioackumulering. Utöver detta innebär termen bio-, till exempel biosmörjmedel, en viss nivå av förnybart innehåll i smörjmedlet. En sammanfattning av några av de vanligaste miljömärkningarna kan ses i tabell 3. För att underlätta för smörjmedelstillverkare att ta fram nya konkurrenskraftiga miljöanpassade smörjmedel så har det funnits en ambition att märkningarna ska samspela med varandra. Ett led i denna samverkan är bland annat att kravet på förnybart innehåll tagits bort där det i vissa standarder tidigare varit mer omfattande krav. Vidare har det förtydligats att ska termen "bio" användas i produktbeskrivningen så finns det krav på förnybart innehåll och detta regleras i SS-EN 16807. Det som i huvudsak särskiljer svensk standard SS155434 från de övriga är att denna tagits fram specifikt för hydraulvätskor medan till exempel Tyska Blue Angel och Europeisk Eco-Label har mer omfattande applikationsområden. SS155434 saknar också krav angående bioackumulering. Smörjmedel klassificerade enligt Europeisk Eco-Label samt Tyska Blue Angel kan hittas på deras respektive hemsidor.

---

<sup>3</sup> (Rudnick and Shubkin 1999)

Tabell 3 Jämförelse av några olika miljöstandarder för smörjmedel<sup>4</sup>.

Miljömärkning	Applikations- område	Biologisk nedbrytbarhet	Akut akvatisk toxicitet	Bio- ackumulering	Krav på förnybart innehåll	Teknisk prestanda	Andra kriterier
German Blue Angel RAL-UZ 178:2014	Omfattande	Ja, beror på applikationsområde, krav på att >95% av det slutgiltiga smörjmedlet ska vara biologiskt lättnedbrytbart	Ja, krav beror på applikations- område och huruvida delkomponenter eller slutgiltig formulering utvärderas	Ja	Nej, med undantag ifall smörjmedlet ska klassificeras som biobaserat/ biosmörjmedel. I detta fall krävs åtminstone 25% biobaserat material	Ja, för vissa applikationer. För övriga applikationer: ändamålsenlig	Farliga material
Europeisk Eco-Label: 2018	Omfattande	Ja, beror på applikationsområde, krav på att >75-95% av det slutgiltiga smörjmedlet ska vara biologiskt lättnedbrytbart	Ja, krav beror på applikations- område och huruvida delkomponenter eller slutgiltig formulering utvärderas	Ja	Nej, med undantag ifall smörjmedlet ska klassificeras som biobaserat/ biosmörjmedel. I detta fall krävs åtminstone 25% biobaserat material	Ja, för vissa applikationer. För övriga applikationer: ändamålsenlig	Farliga material
Ospar	Kemikalier som används vid havsbaserad projektering i Nordsjön	Ja, >60% enligt OECD 306	Ja, vad gäller dödlighet	Saknas	Nej	Nej	
SS 155434:2020 Krav för miljöanpassade hydraulvätskor.	Hydraulvätskor	Ja, 95% av den slutgiltiga formuleringen ska vara biologiskt nedbrytbar	Ja, tillväxthämning/ rörlighetshämning/ dödlighet	Saknas	Nej, med undantag ifall smörjmedlet ska klassificeras som biobaserat, då ska kraven i SS- EN 16807 vara uppfyllda	Ja	Farliga material
SS-EN 16807:2016 Biosmörjmedel – Kriterier och krav för biosmörjmedel och biobaserade smörjmedel	Smörjmedelstyper som beskrivs i ISO 6743	Ja, kraven $\geq$ 60% för oljebaserade smörjmedel och $\geq$ 50% för smörjfetter	Ja	Saknas	Ja, mer än 25% förnybart innehåll	Ja, för vissa applikationer. För övriga applikationer; uppgörelse mellan oljeleverantör och slutanvändare	

<sup>4</sup> (Medina 2015; Svensk standard SS-EN 16807:2016 2016; DIFFERENT APPROACHES TO BIOLUBRICANTS Clarification Paper 2018; Svensk standard SS 155434:2020 2020; KOMMISSIONENS BESLUT (EU) 2018/ 1702 - Av Den 8 November 2018 - Om Fastställande Av Kriterier För EU-Miljömärket För Smörjmedel - [Delgivat Med Nr C(2018) 7125])

### 3.2 Kritik mot miljöstandarder

Viss kritik mot nuvarande miljöstandarder finns och mer specifikt berörande kravet på biologisk nedbrytbarhet och testmetodiken att utvärdera denna<sup>5</sup>. Testerna utvärderar huruvida ämnet når en viss specificerad nivå av nedbrytning inom en viss tid, dvs med andra ord hur snabbt materialet bryts ned. Sedan förutsätts det att resterande del av ämnet kommer kunna brytas ned. Det är dock möjligt att ha ett ämne där en del av molekylerna bryts ned snabbt och effektivt medan den andra delen inte bryts ned överhuvudtaget. På så sätt är det möjligt att klara testet och uppnå miljöklassning men ändå inte uppnå fullständig nedbrytning. En annan kritik är att snabb nedbrytning kräver tillgång till stora mängder syre, som i sin tur finns i begränsad mängd i vattnet. Detta kan i sin tur leda till syrebrist i vattnet och få förödande konsekvenser för vattenlevande organismer. Kritiken syftar till att utformningen av testen borde ändras och utvärdera om ämnet kan brytas ned fullständigt i naturen, i stället för hur snabbt materialet bryts ned<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> (Brajendra K. Sharma 2017)

<sup>6</sup> (Brajendra K. Sharma 2017)

## 4 Miljömärkningar enligt svensk standard relevanta för svensk vattenkraft

I följande avsnitt presenteras svenska standarder som innehåller krav på miljöegenskaper och är relevanta för svensk vattenkraft. Dessa standarder täcker smörjmedelfamiljerna hydraulvätskor, växellådsoljor och smörjfett.

### 4.1 Hydraulvätskor – Tekniska krav, miljöegenskaper och provningsmetoder<sup>7</sup>, SS 155434:2020

Miljöanpassade smörjmedel som uppfyller svensk standard för hydraulvätskor, SS155434:2020<sup>8</sup>, kan ses i SP-listan<sup>9</sup>. Då standarden är utvecklad för hydraulvätskor innehåller listan mestadels dessa men även en del andra oljor som turbinoljor. För att en hydraulvätska ska få benämnas biobaserad måste SS-EN 16807<sup>10</sup> vara uppfylld vad gäller biobaserat innehåll, biologisk nedbrytbarhet, akvatisk toxicitet samt prestanda vara uppfyllda.

#### 4.1.1 Tekniska krav

Omfattande tekniska krav vad gäller hydraulvätskans prestanda finns angivna i standarden. Rekommendationen är också att inte blanda olika hydraulvätskor med varandra då detta kan påverka egenskaperna. Ny och använt smörjmedel av samma typ bör inte heller blandas då så små mängder som en procent kan påverka smörjmedlets egenskaper.

