

Dr.sc. IVAN MAVRIN  
Dr.sc. ERNEST BAZIJANAC  
Fakultet prometnih znanosti  
Faculty of transport and traffic engineering  
Zagreb, Vukelićeva 4

Prometna tehnika - Traffic Engineering  
Pregledni članak - Review  
UDC: 621.436.1.001.4 : 662.758  
Primljeno - Accepted: 23.02.1995.  
Prihvaćeno - Approved: 24.04.1995.

## ISPITIVANJE POGONSKIH ZNAČAJKI DIZELSKOGA MOTORA S MJEŠAVINAMA MOTORNIH GORIVA

## TEST DER BETRIEBS- LEISTUNGEN VOM DIESEL- MOTOR MIT MOTORBRENN- STOFFMISCHUNGEN

### SAŽETAK

*U radu su analizirani problemi koji se pojavljuju pri radu dizelskoga motora s više vrsta motornih goriva.*

*Na temelju izvršenoga eksperimenta pri radu dizelskoga motora D-postupkom, utvrđena je ovisnost pokazatelja radnog procesa o udjelu motornog benzina u dizelskom gorivu.*

### 1. UVOD

Standardna goriva za dizelske motore imaju loša niskotemperaturna svojstva. Naime, već i pri relativno visokim zimskim temperaturama izdvajaju se kristali parafina koji bitno smanjuju tekuća svojstva goriva. To može rezultirati začepljenjem instalacije za napajanje gorivom što opet može onemogućiti pokretanje motora i izazvati prestanak rada motora.

U Republici Hrvatskoj normizirane su dvije vrste dizelskoga goriva, D-1 i D-2. Zimski tip goriva D-2 ima točku filtrabilnosti  $-9^{\circ}\text{C}$ , a za gorivo D-1 točka filtrabilnosti iznosi  $-17^{\circ}\text{C}$ . U zimskim se uvjetima problemi u radu s dizelskim gorivom pojavljuju iz dva razloga: prvo, u nekim područjima temperature su često niže i od  $-17^{\circ}\text{C}$ , a drugo, goriva D-1 često nedostaje, jer se rjeđe nalazi u trgovačkoj prodajnoj mreži, pa se uglavnom koristi gorivo D-2.

Sposobnost aktiviranja i rada pri niskim temperaturama okoline posebno je važna za vozne parkove nekih specijalnih tvrtki. To su npr. tvrtke za održavanje cesta, poduzeća javnog prometa itd. Zahtjevi za visokom operativnom gotovošću na niskim temperaturama postavljaju se i za vojna motorna vozila. Utjecaj niskih temperatura u ovim slučajevima je osobito izražen i zbog toga što se vozila često garažiraju na otvorenom.

Niskotemperaturna svojstva dizelskoga goriva mogu se popraviti miješanjem s motornim gorivima boljih niskotemperaturnih svojstava kao što su motorni benzini i petrolej. Klasičan dizelski motor nije predviđen za rad sa širim spektrom motornih goriva. Za rad s više vrsta motornih goriva predviđeni su tzv. višegorivni motori koji se uglavnom upotrebljavaju u vojne svrhe kako bi bili što manje osjetljivi na poremećaje u opskrbljivanju različitim vrstama goriva.

Na osnovi prethodnih napomena o nekim problemima zimске eksploatacije, proizlazi da je svrhovito ispitati mogućnosti i probleme pri radu jednoga konkretnog tipa dizelskog motora s mješavinom dizelskoga goriva i ostalih goriva koja imaju bolja niskotemperaturna svojstva.

### SUMMARY

#### TESTS OF POWER PROPERTIES OF DIESEL ENGINES RUN WITH DIFFERENT FUEL MIXTURES

*The paper deals with the study of problems appearing in the process of operation of the Diesel engine with different fuel mixtures.*

*The results of the experiment run for the Diesel engine by application of D-method show the interdependent aspect of the working cycle factors and the ratio of gasoline in Diesel fuel.*

### 1. EINFÜHRUNG

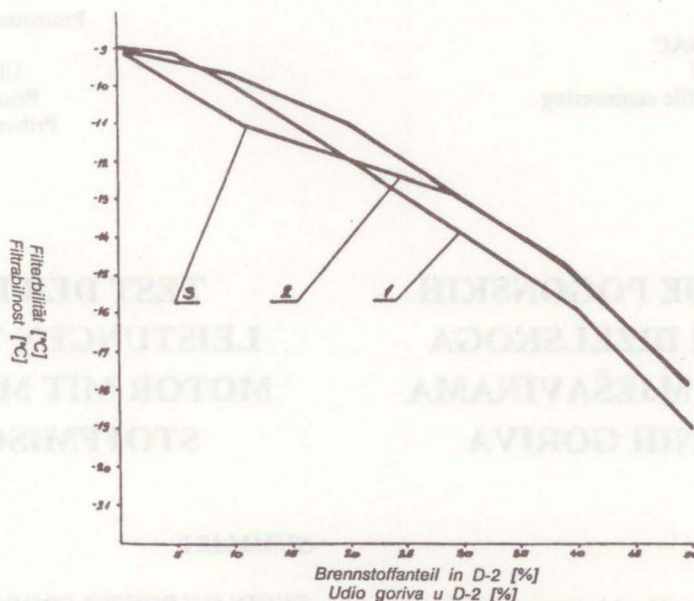
Die Standardbrennstoffe für Dieselmotoren haben schlechte Niedertemperatureigenschaften. Bei den relativ hohen Wintertemperaturen kommt es bereits zur Absonderung der Paraffinkristalle, welche die Flüssigkeitseigenschaften der Brennstoffe wesentlich reduzieren. Das kann die Verstopfung der Installation für die Brennstoffversorgung zur Folge haben, was den Motorenlauf unmöglich machen könnte, bzw. es könnte die Einstellung des Motorlaufs als Nachwirkung haben.

In der Republik Kroatien sind zwei Dieselmotorbrennstoffe D-1 und D-2 standardisiert. Der Wintertyp D-2 hat den Filterabilitätspunkt  $-9^{\circ}\text{C}$  und für den Brennstoff D-1 beträgt der Filterabilitätspunkt  $-17^{\circ}\text{C}$ .

