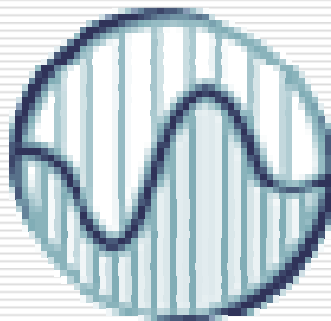
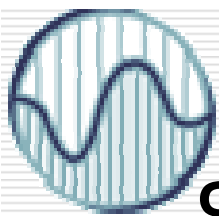




Висока школа електротехнике и
рачунарства струковних студија

МОТОРИ СУС

**Процес сагоревања код дизел
мотора**



Сагоревање код мотора са упаљењем смеше помоћу сабијања

Формирање смеше

- ❑ Специфичности процеса формирања смеше код мотора са упаљењем смеше помоћу сабијања
- 1. Смеша мора бити хетерогена (спречити појаву запреминског сагоревања)
- 2. Састав смеше је променљив по простору и времену (углу КВ)
- 3. Ток сагоревања је контролисан током формирања смеше (убризгавањем), мешањем и испаравањем горива
- 4. Динамика ослобађања топлоте (сагоревања) – терминолошки проблем: „закон сагоревања“

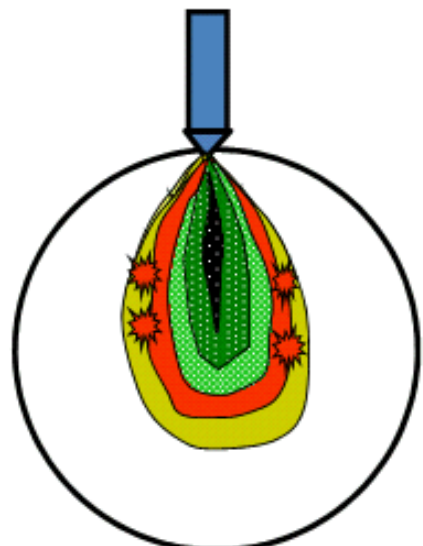
дозирање и убризгивање горива

испаривање горива

мешање са ваздухом

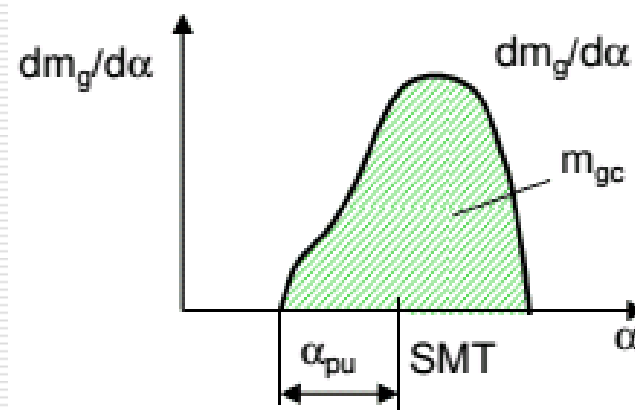
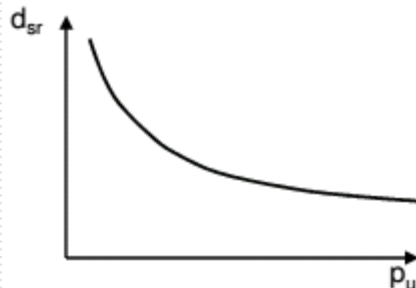
самопалjenje

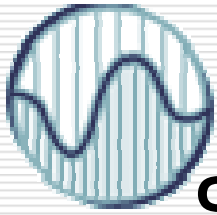
сагоревање



Млаз горива у мирној средини

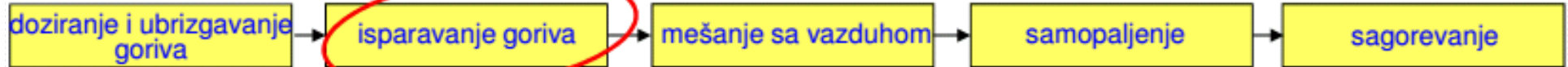
- ❑ Основни задаци система за формирање смеше код мотора са упаљењем смеше помоћу сабијања
- 1. Дозирање тачно одређене количине горива (оптерећење, број обртаја, корекције)
- 2. Убризгавање у тачно одређеном тренутку према одређеној динамици
- 3. Распршивање и атомизација
- 4. Циклична поновљивост
- 5. Циклусна равномерност





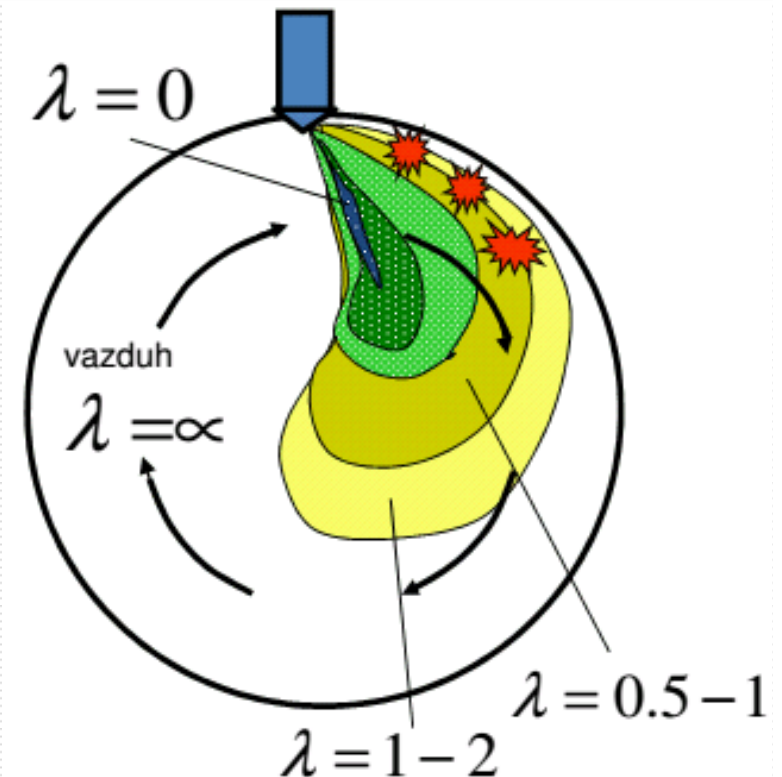
Сагоревање код мотора са упаљењем смеше помоћу сабијања