#### 4.1.2 Allergiframkallande ämnen

Kraven vad gäller allergiframkallande ämnen innebär att den sammanlagda masshalten av kemiska ämnen med allergiframkallande egenskaper ska vara mindre än 1 %. Detta krav gäller även om den sammansatta produkten eller additivblandningar i produkten vid provning har bedömts att inte vara allergiframkallande.

#### 4.1.3 Akvatisk toxicitet

Akut akvatisk toxicitet kan mätas genom att mäta hur det tillsatta ämnet hämmar tillväxten av till exempel sötvattenslevande grönalger. Varje enskilt ämne bedöms för sig. Ämnen med masshalter över 5% har hårdare krav än ämnen som används i lägre koncentrationer.

#### 4.1.4 Biologisk nedbrytbarhet

Beroende på löslighet i vatten finns det olika nivåer vad gäller biologisk nedbrytbarhet. Ämnen med lägre biologisk nedbrytbarhet än 60 respektive 70%,

<sup>7</sup> (Svensk standard SS 155434:2020 2020)

<sup>8</sup> (Svensk standard SS 155434:2020 2020)

<sup>9</sup> (Vestergren)

<sup>10</sup> (Svensk standard SS-EN 16807:2016 2016)



gränsen beroende på ämnets löslighet i vatten, får inte utgöra en total masshalt på 5% eller mer. Ämnen i masshalter över 5% ska ha en biologisk nedbrytbarhet på mer än 60 eller 70%, beroende på ämnets löslighet i vatten. Utvärdering av den färdiga hydraulvätskans biologiska nedbrytbarhet får endast göras om det endast finns ett ämne med en masshalt över 5% i smörjmedlet. Tidsperioden för ett test är 28 dagar och det är inom denna tidsperiod som kraven för biologisk nedbrytbarhet ska ha uppfyllts.

#### 4.2 Industriella växellådsoljor – ISO 12925-1

De tekniska kraven för slutna smörjsystem för kuggväxlar ges i ISO-standard 12925-1<sup>11</sup>. Standarden innehåller förutom tekniska krav även kriterier för miljöklassning. Ett smörjmedel som ska klassificeras som miljöanpassat ska uppfylla hela eller delar av kraven i EN 16807. Miljöanpassade smörjmedel kan klassificeras i kategorierna CKTG, CKES, CKPG och CKPR. CKTG-klassificerade oljor är baserade på triglycerider och triglyceridderivat. Smörjmedel som baseras på syntetiska estrar återfinns i kategori CKES. Polyglykolbaserade smörjmedel återfinns i kategorin CKPG. Smörjmedel baserade på PAO, relaterade kolväten, eller minerala vitoljor som huvudkomponent tillsammans med andra basoljor såsom polyglykoler lösliga i kolväten och estrar återfinns i kategorin CKPR. För att kunna klassificeras ska krav uppfyllas enligt tabell 4. CKTG och CKES klassen behöver uppfylla kravet gällande innehåll av biobaserat kol. Ett smörjmedel kan också klassas som CKPG och CKPR även om det inte till fullo uppfyller kravet angående biologisk nedbrytbarhet.

Tabell 4 Miljömässiga krav enligt ISO 12925-1

Testad egenskap	Enhet	Krav
Biologisk nedbrytbarhet	%	60
Giftighet EC50 (tillväxthämning av alger eller marin alg tillväxthämning)	mg/l	>100
Giftighet i	%	Rapportera
EC50 (daphnia eller copepods)	mg/l	>100
LC50 (fisk)	mg/l	>100
Innehåll av biobaserat kol	%	25

#### 4.3 Krav för miljöanpassade smörjfetter (familj X), SS 155470:2020

Den svenska standarden för miljöanpassat smörjfett SS155470<sup>12</sup> ger information om de miljömässiga kraven för att kunna märka ett fett som miljöklassat. Denna innehåller inte några specifika tekniska krav utan konstaterar bara att fettet bör vara ändamålsenligt. Kraven vad gäller miljöanpassning är indelat i två klasser, B

<sup>11</sup> (SS-ISO 12925-1:2018 Smörjmedel, industrioljor och motsvarande produkter (klass L)-familj C (kuggväxlar))

<sup>12</sup> (Svensk standard SS 155470:2020 2020)

och D, varav klass B har strängare krav. Smörjfetter som uppfyller kraven enligt krav för miljöanpassade smörjfetter kan hittas på SP-listan<sup>13</sup>.

#### 4.3.1 Krav för miljöanpassade smörjfetter, SS 155470:2020, Klass B

**Hälsoegenskaper.** För att uppfylla kraven för klass B så finns det krav att smörjfettet inte får vara klassificerat enligt gällande kemikalielagstiftning samt att det totala innehållet av sensibiliserande (allergiframkallande) ämnen inte får vara en viktprocent eller mer. Det finns också begränsningar på maximalt innehåll av ämnen med cancerframkallande, mutagena och reproduktionstoxiska egenskaper.

**Akvatisk toxicitet.** Ämnen med akvatisk toxicitet över en viss nivå får inte användas i formuleringen. Vidare finns det ytterligare begränsningar av massinnehållet av ämnen beroende på hur akvatiskt toxiska dessa är. Ämnen vars huvudsakliga uppgift är att bidra med förtjockningsegenskaper kan undantas från kravet om toxiska egenskaper om den akuta toxiciteten är inom ett givet intervall och det totala massinnehållet är högst 20%. Vidare finns det krav på att förtjockningsmedel som innehåller organiska strukturer inte ska bioackumuleras. Undantag från detta krav kan göras om rörligheten i vatten är låg vilket beror på molekylmassan för polymeren.

**Biologisk nedbrytbarhet.** Kravet på biologisk nedbrytbarhet gäller minst 90% av de kemiska ämnena och ska vara mer än 60%, alternativt mer än 70%, beroende på ämnets vattenlöslighet. Förtjockningsmedel får undantas från de biologiska nedbrytbarhetskraven förutsatt att dessa inte ingår till mer än 20 viktprocent. Det finns ytterligare specifikationer angående förtjockningsmedel som bland annat också adresserar toxiciteten hos nedbrytnings- och sönderdelningsprodukter.

**Förnybara råvaror.** Minst 45 viktprocent av fettets ska ha sitt ursprung i förnybara råvaror.

#### 4.3.2 Krav för miljöanpassade smörjfetter, SS 155470:2020, Klass D

**Hälsoegenskaper.** För att uppfylla kraven för klass D så finns det krav att smörjfettet inte får vara klassificerat enligt gällande kemikalielagstiftning men inga ytterligare krav vad gäller cancerframkallande, mutagena och reproduktionstoxiska egenskaper.

**Akvatisk toxicitet.** I standarden för klass D anges begränsningar i massinnehållet av ingående ämnen beroende på hur akvatiskt toxiska dessa är. Dessa krav tillåter överlag högre nivåer av akvatiskt toxiska ämnen än vad klass B gör. Om fettets i sin helhet uppvisar en akut akvatisk toxicitet mindre än en angiven nivå så behöver inte det exakta massinnehållet för varje enskild toxicitetsnivå anges. Polymerstrukturer med låg löslighet i vatten och låg rörlighet i vatten får undantas från provning av akvatisk toxicitet.

