



Горива и индустријска вода

предавања, школска 2022/23

др Владимир Јовановић, ван.проф.



Горива за дизел моторе и млазне моторе

- Горива за моторе с унутрашњим сагоревањем (СУС) код којих се паљење врши спонтано – самопаљењем (Diesel мотори).
- Основни захтеви који се постављају пред дизел горива и горива за млазне моторе:
 - образовање гориве смеше и
 - сагоревање гориве смеше.

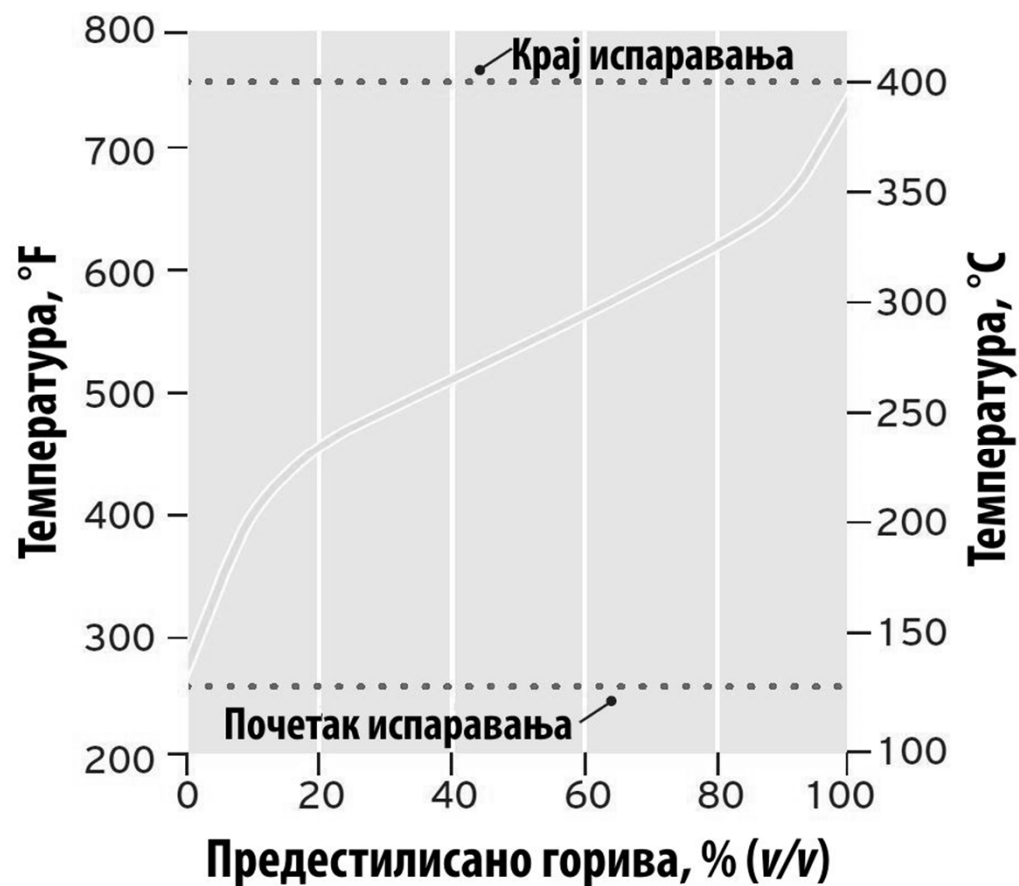


Основна својства

- Испаравају у границама **180-360 °C**.
- Паљење се врши спонтано (**самопаљењем**) – имају нижу температуру самопаљења од моторних и авио бензина.
- Упаљивост – дефинише се **цетанским бројем**.

