

Висока школа електротехнике и  
рачунарства струковних студија

# СИСТЕМИ ДИРЕКТНОГ УБРИЗГАВАЊА БЕНЗИНА

---

- Конструкција система за довод горива - брызгачи



# УВОД

---

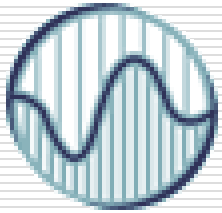
- Намена брызгача је да атомизацијом горива обезбеди дозирање горива и његово мешање са ваздухом у комори за сагоревање у свим радним условима мотора.
- Како би се обезбедило поуздано упаљење мора се обезбедити да облак горива и вазудха (одговарајућег састава) буде позициониран у близини свећице.



# УВОД

---

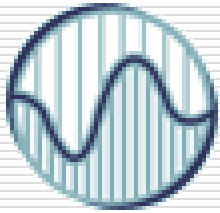
- Кључну улогу у остваривању жељених перформанси GDI мотора а које се односе на развијање декларисане снаге, потрошњу горива, емисију издувних гасова играју брызгачи.
- Са друге стране брызгачи морају да се прилагоде избраном систему за довод горива, да одговарају геометријским карактеристикама мотора, да буду поуздани и са прихватљивом ценом.



# УВОД

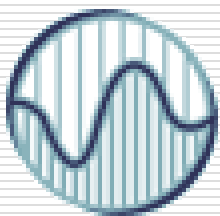
---

- У том смислу у аутомобилској индустрији примењују се два основна метода директног убризгавања бензина:
  - Убризгавање ниским притиском потпомогнуто ваздухом.
  - Убризгавање високим притиском.



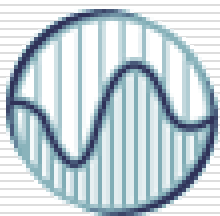
---

# **УБРИЗГАВАЊЕ НИСКИМ ПРИТИСКОМ ПОТПОМОГНУТО ВАЗДУХОМ**

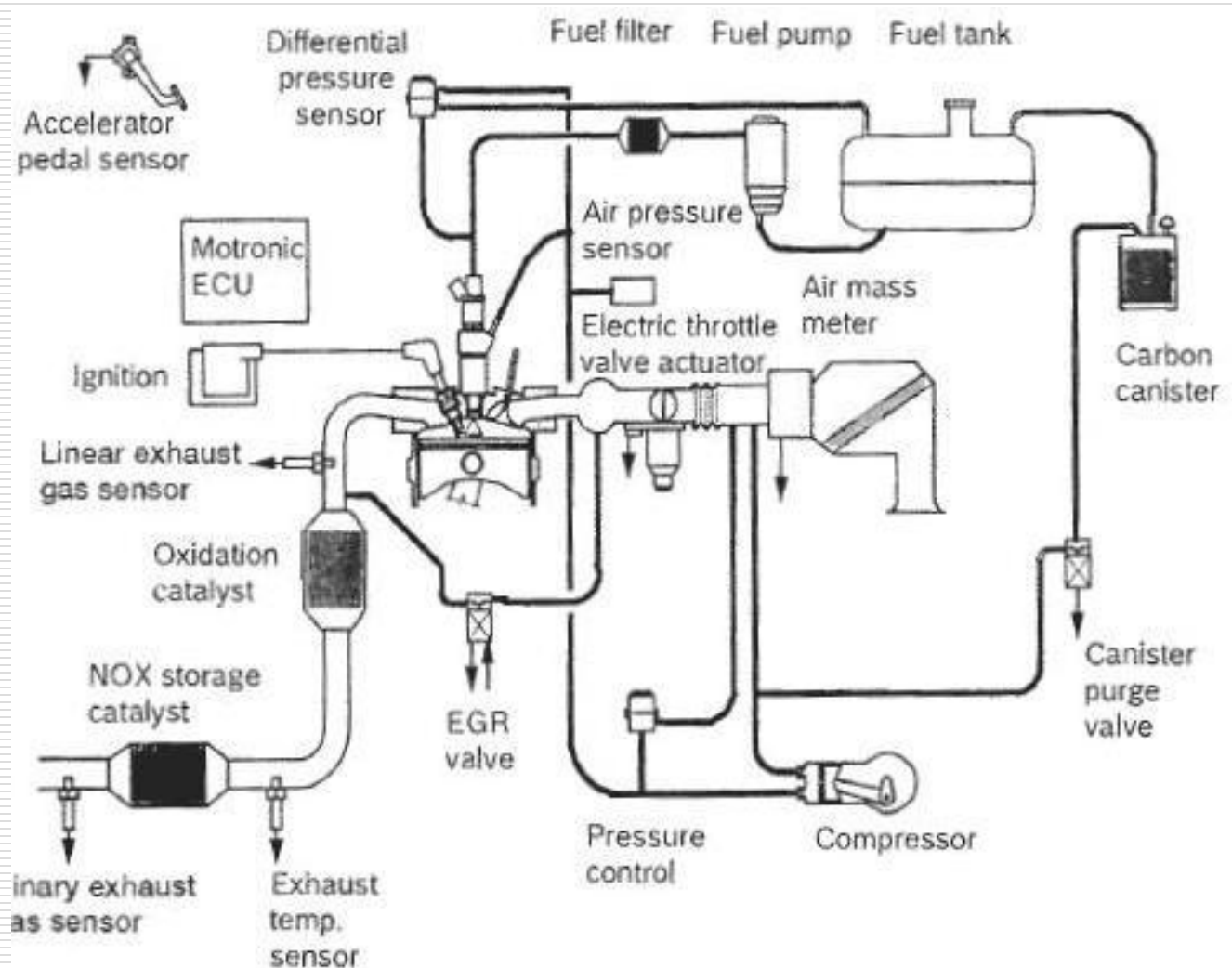


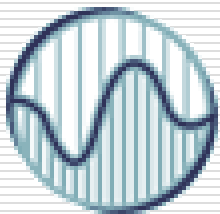
# УБРИЗГАВАЊЕ НИСКИМ ПРИТИСКОМ ПОТПОМОГНУТО ВАЗДУХОМ

- ❑ Развијено од стране фирме Orbital крајем 80-тих и почетком 90-тих.
- ❑ Притисак убризгавања до 8 bar.
- ❑ Потребан притисак ваздуха од око 5 bar.
- ❑ Омогућава добро мешање горива и ваздуха и претходно испаравање горива већ унутар брызгача.
- ❑ Због ниског притиска није могуће убризгавање током такта сабијања – рад само са хомогеном смешом.
- ❑ Омогућава висок степен EGR-а, ниску потрошњу и ниску емисију издувних гасова, посебно HC.
- ❑ Примена код двотактних ванбродских мотора и мотоцикала.

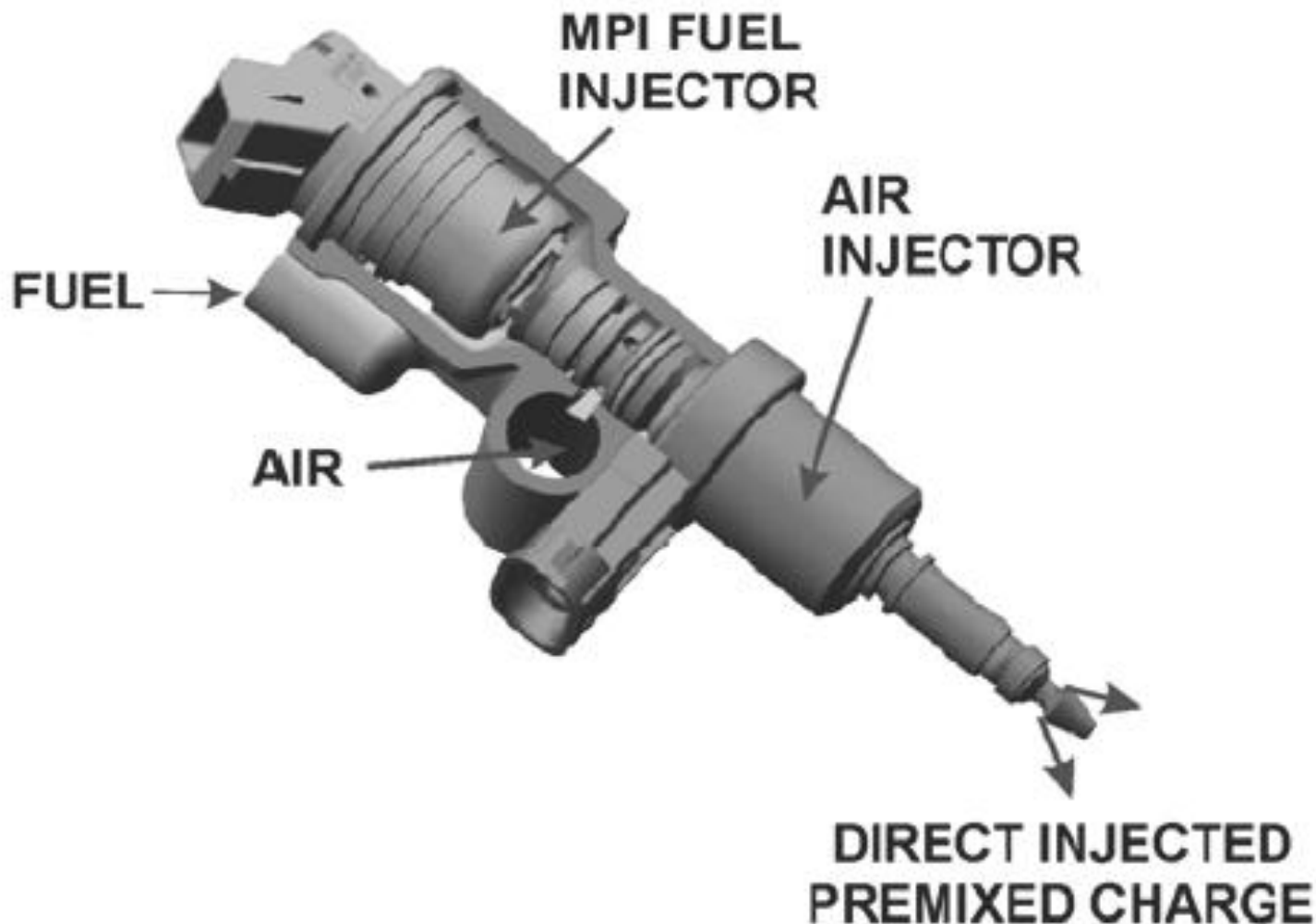


# УБРИЗГАВАЊЕ НИСКИМ ПРИТИСКОМ ПОТПОМОГНУТО ВАЗДУХОМ

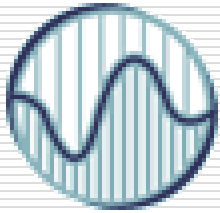




# УБРИЗГАВАЊЕ НИСКИМ ПРИТИСКОМ ПОТПОМОГНУТО ВАЗДУХОМ

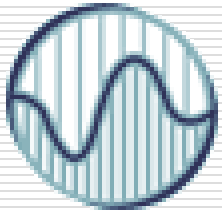






---

# **УБРИЗГАВАЊЕ ВИСОКИМ ПРИТИСКОМ**



# УБРИЗГАВАЊЕ ВИСОКИМ ПРИТИСКОМ

---

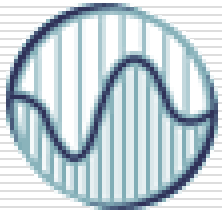
## Подела:

### ☐ Према начину активирања:

- Електромагнетни са једним или два намотаја.
- Пиезоелектрични.
- Хидраулички.
- Механички .

### ☐ Према смеру кретања иглице:

- Кретање ка унутрашњости брызгача.
- Кретање ка споља.

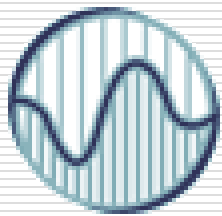


# УБРИЗГАВАЊЕ ВИСОКИМ ПРИТИСКОМ

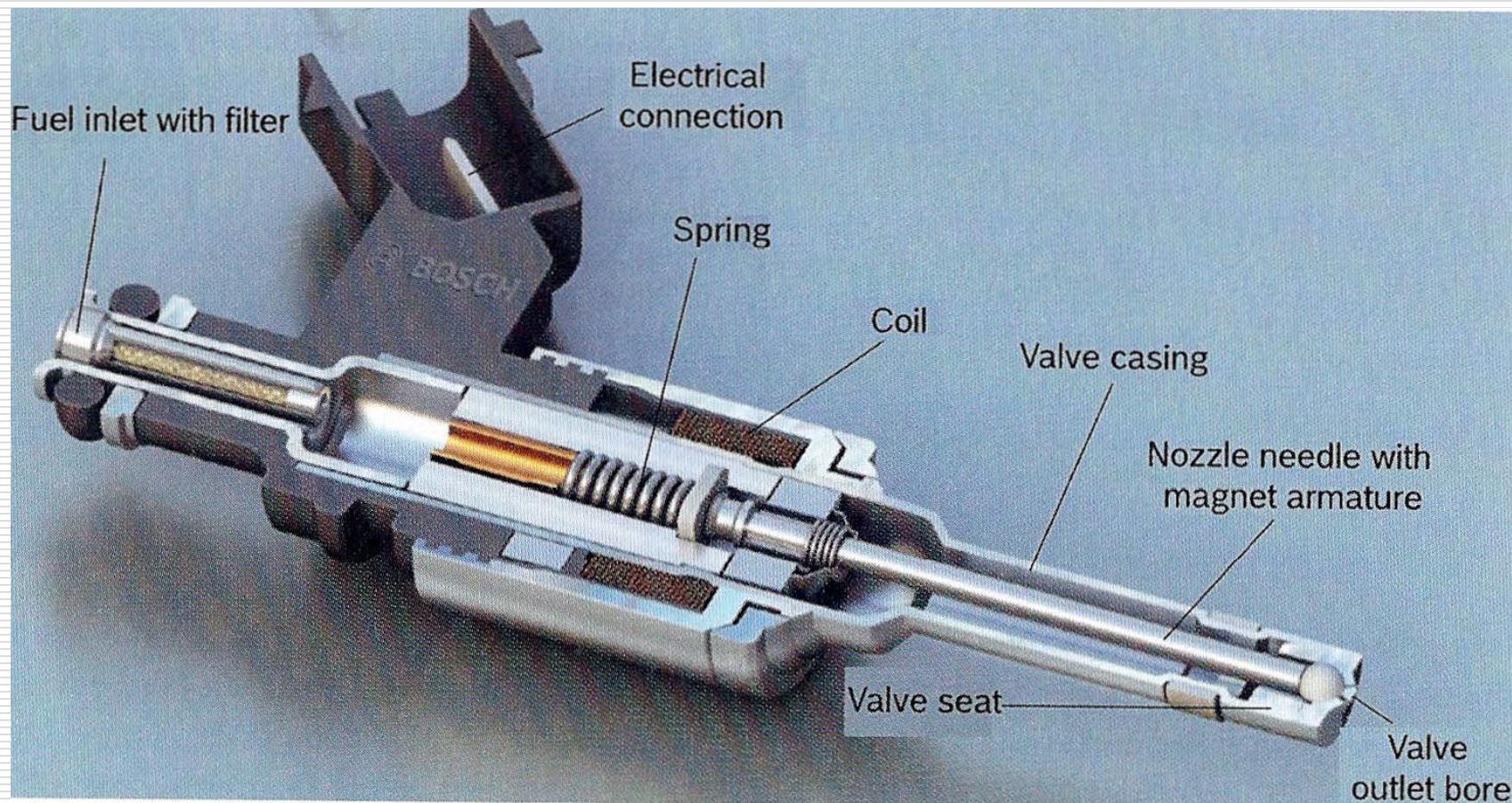
---

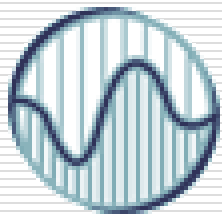
## Подела:

- **Према механизму атомизације:**
  - Вртложењем.
  - Притиском.
  - Турбуленцијом.
- **Према врсти млазнице:**
  - Вртложна.
  - Са прорезом.
  - Са више отвора.



