

Висока школа електротехнике и
рачунарства струковних студија

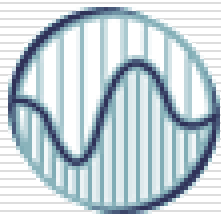
СИСТЕМИ УБРИЗГАВАЊА У ДИЗЕЛ МОТОРИМА

- Процес сагоревања



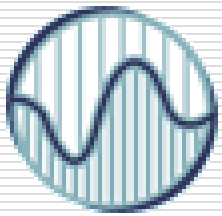
ОСНОВНЕ ОСОБИНЕ ПРОЦЕСА САГОРЕВАЊА КОД ДИЗЕЛ МОТОРА

- Гориво се убризгава при крају такта сабијања због чега се физичка и хемијска припрема смеше у радном простору мотора, као и само сагоревање морају обавити у веома кратком времену.
- Начин довођења горива у комору за сагоревање као и кратак период припреме смеше доводе до тога да је смеша горива и ваздуха у комори мотора просторно и временски нехомогена.
- Да би се обезбедило сигурно и поуздано спонтано самопаљење смеше, гориво мора имати одговарајуће физичко-хемијске особине, односно висок цетански број, а радни (термодинамички) циклус потребне полазне параметре, односно високу температуру на крају сабијања.



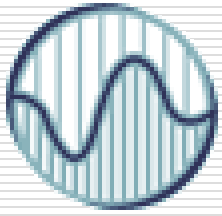
ОСНОВНИ ЗАДАЦИ ПРИ РАДУ СИСТЕМА

- убризгавање горива у радне просторе појединих цилиндара према редоследу паљења, у тачно утврђеном тренутку и по задатом закону убризгавања. Угао коленастог вратила од почетка убризгавања до СМТ назива се *угао предубризгавања* (α_{pu}), а закон убризгавања (dm_g/da) дефинисан је као убризгана маса горива по углу коленастог вратила
- распршивање горива у ситне капљице и просторна расподела по комори за сагоревање која обезбеђује добро искоришћење расположивог ваздуха, зависно од примењеног начина остварења смеше
- дозирање убризгане количине горива по циклусу у зависности од режима рада мотора



ОСНОВНИ ЗАХТЕВИ ПРИ РАДУ СИСТЕМА

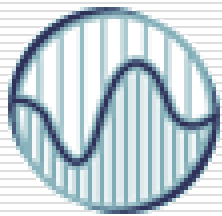
- што мања неравномерност убризгане количине горива између појединих циклуса у истом цилиндру (до 1%), као и између цилиндара (2–4%),
- аутоматска промена убризгане количине горива и угла предубризгавања у зависности од режима рада мотора,
- поуздано одржавање карактеристика током експлоатације,
- довољно дуг век трајања,
- једноставно одржавање и регулација,
- мала маса и габарити система и
- ниска производна цена.



ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА У ДИЗЕЛ МОТОРУ

Карактеристике:

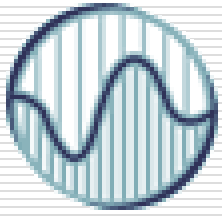
- ☐ Рад са нехомогеном смешом
- ☐ Краће време за образовање смеше
- ☐ Сагоревање почиње на много места, пре него што се целокупно гориво убризга
- ☐ У једном делу сагоревања симултано се убризгава гориво, испарава убризгано гориво, образује смеша и сагорева припремљена смеша
- ☐ Притисци у цилиндру 3-4 МПа и температуре 750-900К



ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА У ДИЗЕЛ МОТОРУ

Током образовања смеше и сагоревања више узастопних фаза се одвијају истовремено у комори мотора

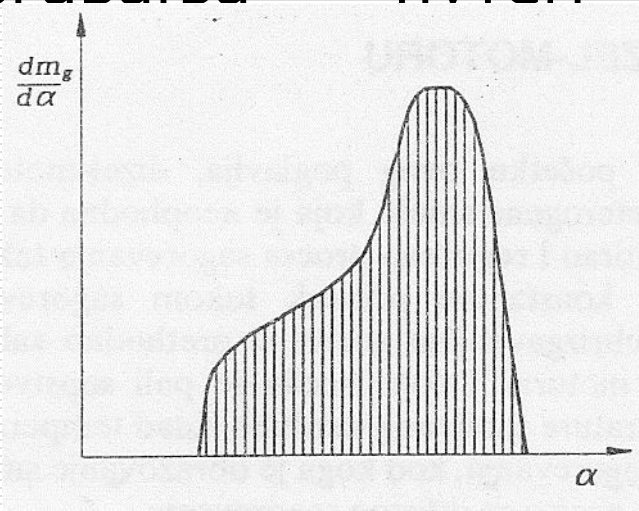


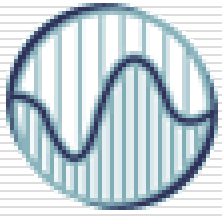


ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА У ДИЗЕЛ МОТОРУ

Дозирање горива се врши хидрауличким убризгавањем горива под притиском. Задаци система убризгавања:

- Дозирање тачно одређене количине горива у функцији оптерећења мотора
- Убацивање те количине горива по одређеном закону убризгавања путем система убризгавања



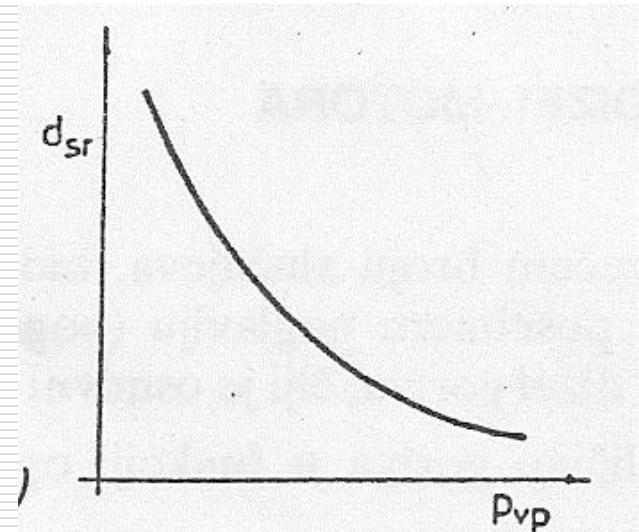


ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА У ДИЗЕЛ МОТОРУ

Систем за убризгавање мора да обезбеди **РАСПРШИВАЊЕ УБРИЗГАНОГ ГОРИВА** како би се млаз горива разбио на најситније капљице чиме би се повећала укупна површина млаза горива.

Фактори који утичу на квалитет распршивања:

□ Притисак убризгавања



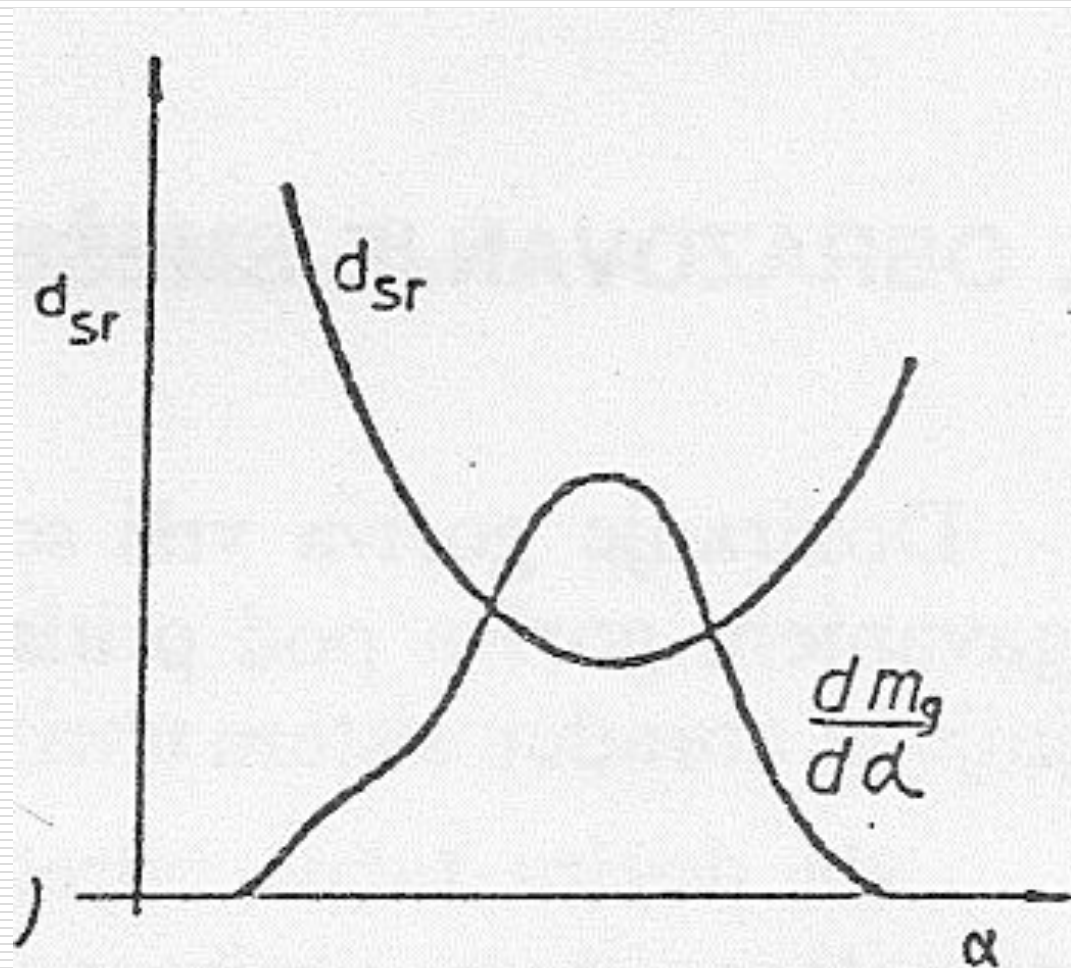


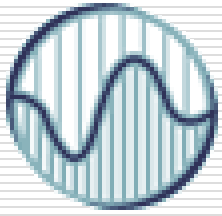
ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА У ДИЗЕЛ МОТОРУ

