

Bruno Novina

ISSN 0350-350X

GOMABN 43, 5, 247-277

Stručni rad / Professional Paper

UDK 621.83.069.2-3-11.001.6 : 665.765.1 : 665.7.035.2 : 681.532.65.004.54

ZAHTJEVI RADNIH SVOJSTAVA ULJA ZA AUTOMATSKE MJENJAČE

Sažetak

U skladu s najnovijim zahtjevima tržišta za smanjenom potrošnjom goriva te smanjenom emisijom štetnih plinova, razvoj automatskih mjenjača predstavlja ključni čimbenik povećanja učinkovitosti iskorištenja goriva u vozilima koja posjeduju motore s unutarnjim izgaranjem.

Istovremeno nove konstrukcije automatskih mjenjača zahtijevaju i poboljšane tipove maziva. Ovaj rad daje pregled postojećih zahtjeva za radnim svojstvima ulja za automatske mjenjače.

Uvod

Vozila opremljena automatskim mjenjačima su već i prije bila poznata po velikoj potrošnji goriva. Takvi mjenjači, s relativno sporim sklopovima koji nisu dopuštali lagano uključivanje stupnjeva prijenosnih omjera, a ujedno su često bespotrebno mijenjali prijenosne stupnjeve, bili su dobri samo za mirnu i jednoličnu vožnju na dugim dionicama. To je i razlog zašto ove konstrukcije mjenjača nisu, za razliku od SAD-a, u toj mjeri prihvaćene u Europi koja svojom konfiguracijom ne omogućava takav stil vožnje. Najnoviji zahtjevi za smanjenom potrošnjom goriva i činjenica da su današnji motori s unutarnjim izgaranjem dovedeni gotovo do savršenstva, te ne ostavljaju mnogo prostora za poboljšanje učinkovitosti, ubrzali su razvoj novih konstrukcija automatskih mjenjača.

Konvencionalni automatski mjenjači

Premda automatski mjenjači od četrdesetih godina nisu doživjeli neke bitne konstrukcijske promjene, unapređenja su ostvarena prvenstveno uvođenjem računalnog sustava upravljanja koji omogućava lakše, odnosno brže uključivanje stupnjeva prijenosa. Osim toga, ugradnja zatvarača u pretvaraču zakretnog momenta s mogućnošću računalnog upravljanja proklizavanjem, omogućila je dodatna poboljšanja učinkovitosti automatskih mjenjača. Daljnja unapređenja idu u

smjeru razvoja automatskih mjenjača sa šest (ZF 6HP) pa čak i sedam stupnjeva prijenosa (Mercedes-Benz 7G-Tronic, ZF 7P) ili pak razvoja automatskih mjenjača s mogućnošću ručnog uključivanja stupnjeva prijenosa poput Porsche Tiptronic mjenjača kojeg je Porsche razvio u suradnji s tvrtkama ZF i Bosch, a danas nalazi primjenu i u ostalim osobnim vozilima kao što su Audi, VW, Mercedes-Benz, Peugeot i mnogi drugi.

Poluautomatski mjenjači ili ručni mjenjači s automatiziranim uključivanjem spojke

U posljednje vrijeme, kao alternativa konvencionalnim automatskim mjenjačima, pojavljuju se konstrukcije ručnih mjenjača s mogućnošću automatskog uključivanja spojke koje omogućavaju značajnije uštede goriva u odnosu na konvencionalne automatske mjenjače. Ovakva konstrukcija se prvi puta pojavljuje prije desetak godina u Ferrariju F355 F1, a inačica ovih mjenjača također je dostupna i u vozilima Alfa Romeo 156 pod nazivom Selespeed. Mjenjači s dvostrukom tarnom spojkom, koji su već duže vremena poznati u sportskom automobilizmu, poput BorgWarnerovog DualTronica, ZF Sachsovog Dual-Clutcha ili Volkswagenovog DSG-a (Direktschaltgetriebe) također postaju vrlo zanimljivo konstrukcijsko rješenje koje omogućava značajne uštede goriva u odnosu na konvencionalne automatske mjenjače.

Mjenjači s kontinuirano promjenjivim prijenosnim omjerom

Mjenjači s kontinuirano promjenjivim prijenosnim omjerom, popularno zvani CVT mjenjači (Continuously Variable Transmission), predstavljaju još jedno opsijsko rješenje kojim je moguće značajno smanjiti potrošnju goriva, a zadržati sve one prednosti koje imaju konvencionalni automatski mjenjači. Prve skice ovih mjenjača izradio je Leonardo da Vinci još davne 1490. godine, no prvu konstrukciju su izveli inženjeri Benz i Daimler tek 1886. Njihova konstrukcija se temeljila na konusnim koloturama s remenicom, dok je General Motors tridesetih godina započeo s razvojem CVT mjenjača s tarnim kolima. Godine 1958. nizozemski proizvođač vozila Van Doorne's Aahangwagen Fabriek (DAF) je prvi započeo serijsku ugradnju ovih prijenosnika pod imenom Variomatic u svoja osobna vozila, no zbog nemogućnosti prenošenja većih snaga i stvaranja neugodne buke, ovi prijenosnici su gotovo pali u zaborav. S pojavom novih materijala omogućeno je ponovno rađanje ovih prijenosnika, tako su danas u primjeni prisutni ZF-Ecotronic mjenjači s kontinuirano promjenjivim prijenosnim omjerom s remenicom u vozilima BMW-Mini, MG F, Rover 25 i 45 ili pak mjenjač Audi Multitronic u Audijevoj seriji A6. Osim CVT mjenjača s remenicom (ili lančanikom) u primjeni su također i konstrukcije s tarnim kolima, poput Nissanovog Extroida ili Torotrakovog IVT-a.

Mogućnost primjene opsijskih konstrukcijskih rješenja i razvoj radnih tekućina

Premda sve ove opcionalne konstrukcije automatskih mjenjača pružaju značajna unapređenja u smislu smanjenja potrošnje goriva, zbog nemogućnosti prenošenja

većih zakretnih momenata primjena im je ograničena samo na osobna vozila. Stoga gospodarska vozila koja su izložena velikim opterećenjima i dalje ostaju na konceptu konvencionalnih automatskih mjenjača, ali unaprijeđena računalno upravljanim sustavima. Kako je za gospodarska vozila vrlo važna pouzdanost, daljnja unapređenja je moguće postići uporabom novih konstrukcijskih materijala ili pak dijagnostičkih sustava, kakve je, primjerice, moguće sresti u mjenjačima tvrtke Voith. Ovakav razvoj konstrukcija automatskih mjenjača posljednjih godina rezultirao je potrebom za unapređenjem postojećih ili razvojem potpuno novih tipova radnih tekućina. Ona se ogleda u promjeni zahtjeva za radnim svojstvima ulja za automatske mjenjače koja mogu omogućiti potpunu djelotvornost novih konstrukcija prijenosnika.

Zahtjevi za radnim svojstvima ulja za automatske mjenjače

Kako osnovu konvencionalnog automatskog mjenjača čini sustav planetarnih zupčanika, od ulja za automatske mjenjače se očekuje učinkovito podmazivanje zupčanika. No istovremeno ovo ulje mora djelovati i kao hidrauličko ulje koje će složenom hidrauličkom sustavu omogućiti lagano uključivanje stupnjeva prijenosa, a ujedno i nesmetan rad hidrauličkog pretvarača zakretnog momenta koji ima ulogu spojke koja povezuje ulazno vratilo sa sustavom planetarnih zupčanika.

Stoga ulje za automatske mjenjače mora ispuniti mnogobrojne zadaće u prijenosniku kao što su zaštita od trošenja i korozije, učinkovito podmazivanje pokretnih dijelova, olakšano uključivanje stupnjeva prijenosa, učinkovito odvođenje topline, a sve to uz zadržavanje odgovarajućeg koeficijenta trenja. Nadalje, ulja za automatske mjenjače moraju biti kompatibilna sa svim komponentama sustava, oksidacijsko-termički stabilna, posjedovati sposobnost suzbijanja pjene i otpuštanja zraka, kao i odgovarajuća viskometrijska svojstva. U tablici 1 su izdvojeni neki od ključnih zahtjeva radnih svojstava ulja za konvencionalne automatske mjenjače kao i zahtjevi za opcijske konstrukcije automatskih mjenjača.

Tablica 1: Ključni zahtjevi radnih svojstava ulja za automatske mjenjače

konvencionalni automatski mjenjači	CVT mjenjači		mjenjač s dvostrukom spojkom
	s 3-amenicom	s 4-arnim kolima	
termičko-oksidacijska stabilnost	kao i konvencionalni automatski mjenjači	kao i konvencionalni automatski mjenjači	kao i konvencionalni automatski mjenjači
niskotemperaturna svojstva	+	+	+
smična stabilnost	dodatni zahtjev za pronalaženjem optimalnih tarnih svojstava između dviju metalnih površina	dodatni zahtjev za povećanim koeficijentom trenja	dodatna svojstva protiv trošenja (pitting i sinkroni)
svojstva protiv trošenja			+
tarna svojstva			dodatni zahtjev tarnih svojstava
kompatibilnost materijala			

U osnovi, radna svojstva ulja za automatske mjenjače definirana su specifikacijama konstruktora i proizvođača automatskih mjenjača ili vozila u koja se ugrađuju. One utemeljuju ispitne postupke i kriterije za navedena radna svojstva. Specifikacije ujedno definiraju postupke za ishođenje dopuštenja za primjenu. Za razliku od specifikacija koje su komercijalno dostupne, poput General Motors DEXRON ili Ford MERCON specifikacija, mnoge od njih su uglavnom nedostupne i osobno su intelektualno vlasništvo određenog proizvođača.

Specifikacije pojedinih proizvođača se međusobno razlikuju prvenstveno zbog zahtjeva koji proizlaze iz specifičnosti konstrukcija samih prijenosnika. One istovremeno odražavaju različitost servisnih sustava pojedinih proizvođača. Navedene neujednačenosti su također posljedica različite tržišne orijentacije. Naime, specifikacije sjevernoameričkih proizvođača automatskih mjenjača, poput General Motorsovih DEXRON i Fordovih MERCON, opisuju zahtjeve radnih svojstava ulja za automatske mjenjače osobnih vozila, za razliku od europskih proizvođača Voitha ili ZF-a čije specifikacije opisuju zahtjeve radnih svojstava ulja za automatske mjenjače prvenstveno gospodarskih vozila.

