

**Kui reduktori hammasrataste kontaktpindadele on tekkinud hallid kulumisjäljed, on oht lähedal. Kas kulumisprotsessi on võimalik peatada või isegi vältida?**  
 Artikkel Alfred Hollmannilt

## Kontaktväsimumus – kulumine oleneb määrdeainest



Dipl. Ingenieur Alfred Hollmann

ADDINOL Lube Oil GmbH,  
 Am Haupttor,  
 06237 Leuna,  
 tel: 03461/845-111  
 faks: 03461/845-555  
 e-post: info@addinol.de  
 www.addinol.de

Kui tuulegeneraatorite käitajad avastavad ülevaatusel käigus, et reduktori hammasrataste kontaktpindadele on tekkinud hallid laigud, tähendab see suuremate kahjustuste tekke ohtu. Kahjuks ei ole hallide laikude puhul tegemist iluveaga. Nad on selge märk kulumisest. Hallide kulumisjälgede ehk kontaktväsimumuse (micropitting) avastamise korral tuleb tegutseda kiiresti, sest vastasel korral võivad mikrosüvendid põhjustada suuremaid rikkeid ja reduktori seiskumist. Hammaste tööpindadel on näha vaid kurikuulsad hallid laigud. Tegelikult on aga hallid laigud tüüpilised materjali väsimus- ja kulumisjäljed. Hallid kulumisjäljed tekivad sega- ja piirhõõrdumisel ja hammasratastele ja veerelaagritele. Seejuures on iseloomulik peenikeste, umbes 10 µm suuruste augukeste ja lõhede tekkimine kontaktpindadele. Kahjustuste ulatus on esialgu imeväike, kuid lõhede arv suureneb järjest. Kahjustatud alade vahele tekivad samuti süvendid ja peagi ilmnevadki esimesed rikked. Aeglaselt kuid järjekindlalt muutuvad hammasrattad töökõlbmatuks.

**Üleminek  
 progresseeruvale  
 kulumiselt regressiivsele**

Mikrosüvendid võivad tekkida masina käitamise varases staadiumis. Kulumisprotsessi mõjutavad määrdeaine füüsikalised-keemilised omadused,

reduktori tüüp, pinnakaredus ning eksploatatsioonitingimused. Mõjurite omavahelisi seoseid tutvustab joonis 2. Kõige tähtsamat rolli kulumisjälgede tekkimisel ja ärahoidmisel mängib kasutatav määrdeaine. Seejuures sõltub paljugi transmissiooniõli keemilisest koostisest. Tööstustransmissiooniõlid võivad põhineda mineraalõlidel, polüglükoolidel, polüalfaolefiinidel (PAO) või sünteetilistel estritel. Nende kasutamiseks tööstusreduktorites on olemas järgmised spetsifikatsioonid:

- DIN 51517 – osa 3 (CLP õlid),
- ISO 12925-1 (nõuded suletud süsteemides kasutatavatele määrdeainetele – klass C),
- AGMA 9005-D94 ja eelnõu AGMA 6006,
- reduktori- ja laagritootjate spetsifikatsioonid (nt A. Friedrich Flender AG, Jahnel-Kestermann, Rexroth, FAG, Eickhoff Maschinenfabrik GmbH).

Tuulegeneraatorite reduktorites kasutatakse reeglina mineraalõlil või sünteetilistel koostisainetel (PAO-del) põhinevaid transmissiooniõlisid. Sünteetiliste transmissiooniõlide eeliseks on see, et neid on võimalik kasutada väga laias temperatuurivahemikus. Samas on sünteetilised transmissiooniõlid sageli kallimad kui mineraalõlipõhised transmissiooniõlid. Erinevate õlitootjate CLP-tööstustransmissiooniõlide jõudlus on väga sarnane. Kontaktväsimumust ja kulumist ei ole nendest õlidest reeglina ükski võimeline ära hoidma. Oluliselt paremaid tulemusi on võimalik saavutada rasketes tingimustes kasutamiseks

mõeldud transmissiooniõlidega, mis ületavad eelnevalt nimetatud spetsifikatsioone ja sisaldavad lisaks erilist toimeainete kombinatsiooni. Addinoli suure jõudlusega transmissiooniõlile Eco Gear on nt lisatud Surftec®. See toimeainete kombinatsioon sobitub hästi olukorda, kus on tegemist vahelduva koormusega hambumisega, ja tungib hammaste kontaktpindade metallstruktuuri. Progresseeruv



Joonis 1: matthallid laigud hammaste kontaktpindadel kogu hambumissirge aktiivosa ulatuses

kulumine muudetakse õliga regressiivseks. Samas takistab õli ka uute kulumisjälgede tekkimist ja tasandab osaliselt varem kahjustatud pindasid. Eriti häid tulemusi on viimastel aastatel transmissiooniõlidega Eco Gear M (mineraalõlipõhine) ja S (sünteetiline) saavutatud just tuulegeneraatorite reduktorites.

