

# Analiza razvodnih sustava s varijabilnim upravljanjem ventila

---

**Kukrika, Ivan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:611898>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-03**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

Fakultet prometnih znanosti

## ZAVRŠNI RAD

**ANALIZA RAZVODNIH SUSTAVA S VARIJABILNIM UPRAVLJANJEM VENTILA**

**VARIABLE VALVE CONTROL DISTRIBUTION SYSTEMS ANALYSIS**

Mentor: mag. ing. traff. Tomislav Kučinić

Student: Ivan Kukrika

JMBAG: 0135260181

Zagreb, travanj 2024.

Zagreb, 12. ožujka 2024.

Zavod: **Zavod za cestovni promet**  
Predmet: **Cestovna prijevozna sredstva**

## **ZAVRŠNI ZADATAK br. 7433**

Pristupnik: **Ivan Kukrika (0135260181)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Analiza razvodnih sustava s varijabilnim upravljanjem ventila**

### Opis zadatka:

U radu je potrebno prikazati princip rada četverotaktnog otto i diesel motora te konstrukcije različitih izvedbi razvodnog sustava. Objasniti moguće izvedbe pogona razvodnog sustava. Analizirati različite sustave varijabilnog upravljanja ventilima i bregastim vratilima te prikazati njihov utjecaj na tehničke karakteristike četverotaktnih motora.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

Tomislav Kučinić, mag. ing. traff.

## SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
2. PRINCIP RADA ČETVEROTAKTNOG MOTORA.....	3
2.1. Usis.....	3
2.2. Kompresija.....	4
2.3. Ekspanzija.....	4
2.4. Ispuh.....	5
2.5. Boyle – Mariotte – ov i Gay Lussac – ov zakon.....	6
2.6. Razvodni dijagram Otto i Diesel četverotaktnog motora.....	7
3. KONSTRUKCIJA RAZVODNOG SUSTAVA.....	11
3.1. Dijelovi razvodnog mehanizma.....	14
3.2. Više ventilska tehnika:.....	15
3.3. Zračnost ventila.....	17
4. POGON RAZVODNOG MEHANIZMA.....	24
4.1. Remenski pogon razvodnog mehanizma.....	24
4.2. Lančani pogon razvodnog mehanizma.....	25
4.3. Zupčasti pogon razvodnog mehanizma.....	26
5. VARIJABILNO UPRAVLJANJE BREGASTIM VRATILOM I VENTILIMA.....	28
5.1. Upravljanje bregastim vratilom.....	28
5.2. Varijabilno otvaranje ventila.....	32
6. PRIMJENA VENTILA KOD DVOTAKTNIH MOTORA.....	34
7. TEHNOLOGIJA SLOBODNIH VENTILA.....	36
8. ZAKLJUČAK.....	38
Popis literature:.....	39
Popis slika:.....	40

## 1. UVOD

Cilj ovog završnog rada je prikaz i pojašnjenje principa rada motora u osnovi, prikaz elemenata i pogona razvodnog mehanizma motora i opis suvremenih tehnologija razvodnog mehanizma. Svrha i vrste razvodnog mehanizma su prikazani detaljno kroz seminarski rad potkrijepljeni opisima i slikama koje dodatno opisuju tematiku. Razvodni mehanizam je jedan od temeljnih podsustava motora koji omogućavaju njegov rad, a otkazom istog dolazi do havarije motora i nemogućnosti motora da obavlja svoju zadanu funkciju. Kod dvotaktnih motora, nema potrebe za postojanjem razvodnog mehanizma jer se regulacijom i izmjenom radnog medija u cilindrima upravlja prekrivanjem usisnih, ispušnih i prestrujnih kanala. Sustavi za pogon razvodnog mehanizma se temelje na načelima pojedinog prijenosnog mehanizma, a shodno mogućnostima pojedinog mehanizma se on ugrađuje u motor vozila. Pri odabiru pogona, obraća se pozornost na zahtijevane uvjete rada, a uz to i na eksploatacijske troškove. Sustav varijabilnog upravljanja ventilima predstavlja veliki iskorak u pogledu mogućnosti razvodnog mehanizma za poboljšanjem punjenja motora, a pogotovo onih bez vanjskog nabijanja. Shodno tomu dolazi do napretka u pogledu smanjenja emisije štetnih plinova, a uz to i smanjenja eksploatacijskih troškova.

Naslov završnog rada je: Analiza razvodnih sustava s varijabilnim upravljanjem ventila. Rad je podijeljen u osam cjelina:

1. Uvod
2. Princip rada četverotaktnog motora
3. Konstrukcija razvodnog mehanizma
4. Pogon razvodnog mehanizma
5. Varijabilno upravljanje bregastim vratilom i ventilima
6. Primjena ventila kod dvotaktnih motora
7. Tehnologija slobodnih ventila
8. Zaključak

U drugom poglavlju rada je prikazan princip rada četverotaktnog motora kroz detaljan opis sva četiri takta. Uz opis taktova rada, prikazani su idealni i stvarni razvodni dijagrami koji prikazuju promjene stanja radnog medija unutar cilindra.

U trećem i četvrtom poglavlju su prikazane različite konstrukcijske izvedbe i načini pogona razvodnog mehanizma zajedno sa značajkama pojedinih izvedbi. U trećem poglavlju je dodatno opisana više ventilska tehnika, zajedno sa sastavnim elementima razvodnog mehanizma. U četvrtom poglavlju su prikazani razni načini pogona razvodnog mehanizma, a ovise o svrsi i namjeni motora.

Peto poglavlje se sastoji od opisa varijabilnog upravljanja bregastim vratilom i ventilima te različitih izvedbi proizvođača automobila. Također je prikazan rad sustava i položaj određenih elemenata u različitim režimima rada motora.

Šesto poglavlje se sastoji od prikaza rijetko uporabljivane tehnologije koja se sastoji iz korištenja ventila na ispušnim kanalima dvotaktnih Otto motora s ciljem povećanja njihove učinkovitosti.

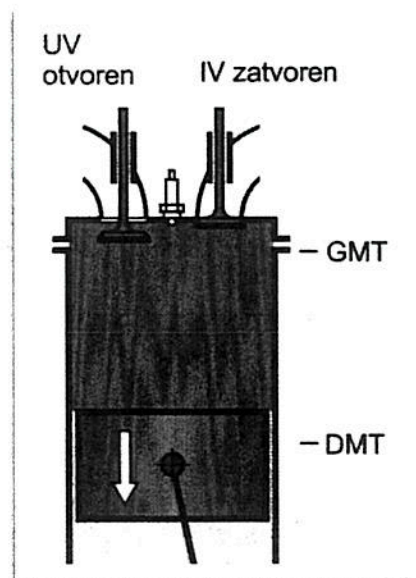
U sedmom poglavlju je prikazana tehnologija koja je još u određenoj fazi razvoja i zbog svoje složenosti te cijene nije pronašla primjenu u motorima automobila, ali predstavlja veliki iskorak u pogledu unaprjeđenja razvodnog mehanizma motora.

## 2. PRINCIP RADA ČETVERTAKTNOG MOTORA

Četvertaktni motor svoj jedan radni ciklus obavi unutar 4 radna takta. Takt je hod klipa od jedne prema drugoj mrtvoj točki. Za rad motora je potrebno u cilindar usisati gorivu smjesu ili zrak, potom radni medij unutar cilindra stlačiti, zapaliti s ciljem postizanja potpunog izgaranja usisane gorive smjese koja stvara rad na način da potiskuje cilindar od vanjske prema unutrašnjoj mrtvoj točki i potom produkte izgaranja istisnuti iz cilindra. Kretanjem klipa unutar cilindra, otvaranjem i zatvaranjem ventila se obavlja izmjena radnog medija u cilindru i omogućava stvaranje korisnog rada u motoru.

### 2.1. Usis

Prvi takt je takt usisa, cilj ovog takta kod motora je usisavanje svježeg gorive smjese ili zraka u prostor cilindra. Tijekom ovog takta je otvoren usisni ventil, a ispušni je zatvoren. Klip se kreće od vanjske mrtve točke prema unutrašnjoj stvarajući određeni podtlak koji pospješuje usisavanje radnog medija u cilindar. Iako je po pravilu tijekom ovog takta, ispušni ventil zatvoren, on može biti otvoren zajedno s usisnim ventilom pri početku trajanja takta „Usis“ kako bi se pospješilo izbacivanje zaostalih produkata izgaranja iz prostora cilindra. Također, usisni ventil se ne zatvara strogo s dolaskom klipa u unutrašnju mrtvu točku nego ostaje otvoren još kratki vremenski interval nakon, također s ciljem poboljšanja punjenja cilindra korištenjem visoke kinetičke energije usisnih plinova. Na slici 1 je vidljiv prikaz usisnog takta.