**Biologisk nedbrytbarhet.** Kravet på biologisk nedbrytbarhet gäller minst 75% av de kemiska ämnena och ska vara mer än 60%, alternativt mer än 70%, beroende på

<sup>13</sup> (Vestergren 2021)

ämnets vattenlöslighet. Om fettets som helhet har en biologisk nedbrytbarhet över 60% så behöver inte mängden icke-lätt nedbrytbart innehåll specificeras.

**Förnybara råvaror.** Finns inga krav för klass D.

## 5 Miljöanpassade smörjmedel - kategorier

Standard SS-EN ISO 6743-4 klassificerar ett antal olika typer av basoljor för miljöanpassade smörjmedel; HETG, HEPG, HEES och HEPR. I de följande avsnitten går dessa olika typer av smörjmedel igenom. Alla dessa kan användas som basoljor för både smörjvätskor och smörjfetter.

### 5.1 Vegetabiliska oljor (HETG)

Vegetabiliska oljor består huvudsakligen av triglycerider och den exakta kemikaliska sammansättningen av basoljan beror på oljans ursprung. Oljorna baseras normalt sett på grödor som till exempel raps, sojabönor och solrosor. Fördelar inkluderar en låg kostnad för basoljeprodukten, mycket bra biologisk nedbrytbarhet, att oljan är baserad på förnybara material, bra gränsskiktssmörjande egenskaper samt högt naturligt viskositetsindex. Vegetabiliska oljor har haft problem med livslängdsegenskaper p.g.a. att dessa har dåligt motståndskraft mot oxidation och hydrolys. De har också haft tendenser att sätta igen filter, haft problem med tätningskompatibilitet samt bristfälliga låg- och högttemperaturegenskaper och besitter bara en begränsad del av marknaden för miljöanpassade smörjmedel delvis på grund av dessa skäl<sup>14</sup>. Några potentiella användningsområden för vegetabiliska oljor är<sup>15</sup>

- smörjfetter där smörjmedlet förbrukas kontinuerligt (total loss)
- smörjmedel inom livsmedelsindustrin
- hydraulikoljor
- metallbearbetning och metallformning.

För vattenkraftsapplikationer är smörjfetter den familj av smörjmedel där det är lättast att hitta miljöklassade kommersiella produkter baserade på vegetabiliska oljor.

### 5.2 Polyalkylenglykoler (HEPG)

Polyalkylenglykoler eller polyglykoler (PAG) är en syntetisk basolja. Vanligtvis så byggs polyglykolen upp genom att polymerisera byggstenar av etylen eller propylenoxid och är normalt sett inte baserat på förnybara material. Polyalkylenglykoler kan designas att vara antingen oljelösliga eller vattenlösliga. De kan designas för hög biologisk nedbrytbarhet, detta gäller specifikt de vattenlösliga polyglykolerna. Fördelar med polyalkylenglykoler inkluderar bra lågtemperatur- och högttemperaturegenskaper. PAGs används ofta för marina användningsområden, där vattenlösliga PAGs är attraktiva på grund av att de bibehåller sin funktion även vid kontaminering av vatten i oljan<sup>16</sup>. PAGs har också fördelaktiga åldringsegenskaper då nedbrytningsprodukter som uppstår vid åldring bibehålls lösliga i oljan. I en konventionell mineralolja finns det risk att dessa polymeriserar och faller ut i oljan. Polyglykoler har också bra

<sup>14</sup> (Mannekote *et al.* 2018)

<sup>15</sup> (Mannekote *et al.* 2018)

<sup>16</sup> (Kovanda)

viskositetsindex och korrosionsskydd. De största nackdelarna är att de inte är kompatibla med mineraloljor och många färger, lacker och tätningar. Detta innebär att kostnaden att gå över till PAGs ofta är hög då den involverar andra förändringar i konstruktionen. Vattenlösliga polyglykoler kommer vid ett eventuellt utsläpp i vatten vara svår att plocka upp då denna löser sig i vatten och inte lägger sig på vattenytan som en konventionell mineralolja.

### 5.3 Syntetiska estrar (HEES)

Syntetiska estrar har använts som basolja inom smörjmedelsindustrin längre än någon annan klass av biosmörjmedel och introducerades redan under 50-talet<sup>17</sup>. Syntetiska estrar kan framställas från biobaserade material såsom djurfett och vegetabiliska fetter. Det är relativt enkelt att hitta tillsatser som fungerar väl tillsammans med syntetiska estrar som basolja och det går därför att ta fram olika typer av specialiserade produkter. SP-listan<sup>18</sup> innehåller till exempel till mycket stor del produkter baserade på syntetiska estrar. Syntetiska estrar har bra prestanda i ett brett temperaturområde. Nackdelar med syntetiska estrar inkluderar att dessa kan ha vissa problem med kompatibilitet med vissa tätningsmaterial och kan vara känsliga för vattenkontaminering och påföljande hydrolys. Kostnaden för en miljöanpassad esterolja ligger på ca 2-3 ggr kostnaden för en mineralolja<sup>19</sup>. Detta verkar stämma relativt vid jämförelse av en oljeleverantörs listpriser på mineraloljebaserade turbinoljor och miljöanpassade esterbaserade turbinoljor<sup>20</sup> där de miljöanpassade låg på lite drygt på 3 ggr kostnaden. Det är också viktigt att poängtera att syntetiska estrar kan bestå av olika typer av basoljemolekyler; och därmed kan variationen i egenskaper variera mellan de olika typerna. Två vanligt förekommande typer i smörjmedel är diester och polyolester.

Estolide är en ny typ av basoljemolekyl som har visat lovande miljöegenskaper samt teknisk prestanda. Estolide estern har visat lovande resultat vad gäller oxidationsmotstånd, motstånd mot hydrolys, förångningsegenskaper, viskositetsindex och miljöegenskaper. Basoljan kan alltså relativt enkelt funktionaliseras; dvs specifika egenskaper kan justeras för att passa en specifik applikation<sup>21</sup>. Estolide estrar kan framställas ur till exempel vegetabiliska oljor och kan vara upp till 100% biobaserade. En basolja baserad på estolid har i test enligt OECD301B uppvisat klart bättre biologisk nedbrytbarhet i jämförelse med PAO och PAG om än något sämre än rapsolja och diester<sup>22</sup>. Estolide estrar är inte heller bioackumulerande.

Slutligen så är syntetiska estrar mycket vanligt förekommande som miljöanpassade smörjmedel i svensk vattenkraft i bland annat luckhydraulik och här är erfarenheten att det fungerar bra. Det finns dock några fall med oljefyllda löphul där det uppstått problem p.g.a. vatteninblandning i oljan<sup>23</sup>. Produktutbudet

<sup>17</sup> (Bartz 1998)

<sup>18</sup> (Vestergren)

<sup>19</sup> (Medina 2015)

<sup>20</sup> (*Prislista Smörjmedel & Kemi*)

<sup>21</sup> (Cermak *et al.* 2013)

<sup>22</sup> (Brajendra K. Sharma 2017)

<sup>23</sup> (Ukonsaari and Pettersson 2013)

av miljöbaserade smörjmedel baserade på syntetiska estrar är bra och innehåller smörjmedel relevanta för vattenkraft som till exempel hydrauloljor, turbinoljor, växellådsoljor och smörjfetter.

