

Висока школа електротехнике и
рачунарства струковних студија

ДИРЕКТНО УБРИЗГАВАЊЕ БЕНЗИНА

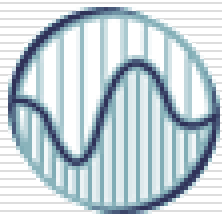
ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА



НАМЕНА СИСТЕМА

Основни задаци који се постављају пред систем за образовање смеше код ото-мотора су:

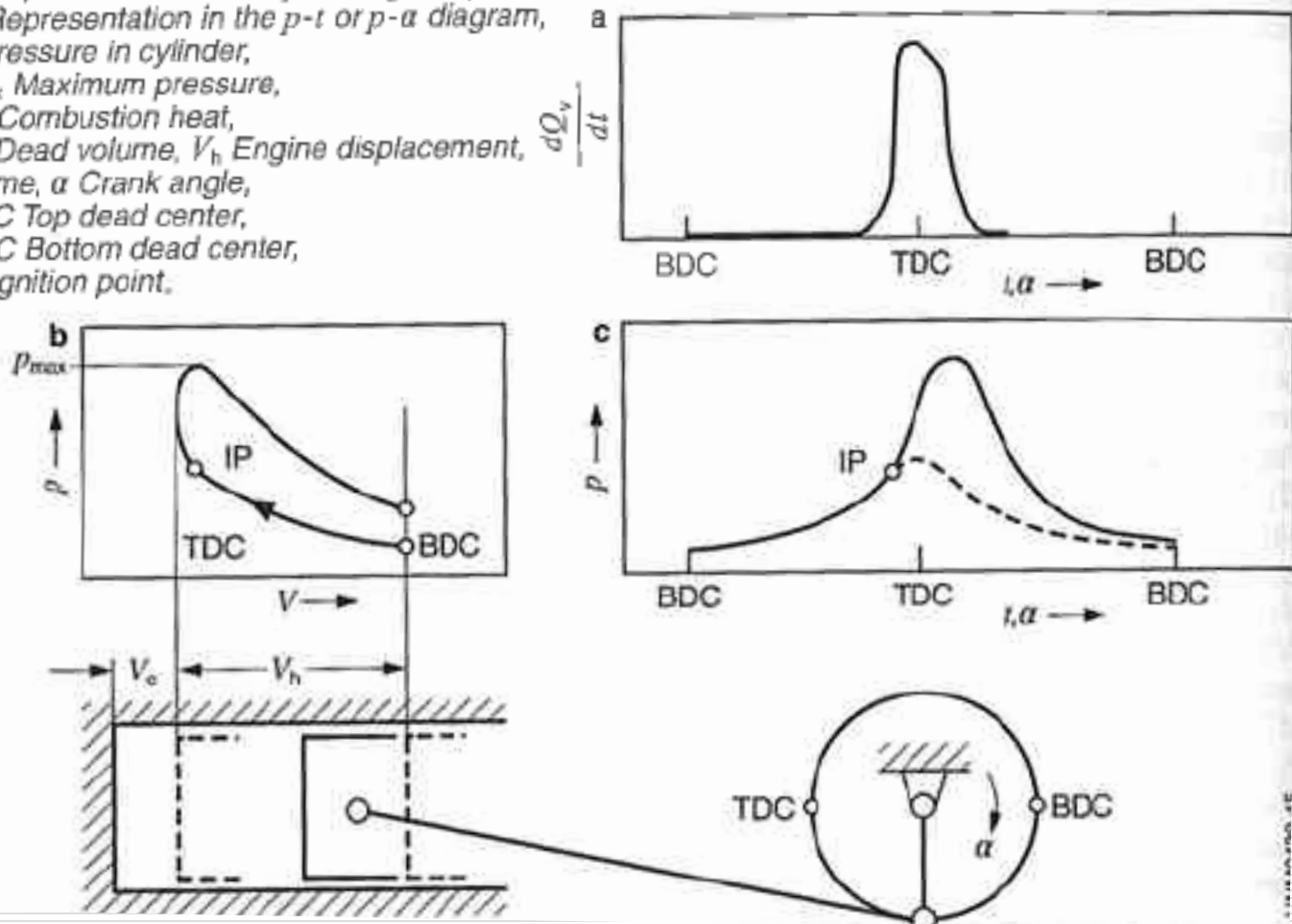
- обезбеђење добро измешане хомогене смеше горива и ваздуха са већим уделом парне фазе,
- обезбеђење смеше у оквиру граница упаљивости у зони свећице (слојевито образовање смеше)
- тачно дефинисан састав смеше који обезбеђује поуздано упаљење и ширење пламена,
- *развијена снага на пуном оптерећењу,*
- *економичност (нарочито на средњим и нижим режимима рада),*
- *смањена токсичност издувних гасова,*
- *сигурно образовање смеше при различитим спољним условима (ниске и високе температуре),*
- *поузданост у раду као и одржавање регулације током експлоатације мотора.*

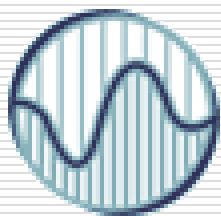


ФОРМИРАЊЕ СМЕШЕ

Figure 1: The engine power cycle

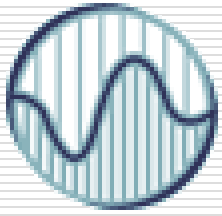
- a) Course of combustion,
 b) Representation in the p - V diagram (enclosed area corresponds to indicated work),
 c) Representation in the p - t or p - α diagram,
 p Pressure in cylinder,
 p_{\max} Maximum pressure,
 Q_v Combustion heat,
 V_c Dead volume, V_h Engine displacement,
 t Time, α Crank angle,
 TDC Top dead center,
 BDC Bottom dead center,
 IP Ignition point.





Стратегије рада бензинских мотора

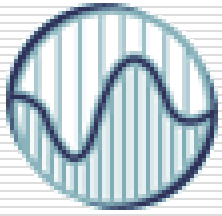
Operating strategy	Stoichiometric	Rich	Lean	Ultra-lean	Stratified-charge operation lean
Mixture formation	Homogeneous				Heterogeneous and homogeneous
Combustion-chamber composition					
Fuel injection	Manifold injection and direct injection				Direct injection
Ignition	External ignition source	External ignition source	External ignition source	Auto-ignition	External ignition source
Typical compression ratio	8 ... 12		11 ... 13	12 ... 16	11 ... 14
Load control	Quantity				Quality
Operating range	Entire program map	Full load, high speed range	Entire program map	Part load	Part load
Application, development stage	Conventional, series		Gas engines, series	Research stage	New combustion processes



ФОРМИРАЊЕ СМЕШЕ И ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА

Укупно време трајања процеса сагоревања састоји се од следећих фаза:

- ☐ Времена потребног за образовање првих језгара реакције (претпламене реакције и појава пламена)
- ☐ Времена потребног за распростирање зоне реакције по целој запремини коморе за сагоревање и
- ☐ Времена потребног за завршавање оксидација које се одвијају у запреминама већ пребрисаним зонама реакције.



ФОРМИРАЊЕ СМЕШЕ И ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА

- ❑ Први и трећи процес дефинисани су хемијском кинетиком процеса. Мере се количином радне материје у којој је завршен процес оксидације у јединици запремине и у јединици времена.
- ❑ Други период дефинишу брзине простирања пламена и зависи пре свега од брзине турбулентног кретања радног тела у комори за сагоревање.
- ❑ У нехомогеним гасним смешама брзине сагоревања се одређују брзинама узајамне дифузије пара и горива!

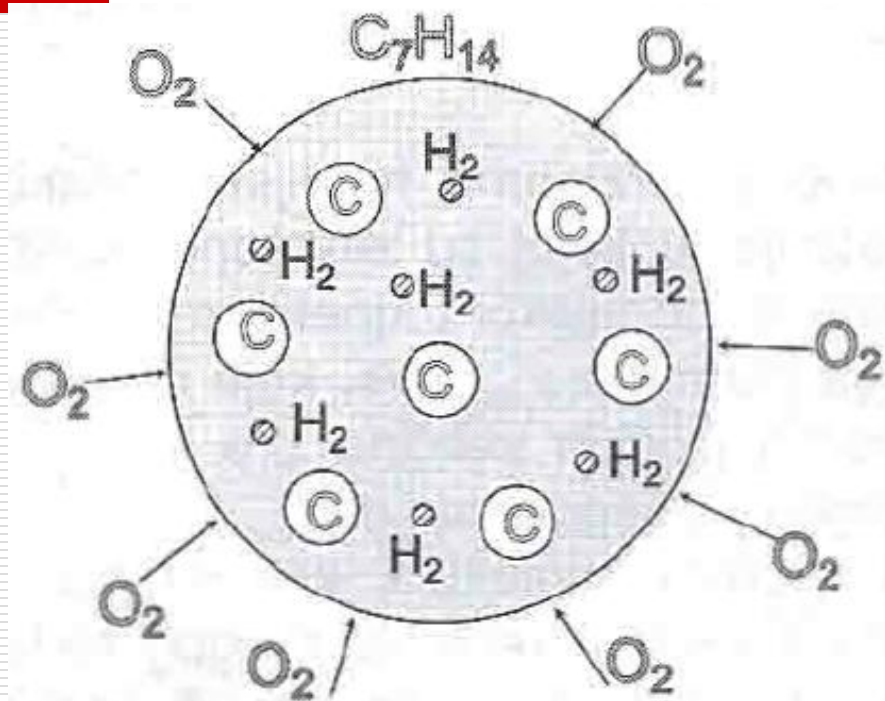
Брзина пламена је највећа код хомогених смеша!

Тешко оствариво!



ФОРМИРАЊЕ СМЕШЕ И ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА

Активни центар
молекула хептана
 C_7H_{14}



Активни центри представљају распаднуте делове сложених низова молекула горива који се сједињавају са кисеоником. Процес сагоревања одвија се тако што се у зонама реакције формирају активни центри који реагују са кисеоником.

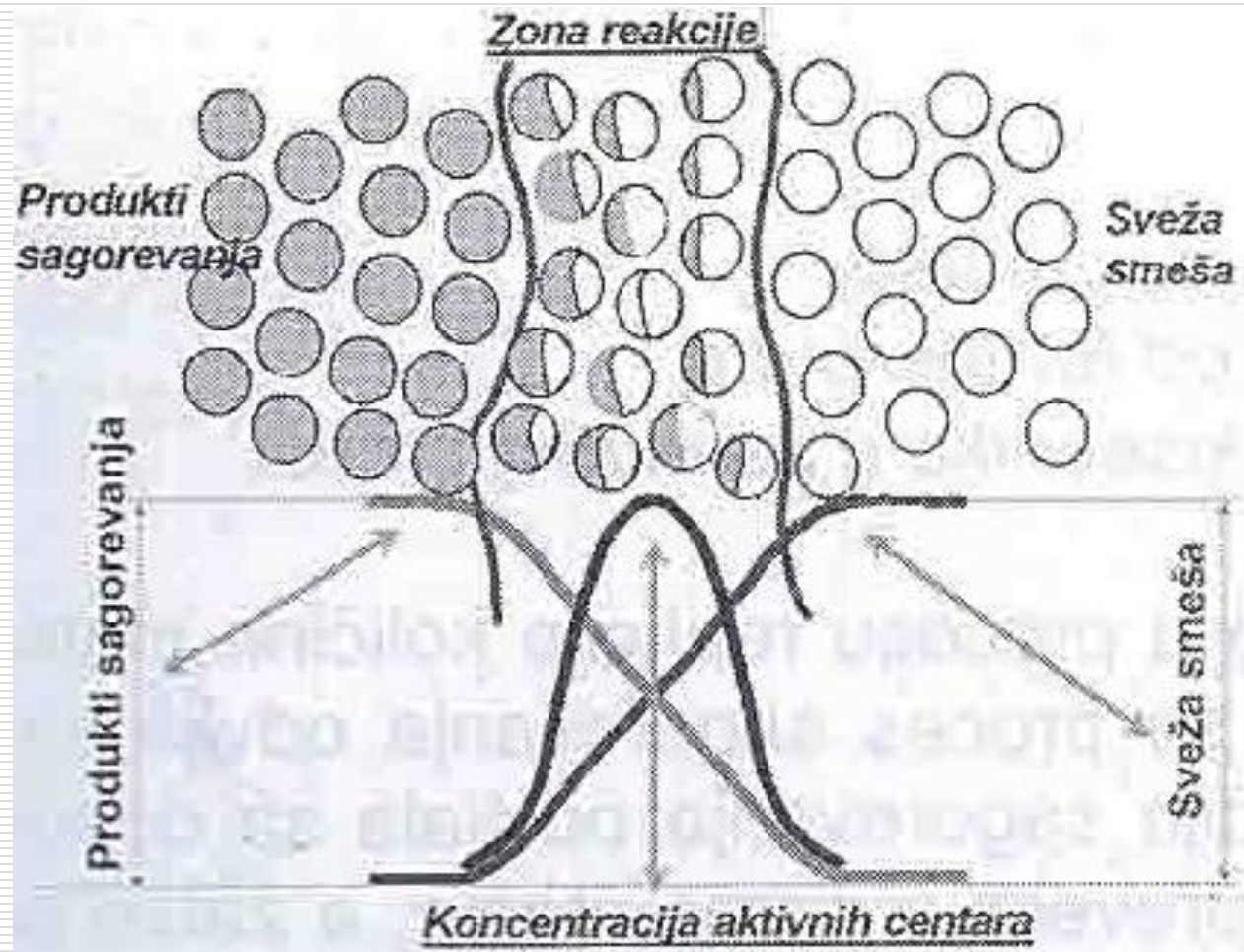


Сагоревање у Ото моторима

Сложене физичко хемијско топлотне појаве.

**Ламинарни фронт
пламена**

**Дебљина фронта
пламена 1mm**



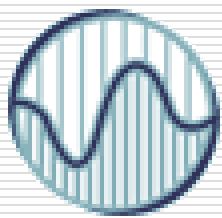


ФОРМИРАЊЕ СМЕШЕ И ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА

Највећа брзина пламена је при благо богатој смеши и креће се у границама од 0,35-0,55 m/s. Ово је јако споро па се брзина сагоревања код мотора мора повећати!

Повећање простирања пламена постиже се:

- ☐ Повећањем температуре свеже смеше (компресија пре сагоревања)
- ☐ Повећање притиска пре сагоревања (компресија пре сагоревања)
- ☐ Стварање интензивног, усмереног и контролисаног струјања, односно турбуленције у току сагоревања (30-50 m/s; 2000 m/s – ненормално сагоревање)



ФОРМИРАЊЕ СМЕШЕ И ПРОЦЕС САГОРЕВАЊА

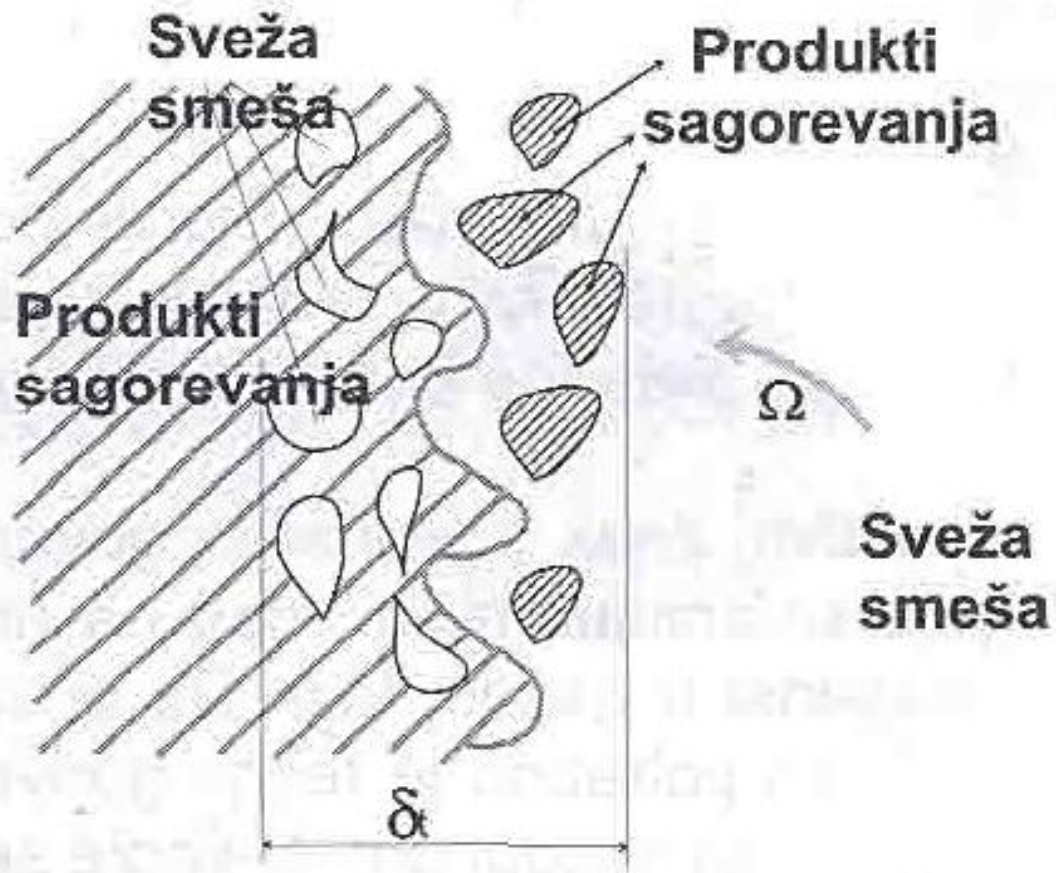
Сувише високе температуре могу да доведу дисоцијације продуката сагоревања уз утрошак топлоте и стварања велике количине NO_x-а!

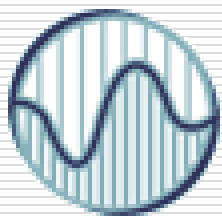
Турбулентним струјањем брзина фронта пламена се вишеструко увећава!

Брзина 30/50 m/s

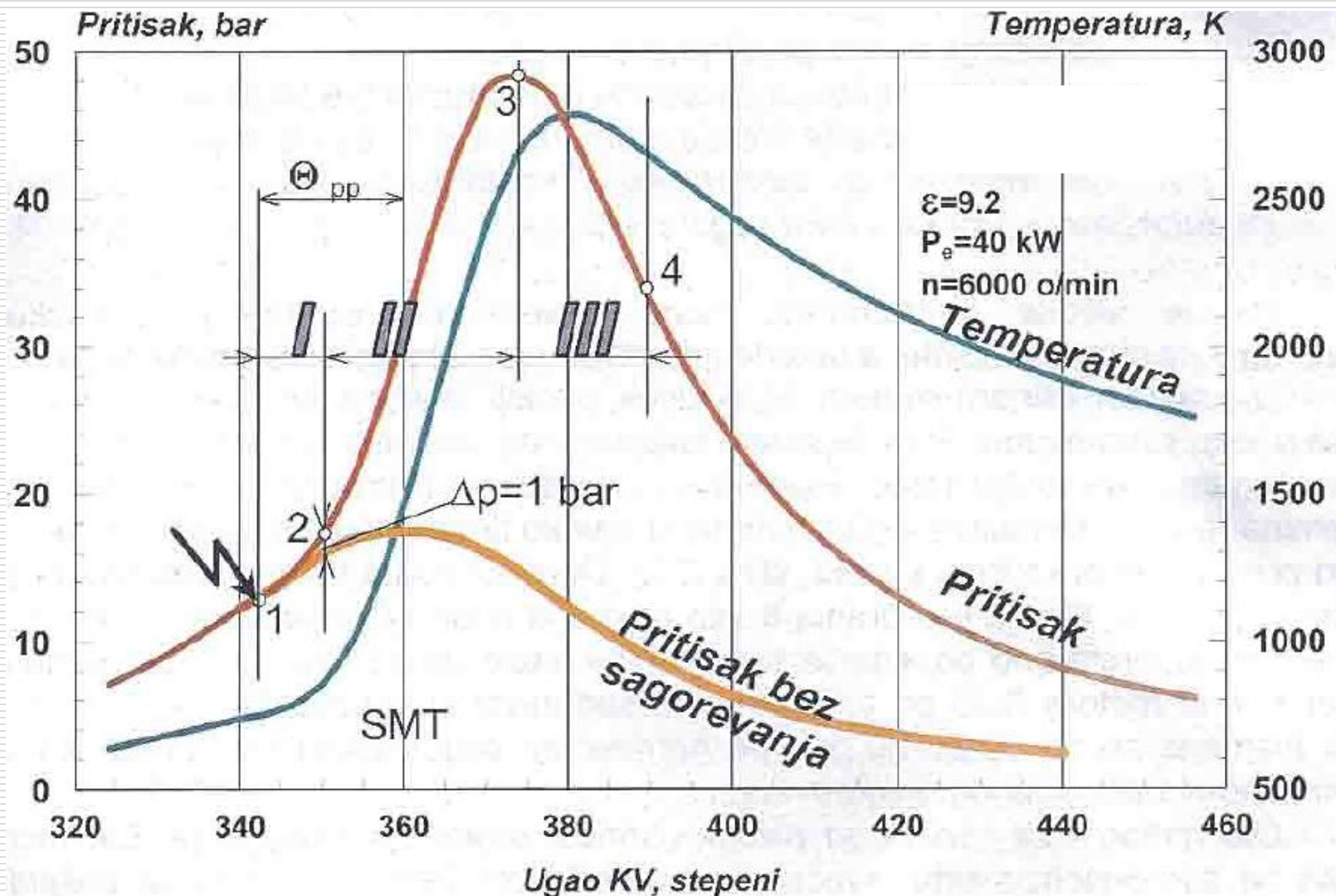
Фронт пламена 20-25 mm

Ово омогућава да се сагори већа количина горива!



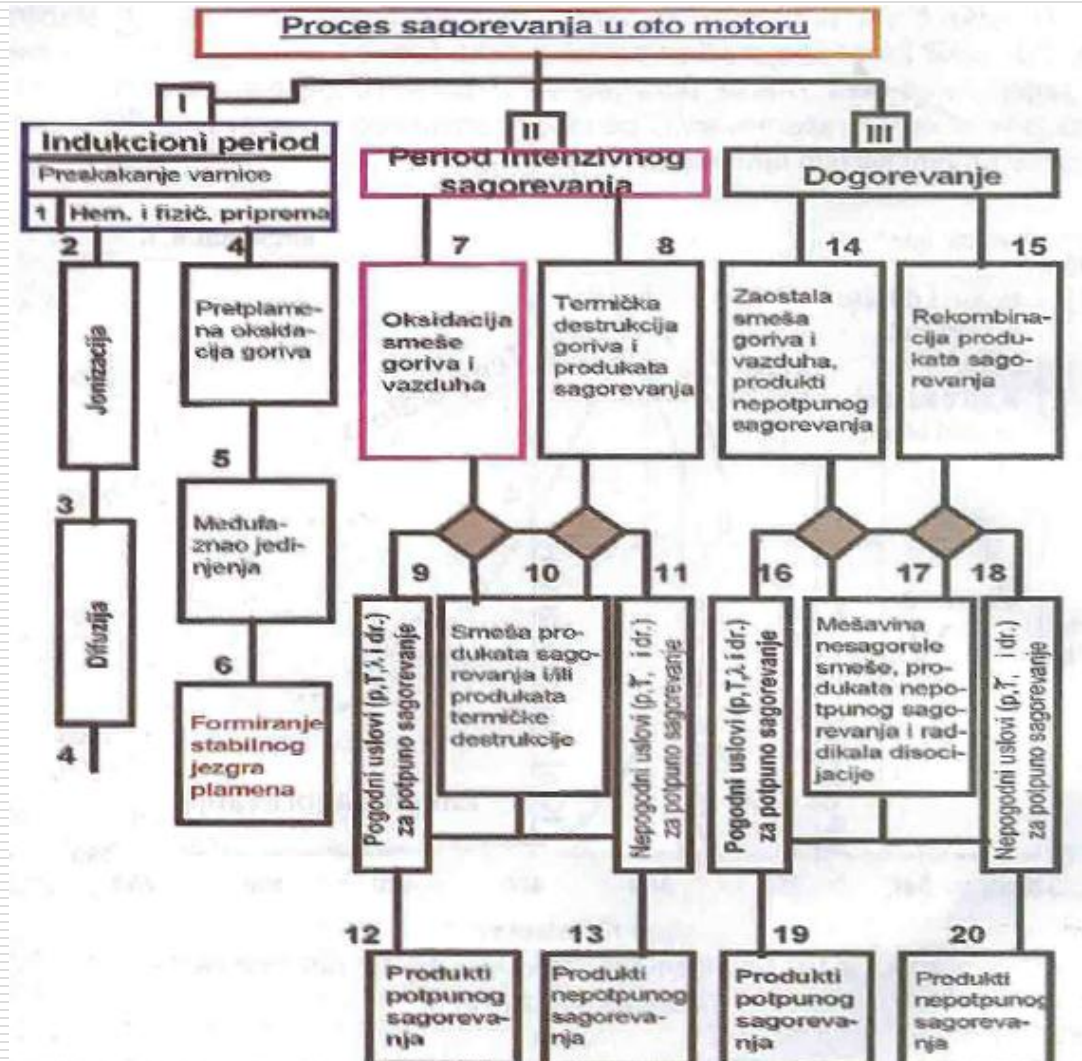


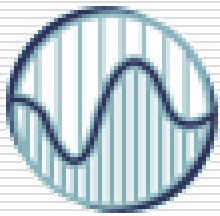
НОРМАЛНО САГОРЕВАЊЕ -прорачунски модел-





Схематски приказ тока сагоревања у Ото моторима

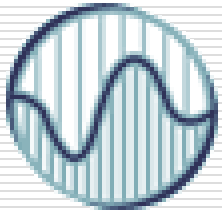




НОРМАЛНО САГОРЕВАЊЕ

I – фаза, индукционо, притајено сагоревање; извршена је припрема, испаравање и хомогенизација.