Фактори који утичу на
квалитет
распршивања:

□ Закон убризгавања

- пожељни су одсечан
почетак и крај
убризгавања





ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА У ДИЗЕЛ МОТОРУ

Фактори који утичу на квалитет распршивања:

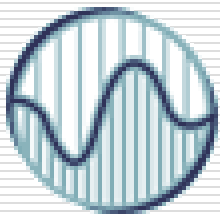
- Конструкција брызгача
 - Број отвора
 - Пречник отвора
- Гориво
 - Вискозитет
- Притисак гаса у цилиндру
 - Већи притисци смањују енергију млаза горива



ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА У ДИЗЕЛ МОТОРУ

Испаравање горива зависи од следећих фактора:

- ☐ Средњег пречника капљице у млазу горива
 - Време испаравања пропорционално је квадрату пречника капљице
- ☐ Температура средине
- ☐ Релативна брзина између горива и ваздуха
- ☐ Притисак средине
- ☐ Физичка својства горива
 - Површински напон капљице

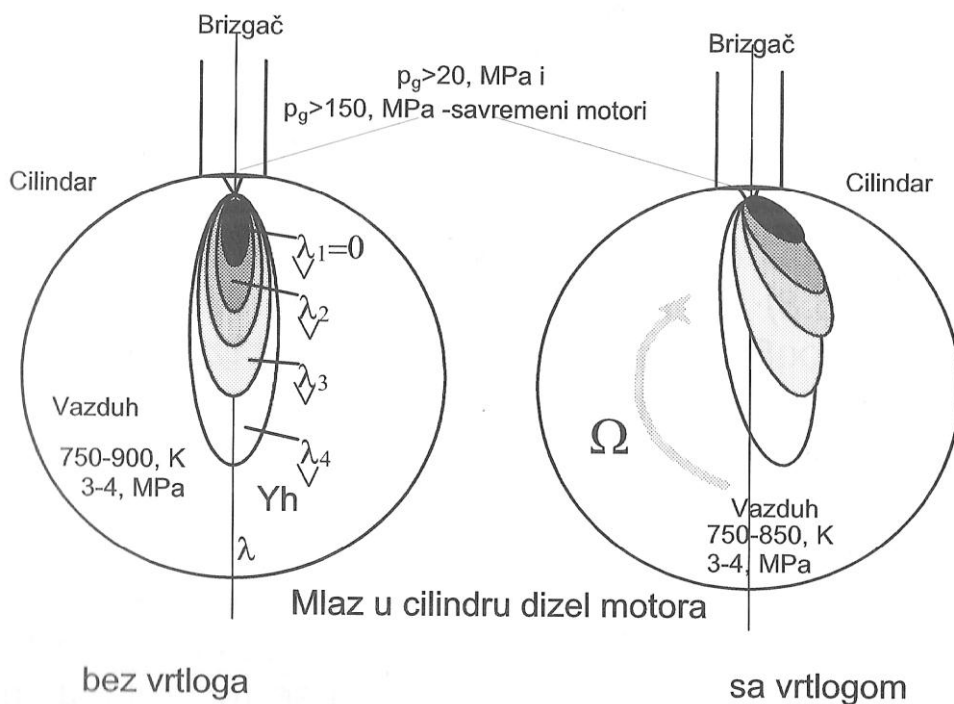


ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА У ДИЗЕЛ МОТОРУ

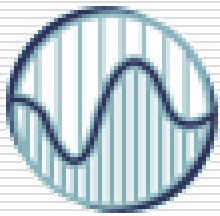
Мешање горива је предуслов за обављање сагоревања

□ Не може се остварити турбулентним-хаотичним кретањем ваздуха

□ Потребно је вихорно кретање на млаз горива које омогућава одношење испарелог горива са млаза и његово мешање са ваздухом



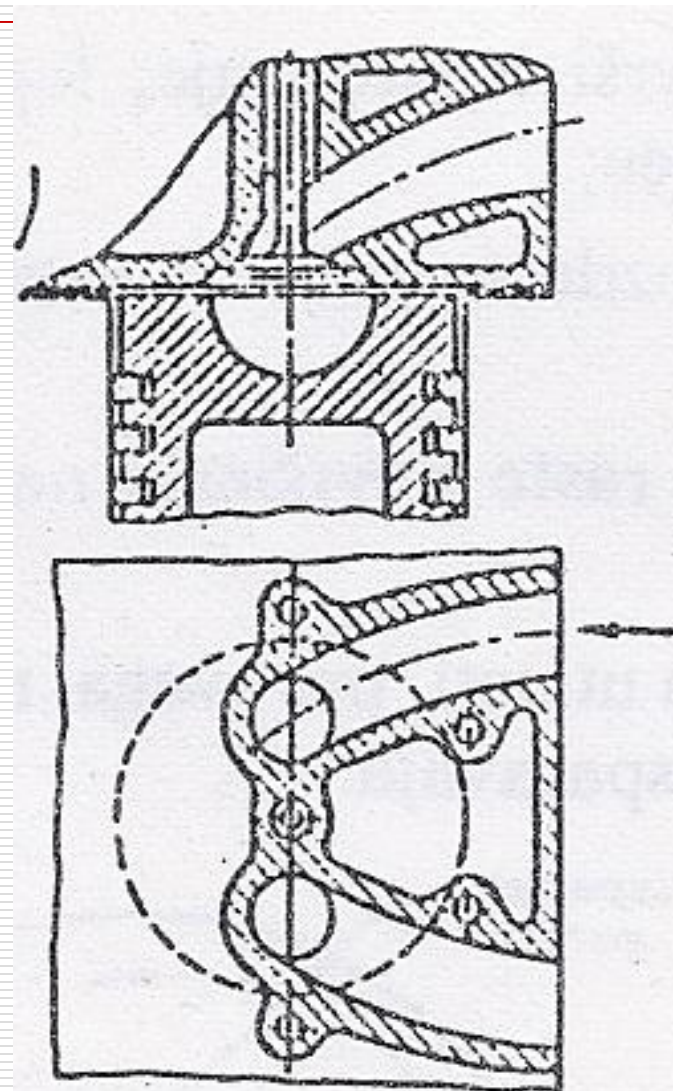
Вихорно или вртложно кретање ваздуха постиже се обликом устисних канала или коморе, а најчешће комбиновано



ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА У ДИЗЕЛ МОТОРУ

**Стварање вихорног
кретања током усисавања**

- Тангенцијални усисни
канал-код двотактних
мотора

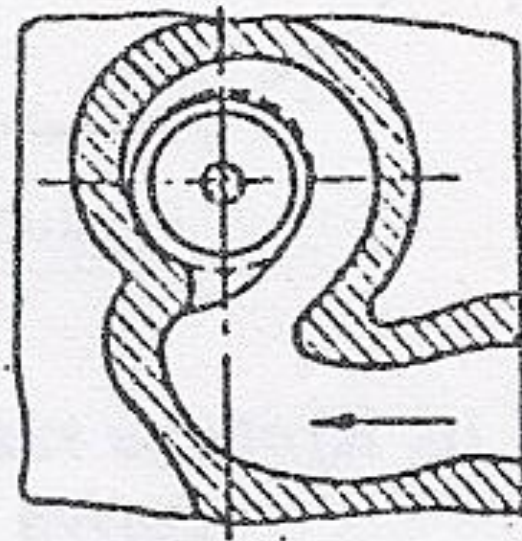
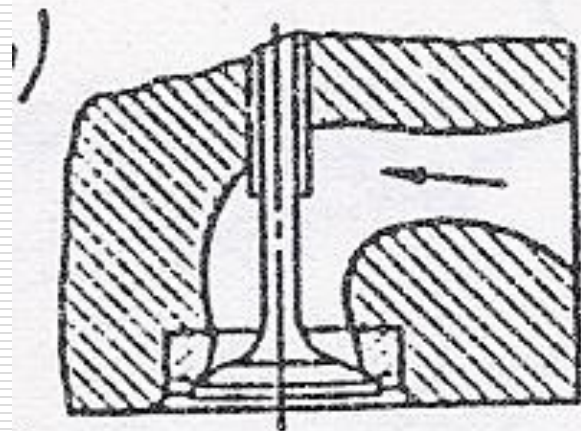




ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА У ДИЗЕЛ МОТОРУ

**Стварање вихорног
кретања током
усисавања**

- Завојно спирални канал

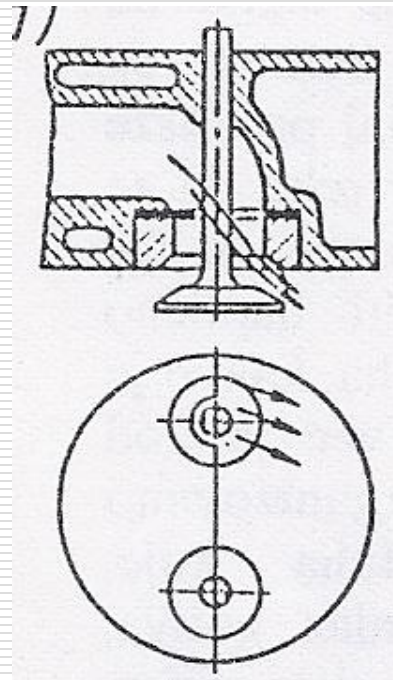
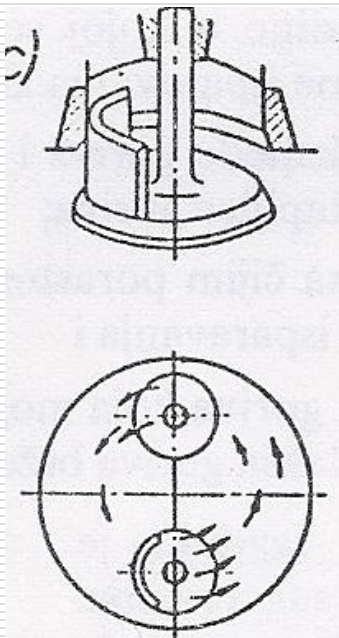


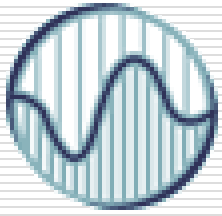


ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА У ДИЗЕЛ МОТОРУ

Стварање вихорног кретања током усисавања

- Вентили или седиште са дефлектором.
Веома ретко





ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА У ДИЗЕЛ МОТОРУ

Стварање интензивног вртложења током усисавања праћено је смањењем кофицијента пуњења (η).

Умерен вихор није довољан за квалитетно сагоревање.

РЕШЕЊЕ?

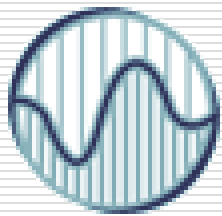
Специјално извођење облика коморе за сагоревање



ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА У ДИЗЕЛ МОТОРУ

Коморе за сагоревање код дизел мотора

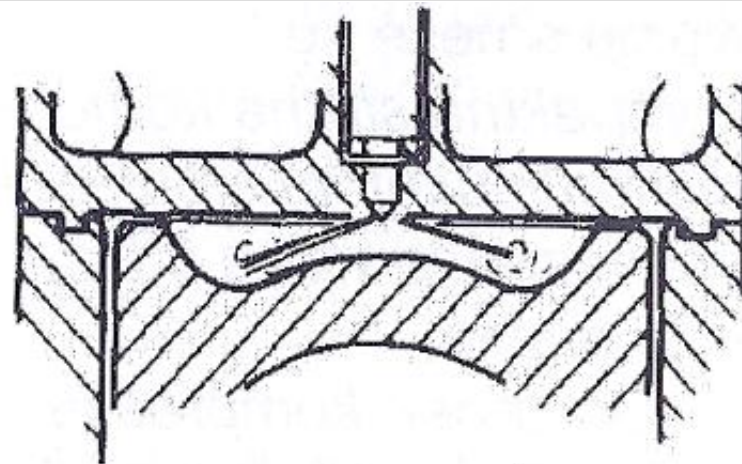
- Јединствен простор за сагоревање: директно убризгавање
 - Запреминско образовање смеше
 - Филмско образовање смеше
 - Комбиновано образовање смеше
- Подељен простор за сагоревање: коморни мотори
 - Преткоморе
 - Вихорне коморе



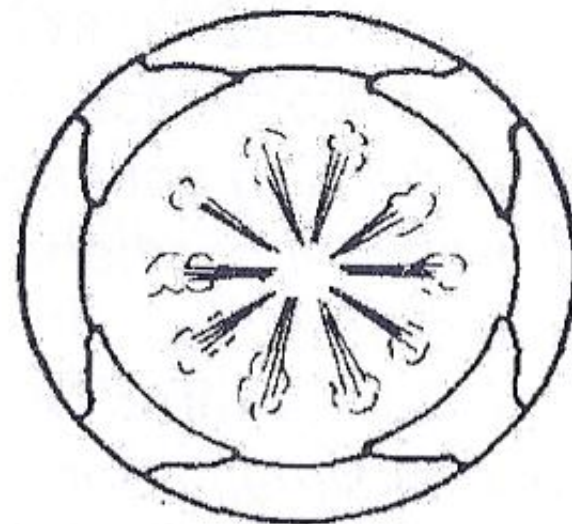
Комора за сагоревање код дизел мотора

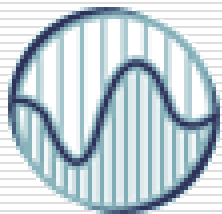
Директно убризгавање и запреминско образовање смеше

- Мали топлотни губици
- Код неких варијанти неопходан вртлог
- Релативно низак степен компресије
- Већи број отвора мањег пречника на брызгачу
- Релативно висок притисак убризгавања (изнад 150 МПа)
- Мала потрошња горива
- Велики градијент промене притиска код класичних система
- Примењује се код већине савремених мотора



Степен компресије 16-17





Коморе за сагоревање код дизел мотора

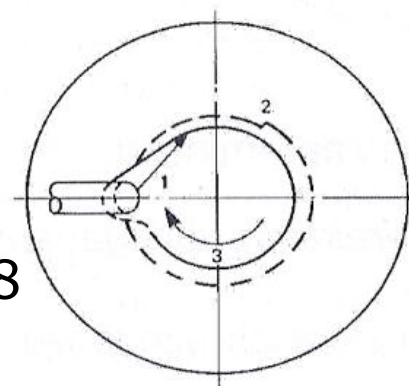
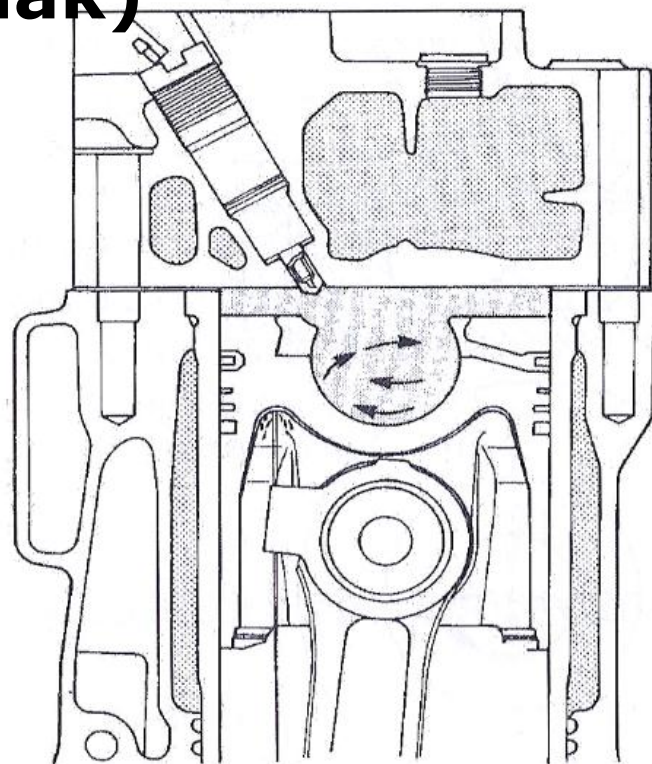
Филмско образовање смеше (М поступак)

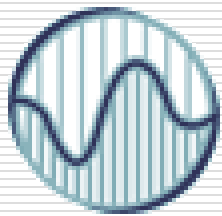
- ☐ Компактна сферна комора
- ☐ Обавезан вртлог у току усисавања
- ☐ Нижи степен компресије
- ☐ Два отвора на брызгачу
- ☐ Умерена потрошња горива
- ☐ Мања осетљивост на квалитет горива
- ☐ Мали градијент промене притиска
- ☐ Низак максимални притисак

Недостаци

- ☐ Отежан старт хладног мотора
- ☐ Мали степен искоришћења ваздуха
- ☐ Не подносе надпуњење

