

Висока школа електротехнике и  
рачунарства струковних студија

# ДИЈАГНОСТИКА СИСТЕМА УБРИЗГАВАЊА ДИЗЕЛ МОТОРА

---

Дијагностика система дизел мотора

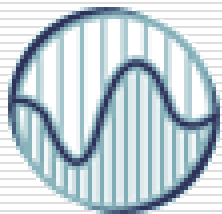
- Усисног система
- Система ДУ – непосредног дејства – акумулаторски систем



# Дијагностика система дизел мотора

---

- ❑ У циљу развоја напредних дијагностичких метода за утврђивње стања дизел мотора може се користи модуларна структура која се базира на доступним улазним и излазним сигнаlima из ЕУЈ и садржи актуаторе и сензоре.
- ❑ Овај метод подразумева формирање тзв. модула за детекцију који на основу читања сигнала повезаних компоненти врши детекцију грешке рада система.
- ❑ Логика овог система се заснива на томе да на основу очитаних параметара рада система генерише симптоме као девијацију у односу на функционисање предметног система без грешке за дате услове рада.



# Дијагностика система дизел мотора

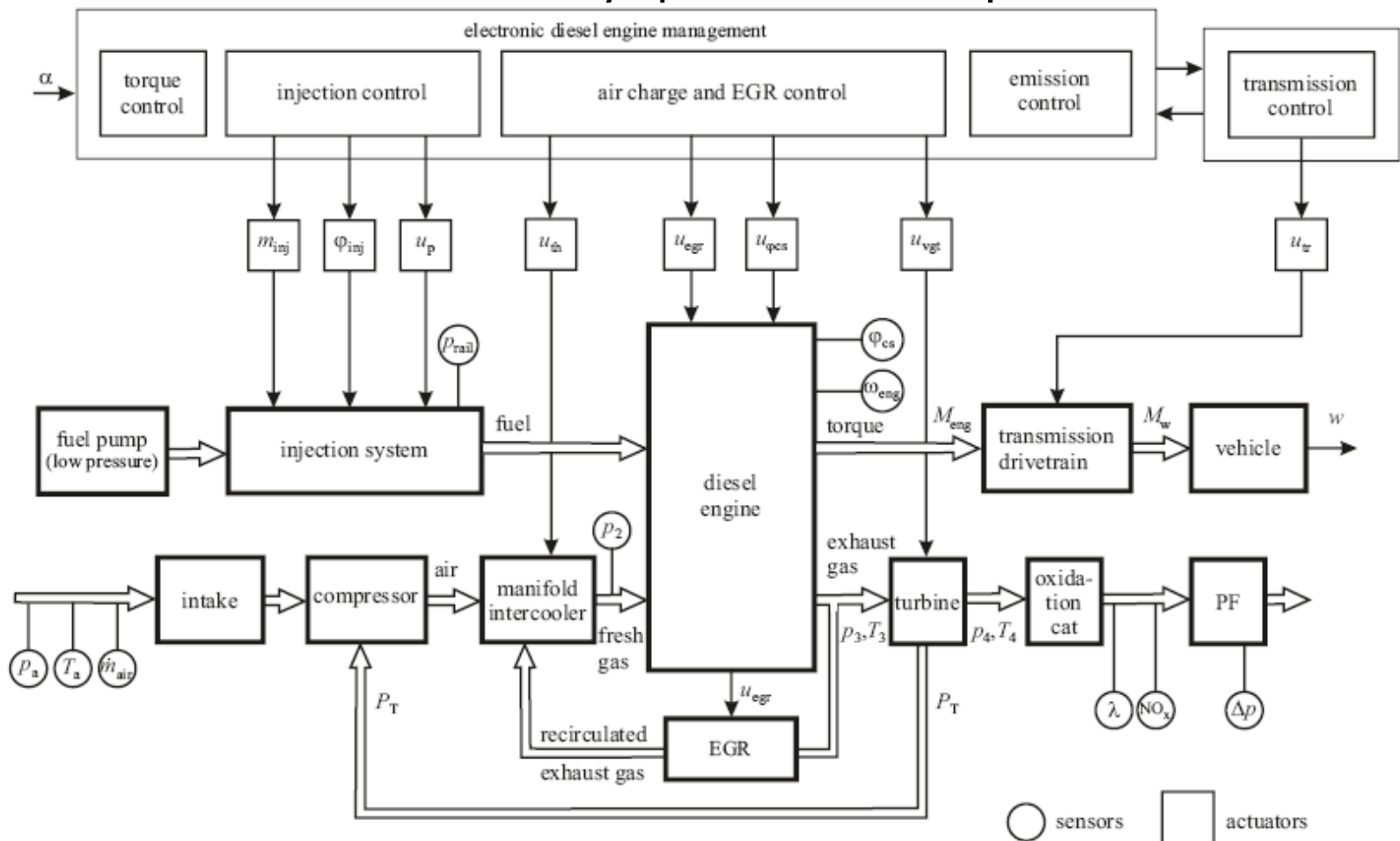
Управљачке и  
дијагностичке  
компоненте  
дизел мотора  
подељене су  
у четири  
односне  
групе

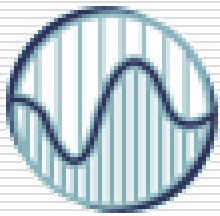
Engine group	Engine parts	Physical domains
A basic engine hardware	A1 intake system	fluid dynamics, thermodynamics
	A2 injection system	fluid dynamics, mechatronics
	A3 fuel supply	fluid dynamics
	A4 combustion and mechanics	chemistry, thermodynamics, mechanics, materials
	A5 lubrication system	fluid dynamics, heat transfer
	A6 exhaust gas system, exhaust gas recirculation, emission after-treatment	fluid dynamics, thermodynamics, chemistry
	A7 cooling system	fluid dynamics, heat transfer
B electrical hardware	B1 electrical system	low voltage electricity
	B2 ignition system	low & high voltage electricity
C control hardware and software	C1 actuators	mechatronics
	C2 sensors	physics, mechatronics
	C3 electronic control unit	computer technology, control software, algorithms
D auxiliary components	D1 filters	fluid dynamics
	D2 tank ventilation	



# Дијагностика система дизел мотора

Блок дијаграм управљања процеса рада дизел мотора са common rail системом убризгавања горива

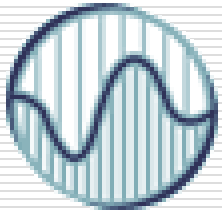




# Дијагностика система дизел мотора

## Главне компоненте дизел мотора

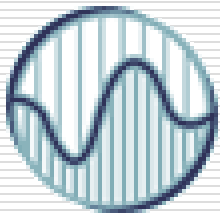
Engine part	Components	Actuators	Manipulated variables	Sensors	Auxiliary components
A1 intake systems	- intake manifold - blow-by pipe - intercooler	- throttle plate	- throttle plate position	- air mass flow - air temp. - boost pressure	- air filter
A2 injection system	- high pressure pump - glow plugs	- metering unit - pressure control valve - injectors	- valve positions - injection duration - injection time	- fuel pressure	
A3 fuel supply	- low pressure fuel pump - fuel filter			- fuel level - fuel temperature	- tank ventilation
A4 combustion and mechanics	- combustion chamber - pistons - connecting rods - crankshaft - variable valve train - bearings - turbocharger - exhaust gas recirculation cooler	- hydraulic actuators - wastegate - turbine vanes - exhaust recirculation valve - swirl flaps	- exhaust gas flow - valve position - flap position	- engine speed - camshaft phase - camshaft position - boost pressure	
A5 lubrication	- oil pump - oil channels - mechanics - seals	- oil pump actuator	- oil flow	- oil pressure - oil temperature - oil level	- oil filter
A6 exhaust system	- exhaust pipes - catalytic oxygen converter - particulate filter - muffler		- exhaust gas temperature for regeneration	- gas temp. - lambda - NO <sub>x</sub> - difference pressure	



# Дијагностика система дизел мотора

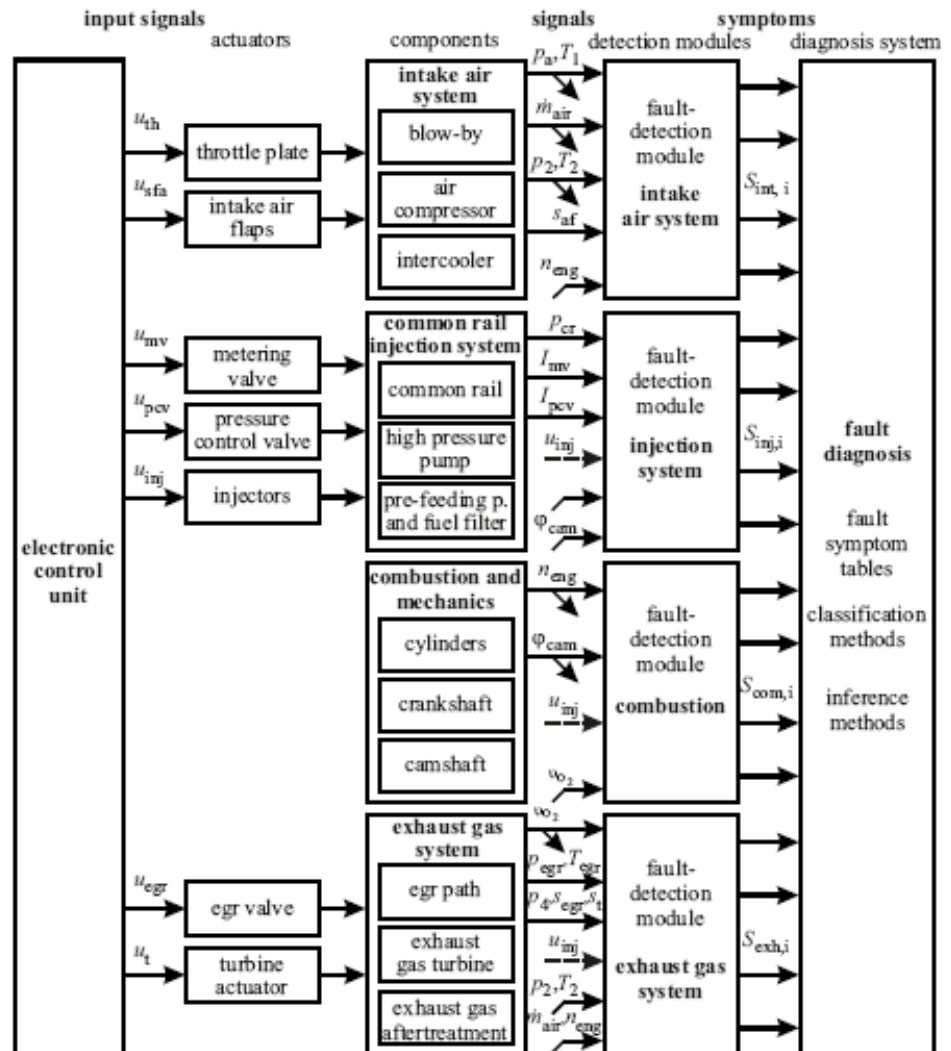
---

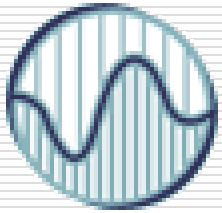
- ❑ Овакав модел омогућава и изражавање утицаја појаве грешке на функционисање система.
- ❑ Да би се формирао овакав модел потребно је знати на који начин функционише предметни систем (нпр. систем за довод вазудха, систем за довод горива, рад турбо компресора, итд.), као и знања која се односе на анализу сигнала (примена Фуриерових трансформација, и сл.), механике флуида, термодинамике, итд.
- ❑ Многи од параметара који су неопходни за рад модела су нелинарног карактера и не могу се знати унапред, па се врло често дају процене вредности појединих параметара – мана овог система!



# Дијагностика система дизел мотора

Модуларна  
структура система  
за дијагностику  
дизел мотора са  
четири модула





# Дијагностика система дизел мотора

---

## Дијагностика усисног система

Модел за дијагностику усисног система намењен је за детекцију:

- ☐ Цурења система за довод ваздуха,
- ☐ Запушености система за довод ваздуха,
- ☐ Грешака у раду EGR вентила и
- ☐ Грешака у раду лептира који обезбеђује вртложење ваздуха (swirl flaps).

Примењени модел описује ток ваздуха као средњу вредност, док су осцилације тока ваздуха и притисак у усисном колектору полу физички модели са идентификацијом кроз локалне линеарне мрежен моделе.