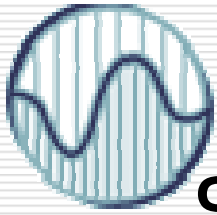
Формирање смеше



Испаравање горива:

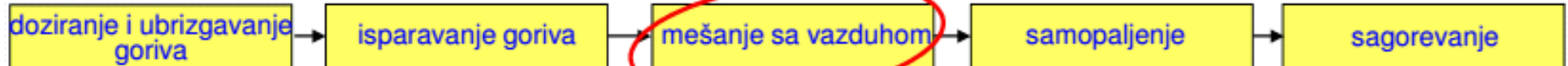
- ❑ **Циљ – скратити време да би се спречило нагомилавање горива**
- ❑ **Како се то постиже?**
- ❑ 1. смањењем средњег пречника капљица ($t_{isp} \sim ds^2$),
- ❑ 2. са порастом температуре средине,
- ❑ 3. са порастом релативне брзине између капљица горива и ваздуха.
- ❑ 4. Пораст притиска средине повећава време испаравања јер повећава површински напон капљице.
- ❑ 5. Физичка својсва горива су такође од утицаја, пре свега површински напон..





Сагоревање код мотора са упаљењем смеше помоћу сабијања

Формирање смеше



Мешање горива и ваздуха:

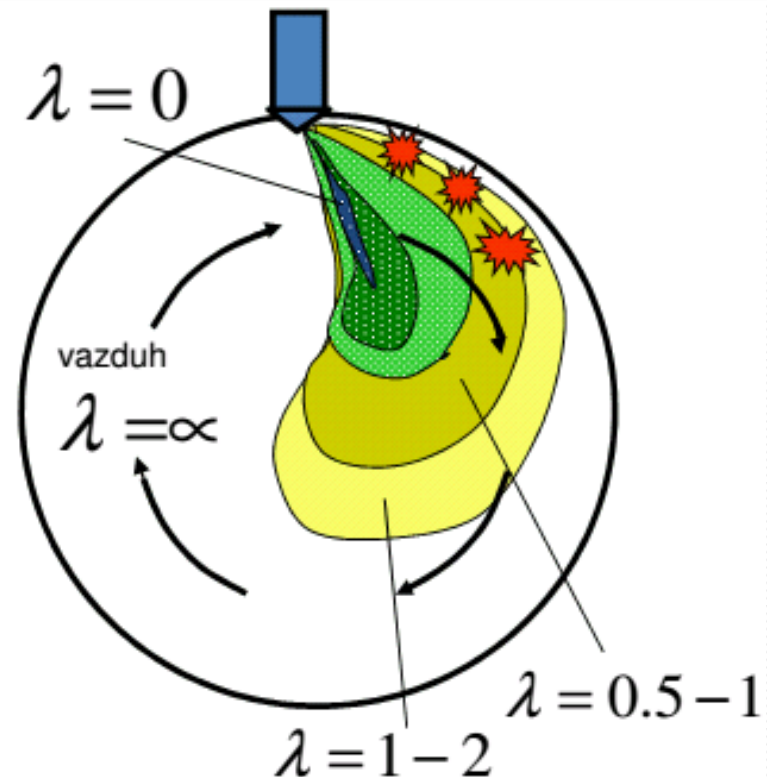
1. предуслов за обављање сагоревања и добро искоришћење расположивог ваздуха
2. Утицај на специфични рад и бездимност сагоревања.

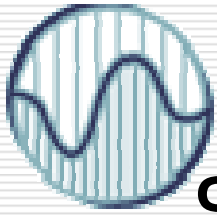
Кључни утицај струјања:

1. довођења ваздуха у контакт са честицама горива,
2. одстрањивања продуката сагоревања из зоне сагоревања.

Значај, утицај струјања и његове специфичности

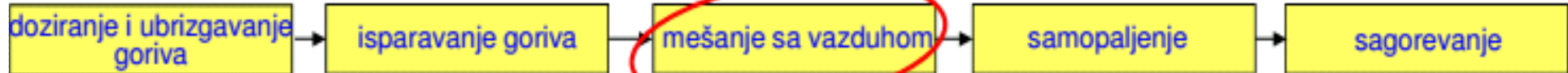
1. Вртложно струјање
2. Струјање је организовано (разлика у односу на моторе са хомогеном смешом и упаљењем помоћу варнице!)
3. Управност осе млаза и смера струјања ваздуха