# Електромагнетни брызгачи



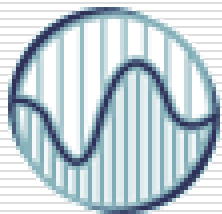


# Електромагнетни брызгачи

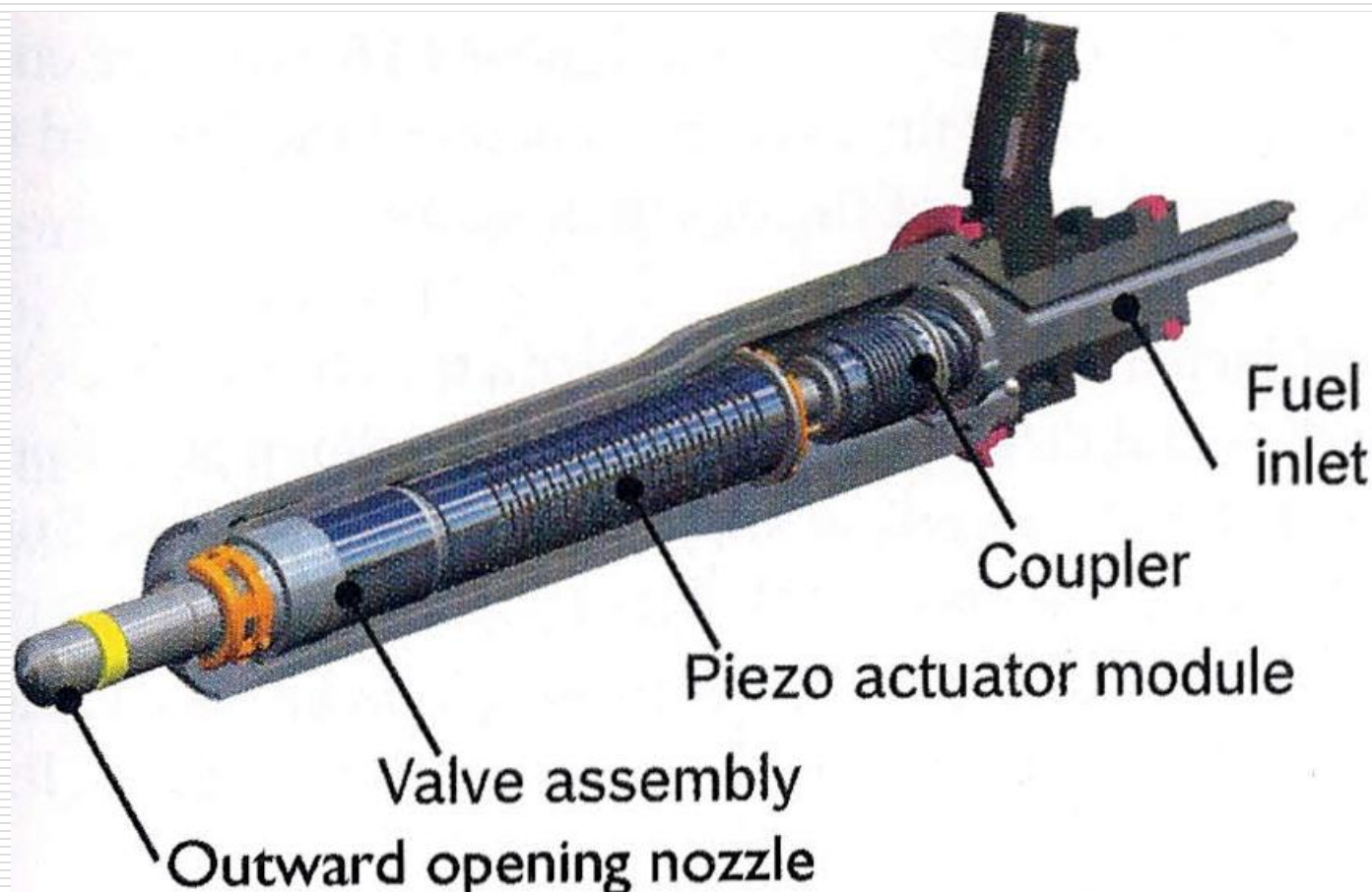
---

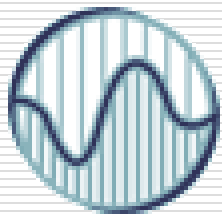
- ❑ Отварање и затварање одвија се брзо у функцији притиска у магистрали.
- ❑ Величина отвора кроз који се врши убрызгавање горива је константна током отворености брызгача.
- ❑ Притисак у магистрали, притисак у комори за сагоревање и време отворености брызгача одређује количину убрызганог горива.
- ❑ Атомизација горива у многоставној зависи од геометрије отвора кроз који се врши убрызгавање.





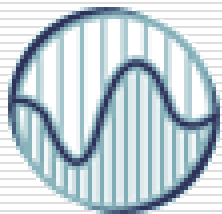
# Пієзоелектричні бризгачи





# Пиезоелектрични брызгачи

- ❑ Карактерише их веома кратко време реакције – до четири пута краће него код електромагнетних брызгача. Нпр. растојање од 80  $\mu\text{m}$  пређе за мање од 1000-ог дела секунде при чему остварује силу од 6300N.
- ❑ Имају краћи ход игле брызгача и омогућавају прецизнију регулацију.
- ❑ Обезбеђују веома добру атомизацију млаза горива, што их чини веома погодним за примену код слојевитог образовања смеше.
- ❑ Услед кратког времена отварања брызгача поновљивост је јако важна посебно када је потребно убрызгати мале количине горива.



# Пиезоелектрични брызгачи

---

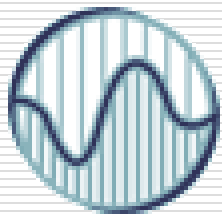
- ❑ Максимално померање које може да оствари зависи од дужине пиезо елемента и напона којим се побуђује. Код брызгача померање игле је око 30  $\mu\text{m}$ , при чему је дужина пиезо елемента 40 mm за притисак убрызгавања од 200 bar.
- ❑ Максимално померање као и време затварање се достиже након 200 $\mu\text{s}$ .
- ❑ Могуће је и делимично отварање млазнице.
- ❑ Брызгач има три групе делова који су постављени у линији:
  - Иглица брызгача,
  - Пиезо актуатор,
  - Компезациони елемент, спојница.





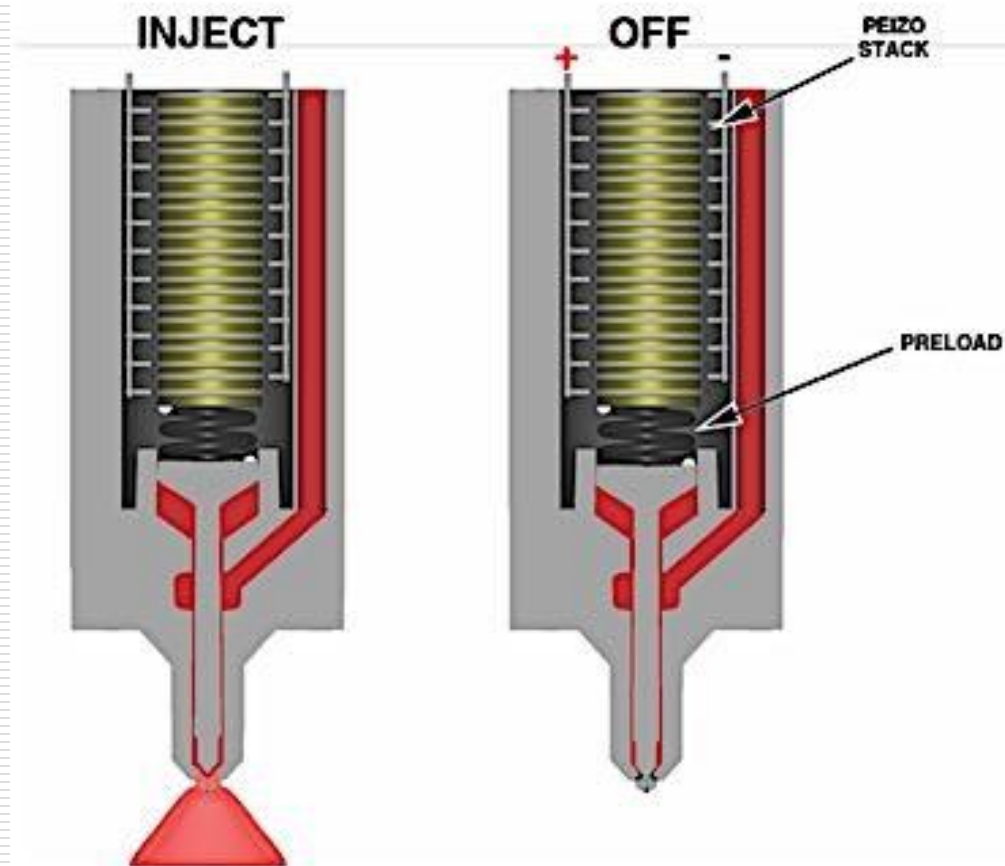
# Пиезоелектрични брызгачи

- Како се управљање кретањем иглице брызгача обавља директно преко пиезо елемента, нема кашњења.
- Утицај температуре представља проблем! Због различите температурне дилатације пиезо елемента и кућишта брызгача уграђује се компензациони елемент.
- Компензациони елемент се понаша као хидраулички компензатор који треба да има одговарајућу стишљивост како се не би догодио губитак померања игле у случајевима дужег времена отварања. Коришћењем компензационог елемента обезбеђено је констатно отварање игле у читавом температурном опсегу рада брызгача.



# Пиезоелектрични брызгачи

- С обзиром на то да пиезо керамички елемент не трпи напрезања, између пиезоелемента и иглице се поставља опруга чиме се током активирања пиезо елемента исти штити од оптерећења.



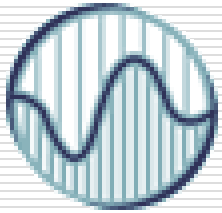


# Типови млазница

---

Испуњење захтева по питању остваривања смеше одговарајућег квалитета остварује се различитим типовима млазница:

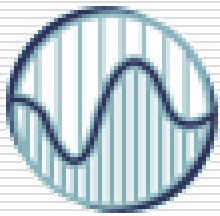
- ☐ Вртложна млазница са унутрашњим кретањем иглице бризгача,
- ☐ Млазница са више отвора са унутрашњим кретањем иглице бризгача,
- ☐ А – млазница са печуркастим вентилом и спољашњим кретањем иглице бризгача.



# Типови млазница – вртложна млазница

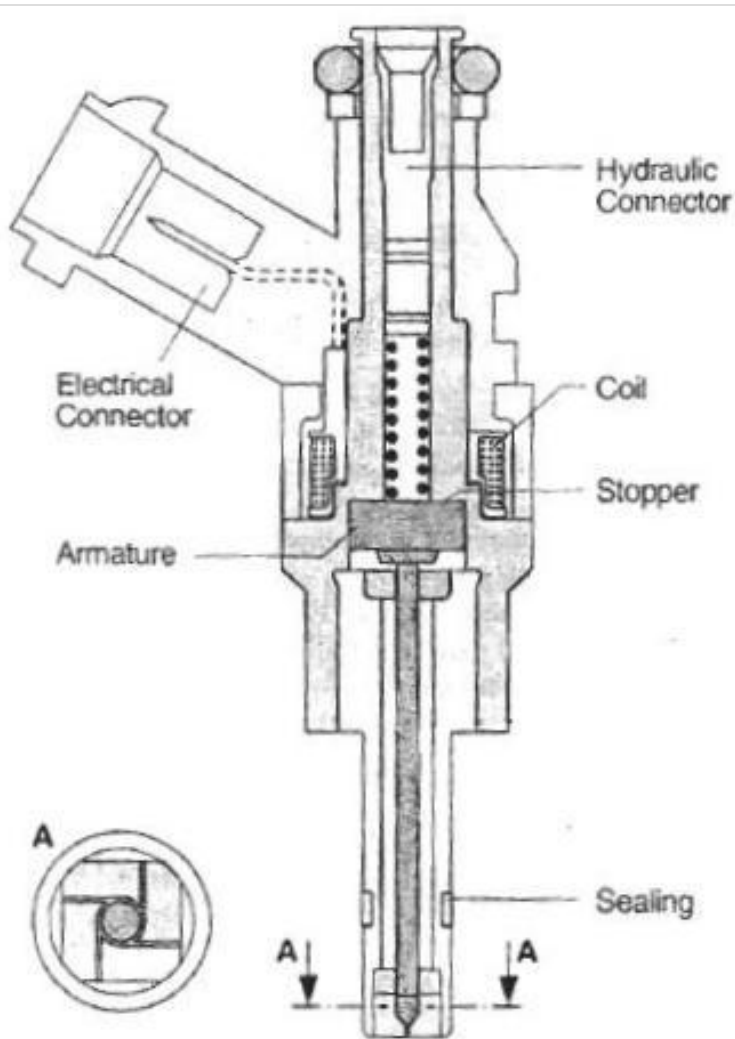
---

- ❑ Вртложна млазница се отвара кретањем иглице брызгача ка унутра. Отварање вентила који има генератор вртлога ради атомизације горива је електромагнетно.
- ❑ Облик и начин функционисања је сличан конвенционалним брызгачима као код мотора са убризгавањем у усисни колектор.
- ❑ Гориво у млазницу улази најпре аксијално а затим се усмерава тангенцијално како би се формирао вртлог.