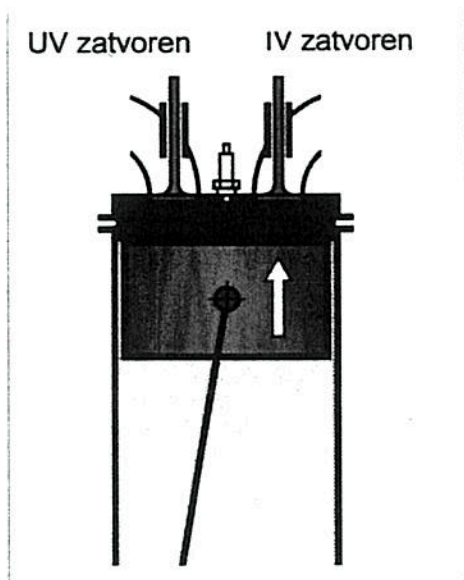
Slika 1 takt "Usis"

Izvor: [3]

## 2.2. Kompresija

Kompresija je drugi takt, tijekom ovog takta i usisni i ispušni ventili su zatvoreni. Klip se kreće od unutrašnje mrtve točke prema vanjskoj komprimirajući radni medij unutar cilindra što se može vidjeti na slici 2.

Stlačivanjem se radnom mediju povećava temperatura i tlak, a smanjuje volumen. U slučaju oštećenja klipnih prstenova, lošem brtvljenju ventila ili nepravilno podešenog razvodnog sustava, radni medij se neće ispravno komprimirati, tj. neće se postići potreban tlak kompresije što će rezultirati lošim radom motora ili motor neće moći biti upućen u rad.



Slika 2 takt "Kompresija"

Izvor: [3]

## 2.3. Ekspanzija

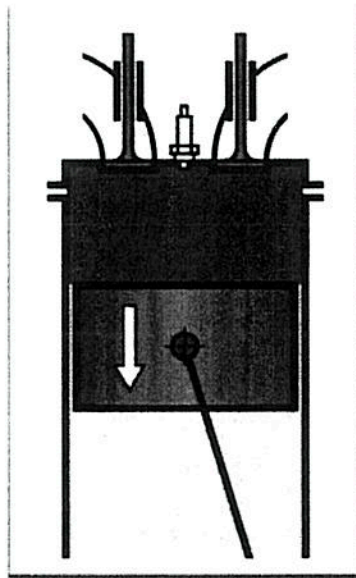
Netom prije nego što klip dođe u vanjsku mrtvu točku dolazi do zapaljenja gorive smjese u cilindru čime počinje takt ekspanzije. Tlak i temperatura u cilindru se naglo povisuju tlačeći klip ka unutrašnjoj mrtvoj točki stvarajući koristan rad. Jedino se u ovom taktu dobije koristan rad za pogon vozila. U slučaju Otto motora, u cilindar je tijekom takta usisa usisana smjesa goriva i zraka ili u slučaju direktnog ubrizgavanja je gorivo ubrizgano tijekom takta „Usis“ u prostor cilindra. Netom što je klip došao u vanjsku mrtvu točku, pojavljuje se iskra na svjećici koja zapaljuje gorivu smjesu unutar cilindra. U slučaju Diesel motora, u cilindar je usisan samo svježi zrak, a na kraju takta kompresije se u prostor cilindar u čelo klipa ubrizgava gorivo u obliku fine magle pod visokim tlakom. Gorivo se samozapali zbog visoke temperature zraka,



uslijed kompresije, unutar cilindra. Tijekom ovog takta su oba ventila zatvorena i klip se giba od vanjske prema unutrašnjoj mrtvoj točki što je vidljivo na slici 3.

Trenutak zapaljenja goriva je vrlo važan, jer ako se gorivo zapali dok još klip nije došao u vanjsku mrtvu točku doći će do vrlo velikih mehaničkih oštećenja i moguće havarije motora, a u slučaju da se gorivo zapali prekasno smanjit će se snaga i korisnost motora i povećati emisija štetnih plinova izgaranja. U slučaju Otto motora, potrebno je pri konstrukciji obratiti pozornost na mogućnost detonacije izgaranja, što znači da se goriva smjesa zapali prije nego što se pojavi iskra na svjećici. To se može dogoditi u slučaju pre velike kompresije motora i samim time se temperatura zraka unutar cilindra povisi iznad temperature zapaljenja goriva ili u slučaju da se ispušni ventil previše zagrije te uzrokuje zapaljenje gorive smjese.

Također na detonativno izgaranje utječe oktanski broj goriva koje se koristi, odnosno mjera otpornosti goriva prema samozapaljenju.

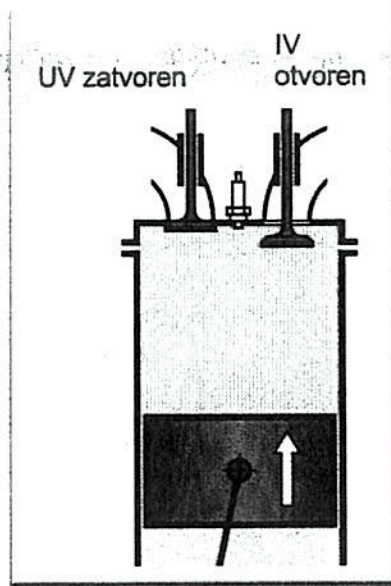


Slika 3 takt „Ekspanzija“,

Izvor: [3]

## 2.4. Ispuh

Otvaranjem ispušnog ventila započinje takt ispuha. Ovaj takt služi za ispuštanje produkata izgaranja iz radnog prostora cilindra. Usisni je ventil zatvoren, dok je ispušni otvoren i klip se giba od unutrašnje mrtve točke ka vanjskoj što se može vidjeti na slici 4. Produkti izgaranja prestrujavaju preko ispušnog ventila u ispušni sustav vozila. Ispušni se ventil otvara netom prije nego što klip dođe u unutrašnju mrtvu točku kako bi se pospješilo izbacivanje produkata izgaranja zaostalim visokim tlakom izgaranja goriva. Pred kraj takta „Ispuh“ netom prije nego što klip dođe u vanjsku mrtvu točku se otvara i ispušni ventil kako bi svježiji radni medij dodatno potisnuo produkte izgaranja van iz cilindra.

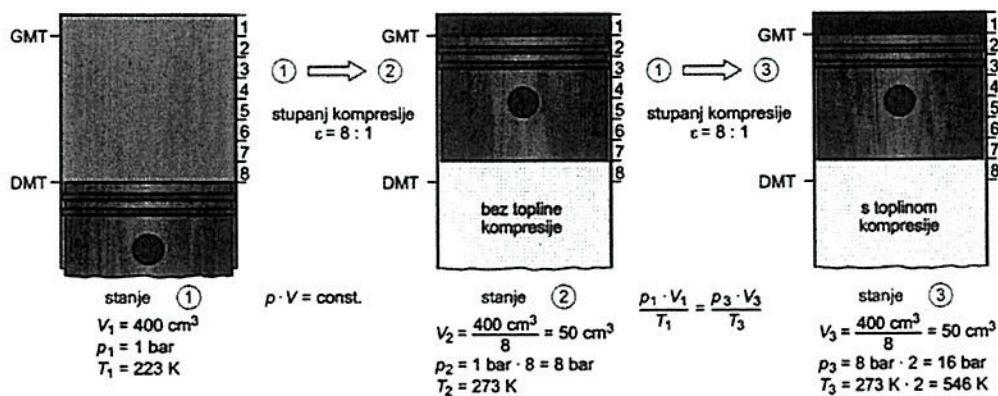


Slika 4 takt "Ispuh"

Izvor: [3]

## 2.5. Boyle – Mariotte – ov i Gay Lussac – ov zakon

Boyle – Mariotte – ov zakon glasi: Gibanjem klipa od jedne ka drugoj mrtvoj točki cilindra, tlak i temperatura radnog medija se mijenjaju. Promjene vrijednosti tlaka i volumena radnog medija se odnose obrnuto proporcionalno pri konstantnoj temperaturi. Za koliko se puta poveća tlak radnog medija, za toliko puta mu se smanji volumen. Umnožak tlaka i volumena je nepromjenjiv. Na slici 5 je vidljiv prikaz odnosa tlaka, volumena i temperature tijekom procesa kompresije.



