

BIOLOŠKO RAZGRADLJIVA MAZIVA KOT ALTERNATIVA MAZIVOM MINERALNEGA IZVORA

KRŽAN BORIS, VIŽINTIN JOŽE

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
Center za tribologijo in tehnično diagnostiko, Bogišičeva 8, Ljubljana
boris.krzan@ctd.uni-lj.si

Na tržišču maziv prevladujejo maziva mineralnega izvora, vendar bodo zaradi nevarnosti, ki jo predstavljajo do okolja, imeli v okolju prijaznejših mazivih vedno hujšega tekmeca. Ocenjujemo, da najmanj 40% odpadnih maziv nenadzorovano konča v okolju. Določenih količin sploh ni mogoče zbrati, del pa jih konča v okolju zaradi slučajnega ali tudi namernega izlivanja. Na srečo danes že lahko izbiramo med biološko razgradljivimi mazivi, ki ustrezajo tako tehničnim kot okoljskim zahtevam. Biološka razgradljivost pomeni sposobnost, da se snov razgradi v neškodljive produkte s pomočjo mikroorganizmov. Uporaba biološko razgradljivih maziv je še posebno pomembna v kmetijstvu, gozdarstvu in gradbeništvu, saj obdelovalni stroji in naprave prihajajo v neposreden kontakt z zemljo, vodo in rastlinami.

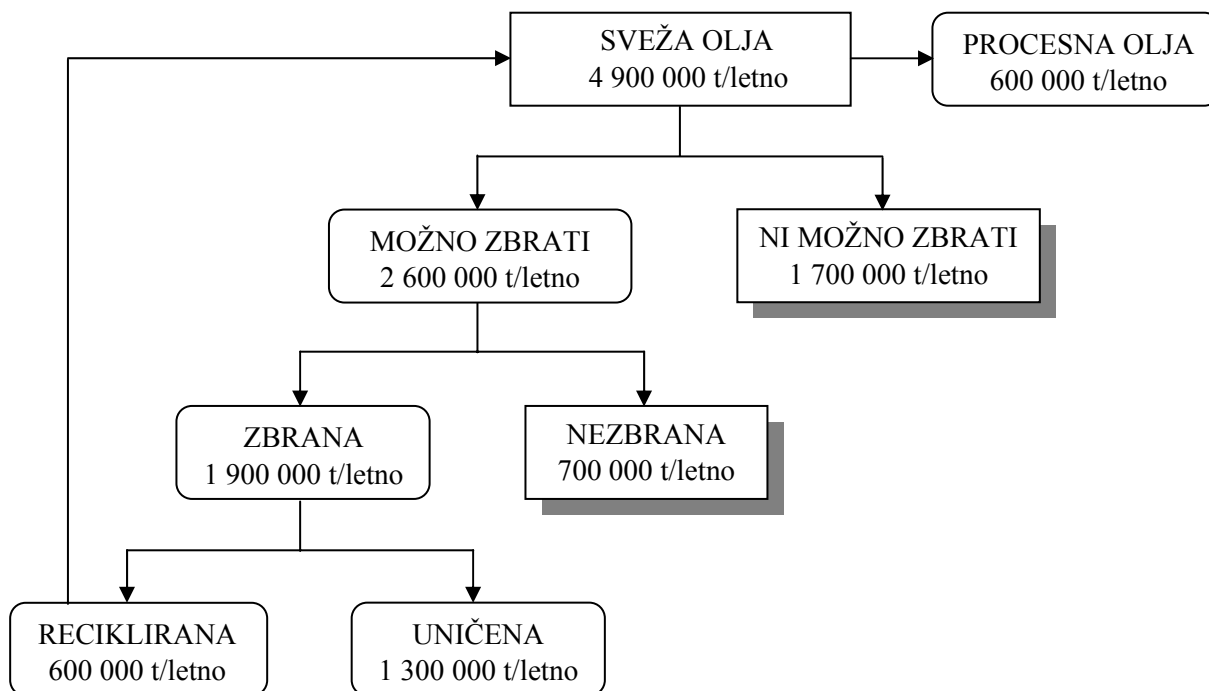
Ključne besede: biološka razgradljivost, biološko razgradljiva maziva, rabljena olja, toksičnost.

