

A gépjármű-benzinmotorok hidegindításának motorolaj-problémái

Acs Imre mérnök alezredes

A gépjárművek üzemeltetésében fontos szerepe van a téli hidegindításnak. Az ezzel kapcsolatos problémák egyre több gépkocsit érintenek, mert mind az állami, mind a magángépjárművek jelentős hányada parkol szabad ég alatt, sőt ez a hányad egyre nagyobb lesz, hiszen a járműállomány sokkal gyorsabban növekszik, mint a garázsok száma. Magától értetődően rendkívül fontos követelmény a katonai járművek biztonságos és gyors hidegindítása, amelyek — különösen háborús körülmények között — rendszerint állandóan szabadban vannak.

A benzinmotorok eredményes téli indításához meglehetősen magas fordulatszám szükséges, mert a karburátorban megfelelő levegőáramlási sebességet kell elérni ahhoz, hogy a benzin szétporladjon, elpárologjon és a szívóvezetékben minél kisebb mértékben következzen be kondenzáció, ami a hengerbe jutó benzingőz-levegő keverék elszegényedéséhez vezetne. A négyhengeres négyütemű benzinmotorok általában 40—60 ford/perc indítási fordulatszámot igényelnek, hat- és nyolchengeres motorok indításához valamivel kisebb fordulatszám is elegendő.

Minél alacsonyabb az indítási hőmérséklet, annál nagyobb fordulatszám szükséges a benzin elpárologtatásához. Ez a követelmény ellentmondásban van a lehetőségekkel, mert alacsonyabb hőmérsékleten sokkal nagyobb az olaj viszkozitása és ezzel együtt a súrlódási ellenállás, ugyanakkor csökken az akkumulátor teljesítménye.

A jó állapotban levő korszerű benzinmotor hidegindítására — megfelelő benzin használata esetén — az akkumulátornak és a motorolajnak van döntő jelentősége. A következőkben ezek közül a motorolaj befolyását vizsgáljuk.

A kenéstechnika reológiai alapfogalmai

Az utóbbi években számos vizsgálatot folytattak a motorolaj hidegtulajdonságainak behatóbb megismerése céljából. A vizsgált problémák nyomon követése érdekében tekintsük át röviden a kenéstechnika legfontosabb reológiai alapfogalmainak.

Normális üzemben a motor fő súrlódó alkatrészei között (a csapágyakban, a hengerfalon) folyadéksúrlódás alakul ki, tehát az egymáson elmozduló felületeket összefüggő olajfilm választja el. Az ilyen ún. hidrodinamikai kenési viszonyok között fontos szerepet játszik az olaj viszkozitása (belső súrlódási ellennállása). A viszkozitás definíciója az ismert newtoni képletből adódik:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy};$$

amely szerint a párhuzamos folyadékrétegek között fellépő τ nyírófeszültség arányos a mozgásra merőleges $\frac{dv}{dy}$ sebességgrádienssel. Az η arányossági tényező a dinamikus viszkozitás, amely az ún. newtoni folyadékokban, mint amilyen a motorolaj is (a dermedéspont körüli hőmérséklet-tartományoktól eltekintve), a nyírófeszültségtől és a sebességgrádienstől független állandó: egysége a poise = $1 \text{ g cm}^{-1}\text{s}^{-1}$, illetve ennek századrésze a centipoise (cP).

A kenéstechnikában gyakran használatos a Maxwell által bevezetett ν kinematikus viszkozitás, amely a dinamikus viszkozitás és a sűrűség hányadosa:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

A kinematikus viszkozitás egysége a stokes, illetve ennek századrésze, a centistokes (cSt). 1 stokes $1 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ -nél egyenlő. (1)

A motorgyárak — számítások és kísérletek alapján — meghatározzák azt a viszkozitást, amellyel a motorolajnak az üzemeltetés hőmérsékletén rendelkeznie kell. Ez a viszkozitás összhangban van a motor szerkezeti kialakításával, csapágyterhelésével, hézagaival stb. és biztosítja az optimális üzemet: a kis súrlódást, csekély kopást és a motor hosszú élettartamát.

Az ideális kenési körülmények azonban csak az üzemi hőmérsékleten érhetőek el, ugyanis a motorolaj viszkozitása nagymértékben függ a hőmérséklettől. Ez kitűnik az 1. táblázatból, amely a benzinmotorokhoz nálunk használt legfontosabb olajfajták viszkozitását tünteti fel különböző hőmérsékleten.

1. táblázat

Hőmérséklet	Olajfajta viszkozitása cSt-ban			
	EM-12	MMa-40	MMa-60	MMa-90
100 °C	11,5—12,5	6—10	10—13	13—16
50 °C	50—62	35—50	55—75	85—105
20 °C	250—300	220—260	320—420	600—700
0 °C	2000—3000	1300—2400	2400—4000	megdermed
—17,8 °C	6000—8000	8500—15 000	megdermed	
—25 °C	12 000—15 000	megdermed		
—30 °C alatt	megdermed			

A motorolaj viszkozitásának hőmérsékletfüggését vagy úgy kompenzáljuk, hogy nyáron viszkozusabb (MMA-60 vagy MMA-90), télen hígabb (MMA-40) olajat használunk, vagy pedig — és ez a korszerűbb megoldás — olyan olajjal üzemelünk, amelynek viszkozitása a lehüléssel csak kismértékben nő (EM-12). Az ilyen télen-nyáron egyaránt használható olajat multiszezonálisnak vagy multigrade-nek (többfokozatúnak) nevezzük.

A viszkozitás hőmérséklet-függését általában a — Dean és Davis által 1929-ben bevezetett — empirikus mérőszámmal, a viszkozitási indexszel (VI) jellemezzük. Minél nagyobb a VI, annál kevésbé változik az olaj viszkozitása a hőmérséklettől függően. Az MMA-40, MMA-60 és MMA-90 olaj — szabvány szerint — legalább 80-as viszkozitási indexű, az EM-12 egységes motorolaj viszkozitási indexe minimum 115.

A viszkozitási-hőmérsékleti összefüggés leírására a Walther-féle empirikus egyenlet is használható:

$$\log \log (\nu + 0,8) = K + m \log T,$$

ahol

ν a kinematikus viszkozitás,

K és m állandók,

T az abszolút hőmérséklet °K-ban.

Mint látható, a Walther-egyenlet egy egyenes egyenletének felel meg. Ha tehát ennek alapján megfelelő skálabeosztású diagramra felrajzoljuk az olaj viszkozitását a hőmérséklet függvényében, akkor egyeneshez jutunk. A grafikus ábrázolás megkönnyítése céljából ún. viszkozitás-hőmérsékleti lapokat szerkesztettek, amelyek ordinátáján a $\log \log (\nu + 0,8)$ sűrítésnek megfelelően ábrázolják a kinematikus viszkozitást cSt-ban, abszcisszáján pedig a log T-nek megfelelő beosztásban a hőfokot °C-ban tüntetik fel. Ilyen diagram látható az 1. ábrán, amelyről kitűnik, hogy a nagyobb viszkozitási indexű SAE 10W/40 jelzésű multigrade olajnak laposabb, a kisebb viszkozitási indexű SAE 10W és SAE 40 mono-grade (egyfokozatú) olajoknak meredekebb lejtésű egyenes felel me. (2)

Hasonló diagrammok segítségével könnyen meghatározható valamely olajhőmérséklet viszkozitási viselkedése, csupán két hőmérsékleten kell a viszkozitást megmérni, s a diagramra berajzolt pontokon egyenest átfektetni. Ilyen módon elkerülhető a hidegviszkozitás komplikált direkt mérése.