Die Schwierigkeiten mit dem Dieselmotorbrennstoff entstehen während der Winterbedingungen aus zwei Gründen. Erstens herrschen Temperaturen unter  $-17^{\circ}\text{C}$  und zweitens fehlt es oft an Brennstoff D-1, so dass man den Brennstoff D-2 hauptsächlich verwendet.

Die Aktivierungs- und Arbeitsfähigkeit bei niedrigen Umgebungstemperaturen ist für die Fahrzeuge einiger spezieller Firmen wie z.B. Firmen des öffentlichen Verkehrs u.a., besonders wichtig. An Militärfahrzeuge werden, wegen der hohen operativen Bereitschaft bei niedrigen Temperaturen, hohe Ansprüche gestellt die streng eingehalten werden müssen. Es ist zu berücksichtigen dass Militärfahrzeuge oft am offenen garagiert werden und somit niedrigen Temperaturen ausgesetzt sind.

Die Niedertemperatureigenschaften können durch die Mischung mit Motorbrennstoffen von besseren Niedertemperatureigenschaften verbessert werden, wie die Motorenbenzine und Petroleum. Der klassische Dieselmotor ist zur Arbeit mit dem breiten Spektrum der Motorbrennstoffe nicht vorgesehen.



Slika 1. Dijagrami miješanja dizelskoga goriva D-2 s gorivima:

1. motorni benzin MB-86, 2. kerozin GM-1, 3. motorni petrolej

Abb. 1: Filterabilität der Mischung vom Dieseltreibstoff D-2 mit Brennstofftypen:

1.-Motorenbenzin MB-86, 2.-Kerosin GM-1, 3.-Motorenpetroleum

## 2. ZNAČAJKE MJEŠAVINA MOTORNH GORIVA

Miješanjem dizelskoga goriva s ostalim gorivima dobije se gorivo novih fizikalno-kemijskih i motornih značajki. Ovdje će se analizirati neke glavne značajke takvoga goriva u ovisnosti o volumenskom udjelu goriva MB-86 u gorivu D-2.

### 2.1. Niskotemperaturna svojstva

Miješanjem dizelskoga goriva s ostalim motornim gorivima lakšega frakcijskog sastava mogu se poboljšati niskotemperaturna svojstva, što je pokazano na slici 1.

Kako se vidi na slici 1., najveće poboljšanje niskotemperaturnih svojstava postiže se miješanjem s motornim benzinom MB-86, ali zbog svojih motornih značajki takva će mješavina sigurno najviše odstupati od kvalitete koja se traži za dizelsko gorivo. S druge strane, za razliku od ostalih razmatranih goriva, motorni benzin MB-86 je najzastupljeniji u prodajnoj mreži, pa ga je i lakše nabaviti. To su glavni razlozi što će se daljnja analiza i ispitivanje obavljati s mješavinom dizelskoga goriva D-2 i motornog benzina MB-86.

### 2.2. Cetanski broj

Cetanski broj (CZ) jedna je od najvažnijih motornih značajki goriva za dizelske motore. Dodavanjem motornog benzina dizelskom gorivu smanjuje se CZ, čime se smanjuje sklonost goriva k samozapaljenju. Za motorne benzine propisuje se oktanski broj. Za određivanje CZ benzina na osnovi poznatog oktanskog broja primjenjuje se Wilkeova formula [1]:

$$CZ = 60 - 0.5 \cdot MOZ \quad (1)$$

gdje je:

MOZ - oktanski broj određen po motornoj metodi

Na temelju toga izraza, cetanski broj razmatranoga motornog benzina iznosi CZ=20, a na slici 2. je, primjenom toga

Für die Arbeit mit mehreren Brennstofftypen sind Mehrbrennstoffmotoren am besten geeignet, deswegen werden dieselben hauptsächlich zu Militärzwecken genutzt [1]. Mehrbrennstoffmotoren sind auf Veränderungen der Brennstoffqualität weniger empfindlich.

Auf Grund vorheriger Bemerkungen bezüglich der Exploitation in Winterbedingungen geht hervor, dass es zweckmäßig ist, die Arbeitsbedingungen beim Lauf eines konkreten Dieselmotors mit bestimmten Brennstoffmischungen (Diesel und Benzin).

## 2. EIGENSCHAFTEN DER MOTORBRENNSTOFFMISCHUNGEN

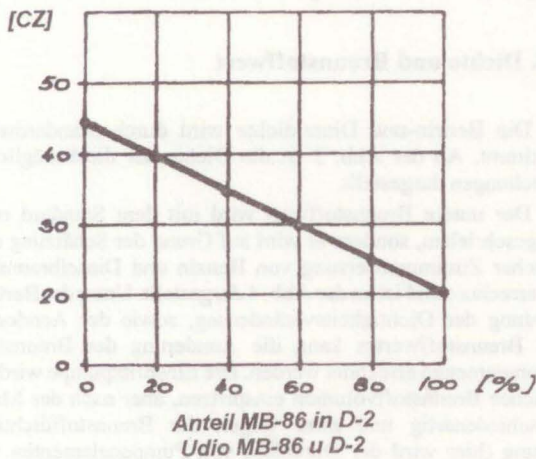
Durch die Mischung der Dieseltreibstoffe mit anderen Brennstoffen bekommt man einen Brennstoff mit neuen physikalisch-chemischen Eigenschaften. Hier werden einige Grundeigenschaften solchen Brennstoffs analysiert, welche die Betriebseigenschaften wesentlich beeinflussen könnten.