The market of lubrication is dominated by mineral oil based products whose non-ecological characteristics are no longer acceptable with respect of environment. We can estimate that more than 40% of these products end up in the environment, either because they cannot be collected or they are subjected to accidental losses or voluntary disposals. On the other hand, the biodegradable lubricants are able to satisfy both technical requirements and environmental issues. Biodegradability means the ability of the substance to be decomposed by microorganisms. Biodegradable lubes are especially useful in agricultural, forestry and building equipment because here they can easily come into contact with the soil, ground water and crops.

Key words: biodegradation, biodegradable lubricants, used oils, toxicity.

1 UVOD

Letno povpraševanje po mazivih je v letu 1997 v državah Evrope Unije znašalo 4 900 000 ton. Po uporabi bi bilo vso to količino potrebno zbrati in na ustrezen način predelati, oziroma kontrolirano uničiti, saj v nasprotnem primeru odpadna olja predstavljajo veliko nevarnost za okolje. Večina maziv je namreč mineralnega izvora in so v naravnem okolju težko razgradljiva in toksična. V svetovnem merilu je že sprejeta množica zakonov, smernic in odredb o ravnanju s svežimi in odpadnimi olji, vedno več pa je tudi zahtev za uporabo ekološko manj nevarnih maziv, takoimenovanih biološko razgradljivih maziv. Slednja se na tržišču vse bolj uveljavljajo, vendar zaenkrat ne presegajo 1 % svetovne letne porabe maziv. Slika 1 shematsko prikazuje gospodarjenje z rabljenimi mazivi v EU in je izdelana na podlagi podatkov objavljenih v poročilu Evropske organizacije za zdravje, okolje in varnost CONCAWE [3,4,15].



Slika 1: Gospodarjenje z rabljenimi mazivi v EU.

Iz slike 1 je razvidno, da se v EU organizirano zbere približno 40% rabljenih mazalnih olj, od katerih se del rafinira in pripravi za ponovno uporabo, večji del pa kontrolirano uniči, v glavnem sežge kot kurivo. Približno 15% maziv se zbiranju izmuzne in se ilegalno sežge ali pa enostavno odvrže v okolje. V okolju se znajde tudi velik del maziv za katera pravimo, da jih ni mogoče zbrati, kar obsega približno 35% celotne letne porabe maziv. Pri mazanju z izgubo je že zaradi mazalnega postopka predvideno, da gre mazivo po uporabi neposredno v okolje. Dodati je potrebno še izlito olje zaradi nesreč, izgube olja zaradi puščanja hidravličnih sistemov, zgorevanja in izhlapevanja itd.. Pozabiti ne smemo niti na ostanke olja v 90 milijonih posod za dobavo svežega olja in 20 milijonov zamenjanih oljnih filtrov, od katerih jih mnogo konča na za to nepredvidenih odlagališčih.

Vsi zgoraj navedeni podatki veljajo za Evropo Unijo, kjer je gospodarjenje z rabljenimi mazivi najboljše organizirano. Nenazadnje, tako natančnih podatkov, na osnovi katerih je izdelana slika 1, za ostale države niti ni mogoče dobiti. Državam EU lahko ob bok postavimo samo še nekaj industrijsko najrazvitejših držav na svetu, stanje v preostanku sveta pa je veliko bolj kritično. Predvsem je veliko manjši delež zbranih in kontrolirano uničenih olj, ustrezno večja pa količina olj za katero ni ustreznih podatkov kje so končala. Če pomislimo, da lahko malomarno odvržena maziva onesnažijo vodna zajetja za več sto let, potem je jasno, je zakonska ureditev gospodarjenja s svežimi in rabljenimi mazivi nujna. Po eni strani je potrebno izboljšati sistem zbiranja rabljenih olj, na drugi strani pa izrabiti možnost, ki jo ponujajo biološko razgradljiva maziva. Slednja so v nadaljevanju prispevka predstavljena bolj podrobno.