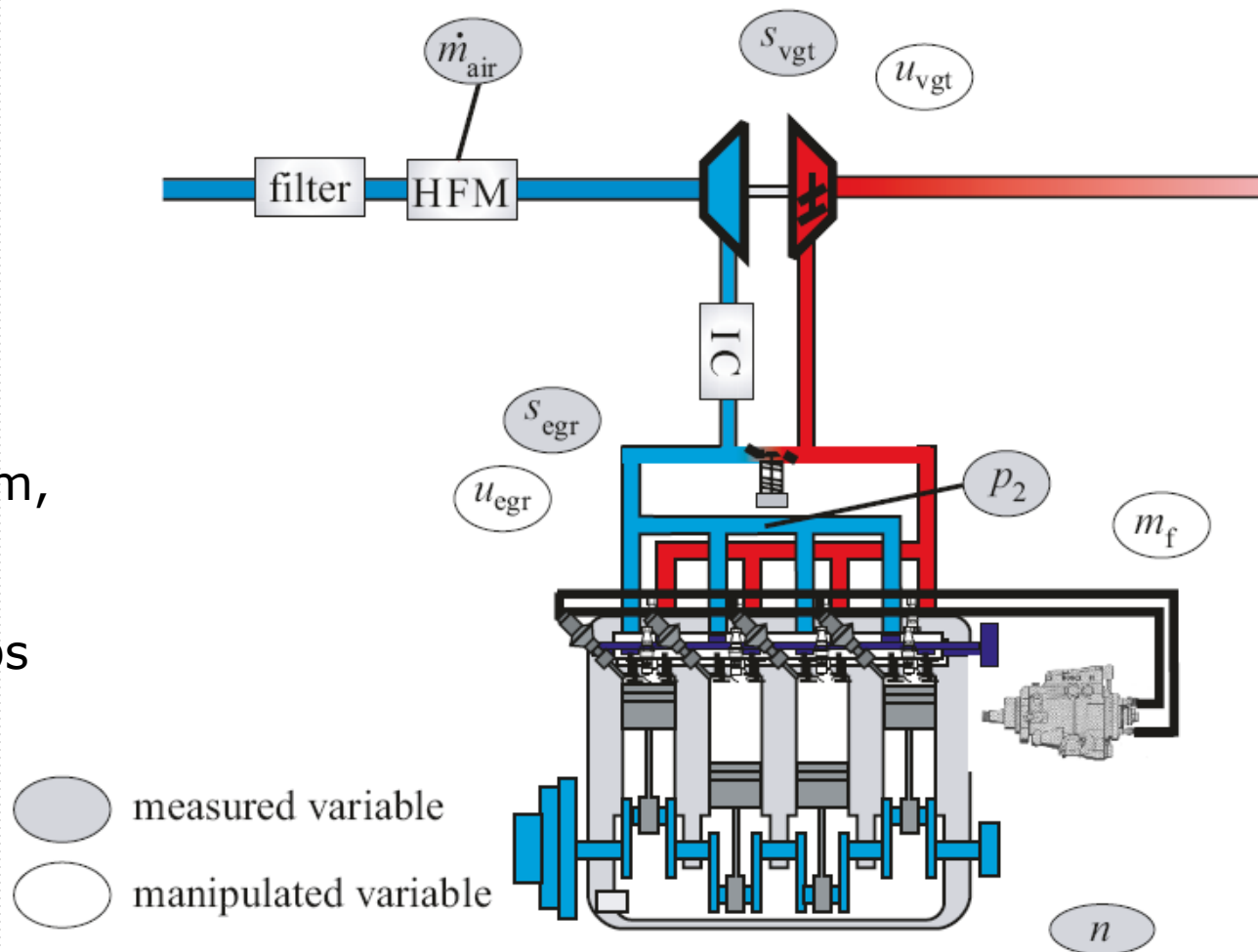


# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика усног система

### Технички подаци предметног мотора:

- Opel,
- 2000 ccm,
- 4 цилиндра,
- 16 вентила,
- снага 74kW,
- обртни момент 230 Nm,
- Трубо компресор са wastegat-ом
- варијаблини swirl flaps (SFA)
- EGR вентил.

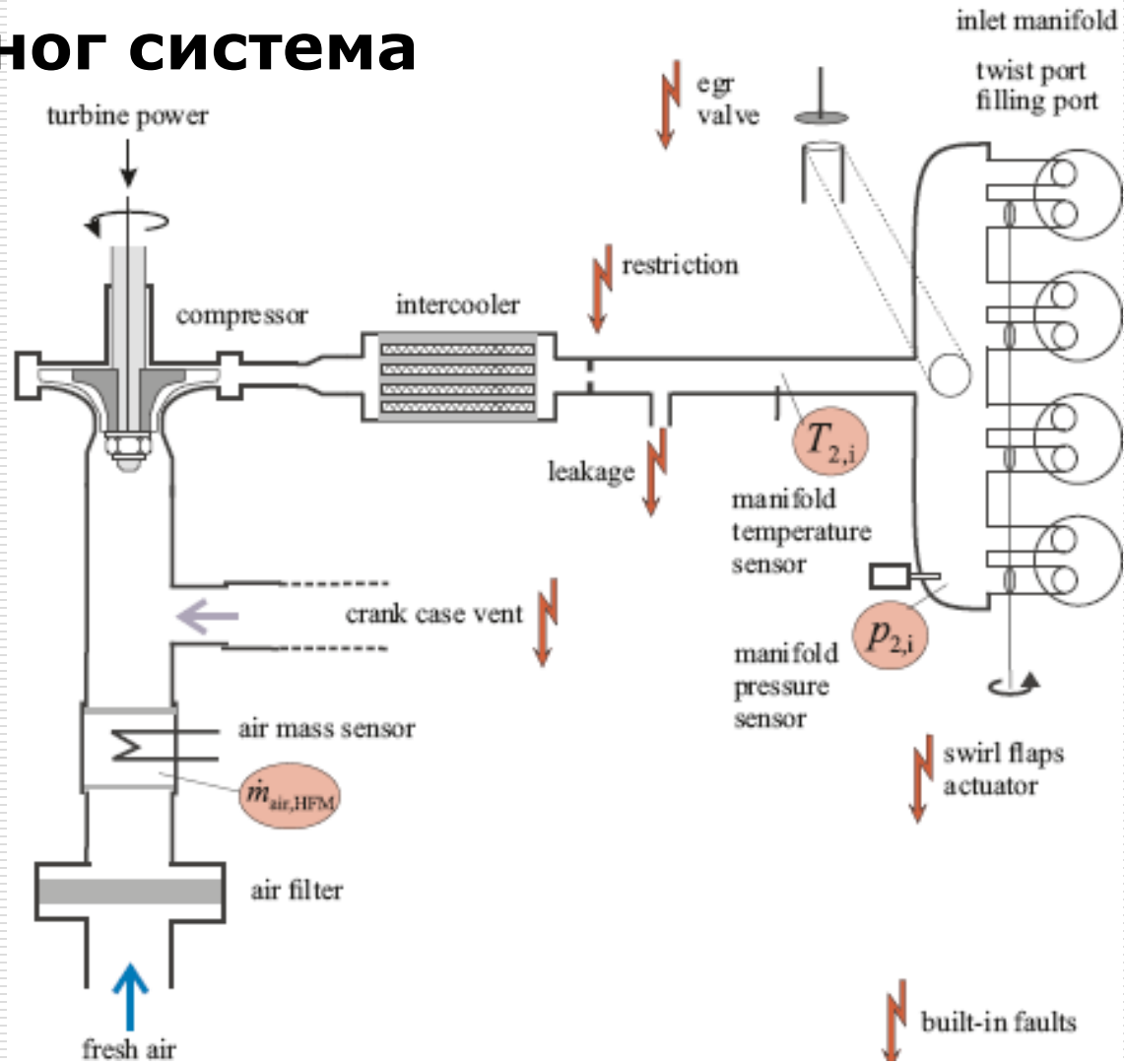




# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика уисног система

Ток ваздуха кроз  
систем са сензорима  
и детекција грешка

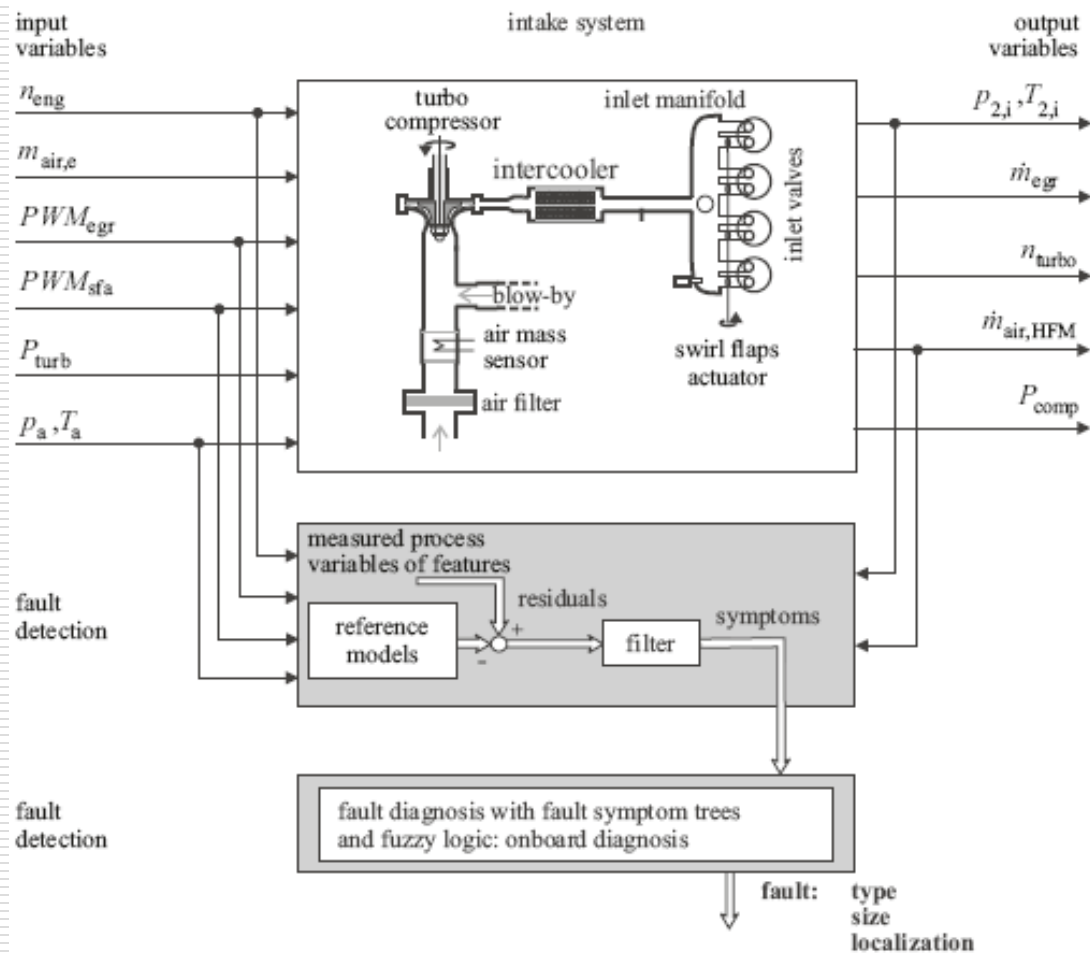


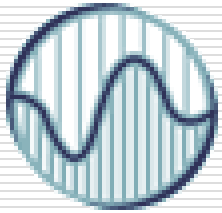


# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика усног система

Структура за  
дијагностику  
система за довод  
ваздуха





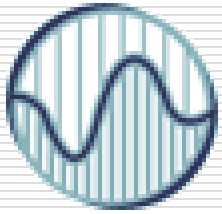
# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика усног система

Неопходни подаци за рад модела се узимају на основу мерења на сензорима и актуаторима, као и на основу прорачуна појединих параметара, нпр. Теоретски проток ваздуха или степен пуњења цилиндара:

$$\dot{m}_{\text{air,th}} = \frac{1}{2} n_{\text{eng}} V_D \frac{p_{2,i}}{R T_{2,i}}$$

$$\eta_V = \frac{\dot{m}_{\text{air,e}}}{\dot{m}_{\text{air,th}}} = \frac{\dot{m}_{\text{air,e}}}{\frac{1}{2} n_{\text{eng}} V_D \frac{p_{2,i}}{R T_{2,i}}}$$

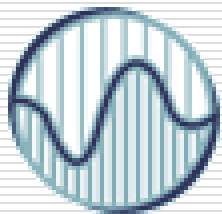


# Дијагностика система дизел мотора

---

## Дијагностика усног система

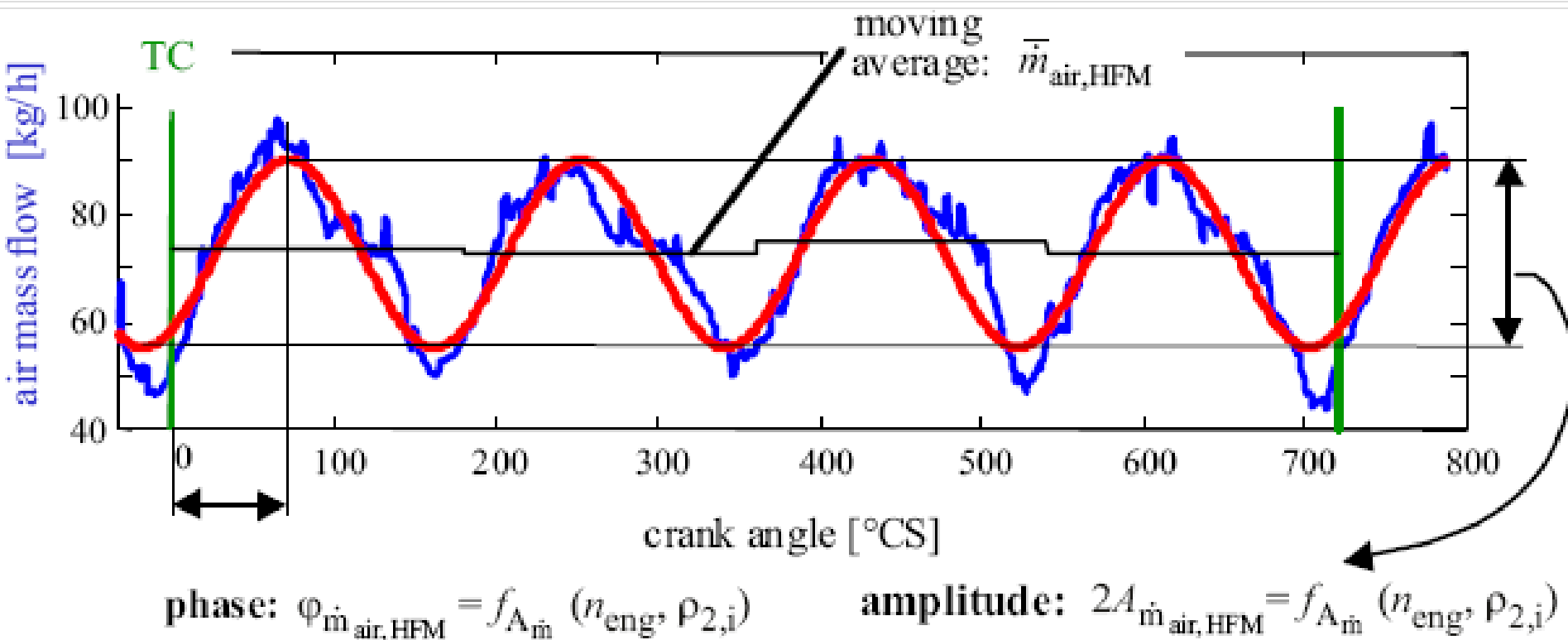
- Осцилације тока ваздуха се јављају као последица периодичног уписа у сваки цилиндар.
- У фреквентном домену ова појава је пропорционална броју обртаја док је у функцији угла константна. Колико износи за овај мотор?
- Мерења су показала да паорксимација са средњом вредношћу и једним хармоником описују реалан ток вазуа на задовољавајући начин.