- Активни центри спремни за хемијске реакције. Пламен се понаша као покретни извор активних центара.
- У првој фази пожељна је што већа концентрација активних центара
- На почетку су услови сагоревања неповољни и највећи део топлоте одлази у околину (нпр. хладни зидови) ван реакције
- Тек када ослобођена енергија надмаши губитке јавља се стабилно извориште пламена чиме се завршава прва фаза



НОРМАЛНО САГОРЕВАЊЕ

Основни утицајни фактори на прву фазу:

- ☐ Врста и природа горива
- ☐ Температурски коефицијент горива (веза између температуре и степена убрзања оксидационих процеса)
- ☐ Састав смеше, температура, притисак, струјни услови у комори



НОРМАЛНО САГОРЕВАЊЕ

Основни утицајни фактори на прву фазу:

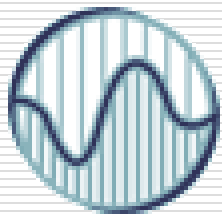
- ☐ Врста и природа горива
- ☐ Температурски коефицијент горива (веза између температуре и степена убрзања оксидационих процеса)
- ☐ **Састав смеше, температура, притисак, струјни услови у комори!**



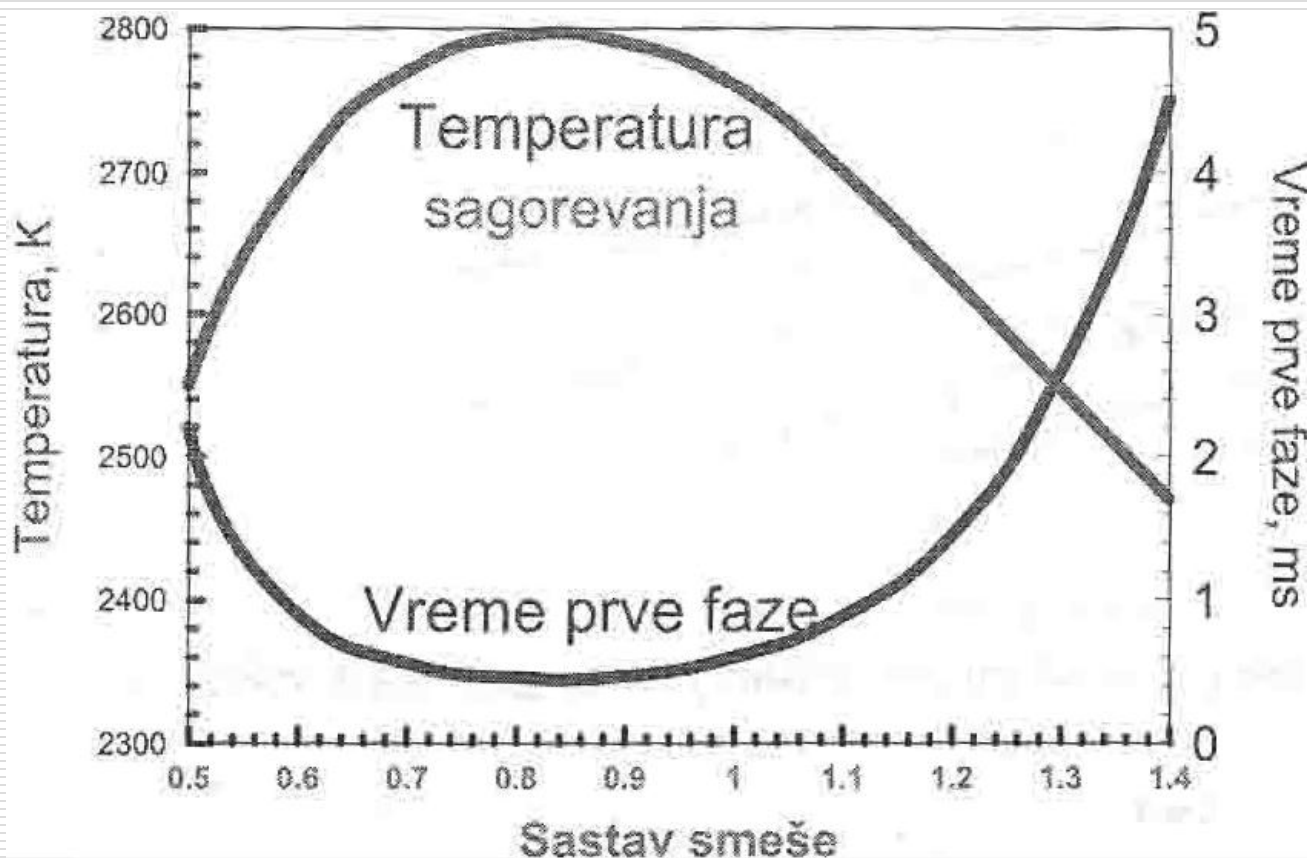
НОРМАЛНО САГОРЕВАЊЕ

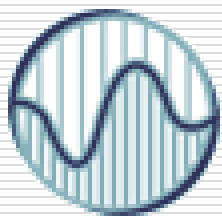
Минимално трајање прве фазе је директно функција:

- ☐ Састава смеше
- ☐ Степена компресије
- ☐ Угла предпаљења
- ☐ Присуства инертних гасова
- ☐ Термичких и струјних појава
- ☐ Енергије варнице

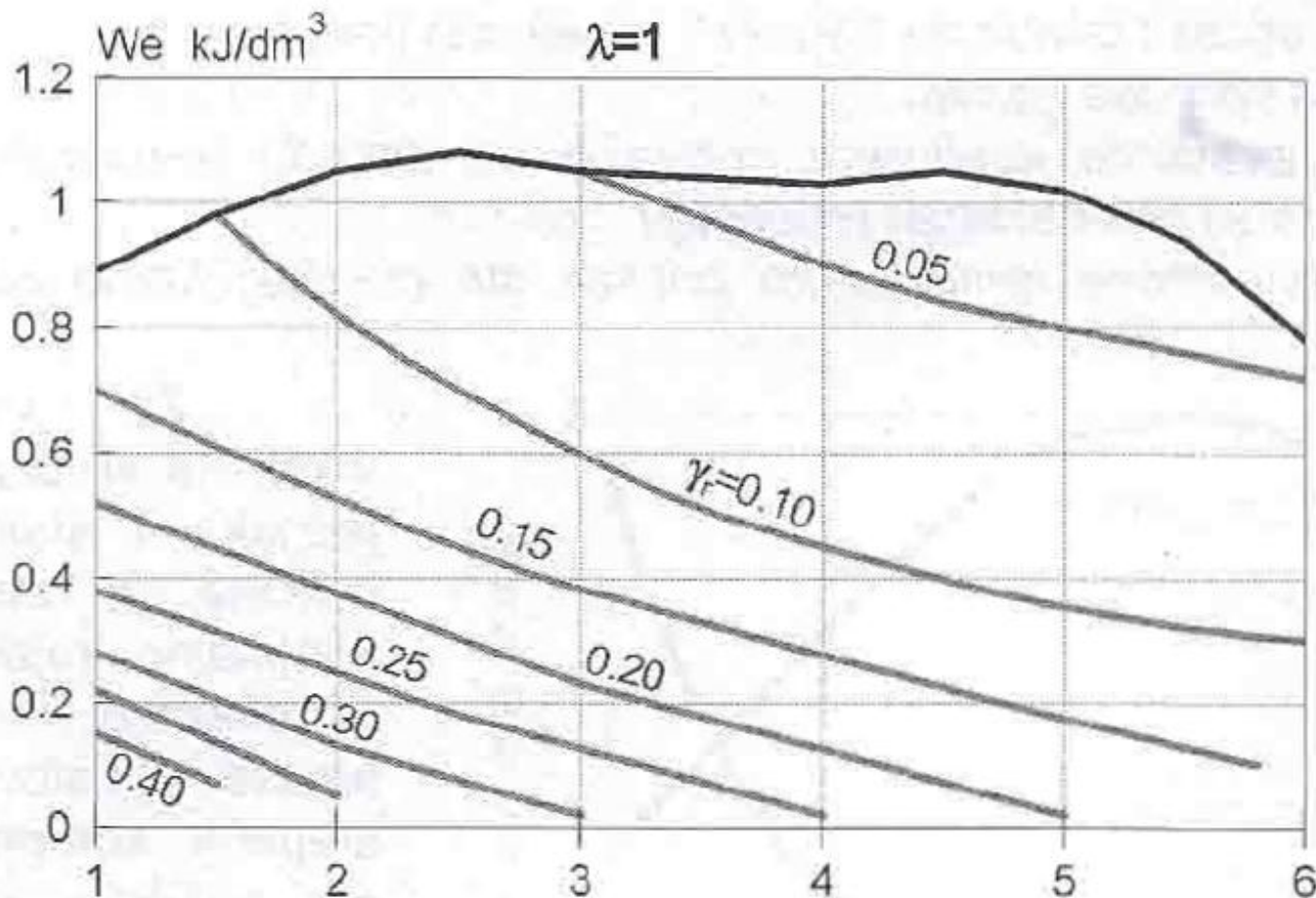


Зависност максималне температуре сагоревања и трајања прве фазе сагоревања од састава смеше

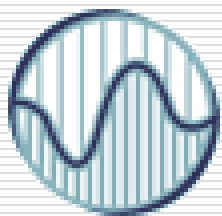




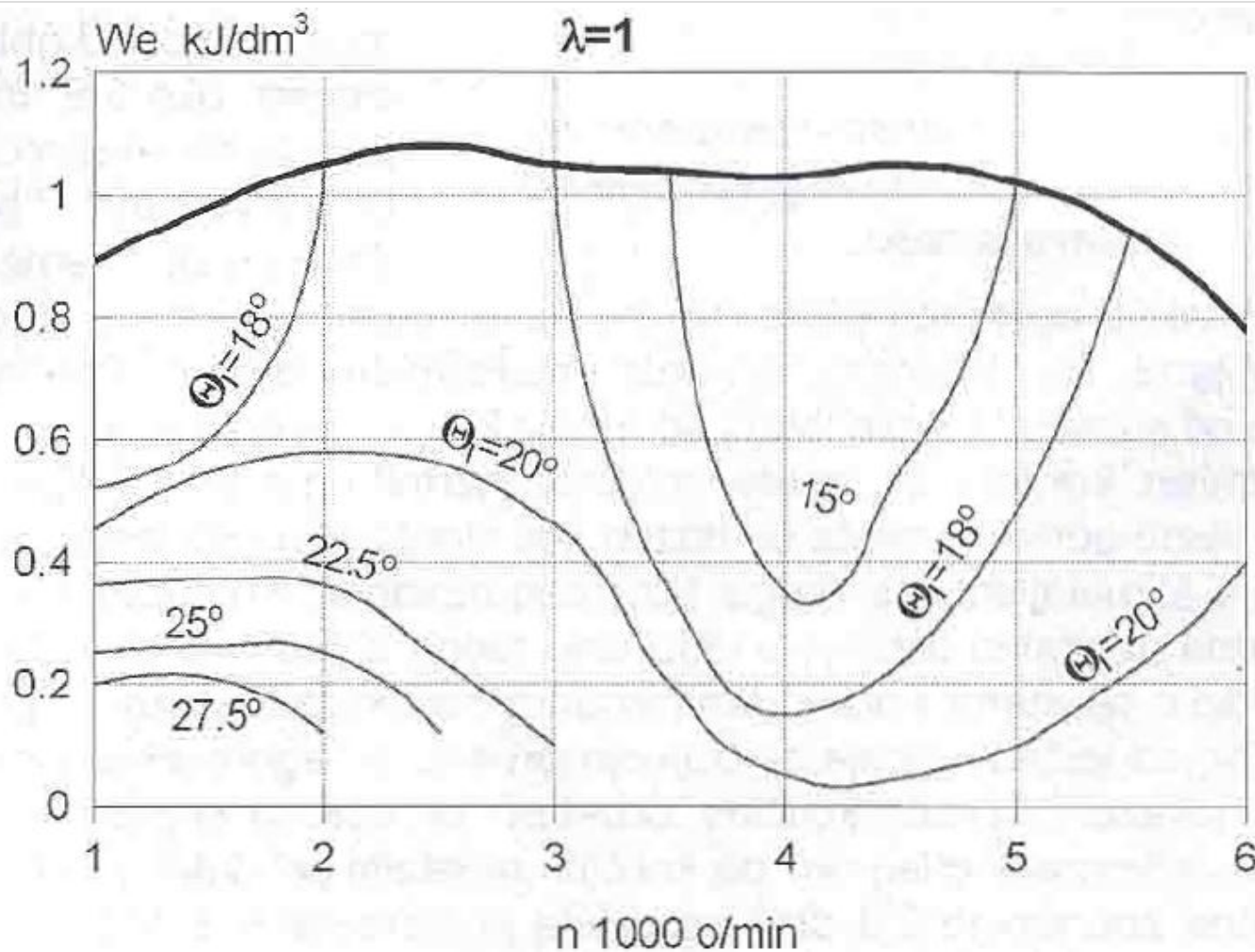
Универзални дијаграм по количини заосталих продуката сагоревања



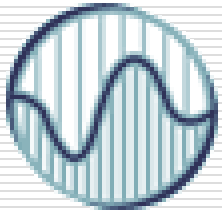
Заостали продукти
сагоревања су
карактеристични
за ниска
оптерећења
мотора.



Универзални дијаграм по трајању прве фазе



Присуство
заосталих
продуката
сагоревања
повлачи дуже
трајање прве
фазе!

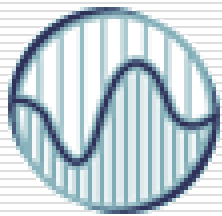


НОРМАЛНО САГОРЕВАЊЕ

II – фаза, интензивно сагоревање – период простирања пламена; Ланчане реакције се одовијају брже, жариште стабилно. Пораст притиска мора бити до $0,3 \text{ MPa/}^\circ\text{KV}$

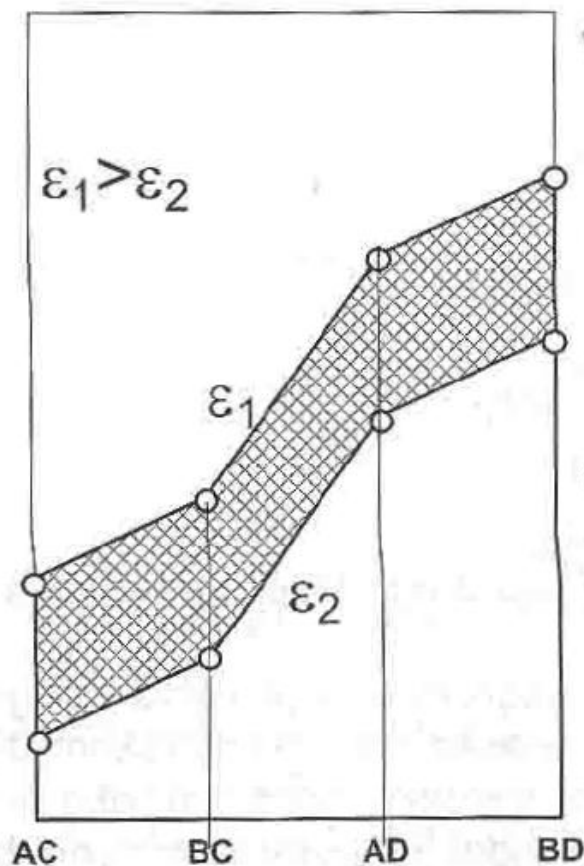
Брзина пламена може се вишеструко повећати разуђеним пламеном и организованим усмеравањем смеше према пламену – **турбулентно сагоревање.**

Неконтролисано струјање гаси пламен!

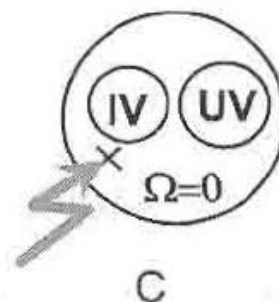
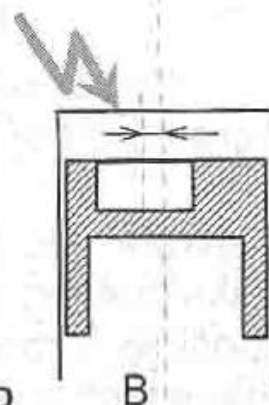
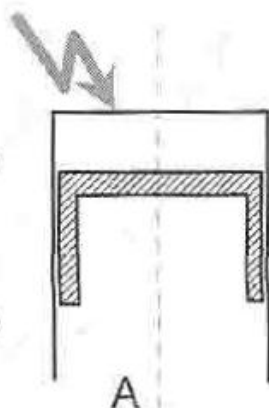


Утицај организованог струјања на брзину сагоревања

Brzina sagorevanja



Kombinacija komora i vrtloga



A - раван клип без јасног струјног поља

B - клип са ексцентричном комором и наглашеним радијалним струјањем

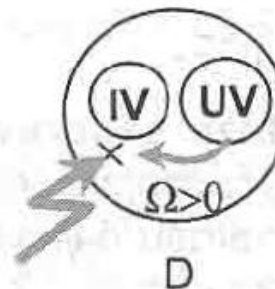
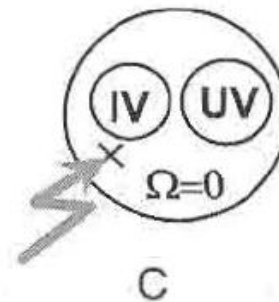
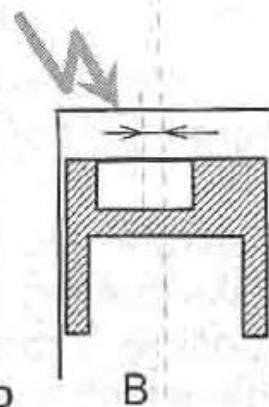
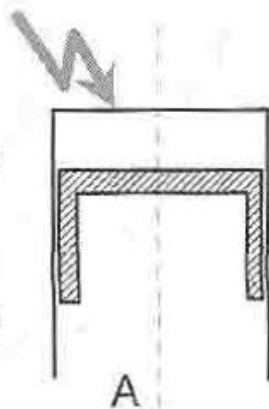
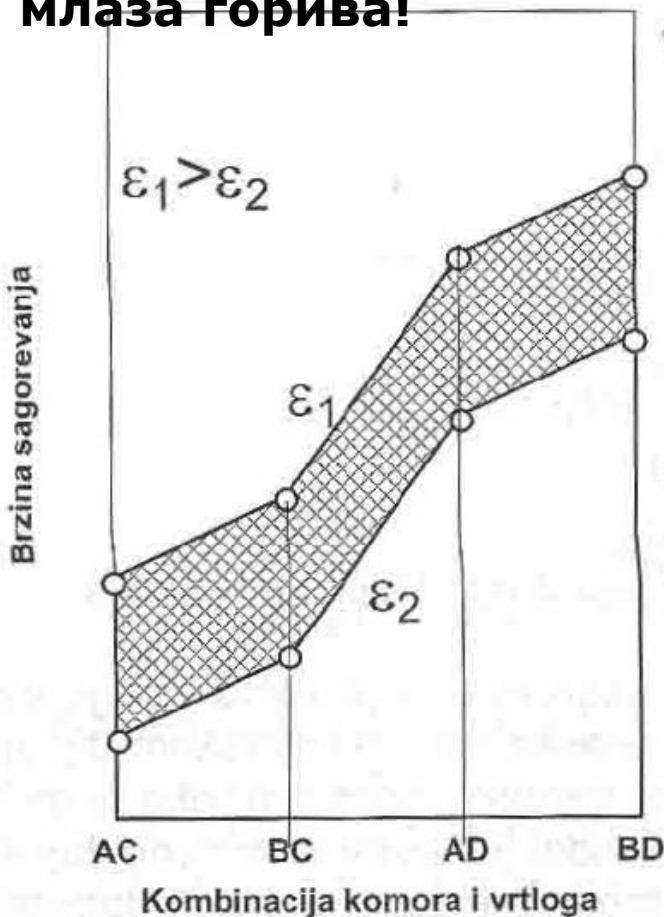
C - цилиндарска глава без утицаја на струјну слику

D - цилиндарска глава са усмереним вртлогом током усисавања



Утицај организованог струјања на брзину сагоревања

Код директног убризгавања веома велики утицај на брзину сагоревања има кинетичка енергија млаза горива!