2 METODE VREDNOTENJA VPLIVA MAZIVA NA OKOLJE

2.1 Biološka razgradljivost

Biološko razgradljivost lahko na kratko opredelimo kot sposobnost razgradnje organskih snovi s pomočjo mikroorganizmov. S preskusnimi metodami biološke razgradnje dobimo

podatke o poteku razgradnje maziva ter tako predvidimo, kako se bo mazivo razgradilo v naravi. Različne preskusne metode za določanje biološke razgradnje navajajo OECD*, CEC* in DIN*.

*OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development

*CEC - Coordination European council for the Development of Performance Tests for Lubricants and end Engine Fuels

*DIN - Deutches Institut fur Normung

Po OCED sta najpomembnejši vrsti biološke razgradnje naslednji [12,15]:

□ Primarna biološka razgradnja (Primary Biodegradation, Primärabbau)

Snov A → B

Sprememba v strukturi organske snovi zaradi biokemijskih razgradnih procesov, ki povzročijo izgubo prvotnih lastnosti snovi.

□ Končna biološka razgradnja (Ultimate Biodegradability, Endabbau)

Snov A → B → ... → CO₂ + H₂O (+ biomasa)

Pretvorba organske snovi z mikroorganizmi v mineralizacijske produkte, kot so CO₂, H₂O in anorganske soli, ob istočasnem povečanju biomase.

Preskuse za ugotavljanje biološke razgradljivosti delimo na kontinuirane in nekontinuirane. Pri nekontinuiranih preskusnih metodah primerjamo potek razgradnje preskusnega vzorca s potekom razgradnje referenčne snovi v enakem testnem sistemu. Preskusi ne simulirajo nobenega konkretnega stanja v okolju, iz raziskav pa je znano, da so pogoji pri teh testih strožji kot pogoji v naravi. Najbolj znana testna metoda iz te skupine ima oznako CEC L-33-A93, ki je bila v prvotni obliki CEC L-33-T82 namenjena določanju biološke razgradljivosti maziv za dvotaktne motorje vodnih plovil. Slabost CEC metode je nezmožnost natančne razmejitve med primarno in končno biološko razgradnjo, vendar smatramo da je rezultat, ki presega 80% jamstvo za zadovoljivo končno biološko razgradnjo. Hkrati pa je potrebno povedati, da se metoda CEC L-33-A93 za določanje biološke razgradnje maziv najpogosteje uporablja. V skupino nekontinuiranih preskusnih metod sodijo tudi metode z oznakami OECD 301 A do F. Testiranje po metodi CEC traja 21 dni, po metodah OECD pa 28 dni.

S kontinuiranimi preskusnimi metodami, simuliramo biološko razgradnjo v določenem okolju, npr. v biološki čistilni napravi. Preskusna metoda značilna za to skupino nosi oznako OECD 303 A, z njo pa določimo končno biološko razgradljivost organske snovi.

Razgradljivost maziv, ki se smatrajo okolju prijazna mora presegati:

- 60 % po metodah OECD 301 B, C in D,
- 70 % po metodah OECD 301 A in E,
- 80 % po metodi CEC L-33-T93.

2.2 Toksičnost maziv

Poleg biološke razgradljivosti je pomembna tudi toksičnost maziva, ki se nanaša na zaščito živih organizmov. Preskusi toksičnosti so namenjeni določanju vpliva maziv na žive organizme, od bakterij in alg pa do rib. Težave pri vrednotenju testov izhajajo iz dejstva, da enaka koncentracija strupenih snovi različno vpliva na žive organizme v različnih okoljih, po drugi strani pa tudi opazovanje samo ene vrste organizmov ne odraža realne situacije. Testne

metode za določanje toksičnosti maziv nosijo oznake OECD 201 do 204 in OECD 209 do 210. Uporabljajo se tudi nemški standardi DIN 38 412 –8, 38 412-9, 38 411-12 in 38 412-15. Ekološko primerna maziva ne smejo dražiti in iritirati kože.