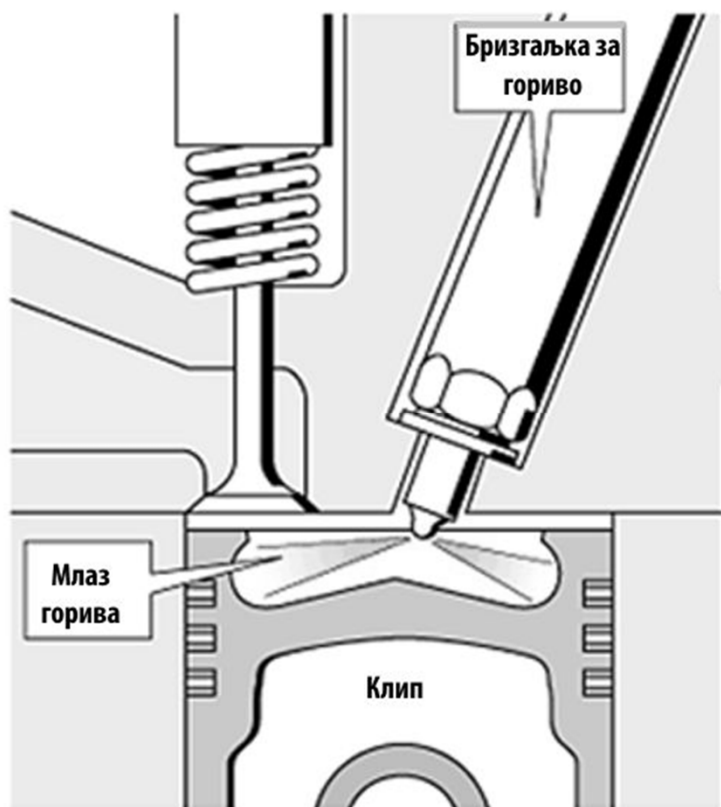


Типична крива дестилације дизел горива



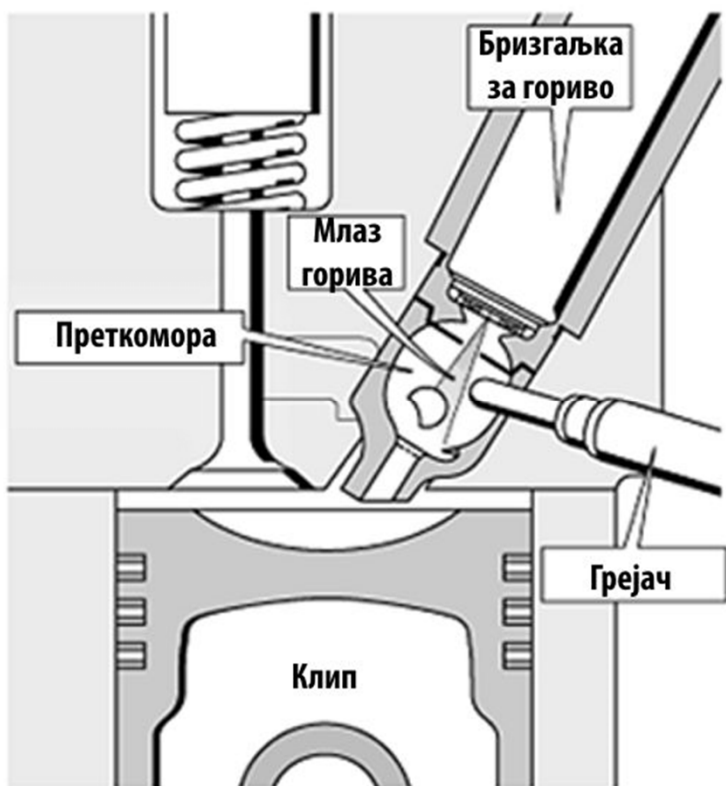


Непосредно (директно) убризгавање горива





Посредно (индиректно) убризгавање горива





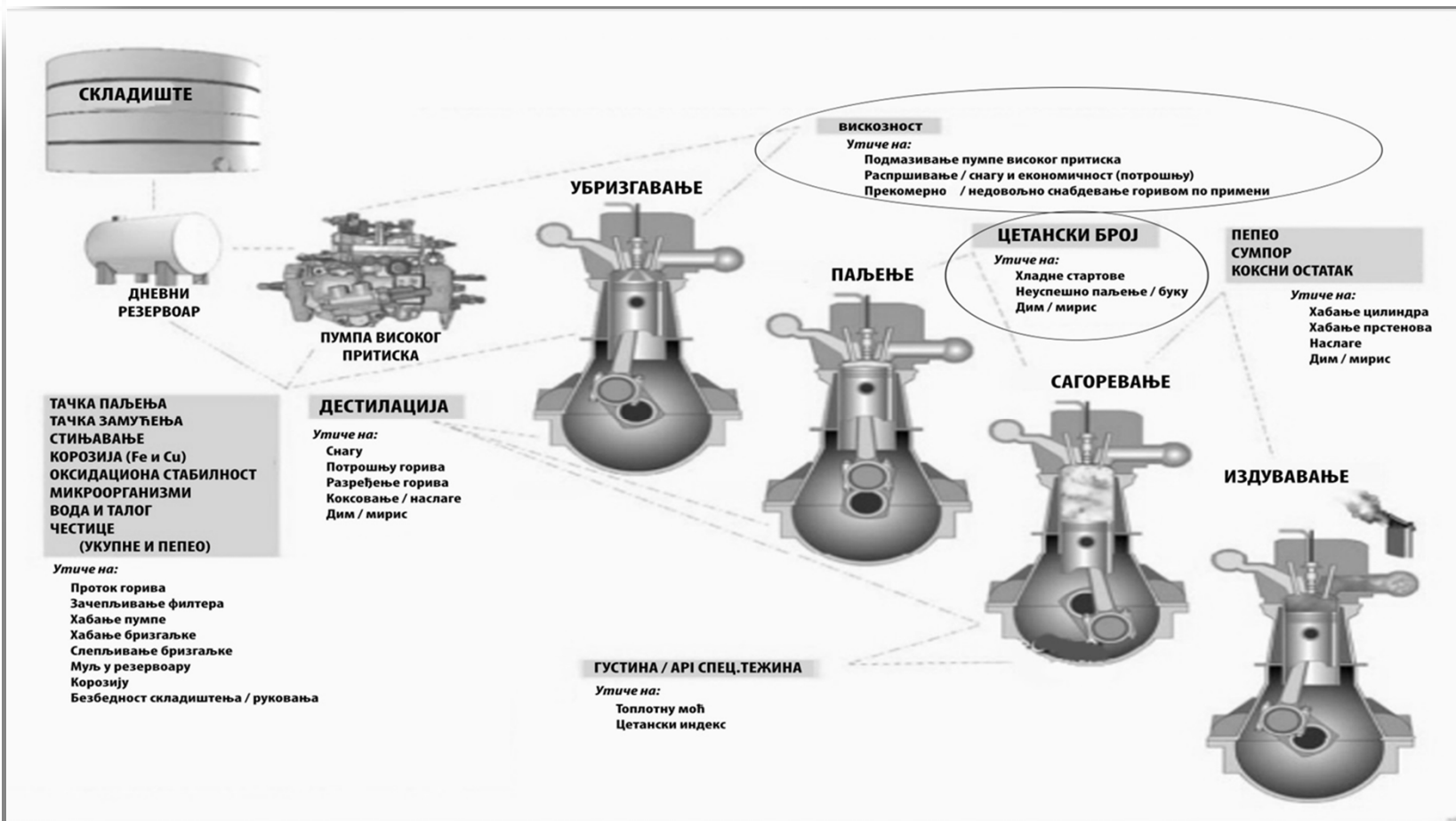
Својства дизел горива према SRPS EN 590:2013

| Својство | Јед. мере | Спецификације | | Метода испитивања |
|---|--------------------|---------------|---------|-------------------------|
| | | најмање | највише | |
| Цетански број | | 51 | - | ISO 5165, 15195 16144 |
| Цетански индекс | | 46 | - | ISO 4264 |
| Густина на 15°C | kg/m ³ | 820 | 845 | ISO 3675 |
| Садржај сумпора | mg/kg | - | 10,0 | ISO 20846, 20884, 13032 |
| Тачка паљења | °C | 55 | - | ISO 2719 |
| Угљенични остатак (10% дестил. остатка) | % (m/m) | - | 0,30 | ISO 10370 |
| Садржај пепела | % (m/m) | - | 0,010 | EN 6245 |
| Садржај воде | mg/kg | - | 200 | ISO 12937 |
| Корозија бакарне траке, 3 h на 50 °C | | - | Class 1 | ISO 2160 |
| Оксидациона стабилност | g/m ³ | - | 25 | ISO 12205 |
| Садржај MEMK | % (V/V) | - | 7,0 | EN 14078 |
| Вискозност на 40 °C | mm ² /s | 2,00 | 4,50 | ISO 3104 |
| Мазивост на 60 °C | µm | - | 460 | ISO 12156-1 |
| Крива испаравања % (V/V) предестилисано | | | | ISO 3405 |
| % (V/V) предестилисано на 250 °C | % (V/V) | | < 65 | |
| % (V/V) предестилисано на 350 °C | % (V/V) | 85 | | |
| 95 % (v/v) предестилисано на | °C | | 360 | |



✓...