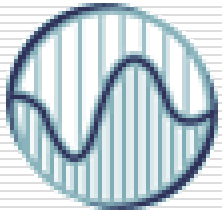


# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика усног система

Пример апроксимације осцилација усисане количине  
ваздуха за 1200 о/min



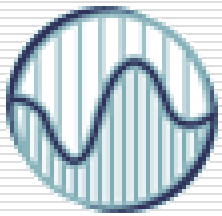


# Дијагностика система дизел мотора

---

## Дијагностика усног система

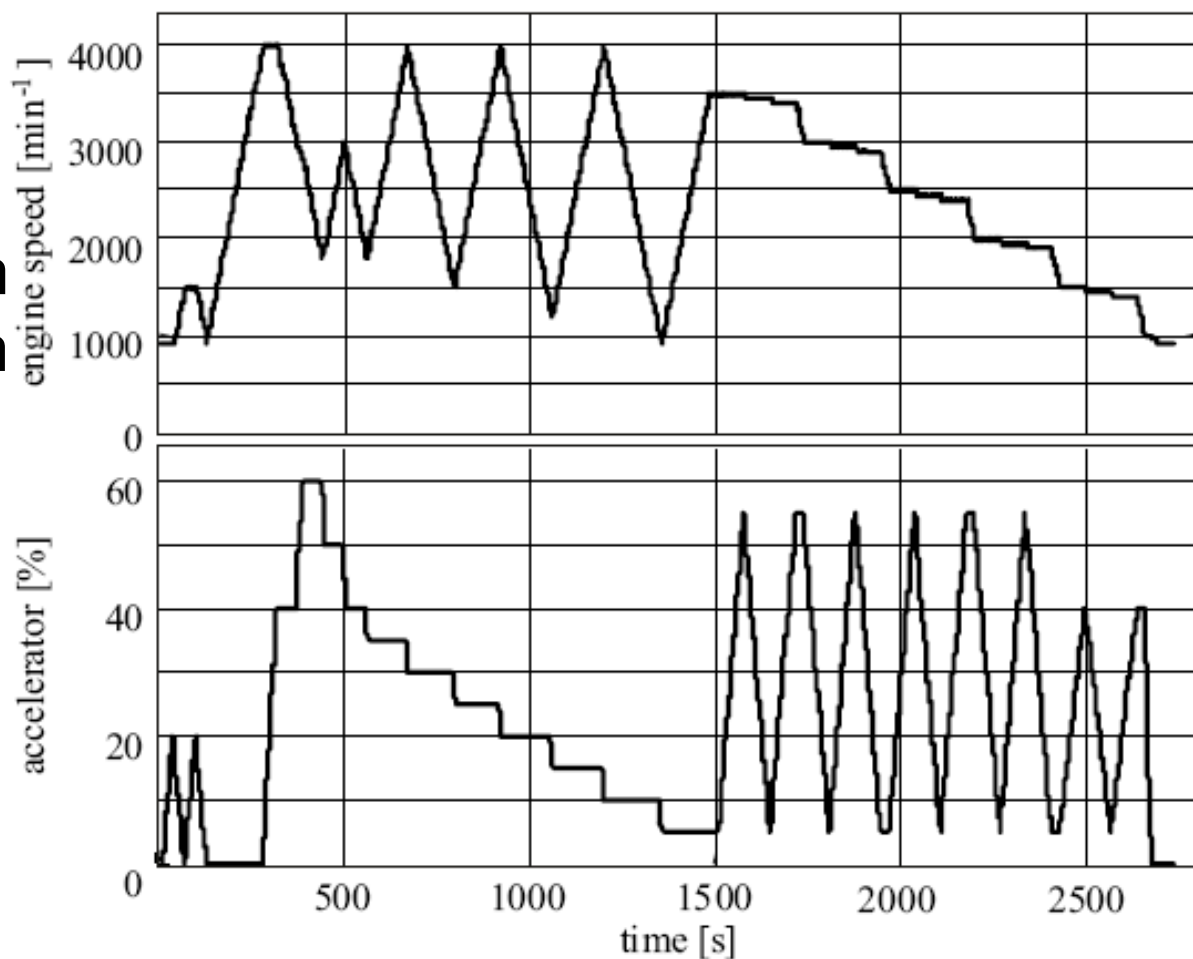
- За опис рада модела система за довод ваздуха код дизел мотора за рад у стању „у раду“ развијено је пет референтних модела који описују запреминску ефикасноност мотора, амплитуду осцилација усисане количине ваздуха, фазе осцилација усисане количине ваздуха, амплитуду и фагу притиска усисане количине ваздуха у функцији броја обртаја мотора и густине ваздуха.
- У референтним моделима је претпоставка да је EGR вентил затворен док су swirl flaps отворени, у квазистатичком режиму рада.



# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика усног система

Циклус рада мотора  
који је коришћен за  
развој модела за  
детекцију грешака



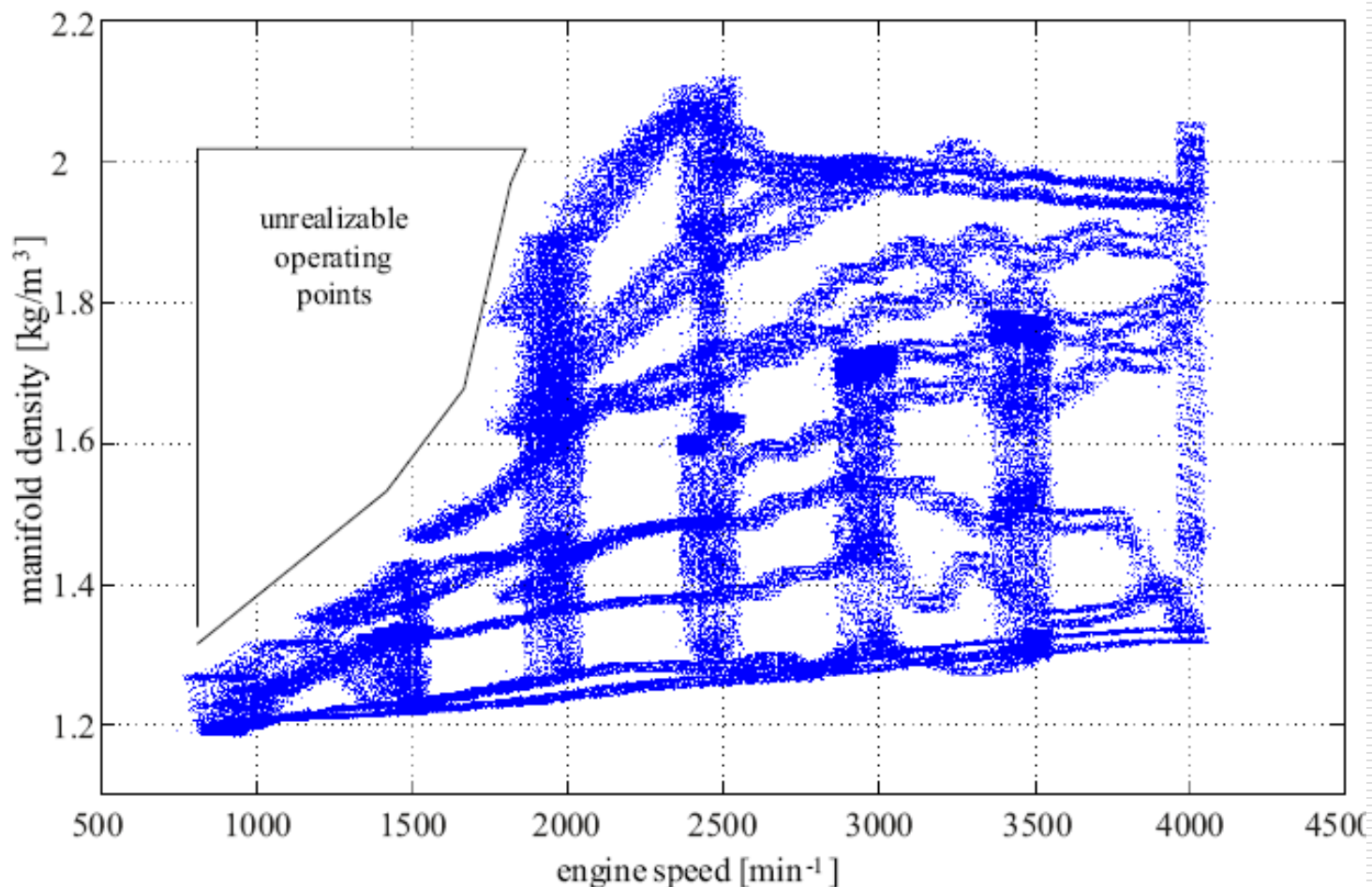




# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика усисног система

Расподела  
измерених  
података

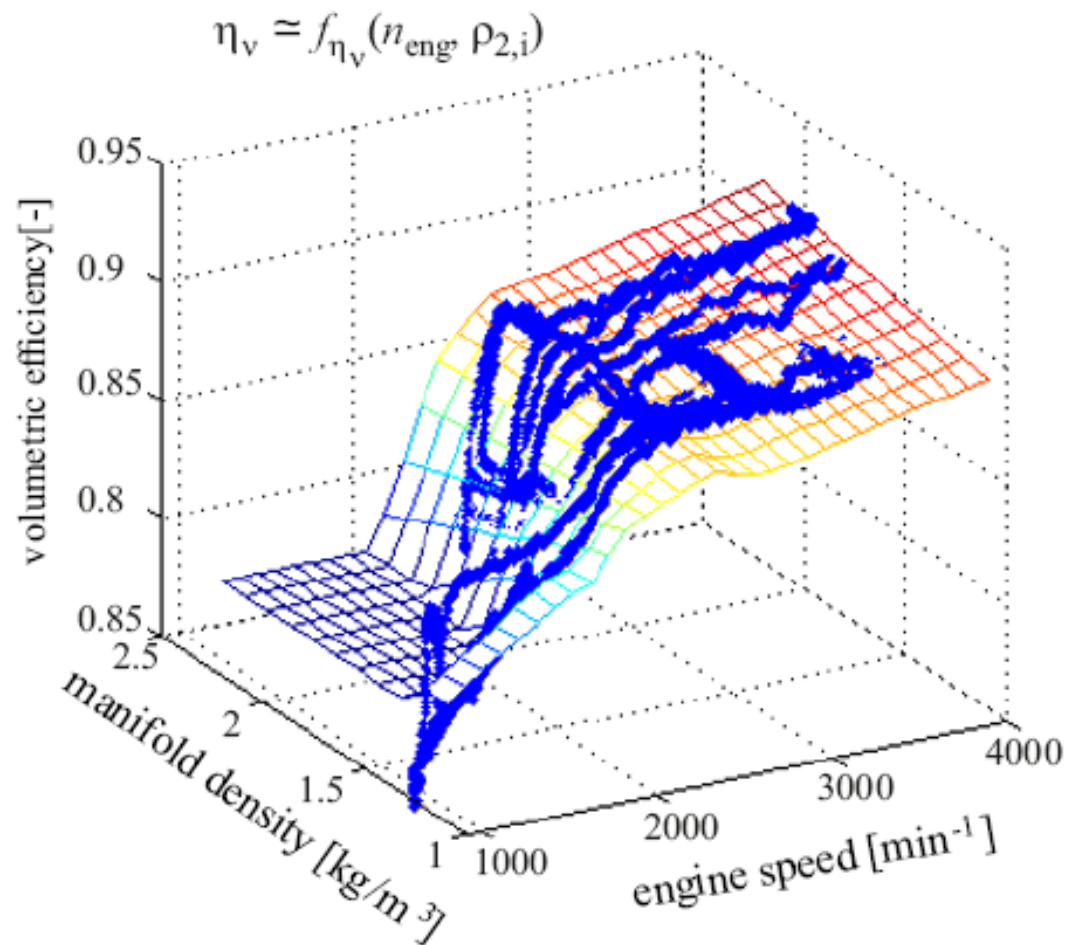




# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика усног система

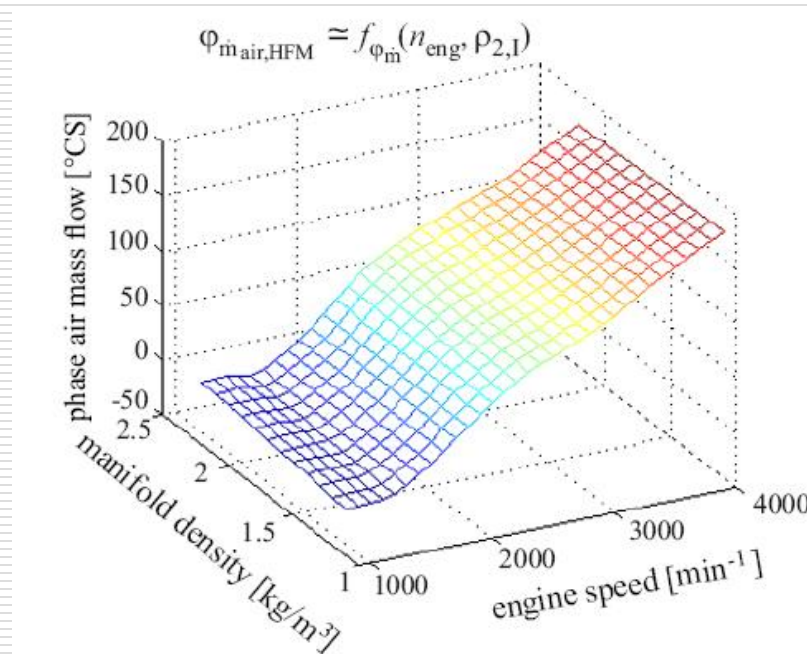
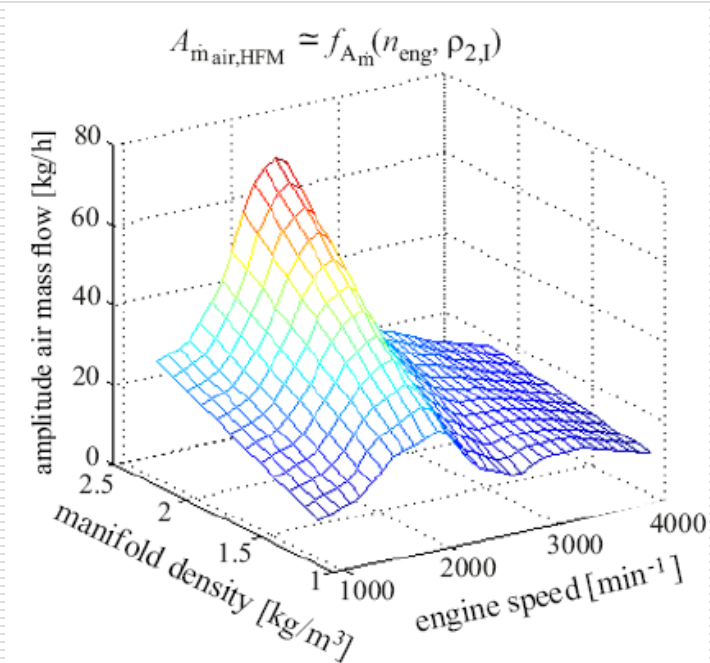
Референтни  
модел  
запреминске  
ефикасности  
мотора у  
поређењу са  
измереним  
подацима





# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика усисног система



Референтни модели амплитуде и фазе усисане  
количине ваздуха



**Measurement:**  
engine speed  
air mass flow  
boost pressure  
boost temperature  
(preprocessed crank angle synchronous)

**Control signals:**  
EGR PWM  
SFA PWM

**firing cycle**  
synchronous filter  
dyn. air correction

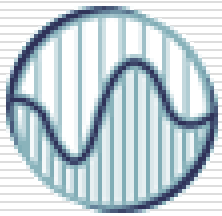
**reference models**

**residuals**

**jump-cut function if pre-conditions are not fulfilled**

**dead zone**

**Symptoms:**  
vol. efficiency  
amplitude air mass flow  
phase air mass flow  
amplitude boost pressure  
phase boost pressure

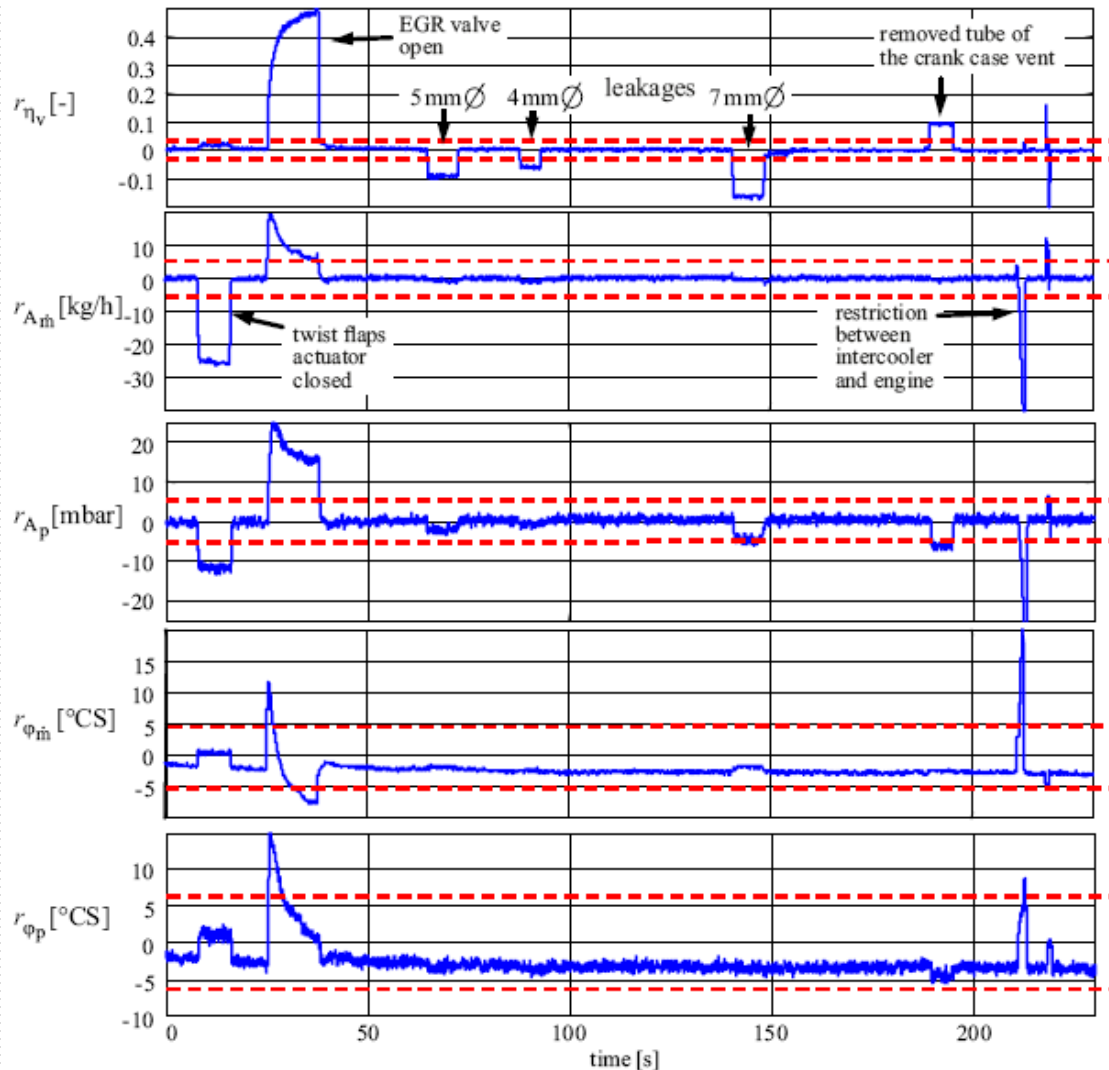


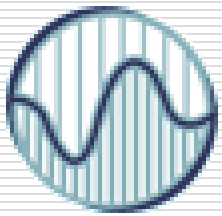
# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика усисног система

Симптоми указују на грешке због одступања појединих вредности од нуле или због преласка дозвољене границе (црвена испрекидана линија).

Референтне вредности за запреминску ефикасност, амплитуде усисане количине ваздуха и притиска усисаног ваздуха показују очекиване вредности.

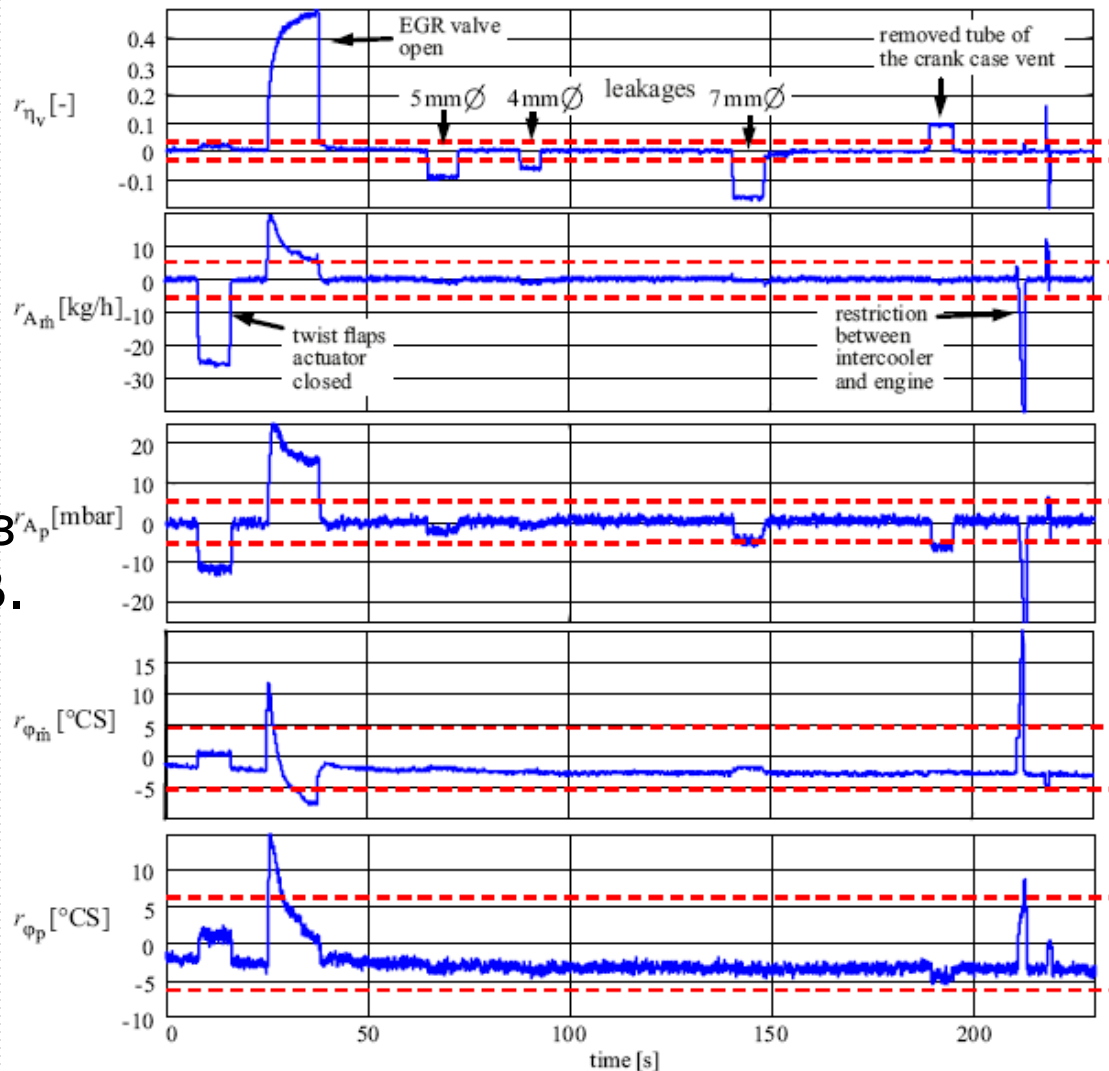


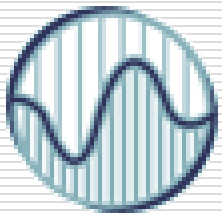


# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика усисног система

Референтне вредности  
фазе усисане кочине  
ваздуха и фазе притиска  
усисаног ваздуха имају  
широке стохастичке  
промене. Услучају рада без  
грешке то износи око 4° KB.



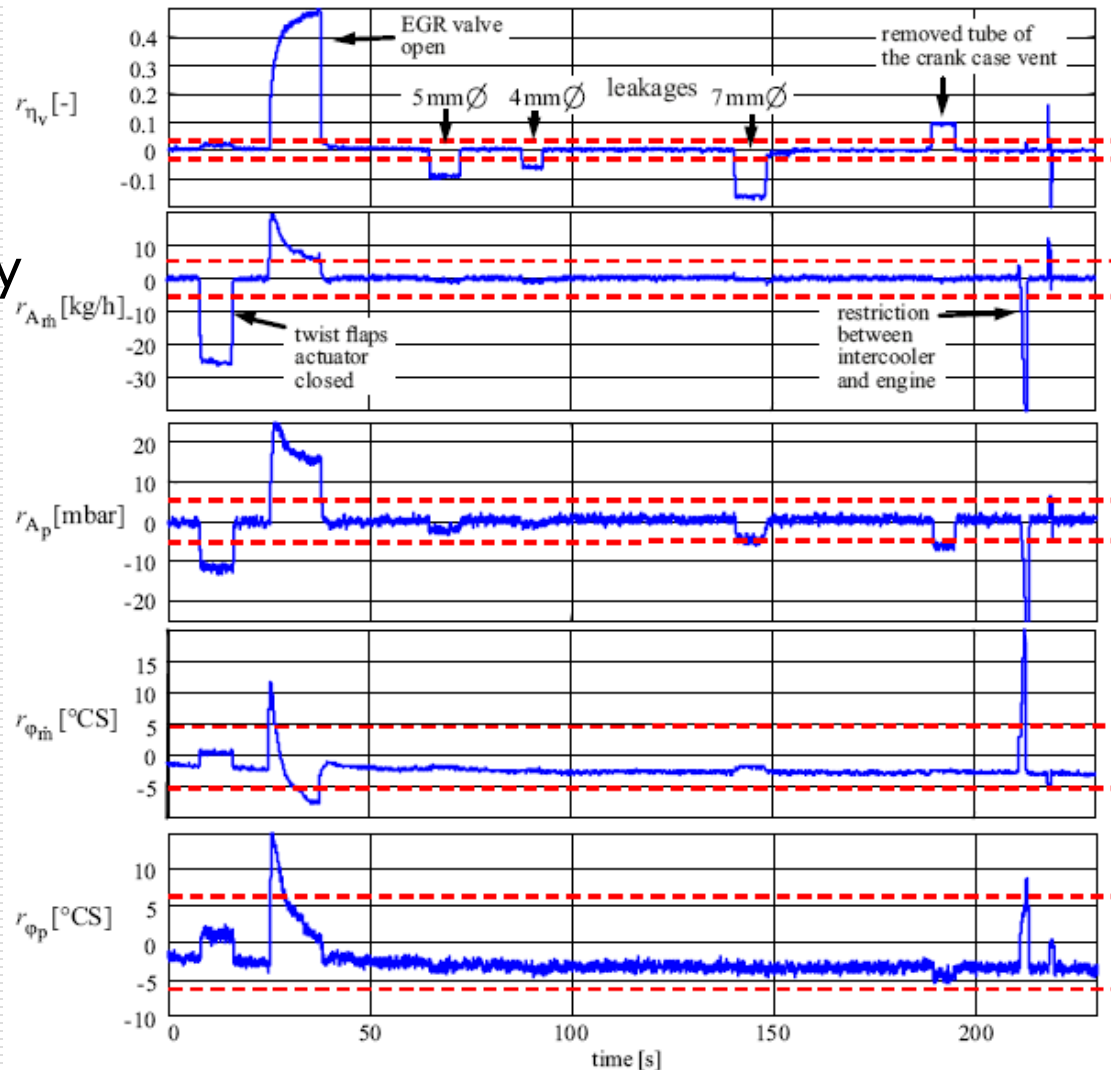


# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика усисног система

Прва три симптома су  
веома погодна за детекцију  
грешке.