2.3 Vpliv maziv na vodo

Nahajališča sladke vode obsegajo okoli 2,5% celotne razpoložljive količine voda na zemlji. Z današnjo tehnologijo smo za pridobivanje pitne vode sposobni izkoriščati le 0,27% vse razpoložljive vode in mnogi razglašajo vodo za strateško surovino tega stoletja [9]. Zaščita vodnih virov pred onesnaženjem z mazivi je zelo pomembna, saj lahko samo en liter mazalnega olja onesnaži do milijon litrov vode [10].

V Nemčiji so v okviru Zakona o gospodarjenju z vodami, uvedli postopek razvrščanja kemičnih snovi v razrede WGK (Wassergefährdungsklasse), ki določajo stopnjo potencialne nevarnosti za onesnaženje vode. Klasifikacija se je v Nemčiji dobro uveljavila, zaradi zapletenega postopka razvrščanja snovi v razrede pa se ni razširila na ostale države. Prvega junija 1999 so v veljavo stopile spremembe, ki so postopek razvrščanja snovi v razrede poenostavile. Pomen oznak, ki so veljavne od 1.6.1999 [8,14]:

- NWH : snovi, ki ne ogrožajo vode
- WGK 1: snovi, ki rahlo ogrožajo vodo
- WGK 2: snovi, ki ogrožajo vodo
- WGK 3: snovi, ki zelo ogrožajo vodo

Okolju prijazna maziva morajo biti razvrščena v razred NWH ali najvišje v WGK 1.

2.4 Označevanje ekološko primernih maziv

Posebno označevanje ekološko primernih proizvodov so uvedli v mnogih svetovno najrazvitejših državah. V kolikor izdelek ustreza postavljenim kriterijem, lahko na svoji embalaži nosi oznako, ki kupce opozarja na ekološko prijaznost proizvoda. V Nemčiji se oznaka imenuje Blauer Engel, v Avstriji uporabljajo znak umetnika Hundertwasser-ja, skandinavske države White Swan, ZDA Green Cross ali Green Seal, Kanada Maple Leaf itd. [1]. Kriteriji za podelitev posameznih znakov med sabo niso usklajeni, zato se pojavljajo poskusi poenotenja in uvedbe enotnega evropskega ali svetovnega eko-znaka.

3 BIOLOŠKO RAZGRADLJIVA MAZIVA

Podobno kot ostala olja, so tudi biološko razgradljiva mazalna olja sestavljena iz baznega olja in posebnih kemičnih dodatkov-aditivov. Pri masteh med osnovne komponente sodijo še zgoščevalci, ki morajo biti pri biološko razgradljivih masteh nevtralni do okolice. Biološka razgradljivost maziv je predvsem pogojena z baznim oljem, toksičnost pa določajo aditivi. Biološko razgradljiva maziva delimo glede na vrsto baznega olja, lahko pa tudi na osnovi njihove mešljivosti z vodo.

Preglednica 1: Glavni komponenti biološko razgradljivih mazalnih olj.

Bazna olja - 80 do 98%	Aditivi - 2 do 20%
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rastlinska olja ➤ Sintetični estri ➤ Poliglikoli ➤ (PAO 2, PAO 4) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Antioksidanti ➤ Protibrabni aditivi / aditivi za visoke tlake ➤ Antikorozijski aditivi ➤ Aditivi proti penjenju

3.1 Biološko razgradljiva bazna olja

Biološko razgradljiva bazna olja ne smejo vsebovati spojin žvepla in dušika ter ne smejo biti toksična. Bazno olje v veliki meri določa stopnjo biološke razgradljivosti, ter tudi kakovost in cenovni razred maziva. Ločimo tri osnovne vrste biološko razgradljivih baznih olj.