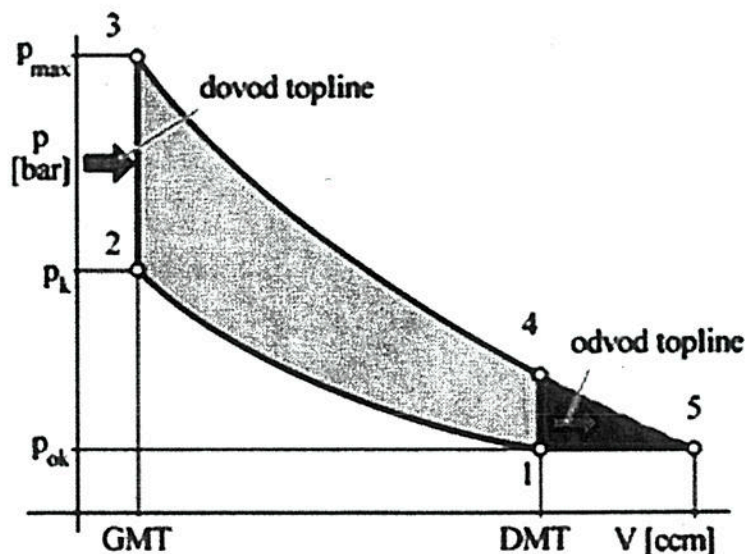
Slika 5 prikaz odnosa tlaka, temperature i volumena tijekom procesa kompresije radnog medija u cilindru

Izvor:[3]

Gay Lussac – ov zakon glasi: Pri stalnom tlaku volumen radnog medija se izravno proporcionalno mijenja s apsolutnim temperaturama. Primjerice, u slučaju da se temperatura radnog medija poveća za jedan kelvin, volumen mu se poveća za 273. dio početnog volumena. Ako se plin zagrije za 273 kelvina, volumen će mu se udvostručiti.

## 2.6. Razvodni dijagram Otto i Diesel četverotaktnog motora

U  $p - V$  dijagramu se može prikazati odnos između tlaka, temperature i volumena radnoj medija u cilindru. Mehanička energija koja se stvara kroz rad motora se može prikazati površinom u  $p - V$  dijagramu. Na ordinati dijagrama su prikazane vrijednosti tlaka radnog medija  $p$ , a na apscisi volumena  $V$ . Prema Boyle-Mariotte-ovom i Gay-Lussac-ovom zakonu se dobije idealan radni dijagram. Na dijagramu se u mrtvim točkama kretanja klipa tijekom izgaranja i ispuha ne mijenja volumen. Dijagram prikazuje ovisnost promjene tlaka u cilindru o kretanju klipa unutar cilindra. Na slici 6 je prikazan idealan  $p - V$  dijagram Otto četverotaktnog motora, a površina omeđena točkama 1, 2, 3 i 4 predstavlja koristan rad tijekom jednog radnog ciklusa. Površina omeđena točkama 1, 4 i 5 predstavlja izgubljeni rad. Vrijednost korisnog rada se može povećati povećanjem stupnja kompresije, što rezultira povećanjem najvećeg tlaka i temperature kompresije, a snizi temperatura i tlak ispušnih plinova. [3]



Slika 6 idealan  $p - V$  dijagram Otto četverotaktnog motora

Izvor: [3]

Idealan  $p - V$  dijagram se može ostvariti uz navedene pretpostavke: [3]

- u cilindru nema zaostalih produkata izgaranja
- izgaranje gorive smjese je potpuno
- radni medij ne izmjenjuje toplinu sa okolinom

- proces izgaranja gorive smjese je trenutani, odnosno pri konstantnom tlaku
- nema gubitka tlaka kompresije

Na slici 5 je prikazan idealan  $p - V$  dijagram u kojem se odvijaju navedeni procesi:  
[3]

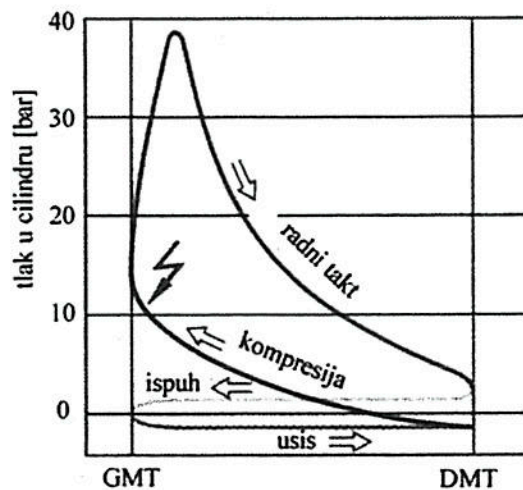
1 → 2 = kompresija radnog medija. Porast tlaka gorive smjese bez dovođena topline iz okoline

2 → 3 = izgaranje radnog medija pri konstantnom volumenu prema Gay – Lussac – ovom zakonu

3 → 4 = radni takt, odnosno ekspanzija plinova izgaranja. Plin visokog tlaka se širi i potiskuje klip prema unutrašnjoj mrtvoj točki. Nema odvoda topline prema Boyle – Mariotte – ovom zakonu.

4 → 5 = hlađenje prostora cilindra i ispuh produkata izgaranja. Tlak se vraća na vrijednost u točki jedan zahvaljujući odvodu topline.

U stvarnosti  $p - V$  dijagram Otto motora u velikoj mjeri odstupa od idealnoga. Izgaranje gorive smjese se ne odvija trenutačno jer bi u tom slučaju klipni mehanizam trpio visoka udarna opterećenja. Praćenje i snimanje  $p - V$  dijagrama se može provesti piezoelektričnim indikatorom tijekom rada motora i prikazati na zaslonu, a što je vidljivo na slici 7.

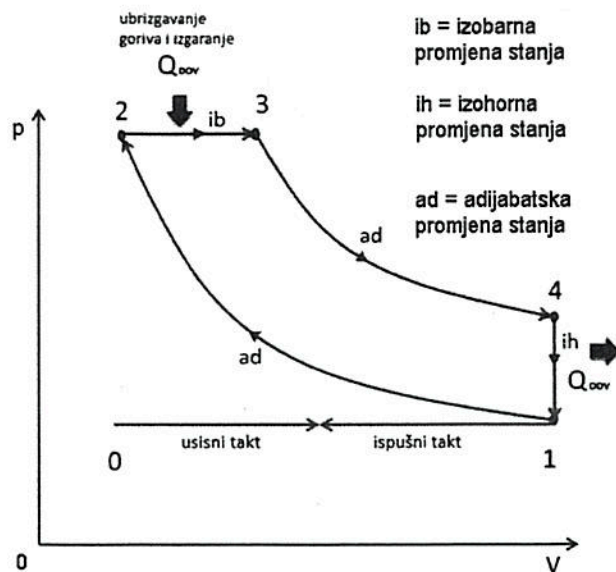


Slika 7 prikaz stvarnog  $p - V$  dijagrama četverotaktnog Otto motora

Izvor:[3]

Idealan dizelski proces se sastoji od četiri termodinamičke promjene stanja: dva adijabatska procesa (proces u kojemu nema izmjene topline sa okolinom), jedan izohorni proces (proces pri konstantnom volumenu) i jedan izobarni proces (proces

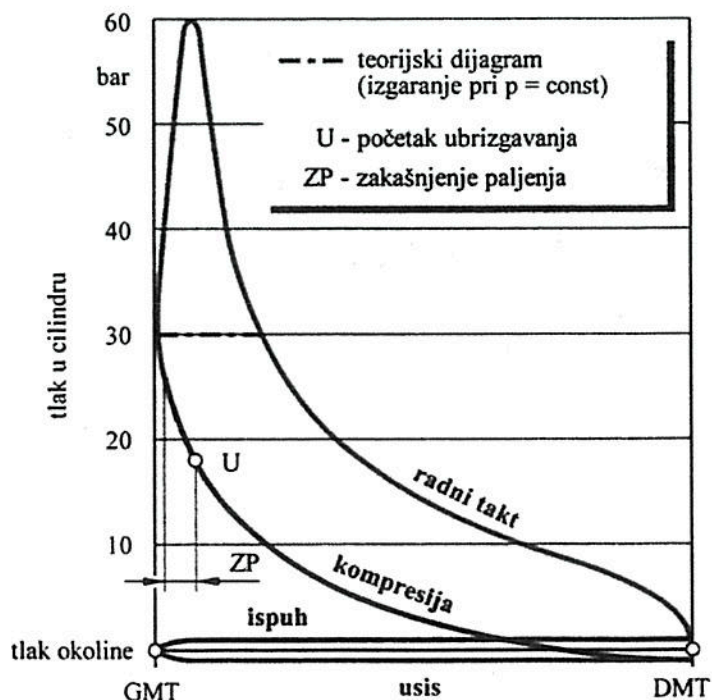
pri konstantnom tlaku). Prikaz idealnog dizelskog procesa je vidljiv na slici 8. Za razliku od Otto procesa, Dieselov proces ne provodi izohorno dovođenje topline. [9]



Slika 8 prikaz idealnog četverotaktnog Diesel procesa

Izvor: [9]

Na slici 9 je prikazan stvarni dijagram Diesel procesa koji se od idealnog razlikuje zbog potrebnog vremena za ubrizgavanje goriva u radni prostor cilindra, a shodno tomu i vremena za zapaljenje goriva što rezultira porastom tlaka i temperature.