A - раван клип без јасног струјног поља

B - клип са ексцентричном комором и наглашеним радијалним струјањем

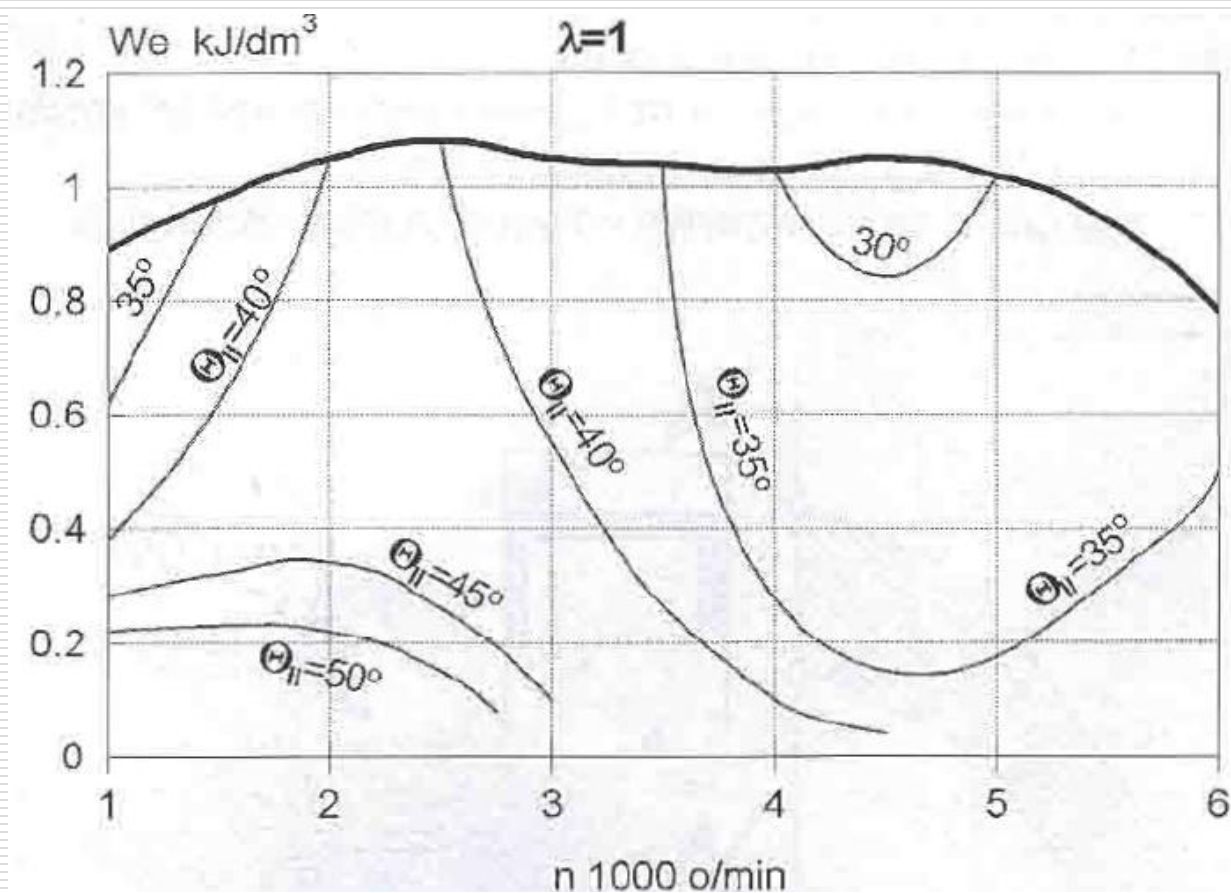
C - цилиндарска глава без утицаја на струјну слику

D - цилиндарска глава са усмереним вртлогом током усисавања



Универзани дијаграм по трајању друге фазе сагоревања

- На ниским оптерећењима велике количине заосталих продуката сагоревања продужавају II фазу
- На вишим бројевима обртаја трајање II фазе опада због утицаја турбуленције
- Преко 4000 о/мин турбуленција нема ефекта

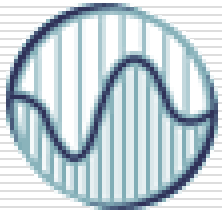




Универзани дијаграм по трајању друге фазе сагоревања

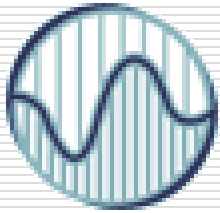
- На ниским оптерећењима велике количине заосталих продуката сагоревања предужавају II фазу
- На вишим бројевима обртаја трајање II фазе опада због утицаја турбуленције
- Преко 4000 о/мин турбуленција нема ефекта



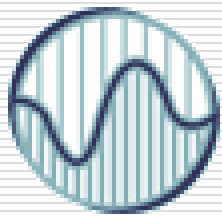


НОРМАЛНО САГОРЕВАЊЕ

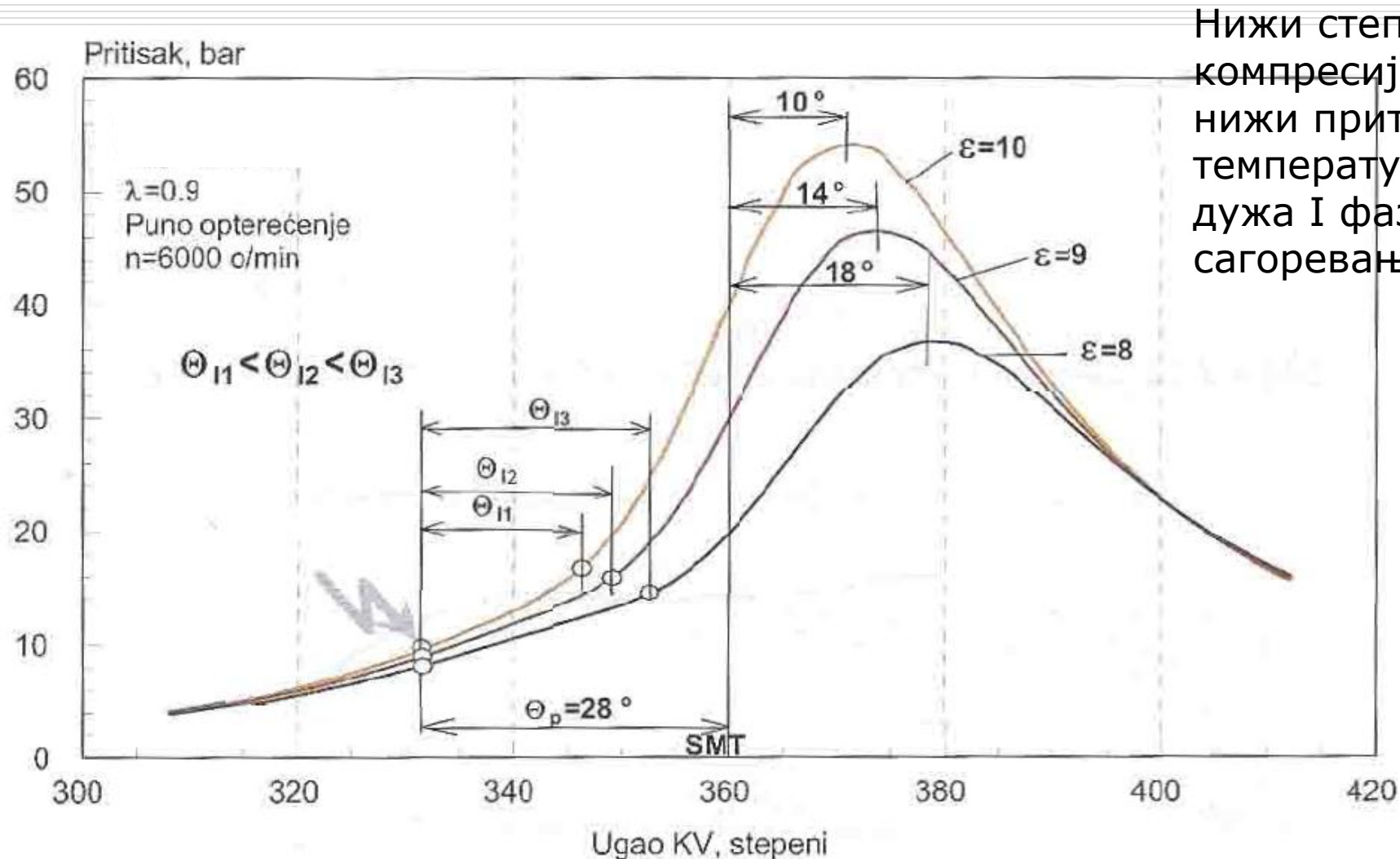
III – фаза, догоревање. Ширење почиње са тачком максималног притиска. Сагоревање завршава на почетку такта ширења са достизањем максималне температуре.



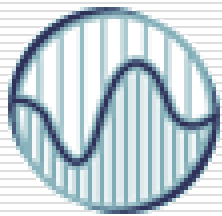
УТИЦАЈНИ ПАРАМЕТРИ НА САГОРЕВАЊЕ



Индикаторски дијаграм за три степена компресије

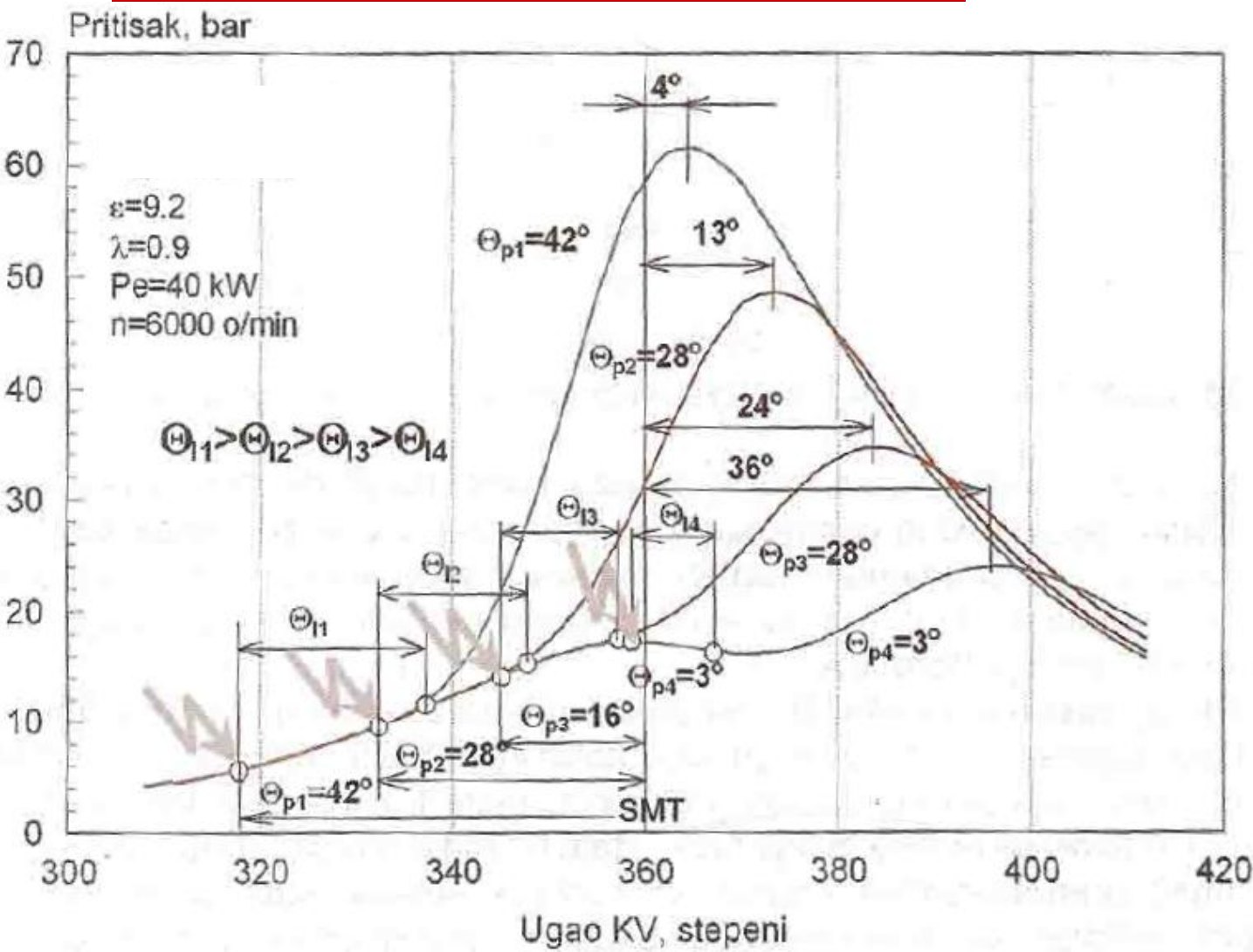


Нижи степен компресије, нижи притисци и температуре, дуж I фаза сагоревања



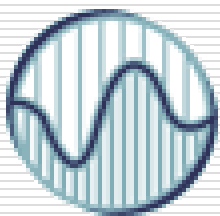
Индикаторски дијаграм за различите углове претпаљења

Сувише рано
претпаљење –
дужа прва фаза.

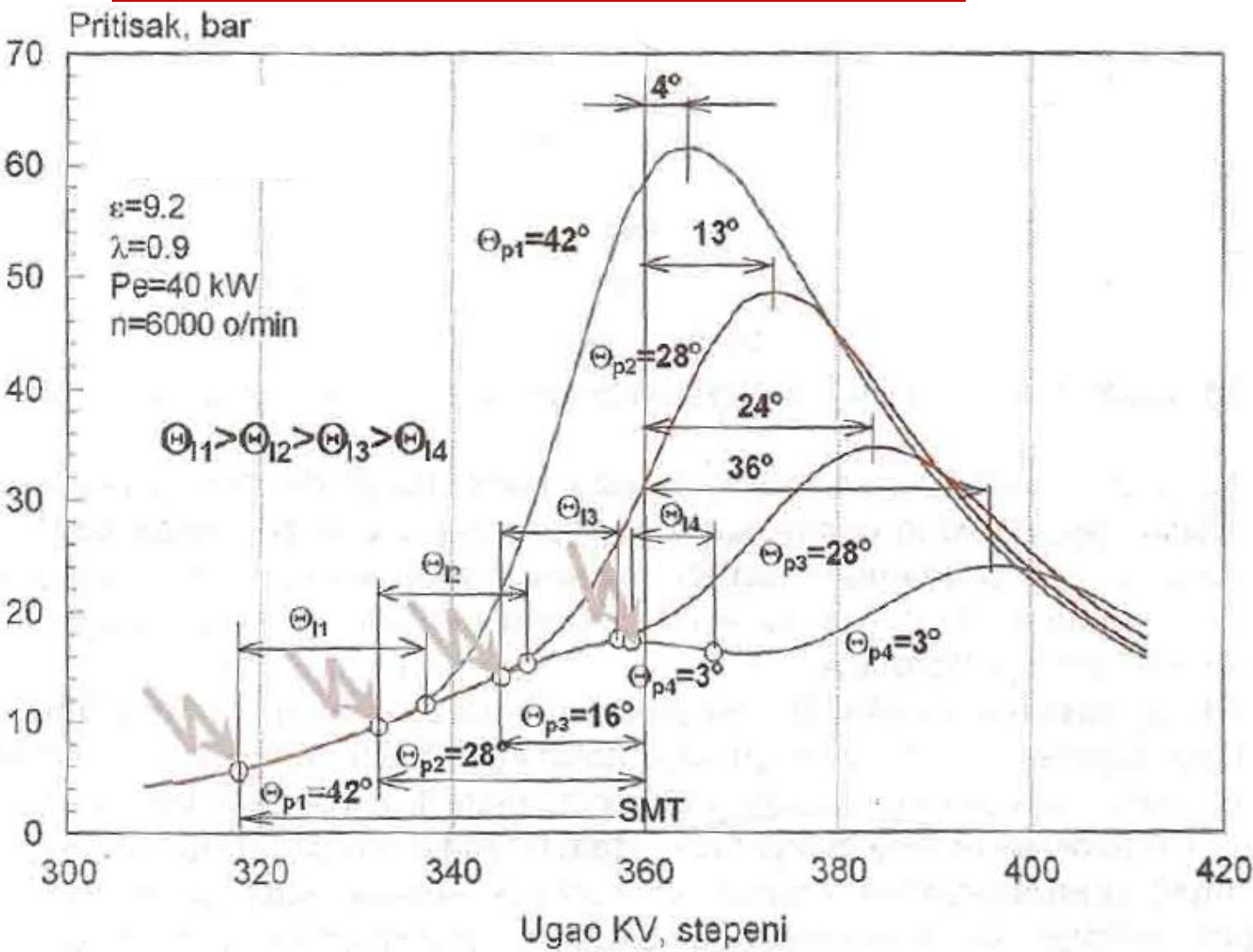


Макс. притисак
али и
температура у
близини СМТ –
Тврд рад, пад
снаге, повећана
потрошња
горива, опасност
од детонације.

Угао претпаљења
је индикатор
регуларности
сагоревања.
Већи угао-већа
бука (6-8kHz)-
детонација!

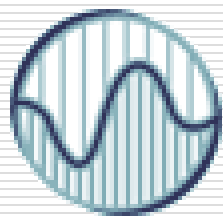


Индикаторски дијаграм за различите углове претпаљења

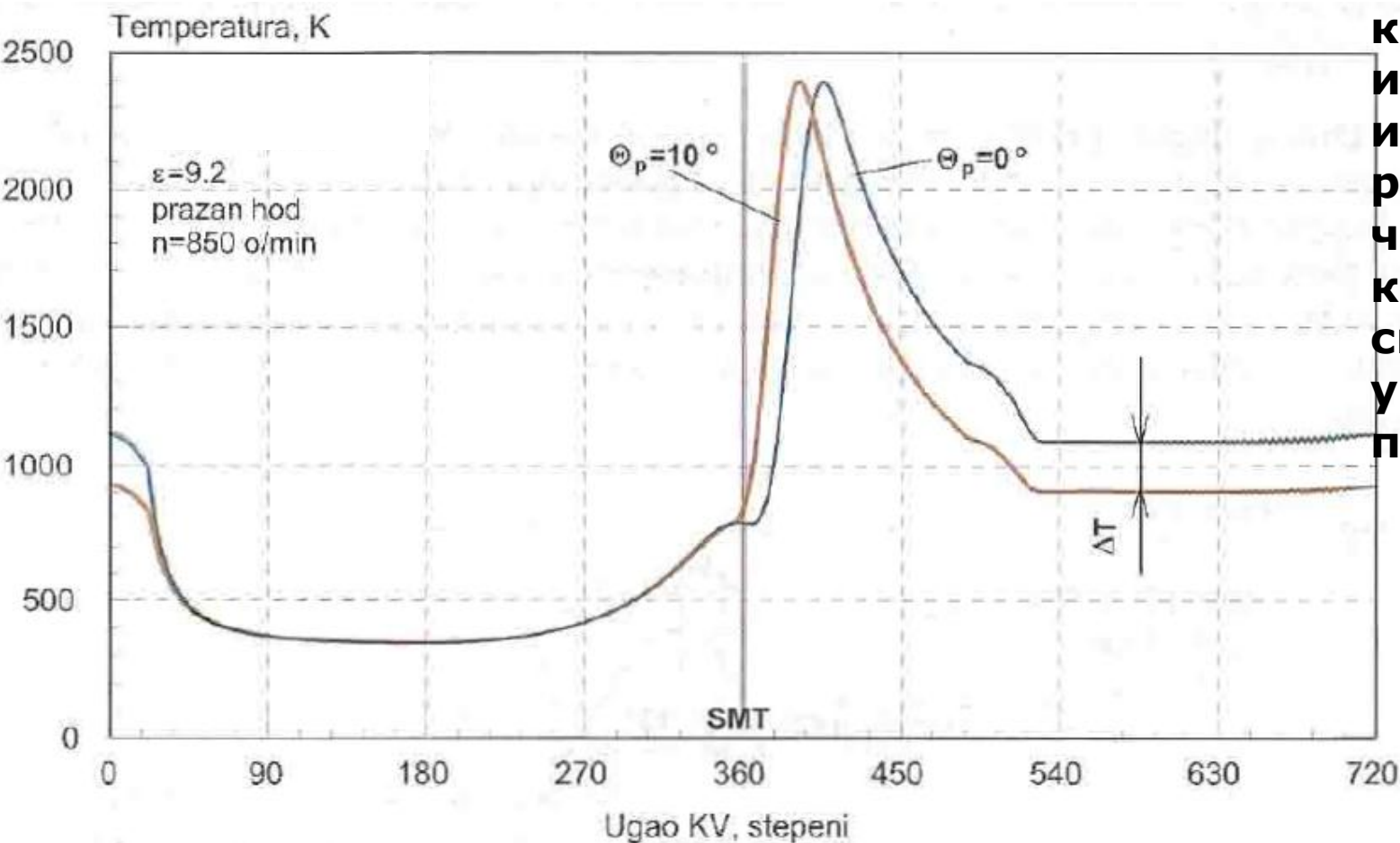


Сувише касно претпаљење – због високих притисака и температура-краћа прва фаза, развучена друга фаза која прелази на линију ширења - пад снаге, повећава се потрошња.

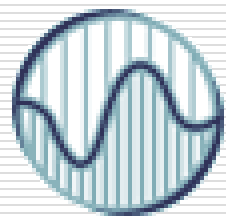
Горива нижег ОБ траже мање углове претпаљења.



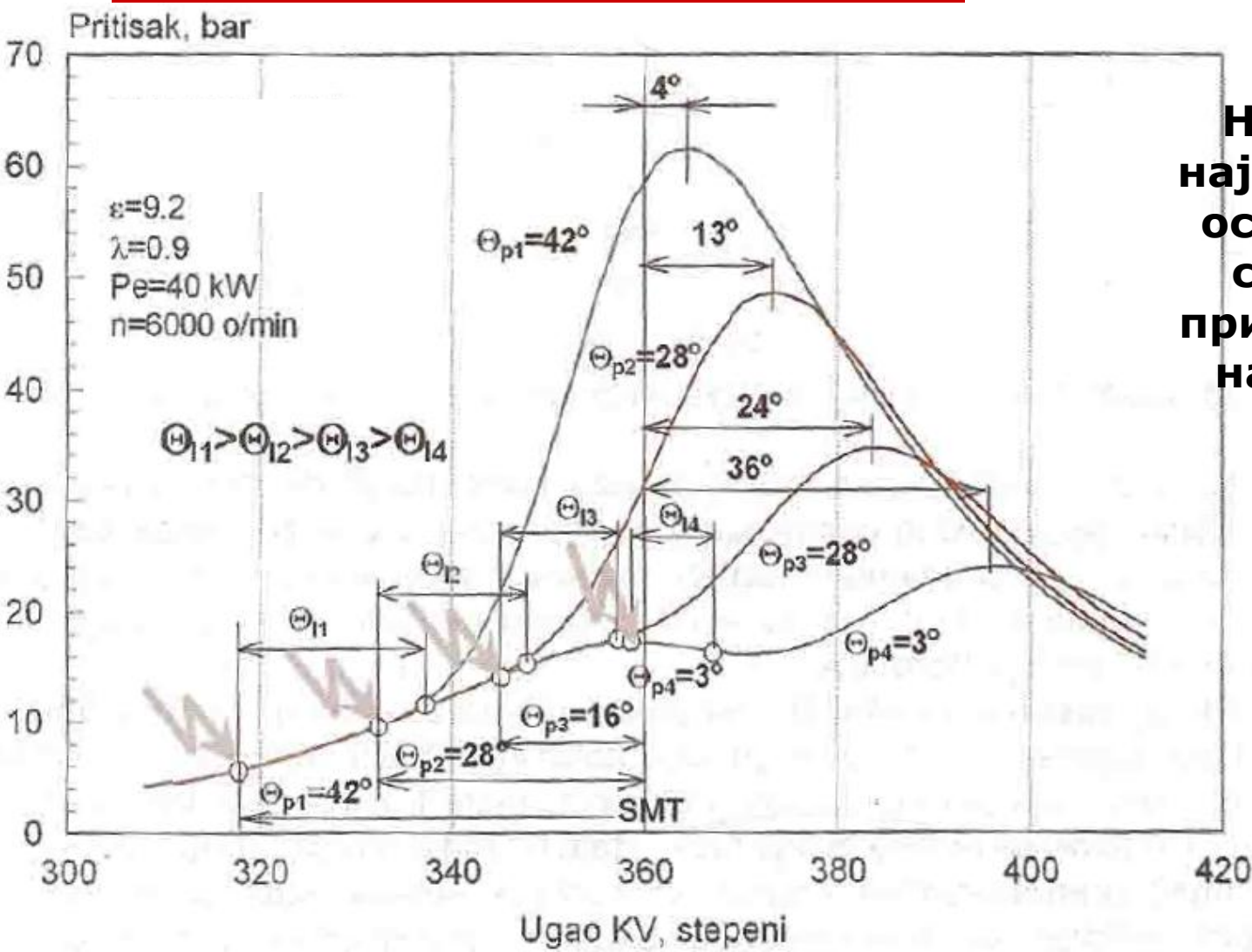
Индикаторски дијаграм мотора на празном ходу за два угла претпаљења



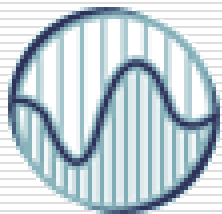
Ради бржег
загревања
катализатора
и његовог
излажења на
радни режим
често се
користи
смањење
угла
претпаљења!



Индикаторски дијаграм за различите углове претпаљења



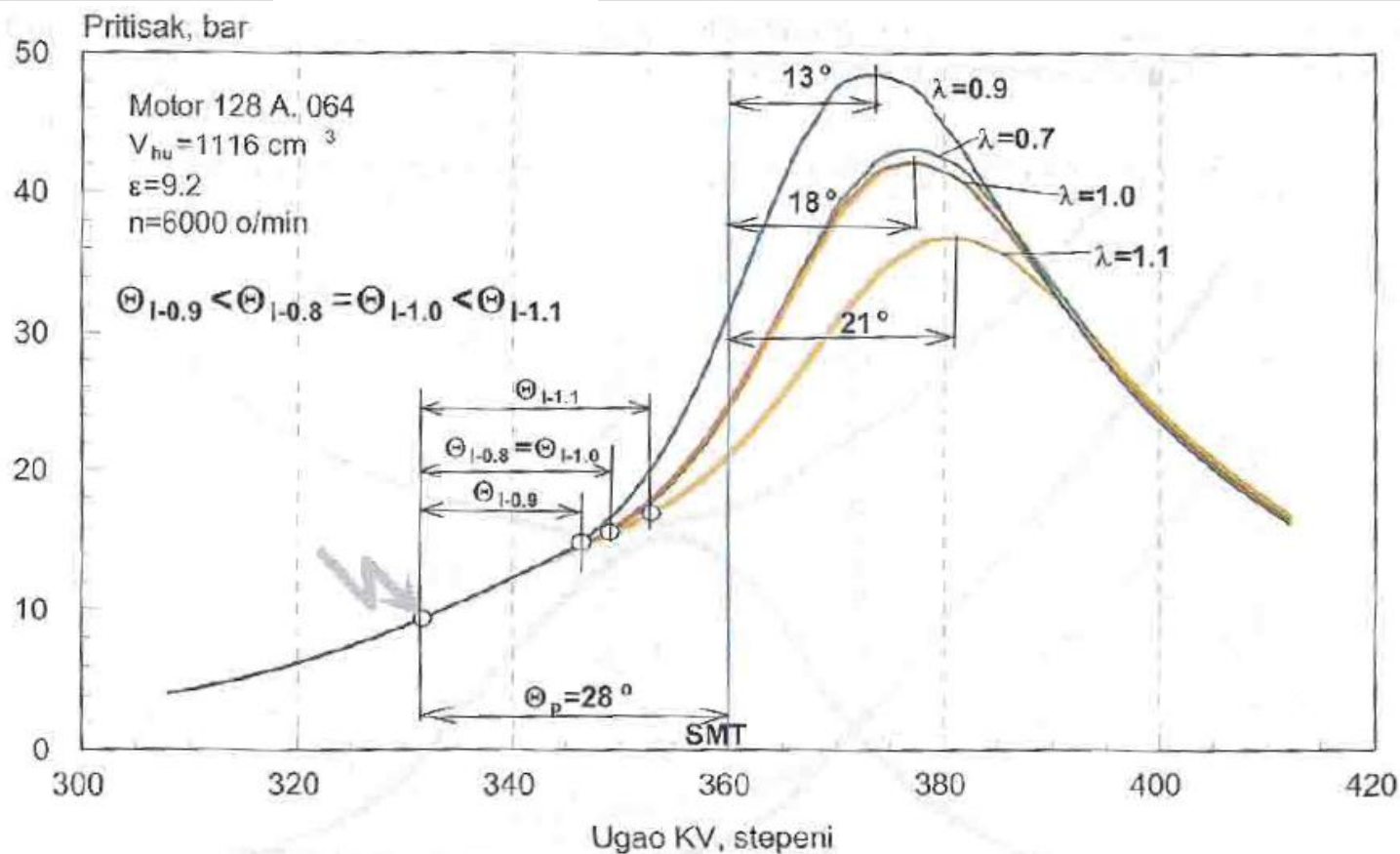
Највећа снага и
најмања потрошња
остварује се када
се максимални
притиска остварује
на 12-15 ° после
СМТ!