Budući da je primjena automatskih mjenjača u SAD-u široko prihvaćena već pedesetak i više godina, utjecaj američkih specifikacija na ostale proizvođače, posebice DEXRON specifikacija, vidljiv je i danas. Ova specifikacija daje osnovne smjernice razvoja specifikacija ulja za automatske mjenjače. No ipak, u najnovije vrijeme ostali proizvođači zbog specifičnosti konstrukcija i razvoja vlastitog servisnog sustava definiraju svoje zahtjeve vlastitim specifikacijama.

Iako su radna svojstva ulja za automatske mjenjače definirana specifikacijama automobilske industrije, značajna količina ovih ulja, osim u automatskim mjenjačima vozila, svoju primjenu nalazi i na drugim mjestima. Stoga se ova ulja koriste za različite hidrauličke sustave u industriji, brodarstvu i transportu, za hidrauličke upravljačke sustave vozila, zatim vijčane kompresore, a velikim dijelom za prijenosnike teške građevinske mehanizacije. No, kako najnovije konstrukcije prijenosnika građevinske mehanizacije traže specijalizirane radne tekućine, njihova kvaliteta se u najnovije vrijeme definira posebnim specifikacijama kao što su Caterpillar TO-4, Case MS 1230, Komatsu KES 07.868.1 ili ZF ZFN 13011. Radne tekućine koje zadovoljavaju ove specifikacije moraju omogućiti iznimnu zaštitu od trošenja i pružiti odgovarajuća tarna svojstva.

Zbog raznolikosti specifikacija bilo je pokušaja ujednačavanja zahtjeva za kvalitetom ulja za automatske mjenjače, prvenstveno inicijativom radnih grupa Europskog savjeta za usklađivanje (CEC - Coordinating European Council) i Japanske organizacije za normizaciju motornih vozila (JASO - Japanese Automobile Standards Organization). Međutim, usklađeno je svega nekoliko ispitnih postupaka, premda je JASO, 1998. godine, izdao normu za ATF ulja pod oznakom JASO M315-98. Ovime su japanski proizvođači automatskih mjenjača i vozila dobili zajedničku normu za ulja za automatske mjenjače osobnih i gospodarskih vozila. JASO M315-98 specificira samo osnovne zahtjeve, dok specifične zahtjeve definira sam proizvođač, ali prema navedenim ispitnim postupcima iz ove norme. Ovom normom

ulja se klasificiraju u dvije klase. Klasa 1 definira ulja sa sadržajem modifikatora trenja koji omogućavaju superiorna svojstva protiv vibracija, dok klasa 2 ne sadrži navedene modifikatore trenja.

No bez obzira na različitost ispitnih postupaka koji onemogućavaju jednostavnu usporedbu zahtjeva pojedinih proizvođača, pregledom njihovih specifikacija se ipak može doći do određenih spoznaja o budućim zahtjevima za kvalitetom ulja za automatske mjenjače. To je naročito važno za proizvođače i formulatore ove vrste radnih tekućina.

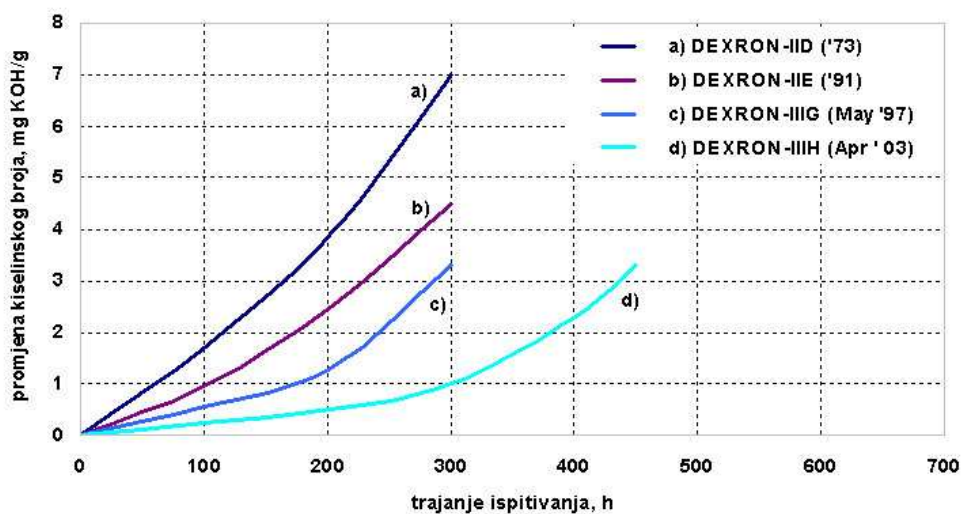
Usporedni prikaz radnih svojstava ATF ulja

Oksidacijska stabilnost

Zbog zahtjeva za manjom potrošnjom goriva današnje konstrukcije automatskih mjenjača postaju sve lakše i manje. Istovremeno se od njih traži prenošenje većih zakretnih momenata što rezultira povećanjem toplinskog opterećenja po jedinici volumena radne tekućine. Ova opterećenja, uz istovremeni zahtjev za produljenjem vijeka trajanja uljnog punjenja, traže oksidacijski vrlo postojana ulja za automatske mjenjače. Tako oksidacijska stabilnost ulja za automatske mjenjače predstavlja jedan od ključnih zahtjeva kojeg ulje mora zadovoljiti.

Ispitivanje oksidacijske stabilnosti prema General Motorsovim DEXRON specifikacijama izvodi se u automatskom mjenjaču model Hydra-matic 4L60E, pri temperaturi od 163°C. Zahtjev je izražen dopuštenom promjenom kiselinskog broja uz određeno trajanje ispitivanja.

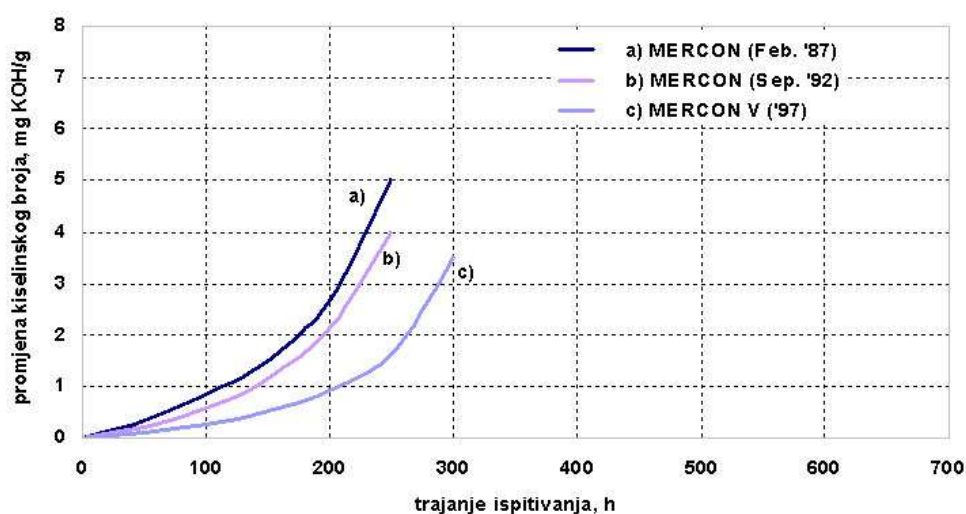
Dijagram 1: Oksidacijska stabilnost propisana specifikacijom GM DEXRON®



Na dijagramu 1 je vidljivo da s razvojem DEXRON specifikacija zahtjev za oksidacijskom stabilnošću radnih tekućina postaje sve oštriji, te se traže ulja sposobna za podnošenje povećanih termičkih opterećenja. To upućuje na veću uporabu kvalitetnijih baznih ulja u formulacijama ulja za automatske mjenjače, odnosno na postupan prelazak s baznih ulja API grupe I na bazna ulja API grupe II, III ili IV.

Ispitivanje oksidacijske stabilnosti prema Fordovim MERCON specifikacijama, tzv. ABOT test (Aluminium Beaker Oxidation Test), izvodi se u aluminijskoj posudi pri temperaturi od 155 °C. Zahtjev je također izražen dopuštenom promjenom kiselinskog broja uz određeno trajanje ispitivanja. Na dijagramu 2 vidljivo je da s razvojem MERCON specifikacija zahtjev za oksidacijskom stabilnošću radnih tekućina također postaje sve stroži.

Dijagram 2: Oksidacijska stabilnost propisana specifikacijom Ford MERCON®

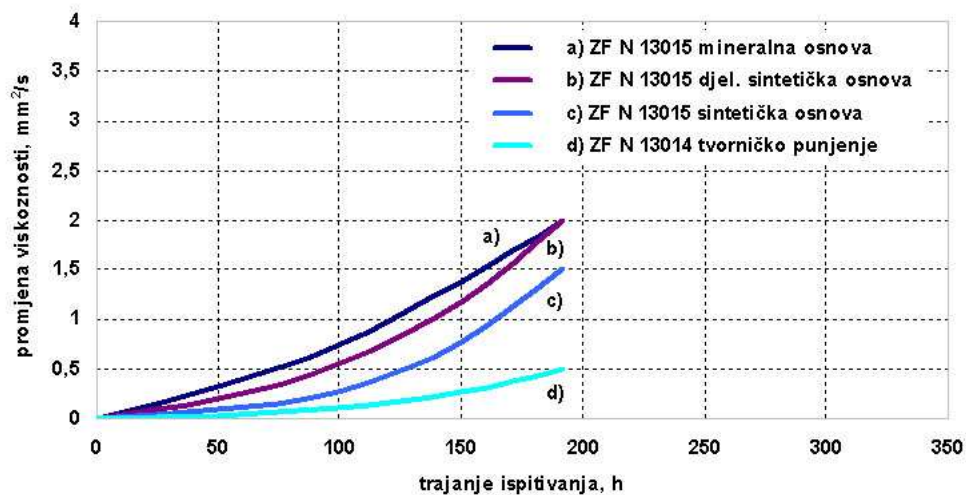


Za razliku od prethodno navedenih američkih specifikacija, njemački proizvođač prijenosnika ZF Friedrichshafen ispitivanje oksidacijske stabilnosti izvodi prema metodi CEC L-48 pri temperaturi od 170°C za sintetičke ili djelomično sintetičke radne tekućine, a za tekućine mineralne osnove pri temperaturi od 160°C. Zahtjev je izražen dopuštenom promjenom kinematičke viskoznosti uz određeno trajanje ispitivanja.