#### 5.4 PAO och andra syntetiska kolväten (HEPR)

Basoljor baserade på syntetiska kolväten som polyalphaolefiner (PAO) och andra syntetiska kolväten. Polyalphaolefiner framställs normalt sett från fossila råvaror men det är också möjligt att framställa PAO-basoljor från förnybara råvaror som vegetabiliska oljor<sup>24</sup>. Även andra typer av syntetiska kolväten går att framställa från vegetabiliska råvaror, till exempel iso-alkaner, och det finns ett fåtal produkter ute på marknaden (Total och RSC Bio Solutions). Syntetiska kolväten som basolja går också att framställa ur farnesen, en kolväteolefin, som kan erhållas direkt ur en biologisk framställningsprocess där råvaran är socker<sup>25</sup>. Fördelarna med syntetiska kolväten inkluderar hög oxidationsstabilitet, bra motståndsförmåga mot hydrolys, mycket goda lågtemperaturegenskaper och högt naturligt viskositetsindex. Iso-alkaner uppvisar också mycket bra termisk konduktivitet vilket bidrar till bra kylförmåga vilket kan vara av nytta i till exempel hydrauliksystem och i kylvätskeapplikationer. De är också relativt enkla att använda tillsammans avancerade tillsatspaket som en direkt ersättning till konventionella smörjoljor<sup>26</sup>. Det finns i dagsläget betydligt färre miljöanpassade smörjmedel baserade på syntetiska kolväten jämfört med syntetiska estrar. Utveckling av framställningsprocessen förväntas dock sänka kostnaderna för syntetiska kolväten vilket kan göra dessa mer attraktiva<sup>27</sup>. Den biologiska nedbrytbarheten för PAO beror på viskositetsgrad. PAO basoljor med lägre viskositetsgrad ger bättre biologisk nedbrytning än högre viskositetsgrader och detta innebär att viskositetsindexförbättrare behövs för att åstadkomma högviskösa smörjmedel. Detta kan vara till exempel i form av polymerer eller högviskösa estrar. Detta kan innebära att dessa smörjmedel är mer känsliga för skjuvning.

#### 5.5 Vatten

Vatten används till exempel i löphjul och vattenhydraulik. Dock används det inom vattenkraften tillsammans med någon form av korrosionsskydd och där nödvändigt frysskyddsvätska. Exempel på kylvätskor som används inom vattenkraften är Dowcal 10 och 200. Dowcal 10 är en kylvätska baserad på etylenglykol med bra tekniska egenskaper i form av frysskydd och korrosionsskydd men som samtidigt är giftig. Dowcal 200 är en propylenglykolbaserad kylvätska med låg akut toxicitet. Livslängden uppges enligt tillverkare till över 20 år vid tillräckligt systemunderhåll. De flesta former av propylenglykol har låg toxicitet, är biologiskt lättnedbrytbart och har låg risk för bioackumulering<sup>28</sup>. Det ska dock noteras att färdiga kylvätskeblandningar också innehåller tillsatser för att motverka bland annat korrosion och att dessa i

<sup>24</sup> (Biresaw 2018; Ho, McAuley and Peppley 2019)

<sup>25</sup> (Brajendra K. Sharma 2017)

<sup>26</sup> (Ho, McAuley and Peppley 2019)

<sup>27</sup> (Ho, McAuley and Peppley 2019)

<sup>28</sup> (Bielefeldt *et al.* 2002; West *et al.* 2007; Robert West *et al.* 2014)

dagsläget inte testas mot någon miljöstandard på motsvarande sätt som miljöanpassade oljor gör.

## 5.6 Glycerol – nytt miljöanpassat smörjmedel

Glycerol, eller glycerin, är en trevärdig alkohol som används i bland annat hudkrämer och finns i överskott som biprodukt från biodieselproduktion. Den ingår i dagsläget inte i någon av de fyra ursprungliga kategorierna av miljöanpassade smörjmedel. Den har attraherat intresse för sina attraktiva miljöegenskaper och visar under vissa förutsättningar mycket låg friktion och nötning<sup>29</sup>. Glycerol kan lösas i vatten i vilken koncentration som helst och på detta sätt kan även viskositeten styras. Glycerol i ren form (utan vatteninblandning) har hög viskositet; ca 280 mPas vid 40 grader Celsius.

En hydraulvätska baserad på glycerol har nyligen utvecklats av SustainaLube AB. Produkten är framtagen bland annat för applikationer inom vattenkraften. I tabell 5 ses ett antal standardiserade tester utförda för denna glycerolbaserade hydraulvätskan. Den biologiska nedbrytbarheten är med god marginal över gränsen på 70% enligt SS155434. Den akvatiska toxiciteten överskrider även den med god marginal kraven i svensk standard. Den glycerolbaserade hydraulvätskan uppfyller inte kraven angående minimumviskositet vid 100 grader Celsius (efter skjuvning) samt kraven på oxidationsstabilitet som är 1000 timmar enligt standard. Det är möjligt att det med fortsatt utveckling av smörjmedlet går att uppnå 1000h. Något som också kan noteras är att det i svensk standard finns krav på vatteninnehåll och vattenseparation. Dessa krav kommer inte ett glycerol/vatten baserat smörjmedel att uppfylla då denna är formulerad med vatteninnehåll till skillnad från konventionella miljöanpassade smörjmedel.

---

<sup>29</sup> (de Barros'Bochet *et al.* 2007a, 2007b; Joly-Pottuz *et al.* 2007; Habchi *et al.* 2011; Chen *et al.* 2013; Li *et al.* 2013; Shi *et al.* 2014; Björling and Shi 2019)

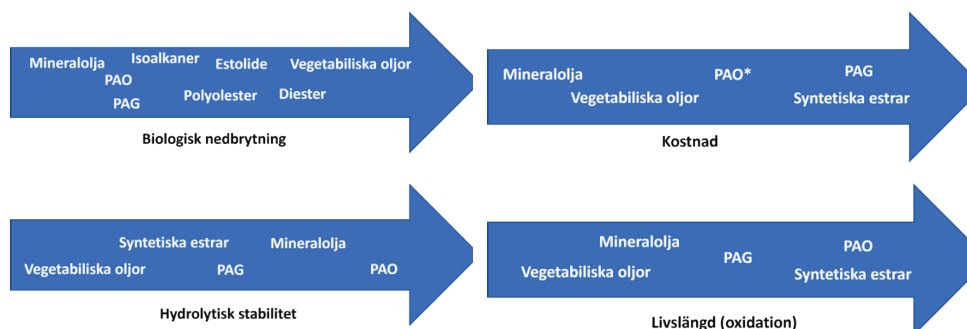
Tabell 5 Standardiserade test av glycerol baserad hydraulvätska utvecklad av SustainaLube. SustainaLube har delat med sig av detta testdata till denna rapport.