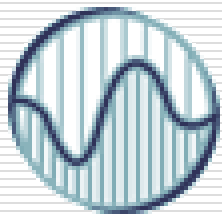


# Типови млазница – вртложна млазница

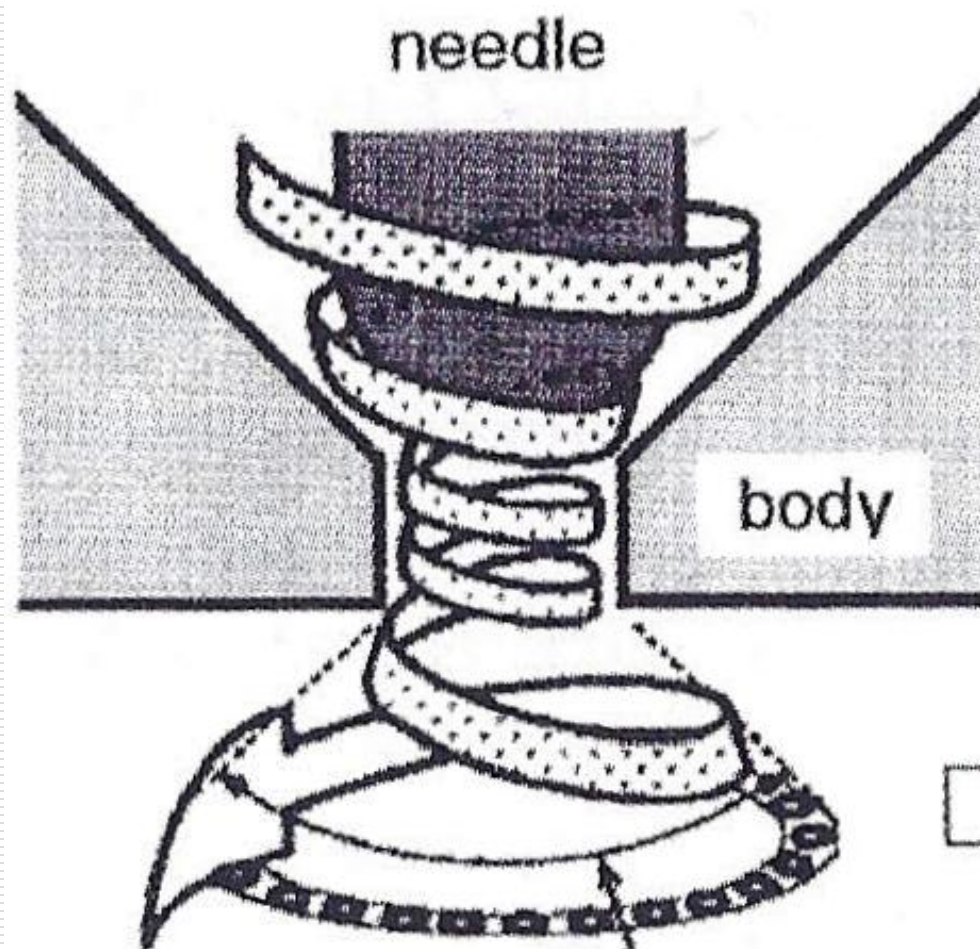
---



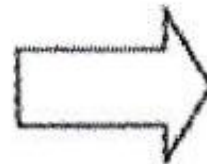
**Бризгач са вртложном  
млазницом**



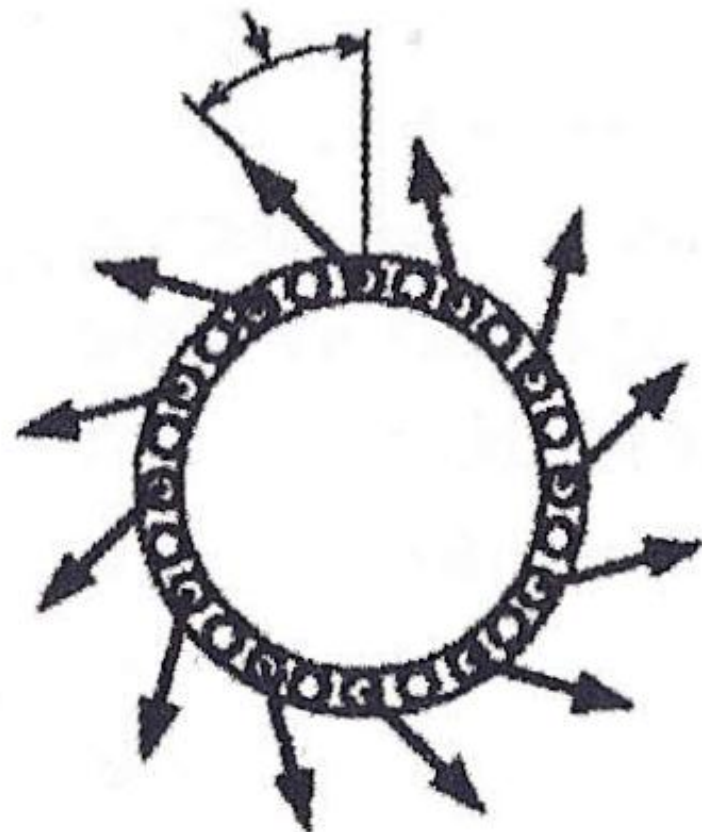
# Типови млазница – вртложна млазница

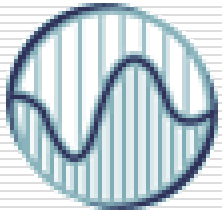


injection cone angle



swirl angle





# Типови млазница – вртложна млазница

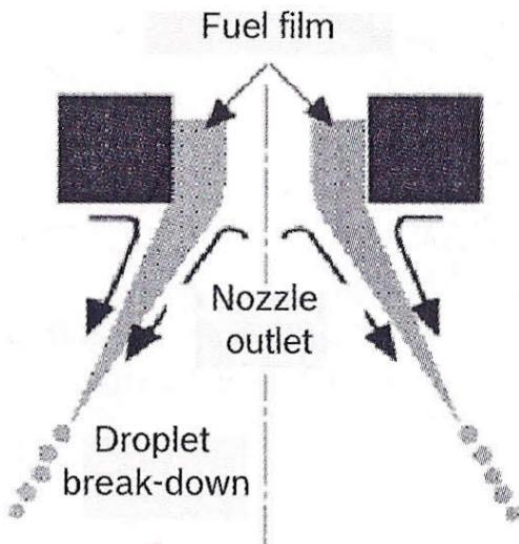
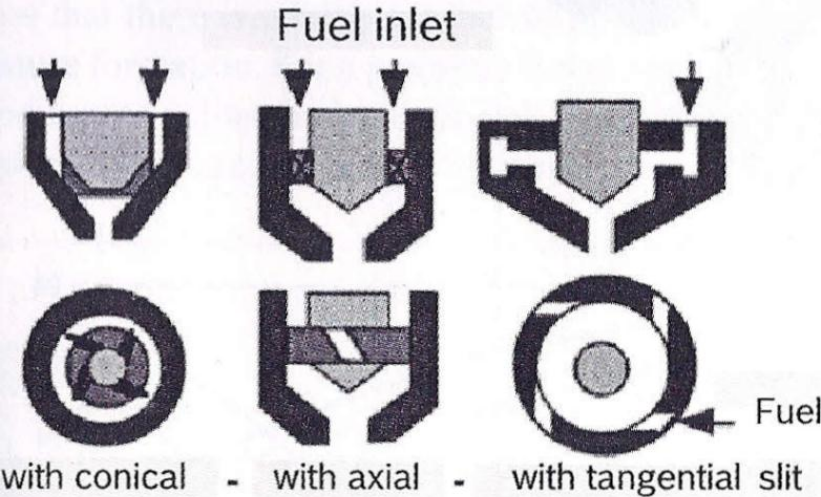
---

- ❑ Угао вртлога је мера аксијалног померања горива, док је угао конуса мера ширења млаза горива.
- ❑ Са друге стране аксијално кретање условљено је тангенцијалним кретањем. Ово узрокује смањење кинетичке енергије капљица горива у аксијалном смеру и смањење дубине продирања горива.
- ❑ Генератор вртложења је уграђен у млазницу у доњем току кретања горива.





# Типови млазница – вртложна млазница



За исти вртложни Рејнолдсов број (SRN) различити модели показују сличне карактеристике млаза.

Дизјан у коме се вртложење горива постиже бочним отворима са тангенцијалним прорезима су најлакши за производњу.

$$SRN = U \frac{r}{\mu}$$

Where:

$U$

Tangential speed of the swirl movement [m/s]

$r$

Swirl radius [m]

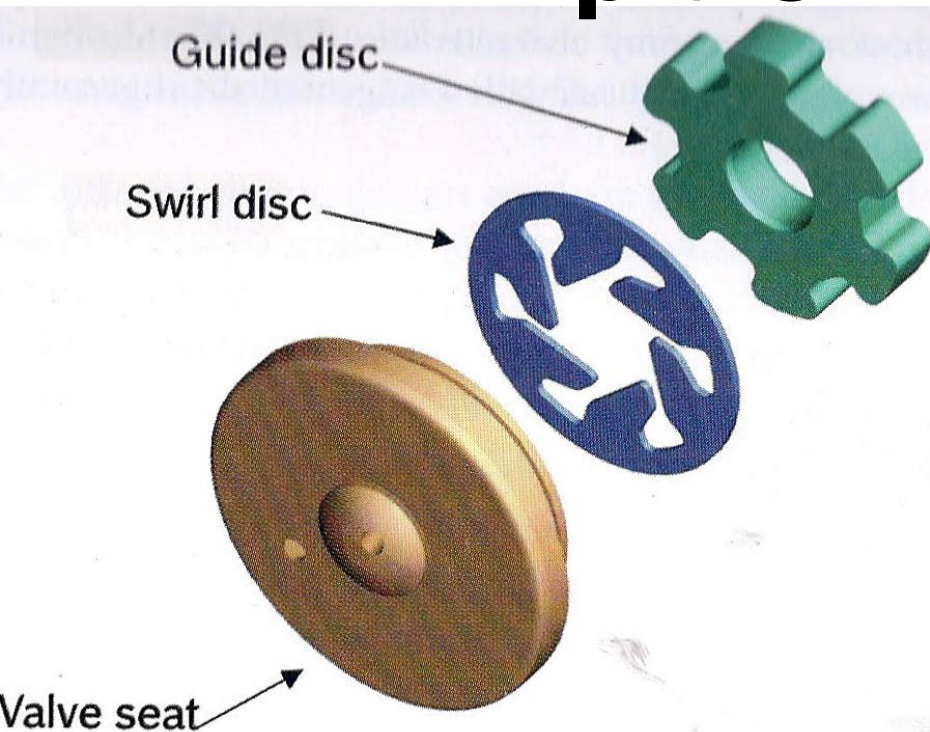
$\mu$

Viscosity [m/s<sup>2</sup>]



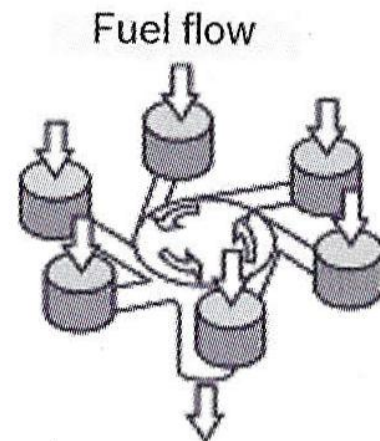
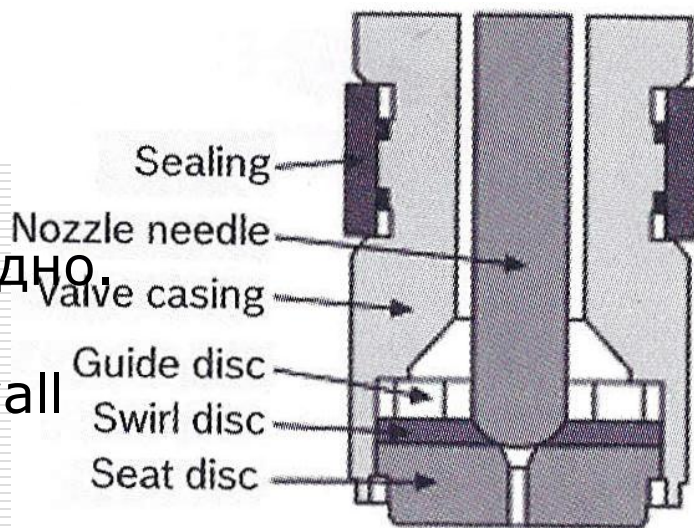