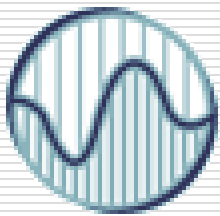


Индикаторски дијаграм за различите саставе смеше

Највећа брзина сагоревања са благо богатом смешом.

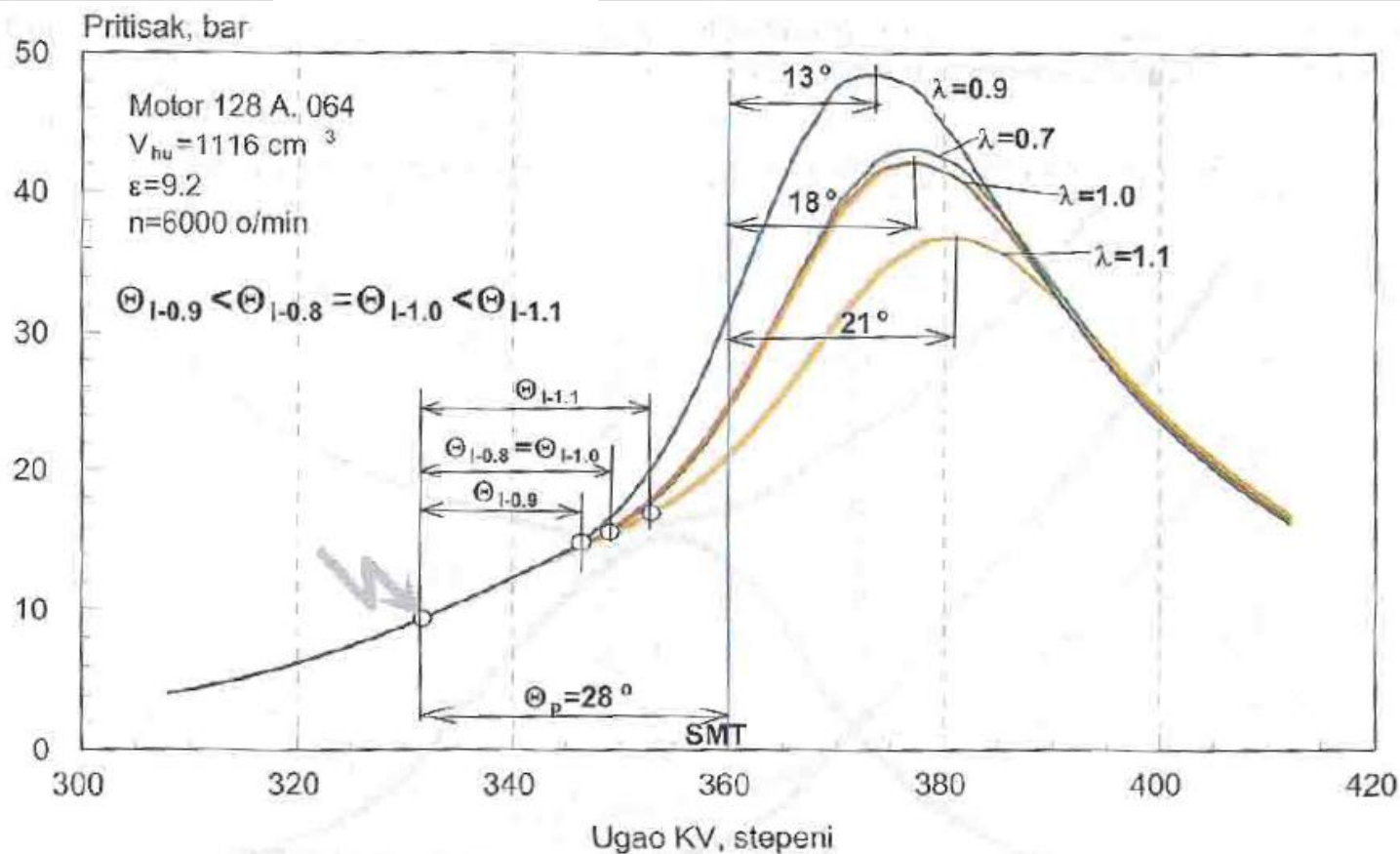
Са осиромашењем али и са обогаћењем расте дужина трајања свих фаза.

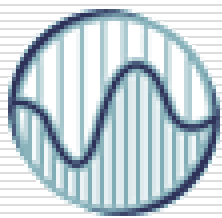




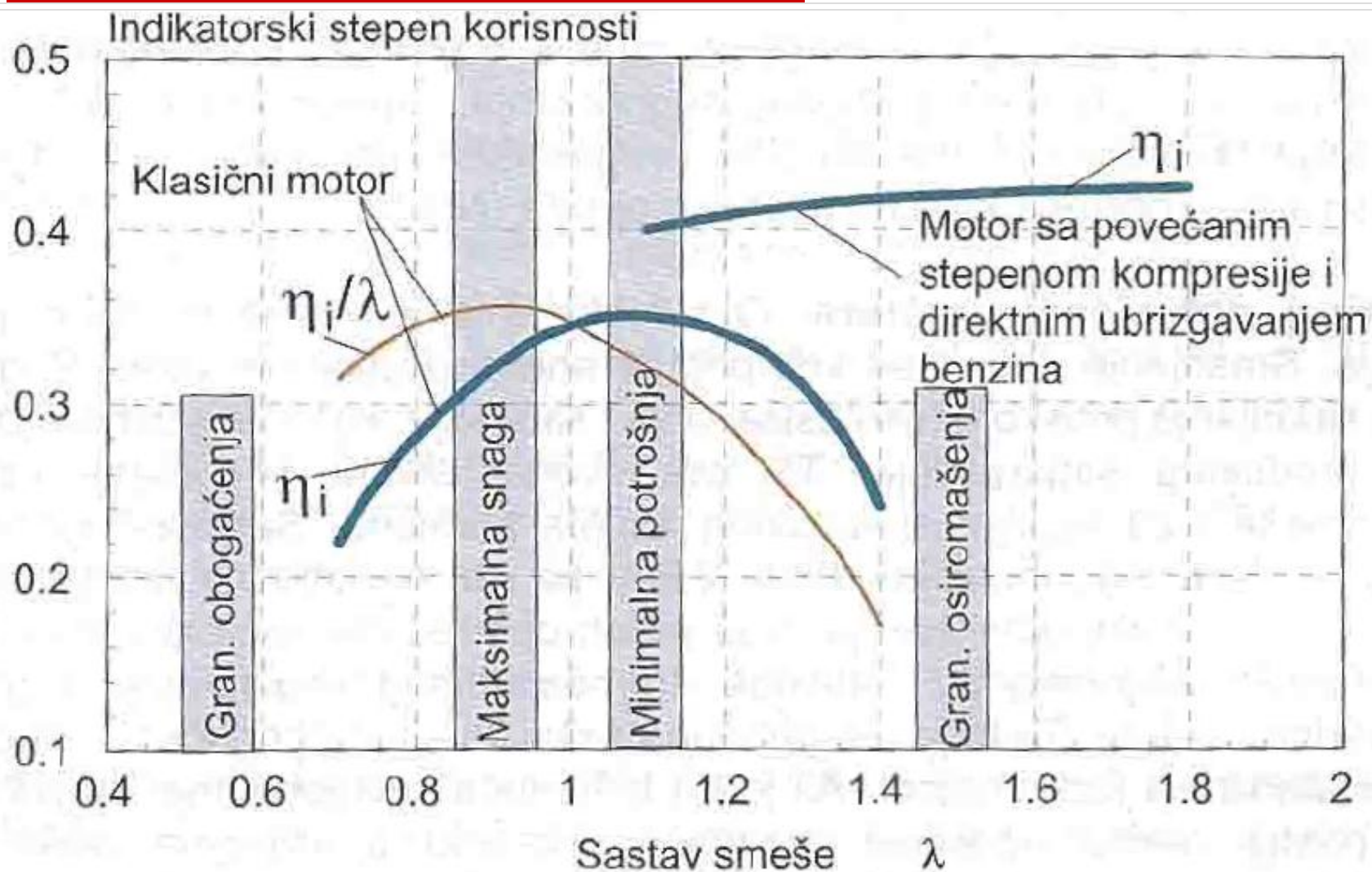
Индикаторски дијаграм за различите саставе смеше

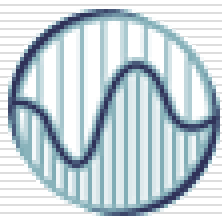
Зато је са променом састава смеше потребно мењати угао претпаљења како би мотор радио на изабраном режиму – макс. снага, мин. потрошња, мин. емисија, мин. бука.



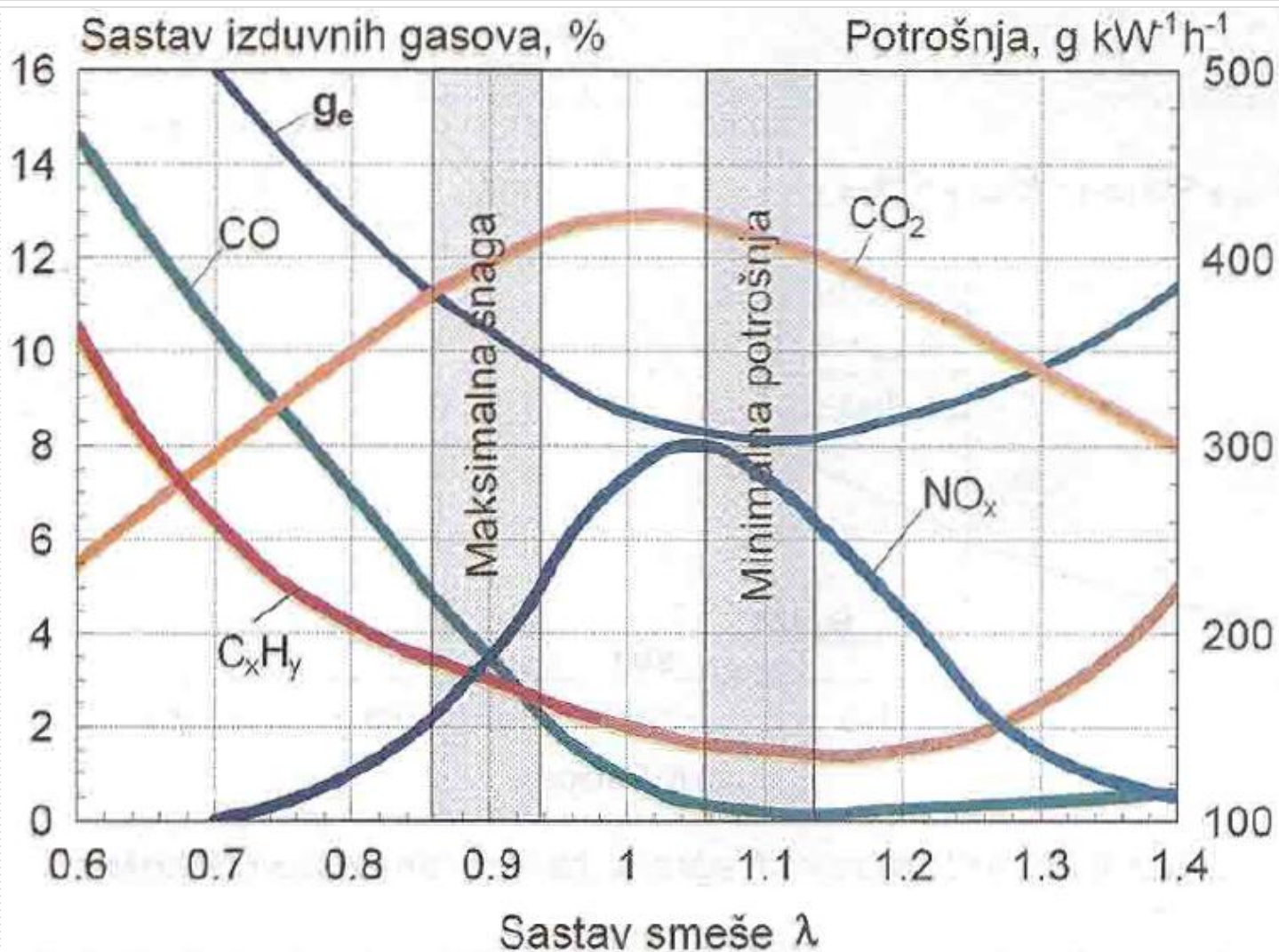


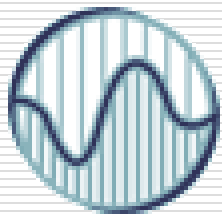
Утицај састава смеше на индикаторске показатеље



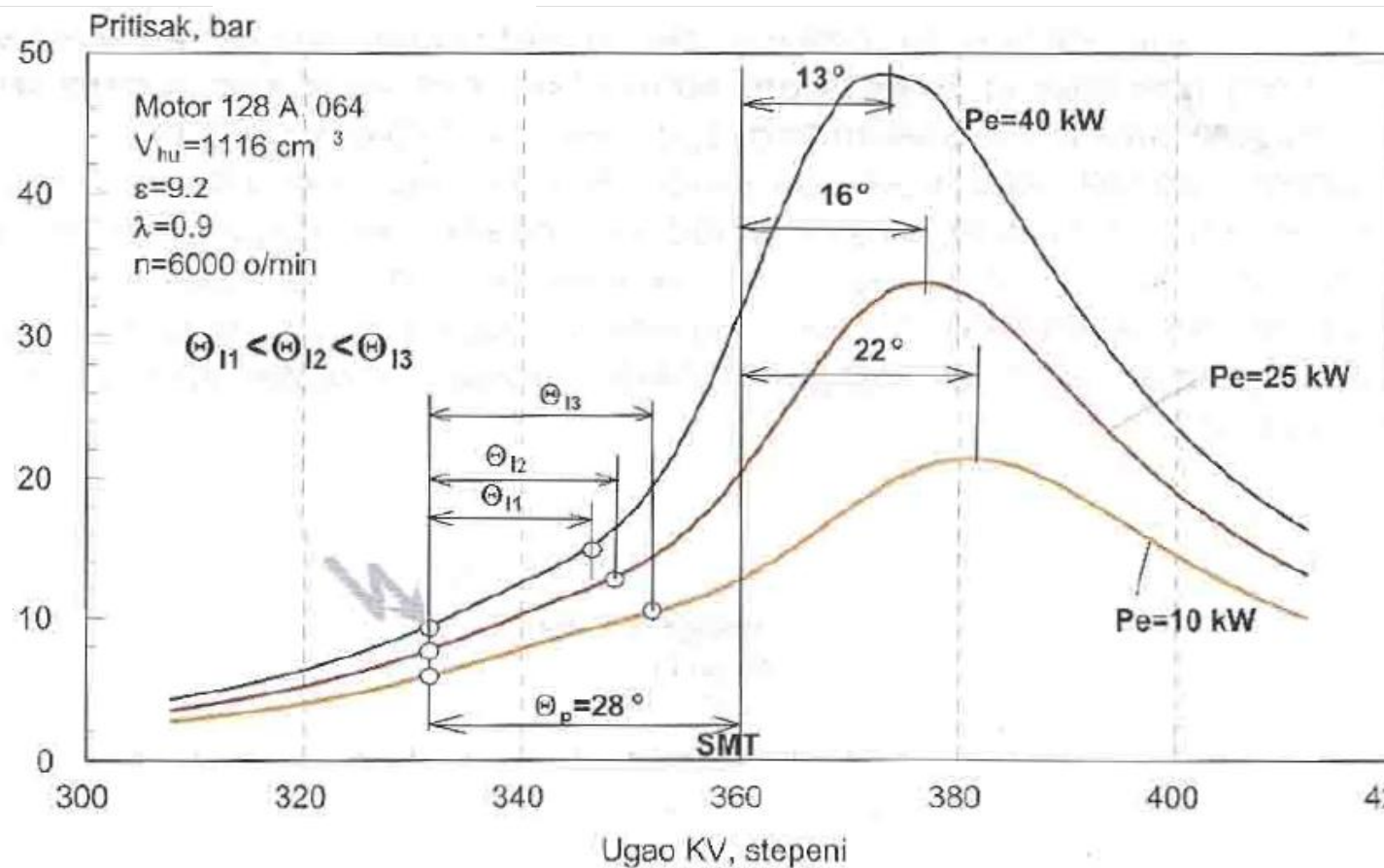


Утицај састава смеше на ТОКСИЧНОСТ ИЗДУВНИХ гасова

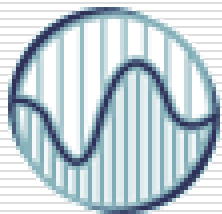




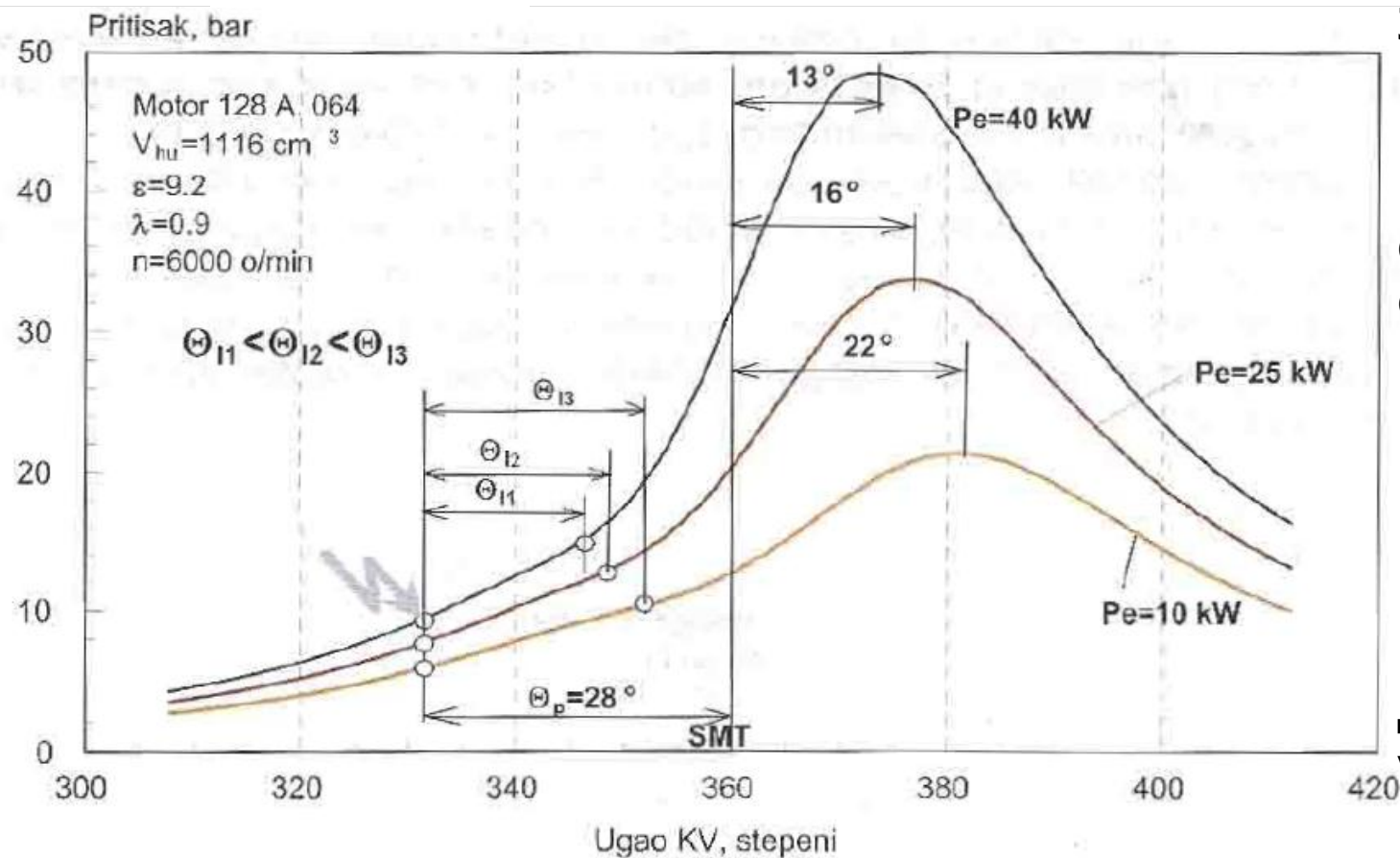
Индикаторски дијаграм за три снаге мотора



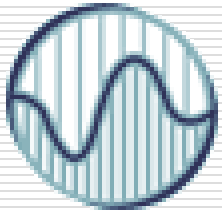
Смањење снаге се врши пригушењем у усису што доводи до смањења притиска током сабијања и повећања заосталих продуката сагоревања – ово погоршава услове за стварање стабилног жаришта и продужава I фазу



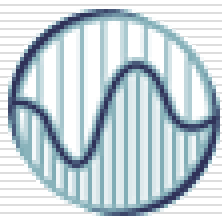
Индикаторски дијаграм за три снаге мотора