Test Method	Results	ASTM/ISO #	Testing company
Biodegradability	>94% No toxicity	OECD 301A	SGS, Germany
Eco-Toxicity	EC50 >500 mg/L	OECD 202	SGS, Germany
Flash point	>200 oC	D92	Petrolia AB, Sweden
Pour point	-49 oC	D5950	Petrolia AB, Sweden
Rust prevention test	Pass	D665 A	Exova, Sweden
Copper strip corrosion	1b	D130	Exova, Sweden
Turbine oil stability test	~700 Hours (>1000)	D943	Exova, Sweden
Air release at 50°C	5.5 minutes	ASTM D 3427-12	
Foaming sequence I/II/III	20 ml	D892	Petrolia AB
FZG Load carrying capacity test	10	DIN 51354	ISP Salzbergen GmbH & Co. KG, Germany
Shear stability (Viscosity Loss)	< 0.10 %	DIN 51382	ISP Salzbergen GmbH & Co. KG, Germany
Kin. Viscosity at 40° C	46,3 mm <sup>2</sup> /s (can be tuned)	EN ISO 3104:1996	Exova, Sweden
Kin. Viscosity at 100° C	5,8 mm <sup>2</sup> /s (can be tuned)	EN ISO 3104:1996	Exova, Sweden
Influence on rubber 168 h/80° C			Exova, Sweden
Volume change	6% (0-20%)	ISO 1817:2011 2.3	
Hardness change	2%	ISO 1817:2011 8.6	
Tensile strength change	7%	ISO 1818:2011 8.7	
Elongation at break change	-28%	ISO 1818:2011 8.7	
Influence on rubber 1000 h/80° C			Exova, Sweden
Volume change	9%	ISO 1817:2011 2.3	
Hardness change	7%	ISO 1817:2011 8.6	
Tensile strength change	13%	ISO 1818:2011 8.7	
Elongation at break change	-40%	ISO 1818:2011 8.7	

## 5.7 Jämförelse - olika miljöanpassade basoljor

En översiktlig jämförelse mellan några olika egenskaper för olika typer av basoljor ses i figur 1. Vad gäller akvatisk toxicitet samt risk för bioackumulering så kan vegetabiliska basoljor, syntetiska estrar, PAO och isoalkaner samt polyglykoler alla uppnå kraven för miljöstandarderna. Vegetabiliska oljor, syntetiska estrar, isoalkaner och PAO har alla möjlighet att baseras på förnybart material. PAG har historiskt sett inte baserats på förnybart material, men det finns nyutvecklade produkter som är baserade på förnybara råvaror.





Figur 1 Översiktlig jämförelse mellan olika några egenskaper för olika typer av basoljor<sup>30</sup>. Notera att detta är en ungefärlig bedömning. Den slutgiltiga produktens prestanda kommer bero på både exakt basoljekemi såväl som additivpaket.

En egenskap som skiljer de mineraloljor från de flesta miljöanpassade oljor är att vid ett eventuellt läckage så skimrar mineraloljan på vattenytan i regnbågens färger då dessa innehåller aromatiska kolväten som ger upphov till detta fenomen<sup>31</sup>. Argumentet för att detta skulle vara en bra egenskap är att det blir lättare att identifiera och fånga in ett eventuellt utsläpp. En oljefilm på ytan som inte fångas upp i tid kan dock få allvarliga konsekvenser för fisk och fåglar nära vattenytan samt kontaminera stränder. Eftersom miljöanpassade oljor saknar aromatiska kolväten så skimrar dessa inte på samma sätt som mineraloljor vilket inte behöver betyda att det inte finns någon oljefilm vid ytan. Förmågan att bilda oljefilm som ligger på vattenytan skiljer sig mellan olika typer av miljöanpassade smörjmedel där vattenbaserade polyglykolbaserade smörjmedel inte bildar ett lager olja på vattenytan utan löser sig i vattnet. Valet av miljöanpassat smörjmedel kan alltså påverka möjligheten att fånga upp oljeläcket och är något som måste tas med i beräkningen vid val av smörjmedel.

## 5.8 Miljöanpassade smörjfetter inom vattenkraften

En större undersökning av olika miljöanpassade smörjfetter genomfördes av U.S. Army Corps of Engineers. Arbetet syftade till att utvärdera möjligheten att använda miljöanpassade smörjfetter vid deras anläggningar (dammar). Sju konventionella smörjfetter som används inom anläggningarna jämfördes med 15 miljöanpassade smörjmedel<sup>32</sup>. De tekniska krav som smörjfetterna jämfördes mot i undersökningen kan ses i tabell 6. Två av de miljöanpassade fetterna uppfyllde alla kraven. De miljöanpassade smörjfetterna som undersöktes var till merparten baserade på vegetabiliska oljor och syntetiska estrar. Undersökningen visade på att de miljöanpassade smörjfetterna generellt sett uppfyllde de tekniska kraven lika bra som de konventionella smörjfetterna. Erfarenheter från införandet av miljöanpassade smörjfetter som använts i praktiken ute på anläggningarna visade också på generellt sett positiva omdömen av de miljöanpassade fetterna, några omdömen var att det fungerade bättre än de konventionella smörjfetterna. Bytet av smörj fett från konventionellt till miljöanpassat ska ha genomförts utan att kompletta bort det gamla smörj fettet. Bristfällig dokumentation av bytet gjorde dock detta

<sup>30</sup> (Battersby; Rudnick and Shubkin 1999; Beran 2010; Brajendra K. Sharma 2017)

<sup>31</sup> (*Lubricant Additives Chemistry and Applications Second Edition*)

<sup>32</sup> (Medina *et al.* 2018)

uttalande något osäkert. En kostnadsjämförelse av tre konventionella smörjfetter med fyra stycken miljöanpassade smörjfetter, alla lämpliga för ledskenelager, visade på kostnader i ungefär samma storleksordning. Ett av de miljöanpassade smörjfetterna var billigare än de tre konventionella, varav de tre övriga var något dyrare än snittet för de tre konventionella smörjfetterna.

Tabell 6 Tekniska krav för smörjmedel för att utvärdera miljöanpassade smörjfetter i dammapplikationer<sup>33</sup>.  
Kraven är i sitt ursprung framtagna för lager för luckmekanismer ("Tainter-gate").

Testad egenskap	Krav
Antikorrosionsegenskaper enligt ASTM D-1743	Godkänd
"Water washout" enligt ASTM D-1264	Maximalt 1.9%
NLGI konsistensnummer	1
Lägsta viskositet vid 40 grader celsius	700 cSt
EP-egenskaper enligt ASTM D-2596	Wear load index 40kgf Weld point 140 kgf
Motstånd mot koppar-korrosion enligt ASTM D-4048	1B
Icke-separerande vid lagring enligt ASTM D-1742	0.5 till 1%

<sup>33</sup> (Barnes and Basham; Medina *et al.* 2018)

## 6 Vattenhydraulik

Vattenhydraulik används i dagsläget i Sverige i huvudsak för reglering av intagsluckor och utskovsluckor. Här är risken för läckage direkt ut i vattendraget som störst samt drifttiderna låga vilket ställer lägre krav på livslängd än kontinuerlig drift. Det finns ett antal rapporter<sup>34</sup> som belyser utvecklingen inom vattenhydraulik i svensk vattenkraft. Det arbete som utfördes i samband med denna rapport ska ses som ett komplement till tidigare genomfört arbete. Den tillgängliga litteraturen inom vattenhydraulik är mycket begränsad och kompetensen inom området är hos leverantörer och tillverkare av hydraulikutrustning. Därför genomfördes för denna rapport en intervju med leverantör av vattenhydraulik där de fick kommentera på utmaningar med vattenhydraulik enligt litteraturen, se tabell 7.