- Прва грешка показује  
нежељено затварање  
swirl flaps-a. Амплитуда  
колилине усисаног  
ваздуха и притиска  
усисаног ваздуха је  
изашла из дозвољених  
граница иако сензор  
swirl flaps-a то није  
регистровао!



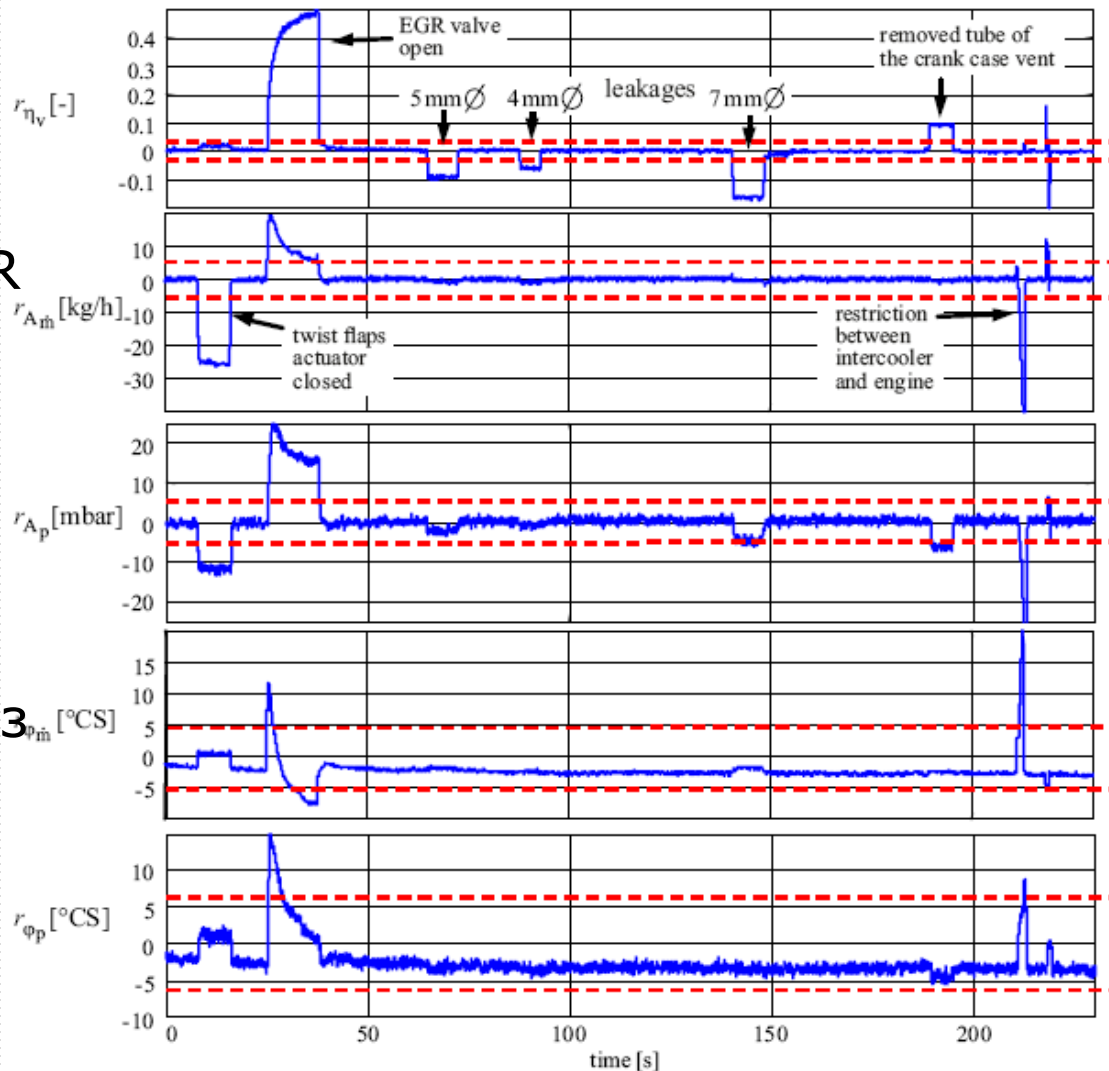




# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика усисног система

- Друга грешка је нежељено отварање EGR вентила што је утицало на запреминску ефикасност! Осим овога амплитуде усисане кочине ваздуха и притиска усисаног ваздуха такође излазе из својих вредности!



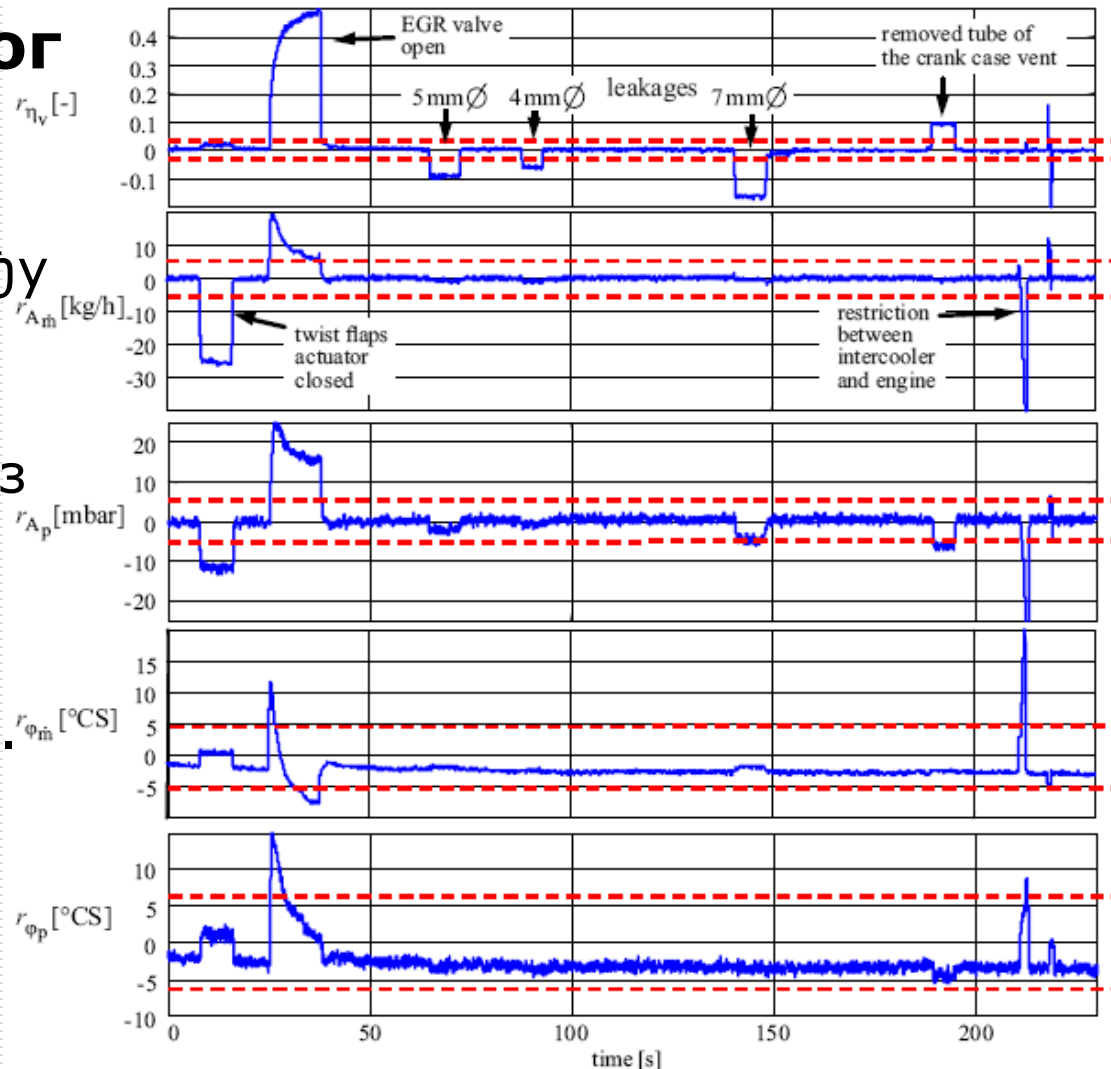




# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика усисног система

- Трећи пример показује различита цурења између интеркулера и мотора.
- Четврти је уклањање црева одушке картера из усисног колектора што проузрокује усис додатног ваздуха чија количина није измерена.
- Послдењи случај је запушење усисног колектора између интеркулера и мотора.





# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика усног система

Таблица дијагностичких симптома система за довод ваздуха

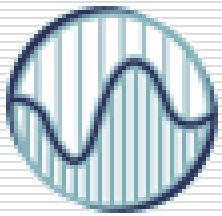
Faults	Symptoms				
	$S_{\eta v}$	$S_{Am}$	$S_{Ap}$	$S_{\varphi m}$	$S_{\varphi p}$
Removed tube of the crank case vent	+	0	0	0	0
Leakage between intercooler and engine	–	0	0	0	0
Restriction between intercooler and engine	0	–	–	+	+
Swirl flaps actuator, filling port is closed	0	–	–	0	0
EGR valve: stuck at open	++	+	+	0	0
Leaky EGR valve	+	0	0	0	0

legend:

++ symptom responds intense positive  
+ symptom responds positive  
– symptom responds negative  
0 symptom does not respond

symptoms:

$S_{\eta v}$  volumetric efficiency  
 $S_{Am}$  amplitude air mass flow oscillation  
 $S_{Ap}$  amplitude boost pressure oscillation  
 $S_{\varphi m}$  air mass flow oscillation  
 $S_{\varphi p}$  phase boost pressure oscillation

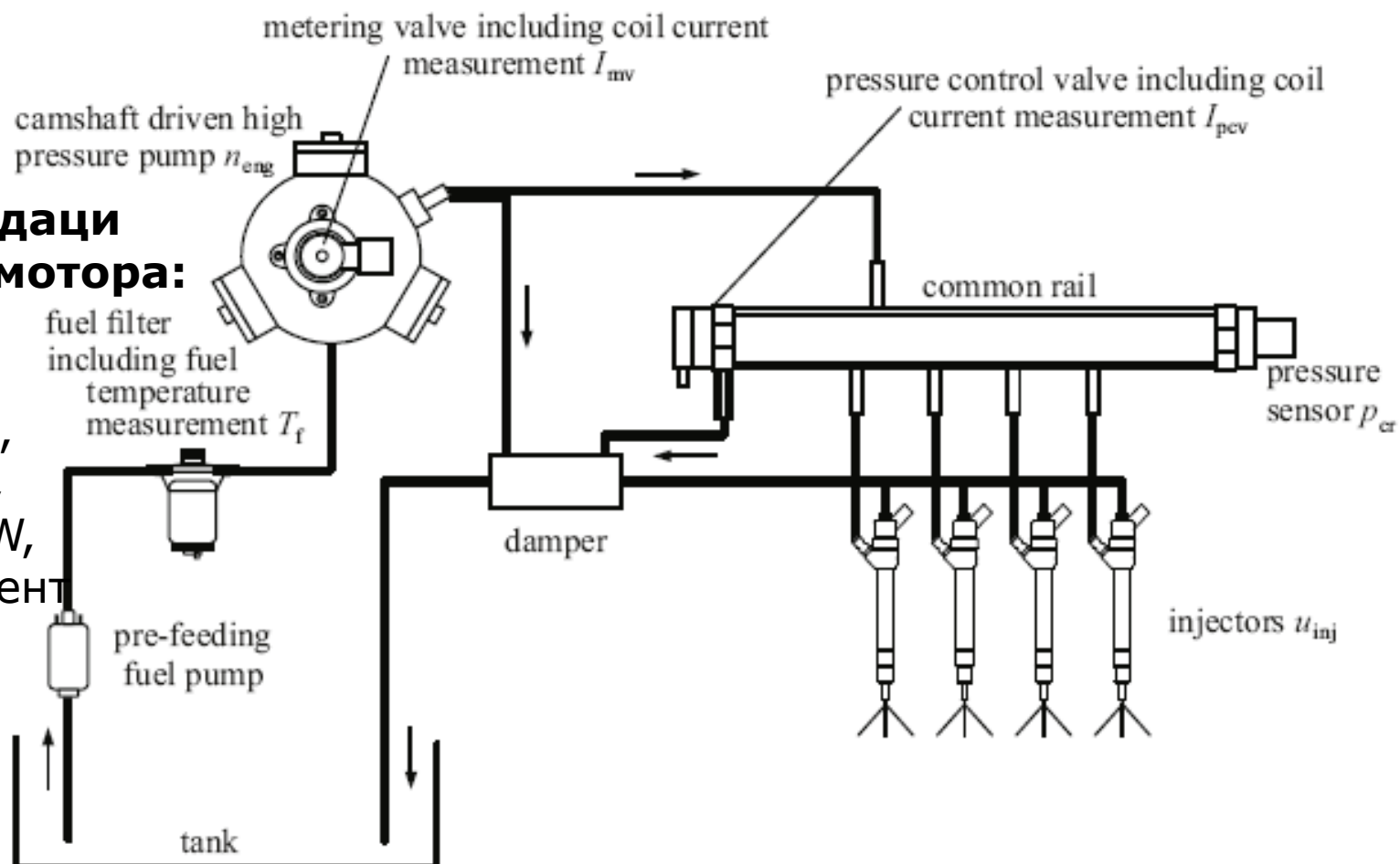


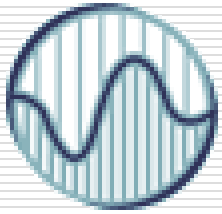
# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика common rail система

### Технички подаци предметног мотора:

- Opel,
- 1900 ccm,
- 4 цилиндра,
- 16 вентила,
- снага 110kW,
- обртни момент 315Nm,



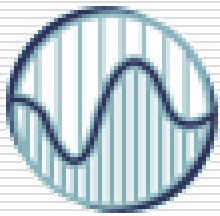


# Дијагностика система дизел мотора

---

## Дијагностика common rail система

- Притисак у common rail систему је функција рада ПВП и режима рада мотора.
- Притисак у систему осцилира што је последица рада ПВП као и режима рада брызгача.
- Имајући у виду претходно средња вредност притиска, као и осцилације могу бити предмет оцене грешке у раду система.