# Типови млазница – вртложна млазница



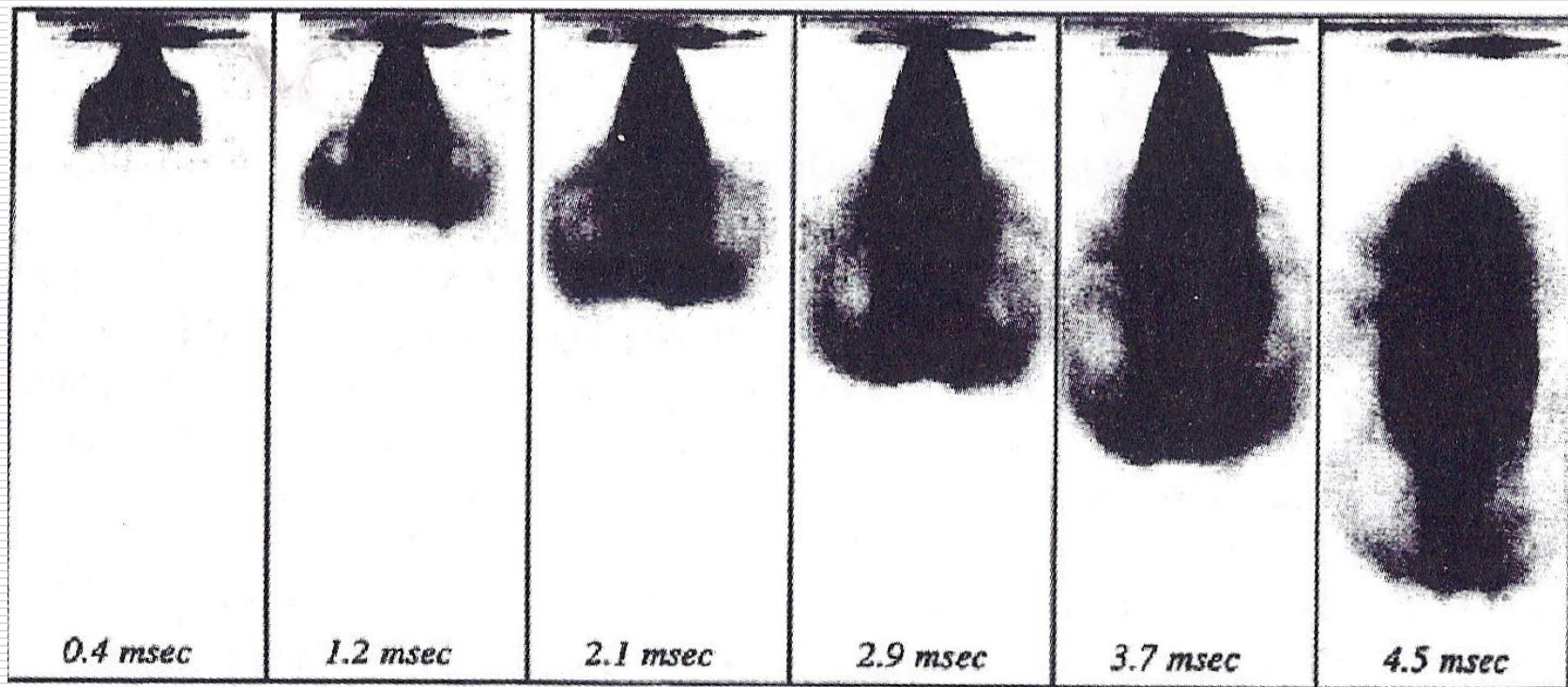
**Bosch**-модел (горе),  
формирање спреја је посредно.  
Погодно за формирање  
хомогене смеше, као и за wall  
guided и air-guided начина  
образовања смеше.

**Siemens** – модел (доле), сличне  
карактеристике.

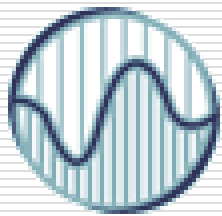




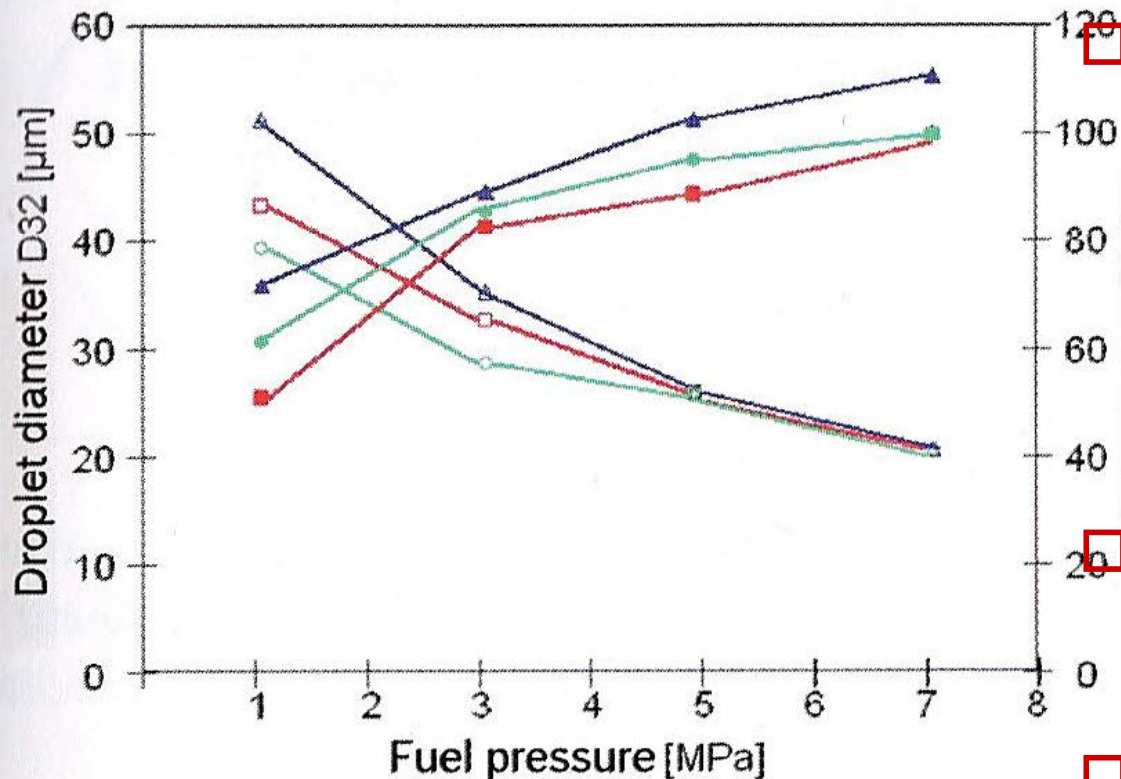
# Типови млазница – вртложна млазница



- ❑ Шупљи конус убризгавања је јасно видљив.
- ❑ Зид конуса је јако танак.
- ❑ Продужено убризгавање претвара конус у цилиндричну структуру што је је јасно изражено на последњој слици.



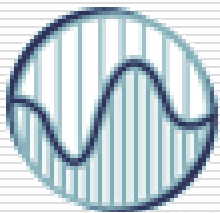
# Типови млазница – вртложна млазница



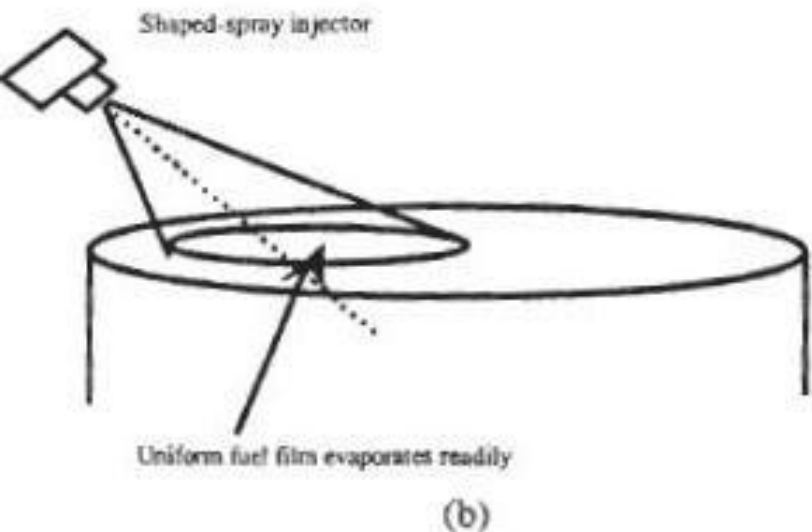
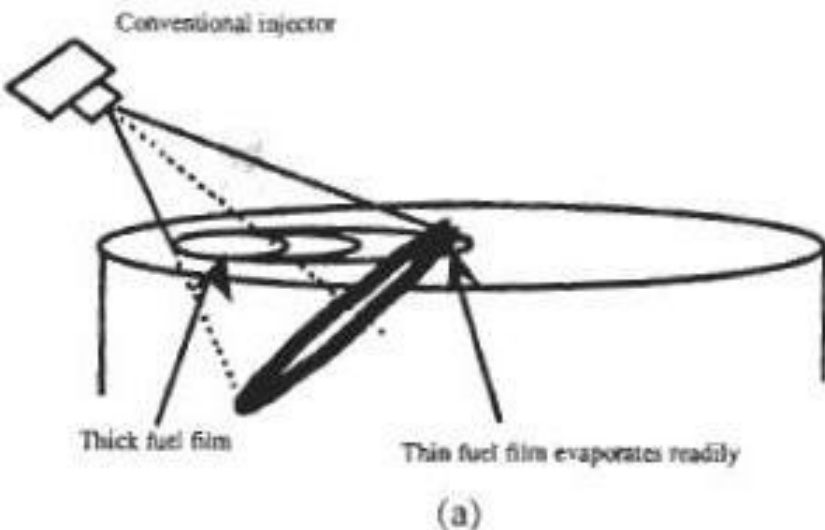
Spray angle [°]	Penetration depth	Droplet diameter
60		
70		
80		

- Током овог процеса притисак горива и угао млаза имају значајан утицај на пречник капљице и њихово продирање у дубину коморе за сагоревање.
- Величина капљице расте са смањењем притиска убризгавања.
- Дубина продирања смањује се са смањењем притиска убризгавања.





# Бризгач са обликованим млазом



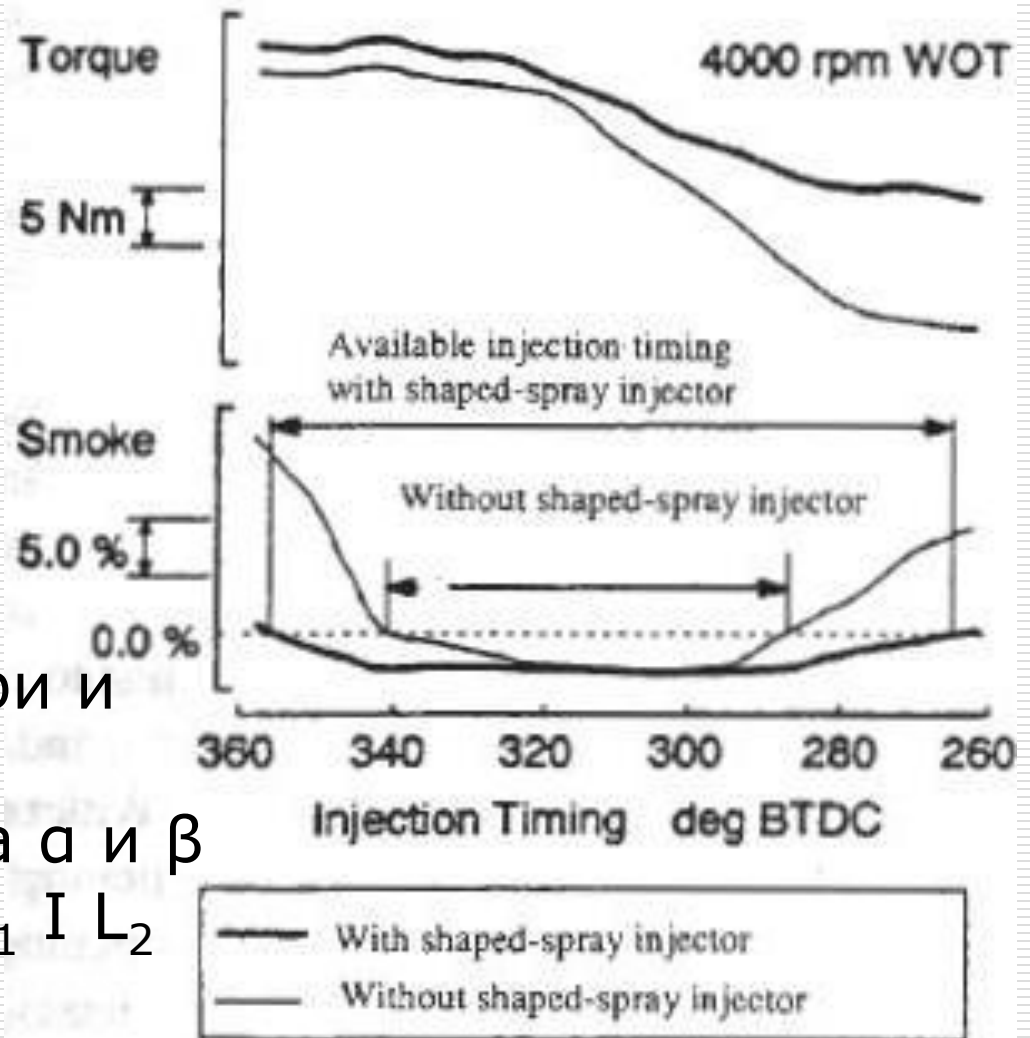
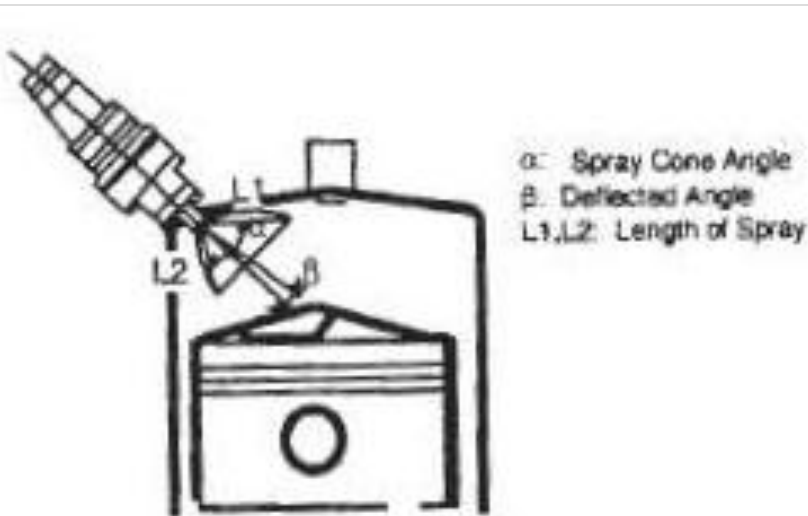
Код несиметрично постављених бризгача са конвенционалним конусним млазом јавља се неуниформни отисак филма горива на површини клипа, слика а)

Ово води значајном повећању НС.