Dijagram 3 u ovom slučaju ne prikazuje vremenski razvoj specifikacija, ali već na prvi pogled ukazuje na različitost u pristupu razvoju svojih zahtjeva u odnosu na američke specifikacije. Naime, ZF u svojoj normi ZFN 13015 (2000-12) daje

zahtjeve za radnim svojstvima ulja za automatske mjenjače u tri kategorije. Jedna za tekućine mineralne, druga za djelomično sintetičke i treća kategorija daje zahtjeve za potpuno sintetičke tekućine. No svaka kategorija ima i različite predviđene najveće rokove zamjene ulja. Premda ovako raznoliki zahtjevi imaju za posljedicu nešto složeniji servisni sustav od onog kojeg zastupa američki proizvođač General Motors, ZF-u je na taj način omogućena uporaba različitih konstrukcijskih materijala. Naime, razvoj konstrukcija General Motorsovih automatskih mjenjača je na određeni način ograničen njihovom filozofijom servisnog sustava kojom žele imati samo jednu kvalitetu ulja, koju je moguće primijeniti u svim njihovim konstrukcijama, pa i onim najstarijim. Ford je svojom specifikacijom MERCON V, iz 1996. godine, odustao od pristupa kao što ga ima General Motors, te ulja koja su u skladu s ovom specifikacijom nije u potpunosti preporučljivo koristiti u starijim konstrukcijama Fordovih mjenjača.

Dijagram 3: Oksidacijska stabilnost propisana korporacijskim normama tvrtke ZF Friedrichshafen

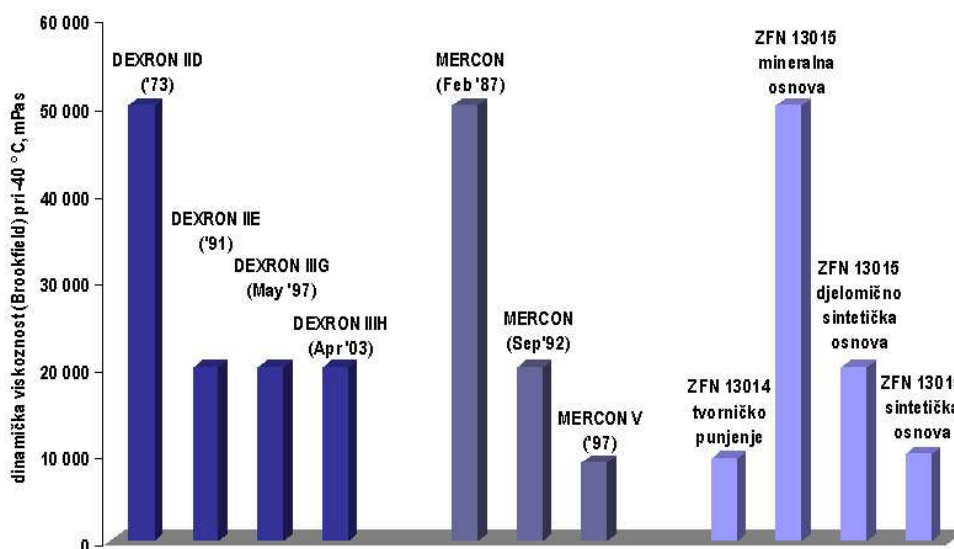


Zahtjev za oksidacijskom stabilnošću, bilo da je izražen najvećom dopuštenom promjenom kiselinskog broja, kinematičke viskoznosti ili pak promjenom infracrvenog spektra, jasno ukazuje da proizvođači u svojim novim specifikacijama traže kvalitetnija bazna ulja. Norma ZFN 13014 (2000-12), koja daje zahtjeve za kvalitetom ulja za prvo punjenje automatskih mjenjača osobnih vozila, samo potvrđuje nastojanja proizvođača da omoguće produljene rokove zamjene ulja, a osobnim vozilima punjenje za cijeli životni vijek.

Niskotemperaturna svojstva

Za ispravan rad sofisticiranih elektroničko-računalnih upravljačkih sustava važna su odgovarajuća reološka svojstva i pri najnižim temperaturama. Zahtjev se, redom za specifikacije svih proizvođača, izražava kao najveća dopuštena vrijednost dinamičke viskoznosti pri temperaturi od -40°C , mjereno Brookfield viskozimetrom. Iz dijagrama 4 je vidljivo naginjanje proizvođača ka sve manjim dozvoljenim vrijednostima dinamičke viskoznosti. Tako najnovija Fordova specifikacija MERCON V traži ulja za automatske mjenjače s najvećom dopuštenu vrijednošću dinamičke viskoznosti od $9\,000\text{ mm}^2/\text{s}$, mjereno pri temperaturi od -40°C , dok tvrtka ZF Friedrichshafen, za svoja tvornička punjenja automatskih mjenjača osobnih vozila, propisuje kod iste temperature vrijednost dinamičke viskoznosti od najviše $9\,500\text{ mm}^2/\text{s}$. Za svoja servisna punjenja automatskih mjenjača gospodarskih vozila, ZF u svojoj normi ZFN 13015 (2000-12) ponovno dopušta različite vrijednosti u ovisnosti o sastavu te predviđenim rokovima zamjene uljnog punjenja. Za ulja potpuno sintetičke osnove tvrtka ZF dopušta najveću vrijednost dinamičke viskoznosti od $10\,000\text{ mm}^2/\text{s}$.

Dijagram 4: Niskotemperaturna svojstva



Navedeni podaci jasno podupiru zahtjev za prelaskom na kvalitetnija bazna ulja, a u određenim slučajevima i na potpuno sintetička. Zbog istovremenog zahtjeva za smičnom stabilnošću, uporaba poboljšivača indeksa viskoznosti mora biti ograničena.

Smična stabilnost

Zahtjev odražava želju konstruktora i proizvođača automatskih mjenjača za postojanim reološkim svojstvima radnih tekućina i pri povišenim radnim temperaturama. Naime zbog mehaničkih naprezanja kojem su izložene radne tekućine, dolazi do razlaganja molekula posebice veće molekulne mase, te time do trajnog pada viskoznosti. Zahtjev je izražen najmanjom dopuštenom vrijednošću kinematičke viskoznosti pri 100 °C nakon ispitivanja.

Iz tablice 2 je vidljiva razlika u određivanju smične stabilnosti ulja za automatske mjenjače, odnosno načinu ispitivanja. Američki proizvođači General Motors i Ford za određivanje smične stabilnosti koriste tzv. test uključivanja na prijenosniku Turbo Hydra-matic (Turbo Hydra-matic Cycling Test - THCT), dok njemački proizvođač ZF Friedrichshafen koristi Volkswagenov test na stožasto-valjnom ležaju, a prema normi DIN 51350-6-KRL/C.

Tablica 2: Smična stabilnost

DEXRON				MERCON		MERCON V	ZFN 13014
IID ('73)	IIE ('91)	IIIG (May '97)	IIIH (Apr. '03)	(Feb.'87)	(Sep.'92)	('97)	('00)
test uključivanja na prijenosniku Turbo Hydra-matic (THCT)							(KRL) test na valjnom stožastom ležaju DIN 51350-6
THM 350	Hydra-matic 4L60		THM 350	Hydra-matic 4L60			
20 000 ciklusa		32 000 ciklusa	20 000 ciklusa				
kinematička viskoznost prije / poslije testa pri 100 °C, mm²/s							
min. 5,5/ min. 5,5	izvještaj / min. 5,0	izvještaj / min. 5,0	izvještaj / min. 5,0	min. 6,8/ min. 5,5	min. 6,8/ min. 5,5	min. 6,8/ min. 6,0	5,4-5,6/ min. 5,2

Tvrtka ZF svoje zahtjeve za ulja za tvorničko punjenje automatskih mjenjača osobnih vozila definira u svojoj normi ZFN 13014 (2000-12), prikazano u tablici 2. Zahtjevi za ulja za drugo punjenje automatskih mjenjača gospodarskih vozila opisani su u normi ZFN 13015 (2000-12), u kojoj ZF ponovno dopušta različite vrijednosti u ovisnosti o sastavu te predviđenim rokovima zamjene uljnog punjenja. Vrijednosti se kreću od najmanje 5,3 mm²/s za ulja mineralne osnove do 5,7 mm²/s za ulja potpuno sintetičke osnove. Volkswagenov test ispitivanja smične stabilnosti na stožasto-valjnom ležaju prihvatili su u svojim najnovijim specifikacijama i američki proizvođači Ford i DaimlerChrysler, otkako je ovaj test za ispitivanje smične stabilnosti postao najvjerovatniji izbor Međunarodnog odbora za normizaciju i certifikaciju maziva ILSAC (International Lubricant Standardization and Approval Committee).

Prema posljednjem izdanju specifikacije DEXRON III iz travnja prošle godine, General Motors je povećao broj uključivanja stupnjeva prijenosa na prijenosniku Hydra-matic 4L60 s 20 000 na 32 000 ciklusa. Ford je pak u svojoj najnovijoj

specifikaciji MERCON V, uz isti broj uključivanja stupnjeva prijenosa, pooštrio svoj zahtjev povećavajući najmanju dopuštenu vrijednost kinematičke viskoznosti nakon završetka ispitivanja s 5,5 na 6,0 mm²/s. Ovakvo pooštavanje zahtjeva za smičnom stabilnošću rezultira smanjenjem sadržaja modifikatora viskoznosti u formulacijama ulja za automatske mjenjače ili eventualno uporabu smično-stabilnih modifikatora viskoznosti uz istovremeni prelazak na kvalitetnija bazna ulja.

Svojstva protiv trošenja

Ulja za automatske mjenjače moraju pružiti odgovarajuću zaštitu od trošenja. Stoga su zadovoljavajuća svojstva protiv trošenja neophodna za trajnost komponenata automatskog mjenjača, te ujedno podržavaju ideju produljenih rokova zamjene ulja. Za ocjenu svojstava protiv trošenja američki proizvođači koriste Vickersovu krilnu pumpu. Rezultati se izražavaju gubitkom mase krilaca i prstena pumpe nakon završetka ispitivanja.

Tablica 3: Svojstva protiv trošenja

DEXRON				IERCON		MERCON V	ZFN 13014 ZFN 13015
IID ('73)	IIE ('91)	IIIG (May '97)	IIIH (Apr. '03)	(Feb. '87)	(Sep. '92)	('97)	('00)
Vickers pumpa (ASTM D-2882), gubitak mase, mg, maks.							ispitni uređaj FE8 DIN 51819-3
15	15	10	15	10	10		

Iz tablice 3 je vidljivo da su američki proizvođači u svojim najnovijim specifikacijama još više pooštrili zahtjeve tražeći da dopušteni gubitak mase bude najviše 10 mg. Njemačka tvrtka ZF u svojim normama, za ocjenu svojstava protiv trošenja, zahtijeva ispitivanje na modificiranom FAG FE8 ispitnom uređaju s INA ležajima (INA FE8), dok Ford, svojom MERCON V specifikacijom propisuje dodatna ispitivanja na uređajima FZG, 4-Ball, Timken i Falex. Svojstva protiv trošenja tarnih obloga ispituju se prilikom izvođenja ispitivanja tarnih svojstava.