Slika 9 prikaz stvarnog četverotaktnog Diesel procesa,

Izvor:[3]

### 3. KONSTRUKCIJA RAZVODNOG SUSTAVA

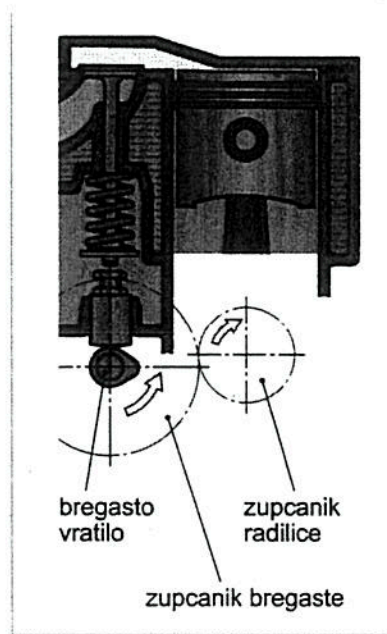
Zadatak razvodnog mehanizma je upravljanje izmjenom radnog medija u cilindru kroz otvore usisnih i ispušnih ventila pomoću pravovremenog otvaranja i zatvaranja ventila. Trenutci otvaranja i zatvaranja se reguliraju i određuju u stupnjevima okreta radilice. Osnovni elementi razvodnog mehanizma su: bregasto vratilo, ventili, opruge ventila, vodilice ventila, podizači ventila i klackalice. [3]

Položaj ventila u razvodnom sustavu može biti: [3]

- Viseći: ventili se zatvaraju gibanjem prema gore, nalaze se najčešće u glavi motora. Motori s ovakvom izvedbom položaja ventila se označavaju kao OHV („OverHead Valves“) motori.
- Stojeći ili ležeći: ventili su smješteni sa bočne strane cilindra, gibanjem ventila prema dolje se zatvaraju otvori. Zbog takvog smještaja ventila u cilindrima je prostor izgaranja nepovoljan. Motori s ovakvom izvedbom položaja ventila se označavaju kao SV („Side Valves“) motori.

Vrsta razvodnog mehanizma prema položaju bregastog vratila u motoru može biti:

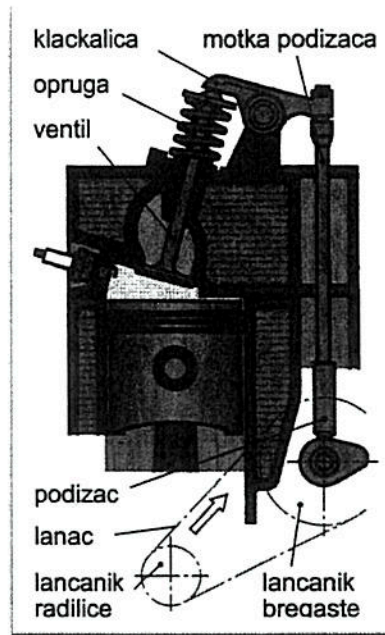
- Donji razvod:
  - o Bregasto vratilo se nalazi ispod vanjske mrtve točke motora, a ventili su ležeći. Na slici 5 je moguće vidjeti prikaz ove vrste razvodnog mehanizma. (SV motori) [3]



Slika 10 prikaz donjeg razvoda SV motora

Izvor: [3]

- Bregasto vratilo se nalazi ispod vanjske mrtve točke motora, a ventili su viseći. Na slici 6 je moguće vidjeti prikaz ovakve vrste razvodnog mehanizma. (OHV motori) [3]



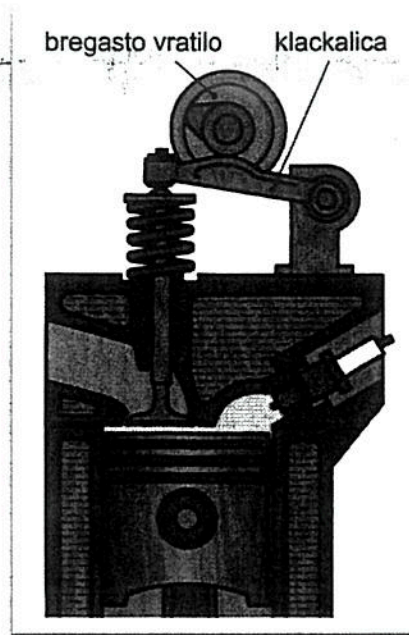
Slika 11 prikaz donjeg razvoda OHV motora

Izvor: [3]

- Gornji razvod:

- OHC: izvedba razvodnog mehanizma kod kojeg se jedno bregasto vratilo nalazi iznad glave motora. Na slici 7 je vidljiv prikaz položaja bregastog vratila koji preko klackalice djeluje na otvaranje ventila. [3]

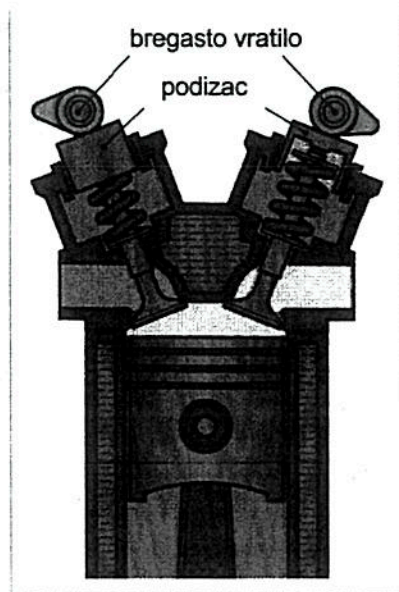




Slika 12 prikaz gornjeg razvoda OHC motora

Izvor: [3]

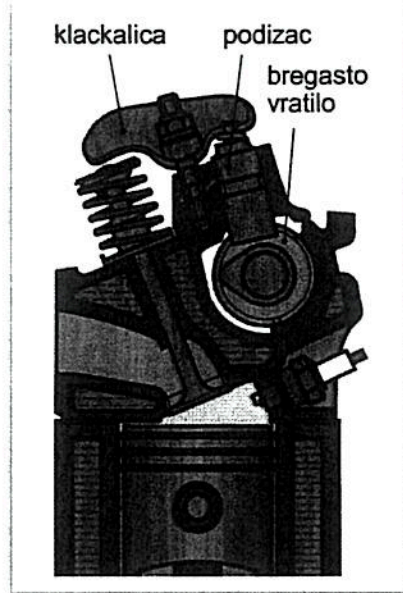
- o DOHC: izvedba razvodnog mehanizma kod kojeg se iznad glave motora nalaze dva bregasta vratila. Ova tehnika se koristi najčešće kod motora koji imaju više od 2 ventila po cilindru, tj. koriste viševentilsku tehnologiju. Najčešći slučaj je da jedno bregasto vratilo upravlja otvaranjem usisnih ventila, a drugo bregasto vratilo ispušnih ventila. Prikaz ovakvog sustava je moguće vidjeti na slici 8. [3]



Slika 13 prikaz gornjeg razvoda DOHC motora

Izvor: [3]

- o CIH: izvedba razvodnog mehanizma s bregastim vratilom smještenim u glavi motora. Pomoću klackalice i podizача bregasto vratilo djeluje na otvaranje ventila. Prikaz je vidljiv na slici 9. [3]



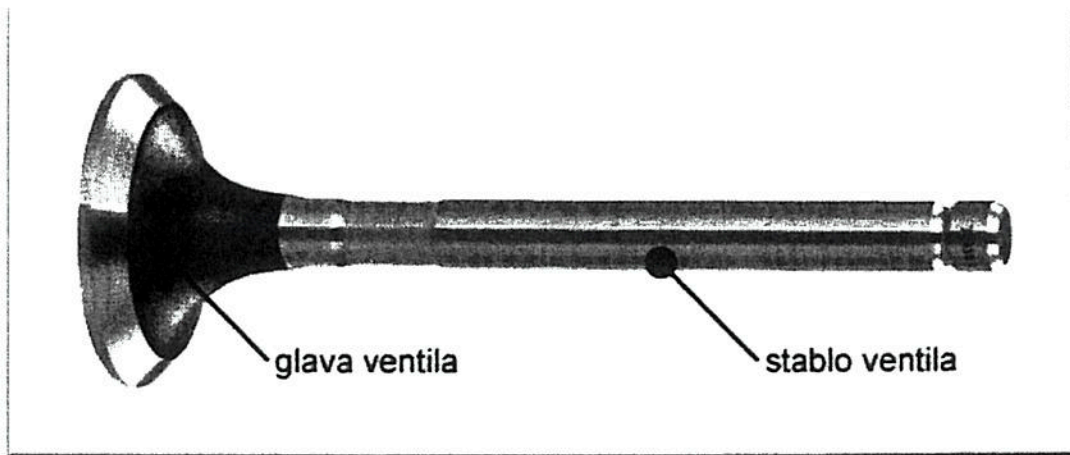
Slika 14 prikaz gornjeg razvoda CIH motora