Diesel-ов циклус – кључна својства и њихов утицај





Најважнија својства

- запаљивост,
- крива дестилације,
- густина,
- ВИСКОЗНОСТ,
- хемијски састав,
- садржај сумпора,
- мазивост.



Запаљивост

- Мера лаког самопаљења дизел горива.
- Најчешће се описује помоћу **цетанског броја** – одређује се **искључиво експериментално (CFR F-5 мотор)**.
- Алтернативно, користи се **цетански индекс**, али не као замена, већ додатни параметар за предвиђање цетанског броја.
- **Закашњење паљења** се мери новијом методом сагоревања у комори с константном запремином. На основу тога се одређује **изведени цетански број (CFR FIТ анализатор)**.



Запаљивост

- **Цетански број (CN)** се израчунава на основу израза (% су запремински):

$$CN = \% \text{ n-cetane} + 0,15 (\% \text{ HMN})$$

- **Цетански индекс** се израчунава на основу познатих података о густини и вредности t_{50} са криве дестилације или све три карактеристичне температуре са криве дестилације (t_{10} , t_{50} и t_{90}).
- **Изведени цетански број** се израчунава на основу закашњења паљења.

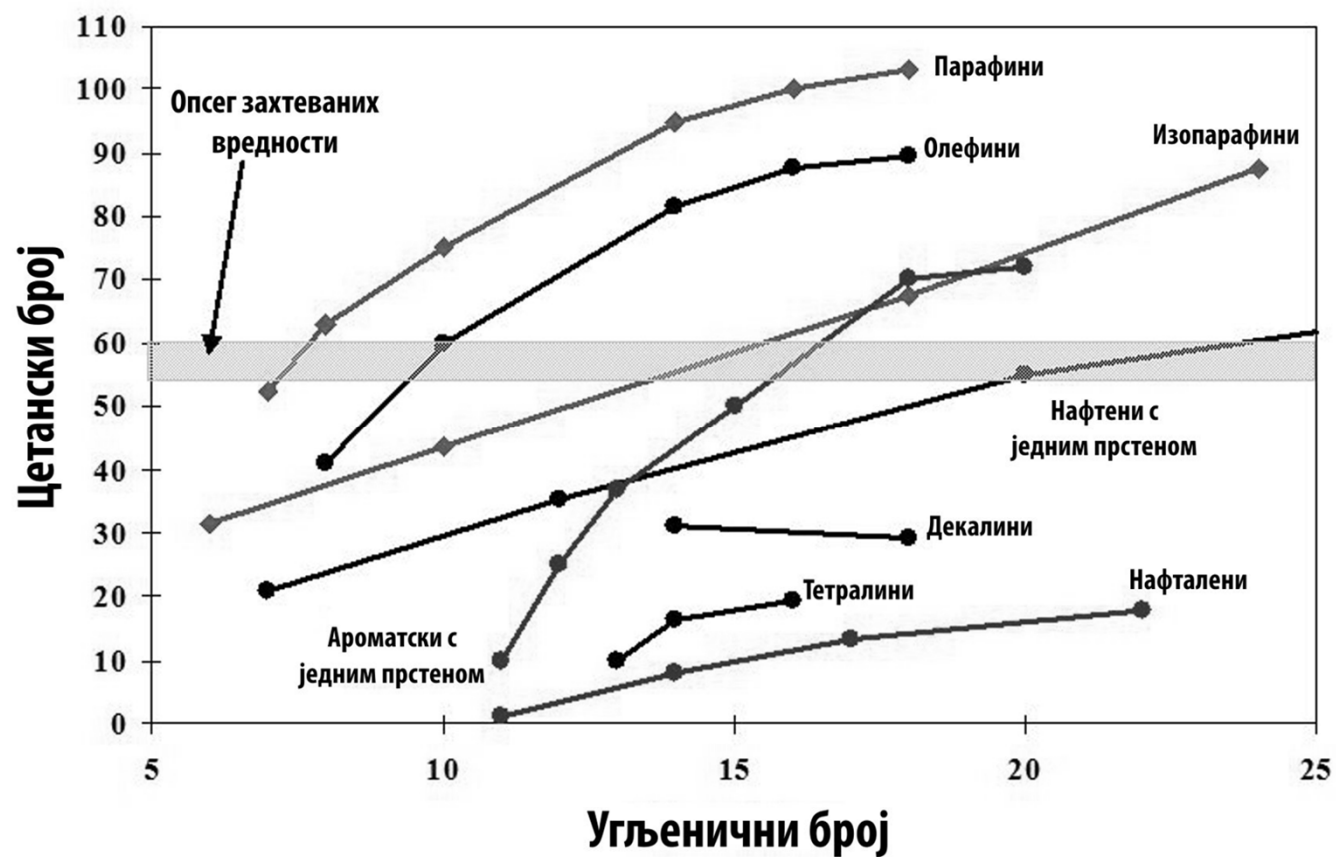


Цетански број - дефиниција

- Цетански број горива бројно је једнак процентуалном учешћу хексадекана ($C_{16}H_{34}$ нормални цетан) у смеши са хептаметил нонаном (НМН тј. $C_{16}H_{34}$ односно изоцетан) , која је еквивалентна по упаљивости са испитиваним горивом у прописаним условима испитивања.



Цетански број различитих угљоводоника





Крива дестилације

- Најважније су три карактеристичне температуре:
 - почетак испаравања,
 - 50 % предестилисаног (t_{50}),
 - крај испаравања.
- t_{50} је везана са другим физичко-хемијским својствима као што су:
 - густина,
 - ВИСКОЗНОСТ И
 - упаљивост.



Крива дестилације – значај t_{50} и t_{90} ✓

- Виша t_{50} значи већу густину и вискозност, а обично и мањи цетански број.
- Нижа t_{50} омогућава бржи/лакши хладни старт мотора, а тиме и мању емисију несагорелих угљоводоника.
- Виша t_{90} и температура краја испаравања за последицу имају повећано коксовање бризгалки које доводи до лошег сагоревања и веће емисије дима.



Густина

- Начелно, густина дизел горива се креће у опсегу од 810 до 880 kg/m³.
- Уско је повезана с испарљивости, цетанским бројем, вискозности и топлотном моћи.