Tarna svojstva

Ispitivanje tarnih svojstava ulja je naročito važno za pouzdan i nesmetan rad mjenjača. Kako se uključivanje stupnjeva prijenosa odvija pomoću lamelastih spojki i pojasnih kočnica obloženih tarnim oblogama, vrijednosti koeficijenta trenja, odnosno zakretnih momenata moraju biti u točno određenim, dopuštenim granicama. Istovremeno se od ulja traži i zadržavanje traženih vrijednosti koeficijenata trenja tijekom eksploatacije. Upravo tarna svojstva predstavljaju osnovnu razliku između pojedinih ulja za automatske mjenjače, ali i samih specifikacija pojedinih proizvođača.

Iz tablice 4 je vidljivo da američki proizvođači za ispitivanje tarnih svojstava koriste SAE No.2 ispitni uređaj za razliku od njemačkog proizvođača ZF koji, za ispitivanje tarnih svojstava ulja za automatske mjenjače osobnih vozila, koristi ispitni uređaj

DKA. Tvrtka ZF u svojoj normi ZFN 13015, kojom specificira radna svojstva ulja za automatske mjenjače gospodarskih vozila, zahtijeva ispitivanje tarnih svojstava na tri vrste lamela uz korištenje sinter tarnih obloga ili obloga od celuloznih vlakna. Time zasigurno pravi razliku od postupaka ispitivanja ulja namijenjenih konstrukcijama automatskih mjenjača za osobna vozila. Osim što proizvođači koriste različite ispitne uređaje i uvjete ispitivanja, za svoja ispitivanja upotrebljavaju i različite tarne obloge. Iz tablice 4 je također vidljiv trend američkih proizvođača za produljenjem ispitivanja, stavljajući na taj način naglasak na trajnost tarnih obloga, odnosno na mogućnost produljenja vremena potrebnog za izmjenu ulja. Iz tablice 4 je također vidljivo da samo DEXRON specifikacija predviđa ispitivanja tarnih svojstava pojasnih kočnica.

Tablica 4: Uvjeti ispitivanja tarnih svojstva

		DEXRON				MERCON		MER- CON V	ZFN 13014
		IID ('73)	IIE ('91)	IIIG (May '97)	IIIH (Apr. '03)	(Feb. '87)	(Sep.'92)	('97)	('00)
lamelasta spojka:									
		SAE No. 2 test							DKA test
tarna obloga		SD 715	SD1777	SD1777	SD1777	SD1777	SD1777	SD1777	BW4329
br. ciklusa		18 000	18 000	18 000	27 000	4 000	15 000	20 000	10 000
pojasna kočnica:									
		-	SAE No .2 test			-	-	-	-
tarna obloga		-	1473.2	1473.2	1473.2	-	-	-	-
br. ciklusa		-	24 000	24 000	24 000	-	-	-	-

U najnovije vrijeme, sa sve širom uporabom automatskih mjenjača u osobnim vozilima koji koriste zatvarač u pretvaraču zakretnog momenta s mogućnošću računalnog upravljanja proklizavanjem, ispitivanje tarnih svojstava pri malim brzinama je postalo sastavni dio specifikacija namijenjenih osobnim vozilima. Ova svojstva su neophodna za učinkovito prenošenje snage kao i zbog sprječavanja vibracija ili podrhtavanja, koja se mogu pojaviti ako promjena koeficijenta trenja s brzinom postane negativna (tj. kada koeficijent trenja pada s porastom brzine). Za ispitivanje tarnih svojstava pri malim brzinama General Motors i Ford koriste modificirani SAE No.2 ispitni uređaj uz uporabu tarnih obloga na osnovi ugljičnih ili celuloznih vlakana, dok ZF koristi GWK ispitne uređaje s Borg Warnerovom tarnom oblogom SD 1473-2.

Premda današnja aditivna tehnologija uglavnom zadovoljava sadašnje zahtjeve specifikacija, ispitivanje tarnih svojstava ulja u kontaktu s tarnim elementima prijenosnika će biti presudno za budući razvoj aditivne tehnologije, posebice modifikatora trenja koji će omogućiti ispunjenje osnovnih zahtjeva tarnih svojstava, kao što su optimalni koeficijent trenja uz njegovo zadržavanje u traženim granicama,

ali i ponašanje pri malim brzinama proklizavanja. Ispitivanja tarnih svojstava donosi mnogobrojne spoznaje korisne za formuliranje ulja i tekućina i za ostale konstrukcije mjenjača koje se također oslanjaju na uporabu tarnih spojki, a sve na zadovoljstvo korisnika koji traže, prije svega, potpunu funkcionalnost svojih mjenjača.

Područje primjene i razina kvalitete ATF ulja za europske konstruktore i proizvođače vozila i opreme

Specifičnost zahtjeva za kvalitetom ulja za automatske mjenjače pojedinih konstruktora i proizvođača vozila i opreme također se ogleda i u njihovim publikacijama listi odobrenih proizvoda, servisnih knjižica ili specifikacija za radne tekućine. Pregledom navednih publikacija uočava se i različitost njihovih servisnih sustava.

Utjecaj američke specifikacije DEXRON® na europske konstrukcije je vidljiv, premda je on danas sve manje izražen. Primjerice tvrtka ZF odbija bilo kakvu povezanost s DEXRON® specifikacijom, navodeći da je ZF, u svojim zahtjevima za kvalitetom ATF ulja, prvenstveno orijentiran na konstrukcije mjenjača gospodarskih vozila. Osebnost njihove filozofije je vidljiva i u publiciranju mnogobrojnih klasa maziva kojima pokrivaju različita mjesta primjene, odnosno grupe svojih proizvoda (tab. 5).

Tablica 5: Područje primjene i razina kvalitete ulja za automatske mjenjače tvrtke ZF Friedrichshafen

ZF TE ML	03D	04D	09	11	14	16L, M,N	17C
hidrodinamički prijenosnik ERGOPOWER	•						
brodska kopča		•					
hidropravljajući mehanizam			•				
automatski mjenjač - osobna vozila				•			
automatski mjenjač - gospodarska vozila					•		
mjenjač za šinska vozila ECOMAT						•	
prijenosnik viličara s kosim i planetarnim zupčanicima							•

Za automatske mjenjače osobnih vozila publiciraju liste ZF TE-ML 11A i 11B, koje su namijenjene samo za ulja za drugo punjenje starijih konstrukcija automatskih mjenjača do četiri stupnja prijenosa. Za novije konstrukcije s pet, šest ili čak sedam stupnjeva dopuštaju uporabu samo tvorničkog punjenja, kao punjenja za cijeli životni vijek vozila.

Za automatske mjenjače gospodarskih vozila namijenjene su liste ZF TE-ML 14A, 14B, 14C i 14E. Lista ZF TE-ML 14A uključuje ulja mineralne osnove s predviđenim intervalima zamjene ulja do najviše 30 000 km. Listom 14B su predstavljena ulja djelomično sintetičke osnove s intervalima zamjene do 60 000 km, a liste ZF TE-ML 14C i ZF TE-ML 14E su predviđene za ulja potpuno sintetičke osnove s intervalima 120 000 odnosno 150 000 km.

Tablica 6: Područje primjene i razina kvalitete ulja za automatske mjenjače Voith

PODRUČJE PRIMJENE	Voith H55.63: 533 (G 607)	Voith H55.63: 333 (G 1363)
DIWA i Midimat mjenjači uobičajeni intervali zamjene	•	
DIWA mjenjači produljeni intervali zamjene		•
RAZINA KVALITETE		
GM Dexron IID	•	
GM Dexron IIE		•
GM Dexron III	•	•

Tablica 7: Područje primjene i razina kvalitete ulja za automatske mjenjače vozila MAN

PODRUČJE PRIMJENE	339 Typ A	339 Typ D	339 Typ D ZF Ecomat 120000 km	339 Typ F	339 Typ F ZF Ecomat 120000 km	339 Typ F ZF Ecomat 150000 km
MJENJAČ						
ZF sinkronizirani mjenjač		•	•	•	•	•
ZF, Voith automatski mjenjač		•	•	•	•	•
ZF, Voith automatski m., <-45°C		•	•	•	•	•
Allison mjenjač		•	•	•	•	•
Renk Doromat	•					
HIDRAULIČKI UREĐAJI						
hidraulički upravljač		•	•	•	•	•
upravljanje osovinama		•	•	•	•	•
hidraulika kiperi		•	•	•	•	•
hidrauličko ogibljenje		•	•	•	•	•
RAZINA KVALITETE						
MJENJAČ						
GM Type A Suffix A	•					
GM Dexron II D		•				
GM Dexron II E			•			
GM Dexron III				•	•	•

Za razliku od tvrtke ZF, njemački proizvođač transmisija Voith Turbo ima mnogo jednostavniji sustav publiciranja listi odobrenih proizvoda. Za svoje proizvode dozvoljava dvije vrste ulja. Ulja s uobičajenim rokovima zamjene, koji se kreću od 30000 do najviše 60000 km, a u skladu sa zahtjevima Voith H55.633533 (G 607), i ulja namijenjena za produljene robove zamjene do najviše 120000 km, a u skladu sa

zahtjevima Voith H55.633633 (G 1363). Iz tablice 6 je vidljiva povezanost sa specifikacijama DEXRON.

Njemački proizvođač gospodarskih vozila MAN Nutzfahrzeuge nema vlastitu proizvodnju automatskih mjenjača, već ih kupuje od Voitha i ZF. Zato su njihovi zahtjevi podređeni zahtjevima dvaju prethodno navedenih proizvođača.

DaimlerChrysler za svoja vozila Mercedes-Benz publicira MB 236.X liste odobrenih ulja za automatske mjenjače, koje se u osnovi razlikuju po tarnim svojstvima ulja u tribološkom kontaktu. Upravo zbog specifičnosti tarnih svojstava pojedine vrste ATF ulja, odnosno korištene aditivne tehnologije, stuttgartski proizvođač vozila DaimlerChrysler je dopustio primjenu pojedinih ulja prema tablici 8.