3.1.1 Rastlinska olja

Do začetka 20. stoletja so se kot maziva uporabljala izključno olja in masti živalskega ali rastlinskega izvora. Vzporedno s prodorom motorjev z notranjim izgorevanjem pa so prevlado na tržišču prevzela maziva mineralnega izvora, ki ob primerni ceni nudijo zadovoljivo kakovost. Povečana skrb za okolje pa razkriva največjo pomanjkljivost mineralnih olj, slabo razgradljivost v naravnem okolju. Olja izdelana na rastlinski osnovi jih v tej lastnosti močno prekašajo.

Kot maziva se najpogosteje uporabljajo rastlinska olja izdelana na osnovi oljne ogrščice (oljne repice) in sončnice, izven Evrope pa se vse bolj uveljavlja palmino in sojino olje. Po sestavi so rastlinska olja trigliceridi, sestavljeni iz glicerola kot osnove in različnih maščobnih kislin. Razlike med olji iz posameznih rastlin se kažejo v različnih maščobnih kislinah, ki se ločijo tako po številu ogljikovih atomov kot po številu dvojnih vezi v ogljikovi verigi. Zaželjeno sestavo maščobnih kislin lahko dosežemo z genskimi spremembami rastlin, kar se uspešno izvaja, tako da so maziva na tržišču že izdelki tako modificiranih rastlin.

Mazalne lastnosti rastlinskih olj (nizek koeficient trenja, dobra zaščita proti obrabi) so odlične, prav tako imajo zelo visok indeks viskoznosti, kar pomeni da se viskoznost s spremembo temperature ne spremeni toliko kot pri mineralnih oljih. Pomembna je njihova visoka stopnja biološke razgradljivosti in netoksičnost, poudariti pa je tudi potrebno da rastlinska olja izdelujemo iz obnovljivih naravnih virov. V primerjavi z mineralnimi olji je slabost rastlinskih olj slabša odpornost na staranje in hidrolitična stabilnost, ožje pa je tudi področje uporabe, ki je omejeno s temperaturama -20 in 70 °C. Mešljivost z mineralnimi olji je dobra.

Rastlinska olja uporabljamo za mazanje verig in vodil motornih žag, dvotaktnih bencinskih motorjev, vencev koles lokomotiv ter v kmetijstvu, pri obdelavi kovin in gradbeništvu. Dokončno so se uveljavila kot hidravlična olja, področje uporabe pa se vse bolj širi.

3.1.2 Sintetični estri

Sintetični estri predstavljajo zelo raznoliko skupino maziv, tako po kemični sestavi kot po ceni. Nastajajo v laboratoriju s sintezo maščobnih kislin in alkoholov. Maščobne kisline so predvsem rastlinskega izvora, alkoholne komponente pa pretežno proizvodi petrokemične industrije. S sistematičnimi variacijami različnih maščobnih kislin in alkoholov lahko pridobimo maziva, ki ustrezajo točno določenim tehničnim zahtevam. V primerjavi z olji na rastlinski osnovi imajo sintetični estri predvsem boljšo oksidacijsko stabilnost in širšo temperaturno območje uporabe. Mešanje z mineralnimi olji lastnosti sintetičnih estrov ne spremeni bistveno, ustrezno se zmanjša le biološka razgradljivost. Sintetični estri zaradi postopka izdelave, ki omogoča takoimenovano "kreiranje po meri uporabnika", lahko pokrivajo celotno področje uporabe maziv in se odlično obnesejo tudi v najtežjih pogojih obratovanja (maziva za prenosnike moči, motorna olja itd.). Večja uporaba je omejena z visoko ceno, ki je najmanj štirikrat višja od primerljivih proizvodov na mineralni osnovi.