- Повећање густине за 10 % повећава запреминску топлотну моћ (MJ/m³) за 6 %.
- Већа густина значи и већу вискозност, а тиме утиче на карактеристике распршивања.
- Пораст густине помера унапред време узбизгавања за до 1 °KKV чиме утиче на сагоревање у мотору и емисију.



Вискозност

- Има велики утицај на распршивање горива, већа вискозност за последицу има крупније капи горива.
- Повећање вискозности смањује угао млаза и повећава дубину продирања млаза.
- Смањена вискозност за последицу има повећање цурења горива у систему напајања и поремећај калибрације система за гориво.
- Велика вискозност горива је потребна за подмазивање и заштиту система за убризгавање од хабања.



Вискозност – утицај на квалитет распршивања





Хемијски састав

- Олефини негативно утичу на оксидацију и стабилност дизел горива при складиштењу.
- Пораст садржаја ароматских угљоводоника доводи до повећања емисије РАН (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) и NO_x , а повећање РАН за последицу има већу емисију чврстих честица.
- Горива с већим садржајем аромата имају мањи природни цетански број.
- С друге стране смањење садржаја аромата доводи до смањења мазивости што изазива проблеме с пумпом високог притиска и брызгалкама.



Садржај сумпора

- Производи потпуног сагоревања сумпора су SO_2 и SO_3 .
- SO_3 са водом образује сумпорну киселину која доводи до хабања облоге цилиндра мотора и клипних прстенова.
- Сумпор повећава стварање наслага у комори за сагоревање и оне постају чвршће у присуству сумпора.
- Сумпор из горива има штетан утицај на напредне уређаје за третман издувних гасова као што су катализатори, обновљиви филтери за чврсте честице (ЧЧ) и филтери за ЧЧ с катализатором. SO_2 и SO_3 загађују филтер!
- Све ово је довело од ограничавања садржаја сумпора у савременим дизел горивима на највише 10 mg/kg.



Мазивост

- Пумпа високог притиска и брызгалке се подмазују **ИСКЉУЧИВО** дизел горивом.
- Тежи угљоводоници, веће вискозности и поларна једињења обезбеђују природну мазивост дизел горива.
- Одстрањивање сумпора из горива поступцима хидро третирања претварају и уклањају поларна једињења.
- **Смањење садржаја сумпора** за последицу има **смањење мазивости** што доводи до **повећања хабања делова** пумпе високог притиска и брызгалки.