### 2.1. Niedertemperatureigenschaften

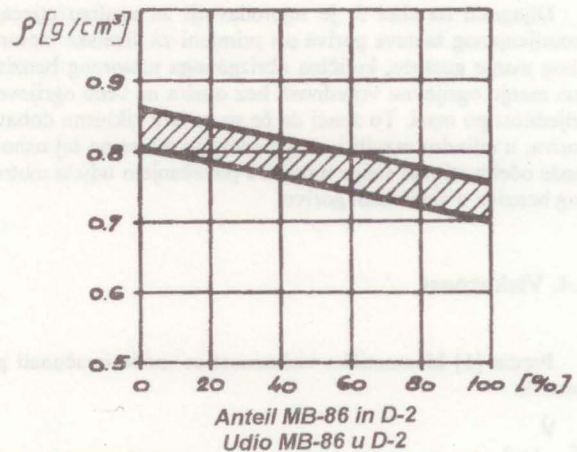
Die Wirksamkeit einer Verbesserung von den Niedertemperatureigenschaften der Dieseltreibstoffe durch die Mischung mit anderen Motorbrennstoffen der leichteren Fraktionszusammensetzung ist an Abb. 1 dargestellt [2].

Wie man an der Abb. 1 sieht, wird die grösste Verbesserung der Niedertemperatureigenschaften durch die Mischung mit dem Motorenbenzin MB-86 erreicht, aber wegen dessen Eigenschaften würde eine solche Mischung von der, für einen Dieseltreibstoff, geforderten Qualität am meisten abweichen.

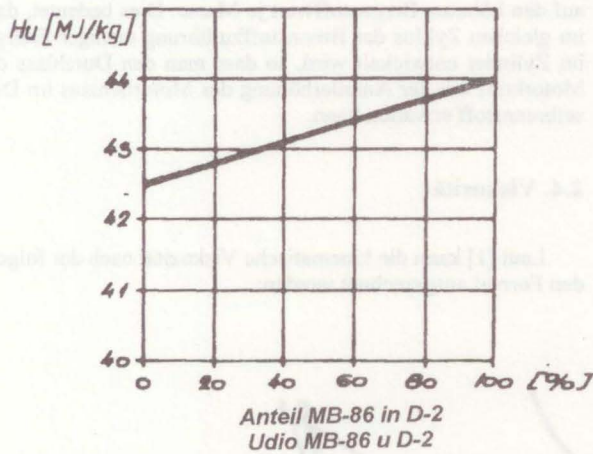
Andererseits ist, zum Unterschied von den anderen in Betracht gezogenen Brennstoffen, das Motorenbenzin MB-86 im Verkaufsnetz am meisten vertreten. Das sind die Hauptgründe, um das Testen der Mischung von Dieseltreibstoff D-2 mit dem Motorenbenzin MB-86 durchzuführen.



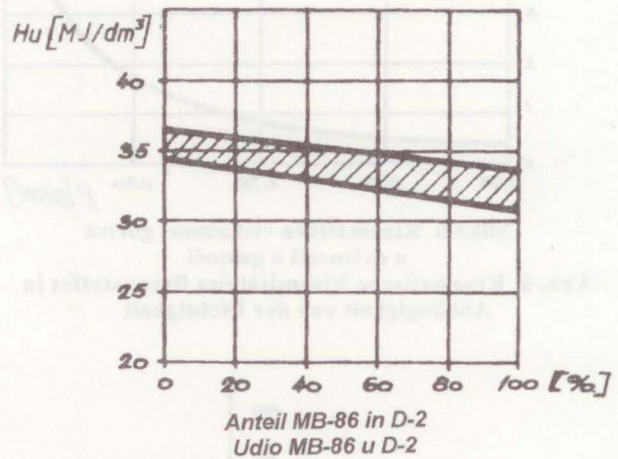
Slika 2. Cetanski broj za mješavine D-2 i MB-86  
Abb. 2: Cetanzahl für Mischungen D-2 und MB-86



Slika 3. Gustoća mješavine goriva  
Abb. 3: Dichtigkeit der Brennstoffmischungen



Slika 4. Donja ogrijevna vrijednost goriva  
Abb. 4: Unterer Heiztreibstoffwert



Slika 5. Donja ogrijevna vrijednost volumenske količine goriva  
Abb. 5: Unterer Heizwert der Treibstoffvolumenmenge

izraza, pokazana promjena CZ u ovisnosti o volumenskom udjelu MB-86 u gorivu D-2.

Smanjenje CZ ima za posljedicu povećanje perioda zakašnjenja paljenja, a time i promjenu kompletnog tijeka procesa izgaranja. Također se može očekivati pogoršanje sposobnosti pokretanja motora. U kojoj mjeri će ti problemi biti izraženi, odredit će se mjerenjem.

### 2.3. Gustoća i ogrijevna vrijednost goriva

Gustoća benzina i dizelskoga goriva propisana je normom. Za mješavine ovih goriva gustoća je pokazana na slici 3.

Donja ogrijevna vrijednost se ne propisuje normom, pa je ona izračunana na osnovi procijenjenoga kemijskog sastava benzina i dizelskoga goriva prema [1] i pokazana na slici 4. Uzimajući u obzir promjenu gustoće i promjenu ogrijevne vrijednosti goriva, može se izračunati i promjena ogrijevne vrijednosti volumenske količine goriva. Naime, crpka visokog tlaka će ubrizgavati jednaku volumensku količinu goriva, ali različitu

### 2.2. Cetanzahl

Die Cetanzahl ist eine der bedeutendsten Motoreigenschaften der Brennstoffe für Dieselmotoren. Durch das, dem Dieselmotoren brennstoff zugegebene, Motorbenzin wird die Cetanzahl vermindert, womit man die Neigung des Brennstoffes zur Selbstzündung verschlechtert.

Zur Cetanzahl-Bestimmung wird die Wilke-Formel [1] benutzt:

$$CZ = 60 - 0.5 \cdot MOZ, \quad (1)$$

CZ - Cetanzahl,

MOZ - Oktanzahl bestimmt nach der Motorenmethode.

Auf Grund dieses Ausdrucks beträgt die Cetanzahl, des in Betracht gezogenen Motorenbenzins, CZ=20 und die Abb. 2 gibt die Cetanzahländerung in Abhängigkeit vom, in Brennstoff D-2 vorhandenen, Volumenanteil MB-86.