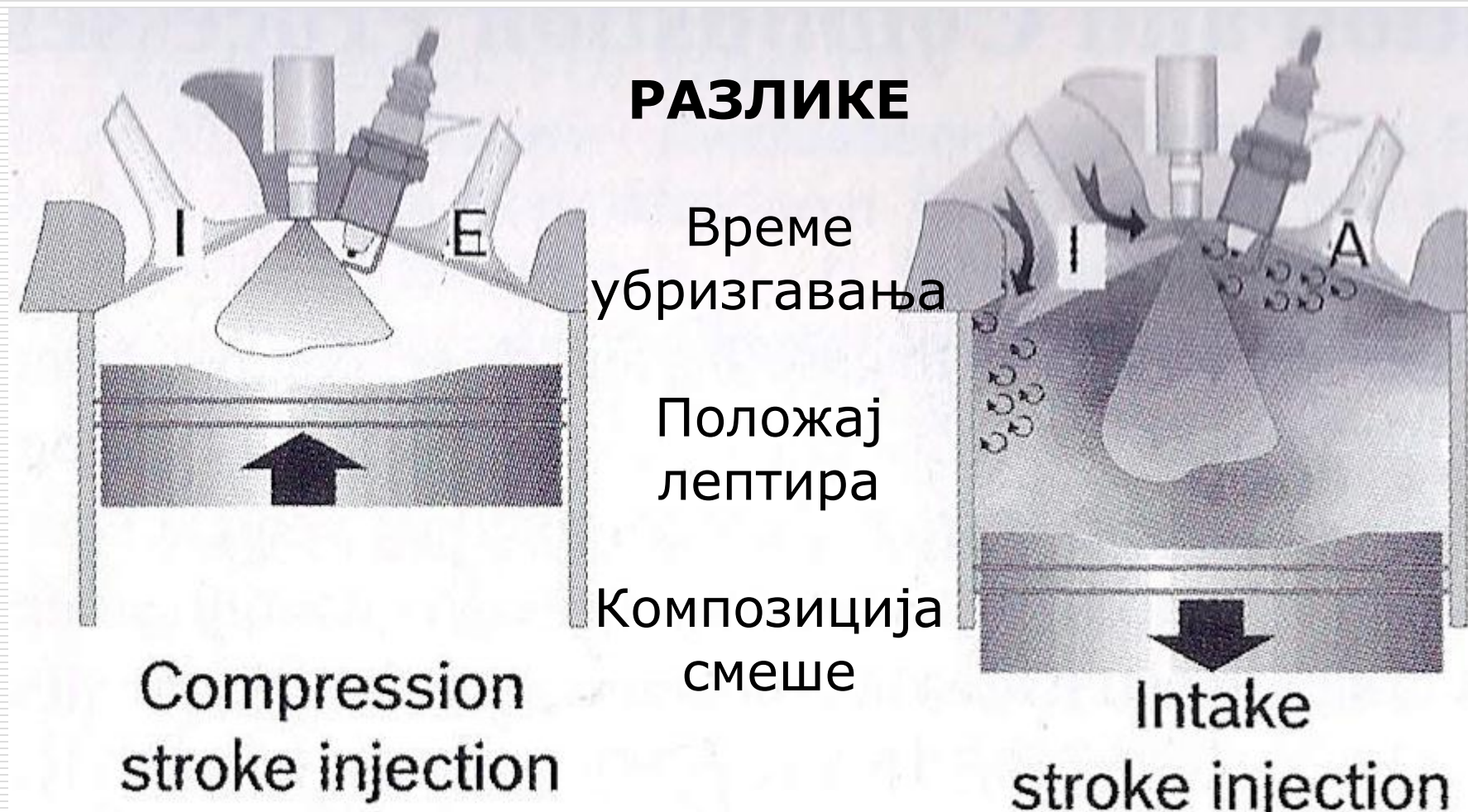
Ово захтева промену угла претпаљења. Због инертних гасова мотор нестабилно ради па је потребно обогаћење смеше – повећана потрошња! Решење континуална промена степена компресије и/или **Директно убризгавање!**

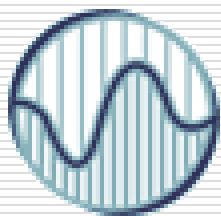


Карактеристике процеса сагоревања код мотора са директним убризгавањем


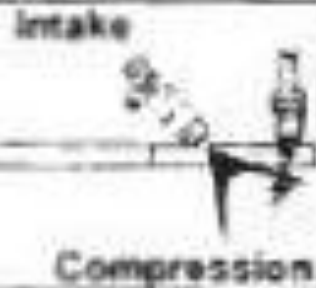
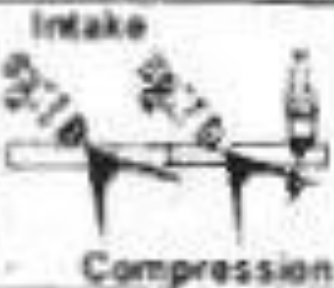

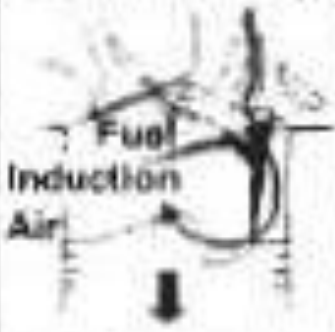





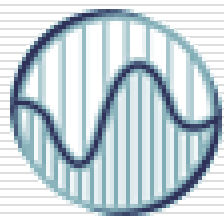
Поређење процеса сагоревања са хомогеним и слојевитим образовањем смеше



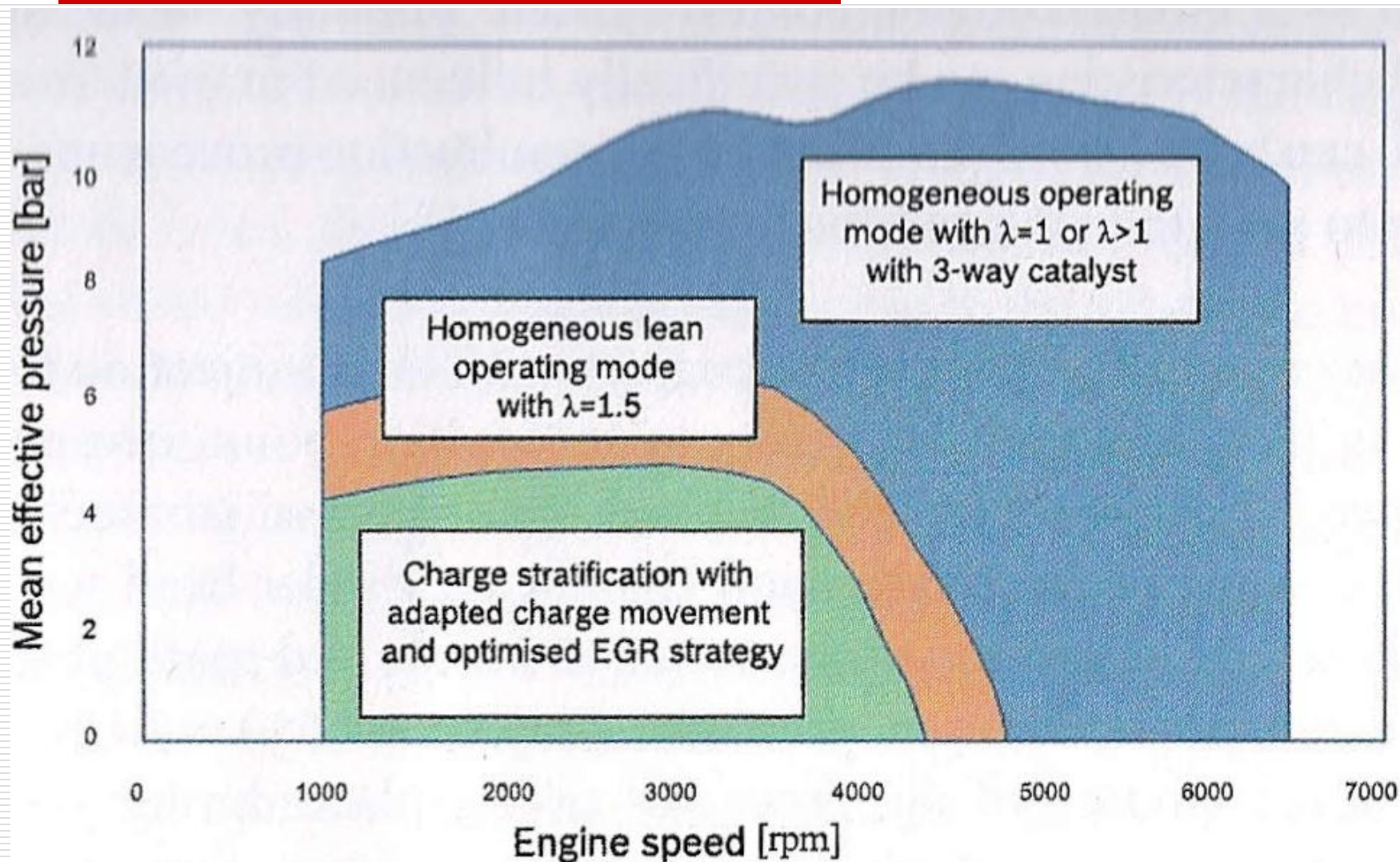


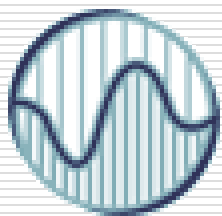
Флексибилност образовања смеше и процеса сагоревања код GDI мотора

Mode	Homogeneous	Stratified Lean Burn	Two-stage Mixing	Two-stage Combustion
Injection Schedule	 <p>Intake</p> <p>Compression</p>	 <p>Intake</p> <p>Compression</p>	 <p>Intake</p> <p>Compression</p>	 <p>Compression</p> <p>Expansion</p>
Mixing	 <p>Fuel</p> <p>Air</p> <p>Induction</p>	 <p>Air</p> <p>Rich Mixture</p>	 <p>Lean Mixture</p> <p>Rich Mixture</p>	 <p>Burned Gas</p> <p>Fuel</p>
A/F	12 - 14.7	> 24	12 - 16	14.7 - 20
Target	High Power	Fuel Economy	Knock Suppression	Catalyst Warm-up



Типична мапа стратегије убризгавања код GDI мотора





Модови рада и стратегије убризгавања горива

GDI мод	оптерећење мотора	моменат убризгавања	опис
1	празан ход и веома мала оптерећења	касно	слојевита сиромашна смеша
2	мала до средњих оптерећења	касно	слојевита сиромашна смеша
3	средње оптерећење	рано	хомогена стехиометријска
4	пуно оптерећење	рано	хомогена стехиометријска
	прелазни режими		



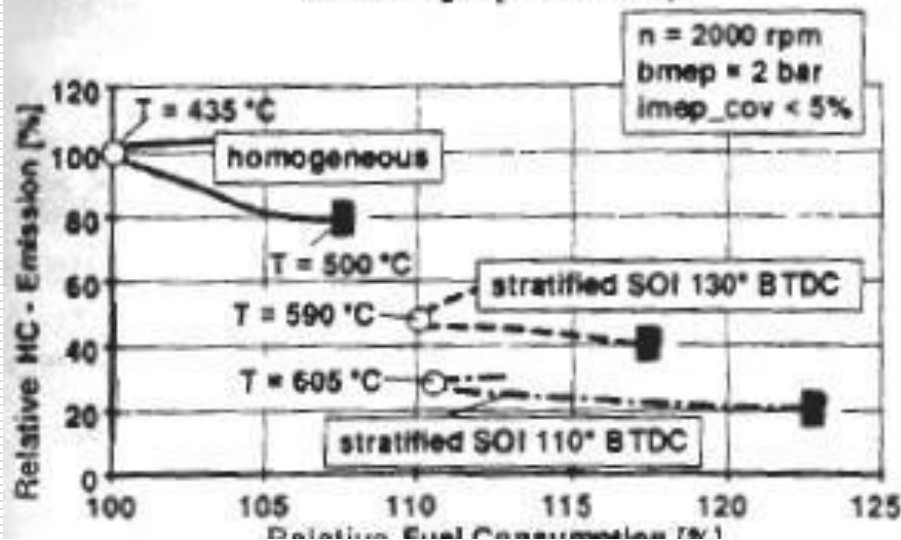
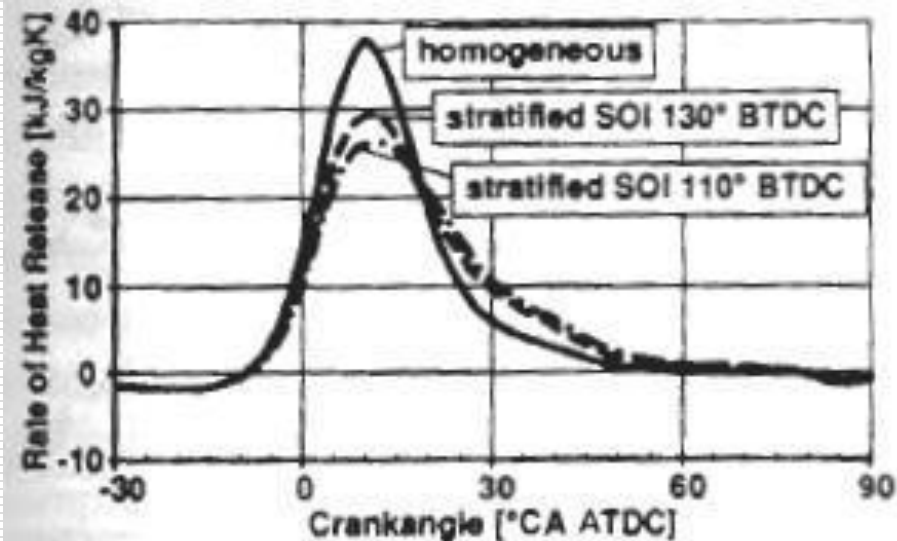
Режим рада са стехиометријском смешом

- Генерално, стехиометријска смеша се формира убризгавањем током такта усисавања
- Вишеструка убризгавања у комбинацији са касним убризгавањем омогућавају брже загревање катализатора
- Веома касно убризгавање омогућава стварање стехиометријске слојевите смеше којом се смањује емисија издувних гасова. У овом режиму прва фаза сагоревања се незнатно помера, док је друга фаза значајно развучена!
- Касно убризгавање у комбинацији са конструкцијом коморе, степена EGR-а, кретања смеше и исправљања горива значајно смањује степен сагоревања него у случају хомогене смеше. Погодност – HC и NOx је нижи а температура издувних гасова повећана!



Режим рада са стехиометријском смешом

Карактеристике умерене
слојевитости смеше у
режиму рада са
стехиометријском смешом



- Ниска емисија издувних гасова
- Повећана потрошња док се не загреје катализатор
- Повећана емисија чађи!



Режим рада са стехиометријском смешом

Процес сагоревања са хомогеном смешом има готово идентичне карактеристике као код PFI мотора уз одређене специфичности:

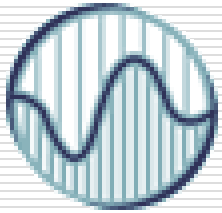
- ❑ Касније убризгавање доводи до веће емисије CO зато што је смеша мање хомогена а сагоревање мање стабилно.
- ❑ HC емисија је на минимуму када је убризгавање у **УМТ** током такта усисавања услед смањења количине горива које пада на чело клипа
- ❑ Касније убризгавање током такта усисавања повећава количину топлоте током сагоревања услед присуства богате смеше у зони свећице.



Режим рада са стехиометријском смешом

Процес сагоревања са хомогеном смешом има готово идентичне карактеристике као код PFI мотора уз одређене специфичности:

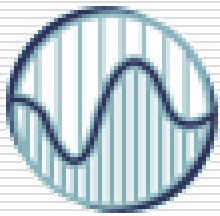
- ☐ На високим оптерећењима дуже време убризгавања у комбинацији са богатијом смешом, почетак убризгавања губи на значају
- ☐ Убризгавање на 30° после СМТ током хладног старта ослобађа топлоту касније током сагоревања услед лошијег испаравања горива са чела клипа што има за резултат повећање емисије НС и повећање потрошње горива



Режим рада са стехиометријском смешом

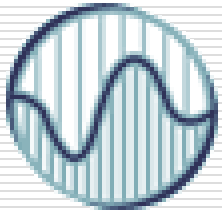
Процес сагоревања са хомогеном смешом има готово идентичне карактеристике као код PFI мотора уз одређене специфичности:

- ☐ Веома рано убризгавање такође продужава другу фазу сагоревања
- ☐ Касно убризгавање на 110° после СМТ омогућава стварање тањег филма горива на клипу, боље испаравање и квалитетније образовање смеше током хладног старта



Предности рада GDI мотора са хомогеном смешом у односу на најбоље PFI моторе

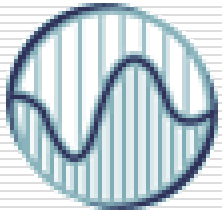
старт мотора	бржи старт хладног мотора
	мање обогоћање смеше при раду на хладно
	боље загревање катализатора
	смањења емисија HC
прелазни процеси	бољи одзив
	мање обогоћење током убрзања
	прецизнија регулација смеше
	могућност прекида довода горива код успорења
сагоревање	хлађење смеше
	смањење губитака током компоресије
	побољшана стабилност сагоревања
	већа EGR толеранција
	много боља отпорност на детонацију
	смањена остевљивост на испарљивост горива током хладног старта
потрошња	5% смањења потрошња
	5% већи запремински степен корисности
перформансе	7-10% већа снага и обртни момент
	смањење радне запремине мотора за исту снагу
сложеност и флексибилност система	мање сложен систем у односу на моторе с слјевитим пуњењем
	лако прилагодљив у циљу оптимизације
емисија издувних гасова	нема потребе за накнадним третманом NOx
	могућа примена тростепеног катализатора
	смањена емисија у поређењу са моторима са слојевитом смешом
	смањена емисија током прелазних процеса



Сагоревање током прелазних процеса

GDI мотори раде у веома различитим режимима рада који подразумевају изразита рано или веома касно убризгавање. Примена одређеног мода или режима рада зависи од захтева возача и о оптерећења мотора које ECU мора да препозна. Прелазак из једног у други мод рада мора се обавити без:

- ☐ Варијације обртног момента мотора,
- ☐ Изостанка паљења,
- ☐ Ненормалног сагоревања!



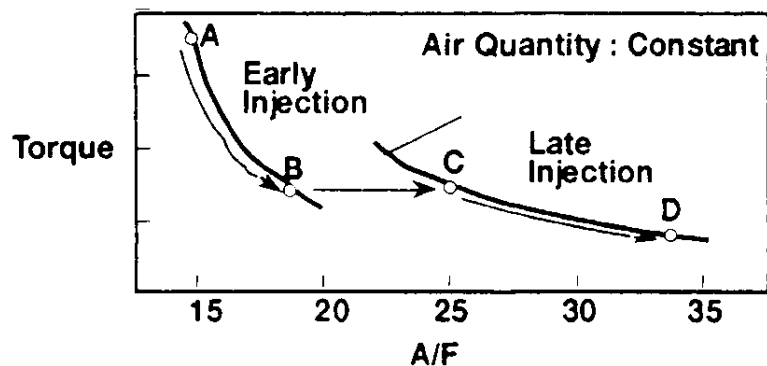
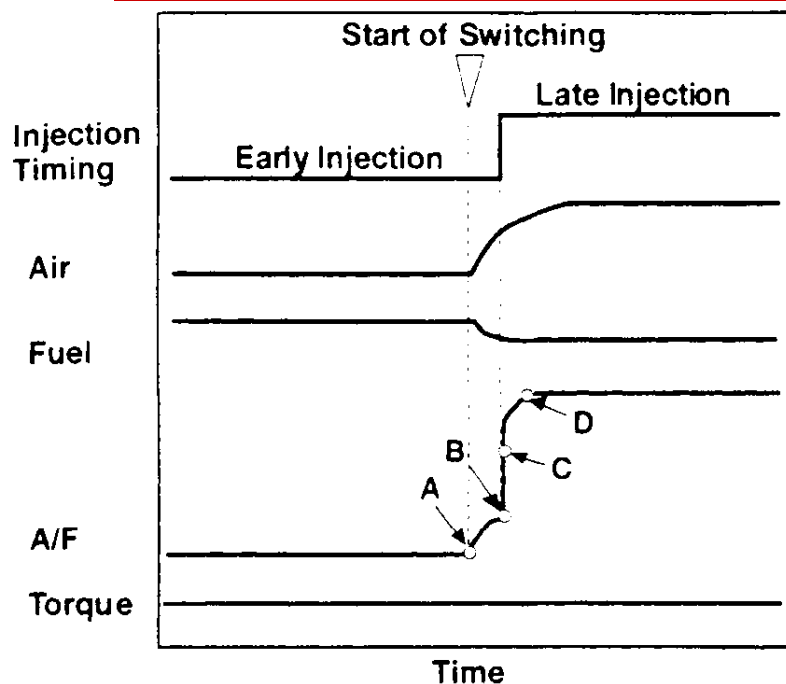
Сагоревање током прелазних процеса

Електронско управљање главним лептиром омогућава „глатко“ прелажење из једног у други режим рада!

- Прелазак из једног у други режим рада може се додатно обезбедити и вишестурким убризгавањем, нпр. и током усисавања и током такта компресије!

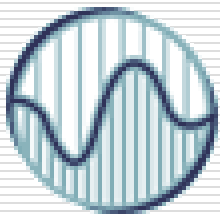


Сагоревање током прелазних процеса

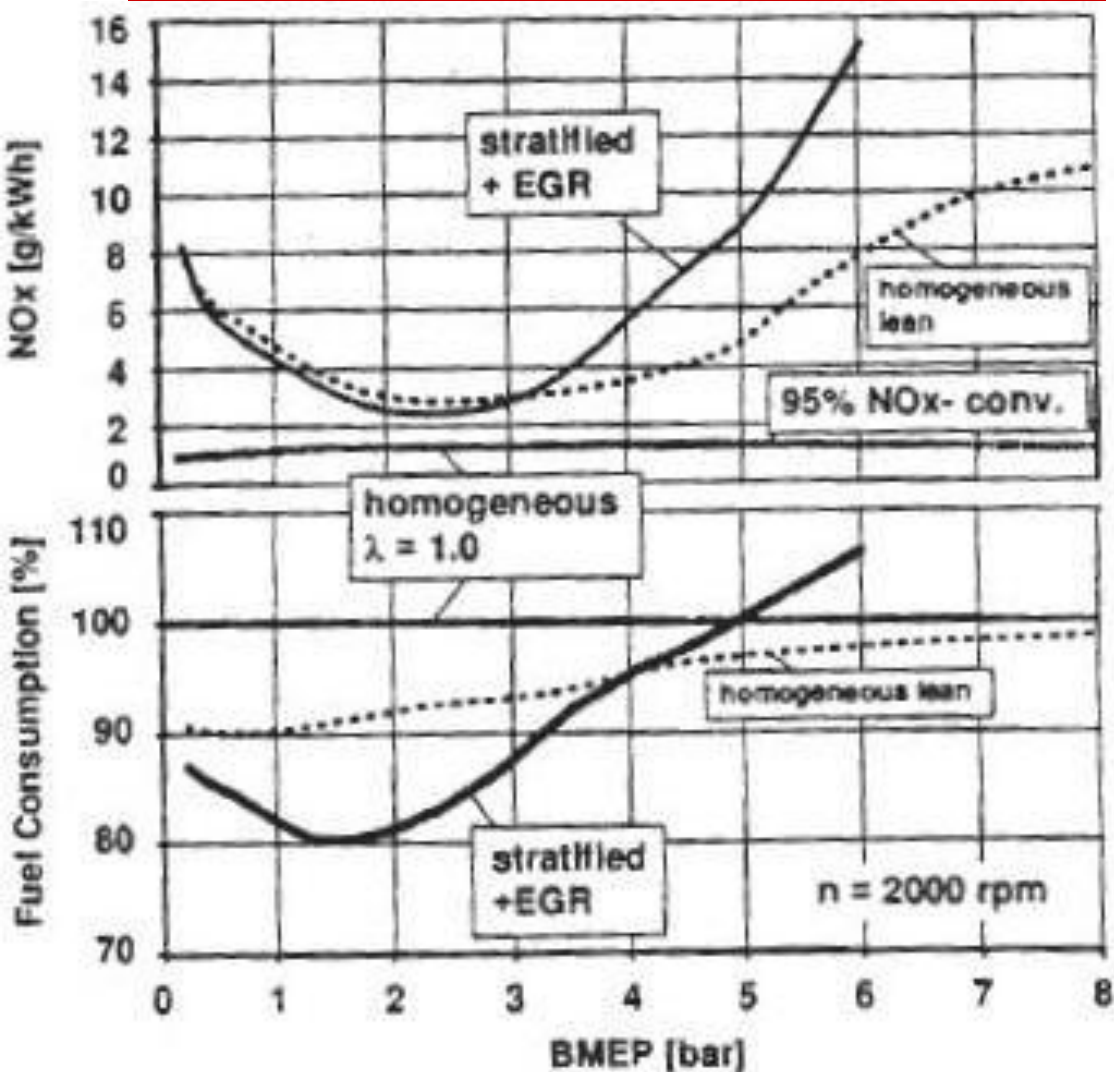


Прелаз из стехиометријске у сиромашну смешу уз касно убризгавање горива

- Прелаз треба да се обави када је генерисани момент у оба режима захтева исту количину ваздуха
- Рано убризгавање са односом A/F 18:1 и касно убризгавање са односом A/F 24:1 генеришу исти момент за исту количину ваздуха (тачке B и C на дијаграмима).
- Повећање односа A/F са 14:1 на 18:1 обезбеђено је електронски управљаним by pass-ом око главног лептира (Mitsubishi GDI)



Упоредни приказ карактеристика три мода рада GDI мотора

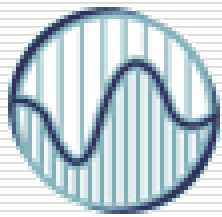


Модови рада:

- ☐ Хомогена
стехиометријска
- ☐ Хомогена сиромашна
- ☐ Слојевита смеша

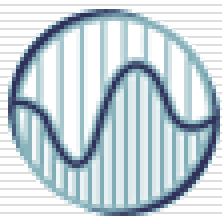


Предност GDI у односу на PFI	Рано убризгавање, хомогена стехиометријска смеша	Рано убризгавање, хомогена сиромашна смеша	Касно убризгавање, сиромашна слојевита смеша
Повећање степена компресије услед хлађења пуњења	да	делимично	не
Захтев за рад са нижим октанским бројем услед хлађења смеше	да	делимично	не
Повећање запреминског степеба корисности	да	делимично	не
Прекид довода горива у режимима успорења	да	да	да
Смањење емисије HC током хладног старта	да	да	да
Брзи хладан старт	да	не	да
Смањење обогаћења смеше током рада	да	не	да
Смањење обогаћења смеше током убрзања	да	да	да/делимично
Смањење емисије CO ₂	да	да	да
Бољи одзив током промене режима рада	да	да	да
Смањење варијације у саставу смеше између	да	да	да
Нижи број обртаја и мања потрошња на	не	делимично	да
Смањења потрошња горива услед смањења пумпних губитака	не	делимично	да

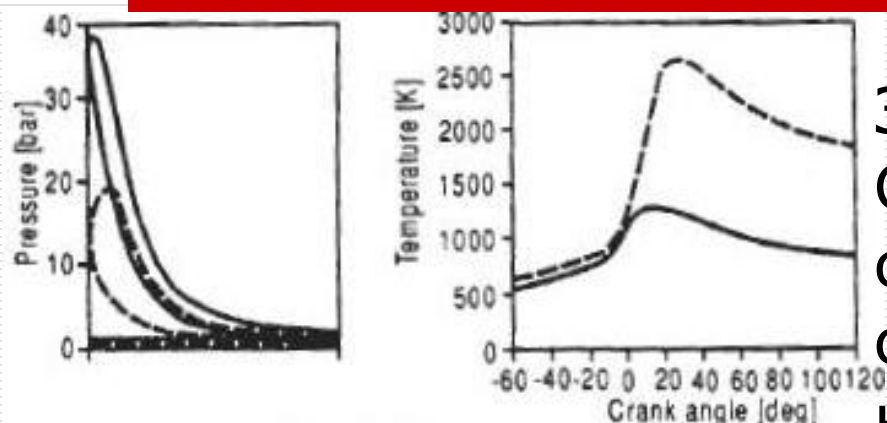


Поређење процеса сагоревања са хомогеним и слојевитим образовањем смеше

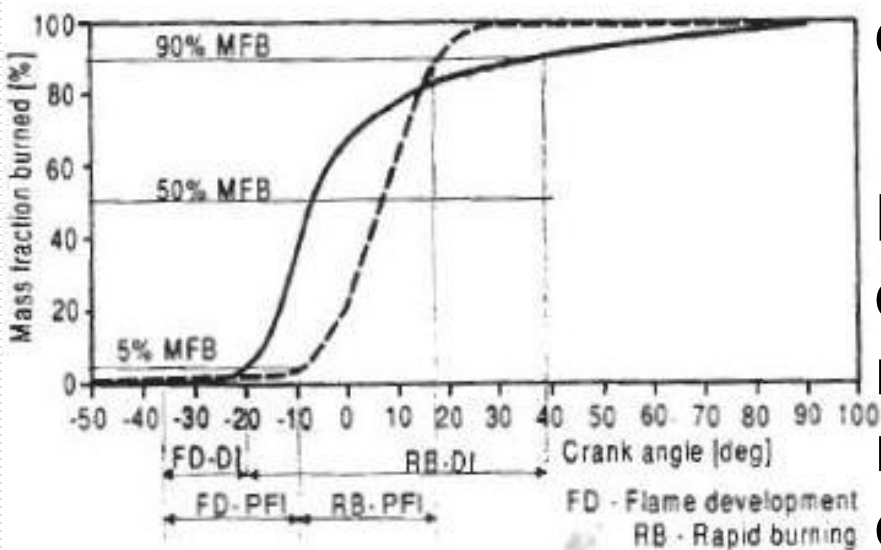
- Основни услов за стабилно сагоревање током слојевитог образовања смеше је благо богата смеша у зони свећице.
- Код мотора са **ДУ** услови сагоревања током рада на празном ходу и током рада на пуном оптерећењу су готово идентични!



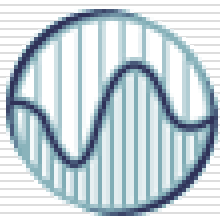
Поређење процеса сагоревања са хомогеним и слојевитим образовањем смеше



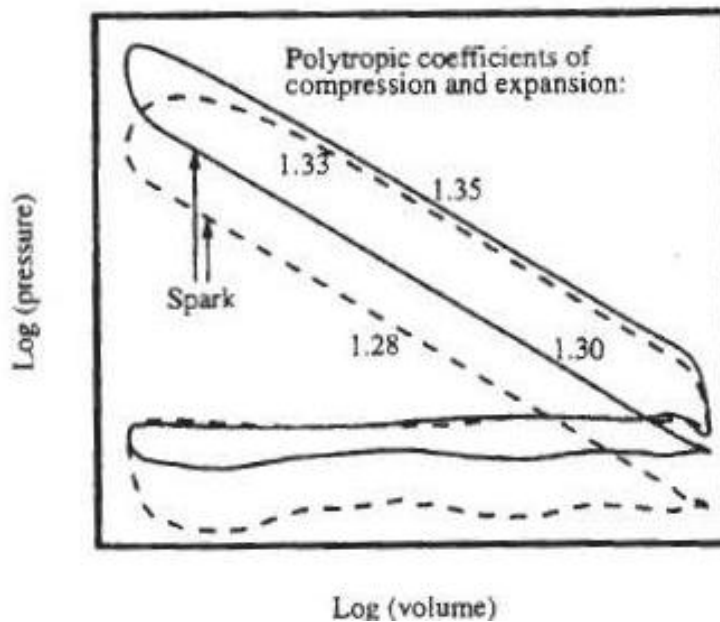
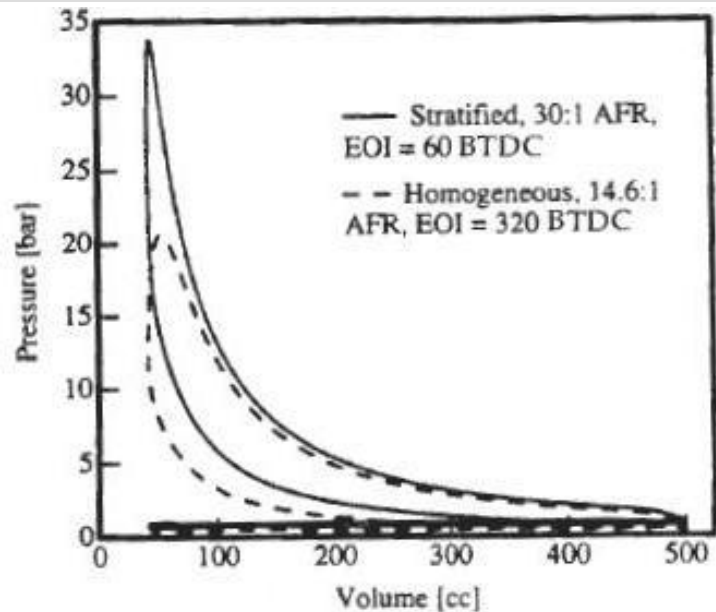
За разлику од PFI мотора код GDI мотора иницијални пламен се брже развија у зони свећице али и брже опада како залази у сиромашну смешу што погодује повећању емисије HC.



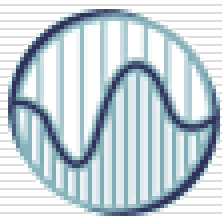
Висока брзина пламена омогућава касније углове претпаљења него PFI мотори што омогућава стабилније сагоревање на празном ходу.



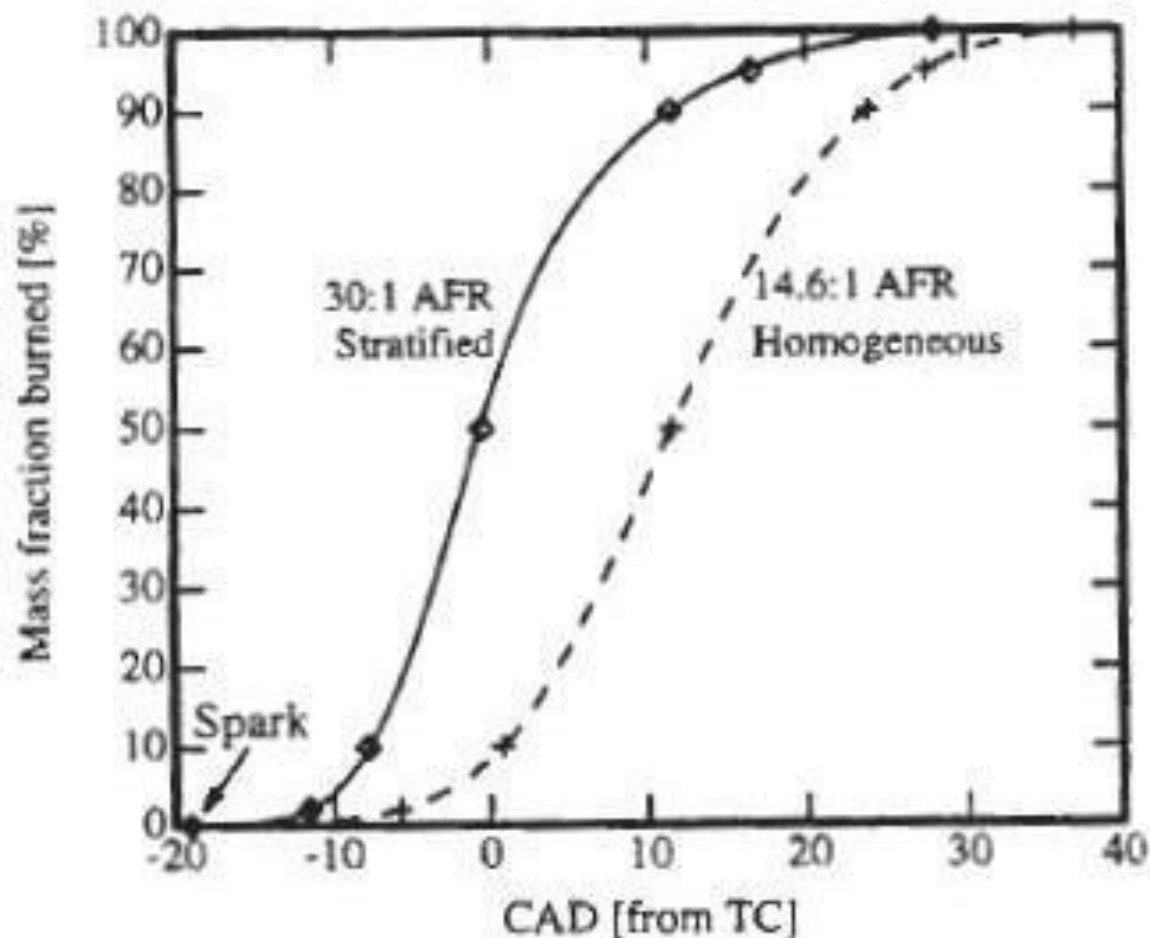
Поређење процеса сагоревања са хомогеним и слојевитим образовањем смеше



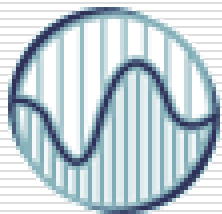
- ❑ Код оба мотора је угао претпаљења подешен како би се остварио максимални обртни момент.
- ❑ Крај убризгавања је подешен како би се остварила минимална потрошња горива.
- ❑ Мотори раде на 1500 о/min и ВМЕР (средњи ефективни притисак) 2,62 bar



Поређење процеса сагоревања са хомогеним и слојевитим образовањем смеше

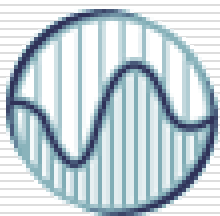


- С обзиром на то да је брзина код слојевитог убризгавања у почетној фази равномерно велика, потрошња горива је нижа!
- У близини свећице брзина пламена је идентична али због веће густине ваздуха код слојевите смеше брзина сагоревања је скоро двоструко већа.

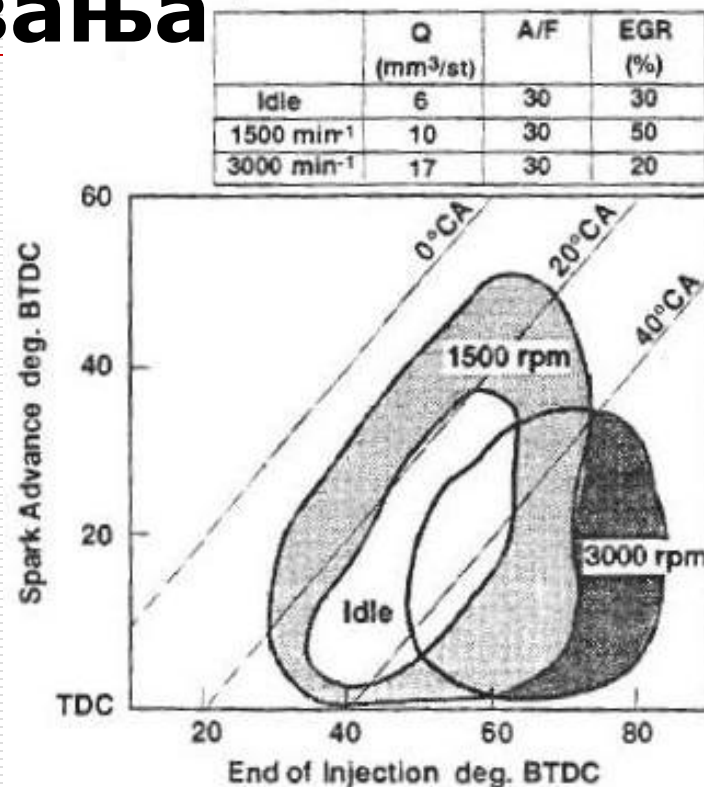
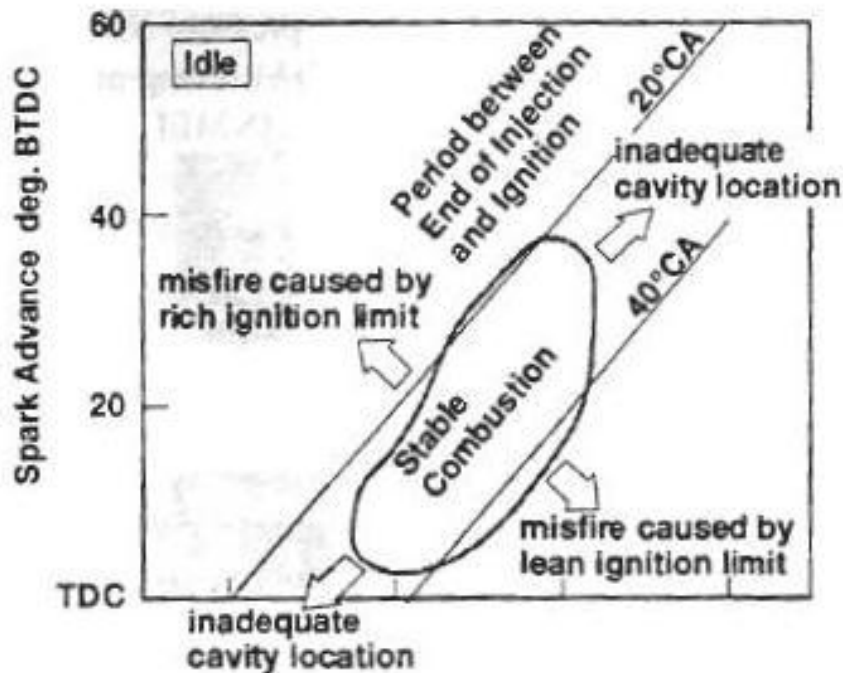


Утицај времена убризгавања и угла претпаљења на процес сагоревања

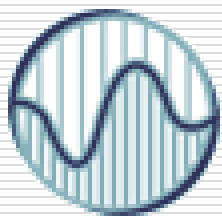
- ❑ Код слојевитог образовања смеше крај убризгавања је веома важан параметар јер је то тренутак када последња количина горива улази у радни простор мотора.
- ❑ Касније убризгавање резултује рапидном брзином почетка сагоревања, док раније убризгавање има тенденцију краћим временом сагоревања (око 50% топлоте се ослободи пре СМТ).
- ❑ Специфична потрошња горива се смањује са каснијим убризгавањем, међутим НС се повећава као резултат лошијег састава смеше и продуженог сагоревања.



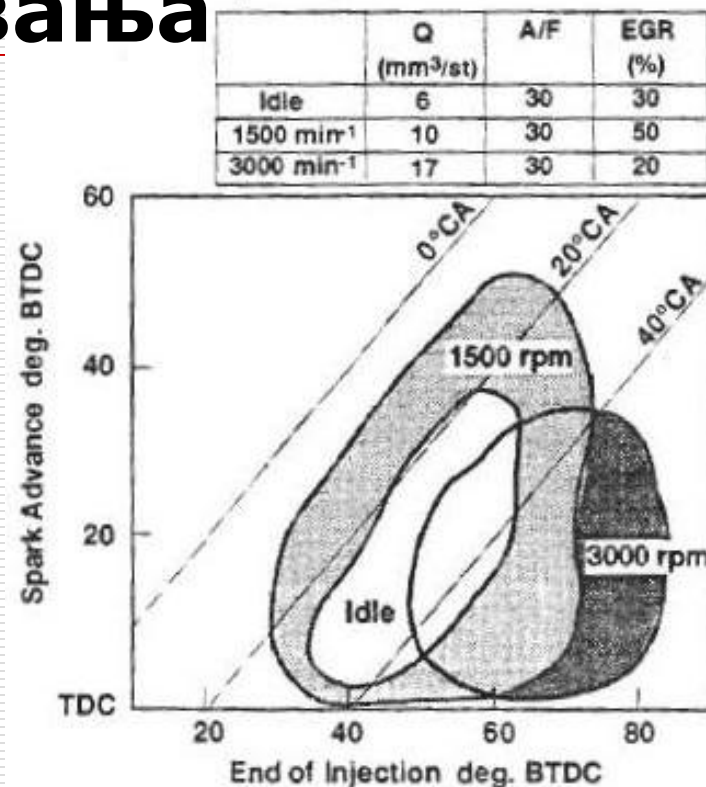
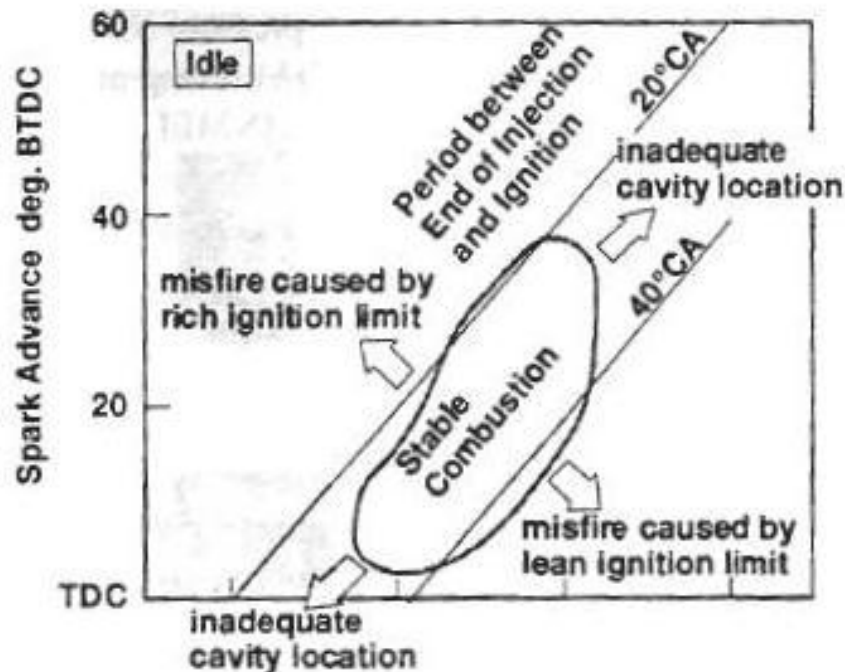
Утицај времена убризгавања и угла претпаљења на процес сагоревања



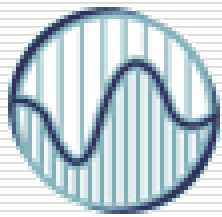
- ❑ Важно је правилно дефинисати интервал између краја убризгавања и угла претпаљења.
- ❑ Мора се узети у обзир кашњење брызгача, односно време које је потребно да се брызгач потпуно затвори од када добије сигнал за затварање (0,3-0,5 ms)!



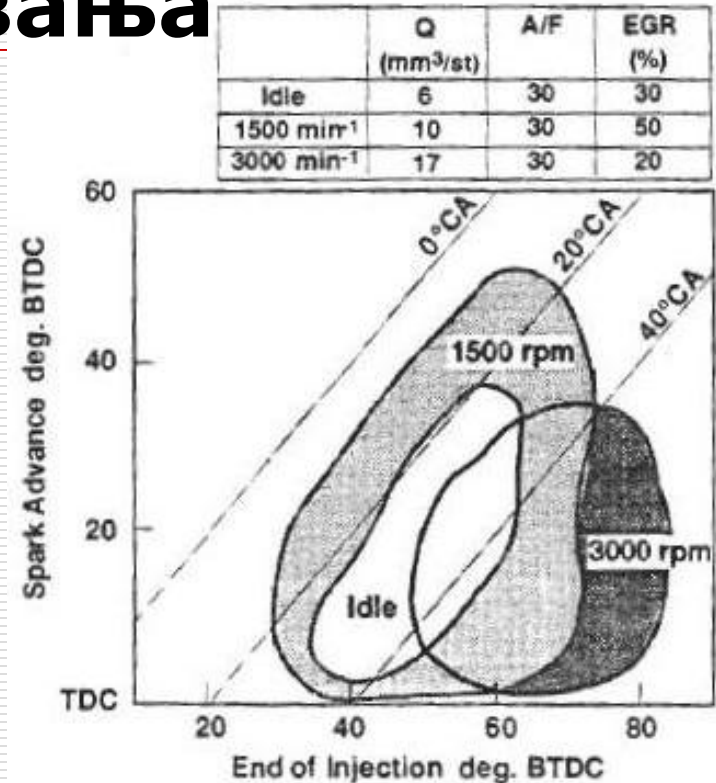
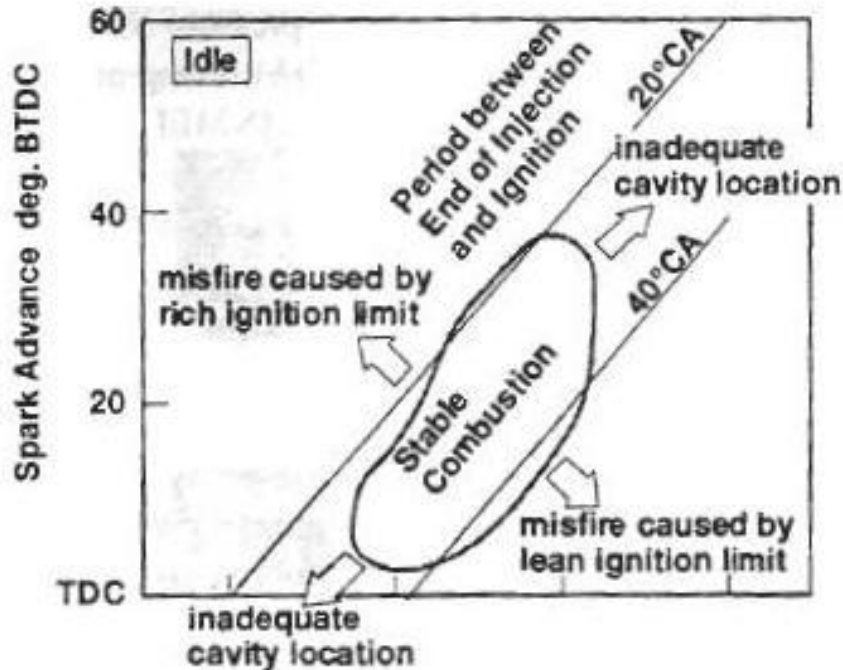
Утицај времена убризгавања и угла претпаљења на процес сагоревања



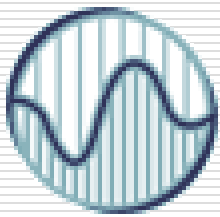
- За предметни мотор интервал између завршетка убризгавања и почетка паљења је прилично широк 10-60 степни KV.
- Са смањењем броја обртаја (празан ход - idle) продирање млаза у комору од великог је утицаја на квалитет смеше и интервал се скраћује.