Motorolaj-osztályozás a viszkozitás alapján

A viszkozitás kenéstechnikai fontosságát mutatja, hogy az első motorolaj-osztályozási rendszer, amely még 1926-ból származik és kisebb-nagyobb módosításokkal ma is érvényben van, a viszkozitáson alapszik. Ez az SAE-rendszer az egész világon elterjedt, sőt a csoportosítás elvét és mértékszámait — bizonyos célszerű módosításokkal — az RSz 2976-71. számú KGST szabványajánlás is átvette (2. táblázat).

SAE-osztályozás			KGST-osztályozás		
SAE-jelzés	Viszkozitás cSt-ban		KGST-jelzés	Viszkozitás cSt-ban	
	-17,8 °C-on	98,9 °C-on		-18 °C-on	100 °C-on
5W	< 1300	> 3,9			
10W	1300—2600	> 3,9	4W	1300—2600	> 3,8
20W	2600—10 500	> 3,9	6W	2600—10 400	> 3,8
20		5,7— 9,6	6		5— 7
30		9,6—12,9	8		7—10
40		12,9—16,8	10		10—13
50		16,8—22,7	16		13—17
			20		17—22

Megfigyelhető, hogy mindkét osztályozási rendszerben két hőmérsékletet rögzítettek. Ennek az a célja, hogy az olajteknőben feltételezhető legzsélsőségesebb hőmérsékleteket vegyék számításba:

—17,8 °C a SAE-osztályozásban, illetve —18 °C a KGST-osztályozásban a téli hidegindítás hőmérséklete;

98,9 °C a SAE-osztályozásban, illetve 100 °C a KGST-osztályozásban a motor üzemelése közben tapasztalható hőmérséklet.

Szembetűnő, hogy az SAE-rendszer nem kerek hőmérsékleti határokat rögzít. Ennek az az oka, hogy az USA-ban a Fahrenheit hőmérsékleti skálát használják és a tizedestört pontossággal Celsius fokban megadott hőmérsékleti pontok a Fahrenheit hőmérsékleti skála szerint kerek számok. Így —17,8 °C megfelel 0 °F-nak, 98,9 °C pedig 210 °F-nak. A KGST-osztályozás célszerűen a kerekebb —18 °C és 100 °C hőmérsékleti pontokat rögzítette.

Üzem közben a motor különböző helyein az olaj hőmérséklete különböző, így a legmagasabb a felső gyűrű — tűzgyűrű — zónájában, ahol — különösen Diesel-motoroknál — eléri a 250—300 °C-t is. A 100 °C körüli hőmérsékletet, mint az olajteknő hőmérsékletét, a legjellemzőbb hőmérsékletként választották ki, mert itt tartózkodik az olaj a leghosszabb ideig. Bár ez a hőmérséklet a viszkozitási osztályok meghatározásánál még ma is érvényes, szem előtt kell tartanunk, hogy a motor-konstrukciók fejlődése következtében egyes motoroknál az olajteknő hőmérséklete már lényegesen magasabb: 150 °C vagy e feletti (13).

A —18 °C hőmérsékleten mért viszkozitással definiált fokozatok számítását mind az SAE-, mind a KGST-rendszerben „W” betűjelzés követi, amely az angol és német „Winter” (tél) szó kezdőbetűje. Az ebbe a fokozatba tartozó olajok téli olajok.

Ha az SAE és a KGST osztályozási rendszert összehasonlítjuk, az elmondottan kívül még a következő említésre méltó eltéréseket tapasztalhatjuk:

— az egyes kategóriák jelzései az SAE-rendszerben jelentés nélküli vonatkoztatási számok, míg a KGST-rendszerben a jelzések tájékoztató jelleggel a viszkozitást is megadják;

— a KGST-rendszer elhagyta az 5W fokozatot, amely a gyakorlatban csak korlátozott érdeklődésre tarthat számot, minthogy használata különleges körülmények között vagy különösen hideg éghajlaton (pl. a sarki zónákban) indokolt csupán;

— a KGST-rendszer nemcsak a hőmérsékleti pontokat kerekítette ki, hanem a melegviszkózitási osztályok határértékeit is. Az SAE-rendszerben szereplő tört végződésű számok az USA-ban korábban használatos konvencionális viszkózitási mértékegységnek, a Saybolt Universal Secundum-nak (SUS) cSt-re való átszámításából adódnak;

— a SAE 20 fokozat viszkózitási intervalluma túl nagy, ezért a KGST-rendszer a gyakorlati igények alapján ezt a tartományt kétfelé osztotta;

— a W-jelzésű téli olajok melegviszkózitását a SAE-rendszer legalább 3,9 cSt-ban, a KGST-rendszer legalább 3,8 cSt-ban határozza meg. Az eltérés oka az, hogy a KGST-rendszer üzemi hőmérsékleti pontja 100 °C, tehát 1,1 °C-kal magasabb az SAE-rendszer 98,9 °C hőmérsékleti pontjánál, ami az olaj viszkózitásának kb. 0,1 cSt csökkenését vonja maga után.

További eltérés a két rendszer között a hidegviszkózitás meghatározási módszerében van, erre a hidegindítási szimulátor ismertetésével kapcsolatban a későbbiekben még visszatérünk (lásd 5. táblázat).

Az egyes viszkózitási fokozatok felhasználási területei a következők:

— a SAE 10W, illetve a megfelelő 4W KGST-fokozat alacsony viszkózitása miatt normál gépkocsik üzemeltetéséhez nem használatos. Felhasználási területei: különleges motorokban vagy nagyon alacsony hőmérsékleti viszonyok között, például északi éghajlaton. Magyarországon ilyen olaj nincs forgalomban;

— a SAE 20W és SAE 20 fokozatok, illetve a megfelelő 6W, 6 és 8 KGST-fokozatok, minthogy nagyon folyékonyak, mérsékelt éghajlati viszonyok között — mint hazánkban is — általában téli olajként használatosak. Nyáron csak kifogástalan állapotban levő szoros illesztésű (kis játékú) motorokhoz, mint pl. az ASz-8 olaj, az URAL-375, ZIL-130, ZIL-131 és GAZ-66 gépkocsik nyolchengeres V-motorjaihoz használhatók. Ebbe a viszkózitási kategóriába tartozik az eddig az MN-ben is használt MMA-40 és MDA-40 téli olaj, valamint a népgazdaságban rövidesen forgalomba kerülő MDC-40 és MS-E-40 téli olaj;