Tablica 8: Područje primjene i razina kvalitete ulja za automatske mjenjače vozila Mercedes-Benz

PODRUČJE PRIMJENE	236.1	236.2	236.3	236.5	236.6	236.7	236.8	236.81	236.9
OSOBNA VOZILA									
razdjelnik pogona (4 Matic)					•				
mehanički upravljač LO75Z			•						
hidraulički upravljač			•						
ručni mjenjač		•			•				
MB automatski mjenjač	•				•	•	•*	•	•
TERENSKA VOZILA									
mehanički upravljač			•						
hidraulički upravljač			•		•	•			
MB ručni mjenjač		•							
MB automatski mjenjač	•				•	•	•*		•
GOSPODARSKA VOZILA									
mehanički upravljač		•	•						
Allison mjenjač	•	•		•	•	•	•		
Voith, ZF automat. mjenjač	•				•	•	•	•	•
hidraulički upravljač		•	•		•	•			
hidraulički pogon ventilatora		•	•						
MB automatski mjenjač	•				•	•		•	
UNIMOG, MB-trac									
zatvarač diferencijala		•	•						
hidraulički upravljač		•							
RAZINA KVALITETE									
GM Type A Suffix A		•							
GM Dexron II D	•			•	•	•			
GM Dexron II E							•		
GM Dexron III	•								•
Allison C-4	•	•		•	•	•	•		
ZF TE ML 14							•		•
ZF TE ML 09								•	
Voith G 607							•	•	•
Voith G 1363							•	•	

*samo za arktičko područje

Iako njemački proizvođač vozila navodi da svoja ulja razvija prema vlastitim zahtjevima, moguće je naći vezu sa zahtjevima specifikacija drugih proizvođača, a

kako je navedeno u tablici 8. Otkako je u primjenu uveo dijagnostičke sustave za praćenje stanja uljnog punjenja, DaimlerChrysler za svoja vozila ne navodi predviđene intervale zamjene ulja.

Zaključak

- Pregledom ključnih zahtjeva za kvalitetom radnih tekućina za automatske mjenjače, kao i uvidom u specifičnosti zahtjeva za primjenom, istaknutih svjetskih konstruktora i proizvođača automatskih mjenjača ili vozila u koja se ugrađuju, moguće je doći do sljedećih zaključaka:
- Konstrukcijske promjene automatskih mjenjača zadnjih godina rezultirale su novim, pooštrenim zahtjevima radnih svojstava ulja za automatske mjenjače;
- Opcijske konstrukcije automatskih mjenjača traže nove tehnologije za svoje radne tekućine;
- Zahtjev za poboljšanim niskotemperaturnim svojstvima, uz istovremene oštrije zahtjeve za oksidacijskom i smičnom stabilnošću, traži uporabu kvalitetnijih baznih ulja API grupe II ili III, pa čak i korištenje isključivo sintetičkih baznih ulja;
- Premda današnja aditivna tehnologija uglavnom zadovoljava sadašnje zahtjeve specifikacija, ispitivanje tarnih svojstava ulja u kontaktu s tarnim elementima prijenosnika je presudno za budući razvoj aditivne tehnologije, posebice modifikatora trenja;
- Razvoj tehnologije materijala korištenih za konstrukcijske dijelove prijenosnika i njihov adekvatan izbor će uz optimiranje tarnih svojstava predstavljati osnovu poboljšane funkcionalnosti i djelotvornosti automatskih mjenjača;
- Prelazak na kvalitetnija bazna ulja i poboljšanu aditivnu tehnologiju omogućiti će produljeni životni vijek i istovremeno poduprijeti proizvođače, odnosno konstruktore automatskih mjenjača u ostvarivanju ideje "uljno punjenje za cijeli životni vijek vozila" kao ciljane strategije njihova budućeg servisnog sustava za komercijalna vozila;
- U međuvremenu će djelovati dosadašnji servisni sustav izdavanja Approvala i publiciranja lista odobrenih maziva za servisno punjenje, kao svojevrsna utjeha proizvođačima maziva za drugo punjenje.

PERFORMANCE REQUIREMENTS FOR AUTOMATIC TRANSMISSION FLUIDS

Abstract

According to the newest market demands for automotive fuel economy and reduced emissions, the automatic transmissions development continues to emerge as a key factor of improving the fuel efficiency of vehicles with internal combustion engines.

At the same time the new automatic transmission designs require improved type of lubricants also. This paper gives the review of the current performance requirements for automatic transmission fluids.

Introduction

Vehicles equipped with automatic transmission have been known from before for their high fuel consumption. Such transmission, with relatively slow systems not permitting easy inclusion of transmission ratio steps, and also with frequent unnecessary changes of gear steps, were apt only for steady and uniform driving on long sections. This is also the reason why these transmission designs – unlike in the United States – were not that welcomed in Europe whose geography does not permit such style of driving. The latest requirements for reduced fuel consumption and the fact that today's internal combustion engines have been brought nearly to perfection and as such do not leave much room for efficiency improvements, have speeded up the development of new automatic transmission designs.

Conventional Automatic Transmission

Although automatic transmission has not had any significant design changes since the 40s, advancements have been achieved primarily through the introduction of computer-operated control system enabling easier i.e. faster shifting. Apart from that, the introduction of blocking of the torque converter with the possibility of computer-operated rate of sliding has enabled additional efficiency advancements of automatic transmission. Further advancements go in the direction of developing automatic transmission with six (ZF 6HP) or even seven gears (Mercedes-Benz 7G-Tronic, ZF 7P) or again the development of automatic transmission allowing for the manual shifting of gears such as Porsche Tiptronic transmission developed by Porsche in co-operation with ZF and Bosch, while today it is applied also in other passenger vehicles, such as Audi, VW, Mercedes-Benz, Peugeot and many others.

Semi-automatic Transmission or Manual Transmission with Automatic Clutch Engagement

Lately, as an alternative to conventional automatic transmission, there have been manual transmission designs with the possibility of automatic clutch engagement enabling considerable fuel savings with regard to conventional automatic transmission. Such design appeared for the first time a dozen years ago in Ferrari

F355 F1, while its variant is also available in Alfa Romeo 156 vehicles under the name of Selespeed. Transmission with double friction clutch, known for some time in the automobile sports, such as BorgWarner's DualTronic, ZF Sachs' Dual-Clutch or Volkswagen's DSG (Direktschaltgetriebe) are also becoming a most interesting design solution enabling major fuel savings with regard to conventional automatic transmission.

Continuously Variable Transmission

Continuously Variable Transmission, popularly known as CVT, constitutes another optional solution enabling considerable fuel reduction, while at the same time keeping all the advantages of conventional automatic transmission. The first sketches of this transmission were made by Leonardo da Vinci back in 1490, but the first design was carried out by engineers Benz and Daimler only in 1886. Their design was based on tapered pulleys with transmission belt, while in the 30s General Motors began developing CVT transmission with friction wheels. In 1958, the Dutch vehicle manufacturer Van Doorne's Aahangwagen Fabriek (DAF) first began serially incorporating this transmission into its passenger vehicles under the name of Variomatic. However, due to the impossibility of transmitting higher powers and a disconcerting noise generation, this transmission has almost been forgotten. The appearance of new materials enabled rebirth of this transmission, so that today ZF-Ecotronic continuously variable belt transmission is present in vehicles BMW-Mini, MG F, Rover 25 and 45 or the Audi Multitronic transmission in Audi's A6 series. Apart from CVT with belt (or chain) under application are also designs with friction wheels, such as Nissan's Extroid or Torotrak's IVT.

The Possibility of Applying Optional Design Solutions and Development of Operating Fluids

Although all these optional designs of automatic transmission offer major advancements in the sense of fuel consumption reduction, due to the impossibility of transmitting higher torques, their application is limited only to passenger vehicles. That is why commercial vehicles exposed to high loads still retain the concept of conventional automatic transmission, only advanced by computer-operated control. Since reliability is very important in commercial vehicles, further advancements may be achieved by using new design materials or diagnostic systems, such as, for example, those that may be met in the Voith company transmission. Such a development of automatic transmission designs has lately resulted in the need to advance the existing or develop completely new types of operating fluids. It imposes the change of requirements for the operating properties of automatic transmission oils which may enable full efficiency of new transmission designs.

Operating Properties Requirements of Automatic Transmission Oils

Since the basis of a conventional automatic transmission is the system of planetary gears, the automatic transmission oil is expected to efficiently lubricate the gears. However, at the same time, the oil has to act also as a hydraulic oil which will enable the complex hydraulic system to easily shift gears, while enabling easy operation of

the hydraulic torque converter acting as clutch connecting the input shaft with the system of planetary gears.

That is why the automatic transmission oil has to fulfill many tasks, such as wear and corrosion protection, efficient lubrication of moving parts, facilitated shifting, efficient heat conductance, while at the same time maintaining a proper friction coefficient. Furtherly, automatic transmission oils must be compatible with all the system components, have oxidation and thermal stability, foam prevention and air release, as well as the proper viscometric properties. Table 1 lists some of the key operating properties' requirements of oils for conventional automatic transmission, as well as requirements for optional automatic transmission designs.

Table 1: Key operating properties' requirements of automatic transmission oils

Conventional automatic transmission	CVT		double clutch transmission
	with belt	with friction plates	
thermal-oxidation stability	same as conventional automatic transmission	same as conventional automatic transmission	same as conventional automatic transmission
low-temperature properties			
shear stability	additional requirement for finding optimal friction properties between two metal surfaces	additional requirement for increased friction coefficient	additional antiwear properties (pitting and synchronizers)
antiwear properties			
friction properties			
material compatibility			

Basically, operating properties of automatic transmission oils are defined by specifications of designers and manufacturers of automatic transmission or the vehicles they are built in. They establish test procedures and criteria for the above operating performances. Specifications also set procedures for obtaining application approvals. Unlike specifications which are commercially available, such as General Motors's DEXRON or Ford's MERCON specifications, many of them are mostly inaccessible and constitute intellectual property of the given manufacturer.

Specifications of individual manufacturers differ among themselves primarily in terms of requirements resulting from specific designs of transmissions themselves. They at the same time reflect the difference of the individual manufacturers' servicing systems. The said inconsistencies also result from different market orientation. Namely, specifications of Northern American automatic transmission manufacturers, such as the General Motors' DEXRON and Ford's MERCON, describe performance requirements of oils for passenger vehicles automatic transmission, unlike the European manufacturers Voith or ZF whose specifications describe performance requirements of automatic transmission oils primarily for commercial vehicles. Since the application of automatic transmission has in the United States been adopted for over fifty years now, the impact of American specifications on other manufacturers – especially when it comes to DEXRON

specifications, may still be observed. This specification provides the basic guidelines for the development of specifications for automatic transmission oils. Still, due to specific designs and the development of their own servicing system, other manufacturers have recently begun to define their requirements through their own specifications.