Рекапитулација

| Промена дизел горива | Емисије возила путничка / теретна | | | |
|--|-----------------------------------|--------|-----------------|---------|
| | CO | HC | NO _x | Честице |
| Смањење: | | | | |
| Садржај сумпора | 0 | 0 | ? / 0 | |
| Густина | | ++/ -- | 0/+ | |
| Садржај аромата | -/0 | - / + | +/-0 | |
| Температура 95 % предестилисаног (t_{95}) | 0/- | | -/0 | +/-0 |
| Пораст: | | | | |
| Цетански број | | | 0 | -/0 |

0

$\pm 2 \%$

+
++
+++

--

2-10 %
10-20 %
> 20 % }
}

Побољшање
или
погоршање



Остале карактеристике

- **Безбедносне** (температура паљења, горења, самопаљења).
- **Нискотемпературске** (температура замућења, кристализације, стињавања, филтрабилности).



Уља за ложење

- Обухватају две основне групе деривата нафте према критеријуму потребе за њихово предгревање:
 - гасна уља (није потребно предгревање) и
 - уља за ложење (потребно предгревање).
- У првој групи је само један производ – ГАСНО УЉЕ ЕКСТРА ЛАКО ЕВРО ЕЛ.



Уља за ложење

- У другој групи су четири производа:
 - уље за ложење средње евро С,
 - уље за ложење средње С,
 - уље за ложење нискосумпорно гориво – специјално НСГ-С,
 - уље за ложење тешко Т.
- **Заједничко за обе групе је да су то горива која се користе за погон енергетских јединица.**



Основни захтеви – утицајна својства



- **Течљивост** – могућност истакања и пумпања – **густина и вискозност.**
- **Квалитет распршивања** – **вискозност.**
- **Загађење животне средине** – **садржај сумпора.**

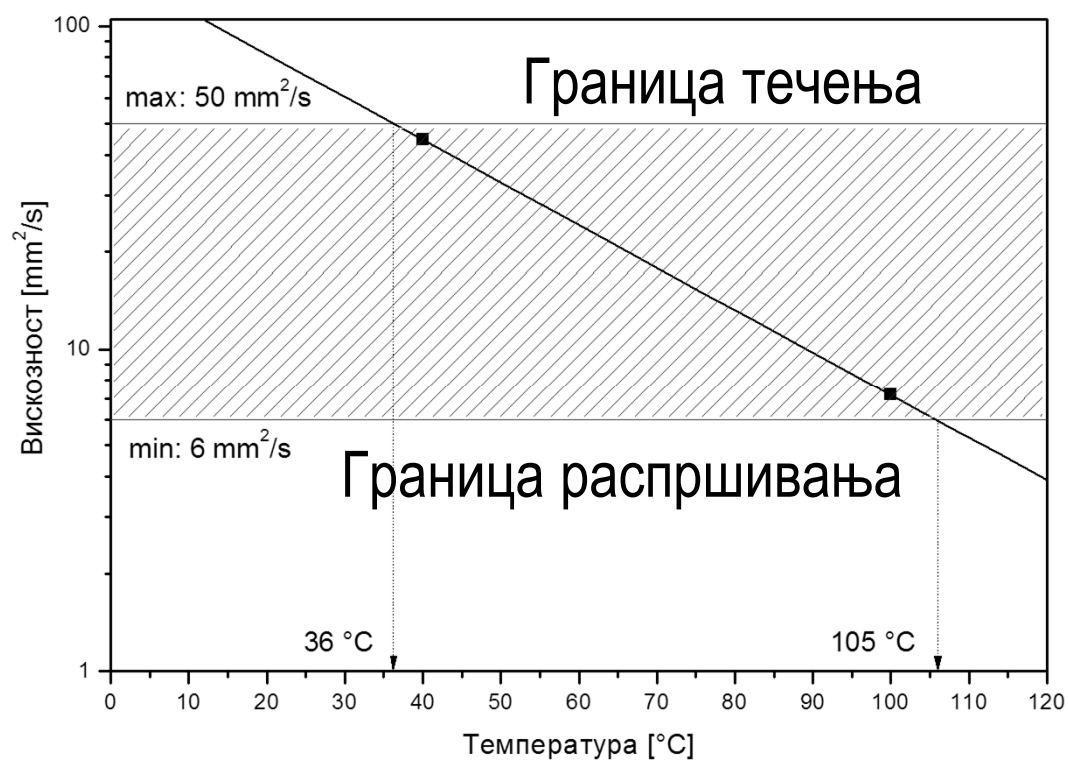


Најважнија својства

- Вискозност
- Садржај сумпора
- Садржај воде
- Садржај минералних примеса
- Тачка паљења.