— a SAE 30, illetve a 10 KGST-fokozat megfelel a normál megmunkálási toleranciával készült motorok többsége által támasztott követelményeknek, ha a motorok jó mechanikai állapotban vannak és mérsékelt éghajlaton üzemelnek. Használhatók még optimális állapotban levő motorokhoz közepesen meleg éghajlaton. Ebbe az osztályba tartozik az eddig az MN-ben nyáron használt MMA-60, MDA-60 olaj, a D-566 gépkocsihoz egész évben használt DS-2-60 olaj, valamint a népgazdaságban forgalomba kerülő MDC-60 és MS-E-60 olaj;

— a SAE 40 fokozat és a megfelelő 16 KGST-fokozat nyári olajokat tartalmaz a magasabb üzemi hőmérsékletű léghűtéses motorok kenéséhez,

továbbá egyéb motorokhoz is, ha vontatás, nehéz terepigénybevétel miatt a szokásosnál magasabb az üzemi hőmérséklet, vagy a motor nincs tökéletes műszaki állapotban. Ebbe a csoportba tartozik a léghűtéses motorokhoz az MN-ben eddig használt MMA-90 és MDA-90 nyári olaj, valamint a népgazdaságban forgalomba kerülő MDC-90 és MS-E-90 olaj;

— a SAE-50 és a megfelelő 20 KGST-fokozatú olajat speciális motorokban használják. Ide tartozik a dugattyús repülőgépekhez és helikopterekhez használt MSZ-20 olaj, továbbá ennek a fokozatnak és az előző fokozatnak a határán levő MT-16p harcokcsi-motorolaj. Gépkocsikhoz ilyen viszkozitási osztályba tartozó olajat a trópusi éghajlaton használnak. A mi hőmérsékleti viszonyaink között a repülőgép- és harcokcsi-motorokban az MSZ-20, illetve MT-16p olaj használatát a nagy csapágynyomás (200—250 kp/cm²) teszi szükségessé. Minthogy a hidrodinamikai kenélmélet szerint a csapágyban kialakuló olajfilm teherbírása — s így a megengedhető csapágynyomás is — arányos a viszkozitással, kisebb teljesítményű motorokban megfelelően kisebb viszkozitású olajat kell használni.

Bár a jelen cikknek csak a gépkocsi-motorolajok képezik a tárgyát, a repülőmotorolajra azért célszerű kitérni, mert néha előfordul, hogy egyes üzemeltetők, akik hozzájuthatnak MSZ-20 olajhoz, ezt szabálytalanul személygépkocsihoz használják. Az ilyen eljárás nemcsak az érvényben levő normákkal és utasításokkal ellentétes, de műszakilag is helytelen. Gyökerei a következő megalapozatlan technikai nézetekre vezethetők vissza, amelyekkel főleg a kenéstechnikai ismeretekkel alig rendelkező gépkocsivezetők körében találkozhatunk:

— a nagy teljesítményű repülőgépmotorhoz és a nagy üzembiztonságot igénylő repülőüzemhez a legjobb minőségű olajat írják elő, amely nyilván jobb a kisebb teljesítményű és igénybevételű gépkocsi-motorokhoz is az oda rendszeresített olajoknál;

— az MSZ-20 olaj viszkozitása 100 °C-on 20 cSt, míg a gépkocsi-motorolajoké ugyanezen a hőmérsékleten 6—16 cSt között van, a nagyobb viszkozitásnak egyúttal jobb minőséget is tulajdonítanak.

Ezek az elképzelések azonban hibásak a következők miatt:

— nem veszik figyelembe az egyes járműfajták eltérő üzemeltetési körülményeiből adódó különböző olajigényeket. Az MSZ-20 kiváló minőségű, de speciálisan repülő-üzemre kialakított motorolaj, így nem tartalmaz hatékonyságnövelő adalékokat, amelyek a korszerű gépkocsi-motorolajok elengedhetetlen alkotóelemei és azáltal, hogy védik az alkatrészeket a korróziótól, késleltetik az olaj oxidációját és megakadályozzák a dugattyún, gyűrűkön a koks- és lakklerakódásokat, hosszú olajcsereciklust tesznek lehetővé;

— egyenlőségjelet tesznek a nagyobb viszkozitás és a jobb minőség között. Ez azonban — mint láttuk — téves, mert az üzemi hőmérsékleten a viszkozitásnak a kenőrésekkel (játékkal), a csapágyterheléssel és a fordulatszámmal kell összhangban lennie. Ezért személygépkocsikban — ahol a csapágynyomás nem haladja meg a 40—60 kp/cm²-t — 20 cSt/100 °C

olajat használni nemcsak szükségtelen, de káros is. A viszkózusabb olajnak nagyobb az áramlási ellenállása, következképpen több lesz a sűrűdési veszteség, ami a motor teljesítménycsökkenését vonja maga után. Az MSZ-20 olajnak túl nagy a hidegviszkozitása is, ez különösen megrehezíti a gépkocsi téli indítását. A repülőgépek indítását télen úgy könnyítik meg, hogy az olajba repülőbenzint kevernek, amely üzem közben a felmelegedett motorból elpárolog. Gépkocsik hidegindításához az ilyen megoldás nem volna célravezető, mert az autóbenzin nehezebb frakciói nem párolognak el és maradandó olajhigulást, ezzel ellenőrizhetetlen viszkozitáscsökkenést okoznának. Így a repülőmotorolaj használata gépkocsihoz nemcsak, hogy nem előnyös, de több szempontból káros is.

Többfokozatú (multigrade) olajok

A továbbiakban a szakirodalomban egyelőre nálunk is a jobban elterjedt SAE-osztályozást használjuk, de az összefüggések természetesen a KGST viszkozitási rendszerben is érvényesek.

Az eddig felsorolt osztályok ún. egyfokozatú (monograde) olajat jelölnek, ahol az osztályba sorolás szempontjából közömbös, hogy az olaj viszkozitása hogyan változik a hőmérséklet függvényében, más szóval a viszkozitási indexszel szemben nem merül fel követelmény. A motorolajként használt egyfokozatú kenőolajok viszkozitási indexe általában 100 alatt van, ezért egy monograde olaj, amely 100 °C-on például a SAE 40 fokozatba tartozik, a -17,8 °C-on mért viszkozitás alapján a SAE 10W és 20W fokozat felett lesz. Ez azt jelenti, hogy bár melegen a kenés jó és az olajfogyasztás kicsi, de az olaj a téli évszakban nem használható, mert hidegben való indításkor nem biztosítana jó kenőhatást és könnyű indítást.

Más oldalról egy SAE 10W olaj bár könnyű hidegindítást tesz lehetővé, nem használható nyári időszakban vagy magasabb üzemelésű hőmérsékleten, mert viszkozitása 100 °C-on nem eléggé magas ahhoz, hogy biztosítsa a kenőanyagfilm folytonosságát és az olajfogyasztás normái határon belül maradását.