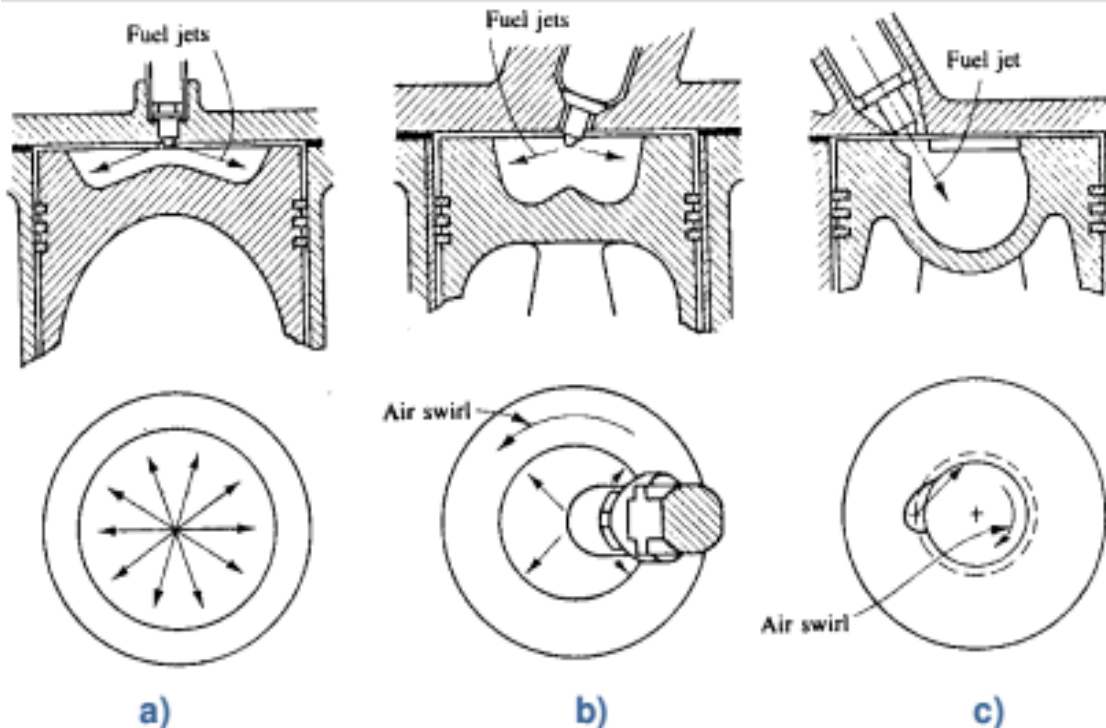


Сагоревање код мотора са упаљењем смеше помоћу сабијања

Формирање смеше

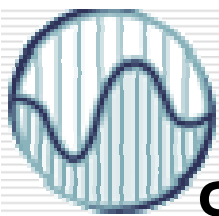


- ❑ С обзиром на начин остварења смеше, односно, остварења кретања ваздуха и убризгавања горива дизел мотори се деле у две основне групе:
- 1. Дизел мотори **са директним убризгавањем** (или дизел мотори са јединственим простором сагоревања)
- 2. Дизел мотори **са индиректним убризгавањем** (или дизел мотори са "подељеним" простором сагоревања, или "коморни" дизел мотори)



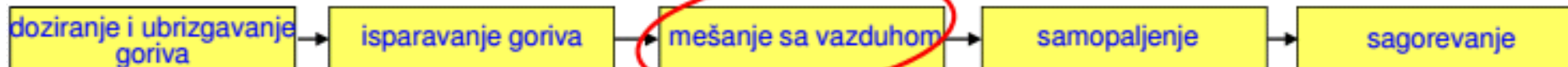
❑ ДИЗЕЛ МОТОРИ СА ДИРЕКТНИМ УБРИЗГАВАЊЕМ

- 1. Комора у клипу
- 2. Формирање смеше – запреминско и филмско
- ❑ **Запреминско (а и b)**
- 1. више млазева радијално распоређених,
- 2. висок квалитет распршивања и просторне расподеле горива,
- 3. вртложно струјање у комори
- ❑ **У облику филма (с, М- поступак – Meurer, MAN)**
- 1. јединствену комору сагоревања која је најчешће смештена у клипу)
- 2. Један млаз горива
- 3. Утицај температуре коморе на динамику процеса

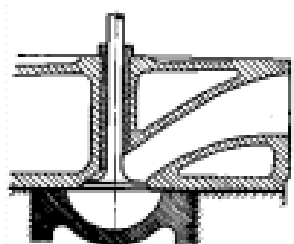


Сагоревање код мотора са упаљењем смеше помоћу сабијања

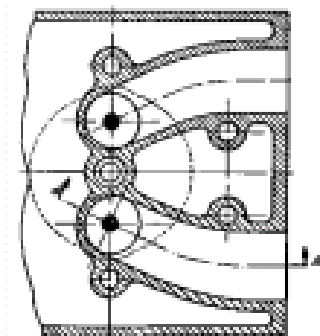
Формирање смеше



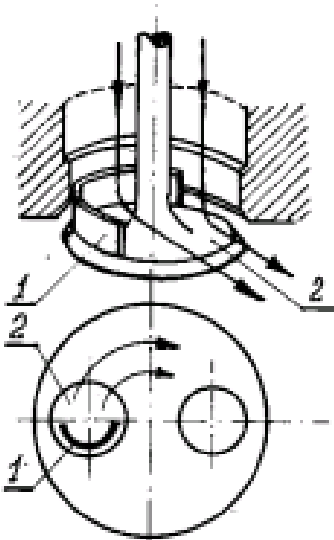
- ☐ **ОСТВАРЕЊЕ ВИХОРНОГ СТРУЈАЊА** код мотора са директним убризгавањем
- ☐ **1. Аксијални вихор** - вихорно (вртложно) срујање око уздужне осе цилиндра изазива се у току усисавања
- ☐ **2. Радијални вихор** - изазива се при приближавању клипа СМТ ефектом истискивања ваздуха из уског процепа између главе и равног дела чела клипа према комори,