Izvor: [3]

### 3.1. Dijelovi razvodnog mehanizma

Ventili su elementi motora čijim otvaranjem i zatvaranjem se izmjenjuje radni medij unutar motora. Na ventile djeluje bregasto vratilo. Kako bi motor uspješno radio i obavljao funkciju, ventili se moraju otvoriti i zatvoriti, odnosno pomaknuti u točno određenom trenutku za točno određeni pomak. Svaki motor mora imati najmanje jedan usisni i jedan ispušni ventil preko kojih dolazi do izmjene radnog medija unutar cilindra. Na slici 10. je vidljiv prikaz demontiranog ventila s prikazom sastavnih dijelova. Usisni i ispušni ventili se nalaze u glavi motora, a reguliraju protok gorive smjese ili svježeg usisanog zraka u cilindar, odnosno produkata izgaranja iz cilindra. U zatvorenom položaju omogućavaju stvaranje potrebnih tlakova kompresije. Nalaze se između radnog prostora cilindra i usisnog, odnosno ispušnog kolektora. Shodno tomu, ventili se otvaraju prema cilindru jer je potrebno da ventili najviše moguće brtve kako ne bi došlo do gubitka tlaka kompresije i samim time

smanjene efikasnosti motora. Promjer i hod ventila su tako dimenzionirani da se izmjena radnog medija unutar cilindra odvija uz što je manje moguće otpore. Promjer usisnog ventila je veći od ispušnog jer je tlak unutar cilindra u taktu ispuha veći od okoline te pomaže pri ispuhu plinova izgaranja, a pri usisu svježeg radnog medija u cilindar se teži što manjim otporima pri usisu i stoga je korisno što je usisni ventil većeg promjera. [2]



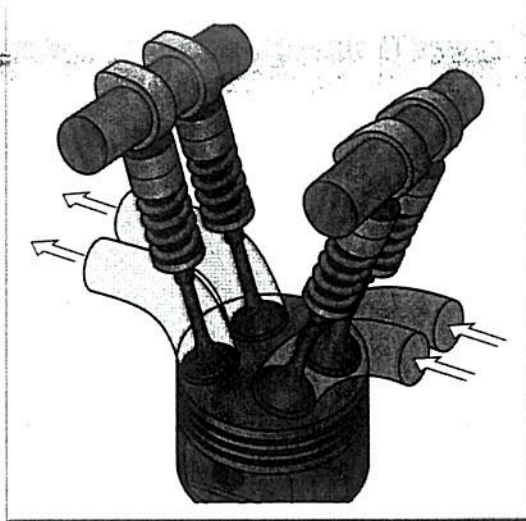
Slika 15 prikaz demontiranog ventila sa sastavnim elementima

Izvor: [4]

### 3.2. Više ventilska tehnika:

Više ventilska tehnika je primjena više ventila u cilindru za usis, odnosno ispuh. Kombiniraju se najčešće dva usisna ventila sa jedim ispušnim, dva usisna sa dva ispušna i tri usisna sa dva ispušna. Korištenjem više istovrsnih ventila se povećava koristan promjer za prostrujavanje usisne smjese i ispušnih plinova, a isto tako korištenjem više ventilske tehnike se zbog korištenja više ventila njihovi promjeri smanjuju, a samim time se ventilima smanjuje i masa. Smanjenjem mase ventila se smanjuje i njihova inercija, a također i opterećenje ostalih elemenata razvodnog mehanizma poput brjegov bregastog vratila, sjedala i opruga ventila. [3]

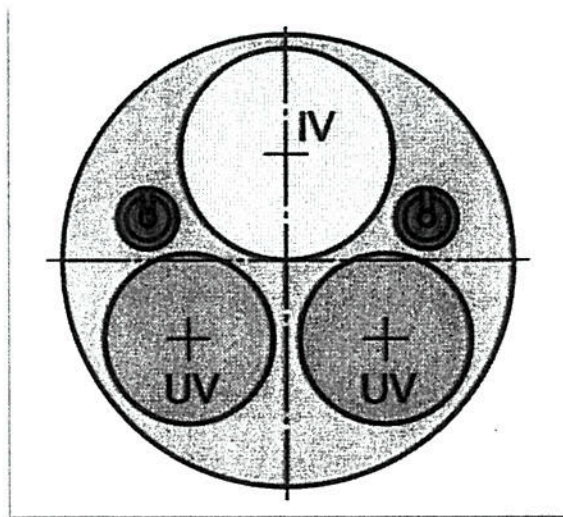
Više ventilska tehnika s 4 ventila po cilindru: ovo je najčešće korištena više ventilska tehnika. Sastoji se od dva veća usisna ventila stavljena nasuprot dva manja ispušna ventila. Za pogon ovakvog razvodnog sustava su potrebna dva bregasta vratila, jedno koje upravlja samo usisnim ventilima, a drugo koje uspravlja ispušnim. Položaj ventila u odnosu na klip u cilindru se može vidjeti na slici 10. [3]



Slika 16 prikaz vise ventilske tehnike s 4 ventila po cilindru

Izvor: [3]

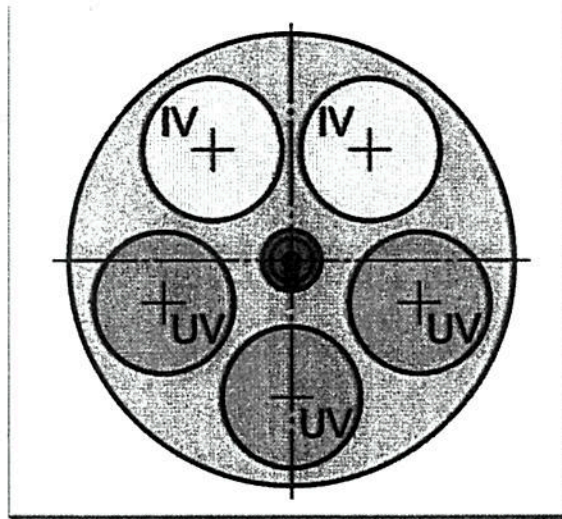
Više ventilska tehnika s 3 ventila po cilindru: ovo je tehnika koja kombinira dva usisna ventila manjih promjera postavljena nasuprot jednom ispušnom ventilu većeg promjera. Raspored ventila korištenjem ove tehnike se može vidjeti na slici 11. Pri korištenju ove tehnike, može doći do problema sa smještajem svjeće u središte cilindra i prostora izgaranja. Kako bi se riješio taj problem, koristi se paljenje gorive smjese sa dvije svjeće što rezultira poboljšanjem izgaranja gorive smjese. U ovoj tehnici ventilima upravlja samo jedno bregasto vratilo. [3]



Slika 17 prikaz vise ventilske tehnike s 3 ventila po cilindru

Izvor: [3]

Više ventilska tehnika s 5 ventila po cilindru: ova tehnika obuhvaća korištenje tri usisna ventila s dva ispušna pružajući najveću moguću površinu presjeka otvora ventila. Svjećica se nalazi u središtu cilindra i prostora izgaranja. Usisnim ventilima upravlja jedno bregasto vratilo, a ispušnim drugo. Prikaz položaja ventila u ovoj tehnici je moguće vidjeti na slici 12. [3]



Slika 18 prikaz više ventilske tehnike s 5 ventila po cilindru

Izvor: [3]

### 3.3. Zračnost ventila

Kako bi razvodni mehanizam mogao uspješno obavljati svoju funkciju potrebna je određena zračnost između elemenata. Potreba za zračnošću između elemenata se javlja zbog toplinskog širenja i skupljanja, a isto tako i trošenja. Zračnost mora postojati i kontrolirati se između: [3]

- brijeg – pločica
- brijeg – klackalica
- klackalica - ventil

U slučaju da u razvodnom mehanizmu koriste hidro – podizači, u sustavu nema zračnosti. Zračnost ventila je veća: [3]

- na hladnom motoru nego na toplom = elementi se nisu zagrijali i proširili na dimenzije u zagrijanom stanju
- na ispušnim ventilima nego usisnim = zbog većeg zagrijavanja ispušnih ventila pri radu motora
- kod donjeg razvoda = zbog većeg broja elemenata sustava razvoda.