Az utóbbi években lehetővé vált olyan olajok előállítása, amelyek alacsony, mind pedig viszonylag magas hőmérsékleten megfelelő viszkozitással rendelkeznek. Ezek a többfokozatú (multigrade) olajok, amelyek egyidejűleg két osztály viszkozitási előírásait is kielégítik. A többfokozatú olajokat két SAE-számmal jelölik, pl.: SAE 20W/30. Ez azt jelenti, hogy a példának hozott olaj viszkozitása eleget tesz a 20W kategória hideg oldali (-17,8 °C-on 2600 —10 500 cSt), valamint a SAE 30 kategória meleg oldali 98,9 °C-on 9,6—12,9 cSt) követelményeinek. Az EM-12 egységes honvédségi motorolaj is a SAE 20W/30 osztályba tartozik. A többfokozatú olajok viszkozitási indexe száz fölött van. A 3. táblázat egyes multigrade olajok minimális VI-ét tartalmazza.

SAE-jelzés	Minimális viszkozitási index	
	Régi módszerrel számítva	Új módszerrel számítva (VI _E)
5W/20	139	164
5W/30	154	205
10W/30	131	145
10W/40	138	169
10W/50	144	190
20W/40	111	113
20W/50	121	133

A táblázat az új (ún. extended = kiterjesztett) viszkozitási indexet is tartalmazza (jelölése VI_E), amelynek bevezetését éppen a nagy viszkozitási indexű, többfokozatú olajok megjelenése tette szükségessé, ezek jellemzésére ugyanis az eredeti rendszer már nem volt alkalmas.

A motorolajat alkotó ásványolaj-komponensek közül a paraffin-szénhidrogéneknek van a legnagyobb viszkozitási indexük, ezért az olaj finomítása során arra törekcszenek, hogy a kenésre alkalmatlan gyantás, aszfalténes anyagok eltávolítása mellett csökkenjen a kedvezőtlen viszkozitás-hőmérsékleti tulajdonságú, erősen aromás karakterű vegyületek részaránya. A finomítás intenzitásával — a kitermelés rovására — bizonyos határig növelhető a viszkozitási index. A gyártástechnológia mellett nagy mértékben függ a VI a nyersolaj jellegétől is. Különösen alkalmas jó minőségű motorolaj gyártására a hazai algyői paraffinbázisú nyersolaj, amelyből jó hozammal 95 körüli viszkozitási indexű finomítványok állíthatók elő. A 3. táblázatból látható, hogy a többfokozatú olajokhoz ez még nem elegendő, ezért a VI növelésére más módszerek is szükségesek.

VI-növelő adalékok

A multigrade tulajdonság elérése céljából polimer adalékanyagokat kevernek az olajba. A nagy molekulásúlyú polimerek VI-növelő hatása régóta ismert. Természetes gumioldattal már 1910-ben állítottak elő 120—140 viszkozitási indexű olajat, bár ez gyakorlati célokra még nem volt használható az adalék csekély mechanikai és hőstabilitása miatt.

A műanyagkémia fejlődésével hozzáférhetővé váltak poliizobutilén, polisztirol vagy polimetakrilát bázison megfelelő tulajdonságú szintetikus polimerek, amelyek meghatározott molekulásúly-tartományban alkalmazsak multigrade olajok előállítására. Az utóbbi időben főleg a metakrilsvésziralkohol-észterek polimerizációs termékei terjedtek el, mert a polimer molekulába beépíthető alkohol-komponensek célszerű kombinációjával a VI-növelésen kívül az adalékot fel lehet használni az olaj egyéb tulajdonságainak javítására is, így elsősorban mélyebb dermedéspont elérésére, továbbá az oxidációs stabilitás növelésére és az üzem közben keletkező kocszos lerakódások csökkentésére (detergens hatás). A multigrade olaj a polimer adalékot általában 1—3%-os mennyiségben tartalmazza (hatóanyagra számítva).

Ezek az adalékok óriási molekulákból álló, sűrűn folyó anyagok,

amelyek nemcsak a VI-et, hanem az olaj viszkozitását is növelik. A viszkozitás-növelő hatás azonban nem azonos minden hőmérsékleten, s ezen alapszik a polimerek VI-növelő hatása. Ezt a jelenséget a polimer molekulák alakjának és oldhatóságának a hőmérséklettel függő változása okozza. Alacsony hőmérsékleten a lánc alakú makromolekulák csak kevéssé oldódnak, erősen összegubancolódott, zsugorodott alakot vesznek fel, s így az áramlással szemben viszonylag csekély ellenállást fejtenek ki.

A hőmérséklet emelkedésével fokozódik a polimer oldódása, a makromolekulák kitágulnak, láncaik lazábban rendeződnek el, egymásba kapcsolódnak, s ez a folyással szembeni ellenállást növeli. A hidrodinamikai térfogat növekedése, amelyet a 2. ábra szemléltet, az olaj melegekedése folytán bekövetkező viszkozitás-csökkenést részben kompenzálja, s így végeredményben a viszkozitás kisebb mértékben változik a hőmérséklet függvényében, mint akkor, ha az olaj nem tartalmaz VI-javító adalékot. (4)

A polimer adalékoknak van egy további, kevésbé figyelemre méltított hatása: az olaj elveszti newtoni reológiai jellegét, tehát viszkozitása nemcsak a hőmérséklettől, hanem a nyírófeszültségtől és a sebesség-rádiénstől is függővé válik (l. 3. ábra). A nyírófeszültség hatására ugyanis az eredetileg gömbalakú makromolekulák deformálódnak, megnyúlnak, igekeznek beállni az áramlás irányába, így az effektív viszkozitás átmenetileg csökken. Ez az ún. struktúrviszkózus viselkedés a kenéstechnikában kedvező, ugyanis a viszkozitás csökkenéséhez szükséges nagy nyírési sebesség a csapágyakban és a hengerfalon már az indítási periódusban kialakul, s ezáltal kisebb lesz a motorban a súrlódási ellenállás, könnyebb lesz az indítás.

Üzem közben, ha a fordulatszámot növeljük, nő a nyírési sebesség, ennek megfelelően az effektív viszkozitás tovább csökken. Ez ismét előnyös, mert a súrlódási veszteség a fordulatszám növelésével kisebb mértékben nő, mint VI-javító adalékot nem tartalmazó motorolaj használata esetén.

Emellett a reverzibilis viszkozitás-csökkenése mellett üzem közben megfigyelhető a viszkozitás lassú irreverzibilis csökkenése is, amit az adalék mechanikai és hőhatásra bekövetkező depolimerizációja okoz. A jó minőségű VI-növelő adalékok mechanikai és hőstabilitása azonban elegendően nagy ahhoz, hogy a motorolaj a fáradás határáig — tehát az olajcseréig — megtartsa kedvező viszkozitási-hőmérsékleti tulajdonságait.

A multigrade olajok hideg-viszkozitási problémái

A multigrade olajok kedvező üzemi tulajdonságaiknál fogva — magasabb árak ellenére is — egyre jobban terjednek. Mégis az idők folyamán bizonyos kételyek merültek fel az iránt, hogy hidegviszkozitásuk a gyakorlatban is olyan kedvezően alakul-e, mint ahogyan ez a diagrammon látszik. A kételyeket alátámasztja a következő példán megvilágított furcsaság.