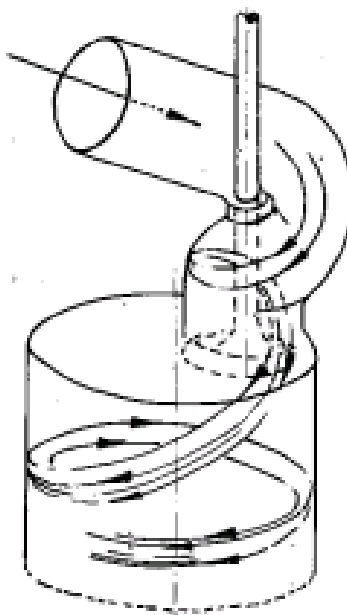
PAZICH 4-4



Tangencijalni
usisni kanal



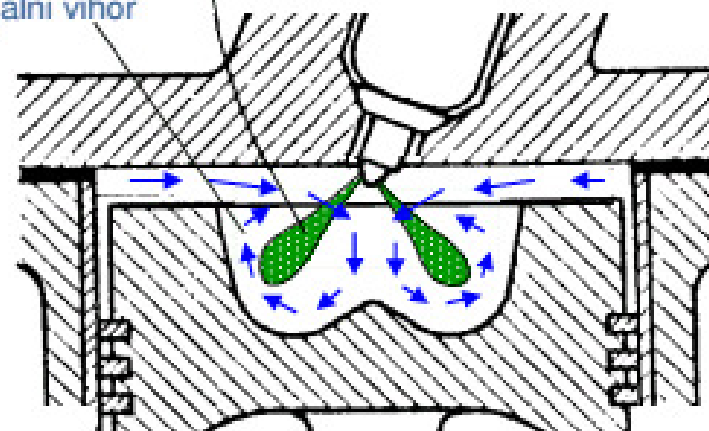
Skretač struje vazduka
(deflektor) na pečurki
usisnog ventila

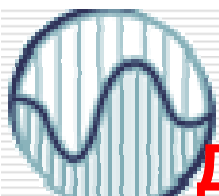


Spiralni usisni kanal
– najefikasniji način
usisnog ventila



mlazevi goriva
radijalni vikor





Сагоревање код мотора са упаљењем смеше помоћу сабијања

Дизел мотори са индиректним убризгавањем

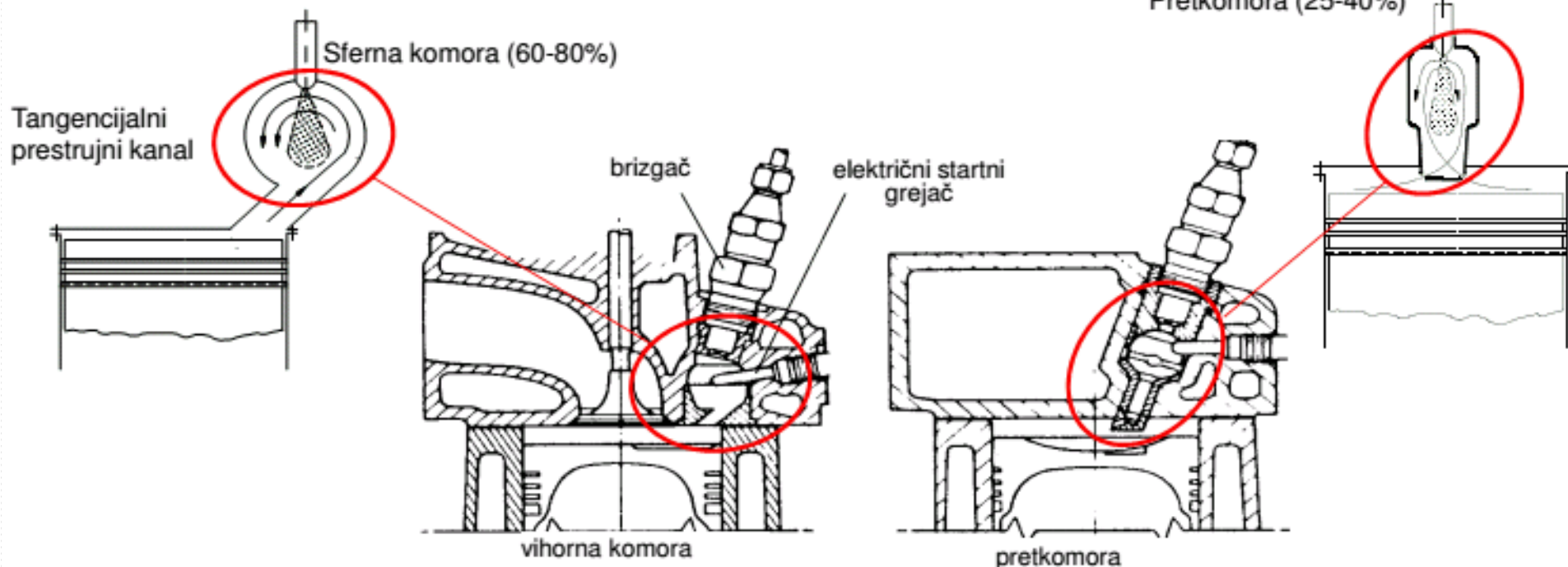


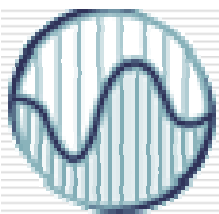
1. Дизел мотори са вихорном комором

- Сферна комора, запремина коморе је 60-80% компресионог простора је сферног облика
- Тангенцијални преструјни канал. При уструјавању ваздуха у комору током сабијања јавља се врло интензивно вихорно струјање чији интензитет зависи од пресека спојног канала.