3.1.3 Poliglikoli

Najbolj značilni predstavniki poliglikolov so polietilenglikoli (PEG) in polipropilenglikoli (PPG). PEG z nizkimi molekulskimi masami so dobro razgradljivi, poliglikoli z visokimi molekulskimi masami in PPG pa slabo. Uporabljajo se predvsem kot hidravlične tekočine (oznaka HEPG), manj pa v druge namene. Imajo dobro strižno stabilnost, za uporabo v

hidravliki primerno viskoznost, dobre mazalne lastnosti ter visoko odpornost na staranje. Zelo dobra je tudi njihova termična stabilnost, ki omogoča uporabo v širokem temperaturnem območju. Nemešljivost poliglikolov z mineralnimi olji pomeni, da moramo pred prehodom na uporabo poliglikolov, opraviti temeljito izpiranje tehničnega sistema v katerem je bilo mineralno olje. V sistemu lahko ostane največ 1% mineralnega olja. Pozornost je potrebno posvetiti tudi tesnilom, saj nekateri materiali niso združljivi z poliglikoli. Značilna lastnost poliglikolov je njihova topnost v vodi, zato je potrebno preprečiti dostop vode do sistema, v odprtih mazalnih sistemih pa poliglikolov ne smemo uporabljati.

3.1.4 Medsebojna primerjava lastnosti baznih olj

V preglednici 2 so zbrane glavne lastnosti biološko razgradljivih baznih olj. Za primerjavo so predstavljeni tudi podatki za povprečno mineralno bazno olje [7,11].

Preglednica 2: Primerjava fizikalno-kemijskih lastnosti baznih olj (povprečne vrednosti).

Lastnost	Mineralno olje	Rastlinsko olje	Poliglikol	Sintetični ester
Gostota pri 20 °C	880 kg/m ³	940 kg/m ³	1100 kg/m ³	930 kg/m ³
Indeks viskoznosti	100	210	150	180
Strižna stabilnost	dobra	dobra	dobra	dobra
Oksidacijska stabilnost	dobra	slaba/zadovoljiva	dobra	dobra
Hidrolitična stabilnost	dobra	slaba	--	zadovoljiva
Mešljivost z mineralnimi olji	--	dobra	nemešljiv	dobra
Topnost v vodi	ne	ne	da	ne
Ujemanje z barvami in laki	dobro	dobro	slabo	dobro/slabo
Temperaturno območje uporabe	-22 do +90 °C	-20 do +70 °C	-30 do +90 °C	-30 do +90 °C
Biološka razgradljivost (CEC)	10 do 35 %	70 do 100 %	60 do 100 %	10 do 100 %
Cena	1	2 do 3	2 do 5	4 do 20

3.2 Aditivi za biološko razgradljiva maziva

Aditivi za maziva so kemične snovi, ki se dodajo baznemu olju, da mu izboljšajo lastnosti in podaljšajo čas obratovanja. Na začetku uvajanja biološko razgradljivih maziv so razvijalci maziv skušali uporabiti kar aditive za mineralna olja, vendar rezultati niso bili zadovoljivi. Maziva so bila zelo slabe kakovosti in prevladalo je spoznanje, da je potrebno razviti povsem nove aditive, ki niso toksični in ne vsebujejo težkih kovin. Danes se zahteva še biološka razgradljivost aditivov.

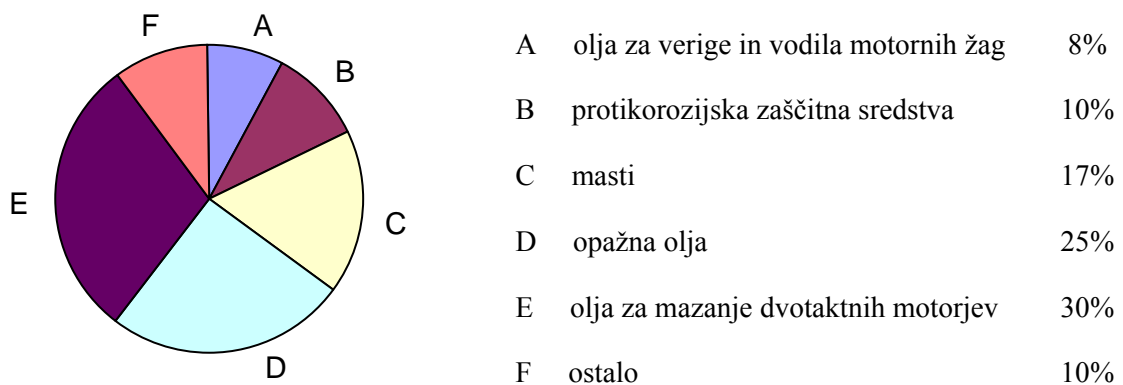
3.3 Področja uporabe biološko razgradljivih maziv