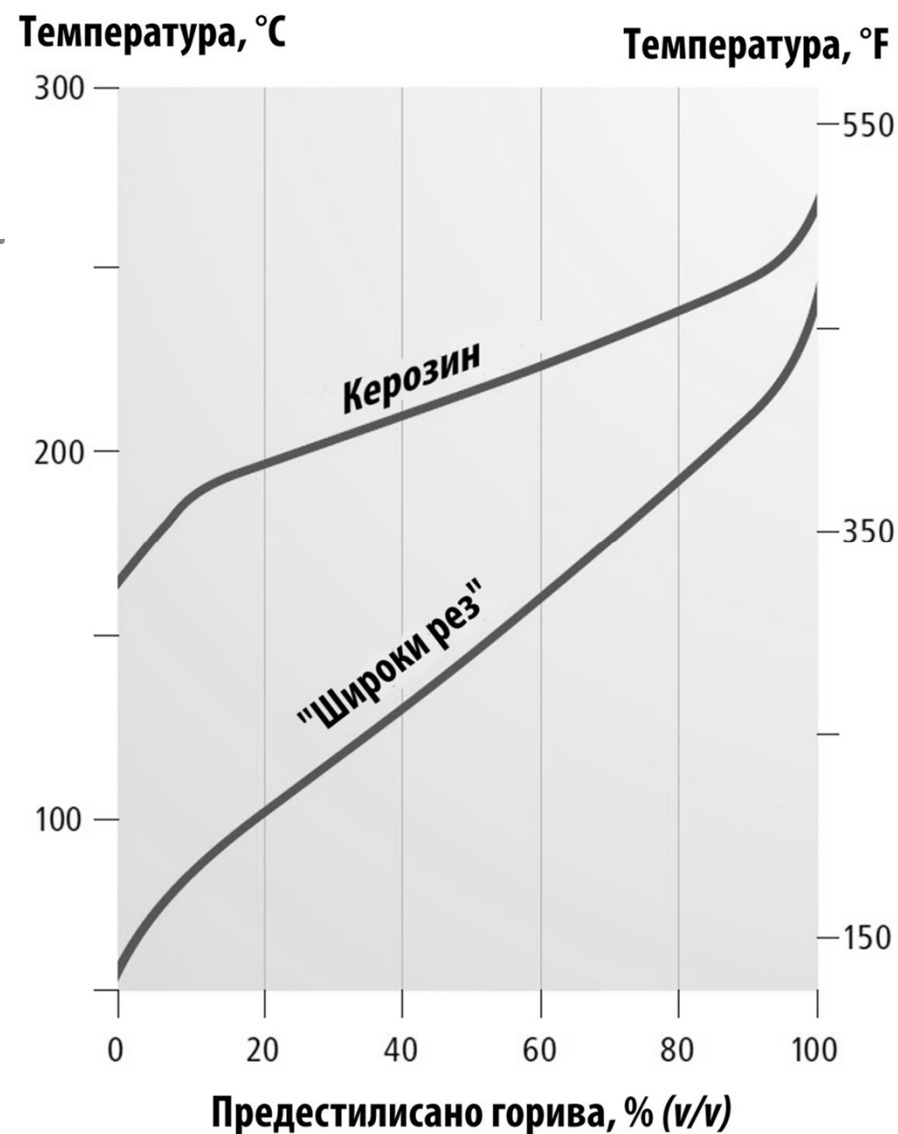
Утицај вискозности





Крива испаравања млазних горива

- Керозин, на енглеском *kerosene* или *paraffin oil*.
- Назив потиче од грчке речи κηρός (*kērós*, „восак“).
- Чине га парафински угљоводоници
- Хемијски састав чини око **10 различитих угљоводоника**, од којих сваки садржи 10 до 16 атома угљеника по молекулу.
- Главни састојци су **засићени парафини** правих и разгранатих ланаца, као и **циклопарафини** у облику прстена (**нафтени**).