2. Дизел мотори са преткомором

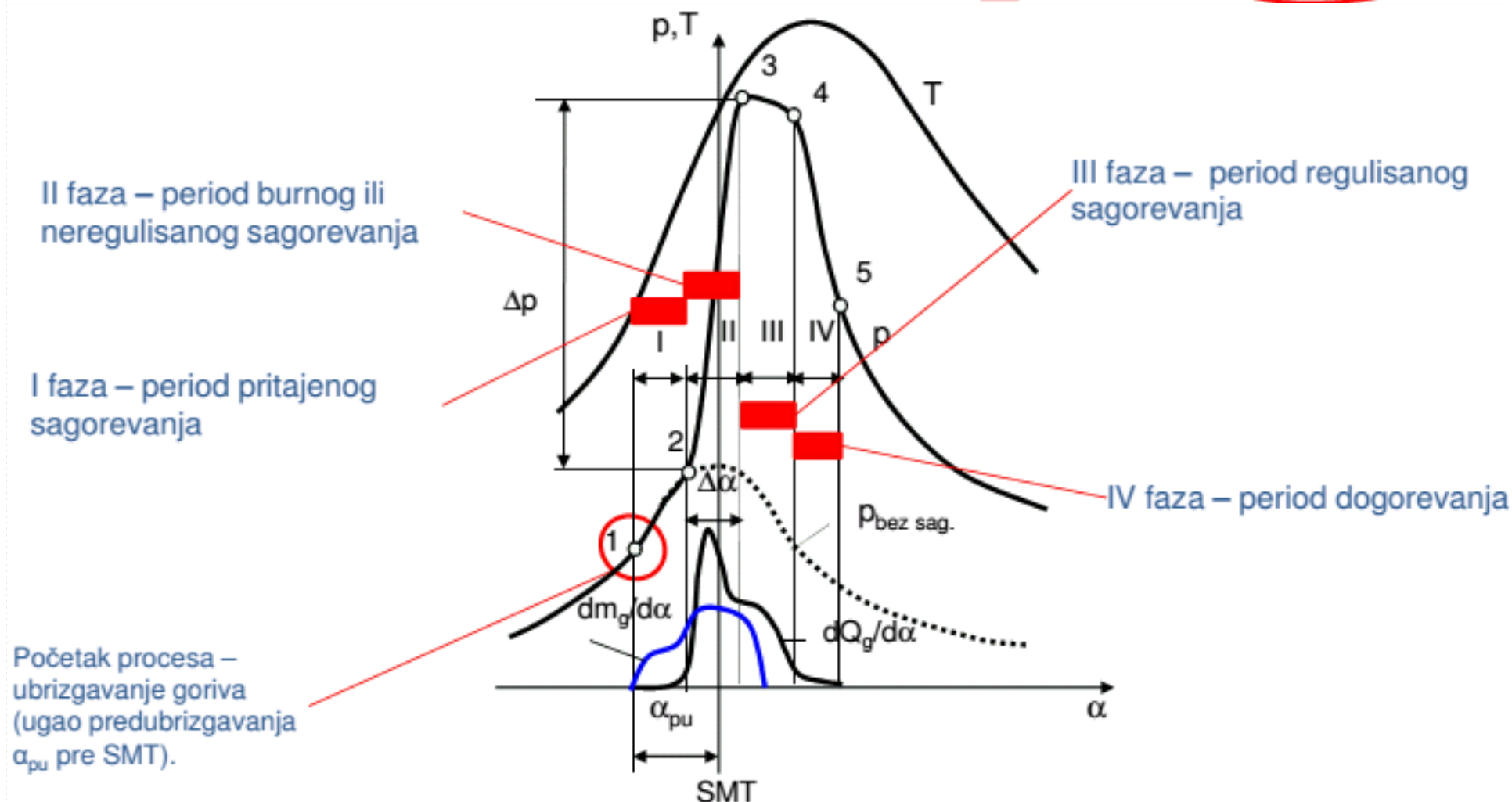
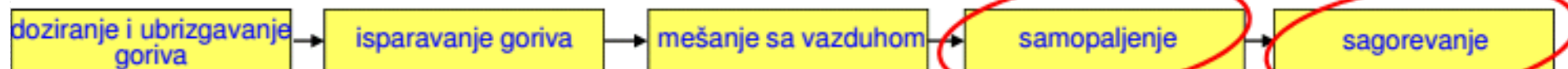
- Преткомора крушког облика, запремине 25-40% компресионог простора
- Један или више отвора релативно малог проточног пресека.
- Брзина уструјавања и до 500 m/s)