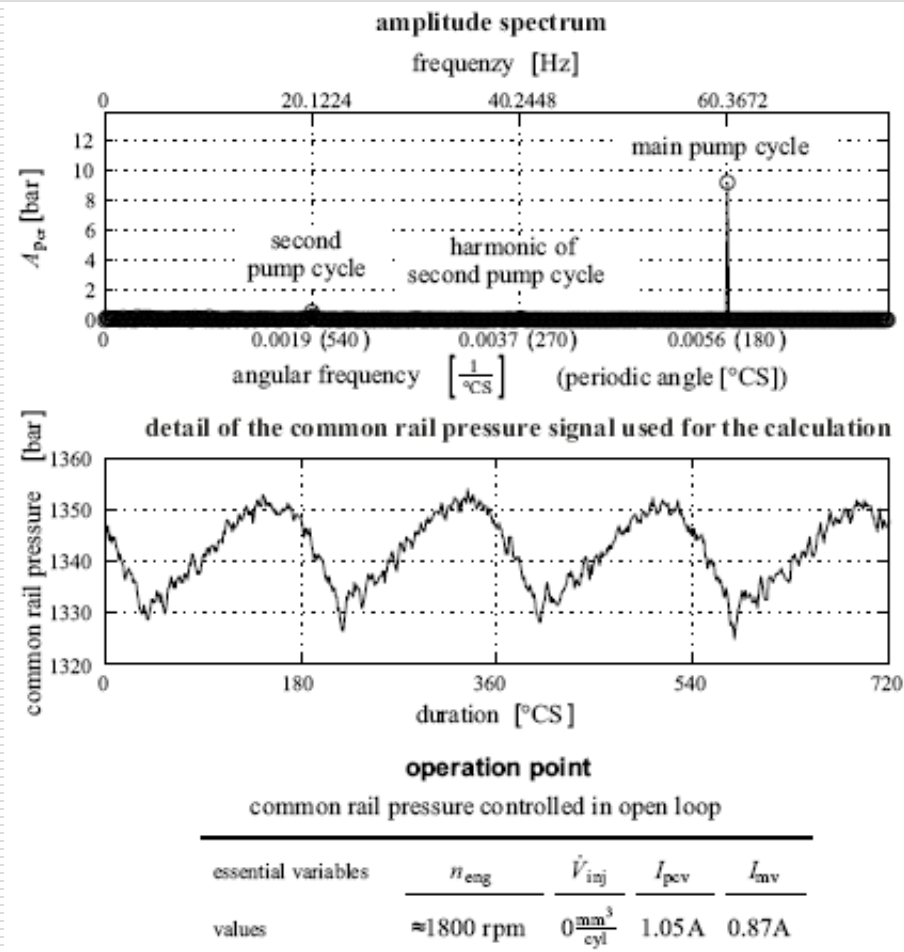


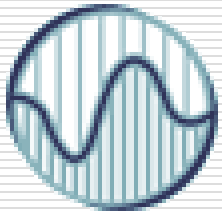
# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика common rail система

Измерени сигнал притиска у common rail-у и његова амплитуда сепектра.

Основна осцилација је узоркована типом ПВП – троклипна радијална пумпа. Преносни однос у односу на КВ је 2:3. Сваких 180о КВ један елемент за потискивање ПВП остварује притисак у магистрали.

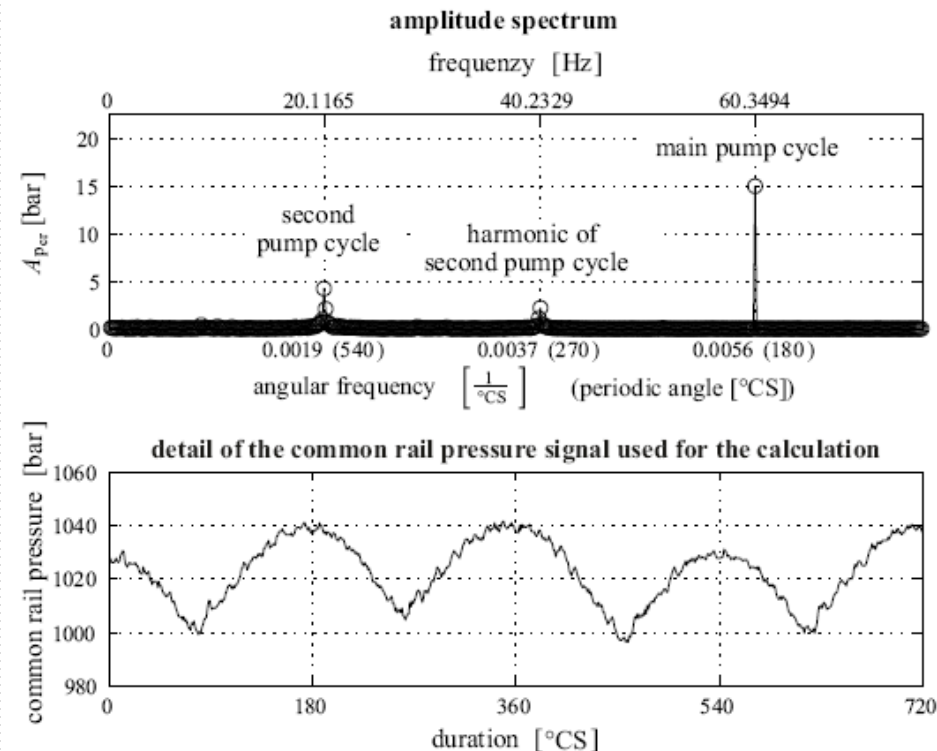




# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика common rail система

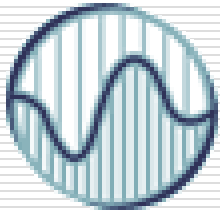
За стационарни режим рада сви елементи пумпе би требало да испоручују исту количину горива са истим нивоом притиска. Уколико се бар код једног елемента јави разлика то узрокује појаву додатних осцилација (сваких  $540^\circ$ ).



### operation point

common rail pressure controlled in open loop

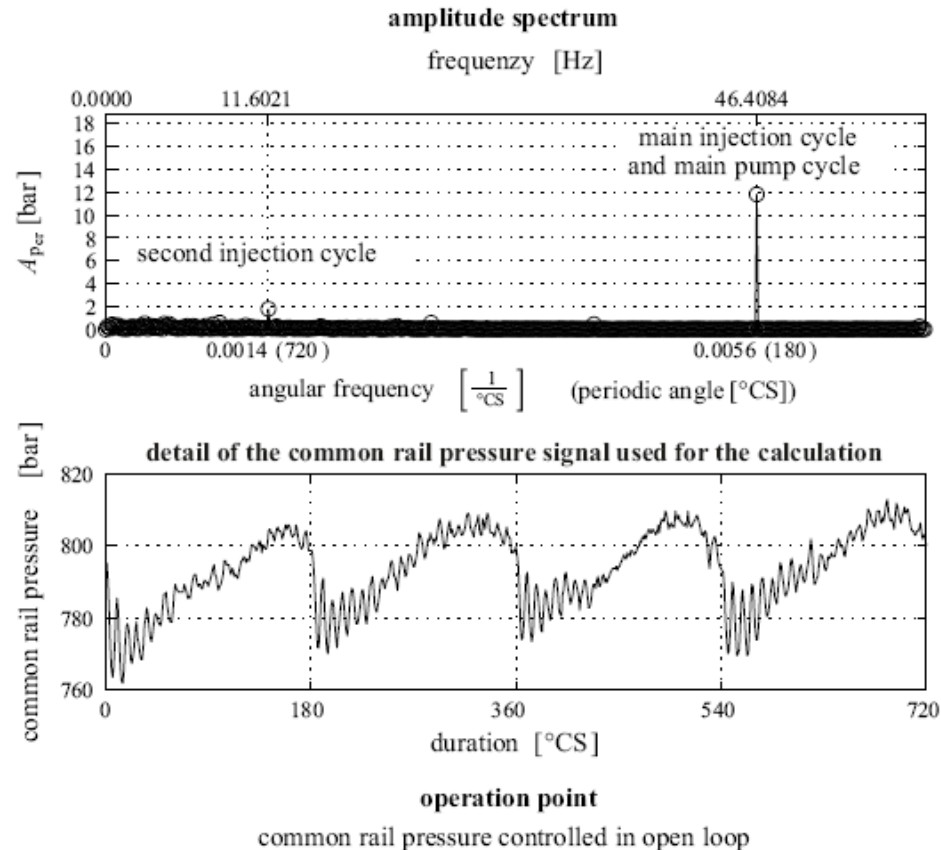
essential variables	$n_{\text{eng}}$	$\dot{V}_{\text{inj}}$	$I_{\text{pcv}}$	$I_{\text{mv}}$
values	$\approx 1800 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	1.15 A	0.72 A



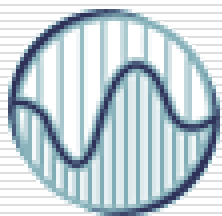
# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика common rail система

Код четвороцилиндричног мотора какав је предметни, циклус главног убризгавања је на  $180^\circ$ . Уколико се јави разлика у количини убризаног горива по цилиндру то води ка додатним осцилацијама на сваких  $720^\circ$ .



essential variables	$n_{\text{eng}}$	$\dot{V}_{\text{inj}}$	$I_{\text{pcv}}$	$I_{\text{mv}}$
values	$\approx 1300 \text{ rpm}$	$\approx 20.02 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	1.05 A	0.80 A

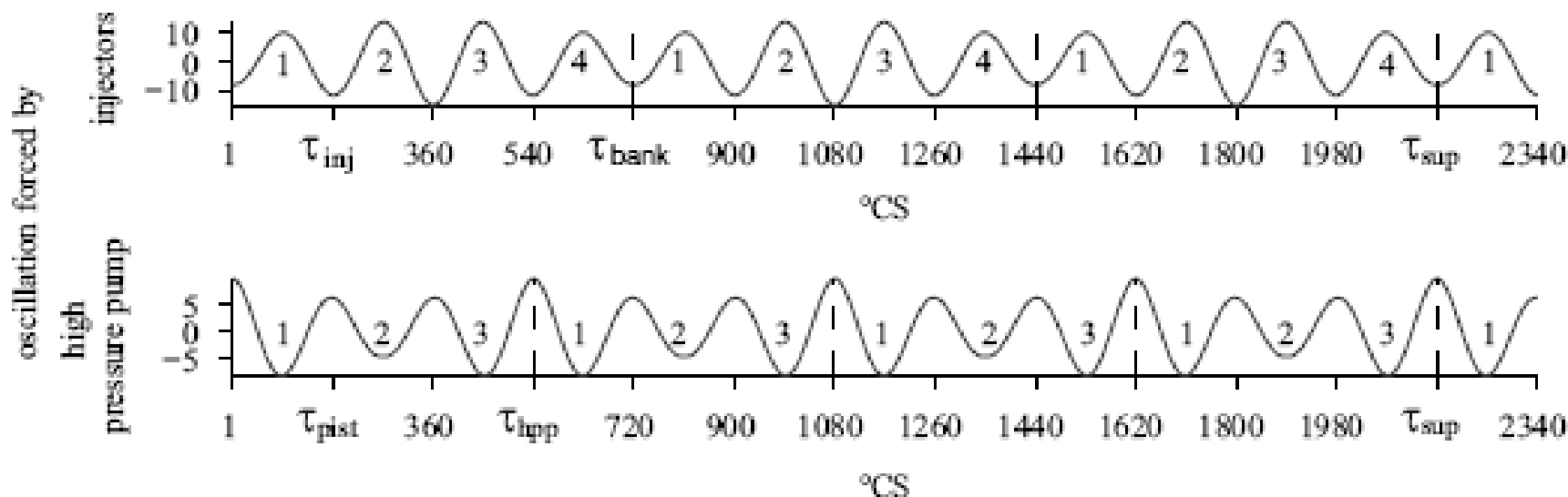


# Дијагностика система дизел мотора

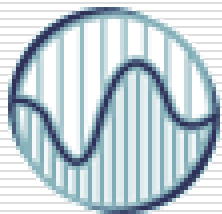
## Дијагностика common rail система

Уколико се бар код једног елемента за потискивање у ПВП јави разлика у испорученој количлини горива и то поклопи са разликом у убриганој кочини горива у једном од 4 брызгача све претходне анализе важе али су другачије амплитуде.