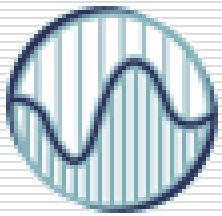
Како би се ово избегло на бризгачу се изводе модификације како би се добио униформни траг као на слици б)



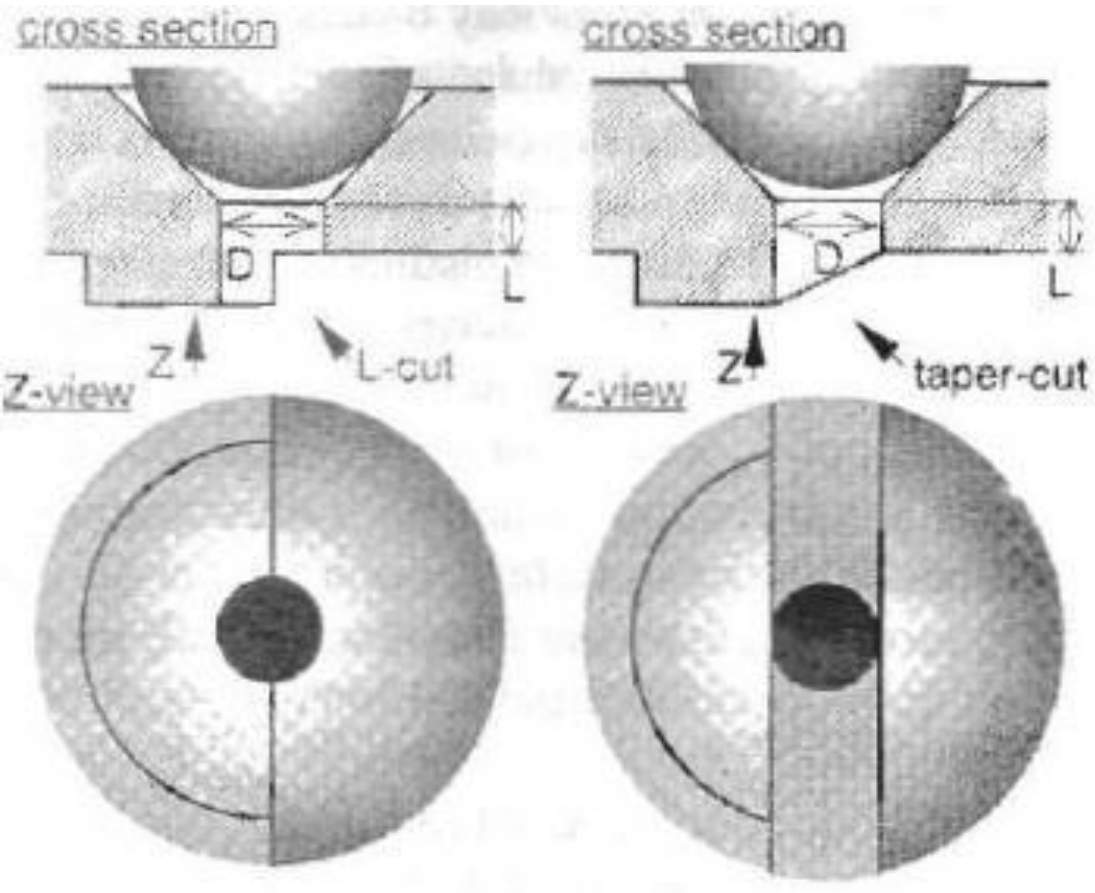
# Бризгач са обликованим млазом



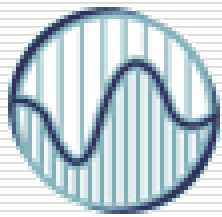
У овом случају параметри и карактеристике млаза дефинисане су угловима  $\alpha$  и  $\beta$  као и дужинама млаза  $L_1$  и  $L_2$



# Бризгач са обликованим млазом

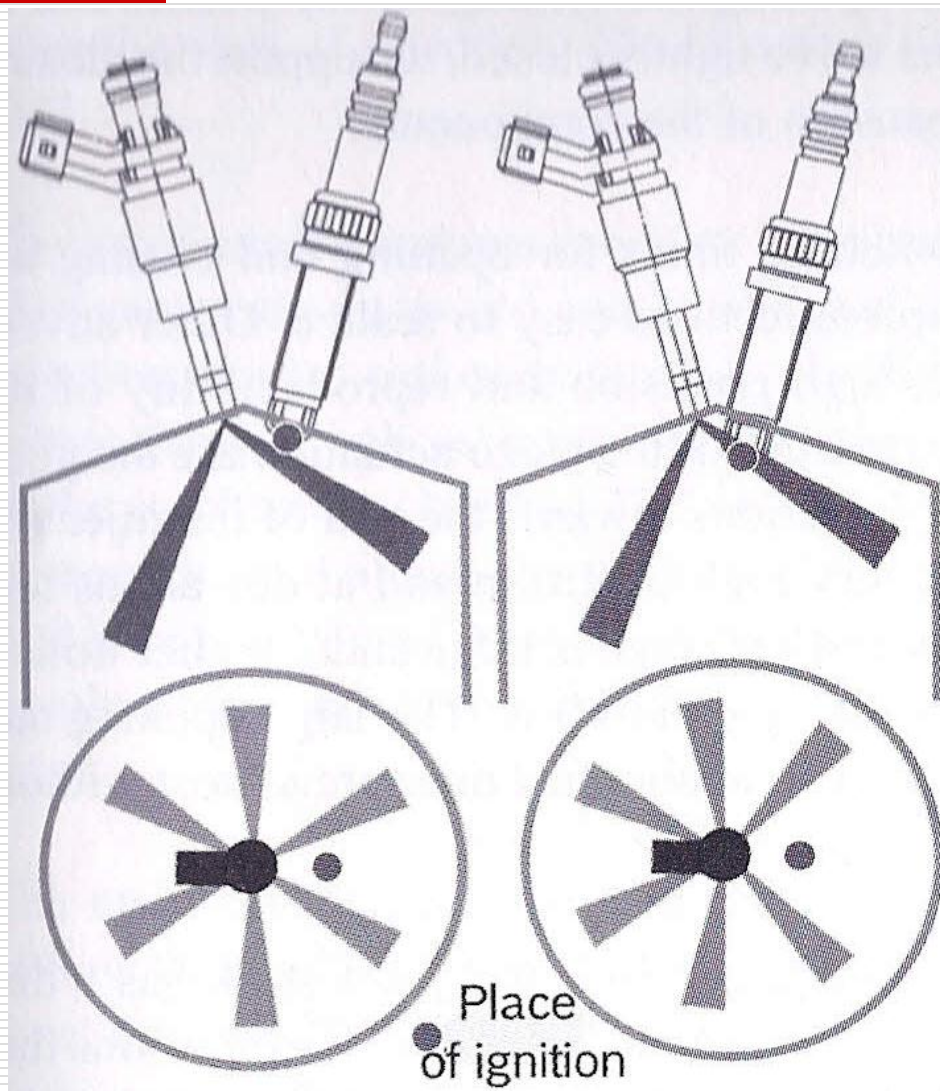


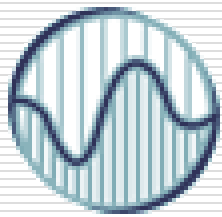
Карактеристична  
решења за добијање  
обликованог млаза  
L рез и конусни рез



# Типови млазница – млазница са више отвора

- ❑ Млазница са више отвора је конструкијски врло слична млазници за дизел моторе.
- ❑ Могуће је остварити високо флексибилани облик млаза са овим тимпом млазнице.
- ❑ Омогућава усмеравање млаза у жељене зоне ради смањења емисије издувних гасова или рецимо ради спречавања влажења свећице.





# Типови млазница – млазница са више отвора

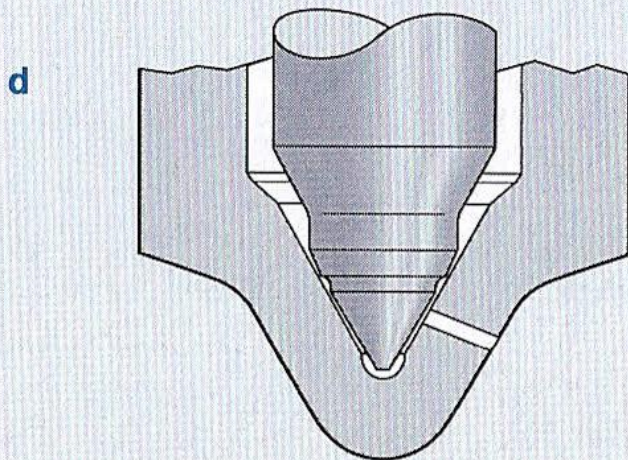
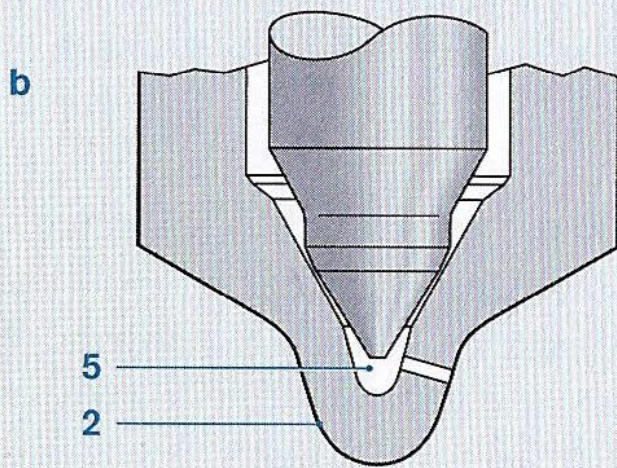
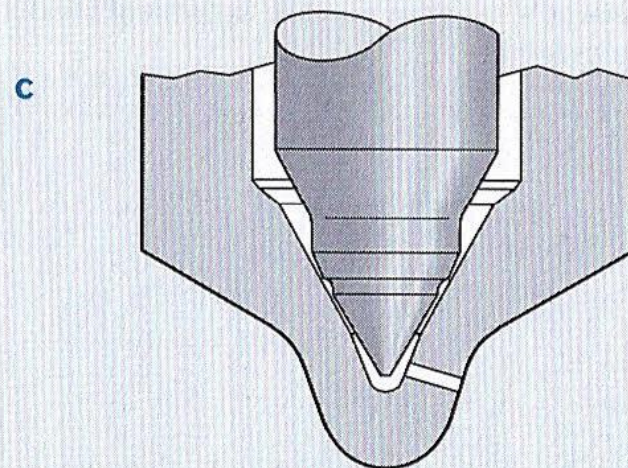
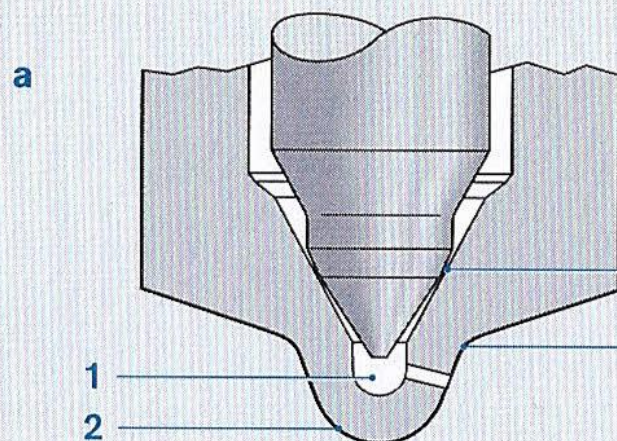
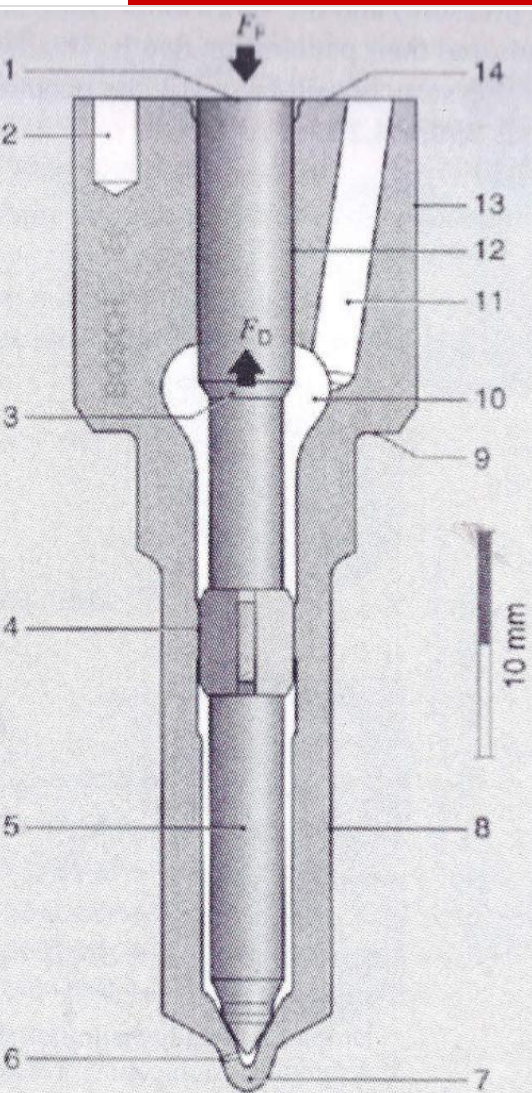
---

- ❑ Могу се наћи у варијанатама са 4 и 12 отвора.
- ❑ У зависности од дизајна увек је присутна мртва запремина између седишта иглице и отвора.
- ❑ Гориво које остане у овом простору испарава у комору за сагоревање или може да формира наслаге карбона што утиче на квалитет млаза.
- ❑ Геометрија отвора има утицаја на квалитет млаза.