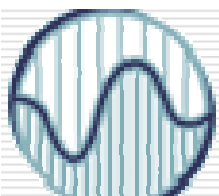




Сагоревање код мотора са упалењем смеше помоћу сабијања

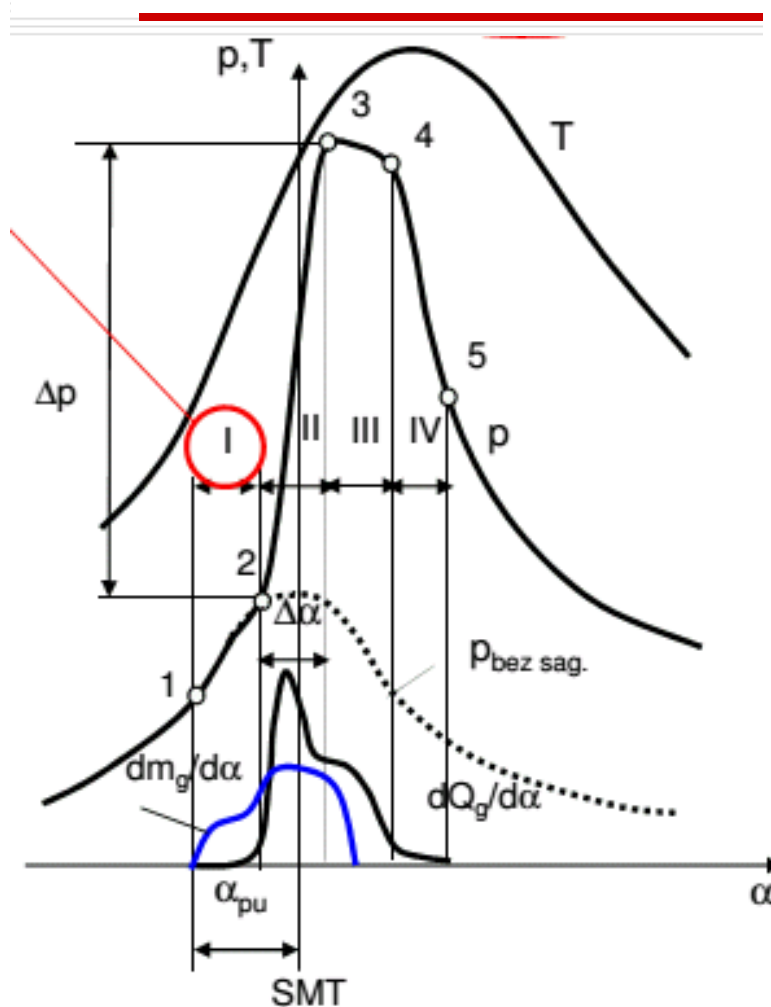
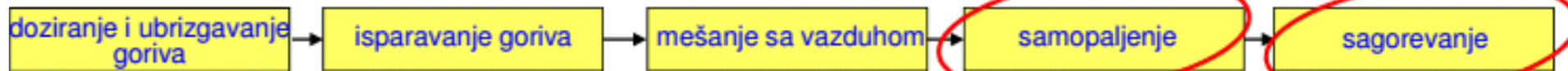
Анализа тока сагоревања





Сагоревање код мотора са упаљењем смеше помоћу сабијања

Анализа тока сагоревања



I ФАЗА – ПЕРИОД ПРИТАЈЕНОГ САГОРЕВАЊА – утицајни чиниоци на дужину ППС

- 1. Карактеристика горива**, тј. његове склоности ка самопаљењу која се изражава цетанским бројем.
- 2. Температуре ваздуха** у тренутку убризгавања чији пораст убрзава испаравање горива и претпламене реакције. **На температуру утиче више фактора:**
 - Степен сабијања ϵ са чијим се порастом повећава температура и тиме ППС скраћује
 - Натпуњење - претходним сабијањем ваздуха у компресору расте температура
 - Угао предубризгавања α_{pu} . Са повећањем α_{pu} убризгавање започиње при нижој температури ваздуха тако да је ППС дужи и обрнуто.
- 3. Материјал клипа и главе као и врста хлађења** такође утичу на температуру. Клип и глава од Al легуре и хлађење помочу течности дају нешто ниже температуре.
- 4. Систем убризгавања**, односно, притисак убризгавања и конструкција брызгача који утичу на квалитет распршивања горива.
- 5. Интензитет струјања у комори** који поспешује мешање горива и ваздуха и интензивира прелаз топлоте на капљице горива, али такође повећава и одавање топлоте зидовима радног простора.

Анализа тока сагоревања

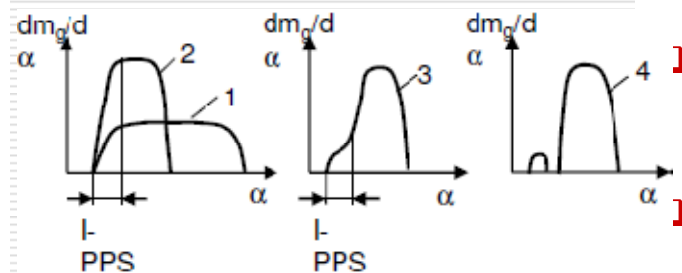
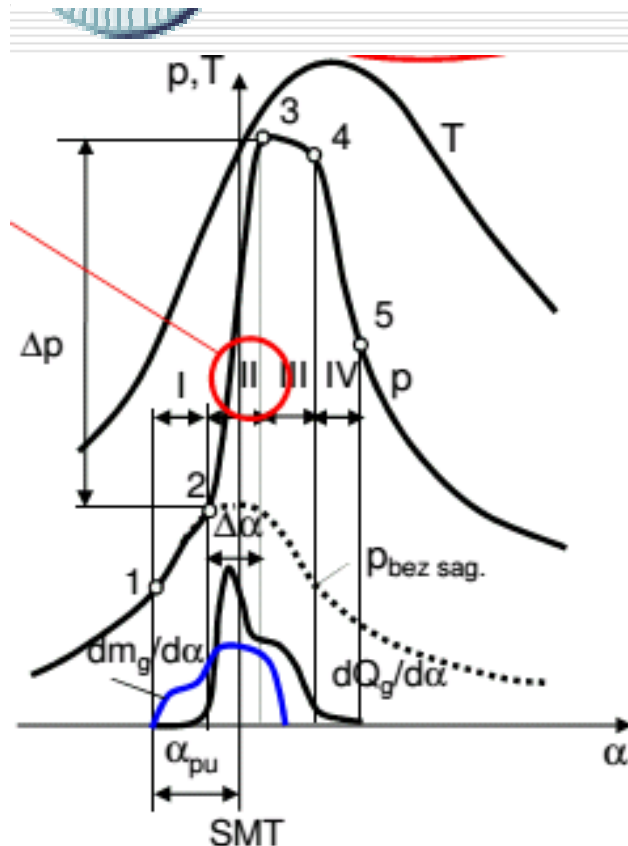
doziranje i ubrizgavanje goriva