Vegyünk egy SAE 10W/30 fokozatú multigrade olajat, amely 6—8% előhígított, főleg metakrilát bázisú VI-növelő adalékot tartalmaz, VI-c 142, VI-E-je 173. Alapja 100-as VI-ű gépolaj, amelynek viszkozitása

50 °C-on 18—20 cSt. Mérjük meg a szabványos kapilláris viszkoziméterrel mind az alapolaj, mind az adalékolt olaj viszkozitását 37,8 °C-on és 98,9 °C-on, a kapott értékeket rajzoljuk viszkozitás-hőmérsékleti diagramra és megfelelő pontokon fektessük át mindkét olaj viszkozitás-hőmérsékleti egyenesét. Amint a 4. ábrán látható, az a paradoxon adódik, hogy —25 °C-on a multigrade olaj extrapolált egyenese keresztezi az adalékmentes alapolajét, még mélyebb hőmérsékleten pedig az alapolaj egyenese alatt fut. Ez nyilvánvalóan lehetetlen, mert a polimer adalék viszkozitása kb. 25 000 cSt 20 °C-on, így az adalékkal sűrített olaj nem lehet mély hőmérsékleten sem azonos, még kevésbé alacsonyabb viszkozitású, mint a jóval higabb alapolaj maga. (3)

A SAE 10W/30 kategóriájú multigrade olajjal szerzett korábbi gyakorlati tapasztalatok is azt mutatták, hogy bár az olaj viszkozitási egyenese át megy mind a SAE 10W, mind a SAE 30 tartományon, mégis az indítási fordulatszámából következő gyakorlati „motor”-viszkozitás —17,8 °C-on csak egyszerű, polimert nem tartalmazó, newtoni viselkedésű SAE 20W olajnak felel meg. A SAE 10W/30 viszkozitási adat tehát a valóságosnál kedvezőbb hidegindítási tulajdonságot tüntetett fel, mert az 1967 előtti SAE-előírás megengedte, hogy a —17,8 °C-on viszkozitást direkt mérés nélkül, extrapolációval határozzák meg a 37,8 °C-on és 98,9 °C-on kapilláris viszkoziméterrel mért értékekből.

Bizonyos jogosultságot ennek az eljárásnak az adott, hogy a közönséges kapilláris viszkoziméterekkel, amelyek nagyon kis sebességgrádienssel és nyírófeszültséggel működnek, lehetetlen volt precíz viszkozitásmérést végezni mély hőmérsékleten a paraffin-kiválás miatt, amely különösen magas értékű, nagy VI-ű tisztán viszkózus (newtoni) ásványolajfrakciónál a zavarosodáspont alatt fellép, de az indítási fordulatszámot gyakorlatilag nem befolyásolja. Ezért a —17,8 °C-ra történő extrapolálás — különösen a tisztán viszkózus olajoknál — olyan értéket adott, amely a gyakorlati viszonyokat jobban megközelítette, mint a szokásos viszkoziméterekkel mély hőmérsékleten végzett elfogadhatatlanul nagy szórású közvetlen mérés.

Nálunk a téli és a multigrade olaj hidegviszkozitálásának mérésére a Höppler-féle reoviszkozimétert használják. A módszer lényege, hogy a kémcsőbe töltött vizsgálandó olajban egy változtatható súllyal terhelt gömb süllyed. A gömb áthaladásának idejéből, vagyis közvetve az áramlási sebességből kiszámítható az olaj viszkozitása. Ennél a mérési eljárásnál is felmerül az a probléma, hogy kísérlet közben a nyírási sebesség lényegesen kisebb, mint amilyen gyakorlati körülmények között a motorban fellép.

Motorkísérletek az olaj hidegindítási tulajdonságának meghatározására

A többfokozatú olajok hidegindítási alkalmasságára jellemző viszkozitás meghatározásához eleinte nem volt más lehetőség, mint a vizsgálandó olajjal motoron hidegindítási kísérleteket végezni, magát a motort használva viszkoziméternek. Az ilyen kísérlet előtt a motor tisztán viszkózus, newtoni viselkedésű, mély dermedéspontú nafténes olajjal bekalib-

rálják, vagyis meghatározzák az összefüggést az olajviszkózitás és a hozzátartozó indítási fordulatszám között. Az így kapott kalibráló görbe alapján lehet ezután a vizsgálandó, olaj motorikusan hatásos viszkózitását az indítási fordulatszámból meghatározni.

Ilyen kísérleteket több országban is végeztek és már 1956-ban megállapították, hogy a többfokozatú olajok hidegviszkózitásának extrapolálással történő meghatározása irreális eredményekhez vezet.

A 4. táblázat a zürichi EMPA kutatóintézet vizsgálati eredményeit mutatja be. A kísérleteket 1,7 literes Opel motorral hidegkamrában végeztek úgy, hogy a motort csak a viszkóziméterként használva, gyújtógyertyák és benzin nélkül működtették. Az indításhoz négy párhuzamosan kapcsolt akkumulátort használtak és azokat a hidegkamrán kívül helyezték el, hogy az akkumulátorkapacitásnak és az indítási feszültségnek a hőmérsékletfüggését, mint változókat kiküszöböljék. Ezek a kísérletek a nagyobb akkumulátorkapacitás és indítási feszültség, valamint a kompressziós munka hiánya miatt természetesen magasabb indítási fordulatszámot eredményeztek, ez azonban a vizsgálatot nem zavarta, mert a cél nem a különböző; olajokkal elérhető abszolút indítási fordulatszámok kimérése, hanem azok egymás közötti arányának meghatározása volt.

A motor kalibrálását öt tisztán viszkózus nafténbázisú ásványpárlattal végezték, amelyek különböző viszkózitási fokozatokba tartoztak és dermedéspontjuk -33°C alatt volt. A kalibráló olajok viszkózitását mély hőmérsékleten kapilláris viszkóziméterrel megmérték, a kapott eredmények jól egyeztek azokkal az értékekkel, amelyeket a $37,8^{\circ}\text{C}$ -on és

4. táblázat

A vizsgált olaj SAE-jelzése	20W, 40	10W, 30	10W, 30	10W, 30	10W, 40
Viszkózitás, cSt					
37,8 °C-on	98,3	60,5	77,06	70,2	88,3
50,0 °C-on	60,0	38,3	48,0	45,0	55,5
98,9 °C-on	14,24	10,16	12,11	11,87	14,5
Viszkózitási index					
VI	134	140,5	138	143	142
VI _E	158	168	165	177	182
Extrapolált hidegviszkózitás, cSt					
-10,0 °C-on	1 750	920	1 220	1 010	1 220
-17,8 °C-on	3 400	1 740	2 400	1 920	2 300
-20,0 °C-on	4 200	2 150	2 940	2 350	2 750
-25,0 °C-on	6 800	3 450	4 700	3 650	4 300
-30,0 °C-on	12 000	5 710	8 000	5 900	7 000
Motorral mért hidegviszkózitás, cSt					
-10,0 °C-on	2 500	1 400	1 650	1 250	1 800
-17,8 °C-on	7 700	3 000	4 400	2 790	4 500
-20,0 °C-on	11 200	3 800	6 000	3 600	6 200
-30,0 °C-on	43 000	13 300	22 000	12 500	26 000
CCS-sel mért hidegviszkózitás, cSt					
-17,8 °C-on	5 090	2 155	3 770	2 110	—
-30,0 °C-on	43 000	13 500	23 000	11 500	—

96,9 °C-on mért viszkozitásból extrapoláltak. A kapott kalibráló görbe szerint, amely az 5. ábrán látható, a v_1 és v_2 viszkozitás, valamint az n_1 és n_2 fordulatszám között a következő empirikus összefüggés adódott:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sqrt[3]{v_2}}{\sqrt[3]{v_1}}$$

A vizsgált többfokozatú olajoknak normál kapilláris viszkoziméterrel kis nyírófeszültségen megmérték a viszkozitását, ezeket az értékeket a 4. táblázat felső része tartalmazza. Ezután a mért értékekből mély hőmérsékletre extrapolált viszkozításokat tünteti fel a táblázat: valamennyi a megfelelő SAE-tartományba esik.