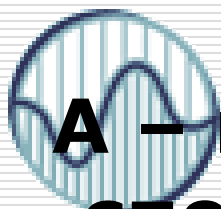




# Типови млазница – млазница са више отвора

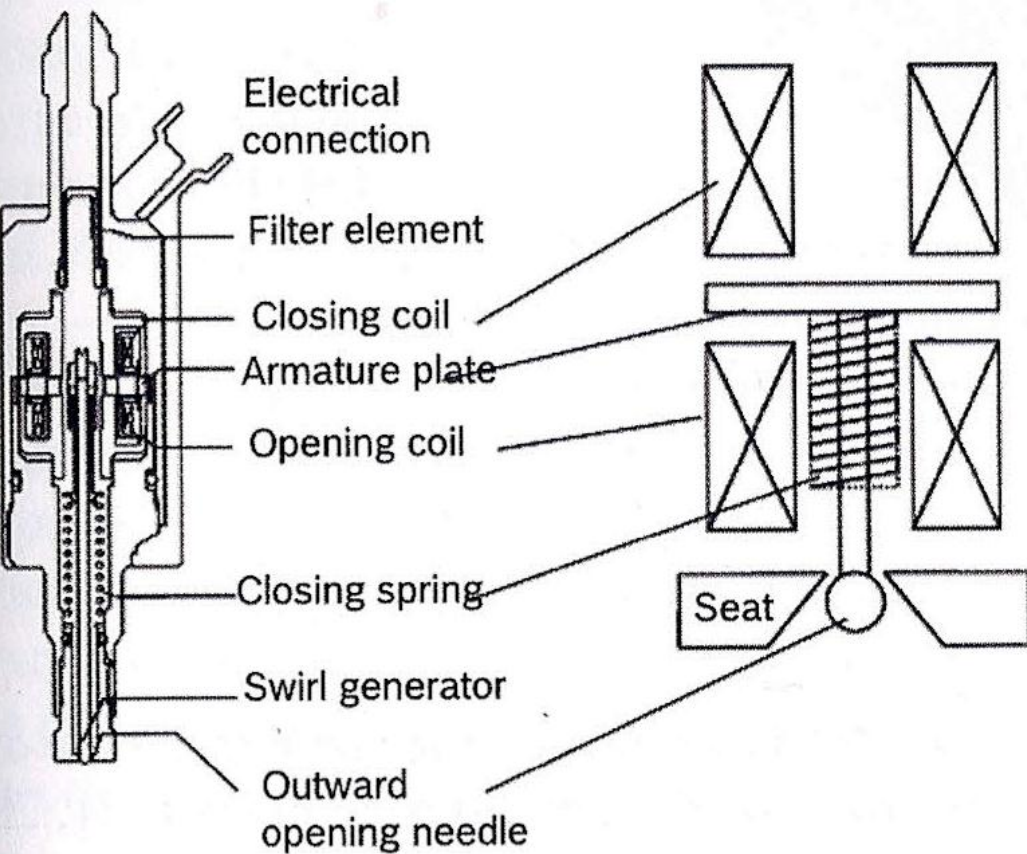






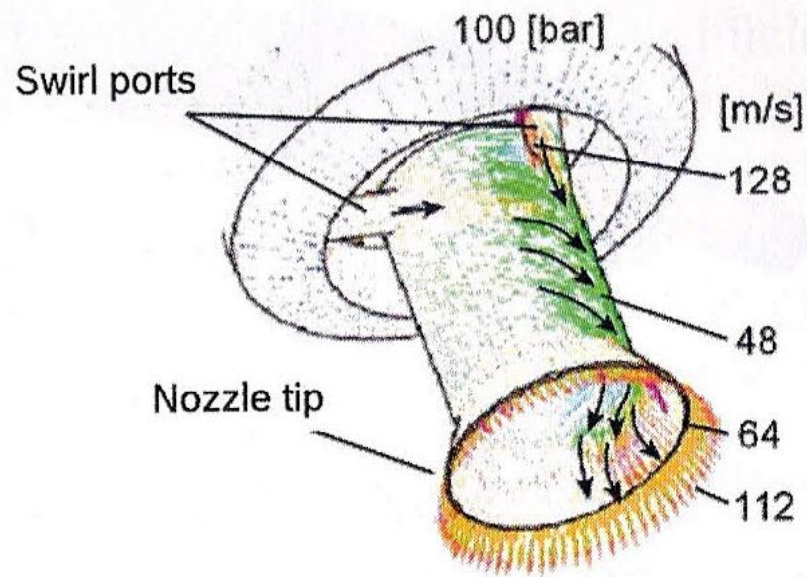
# Типови млазница –

## A – млазница са печуркастим вентилом и спољашњим кретањем иглице брызгача



a)

b)



c)



## Типови млазница –

### **A – млазница са печуркастим вентилом и спољашњим кретањем иглице бризгача**

---

- ☐ Ова врста млазница ствара кружни облик отвора када се помери иглица бризгача.
- ☐ Ово омогућава излазак горива са веома танким зидом и веома добру атомизацију горива великом брзином.
- ☐ Униформни шупљи конус млаза омогућава веома добре карактеристике.
- ☐ Млаз је практично неосетљив на притисак у комори за сагоревање.
- ☐ Дебљина млаза одређена је дужином кретања иглице бризгача.
- ☐ Величина капљице може се додатно смањити применом генератора вртлога.



## Типови млазница –

# А – млазница са печуркастим вентилом и спољашњим кретањем иглице бризгача

---

- ❑ Иглица бризгача је током рада изложена високим температурама.
- ❑ Са друге стране ризик од карбонизације и стварања других наслага је мањи него код претходних решења.
- ❑ Кретање иглице бризгача на овај начин има ефекат чишћења.
- ❑ Овај бризгач може бити управљан или електорманетом, уз помоћ два магнета, један за отварање други за затварање (опруга служи да обезбеди сигурно затварање и температурну компензацију) или пиезоелектрично.



## Типови млазница –

### **A – млазница са печуркастим вентилом и спољашњим кретањем иглице бризгача**

---

#### **Пиезо бризгач са A – млазницом и спољашњим кретањем иглице бризгача**

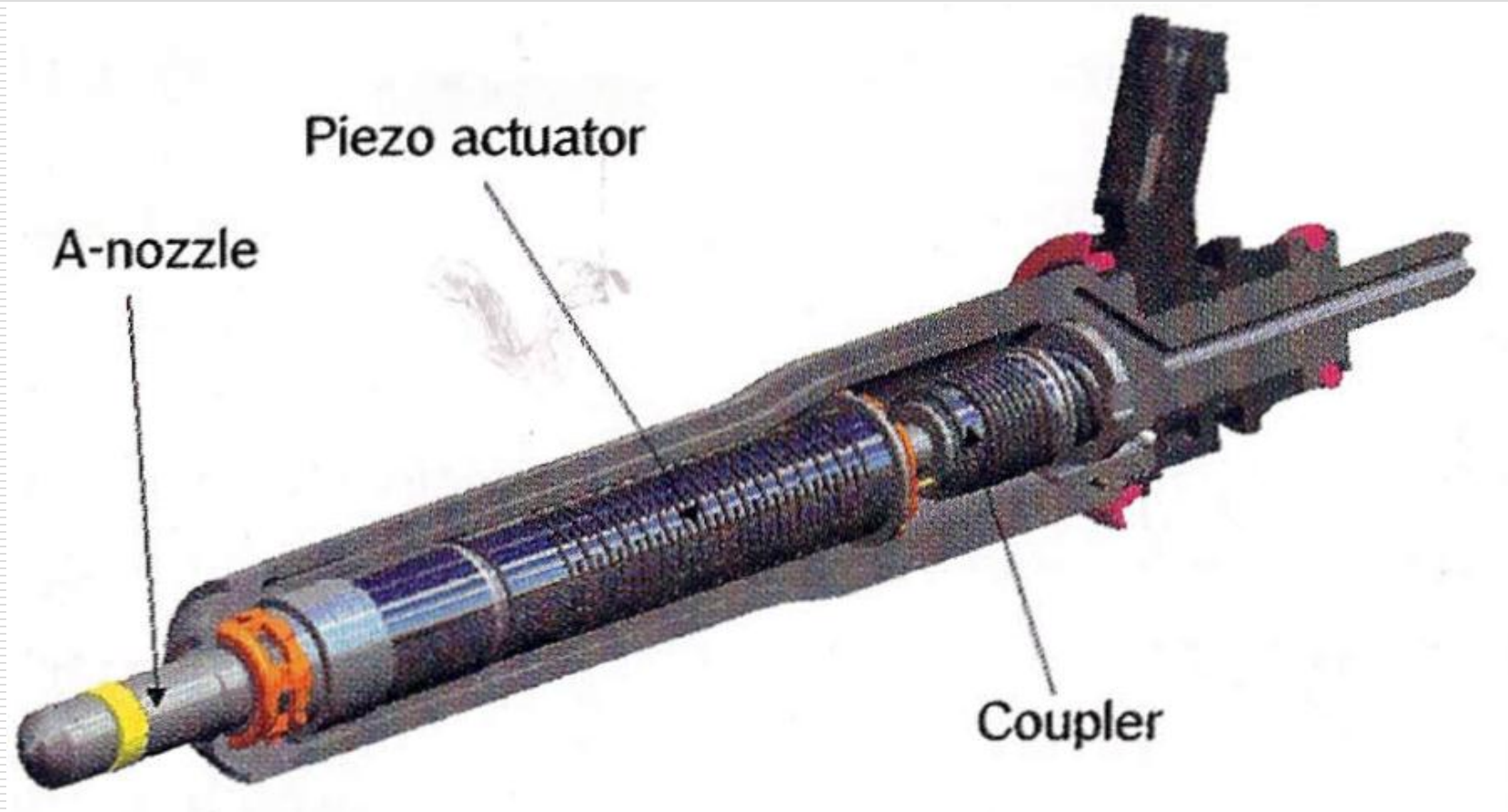
- ☐ Време отварања је мање од 0,2 ms што омогућава вишеструка убризгивања.
- ☐ Има директно управљање иглицом бризгача.
- ☐ Високу прецизност и поновљивост.
- ☐ Нема пост убризгавања.
- ☐ Количина убризганог горива се креће у границама од 2%.
- ☐ Проблем – температурна дилатација и цена!
- ☐ Веома погодни за рад слојевитом смешом, образовање млазом.



## Типови млазница –

**A – млазница са печуркастим вентилом и спољашњим кретањем иглице брызгача**

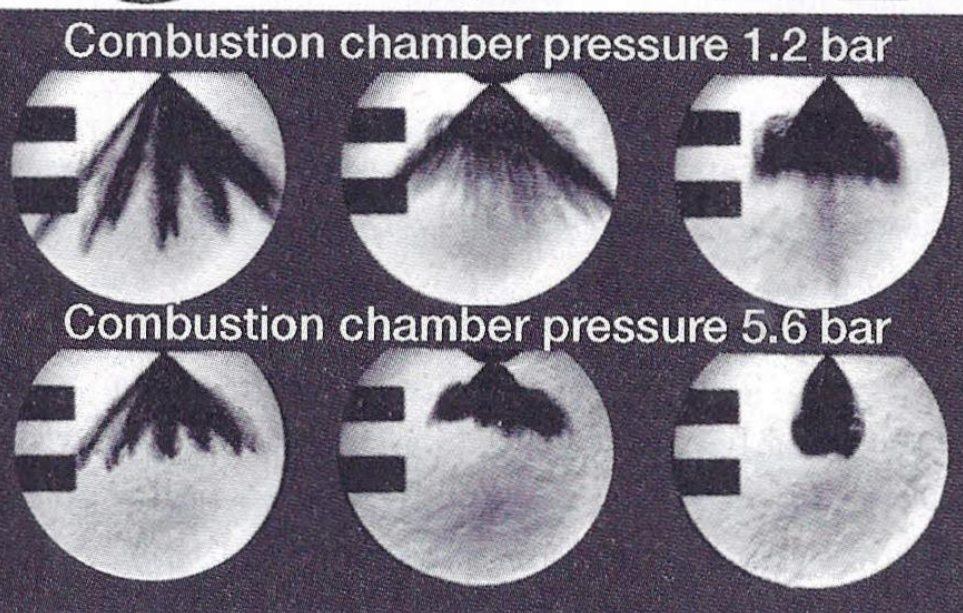
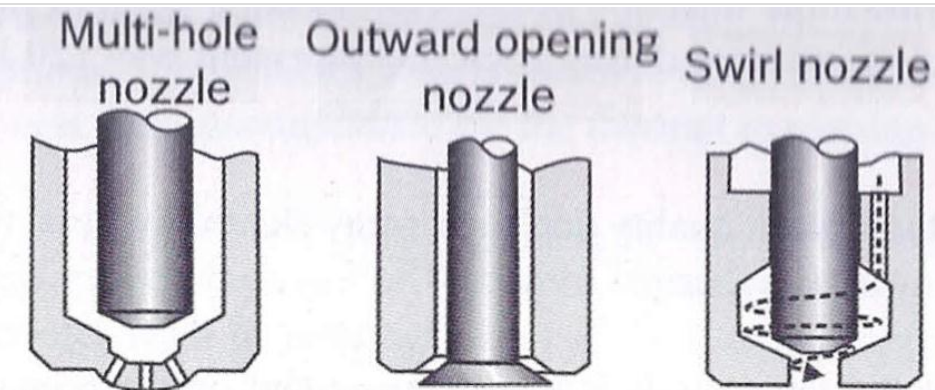
---