isparavanje goriva

mešanje sa vazduhom

samopaljenje

sagorevanje



II ФАЗА – ПЕРИОД НЕРЕГУЛИСАНОГ САГОРЕВАЊА

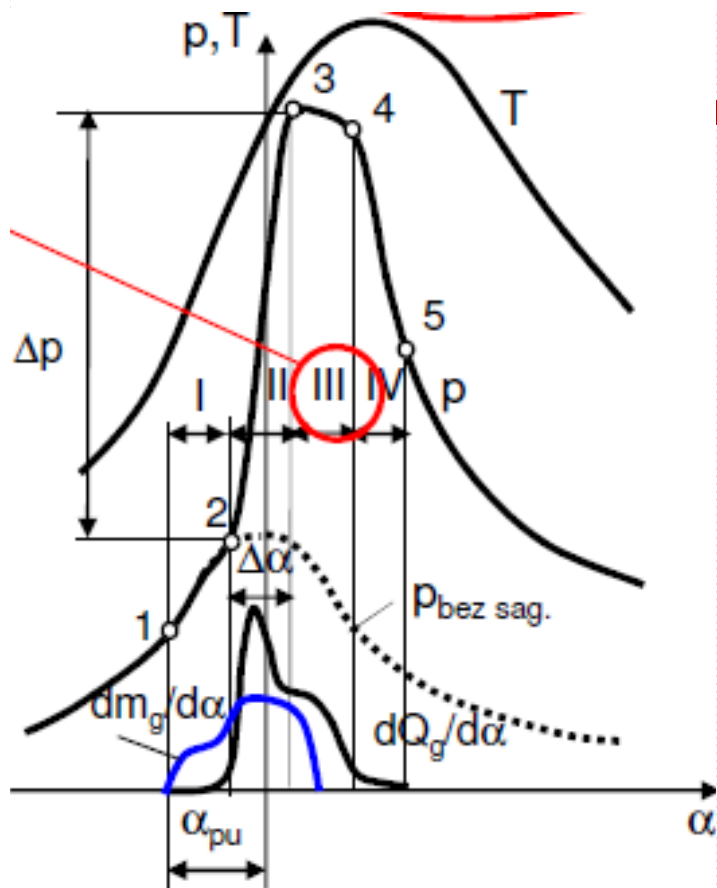
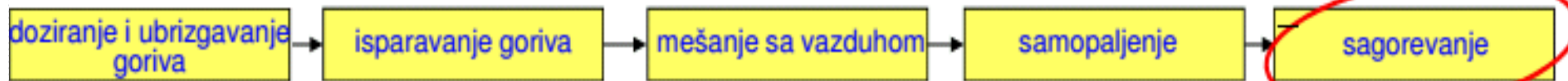
- ❑ ослобађања топлоте - нагли пораст притиска у цилиндру мотора. Припремљена смеша сагорева запремински (период сагоревања претходно припремљене смеше – premixed combustion).
- ❑ велике брзине пораста притиска са средњим градијентом $\Delta p / \Delta \alpha = 4-8 \text{ bar/}^\circ\text{KV}$
- ❑ ударно сагоревање (повећана бука и механичка оптерећења елемената).
- ❑ Основни утицајни чиниоци на период бурног сагоревања:
 1. **Дужина трајања I фазе**, тј. периода притајеног сагоревања. Што је ППС дужи то ће и већа количина горива бити спремна за бурно сагоревање у II фази и ударно сагоревање је израженије.
 2. **Динамика убризгавања**
 - ❑ неповољно да у току ППС буде убризгана велика количина горива
 - ❑ развучено убризгавање би имало за последицу и развучен процес (смањење економичности).
 - ❑ најповољнији закон убризгавања да у почетном делу буде убризгана мања количина горива а касније, када је температура повећана и услови испаравања и припреме горива повољни, већа.

Струјање ваздуха нема већег утицаја на период бурног сагоревања (у неким случајевима може деловати и негативно јер поспешује мешање горива и ваздуха и хомогенизацију припремљене смеше)

Тачну дужину овог периода је тешко прецизно дефинисати али се обично узима да II фаза приближно траје од тренутка виднијег одвајања притиска од линије без сагоревања (тачка 2) до достизања максималног притиска циклуса (тачка 3).



Анализа тока сагоревања



III ФАЗА – ПЕРИОД РЕГУЛИСАНОГ САГОРЕВАЊА

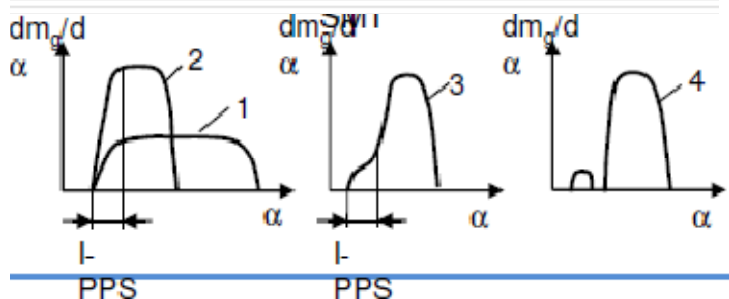
- период регулисаног сагоревања, је "прави" вид сагоревања којем се тежи код дизел мотора
- услови упаљења (због виших температура) веома повољни
- Гориво, након убризгавања и кратког периода индукције, се пали тако – динамика сагоревања прати динамику убризгавања.
- преовлаује сагоревање тзв. дифузним пламеном, који настаје одмах након образовања упаљиве смеше и који је контролисан брзином образовања смеше. (период дифузног сагоревања)

Проблеми:

- недовољна количина
- разлагања молекула угљоводоника на саставне компоненте под дејством високе температуре:
- мала брзина сагоревања угљеника и ниска температура – формирање чађи (честице).