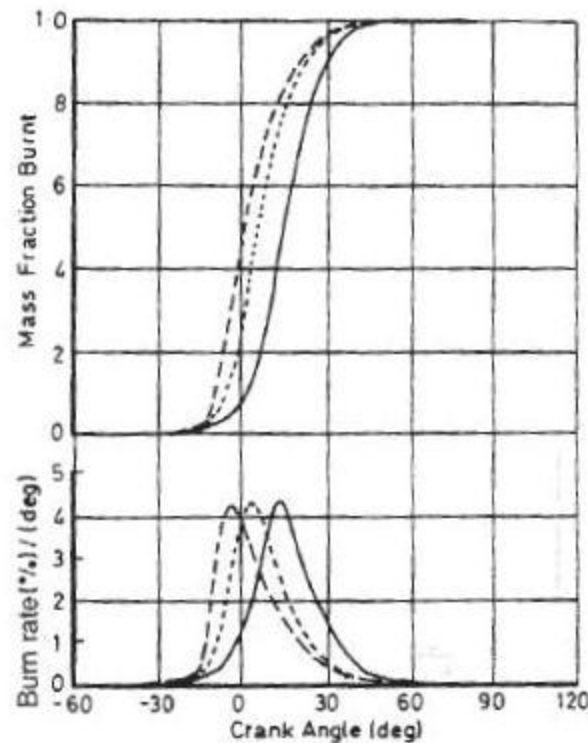
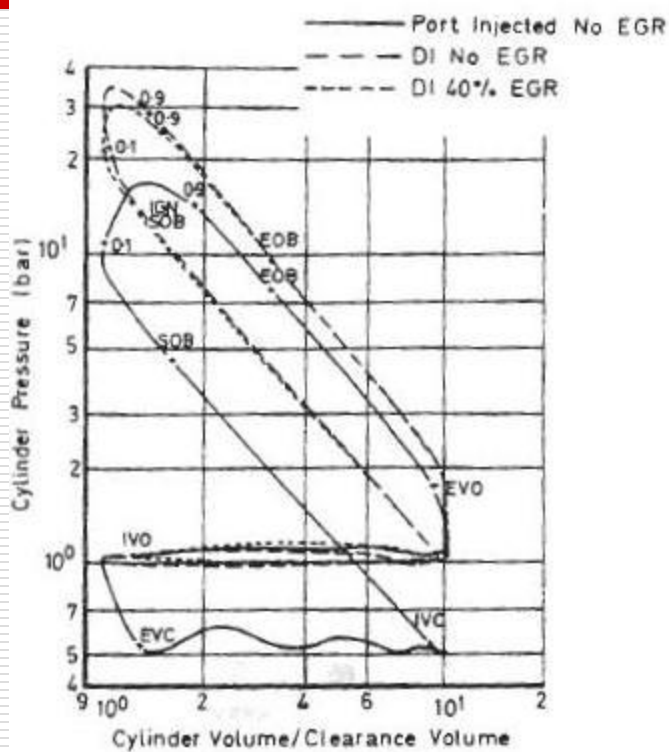
Утицај времена убризгавања и угла претпаљења на процес сагоревања



□ Са повећањем броја обртаја крај убризгавања се мора померати на раније како би се имало времена за припрему смеше. Ово ствара привид да се интервал повећава, међутим са веома раним убризгавањем сагоревање постаје нестабилно па је интервал заправо краћи. Преко 3500 о/мин је потпуно нестабилно!



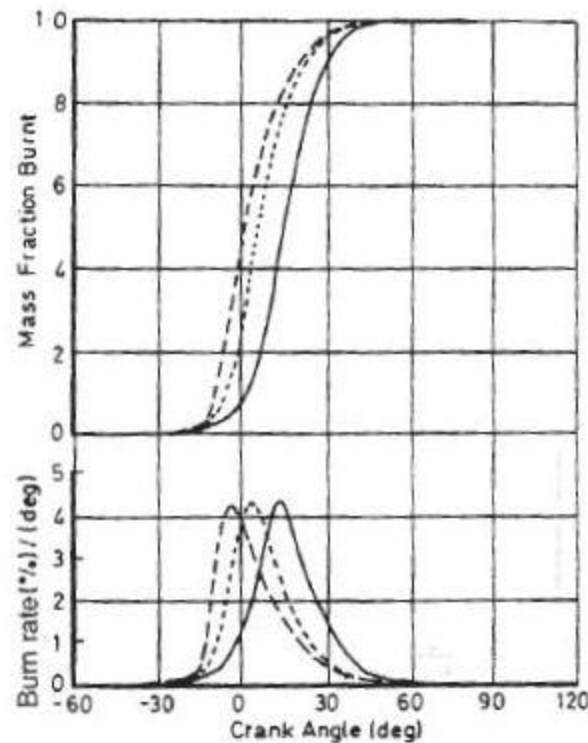
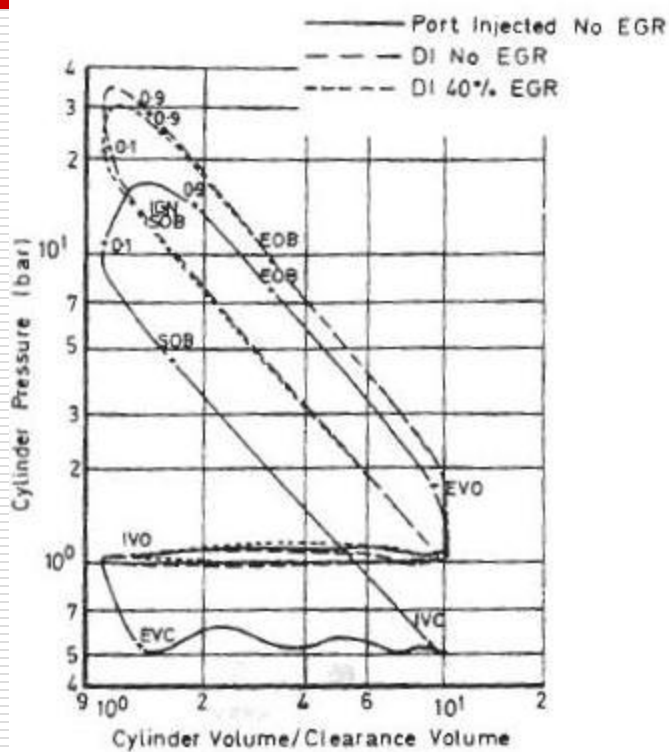
Утицај EGR-а на процес сагоревања



- ❑ Веће присуство O₂ и нижа емисија CO₂ код слојевитог убризгавања омогућава већу толеранцију GDI мотора на EGR
- ❑ Код PFI мотора на 20% рад постаје нестабилан. GDI – 40%
- ❑ Код GDI мотора има мали утицај на дужину сагоревања!



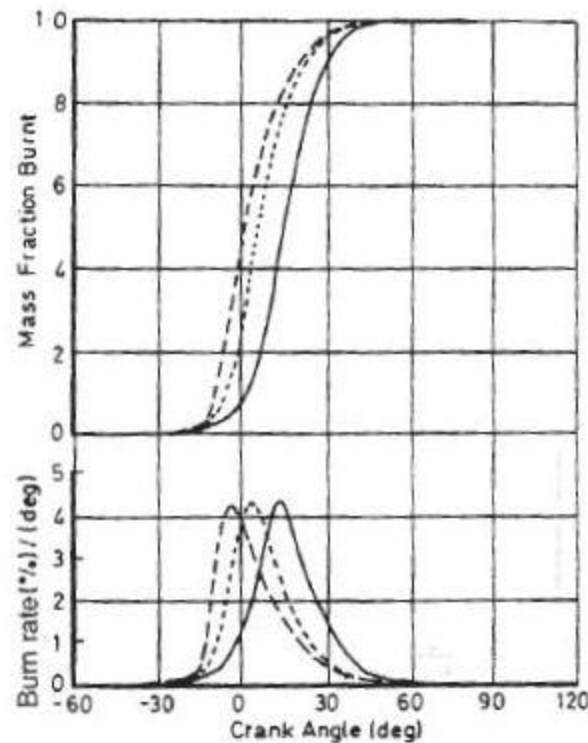
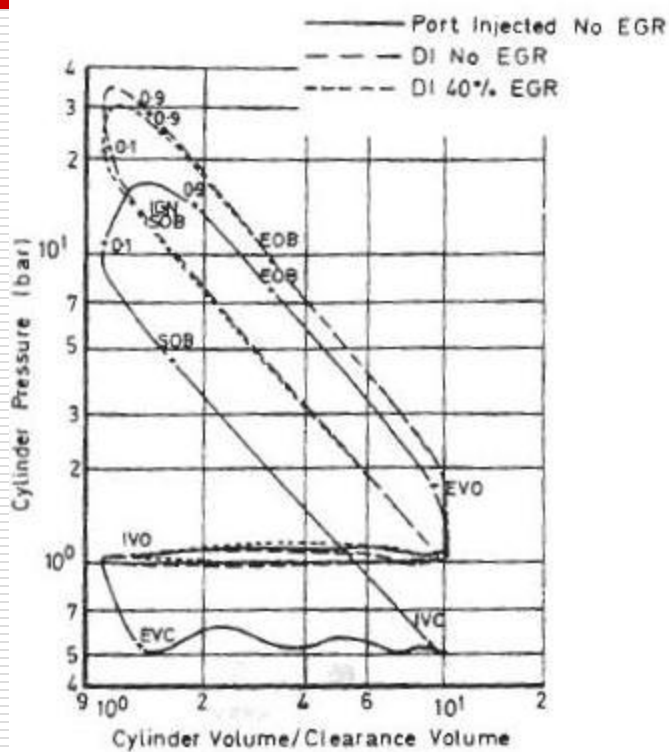
Утицај EGR-а на процес сагоревања



- Брзи развој пламена током слојевитог образовања смеше и високим присуством O_2 и CO_2 у издувним гасовима омогућавају већу толеранцију GDI мотора на EGR – до 40% за разлику од 20% које изазива засићење код PFI мотора



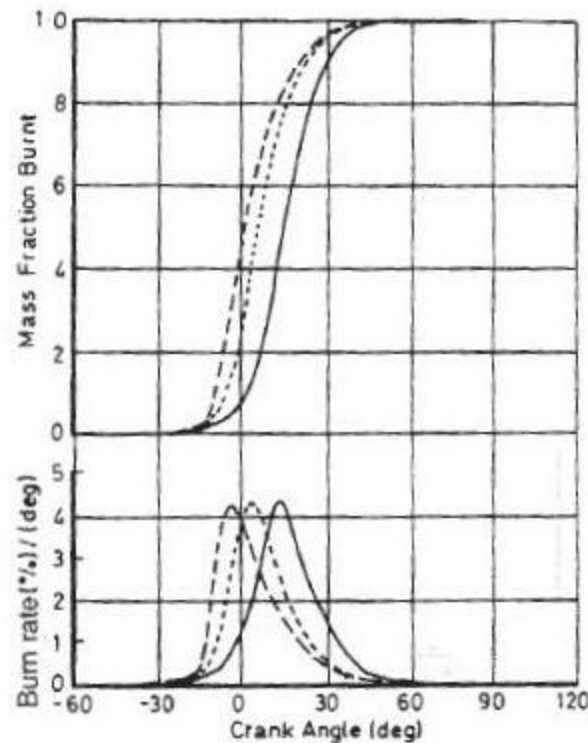
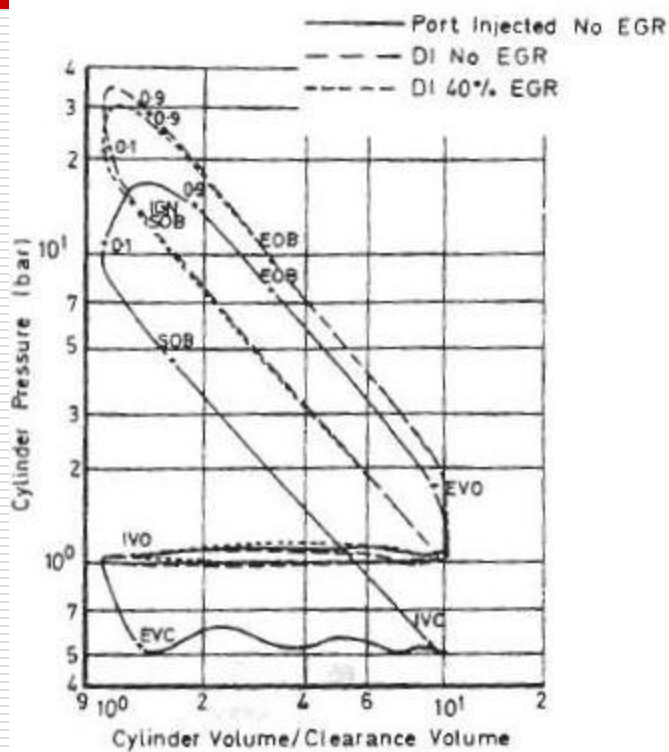
Утицај EGR-а на процес сагоревања



- ❑ Повећани ниво EGR –а смањује ниво притиска, успорава процес сагоревања и смањује потрошњу горива.
- ❑ Код GDI мотора са 40% EGR смањење потрошње горива је за око 3%, 80% NO_x и 35 % HC!



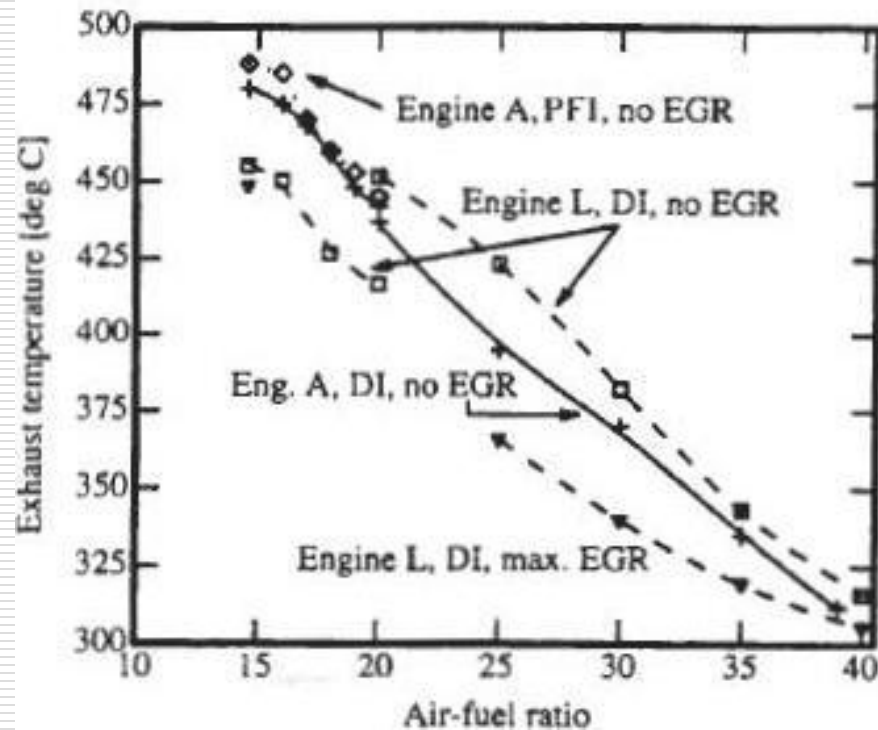
Утицај EGR-а на процес сагоревања



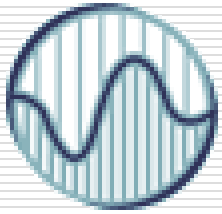
- ❑ GDI мотори захтевају више EGR-а за исти ниво редукције NO_x у поређењу са PFI моторима.
- ❑ Већи ниво EGR-а омогућава веће углове претпаљења.



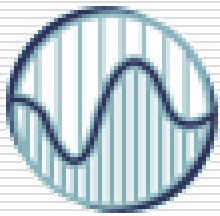
Утицај EGR-а на процес сагоревања



- ❑ Са друге стране већи ниво EGR-а смањује температуру издувних гасова што утиче на рад катализатора!
- ❑ Температура издувних гасова у режиму A/F 30 са 30% EGR-а је за око 100°C нижа у односу на рад са хомогеном стохиометријском смешом и EGR-ом!



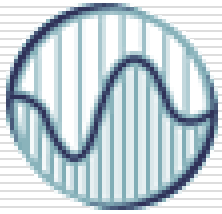
НЕНОРМАЛНО САГОРЕВАЊЕ



НЕНОРМАЛНО САГОРЕВАЊЕ

Карактеристике:

- Велике брзине сагоревање, максимална брзина већа од 200 m/s.
- Температура има испрекидан ток.
- Бука фреквенције 5-10 kHz.
- Ненормални пораст притиска код површинског паљења – тестерасти облик код детонације.
- Промењен састав издувних гасова.
- Карактеристичан и интензиван мирис издувних гасова.



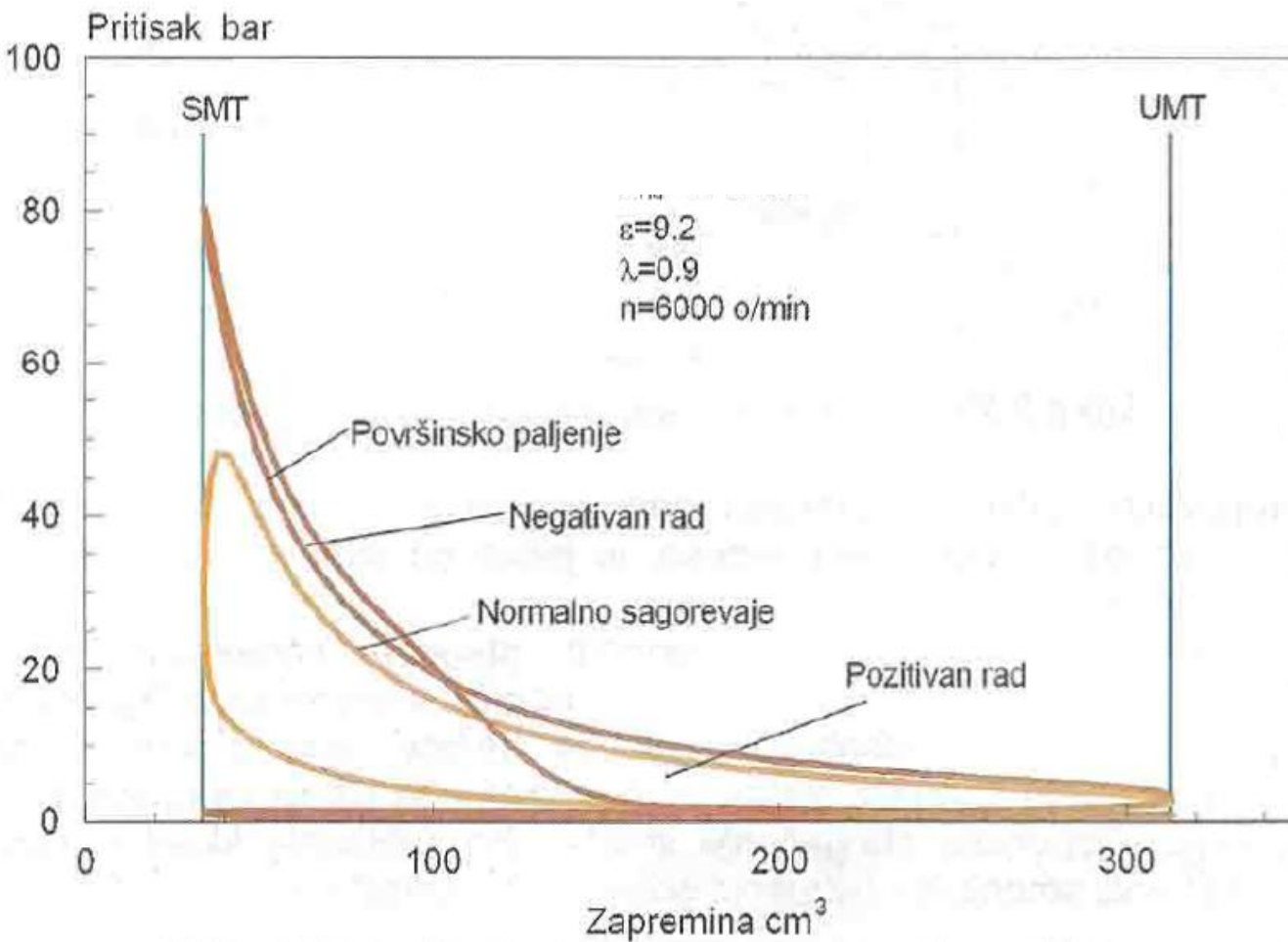
НЕНОРМАЛНО САГОРЕВАЊЕ

Типови ненормалног сагоревања:

- ☐ Површинско паљење
- ☐ Детонација



Индикаторски дијаграм површинског паљења



Неодговарајућа или стара свећица, топла места у комори, талози.

Упаљење на једном или више места пре, истовремено или после свећице.

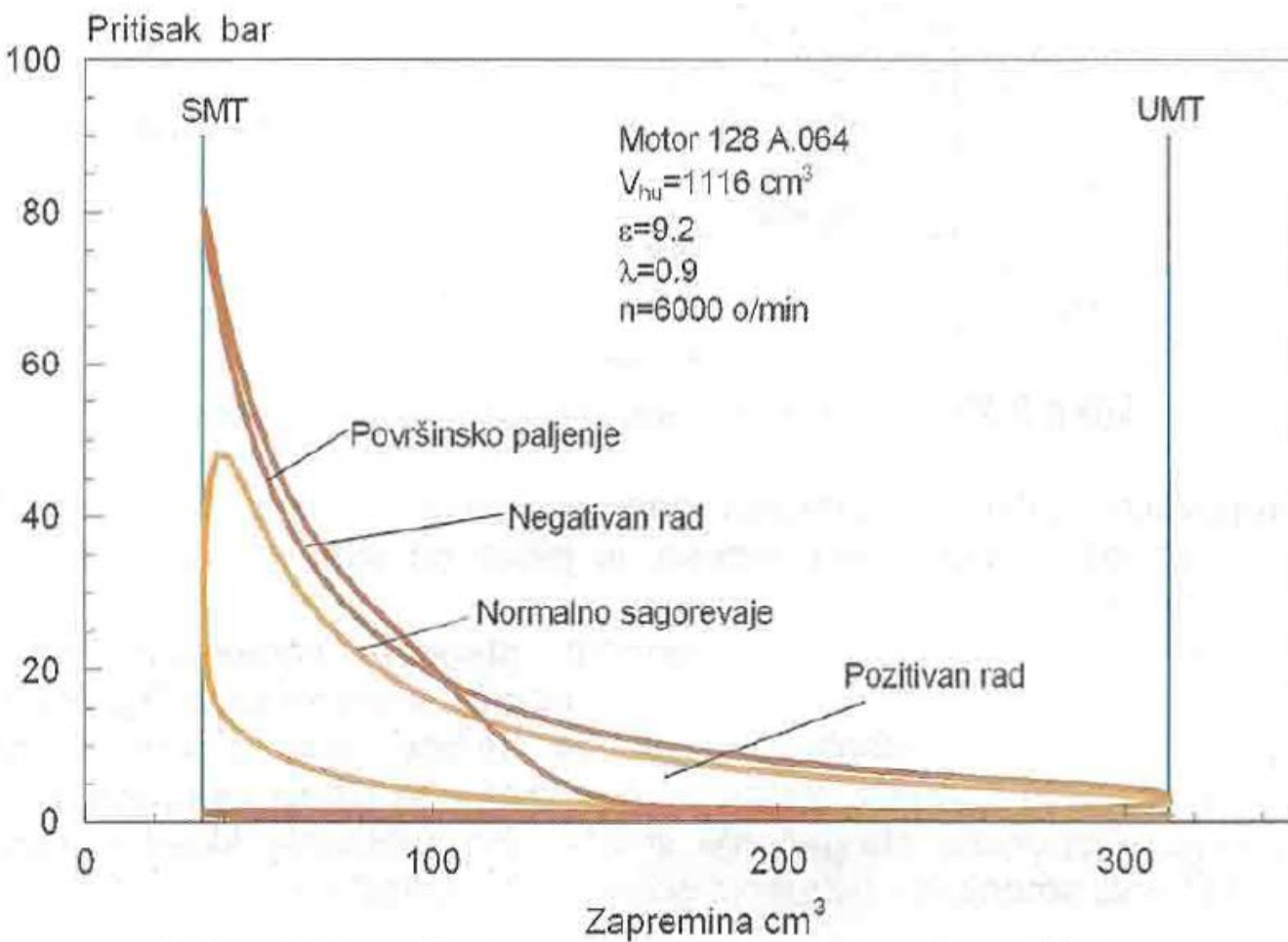
Шпиц притиска близу СМТ. Наредни циклуси се повлаче према СМТ.