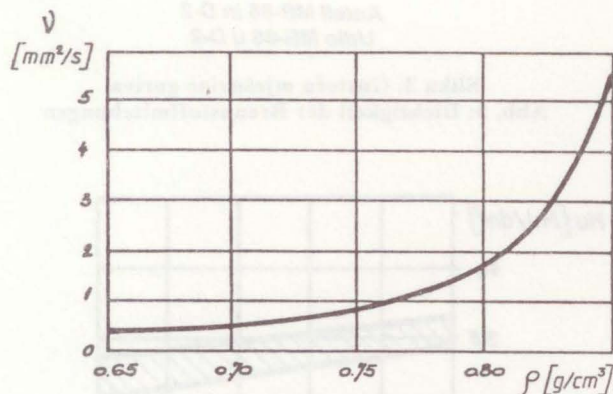
Die CZ-Verminderung hat die Erhöhung der verspäteten Verbrennungsperiode, somit auch die Aenderung des kompletten Verlaufs des Verbrennungsprozesses zur Folge. Man kann die verschlechterte Leistung des Motorlaufs auch erwarten. In

po masi zbog promjene gustoće goriva (ovdje se zanemaruje propuštanje elementa crpke), što je pokazano na slici 5.

Dijagram na slici 5. je mjerodavniji za analizu utjecaja promijenjenog sastava goriva pri primjeni za dizelske motore. Zbog manje gustoće, količina ubrizganoga motornog benzina ima manju ogrijevnu vrijednost, bez obzira na veću ogrijevnu vrijednost po masi. To znači da će se za istu ciklusnu dobavu goriva, u cilindru razviti i manje energije, pa se po toj osnovi može očekivati pad snage motora s povećanjem udjela motornog benzina u dizelskom gorivu.

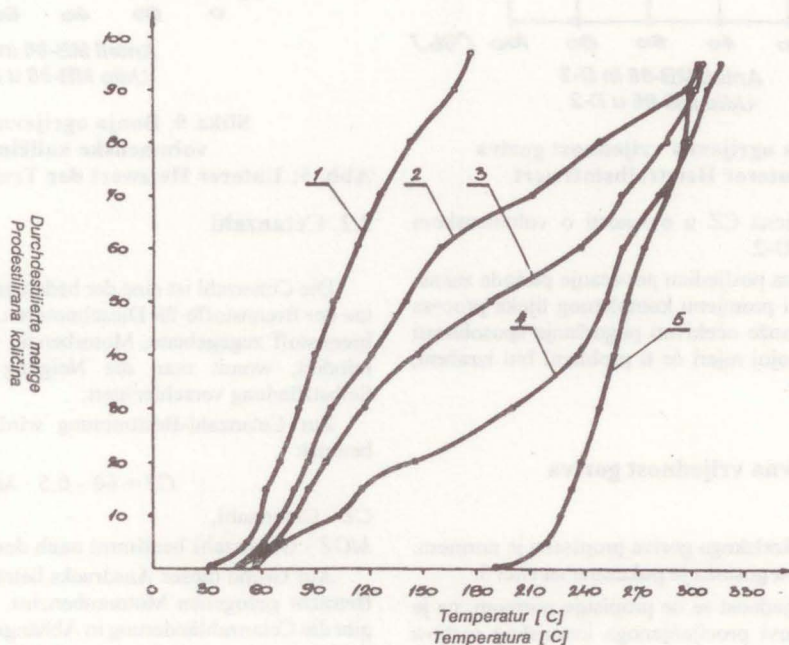
### 2.4. Viskoznost

Prema [1] kinematička viskoznost se može izračunati po formuli:



Slika 6. Kinematička viskoznost goriva u ovisnosti o gustoći

Abb. 6: Kinematische Viskosität des Brennstoffes in Abhängigkeit von der Dichtigkeit



Slika 7. Dijagram destilacije:

1. MB-86, 2. 70% MB-86 i 30% D-2, 3. 50% MB-86 i 50% D-2, 4. 70% MB-86 i 30% D-2, 5. D-2

Abb. 7: Destillation-Diagramm:

1.-MB-86, 2.-70% MB-86 und 30% D-2, 3.-50% MB-86 udn 50% D-2, 4.-70% MB-86 und 30% D-2, 5.-D-2

welchem Masse diese Probleme zum Vorschein kommen können, ist durch die Messung zu bestimmen.

### 2.3. Dichte und Brennstoffwert

Die Benzin-und Dieseldichte wird durch Standardwerte bestimmt. An der Abb. 3 ist die Dichte der diesbezüglichen Mischungen dargestellt.

Der untere Brennstoffwert wird mit dem Standard nicht vorgeschrieben, sondern er wird auf Grund der Schätzung chemischer Zusammensetzung von Benzin und Dieselbrennstoff [1] errechnet und ist an der Abb. 4 dargestellt. Unter der Berücksichtigung der Dichtigkeitsveränderung, sowie der Aenderung des Brennstoffwertes kann die Aenderung der Brennstoffvolumenmenge errechnet werden. Die Einspritzpumpe wird das gleiche Brennstoffvolumen einspritzen, aber nach der Masse verschiedenartig und zwar wegen der Brennstoffdichteänderung (hier wird der Durchlass von Pumpenelementen vernachlässigt), was die Abb. 5 darstellt.

Das auf der Abb. 5 dargestellte Diagramm ist für die Analyse des Einflusses der veränderten Brennstoffzusammensetzung bei der Verwendung für Dieselmotoren massgebend. Wegen einer kleineren Dichte hat die Menge des eingespritzten Motorbenzins minderwertigen Brennstoffwert, ohne Rücksicht auf den höheren Brennstoffwert je Masse. Dies bedeutet, dass im gleichen Zyklus der Brennstoffzuführung weniger Energie im Zylinder entwickelt wird, so dass man den Durchlass der Motorkraft mit der Anteilerhöhung des Motorbenzins im Dieseldieselbrennstoff erwarten kann.