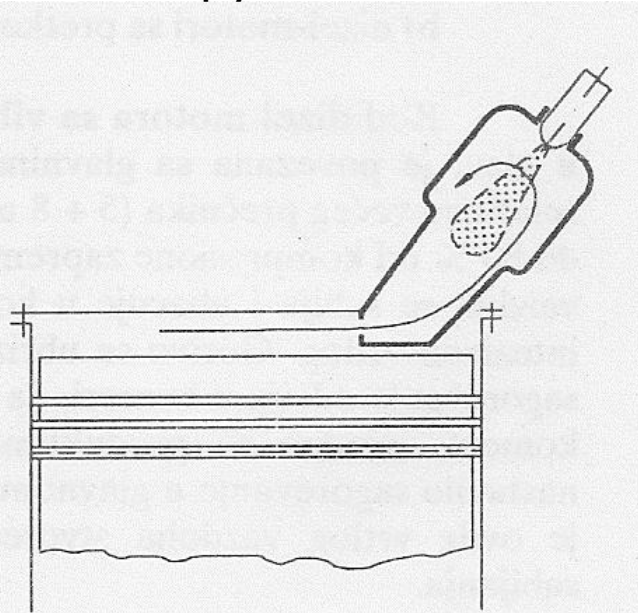
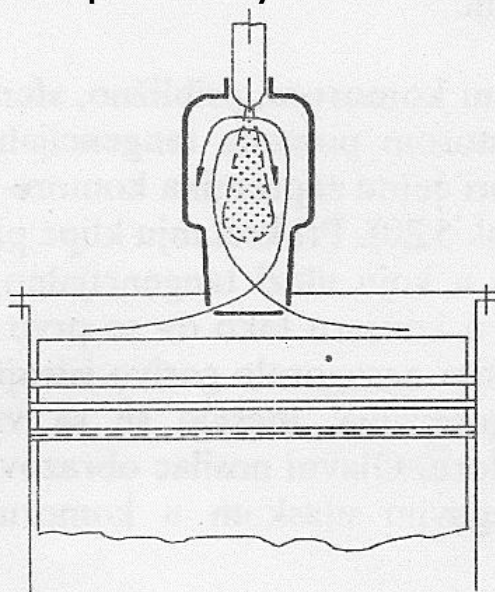
Степен компресије 17-18





Коморе за сагоревање код дизел мотора ПРЕТКОМОРЕ

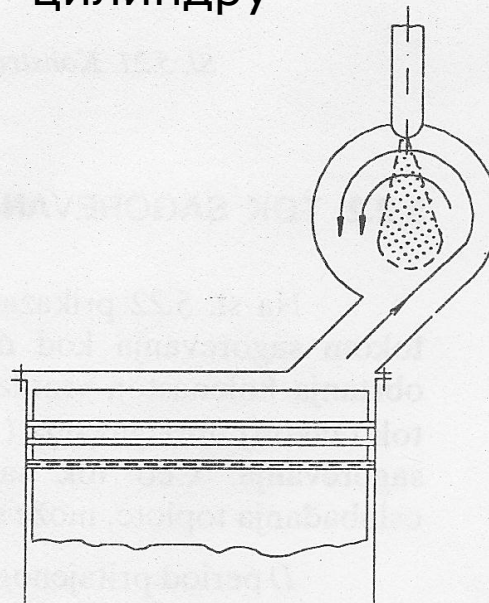
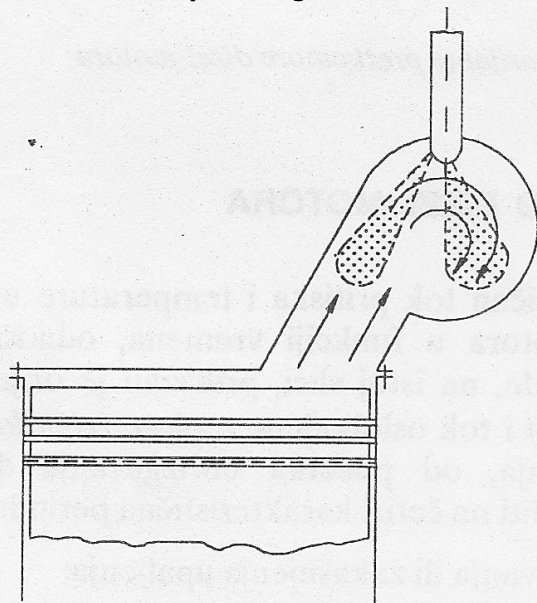
- ❑ 30-50% комп.зап.
- ❑ Канал 2-4 mm
- ❑ Велики топлотни губици
- ❑ Независност радног процеса од броја обртаја мотора
- ❑ Висок степен компресије 22-24
- ❑ Један отвор на брызгачу
- ❑ Низак притисак убризгавања
- ❑ Велика потрошња горива
- ❑ Мали градијент промене притиска у цилиндру и бруталан процес у преткомори
- ❑ Низак максимални притисак у цилиндру

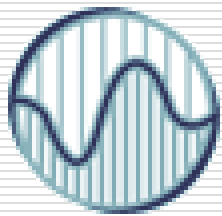




Коморе за сагоревање код дизел мотора ВИХОРНЕ КОМОРЕ

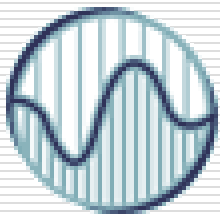
- ❑ 60-80% комп.зап.
- ❑ Канал 5-8 mm
- ❑ Високи топлотни губици, али мањи него код преткоморе
- ❑ Мања зависност од промене броја обртаја мотора
- ❑ Висок степен компресије: 18-22
- ❑ Бризгач са једним или са два отвора
- ❑ Низак притисак убризгавања
- ❑ Мали градијент промене притиска
- ❑ Низак максимални притисак у цилиндру



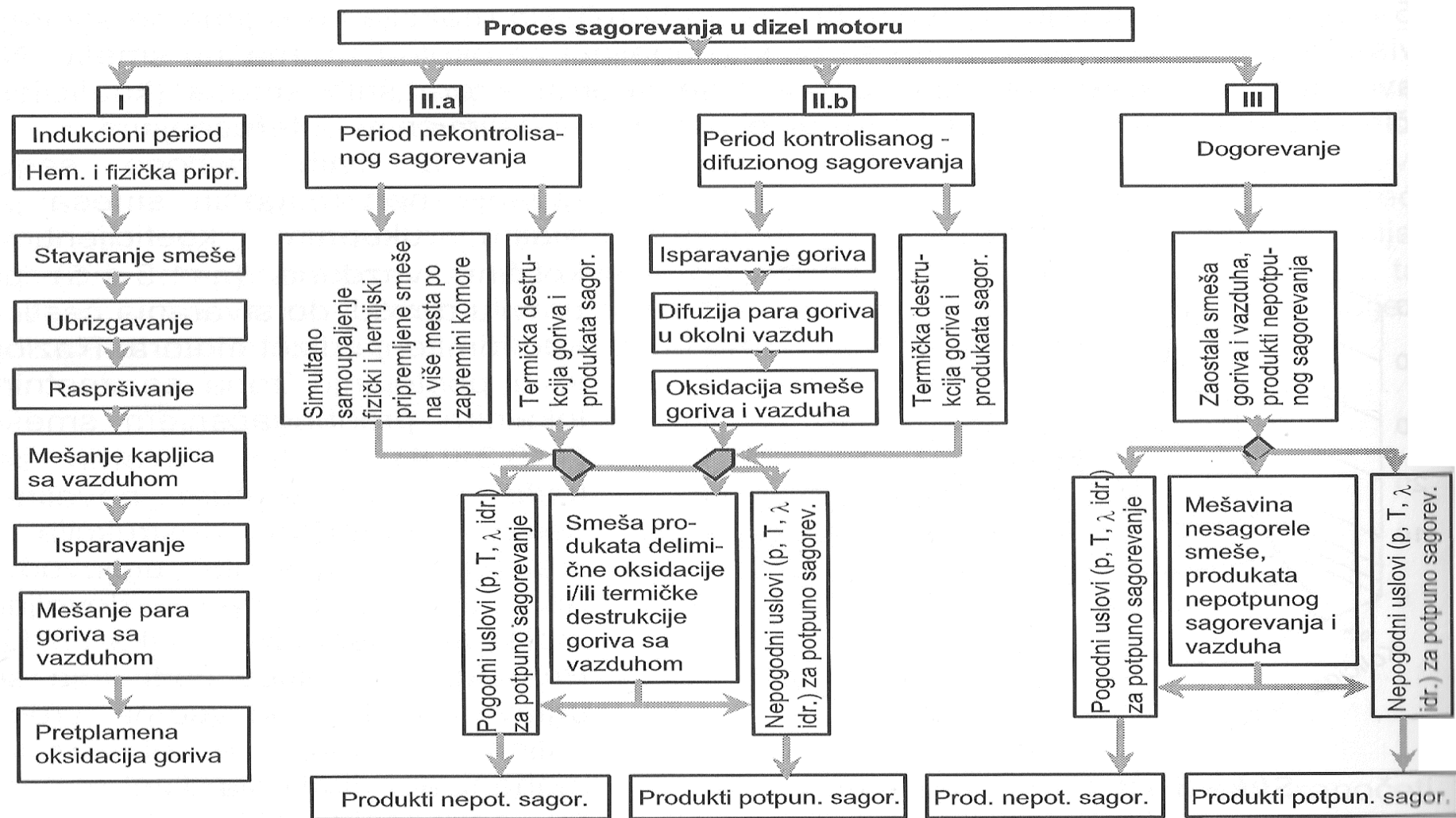


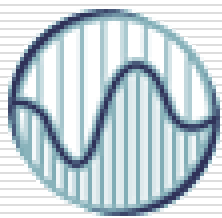
Процес убризгавања горива код дизел мотора