Although operating performances of automatic transmission oils have been defined through automobile industry specifications, a considerable quantity of these oils has also other applications, apart from automotive automatic transmission. That is why these oils are used in various industrial hydraulic systems, shipping and transportation, for vehicle hydraulic steering systems, screw compressors, and to a large extent also for the transmission of heavy-duty construction machinery. However, since the latest construction machinery transmission designs require specialized operating fluids, their quality has lately been defined through special specifications, such as Caterpillar TO-4, Case MS 1230, Komatsu KES 07.868.1 or ZF ZFN 13011. Operating fluids meeting these specifications must enable an extreme antiwear protection and offer proper friction properties.

Due to different specifications, there have been attempts to co-ordinate quality requirements for automatic transmission oils, primarily through the initiative of task forces of the CEC - Coordinating European Council and JASO - Japanese Automobile Standards Organization. However, only several test procedures have been coordinated, although JASO in 1998 issued a standard for ATF oils marked JASO M315-98. Japanese manufacturers of automatic transmission and vehicles have thus obtained a common standard for automatic transmission oils of passenger and commercial vehicles. JASO M315-98 specifies only the basic requirements, while specific requirements are defined by the manufacturer himself, but according to test procedures set by the said standard. The standard classifies oils into two classes. Class 1 defines oils with friction modifiers content enabling superior properties against vibration, while class 2 does not contain the said friction modifiers.

However, regardless of different test procedures enabling an easy comparison of individual manufacturers' requirements, the review of their specifications still allows for some insights into the future quality requirements of automatic transmission oils. This is especially important for manufacturers and formulators of this type of operating fluids.

Comparative Presentation of ATF Oils Operating Performances

Oxidation Stability

Due to requirements for reduced fuel consumption, today's automatic transmission designs are becoming increasingly lighter and smaller. At the same time they are required to transmit higher torques, resulting in increased thermal load per operating fluid volume unit. These loads, along with the requirement for an extended oil fill service life, require very persistent automatic transmission oils when it comes to

oxidation. Thus the oxidation stability of automatic transmission oils constitutes one among the key requirements that the oil must meet.

The testing of oxidation stability according to the General Motors' DEXRON specifications is performed on the automatic transmission, type Hydra-Matic 4L60E, at the temperature of 163°C. The requirement is expressed through permitted acid number change over a given test duration time.

Diagram 1: Oxidation stability set by specification GM DEXRON®

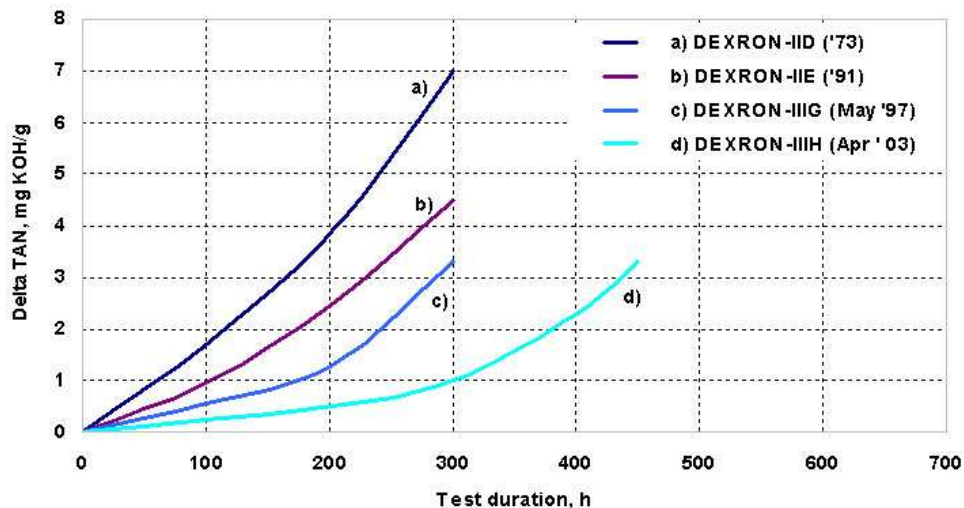
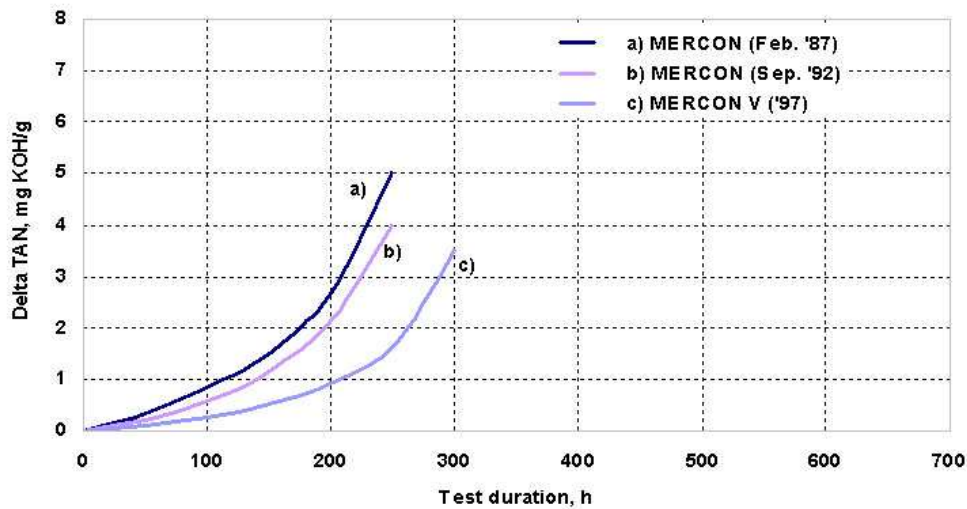


Diagram 1 shows that with the development of DEXRON specifications, the requirement for the oxidation stability of operating fluids has been becoming increasingly stringent, which is why the oils are required to tolerate increased thermal loads. This points to an increased use of good quality base oils in automatic transmission oils formulations, i.e. a gradual passage from the base oils of API group I to those of API groups II, III or IV.

Testing of oxidation stability according to Ford's MERCON specifications: the so called ABOT test (Aluminium Beaker Oxidation Test), is performed in an aluminum vessel at the temperature of 155°C. The requirement is also expressed through the permitted acid number change given the specific test duration. Diagram 2 shows that, with the development of MERCON specifications, the requirement for the oxidation stability of operating fluids is also becoming increasingly stringent.

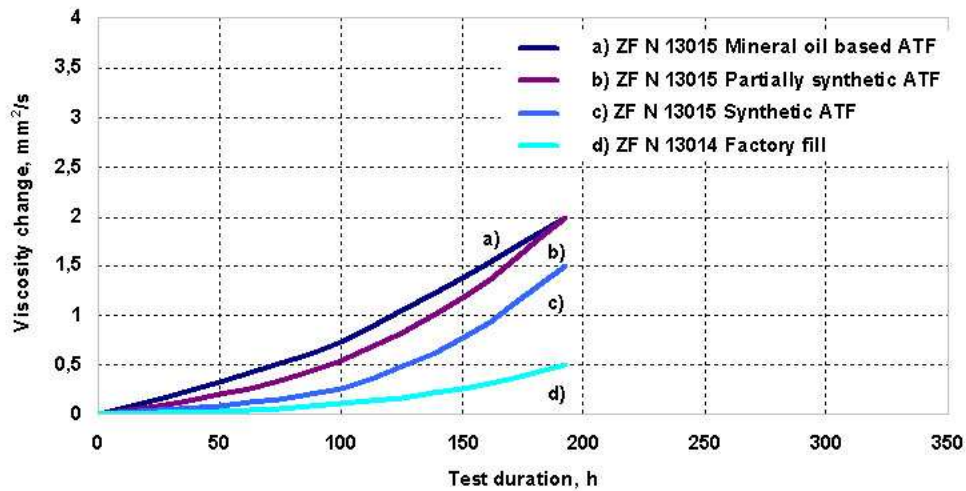
Diagram 2: Oxidation stability set by specification Ford MERCON®



Unlike the above American specifications, the German transmission manufacturer ZF Friedrichshafen tests oxidation stability according to the method CEC L-48 at the temperature of 170°C for synthetic or semi-synthetic operating fluids, and for mineral-based fluids at the temperature of 160°C. The requirement is expressed through permissible change of kinematic viscosity over a specified test duration time.

Diagram 3 in this case does not show the temporal development of the specifications, but already the first glance reveals a different approach to requirement development with regard to American specifications. Namely, ZF in its standard ZFN 13015 (2000-12) provides requirements for the operating performances of automatic transmission oils in three categories. One is for mineral fluids, another for semi-synthetic and the third for fully synthetic fluids. However, each category has different estimated longest oil fill change intervals. Although such different requirements result in somewhat more complex servicing system than the one represented by the American manufacturer General Motors, ZF is thus enabled to use different construction materials. Namely, design development of General Motors' automatic transmission is to a certain extent limited by their servicing system philosophy allowing for only one oil quality, which may be applied in all their designs, including the oldest ones. By its specification MERCON V from 1996, Ford gave up General Motors' approach, so that oils that match this specification are not entirely recommended for use in older Ford's transmission designs.

Diagram 3: Oxidation stability set by corporate specifications of ZF Friedrichshafen

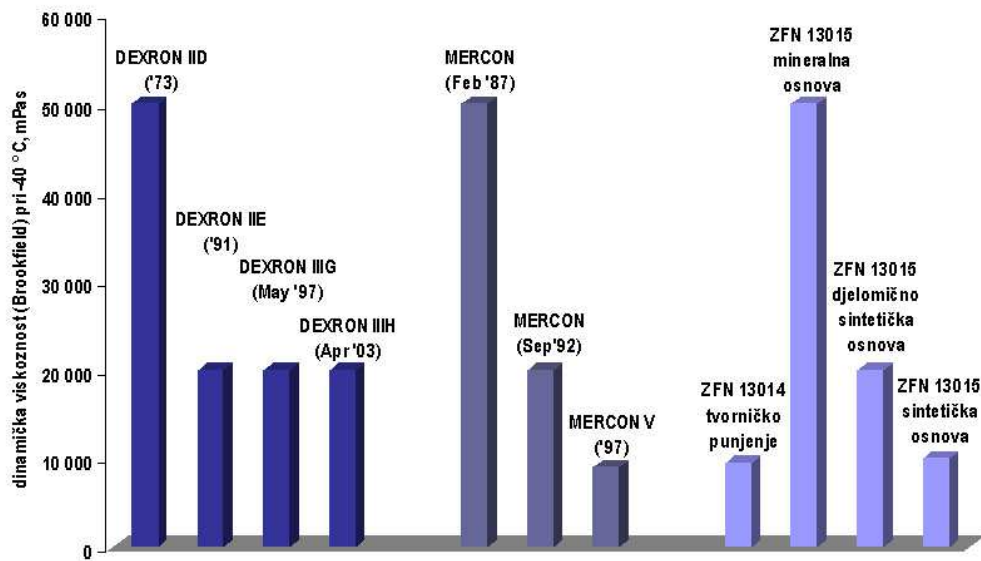


Requirement for oxidation stability, whether it is expressed by highest permissible acid number change, kinematic viscosity change or the infrared spectrum change, clearly shows that manufacturers require good quality base oils in their specifications. The ZFN 13014 (2000-12) standard, providing oil quality requirements for the factory fill of passenger vehicles automatic transmission, merely confirms the manufacturers' efforts towards enabling extended oil fill change intervals, and, in the case of passenger vehicles, factory fill for life.