### 2.4. Viskosität

Laut [1] kann die kinematische Viskosität nach der folgenden Formel ausgerechnet werden:

$$\log v = \frac{1.306 - \rho}{1 - \rho} \quad [\text{mm}^2/\text{s}] \quad (2)$$

gdje je:

$v$  - viskoznost

$\rho$  - gustoća (a formula vrijedi za  $0.65 < \rho < 0.85 \text{ g/cm}^3$ )

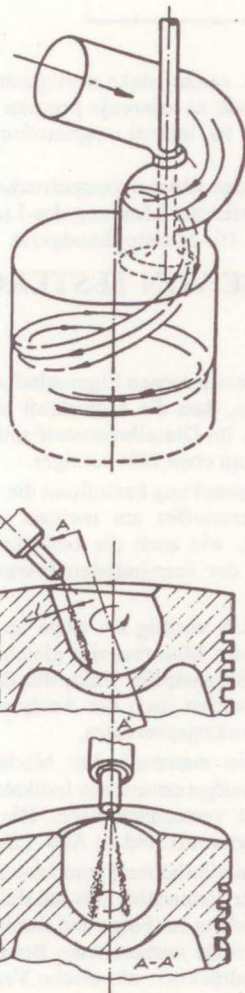
Ovisnost kinematičke viskoznosti goriva o gustoći pokazana je na slici 6.

Smanjivanjem viskoziteta goriva, rastu gubici goriva zbog propusnosti između stapa i cilindra crpke visokog tlaka. Količina gubitaka goriva zbog propusnosti upravo je proporcionalna viskoznosti goriva [1]. To ima dvostruki negativan učinak: smanjuje se količina ubrizganoga goriva u cilindar, te kontaminacija ulja za podmazivanje s gorivom.

## 2.5. Frakcijski sastav

Jedna od važnih značajki goriva je i frakcijski sastav, odnosno svojstvo vezano uz isparljivost goriva, a koje se predočuje preko dijagrama destilacije (sl. 7.) [2].

Za razliku od dizelskoga goriva i motornog benzina, njihove su mješavine, kako se to vidi na slici, goriva širokoga frakcijskog sastava.



Slika 8. Oblik usisnoga kanala i komore u stapu ispitivanog motora

Abb. 8: Form des Saugkanals und der Verbrennungskammer des getesteten Motors

$$\log v = \frac{1.306 - \rho}{1 - \rho} \quad [\text{mm}^2/\text{s}] \quad (2)$$

$\gamma$  - Viskozität,

$\rho$  - Dichtigkeit und die Formel gilt für  $0.65 < \rho < 0.85 \text{ g/cm}^3$ .

Die Abhängigkeit der kinematischen Brennstoffviskosität von der Dichtigkeit ist an Abb. 6 dargestellt.

Durch die Verminderung der Brennstoffviskosität nehmen die Verluste an Brennstoff wegen der Dichte zwischen dem Kolben und Zylinder der Einspritzpumpe zu. Die Menge der Brennstoffverluste ist wegen der Durchlässigkeit proportional zur Brennstoffviskosität [1]. Diese Tatsache hat den doppelten negativen Effekt: die Menge des eingespritzten Brennstoffs im Zylinder wird vermindert und die Schmierölkontamination mit dem Brennstoff vergrößert sich. Der Drang des Brennstoffes ins Schmieröl beeinflusst den erhöhten Verschleiss von Elementen.

## 2.5. Fraktions-Bestandteile

Die Fraktionszusammensetzung, bzw. die, mit der Brennstoffverdampfung verbundene Eigenschaft, stellt eine der wichtigen Brennstoffeigenschaften dar, welche durch das Destillationsdiagramm, Abb. 7., dargestellt wird [2].

Zum Unterschied von Diesel- und Motorbrennstoff stellen diesbezügliche Mischungen, wie man auf der Abbildung sieht, die Brennstoffe der breiten Fraktionszusammensetzung dar.

Neben der grösseren Verdunstung haben die Brennstoffe der leichteren Fraktionszusammensetzung ein grösseres Zusammenpressmodul, welches Einfluss auf die Abwicklung des Prozesses der Brennstoffeinspritzung hat.

## 3. PLAN DER UNTERSUCHUNG

Wie im letzten Punkt angegeben, sieht man, dass der Motorenlauf mit der verminderten Brennstoffzusammensetzung eine Reihe von Schwierigkeiten verursachen kann, die in drei Gruppen aufgeteilt werden können:

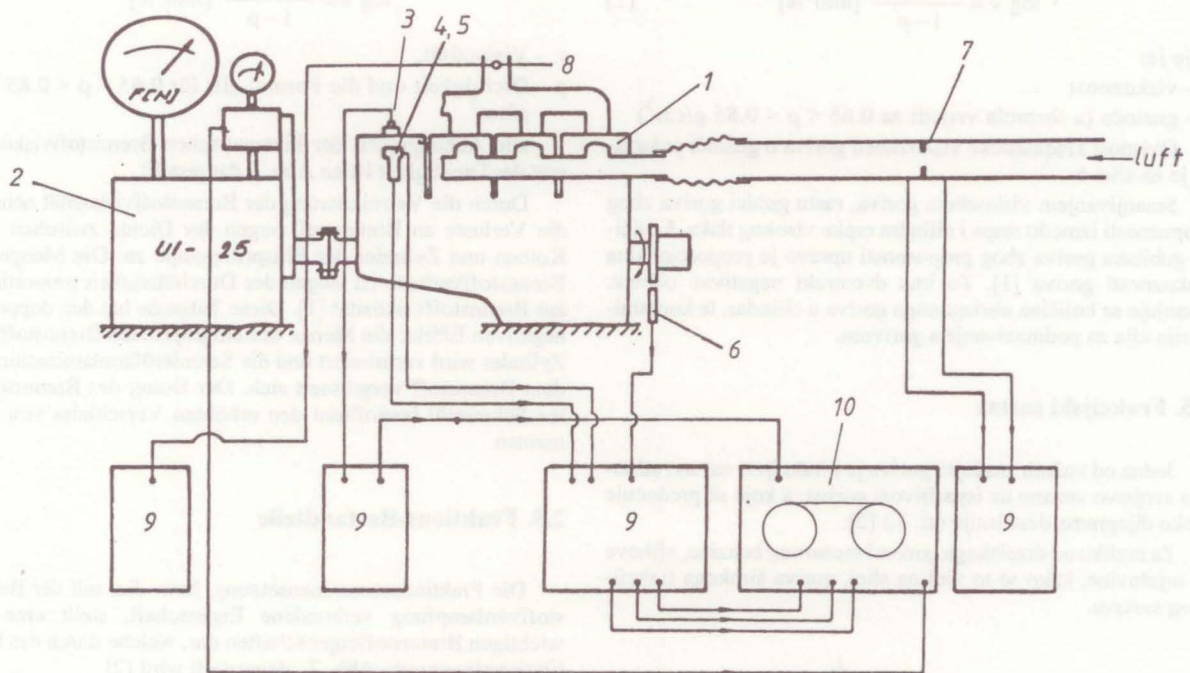
- die mit dem Motorenlauf, bezüglich der Brennstoffzuführung, verbundenen Probleme,
- die mit dem Verbrennungsprozess verbundenen Probleme und
- die auf die Zuverlässigkeit der Motorelementen bezogenen Probleme.