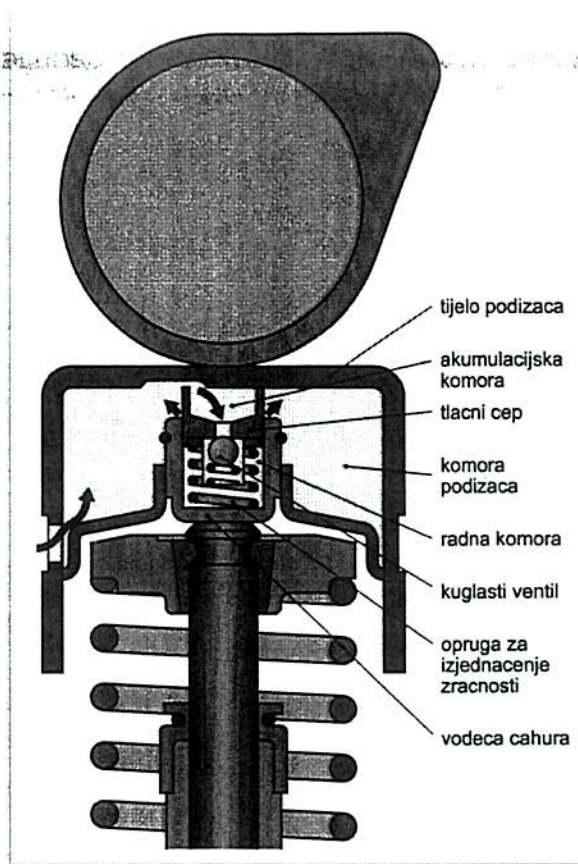
Zračnost između elemenata razvodnog mehanizma se razlikuje u ovisnosti o tipu i vrsti motora. Može se obavljati i na zagrijanim i na hladnim motorima, a isto tako i na motorima koji rade na minimalnom broju okretaja i na motorima koji su u stanju mirovanja. [3]

Zračnost između elemenata se kreće od 0,1 do 0,3 milimetra s tolerancijom od 0,05 milimetara. U slučaju da motor radi s krivim iznosima zračnosti među elementima, mijenjaju se trenutci otvaranja i zatvaranja ventila. [3]

Slučaj prevelike zračnosti: ventili se kasnije otvaraju i ranije zatvaraju nego što je to potrebno za normalan rad motora. Dolazi do smanjenja snage motora zbog slabijeg punjenja, pojave primjetnog lupanja pri radu motora i trošenja bregova, ventila i klackalica. [3]

Slučaj premale zračnosti: ova situacija je znatno opasnija jer ju je teško otkriti, a za posljedicu može imati velike posljedice. Zbog smanjene zračnosti između elemenata razvodnog sustava, ventili se ranije otvaraju i kasnije zatvaraju, a samim time su i kraće vrijeme zatvoreni nego što bi trebali biti što rezultira smanjenim hlađenjem ventila. Postoji mogućnost da se ventili ni ne zatvore u potpunosti što utječe na smanjenje snage motora, a isto tako da se otvore prerano ili zatvore prekasno i dođu u direktan dodir s klipom što uzrokuje velika mehanička oštećenja. Ventili se pregrijavaju i mjestimično pregaraju. Zbog slabog hlađenja, ventili se previše zagrijavaju i stoga slabo brtve, a tome pridonosi i produljenje struka ventila zbog zagrijavanja. U slučaju propuštanja usisnih ventila, goriva smjesa prodire u prostor usisne grane, gdje se miješa s usisnom smjesom. [3]

Hidrauličko namještanje zračnosti: Unutar modernih motora, podešavanje zračnosti unutar razvodnog mehanizma se odvija hidraulički. Tlakom ulja se nadomješta dilatacija dijelova razvodnog mehanizma. Hidraulički sklop, koji uz pomoć tlaka ulja regulira zračnost između elemenata sustava, se nalazi unutar čašice kod motora kojima bregasto vratilo izravno pokreće ventile. U slučaju da se ventilima upravlja preko klackalice, a ne izravno putem brjegova bregastog vratila, hidraulički sklop se nalazi unutar klackalice. Na slici 13 je vidljiv prikaz sustava hidrauličkog namještanja zračnosti. [3]



Slika 19 prikaz hidrauličkog podizача u čašici

Izvor: [3]

Ventil zatvara – opruga unutar podizача podiže tlačni čep kako bi tijelo podizача dodirnuo površinu brjegova. Uslijed naglog povećanja radnog prostora u sustavu, ulje struji preko ventila iz pričuvnog u radni prostor. [3]

Ventil otvara – brjeg bregastog vratila djeluje na tijelo podizача, a uslijed toga dolazi do opterećenja tlačnog čepa i zatvaranja ventila. Budući da ulje nije stlačivo, pomak tijela podizача i tlačnog čepa djeluje na vodeću čahuru što uzrokuje otvaranje usisnog ili ispušnog ventila. Kroz zračnosti unutar ovog sustava, višak ulja se vraća u prostor podizача čime se nadomješta dilatacija dijelova mehanizma. [3]

Vodilice ventila: zadatak vodilica ventila je pravilno vođenje ventila i hlađenje ventila, što je posebno važno kod ispušnih ventila koji se mogu veoma zagrijati i u krajnjem slučaju izgorjeti. Usisni se ventili hlade usisnom smjesom pa nisu ovisni samo o hlađenju preko vodilica ventila. Tijekom rada motora, dolazi do trošenja samih vodilica ventila što uzrokuje pojavu zračnosti između ventila i vodilice, a uslijed toga dolazi do smanjene sposobnosti hlađenja ventila. Na slici 15. je vidljiv prikaz vodilica ventila koji se koriste u suvremenim motorima vozila.[3]

Materijal od kojih su izrađene vodilice ventila mora imati dobra klizna svojstva i otpornost na trošenja, a uz to i nizak otpor prolasku topline kako bi hlađenje bilo

uspješno. Najčešće se vodilice izrađuju od posebnih legura sivog lijeva koji je cementiran, a zbog cementiranja su mu poboljšana klizna svojstva, a uz sivi lijev, vodilice se izrađuju i iz ljevačke bronce također. [3]

Uz vodilice su također smještene i brtve vodilica koje moraju osigurati adekvatan sloj ulja za podmazivanje struka ventila, ali također i spriječiti prodor ulja u prostor izgaranja. Posljedice propuštanja brtvi vodilica ventila su: [3]

- veća potrošnja ulja
- koksiranje ulja
- otežan rad ventila
- začepijavanje katalizatora

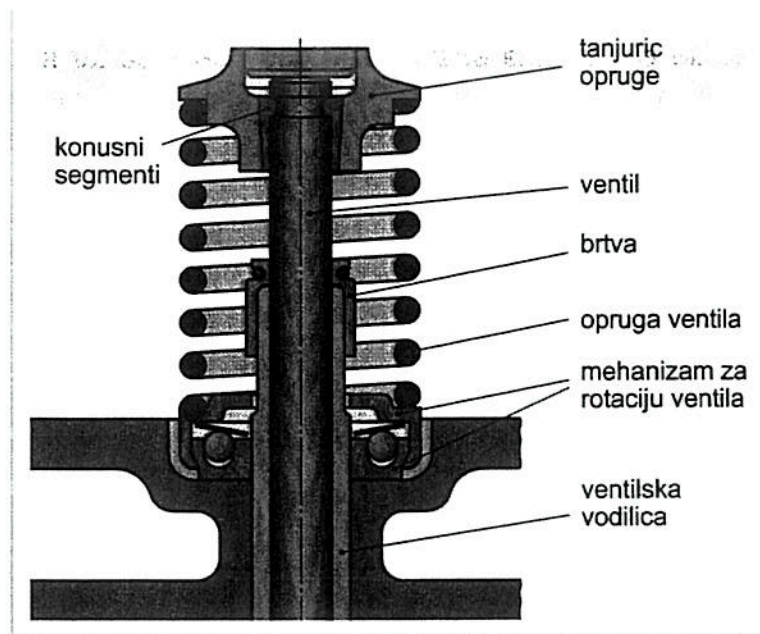


*Slika 20 prikaz vodilice ventila*

Izvor: [5]

Mehanizam za rotaciju ventila: svrha implementacije ovog mehanizma u razvodni sustav motora je sprječavanje neravnomjernog zagrijavanja ventila i oblaganje sjedišta i pladnja ventila produktima izgaranja. Izgled i sastavni elementi ovog mehanizma se mogu vidjeti na slici 14. Nakupljanje produkata izgaranja je izraženo na ispušnim ventilima. U slučaju brzohodnih motora, ovaj se mehanizam može ugraditi ispod ventilskih opruga. [3]

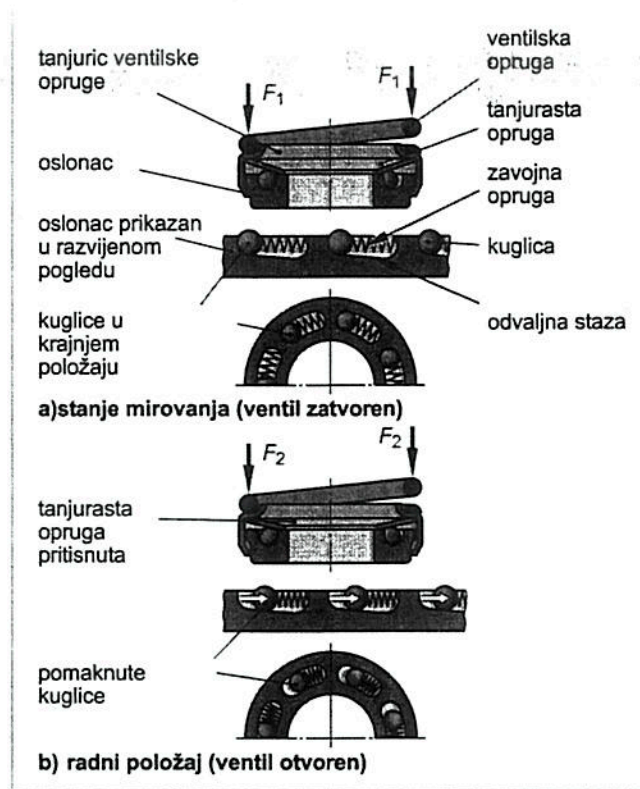




*Slika 21 sastavni elementi mehanizma za rotaciju ventila*

Izvor: [3]

Otvaranjem ventila se opruga ventila tlači, tanjurasta opruga ovog mehanizma se izravna i djeluje na kuglice mehanizma. Budući da je opruga ovog mehanizma tanjurastog oblika, kuglice se pomaknu nit nagib i zakrenu tanjurastu oprugu što uzrokuje i rotaciju ventila za određeni kut. Princip rada ovog mehanizma je vidljiv na slici 15.