Végül motorkísérletekkel -10 , -20 és -30 °C-on meghatározták a vizsgált olajok effektív hidegindítási viszkozitását, amelyekből a $-17,8$ °C hőmérséklethez tartozó viszkozitásérték kellő pontossággal interpolálható volt. A táblázatból kitűnik, hogy az extrapolált és a motorban meghatározott direkt viszkozitás között jelentős eltérés van. A vizsgálatok szerint tehát tulajdonképpen egyik SAE 10W/30, illetve SAE 10W/40 olajat sem lehet a SAE 10W kategóriába sorolni. Az eltéréseket szemlélteti a 6. ábra is.

A hidegindítás-szimulátor

A motorral hidegkamrában végzett viszkozitásmérések rendkívül költségesek és hosszadalmasak, ezért gyártásellenőrzési vagy átvételi rutinvizsgálatok céljára nem alkalmasak. Lényegesen egyszerűbb, gyorsabb és olcsóbb laboratóriumi módszert kellett tehát kidolgozni olyan viszkozitási értékek meghatározására, amelyek közel állnak a motorikus viszkozitásvizsgálat eredményeihez.

Több országban is kifejlesztettek erre a célra készüléket, ezek közül világviszonylatban az amerikai hidegindítás-szimulátor (Cold Cranking Simulator, röviden CCS) terjedt el. A CCS, amint a 7. ábrán látható, egyszerű szerkezetű rotációs viszkoziméter, a sztátorban koncentrikusan forgó 19,1 mm átmérőjű krómnikkel acélból készült hengeres rotorral. A sztátor és a rotor közötti rés igen csekély: 0,0089 mm, így 1000/perc fordulatszámig a vizsgált olaj tekintélyes, 900—60 000 s⁻¹ sebességgrádiens és 650—910 g/cm² nyírófeszültség hatása alá kerül. Központosítás és állandó kenőék biztosítása végett a rotor kétoldalt szimmetrikusan be van lapítva. Egy meghatározáshoz mindössze 5 cm³ olaj kell. A hűtésre cirkulációs termosztát-rendszer szolgál, amelyben a hűtőfolyadék metanol. A rotort hajlékony tengely köti össze a konstans feszültséggel hajtott motorral. A motorfordulatszámot hajtósíj viszi át egy kis egyenáramú dinamóra, a termelt áram erőssége milliampermérőn olvasható le. Az áramerősség a fordulatszámától, ez pedig a vizsgált olaj viszkozitásától függ. (5)

Pontosan ismert viszkozitású etalon-olajjal kalibrálógörbét vesznek fel amelyből megállapítható, hogy a milliampermérőn leolvasott áramerősség hány poise-nak felel meg. Így az áramerősségből a vizsgált olaj

dinamikus viszkozitását — a beállított hőmérsékleten és a kialakult fordulatszámnak megfelelő sebességgrádiensen — közvetlenül megkapjuk. Ha ezt 0,9-del osztjuk (ennyi kereken a motorolaj sűrűsége —17,8 °C-on), a kinematikus viszkozitáshoz jutunk.

Elméleti vizsgálatokhoz a CCS-sel mért viszkozitásértékek összehasonlítása esetén tulajdonképpen figyelembe kellene venni, hogy ezekhez különböző rotor-fordulatszámok, tehát különböző nyírófeszültség- és sebességgradiens-értékek tartoznak. Ezért a CCS-el ún. látszólagos viszkozitást mérünk, mint ahogy a struktúrviszkózus rendszerek viszkozitása mindig is látszólagos, mert a vizsgálat folyamán alkalmazott sebességi és nyírési viszonyoktól függ. (6)

A gyakorlati vizsgálatoknál — és különösen a motorolajok hidegtulajdonságainak értékelésénél, amire a CCS tulajdonképpen készült — egyáltalán nem zavar, hogy a különböző CCS-értékek más-más fordulatszámon szülessenek, hiszen végső soron épp a vizsgált olajjal elérhető indítási fordulatszámra vagyunk kíváncsiak, erre akarunk következtetni a mért hidegviszkozitásból.

A 4. táblázat alsó része a CCS-sel meghatározott és cSt-ra átszámított viszkozitást tünteti fel. Látható, hogy a kapott értékek jó összhangban vannak a motorvizsgálatok eredményeivel.

Teljes egyeztetést természetesen nem várhatunk, hiszen a motor egyes kenőhelyein különböző nyírófeszültségek és sebességgradiensek lépnek fel és a motorvizsgálattal kapott viszkozitásérték ezeknek valamilyen középértékéből származik. A különböző motorokkal végzett vizsgálatok eredményei ennek megfelelően el is térhetnek egymástól. Az elvégzett nagyszámú statisztikai vizsgálat azonban azt igazolja — és ez a 4. táblázatból is látható —, hogy a CCS ugyanúgy rangsorolja az olajokat hidegviszkozitás — s így a hidegindíthatóság szempontjából, mint a motorvizsgálat. Ez a rangsorolás pedig — ugyancsak a 4. táblázatból kitűnően — nem egyezik meg azzal a minősítési sorrenddel, amely az egyes olajok extrapolált hidegviszkozitása szerint alakul ki.

A tapasztalatok szerint a CCS hasznos és nem túl drága műszer az effektív hidegviszkozitás és a hidegindítási lehetőségek gyors és megbízható megítéléséhez, a különböző olajok hidegtulajdonságainak összehasonlításához. Ennek alapján a módszert több országban szabványosították és az új SAE-előírás multigrade olajok besorolását szintén a CCS-sel mért hidegviszkozításra alapozza.