Tabell 7. Utmaningar inom vattenhydraulik jämfört med konventionell oljesmord hydraulik<sup>35</sup>.

Utmaning	Lösning/ar enligt litteraturen	Kommentar från Mobin
Korrosion p.g.a. inlösta gaser såsom till exempel syre, koldioxid och klor. Mikro-organismer förvärrar problematiken.	Rostfria material.	Rostfria material driver naturligtvis upp kostnadsbilden. Mobin har valt att konstruera luftfria system för att få ner prisbilden. Rostskydd i form av tillsatser i glykol/vatten intressant att utvärdera i framtiden.
Frysrisk vid kalla temperaturer.	Miljövänliga glykoler.	Miljövänliga glykoler lösningen. Anpassar blandningen efter utetemperaturer. Kallare än -50 grader blir det problem som man i förekommande fall får lösa med värmekablar.
Vatten har mycket lägre viskositet än konventionella smörjmedel vilket leder till mer internt och externt läckage i hydrauliska komponenter. På den positiva sidan ger den minskade viskositeten högre flöden och respons hos aktuatorer.	Högre krav på toleranser vilket fördyrar komponenter.	Pumparna är mycket dyrare och ventilerna marginellt dyrare. Danfoss leverantör av pumpar.
Mikro-organismer ger ökad friktion, minskar kapacitet och accelererar korrosion.	Avjoniserat vatten och stängda system. UV-behandling, Konserveringsmedel i vattnet.	Ta inte in soljus i tanken (inga tittluckor i plexi). Vätskan cirkuleras och filtreras dagligen. Avluftat system.
Högt ångtryck medför ökad risk för kavitation – erosion av komponenter.	Viktigt med rätt driftstemperatur (3-50°C) för att minska kavitationsrisken. Även designen av komponenter påverkar risk för kavitation.	Inga kontinuerliga system vilket innebär att detta inte varit något problem. De system som levereras i dagsläget körs kortare tider.

<sup>34</sup> (Sendelius and Ukonsaari 2007; Andersson 2008; Ukonsaari 2014)

<sup>35</sup> Informationen hämtad från (Kruz and Chua).

Utmaning	Lösning/ar enligt litteraturen	Kommentar från Mobin
Beläggningar till följd av mineraler i vattnet	Deminerat vatten (risk att det löser in koldioxid och blir surt och ger korrosion till följd). Turbulent flöde kan också hindra beläggningar från att bildas.	Cirkulerar och filtrerar.
Dålig smörjning	Självsörjande material, tillsatser i vattnet för att förbättra de smörjande egenskaperna <i>m.m.</i>	Tätningar är av annat material än för oljesmorda. Vatten och torrsomda material. Systemen nyttjas inte kontinuerligt utan har begränsad drifttid/dag. Beräknad livslängd 30-40 år. Inte bytt en enda komponent på 12 år på 30 levererade system.

Vidare så svarade Mobin på ytterligare frågor enligt nedan:

- Teknik och komplexitet. Krävs förändringar av dagens system eller är det direkt utbytbar? Måste systemen designas om och på vilket sätt?

*Mobin: Där det redan finns befintlig oljehydraulik sker ingen omredesign av systemet. Hydraulcylindern ersätts och delar återanvänds där det går. De system som byts är lågtryckssystem. Det krävs också mindre vätska i nya systemen på grund av att det byts ut till högtryckssystem. Att byta ut mekaniska vaxspel mot hydrauliska kan medföra merkostnad men inte när det gäller att ersätta oljehydraulik med vattenhydraulik.*

- Vilken livslängd förväntas? Behövs underhållsåtgärder/övervakning som inte behövs idag?

*35-40 år förväntas systemen hålla. Underhållsåtgärder: Filterbyten och pH-koll på vatten samt frysskydd.*

- Uppskattning av kostnad kontra konventionella system.

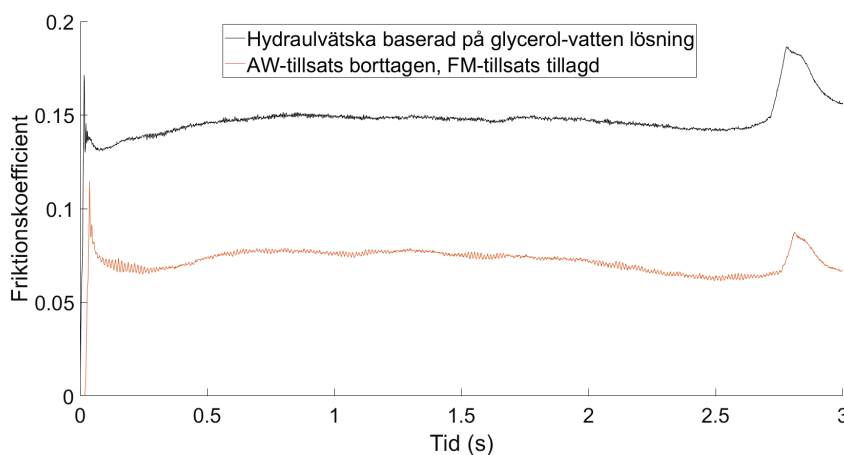
*Produktutvecklingen ligger uppskattningsvis mellan 0-10% dyrare än för konventionell hydraulik. Oljan kan bli betydande kostnad för konventionell hydraulik.*

Kommentarerna från Mobin bekräftar mycket av slutsatserna i tidigare arbete<sup>36</sup>.

<sup>36</sup> (Ukonsaari 2014)

## 7 Glycerolbaserat smörjmedel för löphjul med förhöjda reglerkrafter

Inom svensk vattenkraftsindustri finns det erfarenheter av ökande reglerkrafter i löphjul i vissa installationer med självsmörjande lager<sup>37</sup>. Tidigare forskning har visat att glycerolbaserade smörjmedel kan minska friktionen för självsmörjande lagermaterial under liknande arbetsvillkor som lager för skovlelagering i löphjulet<sup>38</sup>. Resultaten visade att friktionsnivån vid glidning var mycket låg. Den statistiska friktionen var dock betydligt högre. Denna typ av friktionsbeteende kan ge upphov till vibrationer till följd av stick-slip. Ambitionen var därför här att utvärdera hur friktionsbeteendet påverkas av det glycerolbaserade smörjmedlets sammansättning. Undersökningen initierades med att utvärdera en glycerolbaserad hydraulvätska utvecklad av SustainaLube AB för bland annat vattenkraften. Testningen utfördes i en testutrustning<sup>39</sup> utvecklad för att utvärdera självsmörjande lagermaterial vid arbetsförhållanden typiska för vattenkraften. Den glycerolbaserade hydraulvätskan visade på ofördelaktigt friktionsbeteende samt höga friktionsnivåer vilket förändrades med hjälp av att ta bort en antiötnings tillsats och lägga till friktionsförbättrare, se Figur 2. Den generella friktionsnivån sänktes betydligt, dock så kvarstod ett ofördelaktigt friktionsbeteende som eventuellt skulle kunna ge upphov till vibrationer i applikationen.