Nadomeščanje mineralnih maziv z biološko razgradljivimi je smiselna na področjih, kjer odpadnih maziv po uporabi ni mogoče zbrati in lahko pride do večjega onesnaženja okolja.

Vpliv razlitega mazalnega olja je odvisen predvsem od vrste olja, količine in okolice razlitja. V primeru razlitja mineralnega olja po travnati površini, pride do takoimenovanega požiga nadzemeljskega zelenega dela, kot korenin. Razlitje biološko razgradljivega olja na enako površino povzroči le razbarvanje zelenega dela rastline, korenine pa ostanejo nepoškodovane. Trava se v 7 do 10 dneh popolnoma obnovi in na travniku vsled razlitja ni nikakršnih trajnih posledic.

3.3.1 Sistemi mazanje z izgubo

Sisteme mazanja z izgubo lahko poimenujemo tudi mazanje z enkratnim preходом preko mazalnega mesta, kjer je že v osnovi predviden stik izrabljenega maziva z okoljem. Maziva za mazanje z izgubo predstavljajo približno 15% letne količine porabljenih maziv. Slika 2 prikazuje razmerja med mazivi, pri tem načinu mazanja [5].



Slika 2: Vrste maziv za odprte mazalne sisteme.

Pri sistemih mazanja z izgubo se maziva po uporabi znajdejo neposredno v okolju, zato vse več držav sprejema zakonske predpise, s katerimi se zahteva uporaba biološko razgradljivih maziv. V Avstriji je za mazanje verig in vodil motornih žag predpisana obvezna uporaba biološko razgradljivih maziv, zelo omejevalna pa je na tem področju tudi zakonodaja v Nemčiji. Švica je prva država, ki je zakonsko predpisala uporabo biološko razgradljivih olj za mazanje dvotaktnih bencinskih motorjev, ki poganjajo čolne na jezerih. Za mazanje izvenkrmnih motorjev so biološko razgradljiva maziva potrebna tudi v Belgiji in na Portugalskem. V Sloveniji je trenutno veljaven samo Zakon o delu v gozdovih, ki predpisuje uporabo biološko razgradljivih olj za mazanje verige motornih žag, pri delu v območjih s prvo stopnjo poudarjenosti hidrološke funkcije in v predelih zavarovane narave [13].

3.3.2 Obtočni sistemi mazanja

Pri sistemu obtočnega mazanja mazivo kroži v zaprtem mazalnem sistemu in do stika med mazivom in okoljem ne bi smelo priti. Vsled puščanja olja in zaradi raznih nesreč pa vseeno prihaja do onesnaženja okolja z mazivom iz sistema. Največje probleme imamo s hidravličnimi sistemi vozil in premičnih strojev, ki se pretežno uporabljajo pri delu v kmetijstvu, gozdarstvu in gradbeništvu. V kolikor iz takega stroja olje kaplja z hitrostjo ene kapljice na sekundo, izteče v enem letu v okolje okoli 950 litrov olja. Kapljanje iz slabo vzdrževanih vozil pa sploh ni redek pojav. Komisija za gozdove (Forestry Commission) Velike Britanije ocenjuje, da v gozdovih, ki pokrivajo približno 10% ozemlja, vsak dan iz strojev in naprav izteče 340 000 litrov hidravličnih olj [2].

Kot biološko razgradljiva hidravlična olja za mobilne stroje se uspešno uporabljajo tako rastlinska, kot sintetična olja. Možna je tudi uporaba poliglukolov, ki pa so dražji in bolj toksični kot rastlinska olja.