Slika 22 princip rada mehanizma za rotaciju ventila

Izvor: [3]

Ventilske opruge: pri radu motora, bregasto vratilo djeluje na usisne i ispušne ventile s ciljem kako bi ih pomaknuo u otvoreni položaj i kako bi došlo do promjene radnog medija u cilindru. Sile kojima brjegovi bregastog vratila djeluju na ventile mogu biti toliko jake da podizači ventila ne uspijevaju pratiti oblik brjegova bregastog vratila. Korištenjem ventilskih opruga se sprječava odvajanje podizača ventila od brjegova vratila, ublažavaju se udarci i titraju, a zbog ubrzanja i usporenja elemenata sustava se prenose sile na ostale dijelove motora. [3]

Sile koje nastaju ubrzavanjem i usporenjem masa razvodnog mehanizma ovise o obliku brjegova bregastog vratila, broju okretaja koljenastog vratila motora i samoj masi ubrzanih elemenata sustava. Pri izradi i konstrukciji motora je poželjno da su mase ventila i podizača što manje kako bi ove sile bile manje. [3]

Ventilske opruge koje se koriste unutar razvodnog mehanizma su isključivo torzijske zavojne opruge. Povišenjem broja okretaja koljenastog vratila motora, povećavaju se frekvencije vibracije elemenata motora, a samim time se približava frekvencija vibracija motora vlastitoj frekvenciji opruga ventila. Što se više približavaju te dvije frekvencije po iznosu jedna drugoj, veća je opasnost od pojave rezonancije vibracija, što znači poklapanje vlastite frekvencije elementa sustava sa frekvencijom vibracije cijelog sustava, a za rezultat dovodi do otkaza elementa. U slučaju da se pojavi rezonancijska vibracija u ovom sustavu, može doći do pucanja

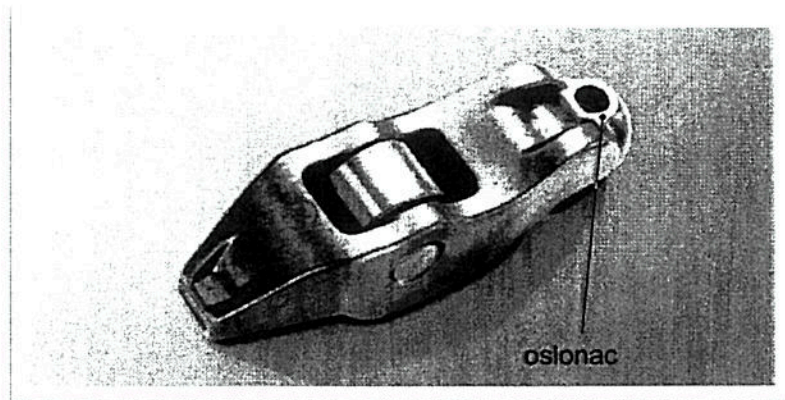
opruga ventila, a samim time i do upadanja ventila u prostor za izgaranje što može rezultirati velikim oštećenjem razvodnog i klipnog mehanizma. [3]

Kako bi se izbjegla pojava vlastitih frekvencija vibracija opruga ventila, u razvodni se sustav ugrađuju: [3]

- opruge s promjenjivim usponom
- bačvaste opruge
- opruge s promjenjivim promjerom žice
- dvostruke opruge

Klackalice – Unutar razvodnog sustava motora se mogu ugrađivati i klackalice. One prenose djelovanje brjegova bregastog vratila na ventile. Koriste se u motorima kod kojih se bregasto vratilo nalazi unutar glave motora. Bregasto vratilo se nalazi ispod klackalice, a klackalica je izvedena kao dvokraka poluga. Mogu biti izvedene kao klatne poluge i kao klackalice. [3]

Klatna poluga je jednostruka poluga koja se na jednom kraju oslanja na kuglasti čep, a s druge strane prenosi djelovanje bregastog vratila na ventil. Trenje u otpori unutar sustava se mogu smanjiti ugradnjom klatne poluge s valjčićem čiji je izgled vidljiv na slici 16. [3]



*Slika 23 klatna poluga s valjčićem*

Izvor: [3]

#### 4. POGON RAZVODNOG MEHANIZMA

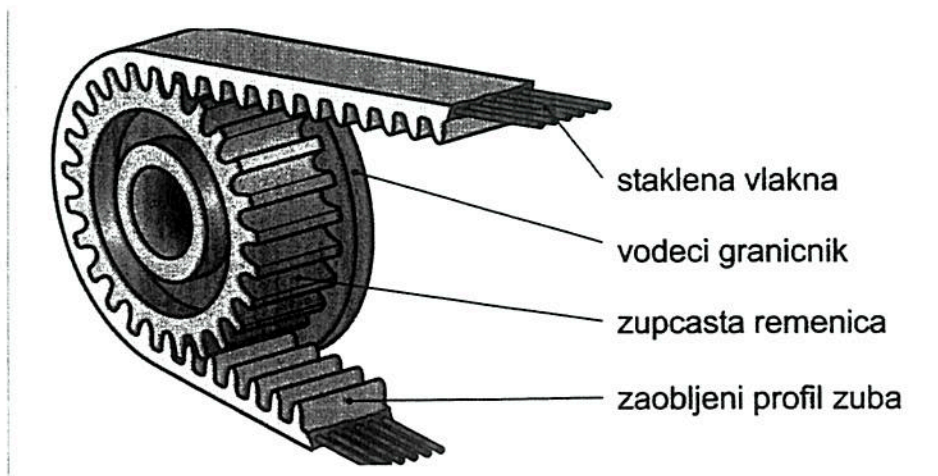
Razvodni mehanizam koristi za pogon energiju koljenastog vratila koje se rotira pri radu motora. Bregasto vratilo je povezano s koljenastim vratilom i rotiraju se zajedno. Kod Otto – motora, razvodni sustav, pogonjen koljenastim vratilom, pokreće bregasto vratilo, a uz bregasto vratilo pokreće i pumpu goriva te se koristi za razvod visokog napona potrebnog za rad motora. Kod motora pogonjenih dizel gorivom, razvodni mehanizam se koristi i za pokretanje visokotlačne pumpe goriva. Broj okretaja bregastog vratila je duplo manji od broja okretaja koljenastog vratila. [2]

##### 4.1. Remenski pogon razvodnog mehanizma

Ova izvedba pogona razvodnog mehanizma koristi zupčasti remen koji povezuje koljenasto vratilo s bregastim. Prikaz sustava s sastavnim dijelovima je vidljiv na slici 17. Remenje koje se koristi je izrađeno od umjetnih materijala s armaturom od staklenih vlakana. Armatura preuzima na sebe vlačna opterećenja i sprječava rastezanje remena pri radu. Remenice ovog prijenosa na sebi imaju graničnike koji sprječavaju spadanje remena s remenice u radu. [3]

Korisne značajke pogona remenom: [3]

- mala masa ugradbenih elemenata
- tih rad s minimalnim vibracijama
- jeftina konstrukcija i zamjena dijelova
- male sile natezanja i malo opterećenje ležajeva razvodnog mehanizma
- nema zahtjeva za podmazivanjem pri radu
- ne smije se podmazivati kako ne bi došlo do proklizavanja ili preskakanja remena
- ne smije se presavijati kako ne bi došlo do oštećenja armaturnih vlakana