**Kontrollkatsed määrdeainetega**

Kasutades rahvusvaheliselt tunnustatud katsemeetodeid, saab transmissiooniõli jõudluse kohta – ka kontaktväsimumuse ärahoidmise osas – usaldusväärseid järeldusi teha juba väga varakult. Seejuures on oluliseks testimisinstrumentiks Müncheneri Tehnikaülikooli hammasrataste ja reduktoriehituse teadusosakonna FZG hammasrataste mehhaanilise pinge katseseade (DIN 51354 / DIN ISO 14635-1). Sellega hinnatakse

Joonis 2: kontaktväsimumuse teket soodustavate mõjurite omavahelised seosed

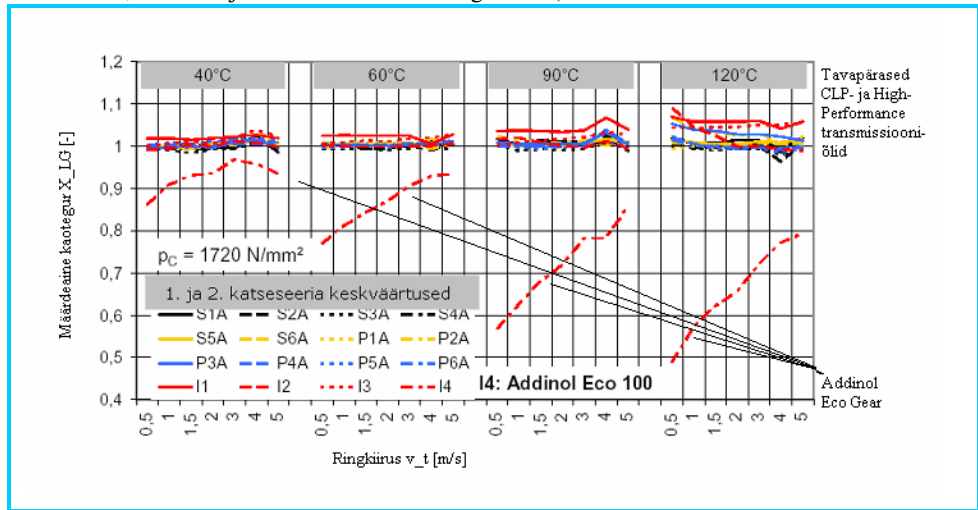
Materjal	Määrdeaine	Eksploatatsioonitingimused
<b>Metallurgia</b> karastatud terasest hammasrattad on kontaktväsimumusele vastuvõtlikumad <b>Pinnakaredus</b> siledamad pinnad vähendavad kontaktväsimumuse tekkimise riski <b>Pinna kõvadus</b> efektid sõltuvad koormusest ja materjalist	<b>Viskoossus</b> viskoossuse suurenemine vähendab riski <b>Keemiline koostis</b> sünteetilistel toodetel on triboloogilised eelised mineraalõlide ees, manused vähendavad kontaktväsimumuse riski tänu parendatud kulumiskaitsele	<b>Koormus</b> suur koormus tähendab suurt riski <b>Kiirus</b> kiirus mõjutab õlikihi paksust <b>Temperatuur</b> kõrged temperatuurid vähendavad õlikihi paksust ja suurendavad kontaktväsimumuse tekkimise riski

transmissiooniõlisid, kasutades muuhulgas FVA meetodit IV-4 (kontaktvõimsus). Nii 60 °C kui ka 90 °C temperatuuri juures saadi katsetulemuseks vastupidavusklass >10. Lisaks testiti Addinol Eco Geari firmas Flender järgnevat katsetingimustes: Kontrollkehaks on üks hammasrattapaar (C-hambuline Flenderi järgi). Ringkiiruseks on 8,3 ms<sup>-1</sup>, väikeratta pöörlemiskiiruseks 2250 min<sup>-1</sup>. Määrimismeetodiks on sukeldusmäärimine. Õlivanni temperatuur ulatub maksimaalselt 90 °C. Jõustmel 10 ja pöördemomendi juures T=265,1 Nm on koormuseks 1547 N/mm<sup>2</sup>. Kontaktvõimsuse katse hindamisel tehakse kindlaks hammaste kontaktpindadele tekkinud hallide laikude protsentuaalne osakaal ja profiilhälve ning hinnatakse neid kolme kasutamata hamba seisukorraga. Lõpuks määratakse testitud õli vastupidavusklass. Klass I vastab väga suurele vastupidavusele, klass VI seevastu väga kehvale vastupidavusele. Lühikatses testiti Addinol Eco Geari ning CLP- ja High-Performance transmissiooniõlisid vastavatel koormustel üle 100 tunni ning pikaajalises katses üle 400 tunni. Suure jõudlusega transmissiooniõli Addinol Eco Gear kanti vastupidavusklassi I

ning sai Flenderilt järgmise hinnangu: „Testitud õli kasutamisel on mikrosüvendite tekkimine praktiliselt välistatud.“ Mainimisväärsed on ka Müncheni FZG sööbimist ja kasutegurit mõõtvad katsed. FZG sööbimiskatse tulemused olid Eco Geari kasutamisel järgmised:

- A/20/8,3/90 °C jõuaste >12,
- A/10/16,6/120 °C jõuaste >12,
- A/10/16,6R/60 °C jõuaste 11,
- A/10/16,6R/90 °C jõuaste 11.

kombinatsioon määrab seevastu kaod sega- ja piirhõõrdumise piirkonnas. Seda- ja piirhõõrdumise piirkonnas läbi viidud võrdlevad katsed erinevate manustesüsteemidega andsid kinnitust sellest, et ADDINOL Eco Geari manustesüsteemist tulenev hõõrdetegur on õli pealekandmisel väga õhukeste määrdekihtidena kõige soodsamal juhul poole väiksem tavaliste manustesüsteemide hõõrdeteguritest (DGMK



Tavalised CLP-õlid ei ole kaugeltki suutelised selliseid väärtusi saavutama. Reduktiori kasutegur ja võimsuskadu sõltuvad hambumise ja laagrite hõõrdekadudest. Baasõli määrab hõõrdekaod elasto-hüdrodünaamilise (EHD) määrimise piirkonnas. Manuste

608/06). Sellest tulenevalt paraneb iseäranis sega- ja piirhõõrdumisel oluliselt reduktori kasutegur. See on aga järjekordne tõestus, et ADDINOL Eco Gear aitab ära hoida kulumist.

Joonis 3: hambumise hõõrdekaod sega- ja piirhõõrdumisel