Покушај промене обртаја КВ услед негативног рада!



Индикаторски дијаграм површинског паљења

Градијент промене притиска је нормално 2-3 bar-a по углу KB, а код ПП 10 bar-a!



Неодговарајућа или стара свећица, топла места у комори, талози.

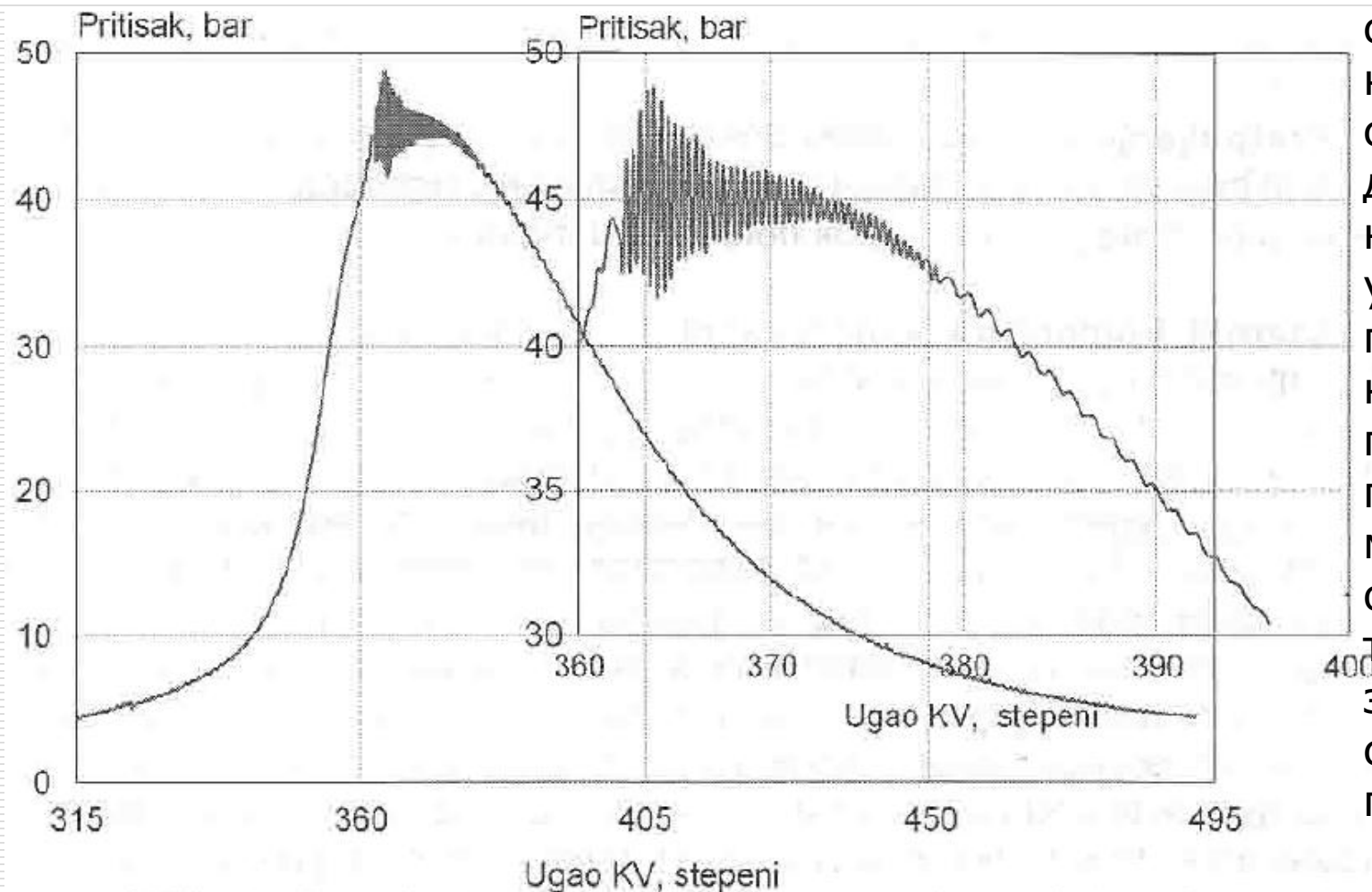
Упаљење на једном или више места пре или после свећице.

Шпиц притиска близ СМТ. Наредни циклуси се повлаче пре СМТ.

Покушај промене обртаја KB услед негативног рада!



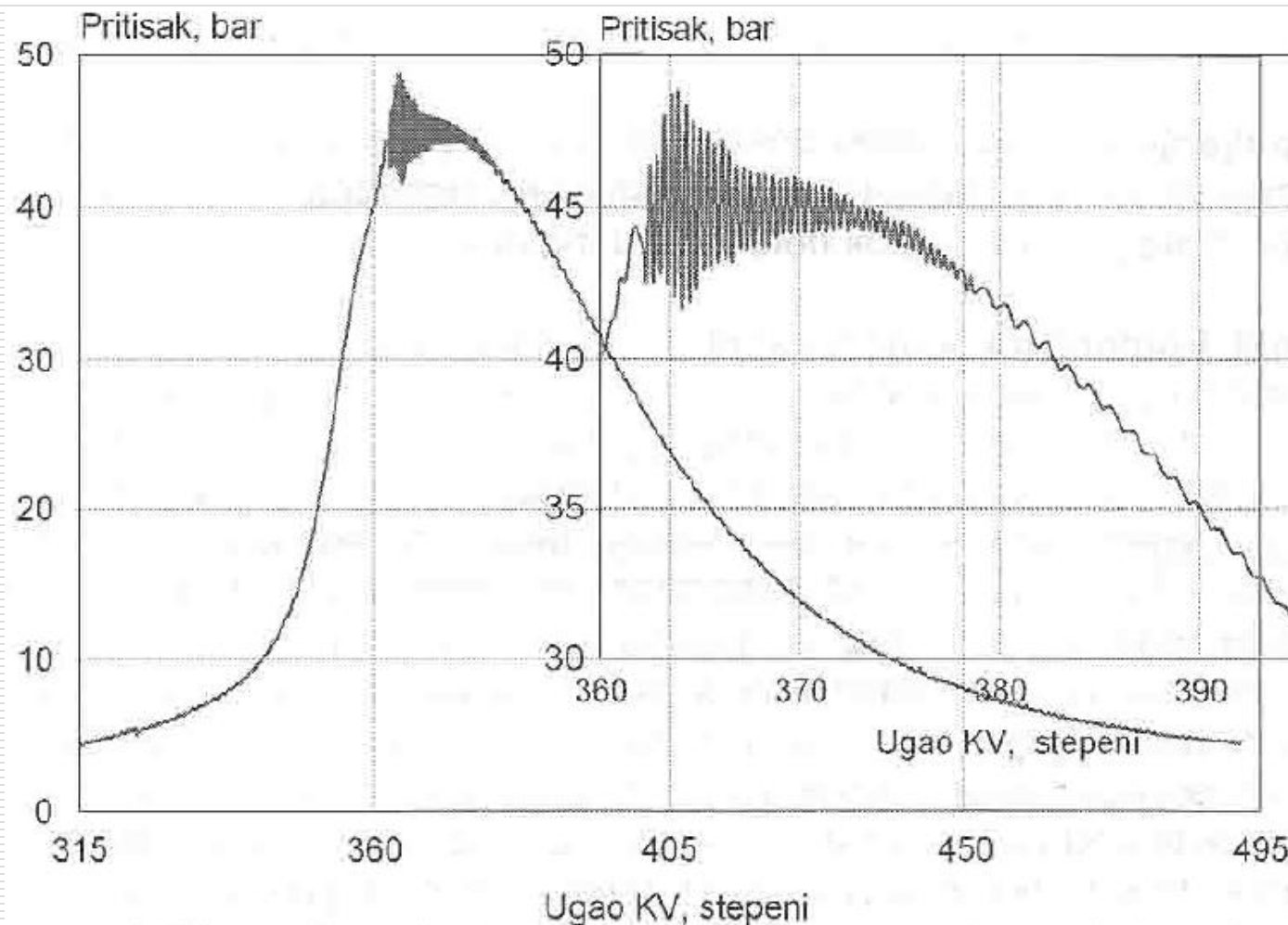
Индикаторски дијаграм сагоревања са детонацијом



После паљења свећице, при крају сагоревања долази до наглог упаљења преостале количине горива јер гориво има малу отпорност на термичко зрачење већ сагорелог горива.

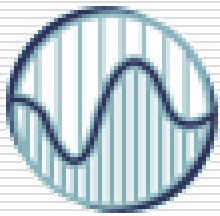


Индикаторски дијаграм сагоревања са детонацијом

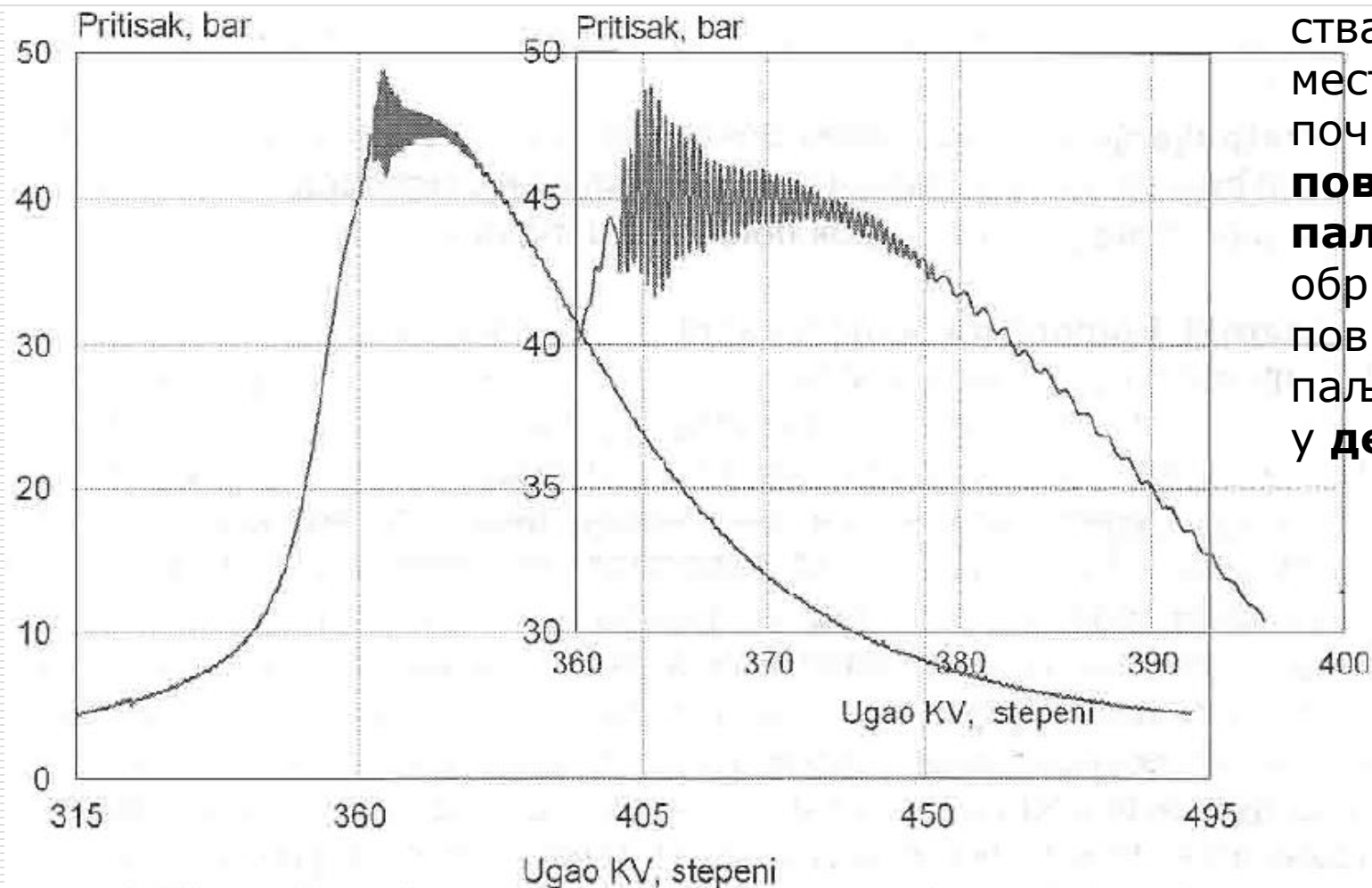


Концентрација активних центара је таква да то гориво експлозивно сагори!

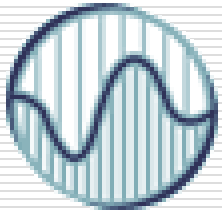
Праћено је високим температурама које доводе до хемијских реакција гасова са металним деловима коморе!



Индикаторски дијаграм сагоревања са детонацијом



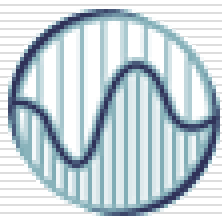
Јака детонација ствара ужалена места од којих почиње **површинско паљење** и обрнуто, површинско паљење прелази у **детонацију!**



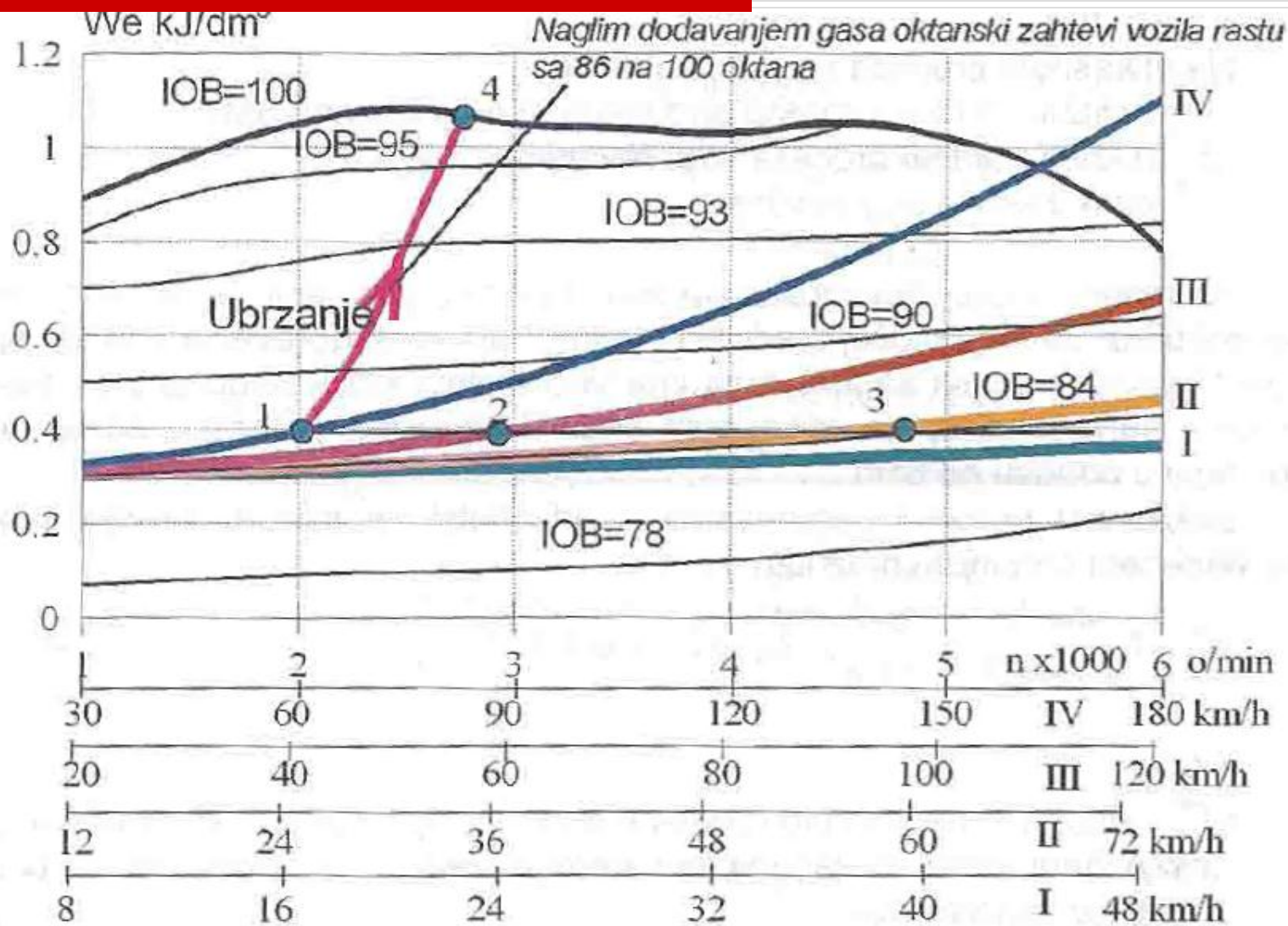
НЕНОРМАЛНО САГОРЕВАЊЕ

Узроци ненормалног сагоревања:

- ☐ Комора за сагоревање (развучена, разуђена, без добре струјне слике).
- ☐ Гориво (низак ОБ).
- ☐ Неадекватан угао претпаљења.
- ☐ Талог на комори за сагоревање.
- ☐ Техника вожње.



Техника вожње – без детонације!



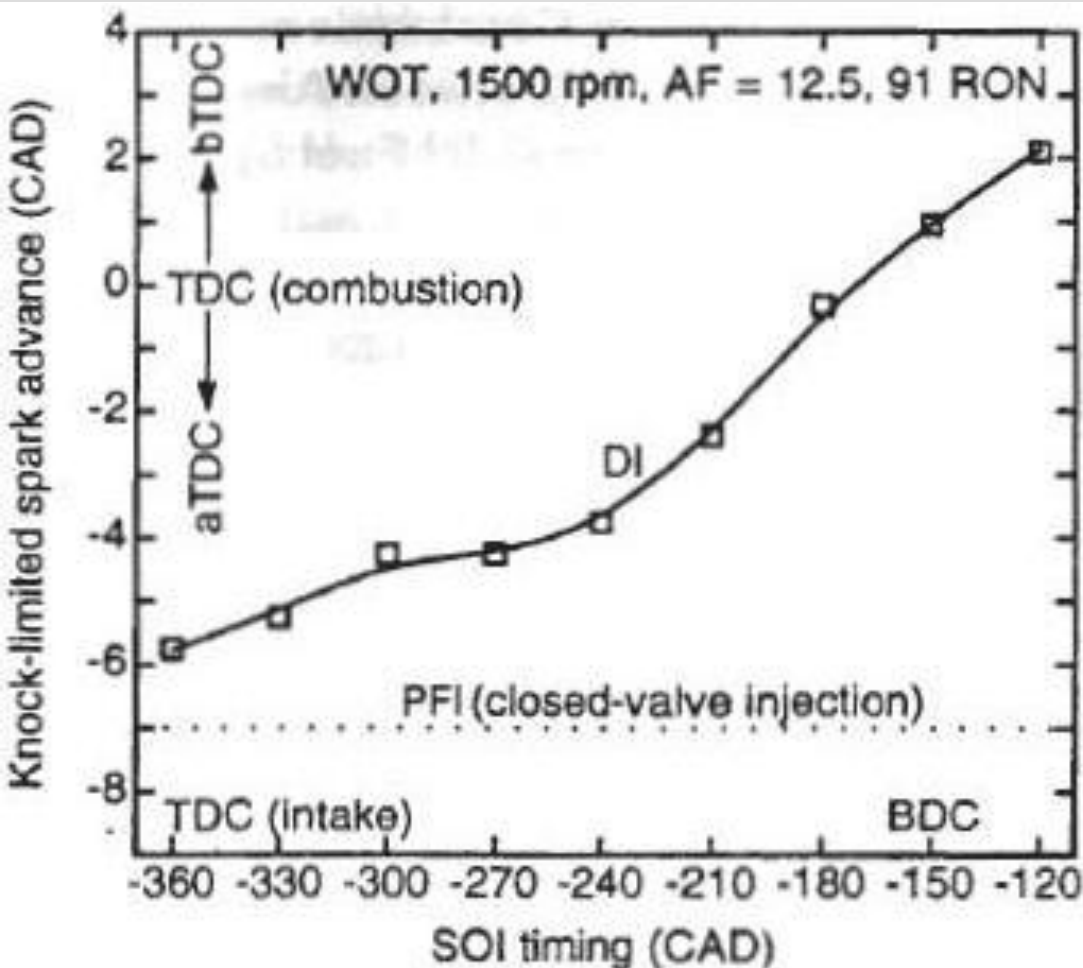


Детонација код GDI мотора

- GDI мотор има већу отпорност на детонацију у поређењу са PFI моторима услед хлађења пуњења унутар цилиндра.
- Касније убризгавање такође побољшава отпорност на детонацију због благо слојевите смеше, међутим хлађење смеше након усисног вентила не повећава запремински степен корисности а слојевита смеша га чак редукује!



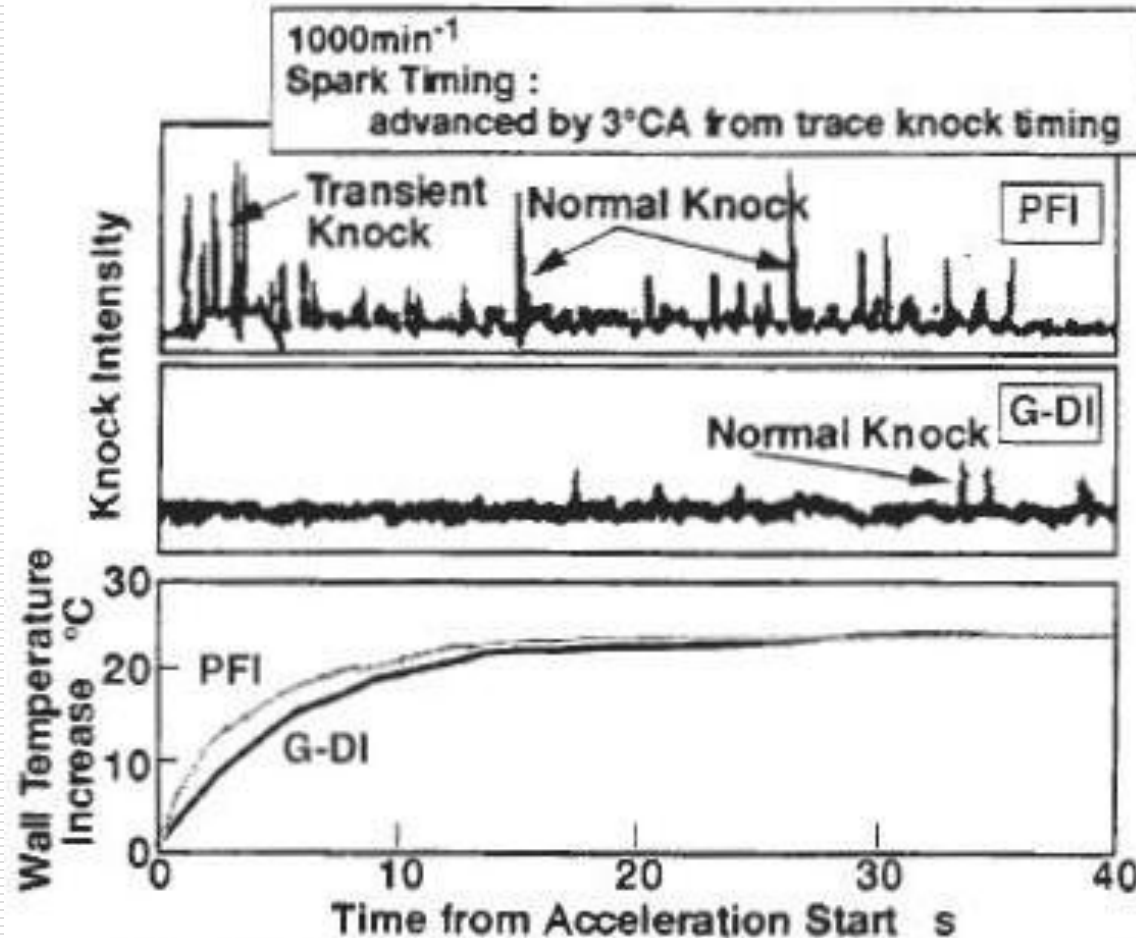
Детонација код GDI мотора



- За тешке услове рада угао претпаљења расте са каснијим углом убризгавања.
- Касније убризгавање не само да смањује количину горива на челу клипа већ и хлади зидове коморе што смањује температуру и омогућава веће углове претпаљења



Детонација код GDI мотора



- GDI мотори су такође мање осетљиви на промену режима рада (нагло убрзање) које код PFI мотора изазива детонацију