ТОК САГОРЕВАЊА КОД ДИЗЕЛ МОТОРА



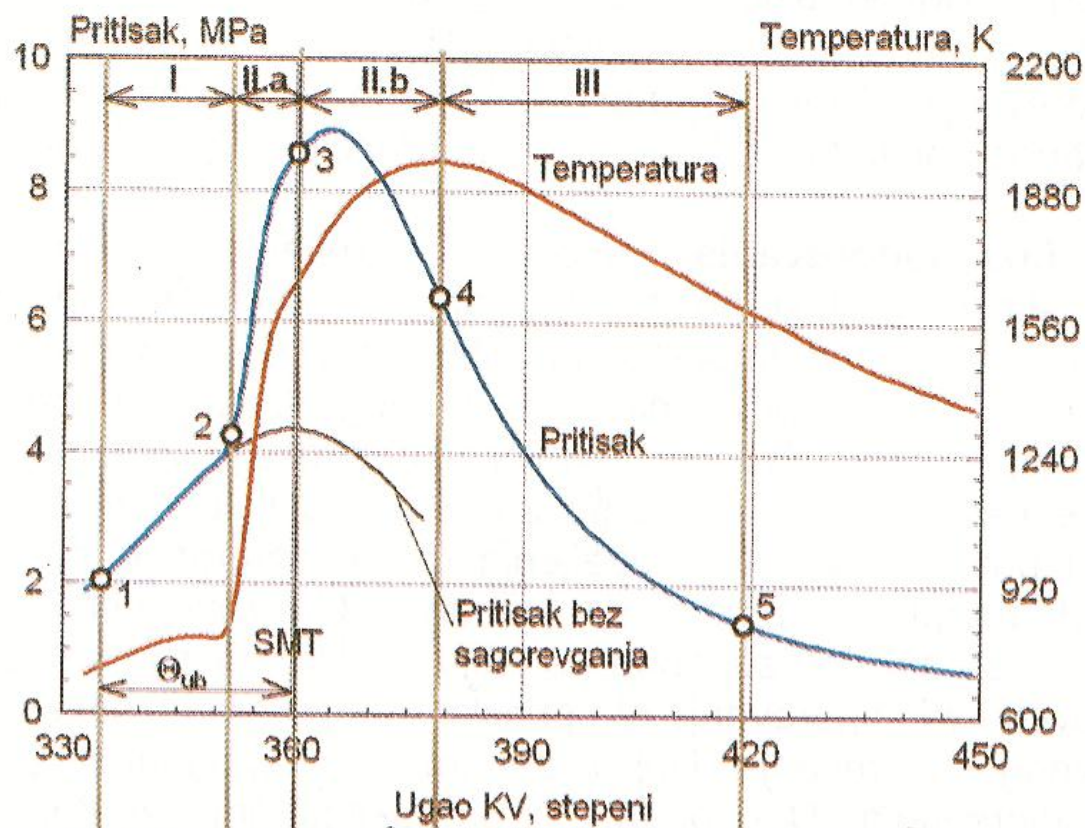


Индикаторски дијаграм нормалног сагоревања

ФАЗЕ САГОРЕВАЊА

I Индукциони период

- Процес испаравања и загревања убризганог горива доводе до опадања притиска и температуре у цилиндру
- Претпламене реакције и први центри самоупаљења
- Убризгава се значајна количина горива и формира се смеша са околним ваздухом



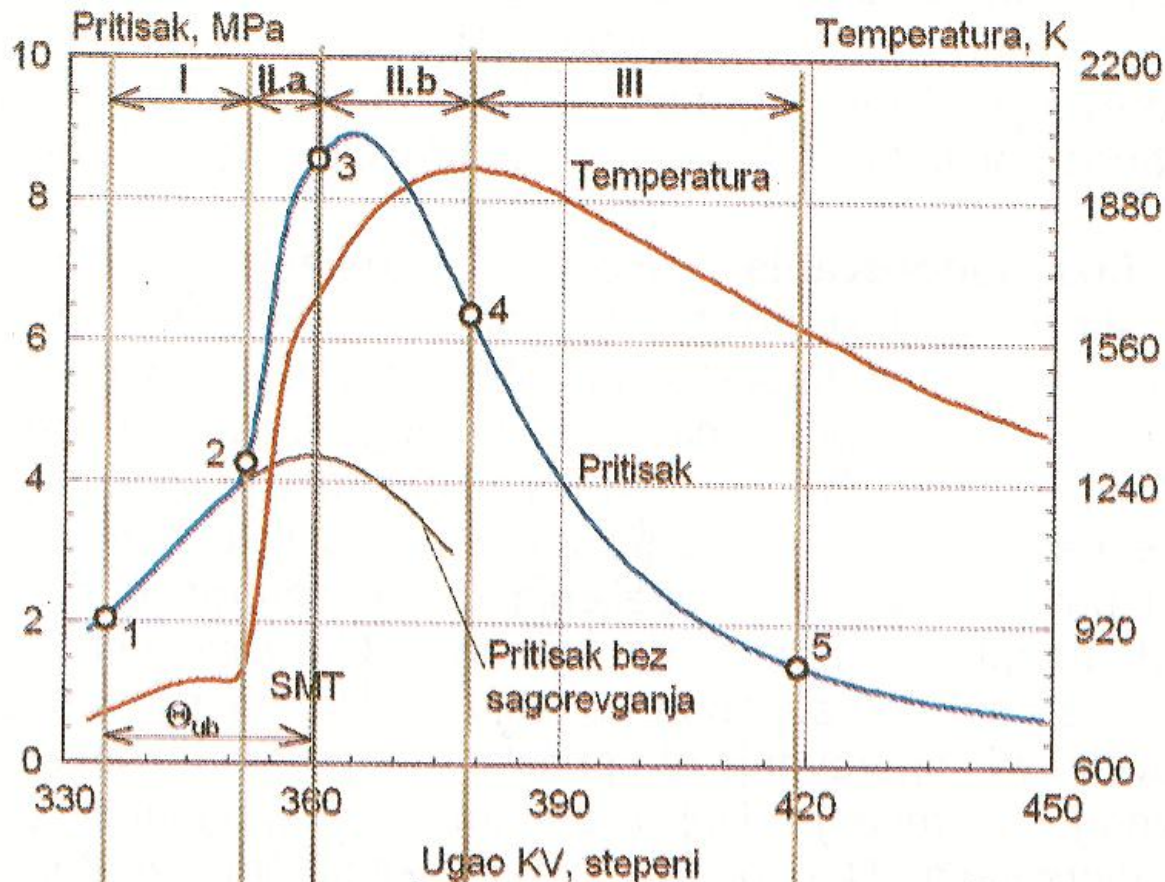


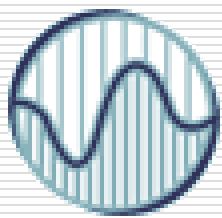
Индикаторски дијаграм нормалног сагоревања

ФАЗЕ САГОРЕВАЊА

IIa Период интензивног неконтролисаног сагоревања

- Сагорева смеша која се припремила у индукционом периоду (20-30% укупног горива)
- Нагли скок притиска (4-6bar/°KV) и температуре