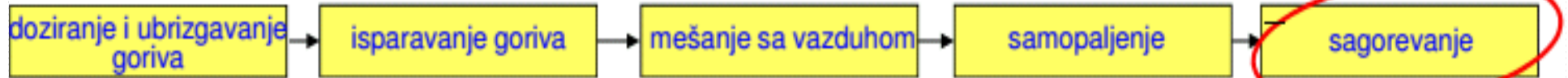
Стварање **дима** током треће фазе сагоревања у дизел мотору највише зависи од следећих чинилаца:

1. Коефицијента вишка ваздуха λ
2. Интензивирање вихорног кретања ваздуха
3. квалитет распршивања убризганог





Анализа тока сагоревања



ОСНОВНИ ПРОБЛЕМИ ПРОЦЕСА САГОРЕВАЊА

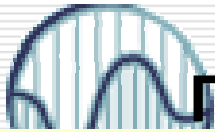
Ударно сагоревање

- Један од проблема при раду дизел мотора је његов "тврди" рад као последица бурног нерегулисаног сагоревања током ИИ периода.

Дим и честице у издувним гасовима

- Спречавање појаве дима током сагоревања може се постићи:
 - повећањем коефицијента вишка ваздуха, чиме се обезбеује контакт горива и ваздуха и у каснијим фазама сагоревања, али се и смањује развијена снага мотора;
 - интензивирањем вихорног кретања ваздуха у комори мотора, чиме се може побољшати мешање и омогућити бездимно сагоревање са мањим коефицијентом вишка ваздуха
 - побољшањем квалитета распршивања убризганог горива путем повећаног притиска убризгавања, повећањем броја отвора на бризгачу, смањењем пречника отвора бризгача и др.

- Ова појава се често назива **дизел детонација**, мада нема неких ближих додирних тачака са детонацијом у отомотору, осим што је у суштини последица запреминског сагоревања једног дела смеше и праћена је ударним оптерећењем због наглог пораста притиска у цилиндру.
- Међутим, сви утицајни фактори делују обрнуто, односно, фактори који повећавају могућност појаве детонације код отомотора, смањују интензитет ударног (бурног) сагоревања код дизел мотора.
- Тако, гориво склоно ка упаљењу, висок степен сабијања, висока температура на крају сабијања, високо термичко оптерећење, висока температура зидова, материјал коморе слабе проводљивости и др. су фактори који смањују ударно сагоревање код дизел мотора, а повећавају могућност појаве детонације код отомотора.



Анализа тока сагоревања

Предности и недостаци појединих врста дизел мотора

□ Дизел мотори са директним убризгавањем (запр. образо. смеше)

Предности:

1. Добра економичност потиче од коморе која је компактна тако да су топлотни губици током сагоревања релативно мали. Такође, због отворене коморе и слабијег интензитета струјања, мањи су и струјни губици током радног процеса.
2. Једноставност конструкције мотора, пре свега цилиндарске главе, јер је најчешће комора једноставног облика у клипу мотора.
3. Стартовање мотора је релативно лако при хладном времену, због малих топлотних губитака и убризгавања горива у централни део коморе, тако оно не долази у контакт са хладним зидовима, због чега се користе и мањи степени сабијања ($\sim 15 \div 17$)

Недостаци

1. “Тврд” и бучан рад мотора праћен знатним ударним оптерећењем, због израженог нерегулисаног и бурног сагоревања.
2. Конструкција система убризгавања је деликатна (потребни су већи притисци убризгавања $p_u = 400 \div 1000 \text{ bar}$ (данас у неким случајевима чак >2000) и већи број мањих отвора бризгача јер је квалитет млаза носилац распршивања и образовања смеше.
3. Неповољнија издувна емисија, нарочито NO_x и дима због слабог интензитета струјања што захтева коришћење већих коефицијената вишка ваздуха ($\lambda_{\text{мин}} \sim 1.5 \div 2.0$).
4. Захтевају висок квалитет горива.

□ Дизел мотори са вихорном комором

Предности:

1. Миран рад мотора и мања бука због блажег пораста притиска у главном простору цилиндра мотора, који је одвојен од простора коморе у коме може доћи до бурног сагоревања.
2. Мала димност због доброг интензитета струјања и ниска токсичност издувних гасова.
3. Погодност за рад мотора при већим бројевима обртаја (чак $>5000 \text{ min}^{-1}$) јер са порастом броја обртаја расте и интензитет струјања чиме се омогућује образовање смеше у краћем расположивом времену.
4. Једноставнији и јефтинији систем убризгавања (нижи притисци убризгавања $p_{ub} = 150 \div 200 \text{ bar}$ и већи пречници отвора бризгача).
5. Могућност коришћења горива ширег спектра квалитета.

Недостаци

1. Лошија економичност мотора (већа потрошња) због већих струјних и топлотних губитака мотора.
2. Отежано стартовање хладног мотора, због чега су неопходни електрични грејачи у циљу предгревања зидова коморе.
3. Веће термичко оптерећење и сложенија конструкција цилиндарске главе мотора.