# Поређење различитих типова брызгача

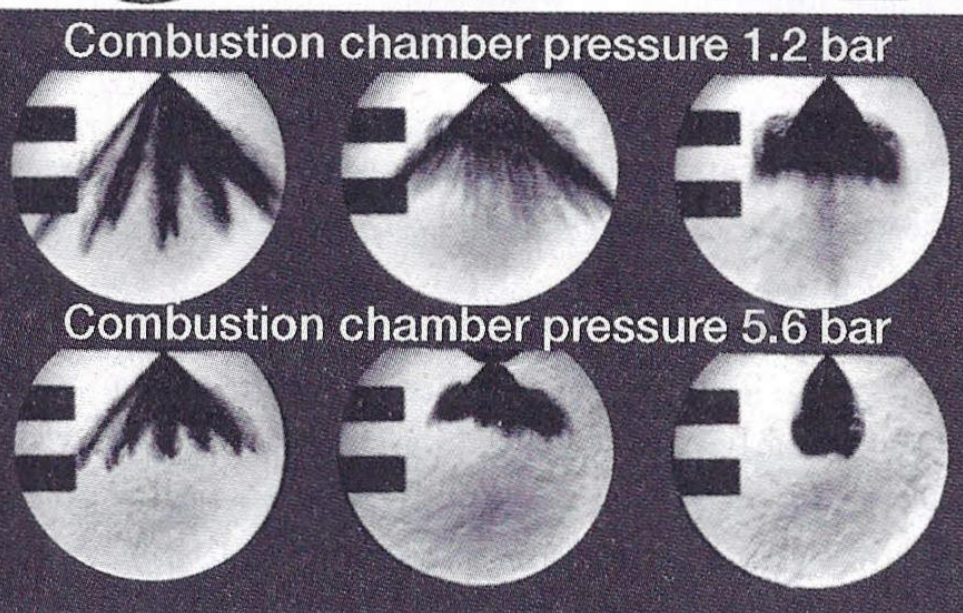
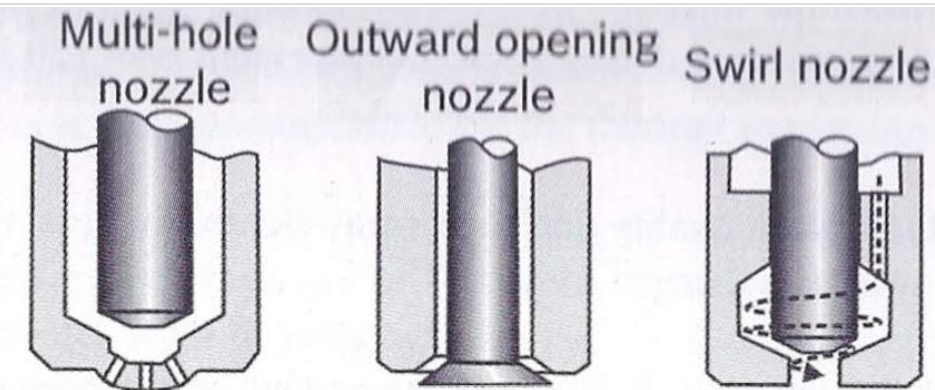


- Притисак убризгавања код сва три брызгача је **120 bar**

**Вртложни брызгач** има одличан квалитет атомизације горива и високу флексибилност млаза. Релативно је отпоран на нечистоће и механички и топлотни утицај. Релативно јефтини за производњу. Облик млаза је веома завистан од притиска у комори за сагоревање. Намена: хомогена смеша и слојевита са wall-guided начином образовања смеше.



# Поређење различитих типова брызгача



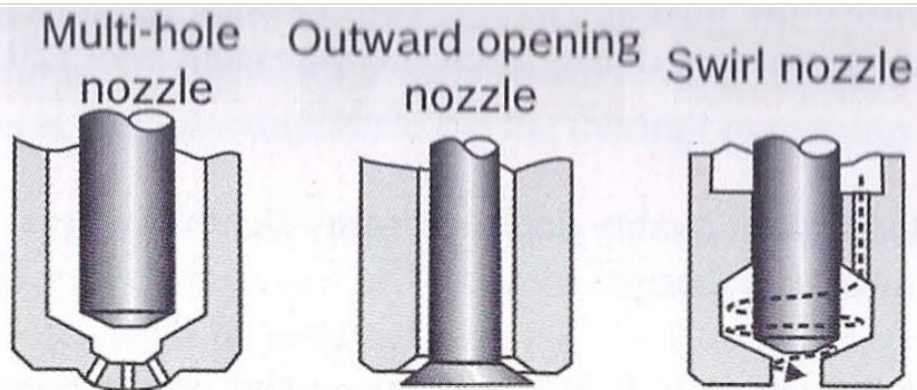
□ Притисак убризгавања код сва три брызгача је **120 bar**

**А-брызгач.** Главна предност је могућност генерисања униформног шупљег конуса. На угао млаза не утиче притисак у комори за сагоревање. Са друге стране квалитет млаза је много мањи него код вртложног брызгача. Примена пиезо брызгача омогућава вишеструка убризгавања. Примена, код образовања смеше млазом са притисцима и значајно вишим од 200 bar.

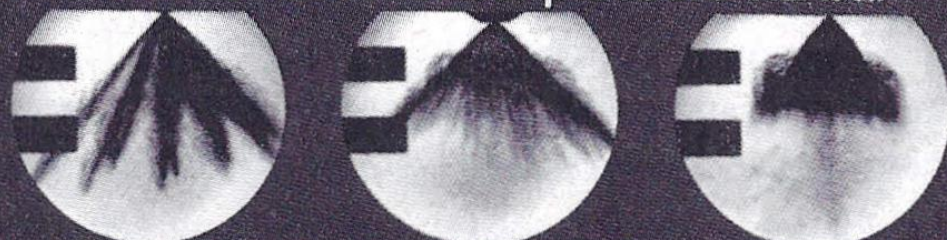




# Поређење различитих типова брызгача



Combustion chamber pressure 1.2 bar



Combustion chamber pressure 5.6 bar



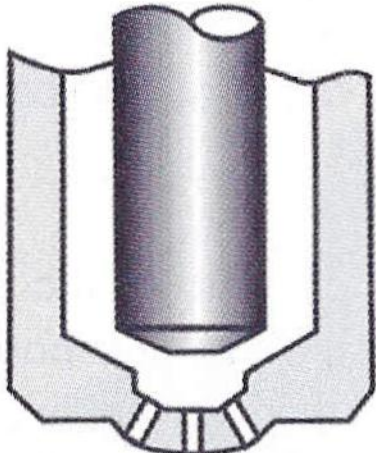
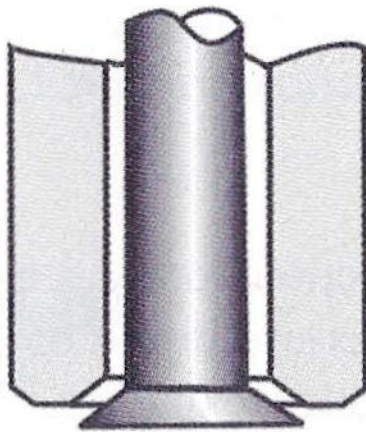
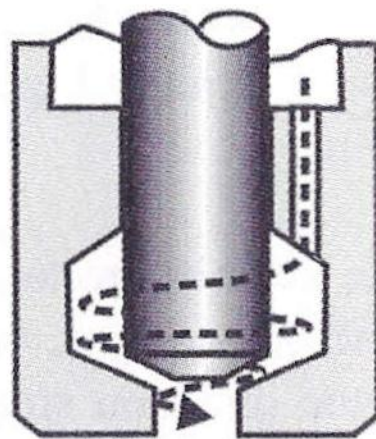
□ Притисак убризгавања код сва три брызгача је **120 bar**

**Брызгач са више отвора.**

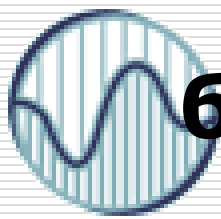
Нема адекватан квалитет атомизације горива и хомогенизација се остварује само делимично. Богата смеша се остварује непосредно уз зону са сиромашном смешом што узрокује флукуацију брзине пламена. Адекватним положајем отвора са, друге стране, могу се добити добре карактеристике рада мотора.



# Поређење различитих типова брызгача

	Multi-hole Nozzle	Outward Opening Nozzle	Swirl Nozzle
			
Criterion			
Flexibility of spray shape	++	+	+
Possibility of spray inclination	+	—	++
Quality of preparation at system pressure of 10 Mpa	—	○	++
Resistance to carbonization	—	++	+

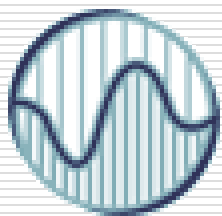




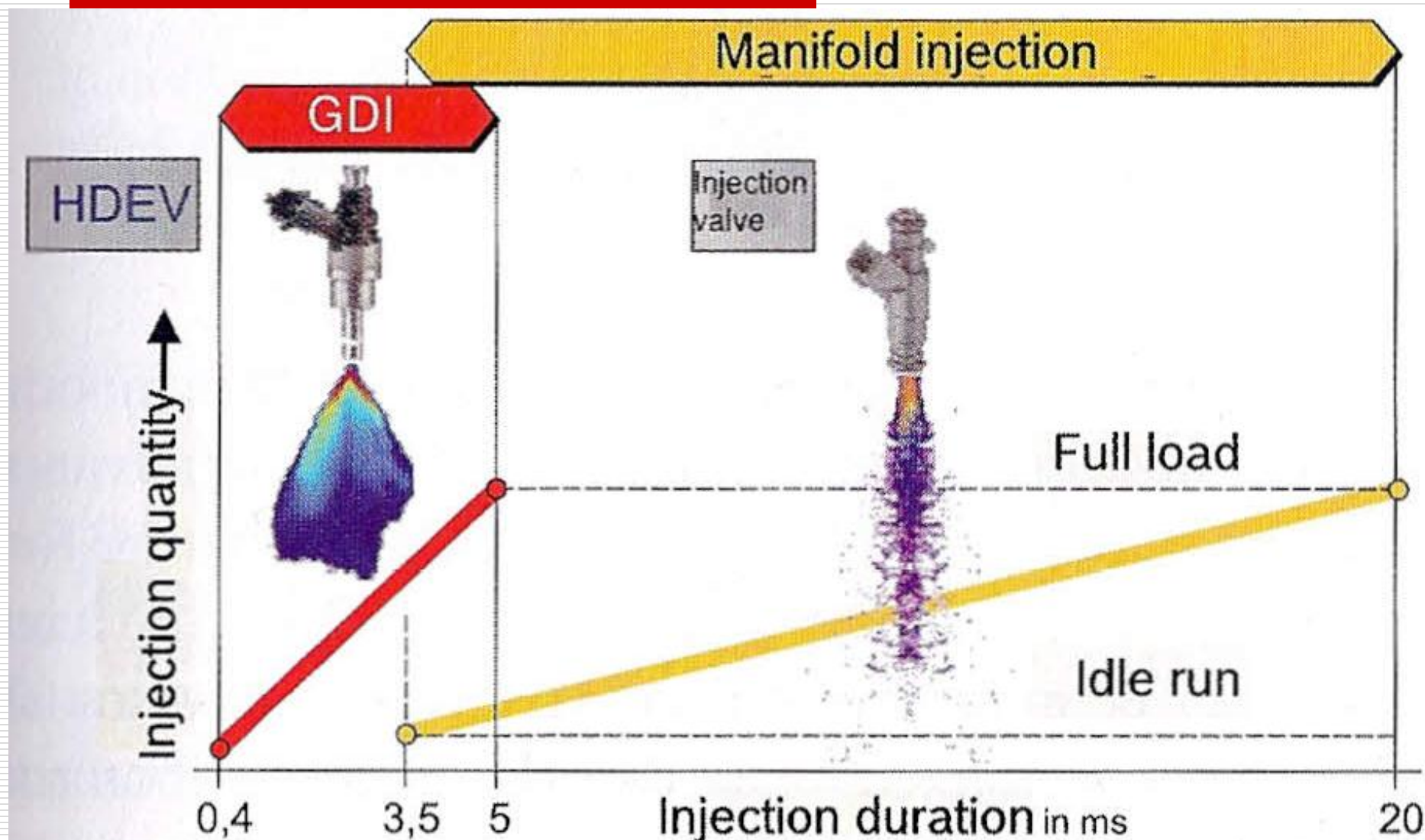
# Поређење различитих типова брызгача у односу на образовање смеше у усисном колектору

Combustion process	Performance					Quantitative		Application effort
	Consumption	Emissions			Costs	Consumption	Particulate	
		HC	NO <sub>x</sub>	Particulate				
Homogeneous, stoichiometric and lean, lateral mounting also with supercharging	+	+	0	-	+	-2 %	+50 %	0
Stratified, wall-guided lateral mounting, swirl valve	++	-	-	---	+	-8 %	+400 %	0 / -
Stratified, spray-guided central mounting, multi-hole nozzle	+++	-	-	--	0	-13 %	+200 %	-
Stratified, spray-guided central mounting, A-nozzle, possibly with supercharging	+++	+	--	-	--	-15 %	+50 %	-- / ---
+++ very good (little effort) ,      0 neutral (neutral effort) , --- less good (high effort) ,      as against homogeneously operating gasoline engines with manifold injection								

Ако се посматра однос цена-квалитет, брызгачи код којих се млазом врши образовање смешом и који су електромеханички активирани чине најбоље решење у овом тренутку.