Постоји неколико комбинација испоруке и потрошње горива које се понављају након  $\tau_{sup} = \tau_{hpp, bank} = 3 \cdot 4 \cdot 180^\circ CS = 2160^\circ CS$



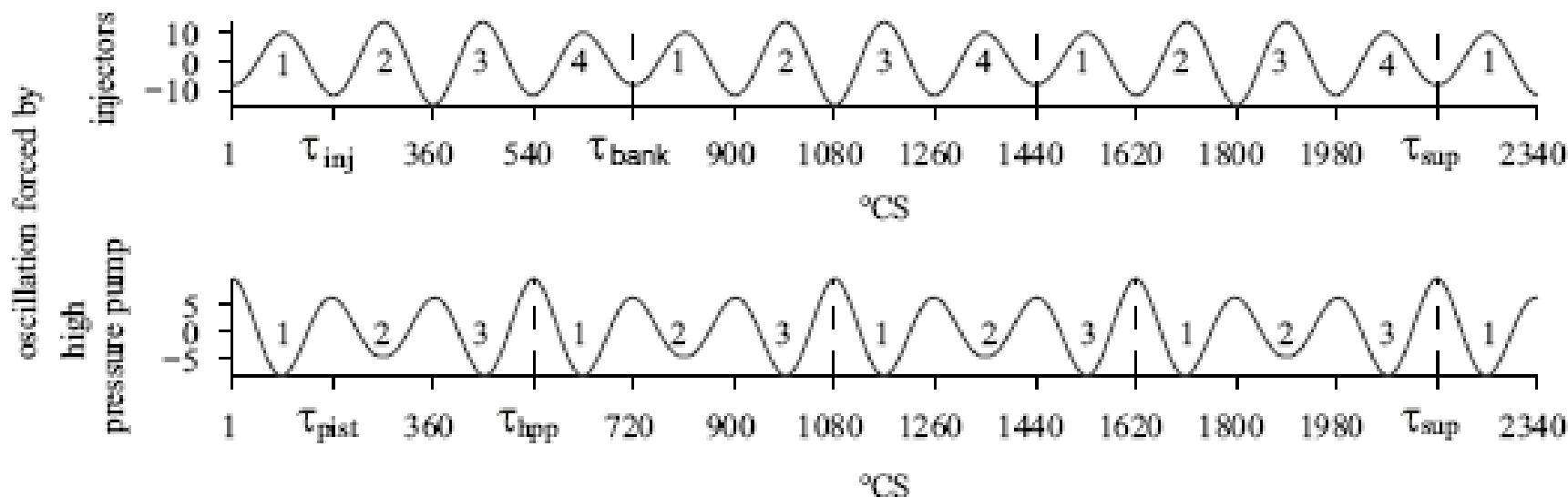


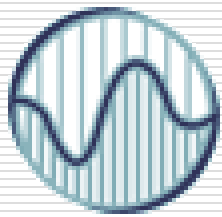


# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика common rail система

Међутим, имајући у виду да су осилација притиска узорковане ПВП и брызгачима веома мале у односу на средњу вредност у магистрали претпоставља се да је кочина горива која прође кроз магистралу за дати режима рада константна!

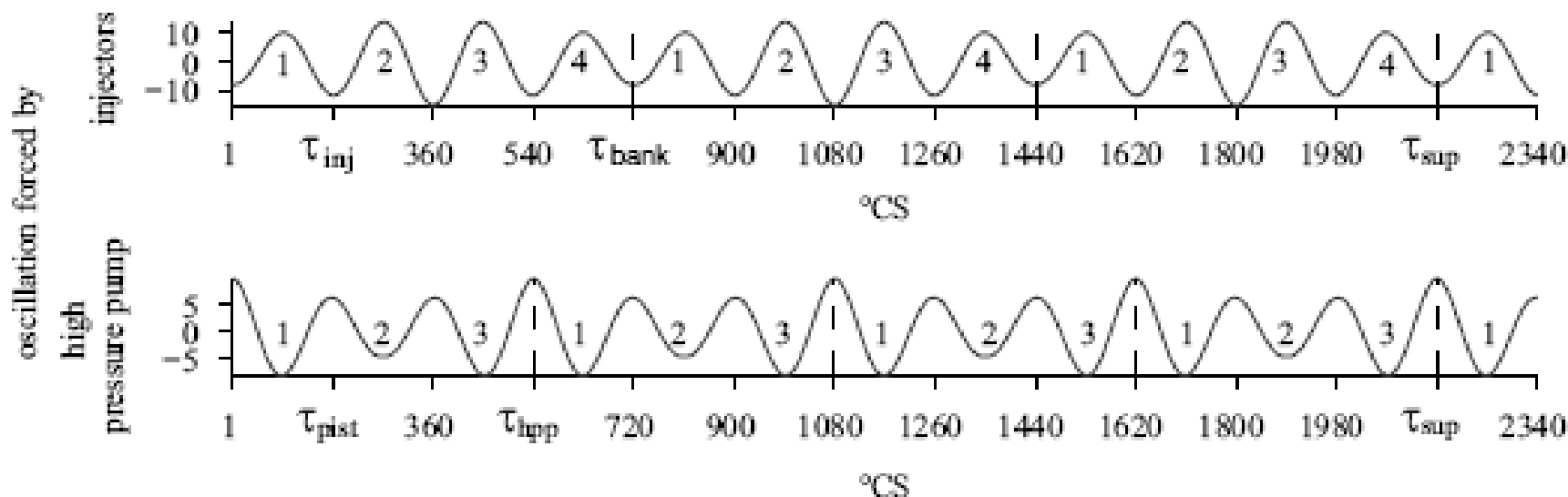


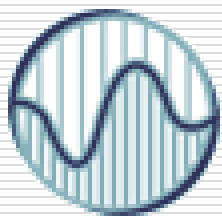


# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика common rail система

Амплитуда осцилација узрокована ПВП се догађа на сваких  $180^\circ$  и зависи од количне послатог горива и броја обртаја мотора. Управљање количином горива се обавља преко мерне јединице!





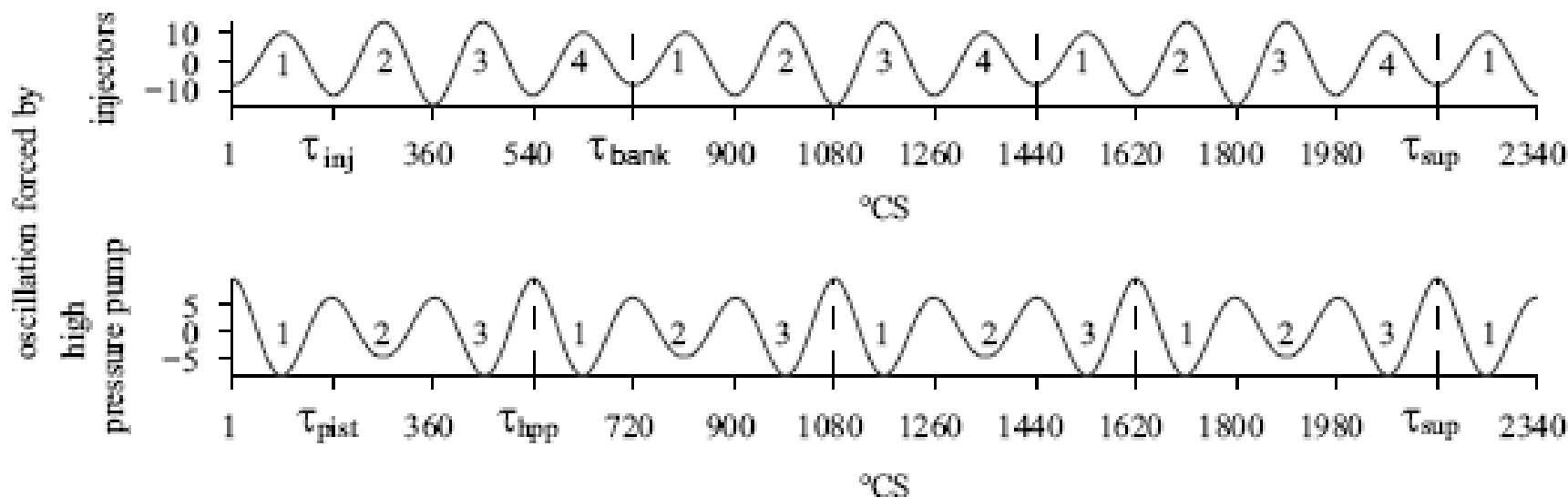
# Дијагностика система дизел мотора

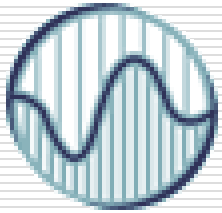
## Дијагностика common rail система

Илустрација осцилација које узрокују брызгачи (први график 1-4) и ПВП (други график 1-3).

Брызгачи 1 и 4 прпуштају мању кочину горива него брызгачи 2 и 3.

Други елемент ПВП шаље мање горива него друга два.