Figur 2. Friktionsbeteende för två olika smörjmedelsformuleringar. Den ena är en hydraulvätska baserad på en lösning av glycerol och vatten. Den andra testade vätskan utgår från samma hydraulvätskeformulering men är utan antiwear-tillsats fast med tillsats för att förändra friktionsbeteendet. Arbetsförhållanden: 0.01 m/s, 31 MPa, rumstemperatur. Material: rostfritt stål SS2387 och lagerbrons.

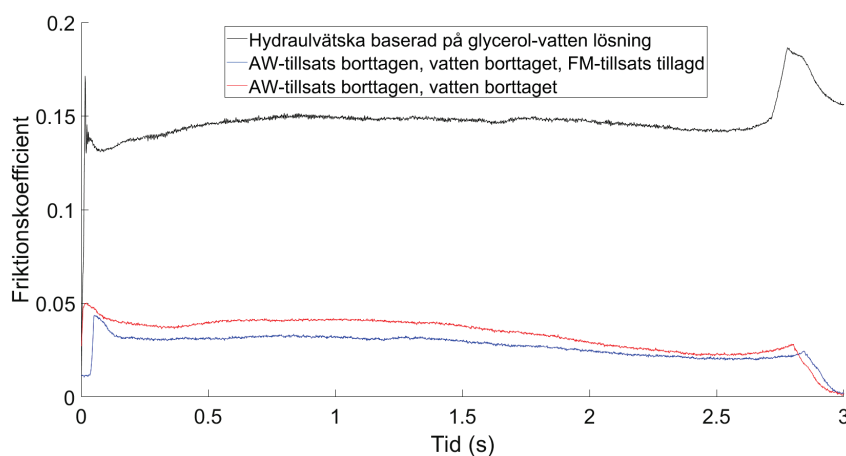
Hydraulvätskan är en lösning av både glycerol och vatten. Effekten av att ta bort vattnet ur hydraulvätskan kan ses i figur 3. Friktionsnivåerna sänktes ytterligare och friktionsbeteendet förbättrades betydligt. Ren glycerol är dock väldigt viskös så en slutgiltig formulering med ett mindre vatteninnehåll för att justera ner

<sup>37</sup> (Ukonsaari *et al.* 2013)

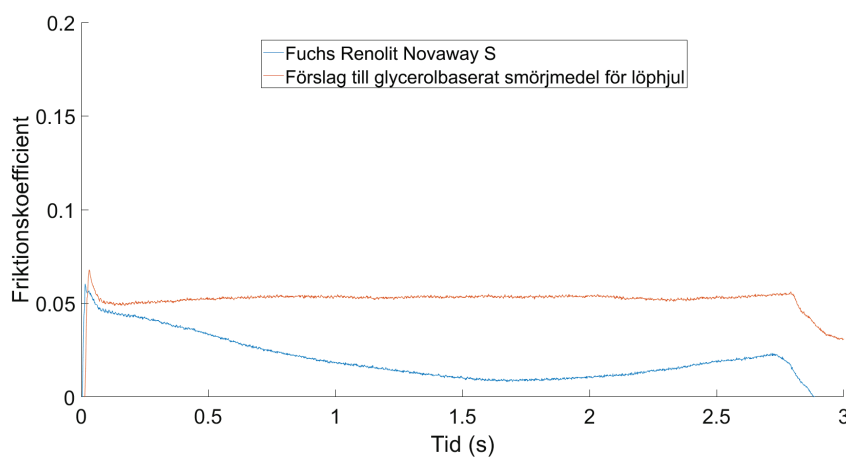
<sup>38</sup> (Berglund and Shi 2017)

<sup>39</sup> (Berglund *et al.* 2021)

viskositeten så att vätskan tar sig in i lagret togs fram. Den slutgiltiga formuleringen jämfördes sedan med ett referenstest. Referensmaterialet bestod av ett fett som med gott resultat använts inom vattenkraften tidigare. Resultatet visar på fullt godtagbart friktionsbeteende för den slutgiltiga formuleringen i jämförelse med referensen, se figur 4.



Figur 3 Friktionsbeteende för tre olika smörjmedelsformuleringar. Den översta är en hydraulvätska baserad på en lösning av glycerol och vatten. De två övriga vätskorna utgår från samma hydraulvätskeformulering men har justerats enligt informationen i figurlegenden.



Figur 4 Friktionsbeteende för ett referensfett, Fuchs Renolit Novaway S, och det slutgiltiga förslaget till ett glycerolbaserat smörjmedel för löphjul med förhöjda reglerkrafter.

## 8 Slutsatser

Denna rapport ska ses som ett underlag för vattenkraftsindustrin att göra informerade val angående miljöanpassade lösningar som smörjfetter- och vätskor samt vattenhydraulik. Rapporten beskriver först standarder och klassifikationer för befintliga smörjmedel som ett underlag till att göra mer informerade beslut vad gäller krav på teknisk prestanda vid byte av smörjmedel. Vidare beskrivs kriterier för miljöanpassning av smörjmedel och innebörden av miljömärkningar. Utifrån detta underlag får varje enskilt företag ta beslut om tekniska och miljömässiga krav vid byte av smörjmedel.

Det kan noteras att det finns en stor bredd av miljöanpassade smörjmedel med olika fördelar och nackdelar. Syntetiska estrar dominerar fortfarande det kommersiella utbudet men området fortsätter att utvecklas och forskningen fortsätter komma fram med nya basoljeteknologier baserat på till exempel isoalkaner, estolider eller glycerol. Att prognosticera underhåll och livslängd i riktig drift, d.v.s. konvertera uppgifter från standardiserade test till driftstimmar i riktig applikation, för nya typer av smörjmedel är utmanande och något för framtida forskning.

Genomförda tester med ett glycerolbaserat smörjmedel visar också på lovande resultat för att kunna förlänga livslängden för självsmörjande lager med förhöjda friktionsnivåer.

Vad gäller vattenhydraulik skulle det kunna vara av intresse att undersöka effekten av att byta systemvätskan mot en glycerolbaserad. Glycerol framställs ur en förnybar råvara till skillnad från propylenglykol. Eventuella prestandafördelar angående till exempel smörjning skulle också kunna vara av intresse.

Vattenhydraulik används i dagsläget inte i kontinuerlig drift och där behövs det mer kunskap om systemlivslängd samt vätskans påverkan.