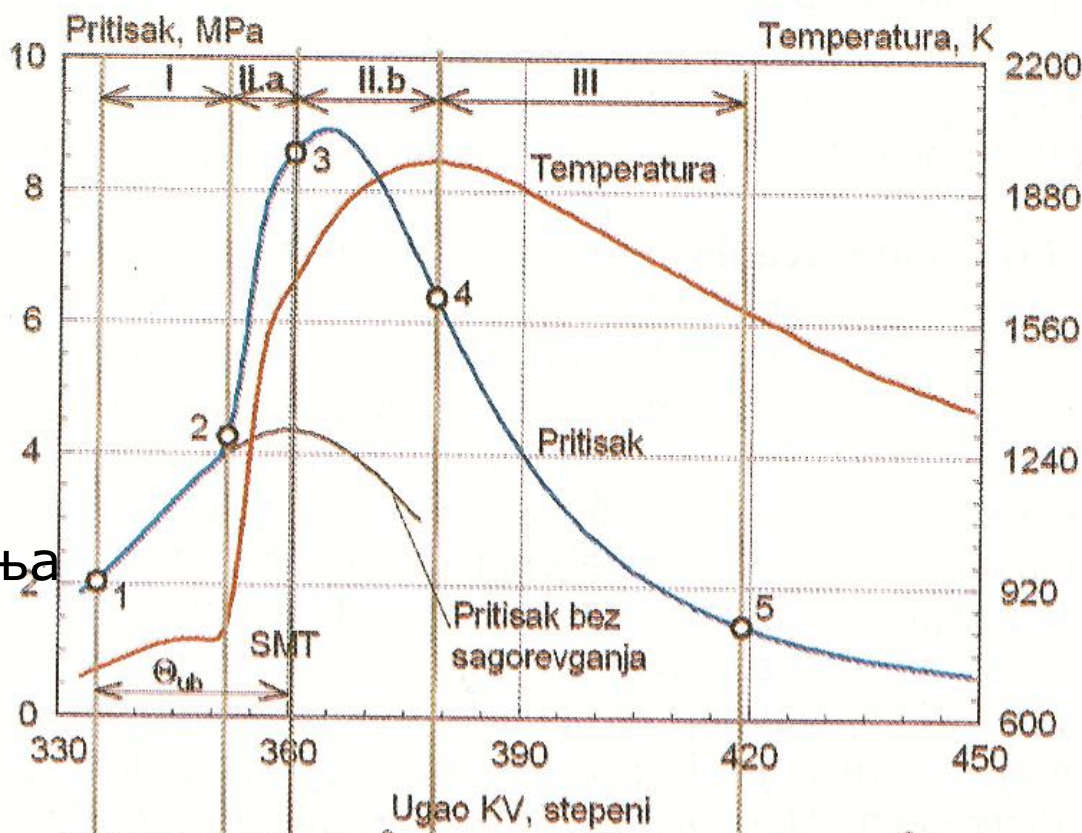


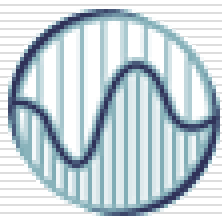
Индикаторски дијаграм нормалног сагоревања

ФАЗЕ САГОРЕВАЊА

IIb Период контролисаног дифузног сагоревања

- Паралелан процес испаравања и стварања смеше са процесом оксидације и термичке деструкције горива
- Мањи пораст притиска и максимум температуре
- Брзина сагоревања је одређена брзином мешања пара горива и ваздуха
- Сагори укупно 60-70% горива



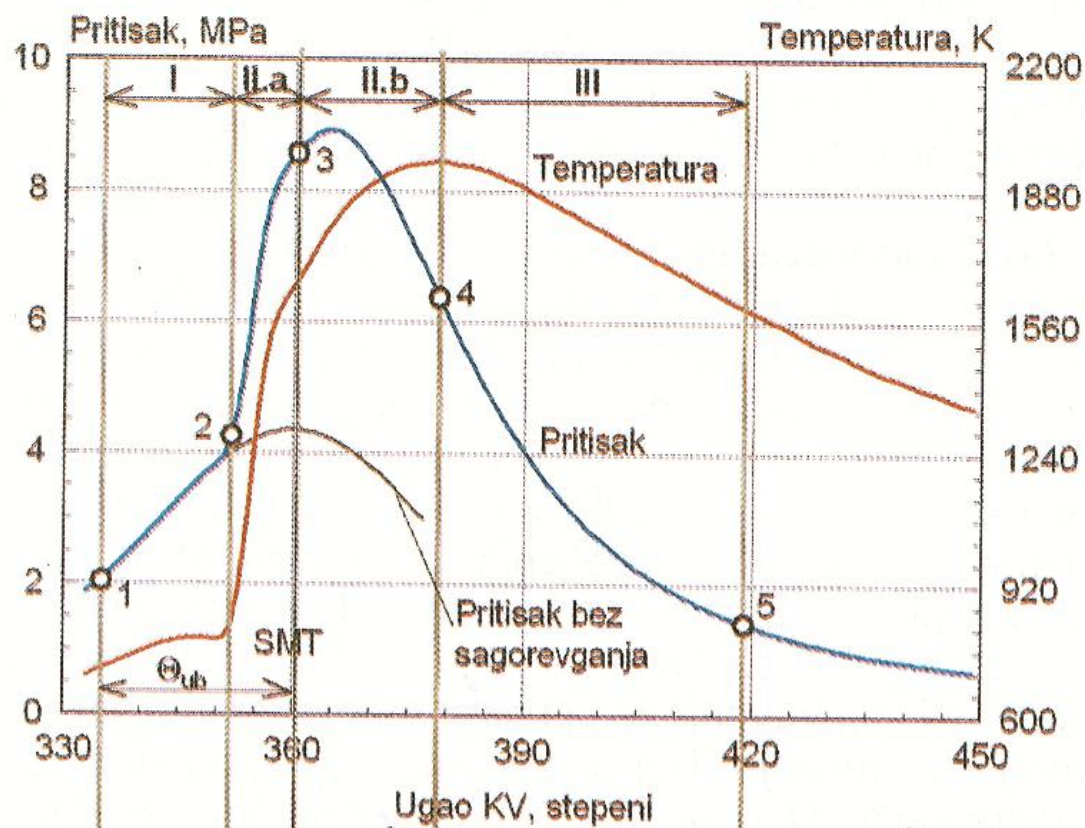


Индикаторски дијаграм нормалног сагоревања

ФАЗЕ САГОРЕВАЊА

III Период догоревања

- Сагорева преосталих 5-10% горива
- Брзина сагоревања одређује се брзином дифузије и турбулентног мешања ваздуха са парам несгорелог горива



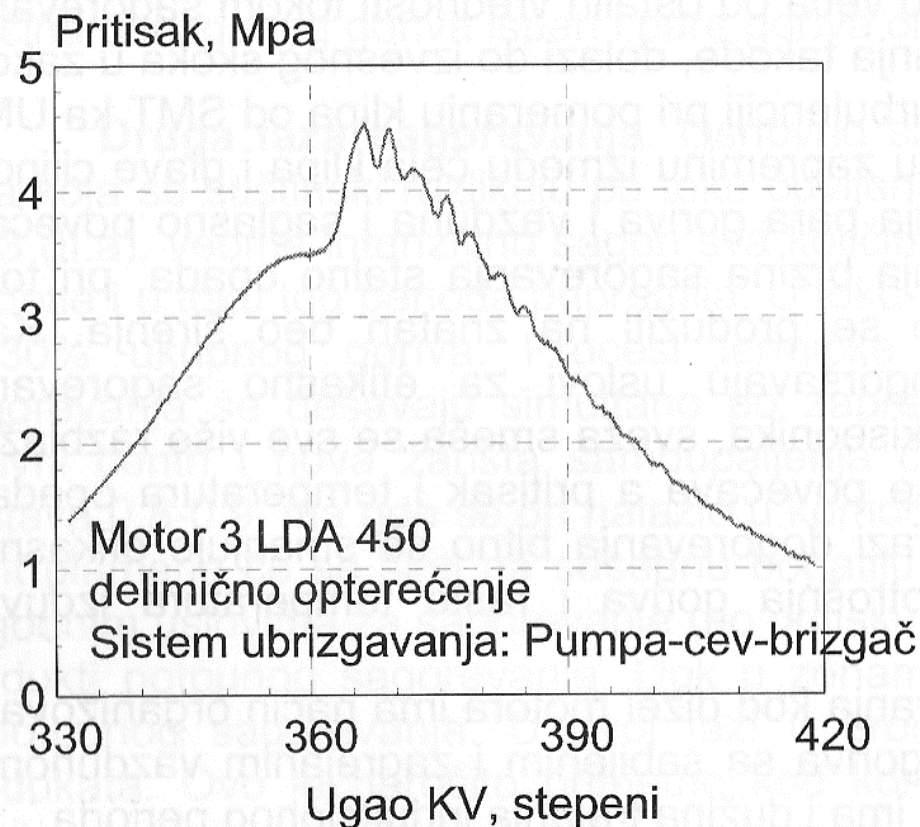


Непожељне појаве током сагоревања у дизел мотору

Утицајни параметри:

- Организација процеса мешања горива и ваздуха
- Дужина трајања индукционог периода

Дизел детонација. У случају дужег трајања индукционог периода у тренутку само-упаљења појављује се велика количина горива и процес сагоревања је праћен ударним таласима који изазивају осцилаторне промене притиска (код мотора са директним убризгавањем и класичним системом убризгавања)