Low-temperature Properties

Correct operation of sophisticated electronic and computer-operated steering systems require proper rheological properties even at the lowest temperatures. The requirement is, in the case of all manufacturers' specifications, expressed as the highest permissible value of dynamic viscosity at the temperature of -40°C , measured by Brookfield viscosimeter. Diagram 4 shows that the manufacturers tend towards ever lower dynamic viscosity values. Thus the latest Ford's specification MERCON V requires automatic transmission oils with the highest permissible dynamic viscosity value of $9000 \text{ mm}^2/\text{s}$, measured at the temperature of -40°C , while the company ZF Friedrichshafen, for its factory fill of passenger vehicles automatic transmission prescribes – at the same temperature – the dynamic viscosity value of $9500 \text{ mm}^2/\text{s}$ at the most. For its service fills of commercial vehicles automatic transmission, ZF in its standard ZFN 13015 (2000-12) again allows for different values, depending on the composition and the envisaged oil fill change intervals. For its fully synthetic oils, the company ZF allows for the highest dynamic viscosity value of $10000 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Diagram 4: Low temperature properties



/Dynamic viscosity; factory fill; semi-synthetic basis; fully synthetic basis/

The said data clearly go in favour of the requirement for passing to better quality base oils, in certain cases those fully synthetic. Due to a simultaneous requirement for shear stability, the use of viscosity index improvers must be limited.

Shear Stability

The requirement reflects the desire of automatic transmission designers and manufacturers for persistent rheological properties of operating fluids even at increased temperatures. Namely, due to mechanical stress to which operating fluids are exposed, there occurs the desintegration of molecules, especially those with higher molecular mass, and hence also a permanent viscosity decrease. The requirement is expressed through the lowest permissible kinematic viscosity decrease at 100°C after testing.

Table 2 clearly shows the difference in determining shear stability of automatic transmission oils i.e. test type. American manufacturers General Motors and Ford in order to determine shear stability use the so called Turbo Hydra-matic Cycling Test - THCT, while the German manufacturer ZF Friedrichshafen uses Volkswagen's test on the tapered-roller bearing, according to the standard DIN 51350-6-KRL/C.

Table 2: Shear Stability

DEXRON				MERCON		MERCON V	ZFN 13014
IID ('73)	IIE ('91)	IIIG (May '97)	IIIH (Apr. '03)	(Feb. '87)	(Sep.'92)	('97)	('00)
Turbo Hydra-matic Cycling Test (THCT)							(KRL) tapered-roller bearing test DIN 51350-6
THM 350	Hydra-matic 4L60		THM 350	Hydra-matic 4L60			
20 000 cycles		32 000 cycles	20 000 cycles				
kinematic viscosity before / after test at 100 °C, mm²/s							
min. 5,5/ min. 5,5	report / min. 5,0	report / min. 5,0	report / min. 5,0	min. 6,8/ min. 5,5	min. 6,8/ min. 5,5	min. 6,8/ min. 6,0	5,4-5,6/ min. 5,2

The ZF company sets its requirements for factory fill of passenger vehicles automatic transmission in its standard ZFN 13014 (2000-12), shown in Table 2. Requirements for oils for service fill of commercial vehicles automatic transmission are described in the standard ZFN 13015 (2000-12), in which ZF again permits different values depending on the composition and the envisaged oil change intervals. The values range from min. 5.3 mm²/s for mineral based oils to 5.7 mm²/s for fully synthetically-based oils. Volkswagen' shear stability test on the tapered-roller bearing was in their latest specifications adopted also by the American manufacturers Ford and DaimlerChrysler, ever since the said shear stability test has become the most likely choice of ILSAC (International Lubricant Standardization and Approval Committee).

According to the latest issue of specification DEXRON III from April last year, General Motors has increased the number of gear changes on Hydra-matic 4L60 transmission from 20000 to 32000 cycles. In its latest specification MERCON V, Ford has – with the same number of gear changes, rendered its requirement more stringent by increasing the lowest permissible kinematic viscosity value after the test from 5.5 to 6.0 mm²/s. Such increasingly strigent requirement for shear stability results in reduced viscosity modifier content in formulations of automatic transmission oils or possibly the use of more shear-stable viscosity modifiers with a simultaneous transfer to better quality base oils.

Antiwear Properties

Automatic transmission oils must offer a proper antiwear protection. That is why satisfactory antiwear properties are essential for the durability of automatic transmission components, while they at the same time support the extended oil life intervals idea. For evaluating antiwear properties, the American manufacturers use Vickers' vane pump. The results are expressed in terms of reduced mass of the vanes and of the pump ring after the test is completed.

Table 3: Antiwear Properties

DEXRON				MERCON		MERCON V	ZFN 13014 ZFN 13015
IID ('73)	IIE ('91)	IIIG (May '97)	IIIH (Apr. '03)	(Feb. '87)	(Sep. '92)	('97)	('00)
Vickers pump (ASTM D-2882), mass loss, mg, max.							test rig FE8 DIN 51819-3
	15	15	10	15	10	10	

Table 3 shows that American manufacturers have in their latest specifications rendered their requirements even more stringent by asking that the permissible mass loss be 10 mg at the most. The German ZF company requires in its standards, when it comes to antiwear properties evaluation, testing on the modified FAG FE8 test device with INA bearings (INA FE8), while Ford, with its MERCON V specification, sets additional tests on devices FZG, 4-Ball, Timken and Falex. Antiwear properties of friction plate are tested during the testing of friction properties.

Friction Properties

The testing of oil's friction properties is especially important for a reliable and unhindered gear shift operation. Since gears are shifted with plate-like clutches and belt brakes coated with friction plates, the friction coefficient i.e. torque values must fall within the exact permissible limits. At the same time, oil is required to maintain the required friction coefficient values throughout exploitation. Friction properties are the ones constituting the basic difference among individual automatic transmission oils, but also among the individual manufacturers' specifications.

Table 4 shows that American manufacturers, when it comes to the testing of friction properties, use the SAE No.2 test device, unlike the German manufacturer ZF which for the testing of passenger vehicle automatic transmission oils friction properties uses the test device DKA. The ZF company in its standard ZFN 13015, specifying the operating properties of commercial vehicle automatic transmission, requires the testing of friction properties on three kinds of plates with the use of sintered friction plates or those made of cellulose fibers. This certainly makes the difference in comparison with test procedures of oils intended for passenger vehicle automatic transmission design. Apart from using different test devices and conditions, the manufacturers also use different friction plates for their tests. Table 4 also shows the trend of American manufacturers in terms of prolonged tests, thus putting the stress on the durability of friction materials i.e. the possibility of prolonging the oil life. Table 4 furtherly shows that only the DEXRON specification envisages the testing of friction properties of belt brakes.

Table 4: The Friction Properties Test Conditions

		DEXRON				MERCON		MERCONV	ZFN 13014
		IID ('73)	IIE ('91)	IIIG (May '97)	IIIH (Apr. '03)	(Feb. '87)	(Sep. '92)	('97)	('00)
		plate clutch:							
		SAE No. 2 test						DKA test	
friction panel	SD 715	SD177 7	SD1777	SD1777	SD1777	SD1777	SD1777	BW4329	
cycle no.	18 000	18 000	18 000	27 000	4 000	15 000	20 000	10 000	
		belt brake:							
		SAE No. 2 test				-	-	-	-
friction panel	-	1473.2	1473.2	1473.2	-	-	-	-	
cycle no.	-	24 000	24 000	24 000	-	-	-	-	

Lately, with the widened use of passenger vehicle automatic transmission using blocking in the torque converter with the possibility of computer controlled sliding, testing friction properties at low speeds has become an integral part of specifications intended for passenger vehicles. These properties are essential for an efficient power transfer as well as the prevention of vibrations or rattle which might occur if the friction coefficient change with the speed becomes negative (i.e. when friction coefficient decreases with speed increase). For the testing of friction properties at low speeds, General Motors and Ford use modified SAE No.2 test device with the use of friction plates based on carbon or cellulose fibres, while ZF uses GWK test devices with Borg Warner's friction plate SD 1473-2.

Although today's additive technology mostly meets the current specification requirements, the testing of oil's friction properties in contact with friction elements of the transmission shall be decisive for the future development of additive technology, especially friction modifiers enabling the meeting of basic friction properties requirements, such as optimal friction coefficient with its keeping within requested limits, but also behaviour at low sliding speeds. The testing of friction properties brings many realizations of use for the formulation of oils and fluids and for other transmission designs also relying on the use of friction clutches, to the satisfaction of customers who require above all an utmost functionality of their gearboxes.

Application Area and Quality Level of ATF Oils for European Vehicle and Equipment Designers and Manufacturers

Specific automatic transmission oil quality requirements of some vehicle and equipment designers and manufacturers reflect also in their publications of approved products lists, service booklets or operating fluids specifications. A review of the said publications reveals differences among their servicing systems.

The impact of the American specification DEXRON® on European designs is visible, although today it is less pronounced. For instance, ZF company denies any connection with DEXRON® specification, stating that ZF is, in its quality

requirements of ATF oils, primarily oriented towards commercial vehicles transmission designs. The peculiarity of their philosophy may be seen also in the publication of many lubricant classes covering different application spots, i.e. their product groups (Table 5).

Table 5: Application Area and Quality Level of Automatic Transmission Oils Manufactured by ZF Friedrichshafen

ZF TE ML	03D	04D	09	11	14	16L, M,N	17C
hydrodynamic transmission ERGOPOWER	•						
marine gearbox		•					
hydraulic-steering mechanism			•				
automatic transmission - passenger vehicles				•			
automatic transmission - commercial vehicles					•		
transmission for railway vehicles ECOMAT						•	
forklift transmission with helical and planetary gears							•

For passenger vehicle automatic transmission, the following lists are published: ZF TE-ML 11A and 11B, intended only for oils for the service fill of older automatic transmission designs with four gears. For the new designs with five, six, or even seven gears, they only allow factory fill use, as a factory fill for life.