S predpisi o uporabi biološko razgradljivih hidravličnih olj prednjačijo skandinavske države, kjer se dobro zavedajo bogastva gozdov s katerimi upravljajo. V Sloveniji uporabo biološko razgradljivega hidravličnega olja predpisuje Zakon o delu v gozdovih, ki zahteva uporabo biološko razgradljivega olja v hidravličnih sistemih strojev in naprav, pri delu v območjih s prvo stopnjo poudarjenosti hidrološke funkcije in v predelih zavarovane narave [13].

4 SKLEPI

Z razvojem ekološke zavesti, se povečuje tudi interes za uporabo biološko razgradljivih maziv. Posebno na področjih, kjer lahko zaradi onesnaženja okolja nastane nepopravljiva škoda je potrebno uvajati biološko razgradljiva maziva, kljub njihovi višji nabavni ceni. Proizvajalci biološko razgradljivih maziv so sposobni ponuditi kakovostne proizvode, ki po lastnostih ne zaostajajo za mazivi mineralnega izvora, tako da je vsaka skrb o tehnični primernosti in sposobnosti tovrstnih maziv odveč. Naloga državnih ustanov je spodbuditi večjo uporabo biološko razgradljivih maziv s sprejetjem ustrezne zakonodaje in s tem zagotoviti dolgoročne koristi za celotno družbo. Pomemben del spodbujanja večje uporabe pa je tudi obveščanje potrošnikov, saj so nekateri še vedno skeptični in novosti ne sprejemajo zlahka.

Zavedanje okoljskih problemov, daje prednost biološko razgradljivim mazivom, ki imajo tudi ob trenutno višji ceni svoj razlog za obstoj in bodočnost.

5 LITERATURA

1. Bartz W.J., (1998) Lubricants and the environment, Tribology International, Vol.31, Numbers 1-3, pp.35-47.
2. Burrows C.R., Hammond G.P., McManus M.C., (1998) Life-cycle assessment of oil hydraulic systems for environmentally-sensitive applications, IMECE 98, November 15-20, 1998, Anaheim, USA.
3. CONCAWE (1996) Report no. 5/96.
4. Disposing of used lubrication oils, (2000) CONCAWE 9/2 October 2000.
5. Defrang M., (1999) Loss lubricating - Use of vegetable oil and derivatives in concrete industry, Proceedings of CTVO-Workshop on Lubricants and Hydraulic Fluids, 17th February 1999, Eibar, Spain.
6. Erhan S.Z., Asadauskas S., (2000) Lubricant basestocks from vegetable oils, Industrial Crops and Products, Vol.11, pp.277-282.
7. Lambent Technologies Corp., (1997) Biodegradable lubricants - a growing trend, #4GO197-3.
8. Mang T., Dresel W., (2001) Lubricants and Lubrication, Wiley-VCH.
9. Raven P.H., Berg L.R., Johnson G.B., (1993) Environment, Saunders College Publishing, USA.
10. Robertson A.J., Randles S.J., (1990) The use of laboratory techniques to simulate biodegradation of lubricants in the environment, JUGOMA Professional Publications Vol.205.
11. Stempfeler E.M., (1998) Practical experience with highly biodegradable lubricants, especially hydraulic oils and lubricating greases, NLGI Spokesman, Vol. 62, No.1, April 1998, pp.8-23.
12. Udovč A., (1996) Preskusne metode za določanje biološke razgradnje maziv, SLOTRIB 96, 13-14 november 1996, Gozd Martuljek, Slovenija.
13. Zakon o delu v gozdovih, Uradni list Republike Slovenije, št. 92, 11.10.2000, 17 člen, Varstvo vodnih območij.
14. Willing A., (2000) Lubricants based on renewable resources - an environmentally compatible alternativeto mineral oil products, Chemosphere, Vol.43, pp.89-98.
15. Wilkinson J., (1993) Biodegradable lubricants-a review, Lubricants 93, No. 234 Poreč, Hrvaška.