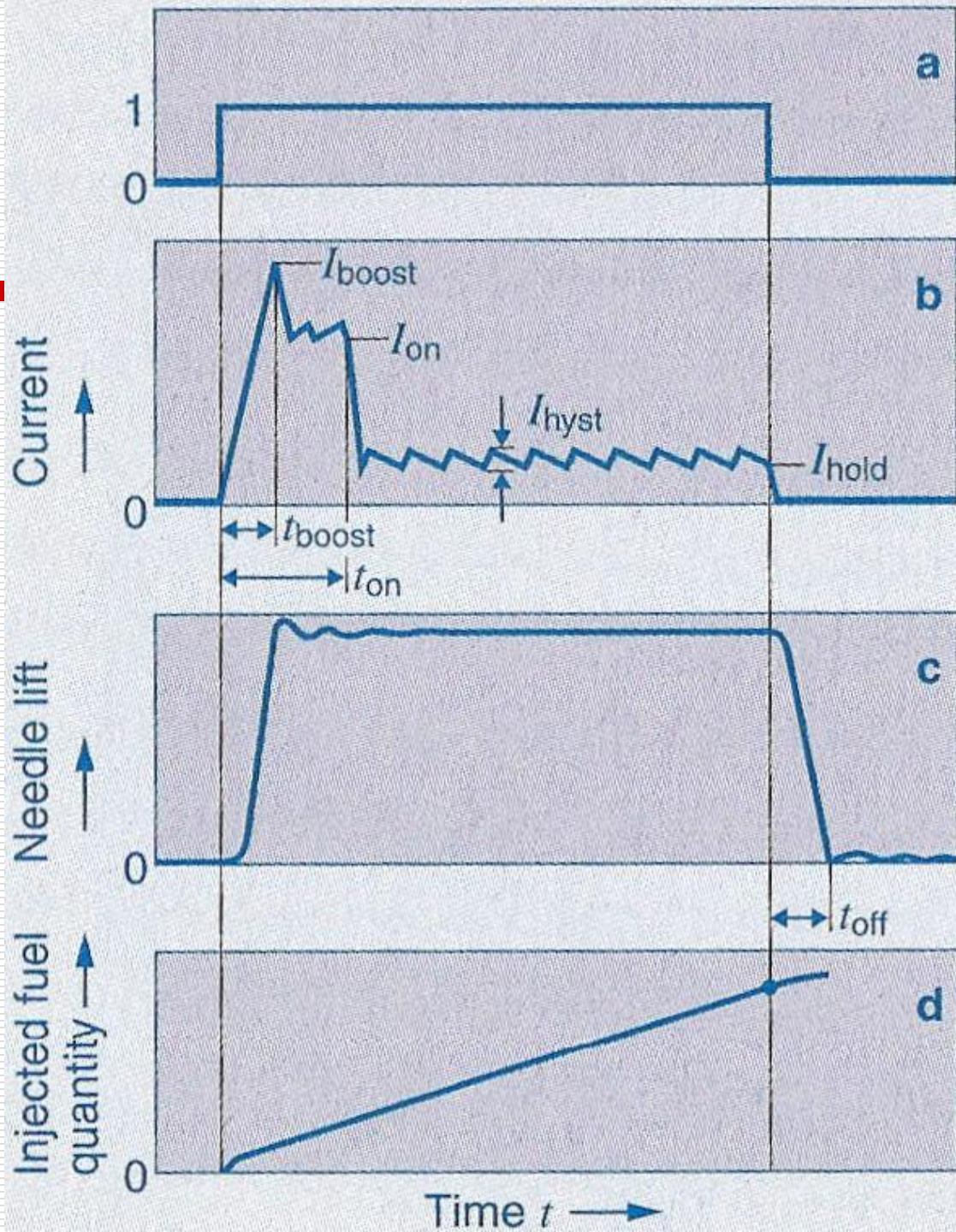
# Поређење GDI и PFI бризгача







# Сигнал за активирање бризгача



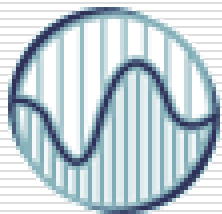


# Вишеструка убризгавања

---

- ❑ Строги захтеви по питању прецизне регулације убризгане количине горива, квалитетног формирање смеше и емисије издувних гасова често се не могу остварити једноструким убризгавањем горива.
- ❑ Вишеструким убризгавањем на делимичним оптерећењима у раду са слојевитом смешом избегава се стварање зона са превише богатом или превише сиромашном смешом које воде или до стварања чађи или до повећања емисије HC и CO.
- ❑ Пиезо бризгачима, захваљујући њиховим карактеристикама, могуће је извршити вишеструка убризгавања горива током једног циклуса.

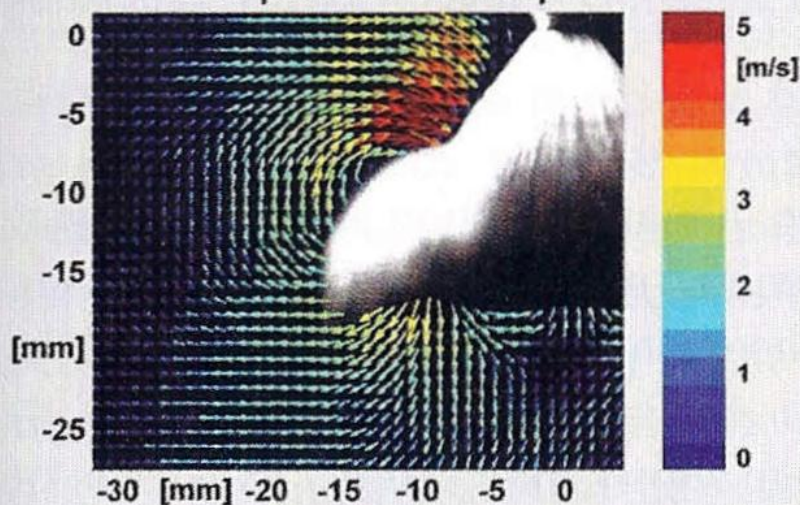




# Вишеструка убризгавања - предности-

Very good primary preparation through air-entrainment

Low penetration depth

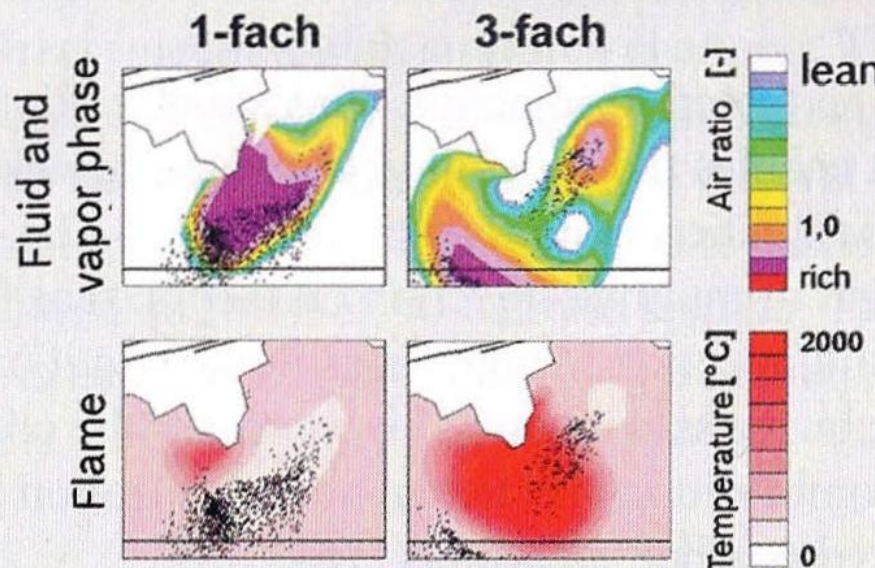


Locally stable rim vortex



Throttling

Better mixture preparation  
and inflammation with  
multiple injection

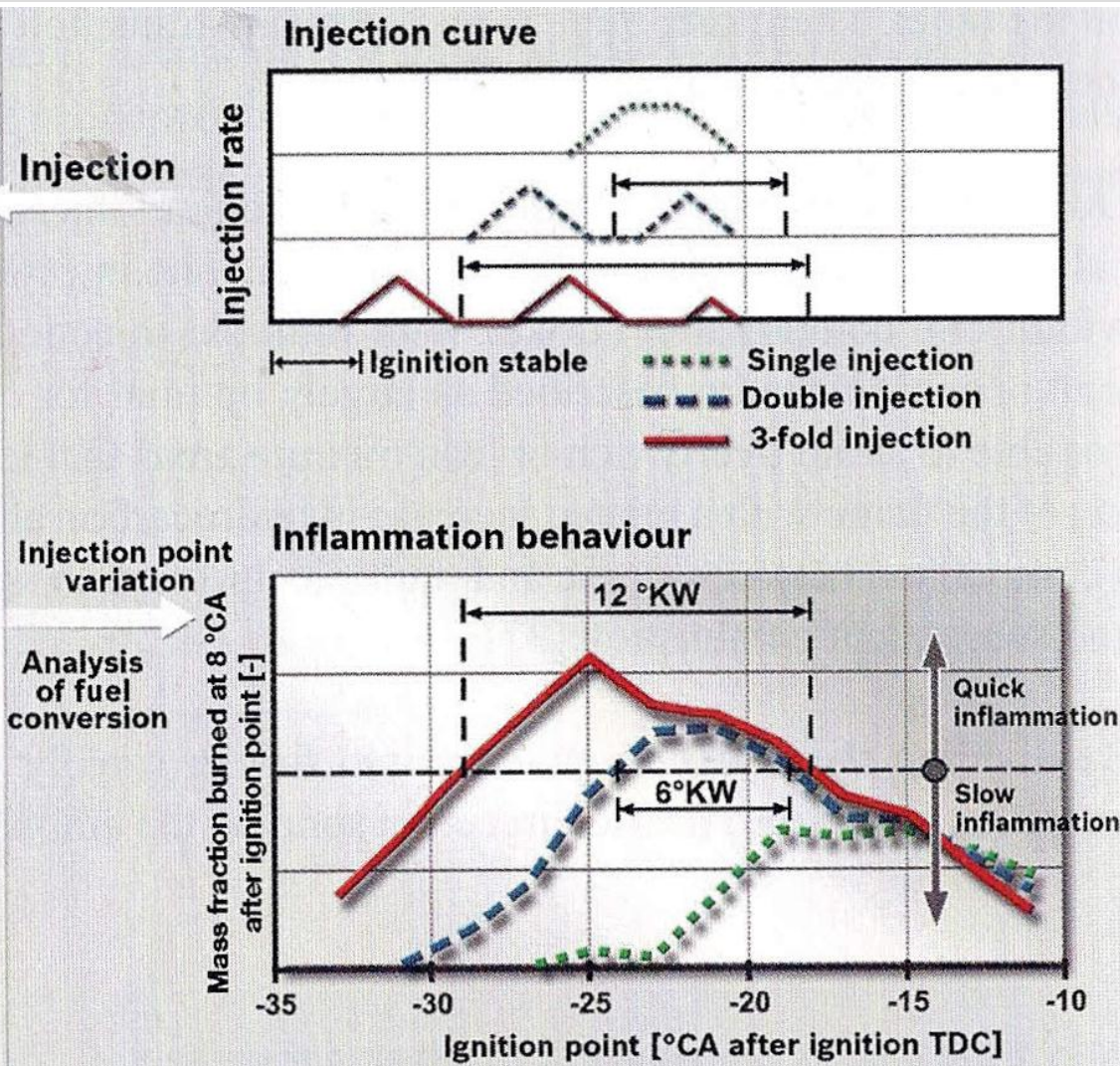
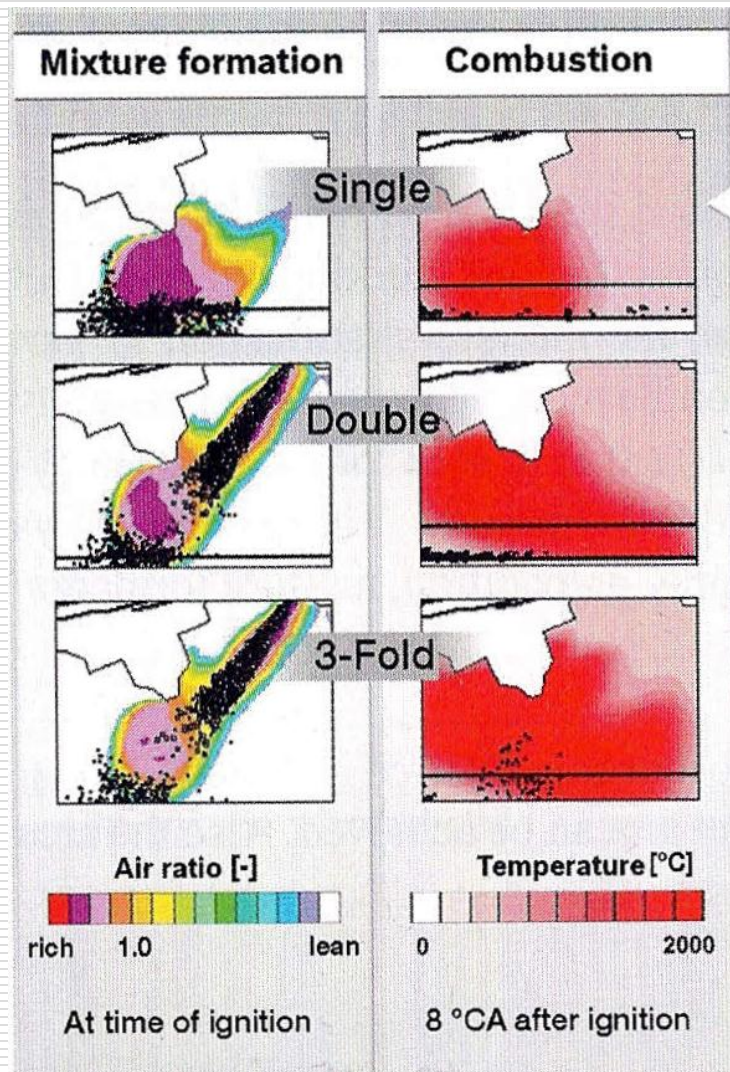


End of injection 20 °CA before ignition TDC  
Intake point 6 °CA after injection point

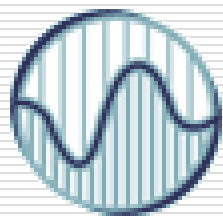




# Вишеструка убризгавања - предности -







# Вишеструка убризгавања

## - у циљу грејања катализатора-