In dieser Darstellung werden nur jene Probleme analysiert, welche mit dem Verbrennungsprozess und deren Folgen hauptsächlich mit dem effektiven Motorenanzeiger verbunden sind.

Die Untersuchung wurde mit den Mischungen von Motorbenzin MB-86 und Dieseltreibstoff D-2 durchgeführt.

Für die Ausführung des Experimentes ist der Dieselmotor TAM F4L413FR, Kraft 81 kW bei 2650 U/min gewählt worden. Beim angeführten Motor ist die direkte Einspritzung mit der Kolbenkammer, bzw. das sogenannte "D-Verfahren" der Firma "Klöckner-Humbolt Deutz", Abb. 8, verwendet.

Die Analyse des Arbeitsprozesses im Motor ist auf Grund des aufgenommenen Indikator-Diagramms und der Geschwindigkeitseigenschaften realisiert worden. Für die Bedürfnisse dieser Tests ist die an Abb. 9 dargestellte Messkette formiert worden. Die Messsignale für die Analyse des Verbrennungsprozesses sind auf Tonband aufgenommen und danach an Rechnern verarbeitet worden.



Slika 9. Mjerni lanac:

1. motor, 2. hidraulična kočnica, 3. senzor tlaka u cilindru, 4. senzor tlaka ubrizgavanja,
5. senzor pomaka igle brizgaljke, 6. senzor pozicije GMT, 7. blenda za mjerenje protoka zraka,
8. senzor temperature ispušnih plinova, 9. mjerna pojačala, 10. mjerni magnetofon

Abb. 9: Messkette:

- 1.-Motor, 2.-Hydraulische Bremse, 3.-Drucksensor im Zylinder, 4.-Sensor des Einspritzdruckes, 5.-Sensor des Spritznadel-schiebers, 6.-Position-Sensor des oberen Totpunktes, 7.-Dämpfer zur Messung des Luftverbrauches,
- 8.-Temperatursensor der Auspuffgase, 9.-Messverstärker, 10.-Messtonbandgerät

### 3. ISPITIVANJE RADA MOTORA

Na temelju prethodne analize, može se zaključiti da će se pri radu dizelskog motora s mješavinama motornih goriva pojaviti niz problema koji se uvjetno mogu podijeliti u tri skupine:

- problemi povezani s radom sustava za napajanje gorivom
- problemi povezani s realizacijom procesa izgaranja
- problemi pouzdanog rada motora.

Ovdje se uglavnom analiziraju problemi u svezi s realizacijom procesa izgaranja i posljedice na pogonske značajke motora.

Ispitivanje je izvršeno s mješavinama dizelskoga goriva D-2 i motornog benzina MB-86.

Za izvođenje eksperimenta izabran je dizelski motor TAM F4L413FR, snage 81 kW pri 2650 o/min. Motor je s izravnim ubrizgavanjem i komorom u stapu, odnosno s tzv. "D-postupkom", razvijenim u tvornici Klockner-Humbolt Deutz.

Analiza radnog procesa radena je na temelju snimljenog indikatorskog dijagrama i vanjskih brzinskih značajki. Za potrebe ispitivanja oblikovan je mjerni lanac pokazan na slici 9. Snimanje indikatorskog dijagrama je izvršeno na mjerni magnetofon, a nakon toga obavljena je digitalizacija i obrada na računalu.

### 4. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

Iz vanjske brzinske značajke vidi se da snaga pada s povećanjem udjela motornog benzina u dizelskom gorivu. Pri radu sa 70% MB-86 snaga je manja za oko 20% od nazivne.