CCS-készülékek már hazánkban is vannak, többek között az Ásványolaj Minőségellenőrző Intézetben és a Magyar Ásványolaj- és Földgáz-kísérleti Intézetben. A velük folytatott vizsgálatok az eddiginél nagyobb lehetőséget nyújtanak a téli olajok és multigrade olajok minőségének és hidegindítási tulajdonságainak vizsgálatára. (7)

A CCS-vizsgálatot az USA-ban és az NSZK-ban szabványosították a hidegviszkozitás mérésére (az USA szabvány száma ASTM D 2602). A SAE viszkozitási osztályozás 1967-ben kiadott SAE J 300a számú korrekciója a hidegviszkozitás mérésére ugyancsak a CCS-készüléket írja elő és minthogy a rotációs viszkoziméterek — így a CCS is — dinamikai

viszkózitást mérnek, a téli (W-jelzésű) olajosztályok viszkózitási határait elsődlegesen cP-ban adja meg. Ennek megfelelően jelenleg a következő SAE-osztályozás érvényes:

5. táblázat

SAE-jelzés	Viszkózitás cP-ban	Viszkózitás cSt-ban	
	-17,8 °C-on	-17,8 °C-on	98,9 °C-on
5W	< 1200	< 1300	> 3,9
10W	1200—2400	1300— 2600	> 3,9
20W	2400—9600	2600—10 500	> 3,9
20			5,7— 9,6
30			9,6—12,9
40			12,9—16,6
50			16,6—22,7

Az RSZ 2976-71. számú KGST szabványajánlás a hidegviszkózitás meghatározására még extrapolációt ír elő, de már több helyen — így nálunk is — folynak a vizsgálatok a hidegindítást modellező kísérleti módszer kialakítására, elsősorban az NDK-ban kifejlesztett Rheotest rotációs viszkóziméter felhasználásával.

Az olaj szivattyúzhatósága

A motorolaj hidegben növekvő viszkózitása nemcsak az indítást nehezíti meg, hanem jelentősen befolyásolja a motorüzemet az indítás utáni percekben is. Az effektív viszkózitástól függ ugyanis az az idő, amely alatt az olaj indítás után a kenőhelyekre eljut. Az olajnak ezt a tulajdonságát, amelyet mélyhőmérsékleti szivattyúzhatóságnak neveznek, csak az utóbbi években kezdték behatóbban tanulmányozni. Az eddig megjelent közlemények szerint a hidegviszkózitással nem fejezhető ki egyértelműen, hogy az olaj a viszkózitás-méréssel azonos hőmérsékleten mennyire szivattyúzható, tehát mennyi idő szükséges az indítás után a kenési helyre való szállításáig. A szivattyúzhatóság mértékéül azt az időt szokták megadni, amely alatt az olaj a szelephimbáknál megjelenik, ezt az angol Rocker Arm Oiling time = szelephimba-olajozási idő kezdőbetűi után RAO-időnek nevezik. Lényeges, hogy a RAO-idő minél rövidebb legyen, mert ez alatt a kérdéses gépelemek nem kapnak megfelelő kenést. Bizonyos hőmérséklet alatt pedig az olajszállítás egyáltalán nem indul meg, mert a szivattyú nem tudja felszívni az olajat, olaj helyett levegőt szív.

A RAO-idő mérése végezhető közvetlenül motoron, ehhez a motort hidegkamrában lehütik a vizsgálati hőmérsékletre. A 8. ábra egy 4,64 literes V8 motoron -28 °C-on végzett amerikai vizsgálatok eredményét tünteti fel (9). Az ordinátán a vizsgált olajok RAO-értékeit, az abszcisszán pedig ugyanezeknek az olajoknak a CCS-műszerrel mért viszkózitásait vitték fel. A CCS-viszkózításokat ez alkalommal nem a szokásos módon,

hanem a jobb összehasonlíthatóság kedvéért állandó (1000 ford/perc, illetve 1600 ford/perc) fordulatszámra mérték. Bár az ábrából felismerhető olyan általános tendencia, hogy a viszkozitás növekedésével a kenési helyekre történő olajszállítás ideje is megnő, az adatok nagy szórása miatt a két tulajdonság között nem lehetett egyértelmű korrelációt kimutatni.

Adott szivattyúval az olaj szivattyúzhatósága csak a vizsgált hőmérsékleten mutatkozó viszkozitástól függ. A multigrade olaj viszkozitása viszont a sebességgradiensnek is függvénye. Az olajvezetékekben az olaj áramlása sokkal lassabb, mint például a csapágyban, ezért a sebességgradiens is egy-két nagyságrenddel kisebb, mint amilyennel a csapágykenés viszonyait modellező CCS-mérés történik. Ez az oka a RAO-idő és a CCS-viszkozítások közötti jelentős diszkrepanciának (korrelációhiánynak).

A szivattyúzhatóság mérésére Wolf (10) a következő laboratóriumi módszert dolgozta ki: hidegkamrában elhelyezett szivattyúval a vizsgálati hőmérsékletre hűtött olajat mérőhengerbe szivattyúzta és mérte 200 ml olaj átszivattyúzásához szükséges időt. Vizsgálatai szerint azonos viszkozitási osztályba tartozó olajok szivattyúzhatóság szempontjából különbözőképpen viselkednek, alacsonyabb hőmérsékleten a különbségek nagyobbak.

A szivattyúzhatóság a motorolaj hidegviselkedésének olyan mutatója, amelynek értékelésére egységes módszerek eddig nem alakultak ki, a mérésre vonatkozó általános érvényű szabványok kidolgozása pedig még az ezután következő időszak feladata lesz. Fontosságát azonban nem szabad lebecsülnünk, különösen abban az esetben, ha a hidegindítás megkönnyítése érdekében indítófolyadékot használnak. Tovább bonyolítja a helyzetet, ha a gyakorlatlan gépkocsivezető hidegindítás után — a leállástól félve — nagy fordulatszámmal járattja a motort, ekkor ugyanis a kenési helyekre még nem jut el az olaj és így nagyobb kopás jelentkezik.

Milyen viszkozitás megfelelő a hidegindításhoz?

Az elmondottakból arra lehetne következtetni, hogy a hidegindításhoz szükséges viszkozitást, pontosabban azt a megengedhető legnagyobb viszkozitást, amelyen a hidegindítás még sikeresen végrehajtható, elméletileg meghatározhatjuk. A valóságban mégsem ilyen egyszerű a helyzet, mert a hidegindítást a motorolajon kívül egyéb tényezők is befolyásolják.

A bevezetőben említettük, hogy a négyhengeres négyütemű benzínmotorok 40—60 ford/perc indítási fordulatszámot igényelnek. Ez általában igaz, ugyanakkor egyes hasonló motorok sikeres indításához ugyanolyan olaj használata esetén több mint 100 ford/perc fordulatszámra van szükség (8).

A könnyű indításhoz megfelelő összetételű hajtóanyag szükséges, a benzinnel elegendő mennyiségű könnyű párlatot kell tartalmaznia. Az MN-ben használatos benzinfajtákban 10% 65 °C-ig, illetőleg 70 °C-ig átdestilláló komponens van, ami közép-európai klimatikus viszonyok között még hideg télen is kielégíti a követelményeket. Extrém körülmények

között, a sarkvidéken az indítás megkönnyítésére, közép-európai éghajlaton pedig az akkumulátor csökkent teljesítményének kompenzálására, vagy az előmelegítés elkerülése céljából könnyen párolgó indítófolyadékot használnak, amelynek főkomponense éter.