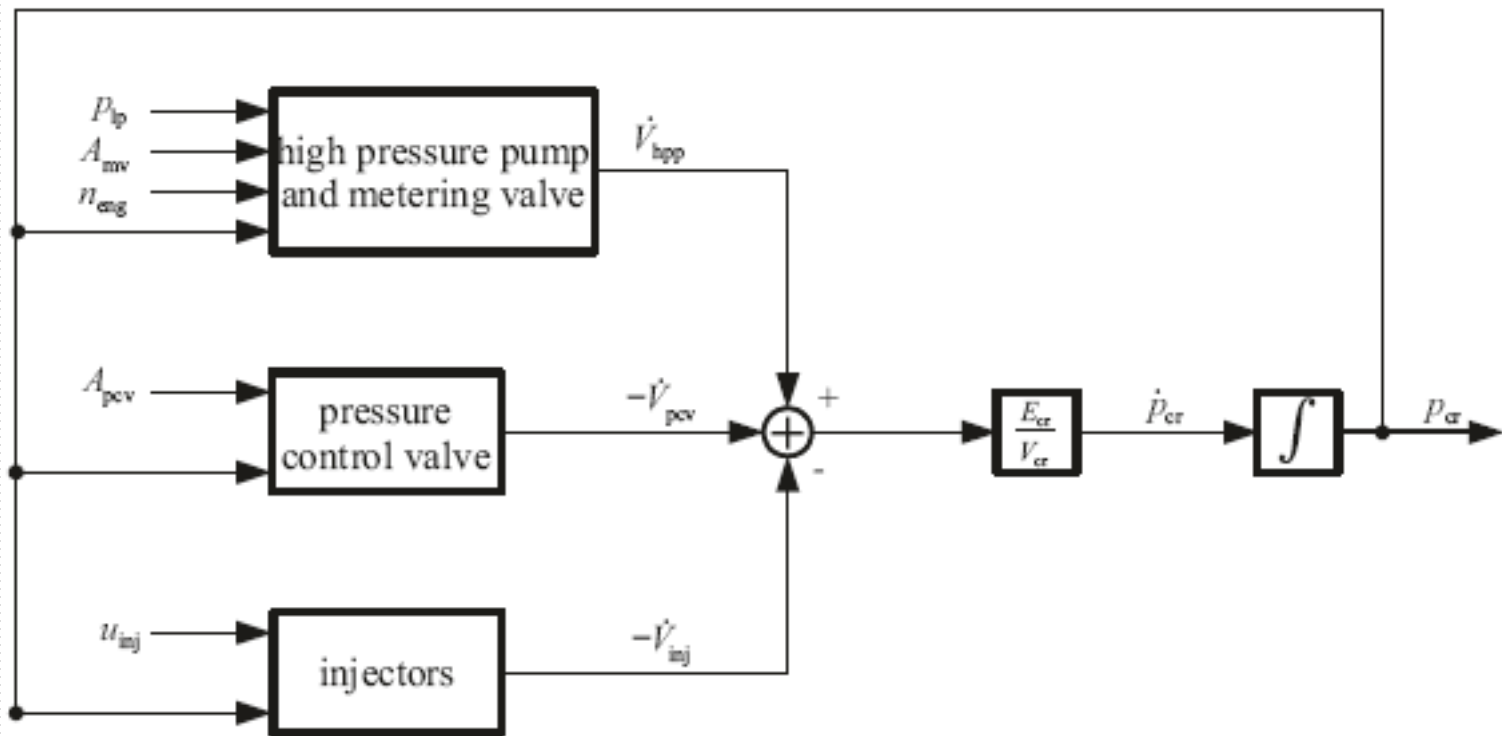


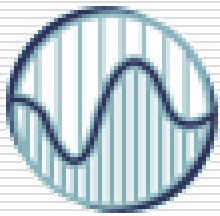


# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика common rail система

Дијаграм тока сигнала у common rail систему

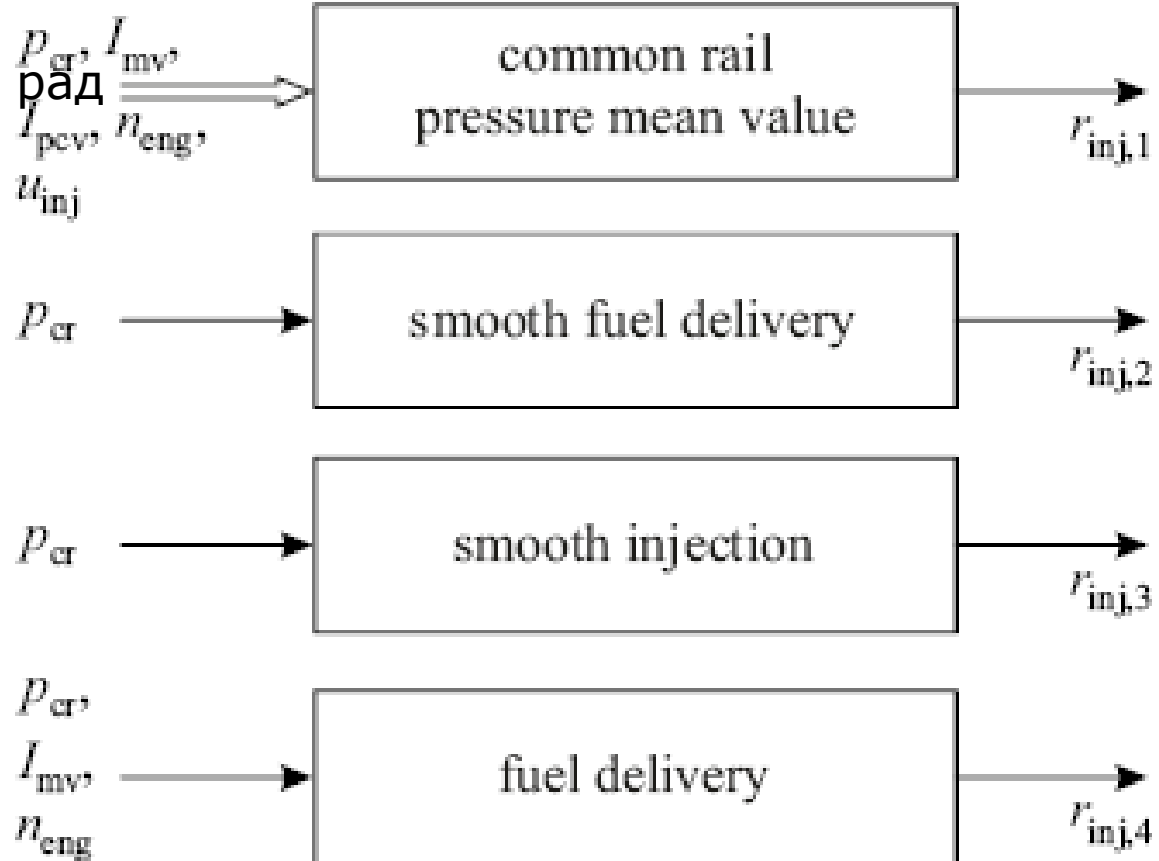


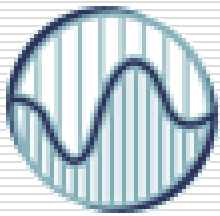


# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика common rail система

- Мерене и прорачунате вредности неопходне за рад модела за детекцију грешака у common rail систему.
- "smooth fuel delivery" и "smooth injections" су прорачунате на бази осцилација брызгача.
- "fuel delivery" се прорачунава на бази притиска који остварује ПВП.





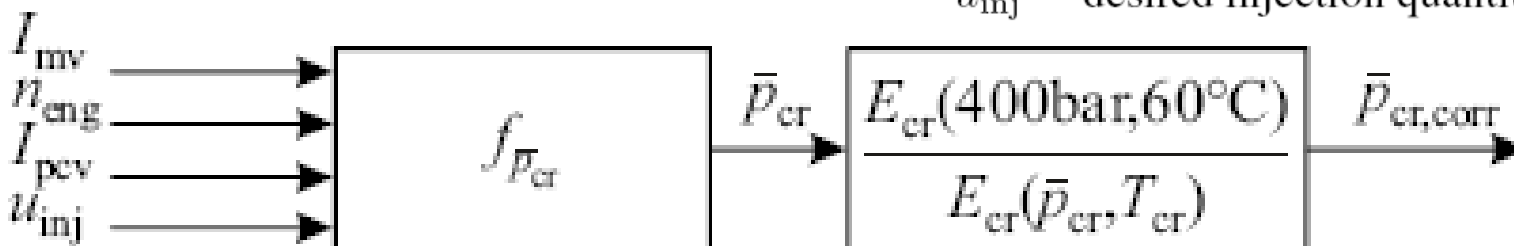
# Дијагностика система дизел мотора

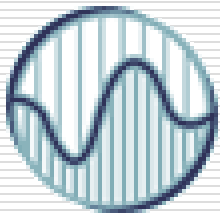
## Дијагностика common rail система

### Средња вредност притиска у магистрали

- ❑ Идентификација притиска у сиситему спроводи се на основу измерених вредности.
- ❑ Неке вредности се не могу мерити него се претпоставља њихова вредност. Нпр. притисак пре мерне јединице се самтра да је константан и као такав се више не разматра.
- ❑ Претпоставља се и да су пресеци отвора вентила (од чега зависи

$I_{mv}$  supply current of the metering valve  
 $I_{pcv}$  supply current of the pressure control valve  
 $n_{eng}$  engine speed  
 $u_{inj}$  desired injection quantity



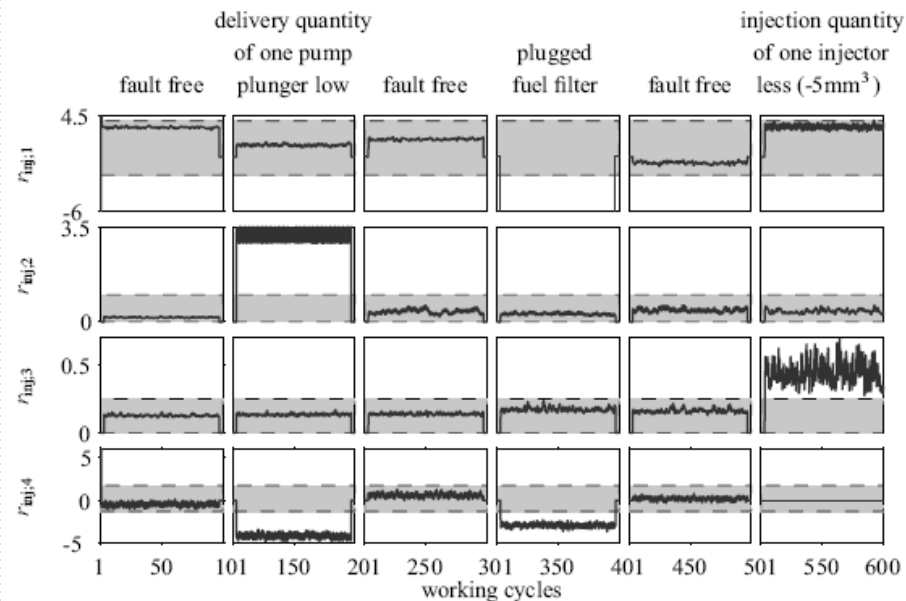


# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика common rail система

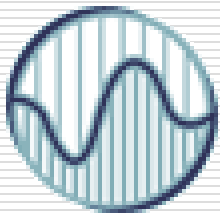
Мотор је постављен на пробни сто, а затим су симулиране грешке у раду система:

- ❑ Мања количина горива у магистрали проузорована променом анпона опруге у једном од елемената за потискивање горива.
- ❑ Смањен проток филтера за гориво
- ❑ Не униформни проток горива брызгача модификацијом времена убризгавања за један брызгач



operation points				
essential variables	$n_{eng}$	$u_{inj}$	$I_{pcv}$	$I_{mv}$
working cycles 1 to 100	$\approx 1010 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.54 A	1.16 A
working cycles 101 to 200	$\approx 1010 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.55 A	1.17 A
working cycles 201 to 300	$\approx 1410 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.64 A	1.13 A
working cycles 301 to 400	$\approx 2600 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.8 A	0.96 A
working cycles 401 to 500	$\approx 1810 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.74 A	1.08 A
working cycles 501 to 600	$\approx 1980 \text{ rpm}$	$\approx 10 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.87 A	1.07 A

Fig. 5.3.10. Residual deflections for three faults at different operating points.

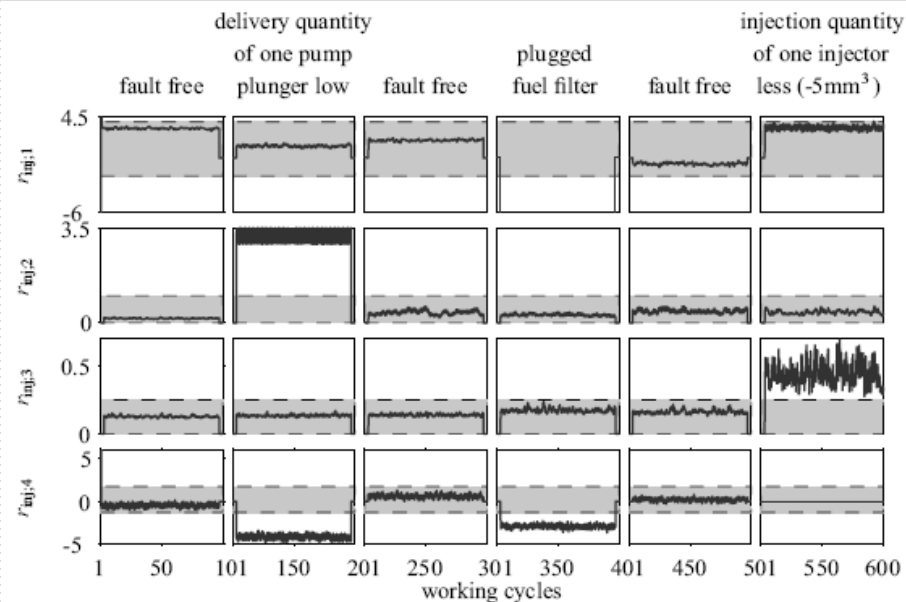


# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика common rail система

Мотор је постављен на пробни сто, а затим су симулиране грешке у раду система:

- ❑ Мања количина горива у магистрали проузорована променом напона опруге у једном од елемената за потискивање горива.
- ❑ Смањен проток филтера за гориво
- ❑ Неуниформни проток горива брызгача модификацијом времена убризгавања за један брызгач



operation points				
essential variables	$n_{eng}$	$u_{inj}$	$I_{pcv}$	$I_{mv}$
working cycles 1 to 100	$\approx 1010 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.54 A	1.16 A
working cycles 101 to 200	$\approx 1010 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.55 A	1.17 A
working cycles 201 to 300	$\approx 1410 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.64 A	1.13 A
working cycles 301 to 400	$\approx 2600 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.8 A	0.96 A
working cycles 401 to 500	$\approx 1810 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.74 A	1.08 A
working cycles 501 to 600	$\approx 1980 \text{ rpm}$	$\approx 10 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.87 A	1.07 A

Fig. 5.3.10. Residual deflections for three faults at different operating points.



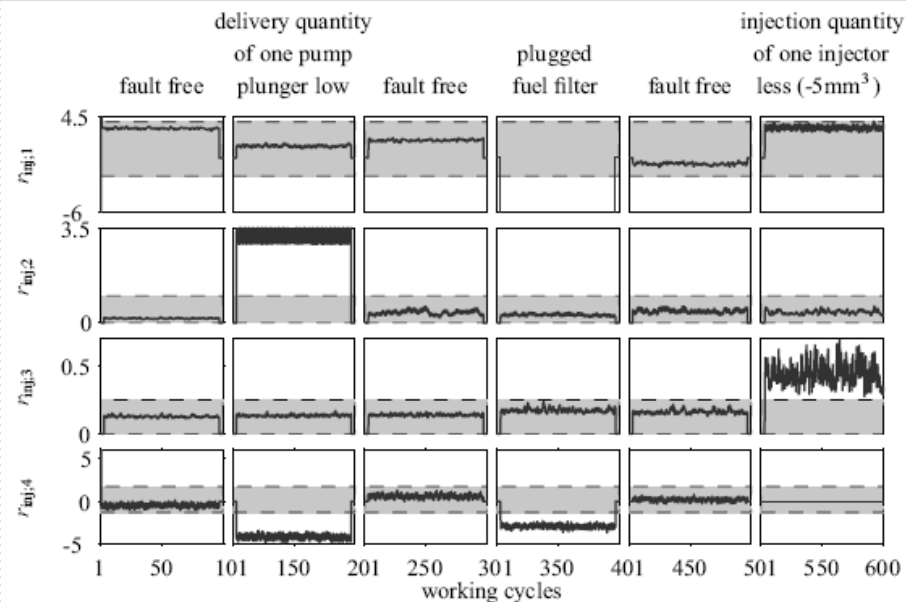


# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика common rail система

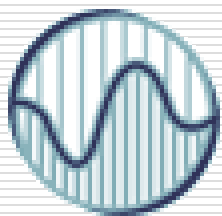
Поступак утврђивања грешака:

- ❑ Грешке су увођене секвенцијално и з сваку грешку су спроведена мерења.
- ❑ Наконк тога мотор је заустављен. Начињена грешка је исправљена, а затим је уведена нова грешка.
- ❑ Резолуција мерења је 1°KB
- ❑ Сива зона на дијаграму означава зону рада без грешке система.



operation points				
essential variables	$n_{eng}$	$u_{inj}$	$i_{pvc}$	$i_{mv}$
working cycles 1 to 100	$\approx 1010 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.54 A	1.16 A
working cycles 101 to 200	$\approx 1010 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.55 A	1.17 A
working cycles 201 to 300	$\approx 1410 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.64 A	1.13 A
working cycles 301 to 400	$\approx 2600 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.8 A	0.96 A
working cycles 401 to 500	$\approx 1810 \text{ rpm}$	$0 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.74 A	1.08 A
working cycles 501 to 600	$\approx 1980 \text{ rpm}$	$\approx 10 \frac{\text{mm}^3}{\text{cyl}}$	0.87 A	1.07 A

Fig. 5.3.10. Residual deflections for three faults at different operating points.



# Дијагностика система дизел мотора

## Дијагностика common rail система

Таблица симптома за  
common rail систем  
убризгавања горива

	$S_{inj,1}$	$S_{inj,2}$	$S_{inj,3}$	$S_{inj,4}$
$F_{inj,1}$ low delivery quantity of one pump piston	0	+	0	+
$F_{inj,2}$ reduced injection quantity of one injector	0	0	+	0
$F_{inj,3}$ pressure loss in front of high pressure pump (e.g. a plugged fuel filter)	—	0	0	+
$F_{inj,4}$ pressure in front of high pressure pump too high (e.g. a faulty metering valve)	+	0	0	+
$F_{inj,5}$ opening of the pressure control valve is too large	—	0	0	0
$F_{inj,6}$ opening of the pressure control valve is too small	+	0	0	0
$F_{inj,7}$ pressure sensor signal is too high	+	0	0	+
$F_{inj,8}$ pressure sensor signal is too low	—	0	0	+