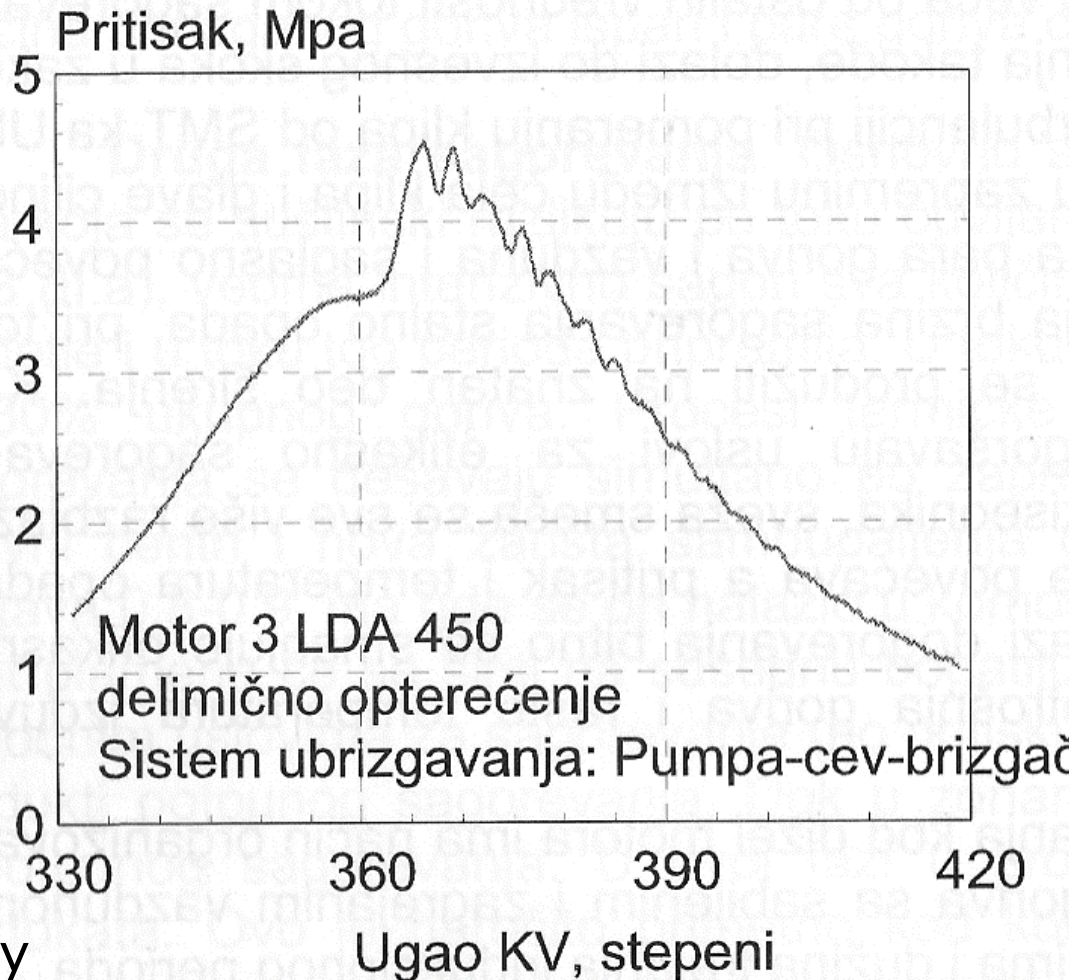


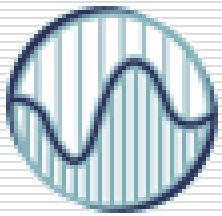


Непожељне појаве током сагоревања у дизел мотору

□ На дужину индукционог периода утичу:

- Хемијски састав горива (цетански број)
- Температура и притисак сабијеног ваздуха у цилиндру у моменту почетка убризгавања
- Финоћа распршивања горива
- Карактер организованог струјања пуњења
- Присуство топлих места у комори за сагоревање





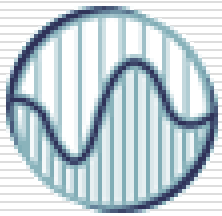
Непожељне појаве током сагоревања у дизел мотору

- ❑ Последица је и повећана бука мотора. Погољније код мотора где се образовање смеше врши филмским убризгавањем, као и код коморних мотора.
- ❑ **Препоруке за степен компресије ϵ**
 - Директно убризгавање у централни део коморе 16-17
 - Директно убризгавање на зид коморе М-поступак 17-18
 - Вихорна комора 18-21
 - Преткомора 20-22



Непожељне појаве током сагоревања у дизел мотору

- **Појава дима.** Недостатак кисеоника. Спречава се:
 - Повећањем коефицијента вишка ваздуха
 - Интезивирањем вихорног кретања
 - Побољшањем квалитета распршивања
- Минимални коефицијент вишка ваздуха λ на граници дима
 - Директно убризгавање у централни део коморе 1,5-1,7
 - Директно убризгавање на зид коморе (М-поступак) 1,25-1,3
 - Коморни мотори 1,2-1,5



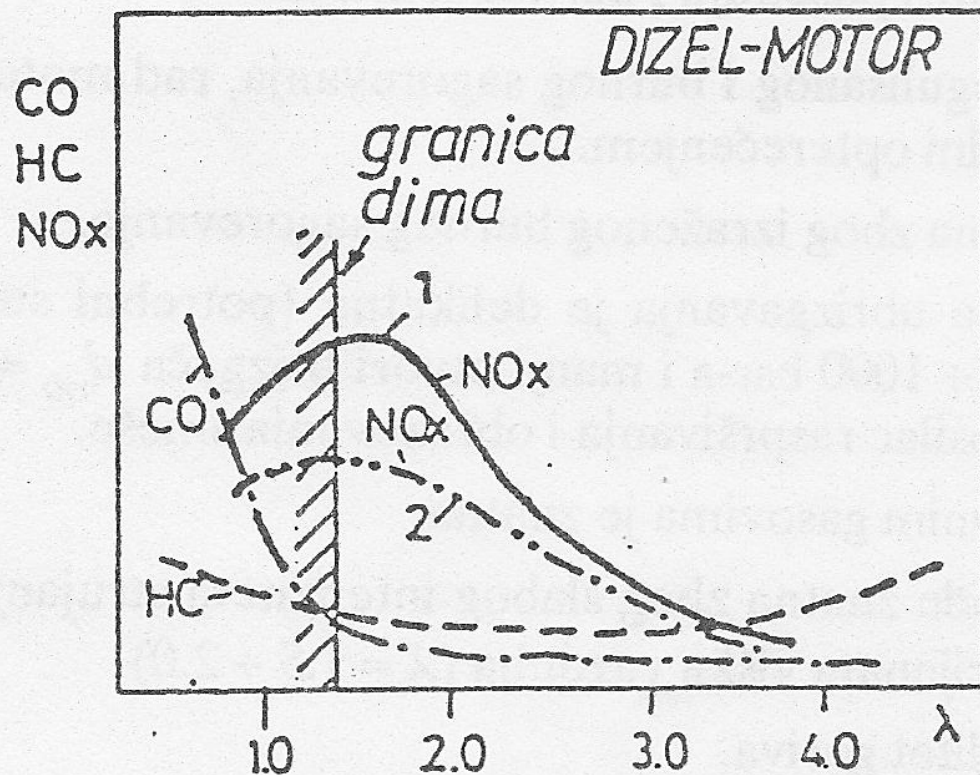
Непожељне појаве током сагоревања у дизел мотору

□ Токсична емисија гасних компоненти

■ Дизел мотор ради са сиромашном смешом → нижи ниво CO и HC

■ Температура на крају сагоревања $T = 2000-2300 \text{ K}$,
→ нижи ниво NO_x

Главни проблем, емисија чађи и NO_x

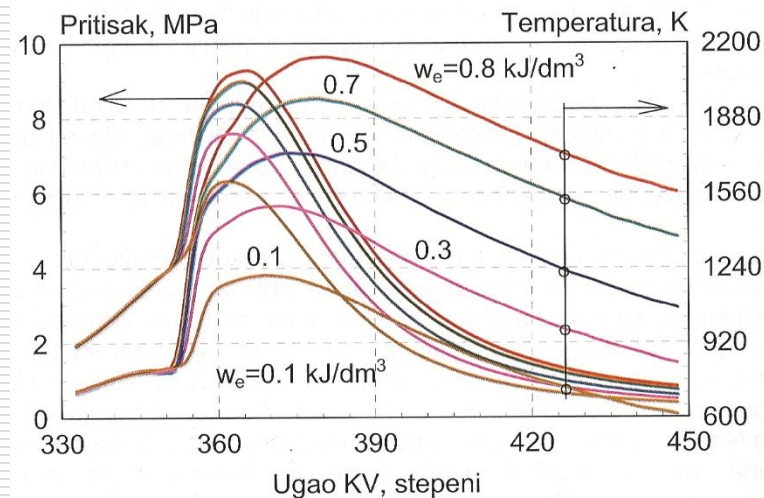




Параметри који утичу на сагоревање у дизел мотору

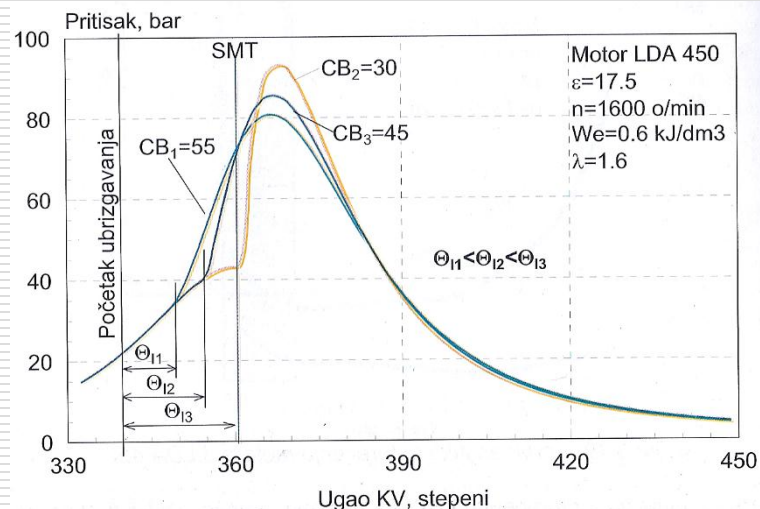
Промена оптерећења

- Квалитативна регулација снаге
- Потпуније сагоревање при мањим оптерећењима: мања потрошња горива него код ото мотора