Lényeges a motor indítóberendezéseinek (indítomotor stb.) megfelelő konstrukciója és üzemképessége. Fontos az akkumulátor és gyújtásrendszer megfelelő állapota, az akkumulátor kellő feszültsége és kapacitása az indítás hőmérsékletén, az indítótelep védelme az erős lehűlés ellen, az indítókábelek kis ellenállása, a csatlakozásoknál az átmeneti ellenállások csökkentése, a gyertyák, gyújtókábelek és a gyújtóberendezés egyéb részeinek kifogástalan működése.

Nem szabad megfeledkeznünk a gépkocsivezető személyéről sem, akinek a szaktudása, tapasztalata és ügyessége nagy mértékben meghatározza a hidegindítás sikerét.

Mindezek olyan befolyásoló körülmények, amelyek függetlenek az olaj viszkozitásától, de amelyek kedvező alakulása folytán egyes hidegindítási kísérletekben viszkozusabb olajjal is jobb eredményeket érhetnek el, mint más kísérletekben, ahol e tényezők kedvezőtlen összejárása miatt a kisebb viszkozitású olaj is csak kevésbé mély hőmérsékleten tette lehetővé az indítást.

Ezek után érhető, hogy a hidegviszkozitás megengedhető értékére vonatkozóan az irodalomban meglehetősen eltérő adatokat találunk.

Bartz (6) 2500—5000 cP-ban jelöli meg azt a viszkozitást, amelyet a biztonságos indítás érdekében nem szabad túllépni. A 9. ábra Partington és Pike (11) nyomán egy négyhengeres négyütemű benzinmotor indítási kísérleteit mutatja különböző hidegviszkozitású olajokkal, 70%-osan feltöltött akkumulátorral. Az ábrából megállapítható, hogy ha az olaj $-17,8^{\circ}\text{C}$ -on mérhető viszkozitása 10 000 cP helyett 2000 cP lesz, a hidegindítás hőmérséklete -4°C -ról -12°C -ra javul. Ez azt jelenti, hogy ha a SAE 20W tartomány felső határán levő olaj helyett egy SAE 10W tartomány felső határán levő olajat használunk, a motor 8°C -szal alacsonyabb hőmérsékleten indítható. Vessük egybe ezt a viszkozitás csökkenést az általa elérhető indítási hőmérséklet-csökkenéssel és akkor kiderül, hogy 1000 cSt viszkozitáscsökkenésre mindössze 1°C indítási hőmérsékletcsökkenés esik. Ebből olyan következtetés is adódik, hogy a motorolajok minőségfejlesztése során a hidegviszkozitást csak akkor érdemes csökkenteni, ha ez számottevő mértékben lehetséges, mert néhány 100 cSt viszkozitáscsökkenés gyakorlatilag nem befolyásolja az elérhető hidegindítási hőmérsékletet.

Átfogóbb képet kapunk azokból a vizsgálatokból, amelyek nagyobb számú gépkocsira terjednek ki és így magukban foglalják a motorok közti különbségekből adódó eltéréseket is. Érdekes ilyen szempontból Lane és Longsrup ismertetése, amely 21 európai személygépkocsival végzett hidegindítási kísérletről számol be (12). Az eredmények a 10. ábrán láthatók, amely az ordinátán az eredményes indítások hányadát tünteti fel az összes indítás százalékában, az abszcisszán pedig az indítási hőmérsékletet. A kísérleteket két SAE 20W/50 és egy SAE 10W/50 olajjal végezték, amelyek viszkozitása $-17,8^{\circ}\text{C}$ -on 8600, 3500, illetve 2400 cP volt. A diagramból kitűnik, hogy a SAE 10W/50 olajjal a járművek 80°C -a

—16 °C-on, 60⁰/₀-a —18 °C-on, 40⁰/₀-a pedig —22 °C-on indult. A kisebb viszkozitású SAE 20W/50 olajjal a járművek 80⁰/₀-a —14 °C-on, 60⁰/₀-a —16 °C-on, 40⁰/₀-a —17 °C-on, míg a viszkozusabb SAE 20W/50 olajjal a gépkocsik 80⁰/₀-a —8 °C-on, 60⁰/₀-a —12 °C-on, 40⁰/₀-a pedig —14 °C-on volt indítható.

Bár az MN-ben az eddig használatos olajfajtákkal kifejezett hidegindítási kísérletek nem folytak és az EM-12 olajjal végzendő ilyen jellegű próbák még előttünk állnak, az irodalmi adatok alapján bizonyos becsléseket mégis tehetünk a hidegindítás lehetőségeire. Így jó állapotban levő benzinüzemű motorok legmélyebb indítási hőmérséklete feltöltött akkumulátorral, előmelegítés és indítófolyadék nélkül MMA-60 olaj használata esetén várhatóan +3 °C... 0 °C, MMA-40 olajjal 0 °C... —3 °C, EM-12 olajjal pedig —3 °C... —6 °C. Ezek természetesen csak becsült adatok, amelyekről a gyakorlati mérések eredményei kisebb-nagyobb mértékben eltérhetnek.

(Az ábrák a folyóirat végén található.)

Felhasznált irodalom

1. Dr. Mózes Gyula — Dr. Vámos Endre: Reológia és reometria. Műszaki Könyvkiadó, 1968.
2. Dr. Vámos Endre: Elméleti kenéstechnika. A Budapesti Műszaki Egyetem Továbbképző Intézetének kiadványa, 1971.
3. Prof. Dr. M. Brunner: Motorenölprobleme beim Kaltstart von Fahrzeug-Benzinmotoren. Automobil Revue, 1971. 4—6. sz.
4. Dr.-Ing. Wilfried J. Bartz: Viskosität und Fließverhalten von Mehrbereichsmotorenölen bei tiefen und hohen Temperaturen. A MÁFKI-ban 1973. augusztus 30-án elhangzott előadás.
5. Tentative Method of Test for Apparent viscosity of motor oils at low temperature using the cold cranking simulator. ASTM D 2602-67 számú szabvány.
6. Dr.-Ing. Wilfried J. Bartz: Mehrbereichsöle für den Winter. VDI Nachrichten, 1969.
7. Multigrade motorolajok motorkísérletei. A Nagynyomású Kísérleti Intézet zárójelentése, 1970.
8. Christoph G. A. Eberan-Eberhorst — Erich Wiese: Die Bedeutung der Viskositäs Temperatur-Charakteristik von Ein- und Mehrbereichsmotorenölen im praktischen Betrieb. Erdöhl und Kohle, 1973. 2. szám.
9. R. M. Stewart — C. R. Spahn: Some Factors affecting the cold pumpability of crankcase oils. SAE-Paper 720150.
10. Willy Wolf: Pump- und Gleitverhalten von Schmierstoffen bei tiefen Temperaturen. Erdöhl und Kohle, 1972. 7—8. szám.
11. B. Parrington — W. C. Pike: The effect of lubricants on the starting ability of automobile engines. Wear 17. 351/65 (1971).
12. G. Lane — T. F. Longstrup: One motor oil meet all European car makers' requirements — dream of reality? Paper 5/3, FISITA London, 1972.
13. G. Pusateri: A motorolajok osztályozása. Az 1973. évi AGIP szimpóziumon Budapesten elhangzott előadás.