### 4. ANALYSE VON TESTERGEBNISSEN

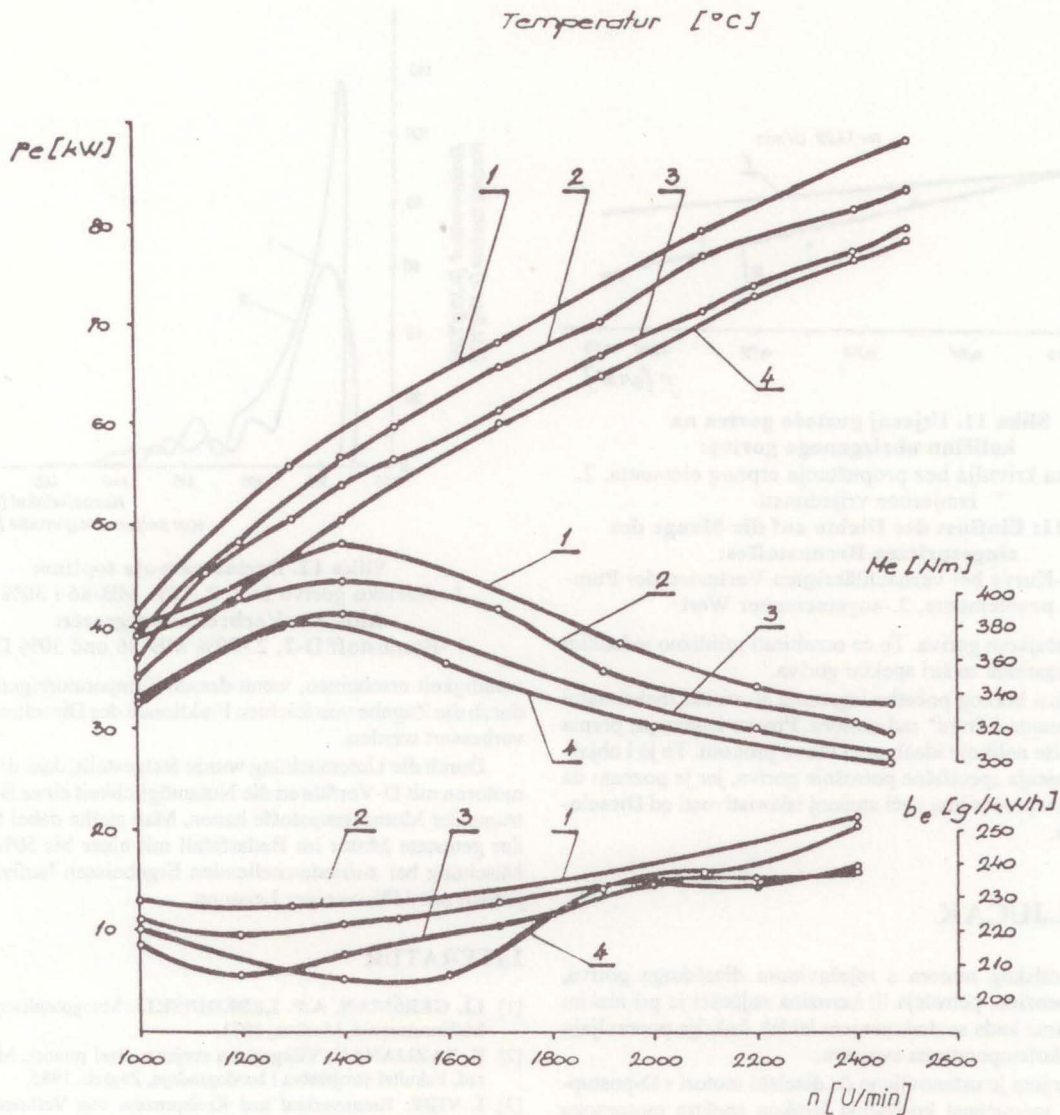
Aus der aufgenommenen Eigenschaft der Aussengeschwindigkeit sieht man, dass die Motorkraft mit der Erhöhung des Motorbenzinteils im Dieselbrennstoff sinkt. Beim 70%MB-86 ist die Leistung um etwa 20% weniger.

Die Leistungssenkung beeinflusst die verminderte Massenmenge des Brennstoffes am meisten wegen der kleineren Brennstoffdichte, wie auch die erhöhten Verluste im Pumpenelent wegen der verminderten Brennstoffviskosität, Abb. 11.

Es ist zugleich wichtig ins Auge zu fassen, dass mit der Anteilerhöhung des Motorbenzins gleichzeitig der spezifische Verbrauch des Brennstoffes sinkt, dh. der Wirkungsgrad des Arbeitsprozess wächst nach der Analyse der Indikatorzeiger, bzw. des Verbrennungsprozesses.

Es wurde ein mathematisches Modell ausgearbeitet [3], womit man aus aufgenommenem Indikatorogramm das Verbrennungsgesetz verrechnen kann. Die Analysenergebnisse des Indikatorgramms sind an Abb. 12 dargestellt.

Durch die Anteilerhöhung vom Motorbenzin kommt es zur Herabsetzung der Cetanzahl. Das hat die längere Verspätungsperiode der Zündung zur Folge und damit die Erhöhung der für die in dieser Periode vorbereiteten Brennstoffmenge. Dessen Folge ist die ausdrücklich stürmische Verbrennung in der Anfangsperiode, was am Abb. 12 wohl ersichtlich ist, nach der Anfangsstürmisch-kinetischer Type der Verbrennung kommt es zur Diffusionsbrenntype. Da in der D-Verfahrengrundlage die Mischmaschinenbehandlung benutzt wird, ist in der zweiten Phase die Verbrennungsschnelligkeit eigentlich mehr durch die



Slika 10. Vanjska brzinska značajka:

1. 100% D-2, 2. 30% MB-86 i 70% D-2, 3. 50% D-2 i 50% MB-86, 4. 10% MB-86 i 30% D-2

Abb. 10. Leistungsdiagramm:

1.-100% D-2, 2.-30% MB-6 und 70% D-2. 3.-50% D-2 und 50% MB-86, 4.-70% MB-86 und 30% D-2

Na pad snage najviše utječe smanjena masena količina ubrizganoga goriva zbog manje gustoće goriva, a i zbog gubitaka goriva uslijed propuštanja crpnog elementa zbog smanjenog viskoziteta.

Važno je uočiti da se s povećanjem udjela motornog benzina u dizelskom gorivu smanjuje specifična potrošnja goriva. To znači da je povećan stupanj iskoristivosti motora, što se može razjasniti analizom indikatorskog dijagrama.

Za te potrebe razvijen je matematički model za obradu procesa izgaranja, na temelju čega se može izračunati tijek razvoja topline. Rezultati analize indikatorskog procesa u obliku dijagrama razvoja topline prikazani su na slici 12. [3].