Commercial vehicle automatic transmission lists are ZF TE-ML 14A, 14B, 14C and 14E. List ZF TE-ML 14A includes mineral-based oils with envisaged oil life intervals of 30000 km at the most. List 14B encompasses semi-synthetic oils with oil life intervals of up to 60000 km, while the lists ZF TE-ML 14C and ZF TE-ML 14E are envisaged for fully synthetic oils with oil life intervals of 120000 i.e. 150000 km.

Unlike ZF, the German Voith Turbo transmission manufacturer has a much simpler system of publishing approved products lists. For its products, it allows two kinds of oils: Oils with usual oil life intervals, ranging from 30000 to 60000 km at the most, in keeping with the Voith H55.633533 (G 607) requirements, and oils intended for prolonged oil life intervals of up to 120000 km at the most, in keeping with the requirements of Voith H55.633633 (G 1363). Table 6 shows connection with DEXRON specifications.

Table 6: Application Area and Quality Level of Automatic Transmission Oils Manufactured by Voith

APPLICATION AREA	Voith H55 33533 (G 607)	Voith H55.633 33 (G 1363)
DIWA and Midimat transmission usual oil change intervals	•	
DIWA transmission extended oil life intervals		•
QUALITY LEVEL		
GM Dexron IID	•	
GM Dexron IIE		•
GM Dexron III	•	•

The German commercial vehicles manufacturers MAN Nutzfahrzeuge does not have its own automatic transmission production, but rather buys them from Voith and ZF. That is why its requirements are subordinated to those of the two above mentioned manufacturers.

Table 7: Application Area and Quality Level of Automatic Transmission Oils Manufactured by MAN

APPLICATION AREA	339 Typ A	339 Typ D	339 Typ D ZF Ecomat 120000 km	339 Typ F	339 Typ F ZF Ecomat 120000 km	339 Typ F ZF Ecomat 150000 km
TRANSMISSION						
ZF synchronized transmission		•	•	•	•	•
ZF, Voith automatic transmission		•	•	•	•	•
ZF, Voith automatic t., <-45°C		•	•	•	•	•
Allison transmission		•	•	•	•	•
Renk Doromat	•					
HYDRAULIC DEVICES						
hydraulic steering		•	•	•	•	•
steering by axes		•	•	•	•	•
dumper hydraulics		•	•	•	•	•
hydraulic movement/??/		•	•	•	•	•
QUALITY LEVEL						
TRANSMISSION						
GM Type A Suffix A	•					
GM Dexron II D		•				
GM Dexron II E			•			
GM Dexron III				•	•	•

DaimlerChrysler, for its Mercedes-Benz vehicles, published MB 236.X lists of approved automatic transmission oils, which basically differ in terms of friction properties in tribological contact. It is because of the specific friction properties of individual ATF oils type, i.e. the additive technology used, that the Stuttgart vehicle

manufacturer DaimlerChrysler has permitted the application of individual oils according to Table 8.

Table 8: Application Area and Quality Level of Automatic Transmission Oils Manufactured by Mercedes-Benz

APPLICATION AREA	236.1	236.2	236.3	236.5	236.6	236.7	236.8	236.81	236.9
PASSENGER VEHICLES									
drive separator (4 Matic)			•		•				
mechanical steering LO75Z			•						
hydraulic steering			•						
manual transmission		•			•				
MB automatic transmission	•				•	•	•*	•	•
OFFROAD VEHICLES									
mechanical steering			•						
hydraulic steering			•		•	•			
MB manual transmission		•							
MB automatic transmission	•				•	•	•*		•
COMMERCIAL VEHICLES									
mechanical steering		•	•						
Allison transmission	•	•		•	•	•	•		
Voith, ZF automat. transmission	•	•	•		•	•	•	•	•
hydraulic steering		•	•						
hydraulic ventilator drive	•				•	•		•	
MB automatic transmission									
UNIMOG, MB-trac									
differential blocking		•	•						
hydraulic steering		•							
QUALITY LEVEL									
GM Type A Suffix A		•							
GM Dexron II D	•				•	•			
GM Dexron II E							•		
GM Dexron III	•								•
Allison C-4	•	•		•	•	•	•		
ZF TE ML 14							•	•	•
ZF TE ML 09							•	•	•
Voith G 607							•	•	•
Voith G 1363							•	•	•

*only for the Arctic area

Although the German vehicle manufacturer states that its oils are developed according to its own requirements, it is possible to make the connection with the requirements of other manufacturers' specifications, as shown in Table 8. Ever since the introduction of diagnostic systems for monitoring the oil fill condition, DaimlerChrysler does not list envisaged oil fill change intervals for its vehicles.

Conclusion

- The review of key quality requirements of automatic transmission operating fluids, as well as the insight into specific application requirements of renowned

world's designers and manufacturers of automatic transmission or vehicles they are built into, allow for reaching the following conclusions:

- The recent design changes of automatic transmission have resulted in new, more stringent automatic transmission oils operating performance requirements;
- Optional automatic transmission designs require new technologies for their operating fluids;
- Requirement for improved low-temperature properties, with simultaneous more stringent requirements for oxidation and shear stability, requires the use of better quality base oils of API group II or III, or even the use of fully synthetic base oils;
- Although today's additive technology mostly meets the present specification requirements, the testing of friction properties of oil in contact with the friction elements of transmission is decisive for the future development of additive technology, especially friction modifiers;
- Technological development of materials used for structural transmission parts and their adequate choice shall, along with the optimization of friction properties, constitute the basis of improved functionality and efficiency of automatic transmissions;
- Transfer to better quality base oils and improved additive technology shall enable extended service life and at the same time support automatic transmission designers i.e. manufacturers in the realization of their idea of "oil fill for life" as the target strategy of their future servicing system for commercial vehicles;
- In the meantime, the so far servicing system of issuing Approvals and publishing lists of approved lubricants for service fill shall be applied, as a kind of comfort to lubricant manufacturers for the service fill.

Literatura / References:

1. Konzernnorm ZFN 13014, Lebensdaueröl Generation 2 für die Werks- befüllung von Pkw- Automatgetrieben mit geregelter Wandlerkupplung (GWK) - Anforderungsspezifikation, ZF Friedrichshafen AG, 12-2000.
2. Konzernnorm ZFN 13015, Service-ATF für Nkw-Automatikgetriebe - Anforderungsspezifikation, ZF Friedrichshafen AG, 12-2000.
3. Schmierstofflisten TE-ML 03, 04, 09, 11, 14, 16, 17, ZF Friedrichshafen AG, 01.10.2004.
4. List of Lubricants H55.633533, Lubricants approved for DIWA and Midimat transmissions, Voith Turbo GmbH & Co. KG, Version 04-08, 16.08.2004.
5. List of Lubricants H55.633633, Lubricants approved for extended oil change intervals for DIWA transmissions, Voith Turbo GmbH & Co. KG, Version 04-08, 16.08.2004.
6. Betriebsstoff-Vorschriften, Mercedes-Benz, Ausgabe 01, Nachtrag 13, 2004.
7. Wartungs- und Betriebsstoffempfehlungen, MAN Nutzfahrzeuge AG, 09-2003.
8. Werknorm MAN 339, Automatic Transmission Fluid (ATF) - Technische Lieferbedingungen, MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft, November 2003.
9. Ethyl Specification Handbook, Ethyl Corporation, April 2002.

10. Ready Reference for Lubricant and Fuel Performance, The Lubrizol Corporation, 2002.
11. Chevron Oronite Handbook, Classification and Specification - Industrial and Driveline Lubricants, Chevron Oronite Company LLC, June 2002.
12. Ward W.C. jr., Sumiejski J.L., Joseph I.E., Automatic Transmission Lubrication Demands, 13th International Colloquium Tribology, Technische Akademie Esslingen, January 15 - 17. 2002, 1897 - 1905.
13. Birch S., Audi takes CVT from 15th century to 21st century, SAE International, http://www.sae.org/automag/techbriefs_01-00/03.htm
14. Wan M., Transmission, AutoZine, http://autozine.kyul.net/technical_school/gearbox/tech_gear_cvt.htm
15. Dovat F., The Nissan Jatco "Extroid" CVT, Histomobile, <http://www.histomobile.com/histomob/tech/2/90.htm>
16. Dovat F., The revolutionary VW-Audi double clutch transmission, Histomobile, <http://www.histomobile.com/histomob/tech/2/122.htm>
17. Industry issues: Licensed to fill - The new General Motors' DEXRON®-III specification, Infineum Insight - The fuel and lubricant additives industry journal from Infineum International Ltd. 19, September 2003, 1 - 3.
18. Face to face: Jim Linden on his role in the new DEXRON®-III specification, Infineum Insight - The fuel and lubricant additives industry journal from Infineum International Ltd., 19, September 2003, 4 - 5.
19. Industry issues: Trends 2002, Infineum Insight - The fuel and lubricant additives industry journal from Infineum International Ltd., 14, June 2002, 4 - 5.
20. Face to face: Bernd Matthes on dual clutch transmission, Infineum Insight - The fuel and lubricant additives industry journal from Infineum International Ltd., 14, June 2002, 10 - 11.
21. Face to face: Arthur Wetzel on transmission fluids, Infineum Insight - The fuel and lubricant additives industry journal from Infineum International Ltd., 12, December 2001, 10 - 11.
22. Industry issues: Hold on tight, Infineum Insight - The fuel and lubricant additives industry journal from Infineum International Ltd., 8, January 2001, 1 - 3

ključne riječi / key words:		
621.83.069.2	automatski prijenosnici	automatic transmissions
62-3-11	materijal, oblikovanje i konstrukcijske karakteristike	material, design and construction characteristics
.001.6	gledište dosadašnjeg i očekivanog razvoja	viewpoint of contemporary facts and expected development
665.765.1	ulja i materijali automastkih prijenosnika	automatic transmission fluids (ATF) and materials
665.7.035.2	zahtjevi aplikativnih svojstava	performance requirements and application properties
681.532.65	sustav za automatsko upravljanje zakretnog momenta	automatic torque control system
.004.54	gledište servisa održavanja i podmazivanja	viewpoint of maintenance and lubrication service

Autor / Author:

Bruno Novina, dipl.ing.

Maziva-Zagreb d.o.o., Član INA grupe, Radnička c. 175, Zagreb

Primljeno / Received:

30.11.2004.