## 9 Referenslista

- Andersson R. Vattenhydraulik i vattenkraft. 2008.
- Barnes GW, Basham DL. Engineering and Construction Bulletin. 2006.
- de Barros'Bochet MI, Matta C, Le-Mogne T *et al.* Improved mixed and boundary lubrication with glycerol-diamond technology. *Tribology - Materials, Surfaces & Interfaces* 2007a;**1(1)**:28–32.
- de Barros'Bochet MI, Matta C, Le-Mogne T *et al.* Superlubricity mechanism of diamond-like carbon with glycerol. Coupling of experimental and simulation studies. *Journal of Physics: Conference Series* 2007b;**89(1)**:Art. no. 012003-Art. no. 012003.
- Bartz WJ. Lubricants and the environment. *Tribology International* 1998;**31**:35–47.
- Battersby NS. *Biodegradable Lubricants: What Does "Biodegradable" Really Mean?*
- Beran E. Effect of chemical structure on the hydrolytic stability of lubricating base oils. *Tribology International* 2010;**43**:2372–7.
- Berglund K, Rodiouchkina M, Hardell J *et al.* A Novel Reciprocating Tribometer for Friction and Wear Measurements with High Contact Pressure and Large Area Contact Configurations. *Lubricants* 2021, Vol 9, Page 123 2021;**9**:123.
- Berglund K, Shi Y. Friction and Wear of Self-Lubricating Materials for Hydropower Applications under Different Lubricating Conditions. *Lubricants* 2017, Vol 5, Page 24 2017;**5**:24.
- Bielefeldt AR, Illangasekare T, Uttecht M *et al.* Biodegradation of propylene glycol and associated hydrodynamic effects in sand. *Water Research* 2002;**36**:1707–14.
- Biresaw G. Biobased Polyalphaolefin Base Oil: Chemical, Physical, and Tribological Properties. *Tribology Letters* 2018;**66**, DOI: 10.1007/s11249-018-1027-9.
- Björling M, Shi Y. DLC and Glycerol: Superlubricity in Rolling/Sliding Elastohydrodynamic Lubrication. *Tribology Letters* 2019;**67(23)**.
- Brajendra K. Sharma GB. *Environmentally Friendly and Biobased Lubricants*. Boca Raton: CRC Press, 2017.
- Cermak SC, Bredsguard JW, John BL *et al.* Synthesis and physical properties of new estolide esters. *Industrial Crops and Products* 2013;**46**:386–91.
- Chen Z, Liu Y, Zhang S *et al.* Controllable Superlubricity of Glycerol Solution via Environment Humidity. *Langmuir* 2013;**29**:11924–30.
- DIFFERENT APPROACHES TO BIOLUBRICANTS Clarification Paper. 2018.
- Habchi W, Matta C, Joly-Pottuz L *et al.* Full Film, Boundary Lubrication and Tribochemistry in Steel Circular Contacts Lubricated with Glycerol. *Tribology Letters* 2011;**42(3)**:351–8.
- Ho CK, McAuley KB, Peppley BA. Biolubricants through renewable hydrocarbons: A perspective for new opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2019;**113**, DOI: 10.1016/j.rser.2019.109261.
- ISO 6743-99:2002(E) ii. 2002.
- Joly-Pottuz L, Matta C, Bouchet MIDB *et al.* Superlow friction of ta-C lubricated by glycerol: An electron energy loss spectroscopy study. *Journal of Applied Physics* 2007;**102(6)**:64912.
- KOMMISSIONENS BESLUT (EU) 2018/ 1702 - Av Den 8 November 2018 - Om Fastställande Av Kriterier För EU-Miljömärket För Smörjmedel - [Delgivet Med Nr C(2018) 7125].
- Kovanda JR. Reliable non-sheening synthetic environmentally friendly alternatives to petroleum-based lubricants. <https://www.youtube.com/watch?v=rsXXgeHhz3g>
- Krutz GW, Chua PSK. *Water Hydraulics-Theory and Applications* 2004.



- Li J, Chang C, Ma L *et al.* Superlubricity Achieved with Mixtures of Acids and Glycerol. *Langmuir* 2013;**29(1)**:271–5.
- Lubricant Additives Chemistry and Applications Second Edition.*  
Lubricants, industrial oils and related products (Class L)-Family X (Greases)-  
Specification. 2010.
- Mannekote JK, Kailas S v., Venkatesh K *et al.* Environmentally friendly functional fluids from renewable and sustainable sources-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018;**81**:1787–801.
- Medina V, Wynter M, Paulus T *et al.* *Analysis of Environmentally Acceptable Lubricants (EALs) for U.S. Army Corps of Engineers (USACE) Dams.*, 2018.
- Medina VF. *Evaluation of Environmentally Acceptable Lubricants (EALS) for Dams Managed by the U.S. Army Corps of Engineers.*, 2015.
- Prislista Smörjmedel & Kemi.*
- Robert West, Marcy Banton, Jing Hu *et al.* *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology.* David M. Whitacre (ed.), 2014.
- Rudnick LR, Shubkin RL. *Synthetic Lubricants and High-Performance Functional Fluids.* Marcel Dekker, 1999.
- Sendelius M, Ukonsaari J. *Vattenhydraulik till Vattenkraft.*, 2007.
- Shi Y, Minami I, Grahn M *et al.* Boundary and elastohydrodynamic lubrication studies of glycerol aqueous solutions as green lubricants. *Tribology International* 2014;**69**:39–45.
- SS-ISO 12925-1:2018 Smörjmedel, industrioljor och motsvarande produkter (klass L)-familj C (kuggväxlar).
- Svensk standard SS 155434:2020. *Hydraulvätskor – Tekniska krav, miljöegenskaper och provningsmetoder* 2020.
- Svensk standard SS 155470:2020. *Smörjmedel, industrioljor och liknande produkter (Klass L) - Krav för miljöanpassade smörjetter (familj X)* 2020.
- Svensk standard SS-EN 16807:2016. *Flytande petroleumprodukter– Biosmörjmedel– Kriterier och krav för biosmörjmedel och biobaserade smörjmedel* 2016.
- Ukonsaari J. *Funktion För Vattenhydraulik i Vattenkraftsapplikationer.*, 2014.
- Ukonsaari J, Boberg V, Skagerstrand A *et al.* *Erfarenheter Med Miljöanpassade Kaplanlöphjul.*, 2013.
- Ukonsaari J, Pettersson A. *Alternativ Vätska i Naturnära Reglerhydraulik För Vattenkraft.* Stockholm, 2013.
- Vestergren M. SP-listan smörjfett. 2021.
- Vestergren M. SP-listan hydraulvätskor.
- West RJ, Davis JW, Pottenger LH *et al.* Biodegradability relationships among propylene glycol substances in the organization for economic cooperation and development ready- and seawater biodegradability tests. *Environmental Toxicology and Chemistry* 2007;**26**:862–71.

# MILJÖANPASSADE LÖSNINGAR INOM VATTENKRAFTEN

I rapporten presenteras resultaten från en kartläggning av miljöanpassade smörjmedel som har potential att kunna användas inom vattenkraften. I den kartläggning som här görs av olika tillgängliga lösningar analyseras egenskaper som miljöpåverkan, teknisk prestanda, underhåll och kostnad. Syftet med rapporten är att ge ett underlag till vattenkraftbranschen, som kan användas för att fatta informerade och väl underbyggda beslut om nya, miljöanpassade lösningar.

The Swedish Hydropower Centre SVC, founded in 2005, is a centre of expertise formed by the Swedish Energy Agency, Energiforsk and Svenska Kraftnät together with KTH, Chalmers University of Technology, Uppsala University and Luleå University of Technology. Luleå is also host university for the centre developing new knowledge to contribute to a renewable energy system.