Тачке кључања и мржњења репрезентативних угљоводника из млазних горива

| Једињење | Формула | Класа угљоводника | Тачка кључања (°C) | Тачка мржњења (°C) |
|------------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| n-Octane | C ₈ H ₁₈ | n-Paraffin | 125,7 | -56.8 |
| 2-Methylheptane | C ₈ H ₁₈ | Isoparaffin | 117 .6 | -109.0 |
| 1-Methyl-1-ethylcyclopentane | C ₈ H ₁₆ | Naphthene | 121,5 | -143.8 |
| Ethylcyclohexane | C ₈ H ₁₆ | Naphthene | 131,8 | -111.3 |
| o-Xylene | C ₈ H ₁₀ | Aromatic | 144,4 | -25.2 |
| p-Xylene | C ₈ H ₁₀ | Aromatic | 138,4 | +13.3 |
| Cis-Decalin | C ₁₀ H ₁₈ | Naphthene | 195,8 | -43.0 |
| Tetralin | C ₁₀ H ₁₂ | Aromatic | 207 .6 | -35.8 |
| Naphthalene | C ₁₀ H ₈ | Aromatic | 217 .9 | +80.3 |
| n-Dodecane | C ₁₂ H ₂₆ | n-Paraffin | 216,3 | -9.6 |
| 2-Methylundecane | C ₁₂ H ₂₆ | Isoparaffin | 210,0 | -46.8 |
| 1-Ethyl-naphthalene | C ₁₂ H ₁₂ | Aromatic | 258,3 | -13.8 |
| n-Hexylbenzene | C ₁₂ H ₁₈ | Aromatic | 226,1 | -61.0 |
| n-Hexadecane | C ₁₆ H ₃₄ | n-Paraffin | 286,9 | +18.2 |
| 2-Methylpentadecane | C ₁₆ H ₃₄ | Isoparaffin | 281,6 | -7.0 |



Могући утицај сваке класе угљоводоника на изабрана својства млазних горива

| Својство | Класа угљоводника | | | |
|-----------------------------------|-------------------|-------------|---------|---------|
| | n-парафини | изопарафини | нафтени | аромати |
| Садржај енергије: | | | | |
| гравиметријски | + | + | 0 | - |
| волуметријски | - | - | 0 | + |
| Квалитет сагоревања | + | + | + | - |
| Течљивост на ниским температурама | -- | 0/+ | + | 0/- |

„+“ означава позитиван утицај, „0“ неутралан и занемарљив утицај
„-“ штетан утицај.



Горива за млазне моторе у свету данас

| Fuel | Jet A | Jet A-1 | TS-1 | Jet B |
|---|-------------|----------------|----------------------|------------------|
| Specification | ASTM D 1655 | DEF STAN 91-91 | GOST 10227 | CGSB-3.22 |
| Acidity, mg KOH/g | 0.10 | 0.015 | 0.7 (mg KOH/100ml) | 0.10 |
| Aromatics, % vol, max | 25 | 25.0 | 22 (% mass) | 25.0 |
| Sulfur, mass% | 0.30 | 0.30 | 0.25 | 0.40 |
| Sulfur, mercaptan, mass% | 0.003 | 0.003 | 0.005 | 0.003 |
| Distillation, °C: | | | | |
| Initial boiling point | — | Report | 150 | Report |
| 10% recovered, max | 205 | 205 | 165 | Report |
| 50% recovered, max | Report | Report | 195 | min 125; max 190 |
| 90% recovered, max | Report | Report | 230 | Report |
| End point | 300 | 300 | 250 | 270 |
| Vapor pressure, kPa, max | — | — | — | 21 |
| Flash point, °C, min | 38 | 38 | 28 | — |
| Density, 15°C, kg/m ³ | 775–840 | 775–840 | min 774@20°C | 750–801 |
| Freezing Point, °C, max | –40 | –47.0 | –50 (Chilling point) | –51 |
| Viscosity, –20°C, mm ² /sec, max | 8 | 8.0 | 8.0 @ –40°C | — |
| Net Heat of combustion, MJ/kg, min | 42.8 | 42.8 | 42.9 | 42.8 |
| Smoke point, mm, min | 18 | 19.0 | 25 | 20 |
| Naphthalenes, vol%, max | 3.0 | 3.00 | — | 3.0 |
| Copper corrosion, 2 hr @ 100°C, max rating | No. 1 | No. 1 | Pass (3 hr @ 100°C) | No. 1 |
| Thermal stability | | | | |
| Filter pressure drop, mm Hg, max | 25 | 25 | — | 25 |
| Visual tube rating, max | <3 | <3 | — | <3 |
| Static test 4 hr @ 150°C, mg/100 ml, max | — | — | 18 | — |
| Existent gum, mg/100 ml, max | 7 | 7 | 5 | — |