Гориво

- Повећањем цетанског броја обезбеђује се мекши радни процес са нижом максималном температуром и притиском





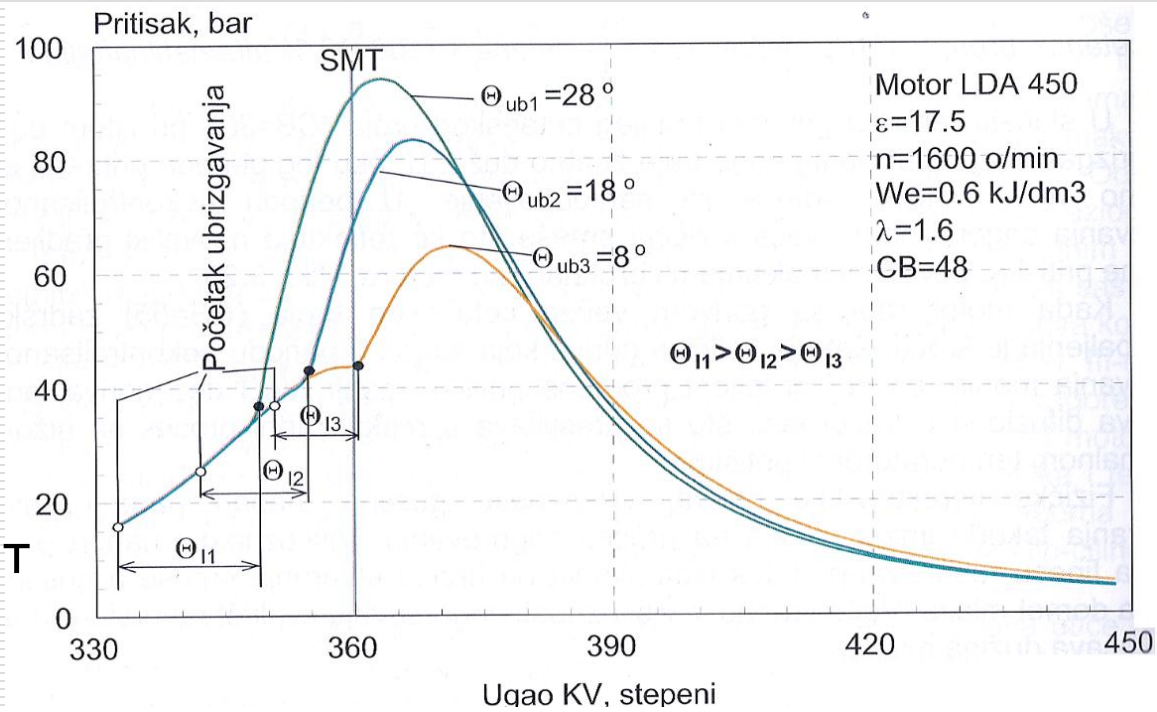
Параметри који утичу на сагоревање у дизел мотору

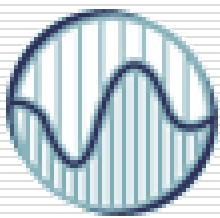
Степен компресије

- ❑ Бира се из услова поузданог старта на ниским температурама
- ❑ Повећањем степена компресије смањује се индукциони период
- ❑ Већа механичка оптерећења

Угао предубризгавања

- ❑ Повећањем угла предубризгавања повећава се индукциони период, што повећава градијент пораста притиска





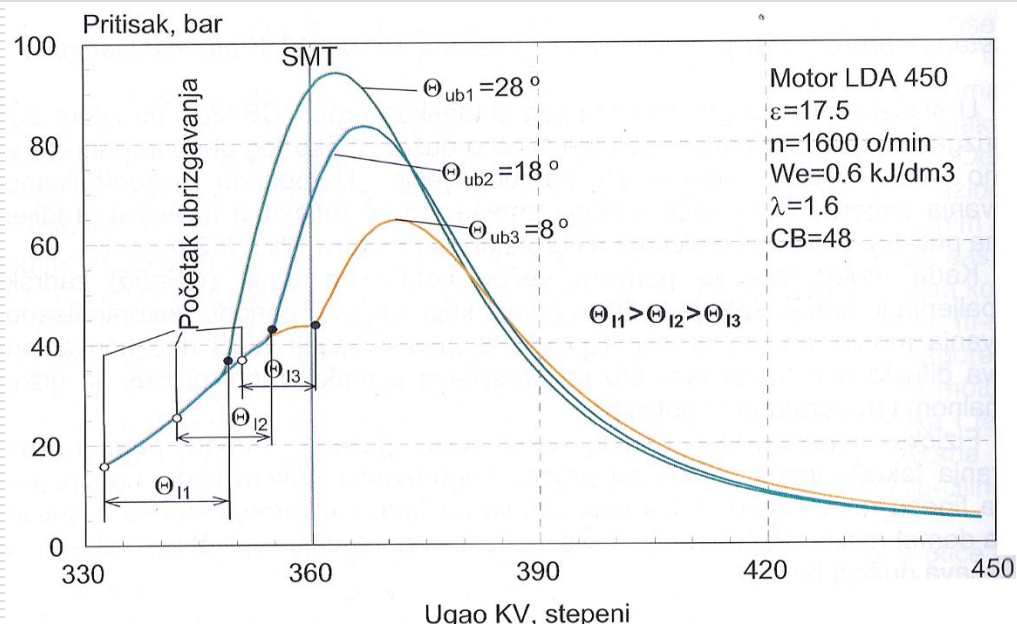
Параметри који утичу на сагоревање у дизел мотору

Квалитет стварања смеше и дужина убризгавања

- ❑ Финија смеша која се добија повећањем притиска скраћује индукциони период, мекши рад мотора.
- ❑ Закон убризгавања битно утиче на градијент промене притиска

Број обртаја

- ❑ Повећањем броја обртаја добија се квалитетнији индукциони период, али се смањује време за сагоревање: повећање угла предубризгавања





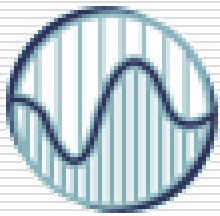
Предности и мане појединих дизел мотора

Директно убризгавање у централни део коморе и запреминским образовањем смеше. **Предности:**

- ☐ Добра економичност
 - ☒ Мањи топлотни и струјни губици
- ☐ Једноставна конструкција-главе мотора
- ☐ Лак хладан старт

Недостаци:

- ☐ Тврд рад са знатним ударним оптерећењем
- ☐ Бука
- ☐ Потребни већи притисци убризгавања $p_{ub}=200-1000 \text{ bar}$ и мањи отвори брызгача $d_{ob}=0,3-0,4 \text{ mm}$
- ☐ Знатна емисија NO_x
- ☐ Знатна емисија дима
- ☐ Захтевају висок квалитет горива



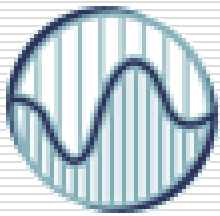
Предности и мане појединих дизел мотора

Директно убризгавање на зид коморе и филмским образовањем смеше, М-поступак. **Предности:**

- ☐ Миран рад
- ☐ Добра специфична снага због рада са ниским $\lambda = 1,25-1,3$
- ☐ Добра економичност
- ☐ Добре еколошке карактеристике
- ☐ Умерени притисци убризгавања

Недостаци:

- ☐ Отежан хладан старт
- ☐ Сложенија конструкција главе мотора због потребе за завојним усисним каналима
- ☐ Оптималне димензије коморе су у уским границама па није погодан за мале и велике моторе



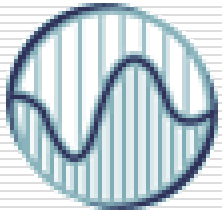
Предности и мане појединих дизел мотора

Мотори са вихорном комором. **Предности:**

- ☐ Миран рад
- ☐ Мања бука
- ☐ Мала димност због доброг интензитета струјања
- ☐ Погодност за рад при већим бројевима обртаја јер са порастом броја обртаја расте и интензитет стурјања
- ☐ Ниска токсичност издувних гасова
- ☐ Нижи притисци убризгавања $p_{ub}=150-180 \text{ bar}$
- ☐ Гориво ширег спектра квалитета

Недостаци:

- ☐ Лошија економичност-већи струјни и топлотни губици
- ☐ Отежан старт хладног мотора – обавезни грејачи
- ☐ Веће термичко оптерећење и сложена конструкција главе мотора



Предности и мане појединих дизел мотора

Дизел мотори са преткомором.

**Предности су израженије у односу на моторе са
вихорном комором али су израженији и недостаци.**