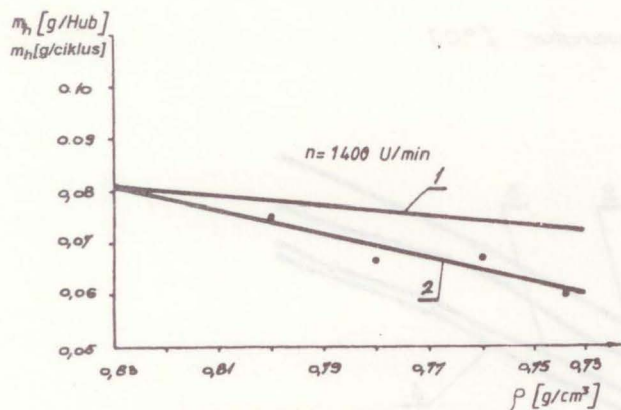
Povećanjem udjela motornog benzina smanjuje se cetanski broj. To ima za posljedicu povećanje perioda zakašnjenja paljenja, a time se povećava količina ubrizganoga goriva prije početka izgaranja. Nakon početnoga burnoga kinetičkog tipa izgaranja, dolazi difuzijski tip izgaranja. Budući da je u osnovi D-postupka strujno obrazovanje smjese, pa je brzina izgaranja u drugoj fazi zapravo određena brzinom dovođenja svježeg zraka,

Schnelligkeit der Frischluftzufuhr und weniger durch die Brennstoffeigenschaft bestimmt. Zur Folge wird das eine annähernd gleiche Brenndauer für ein breiteres Brennstoffspektrum haben.

Die ausgesprochen stürmische Anfangsbrennperiode hat einen "harten" Motorenlauf, bzw. eine grosse Geschwindigkeit der Druckerhöhung im Zylinder, wie auch hohe Werte des Maximaldruckes. Diese Eigenschaften des Brennprozess nähern sich der Form des idealen Otto-Prozesses, was die Erklärung zur Verminderung des spezifischen Brennstoffverbrauchs zugleich darstellt, da bereits bekannt ist, dass der Otto-Prozess für die gleichen Kompressionsstufen höhere Wirkungsgrade als der Dieselprozess aufweist.

## 5. SCHLUSSFOLGERUNG

Der Lauf des Motors mit der Mischung von Dieseltreibstoff, Motorbenzin und Petroleum kann bei der Dieselmotorverwendung während der niedrigen Temperaturen als Not-



Slika 11. Utjecaj gustoće goriva na količinu ubrizganoga goriva:

1. teorijska krivulja bez propuštanja crpnog elementa, 2. izmjerene vrijednosti

Abb. 11: Einfluss der Dichte auf die Menge des eingespritzten Brennstoffes:

1.-Theorie-Kurve bei vernachlässigten Verlusten der Pumpelemente, 2.-angemessener Wert

a manje značajkom goriva. To će rezultirati približno jednakim trajanjem izgaranja za širi spektar goriva.

Posljedica burnog početka izgaranja su visoki maksimalni tlakovi izgaranja i "tvrd" rad motora. Proces izgaranja, prema tomu, sve više nalikuje idealnom Ottovu procesu. To je i objašnjenje smanjenja specifične potrošnje goriva, jer je poznato da idealan Ottov proces ima veći stupanj iskoristivosti od Dieselovog procesa.

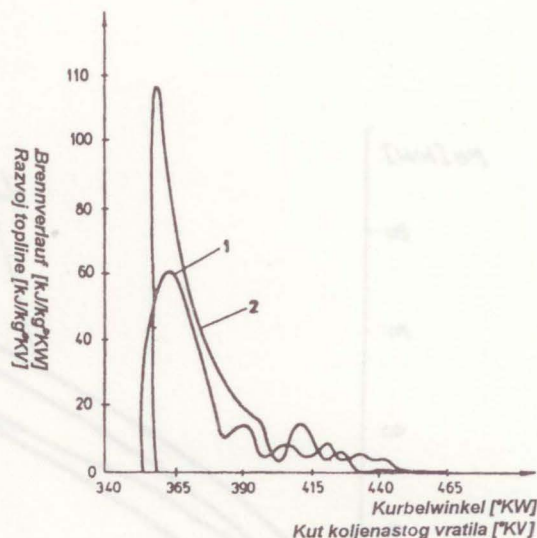
## 5. ZAKLJUČAK

Rad dizelskog motora s mješavinom dizelskoga goriva, motornog benzina, petroleja ili kerozina najčešći je pri niskim temperaturama kada se dodavanjem lakših frakcija popravlja njihova niska temperatura svojstva.

Ispitivanjem je ustanovljeno da dizelski motori s D-postupkom imaju mogućnost korištenja širokog spektra motornoga goriva. Pritom je utvrđeno da bi u slučaju potrebe motor mogao raditi s mješavinom od 50% D-2 i 50% MB-86, samo što treba računati s oko 15% manjom snagom.

## LITERATURA

- [1] I. GERŠMAN, A.P. LEBEDINSKIJ: Mnogotoplivnye dizeli. Mašinstroenie, Moskva, 1971.
- [2] E. BAZIJANAC: Višegorivna svojstva dizel motora. Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1985.
- [3] I. VIBE: Brennverlauf und Kreisprozess von Verbrennungsmotoren, VEB Verlag Technik, Berlin, 1970.



Slika 12. Brzina razvoja topline:

1. dizelsko gorivo D-2, 2. 70% MB-86 i 30% D-2

Abb. 12: Verbrennungsgesetz:

1.-Brennstoff D-2, 2.-70% MB-86 und 30% D-2

wendigkeit erscheinen, wenn dessen Temperatureigenschaften durch die Zugabe von leichten Fraktionen des Dieseltreibstoffes verbessert werden.

Durch die Untersuchung wurde festgestellt, dass die Dieselmotoren mit D-Verfahren die Nutzmöglichkeit eines Breitspektrums der Motorbrennstoffe haben. Man stellte dabei fest, dass der getestete Motor im Bedarfsfall mit einer bis 50% MB-86 Mischung bei zufriedenstellenden Ergebnissen laufen könnte, jedoch mit 15% weniger Leistung.

## LITERATUR

- [1] I. GERŠMAN, A.P. LEBEDINSKIJ: Mnogotoplivnye, dizeli, Mašinstroenie, Moskva, 1971.
- [2] E. BAZIJANAC: Višegorivna svojstva dizel motora, Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1985.
- [3] I. VIBE: Brennverlauf und Kreisprozess von Verbrennungsmotoren, VEB Verlag Technik, Berlin, 1970.