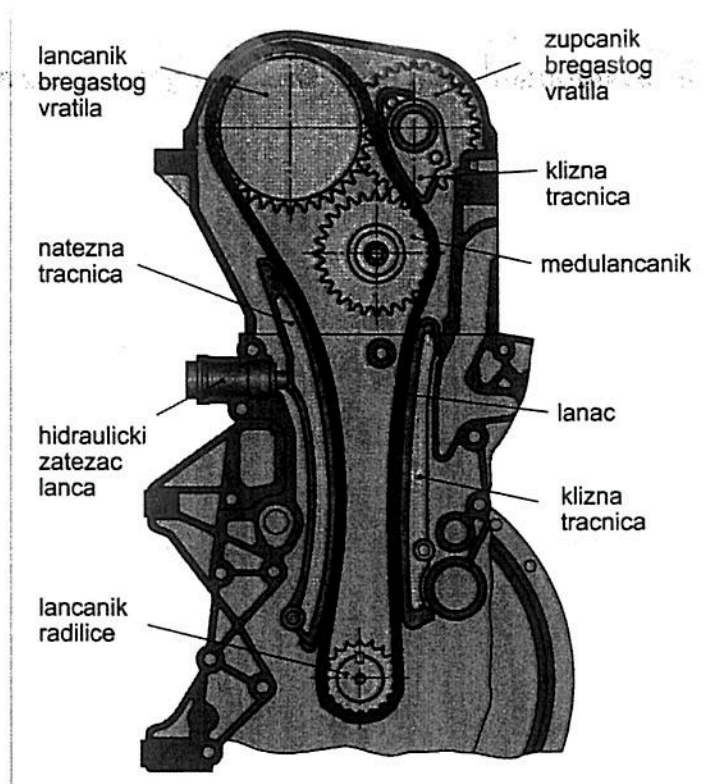


Slika 24 prikaz elemenata pogona zupčastim remenom

Izvor: [3]

#### 4.2. Lančani pogon razvodnog mehanizma

Ovaj sustav za pogon razvodnog mehanizma koristi lanac za pokretanje bregastog vratila. Lanac povezuje lančanik bregastog vratila s lančanikom koljenastog vratila, a u ovim sustavima može postojati više pojedinačnih lanaca koji se koriste za pogon razvodnog mehanizma, primjerice jedan lanac povezuje koljenasto vratilo s jednim bregastim vratilom, a drugi lanac povezuje gonjeno bregasto vratilo od strane koljenastog vratila s drugim bregastim vratilom. Ova izvedba se koristi kod motora koji koriste više ventilsku tehniku. Uporabom ovakvog razvodnog mehanizma se omogućava prijenos većih sila u usporedbi s korištenjem razvodnog remena. Lanac se pri radu mora podmazivati i to se izvodi pomoću sustava za podmazivanje cjelokupnog motora te stoga lanac mora biti povezan sa sustavom za podmazivanje, a isto tako biti izoliran od okoline. Lanac se oslanja na vodilice koje vode lanac pri radu kako ne bi spadao s lančanika, a pomoću natezača lanca se postiže potrebna napetost lanca kako bi ispravno obavljao vlastitu funkciju. Ovaj sustav je teoretski predviđen da traje duže nego remenski prijenos, ali kako bi se to ostvarilo, potrebno je obratiti veliku pozornost na održavanje takvih motora. Ulje koje se koristi mora odgovarati zadanim specifikacijama koje su propisali proizvođači, a uz to mora se redovno izmjenjivati. Također se treba obratiti pozornost na izmjenu pročistača motornog ulja kako ne bi metalni opiljci i čestice izgorjenog ulja dospjeli u uljne natezače lanca, a kao posljedica toga može doći do smanjene funkcije natezača lanca što u krajnjem slučaju može dovesti to preskakanja lanca i havarije motora. Prikaz elemenata ovakvog razvodnog sustava je vidljiv na slici 18. [1]



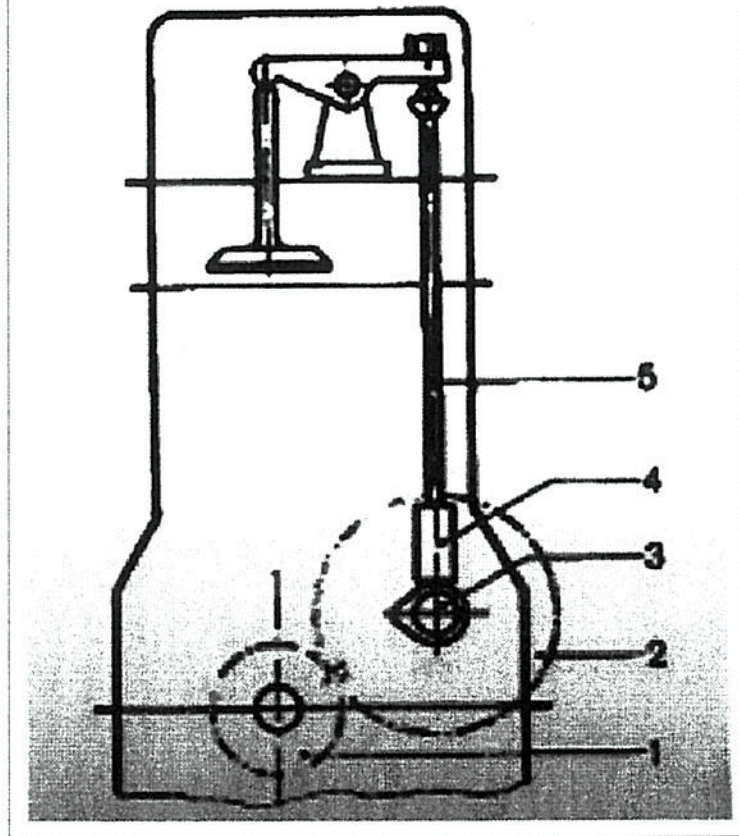
Slika 25 prikaz lančanog razvodnog mehanizma

Izvor: [3]

### 4.3. Zupčasti pogon razvodnog mehanizma

Ova izvedba razvodnog mehanizma koristi dva zupčanika koji su u paru. Prikaz ove konstrukcijske izvedbe je vidljiv na slici 21. Jedan zupčanik je povezan na koljenasto vratilo motora, a drugi je povezan s bregastim vratilom. Ova se izvedba koristi kod motora u kojima se bregasto vratilo nalazi u bloku, a ventilima se upravlja preko motki podizača i klackalica. Također, ovaj se sustav može koristiti za pogon bregastih vratila koji se nalaze na glavi motora, a koristi se više ventilska tehnika. Pogon jednog od bregastih vratila se izvodi pomoću remena ili lanca, a drugi se pokreće zupčanikom. Kako bi se postigao tiši prijenos s manje vibracija, koristi se koso ozubljenje čelnika. [1]

1. ZUPČANIK RADILICE
2. ZUPČANIK BREGASTOG VRATILA
3. BREGASTO VRATILO
4. PODIZAČ
5. POLUGA PODIZAČA



Slika 26 prikaz razvodnog mehanizma pomoću zupčanika

Izvor: [6]

## 5. VARIJABILNO UPRAVLJANJE BREGASTIM VRATILOM I VENTILIMA

Kod konstantnog otvaranja i zatvaranja ventila, optimalno punjenje cilindra je postojano samo na određenom području broja okretaja, što je posebno izraženo kod motora bez vanjskog nabijanja. Pri nižim okretajima je poželjno da se ventili manje otvaraju kako bi motor mirnije radio, potrošnja goriva bila manja i kako bi okretni moment na nižim okretajima bio veći. S povećanjem broja okretaja, zahtjev za količinom zraka koji se usisava u cilindra se povećava i stoga je poželjno da se ventili više otvore i dulje budu otvoreni kako bi se pospješilo punjenje cilindra. Uz to, pri korištenju fiksnog razvodnog mehanizma, brjegovi bregastog vratila uvijek otvaraju i zatvaraju ventil tijekom jednakog pomaka koljenastog, a uz to i bregastog vratila. Pri nižim okretajima je poželjno da se bregasto vratilo zakrene na stranu kako bi ranije otvaralo ventile što povećava snagu i okretni moment pri nižim okretajima, a pri visokim okretajima je poželjno da se bregasto vratilo vrati u početni položaj u koji se stavi pri sastavljanju motora. Ako bi konstrukcijsko rješenje razvodnog mehanizma bilo takvo da su ventili duže otvoreni, to bi pospješilo rad motora pri visokim brojevima okretaja, ali bi pri niskim brojevima okretaja motor radio nemirno, a zbog gubitaka smjese se povećava koncentracija štetnih tvari u ispušnim plinovima motora. Rješenje koje pospješuje punjenje motora tijekom širokom područja okretaja motora, je varijabilno otvaranje i zatvaranje ventila. [2]

Prednosti korištenja varijabilnog upravljanja bregastim vratilom su: [3]

- veća snaga
- veći okretni moment koji je i bolje raspoređen po širem području broja okretaja
- manja emisija štetnih tvari u ispušnim plinovima
- veća iskoristivost motora što rezultira smanjenjem potrošnje goriva
- manja buka i vibracije motora

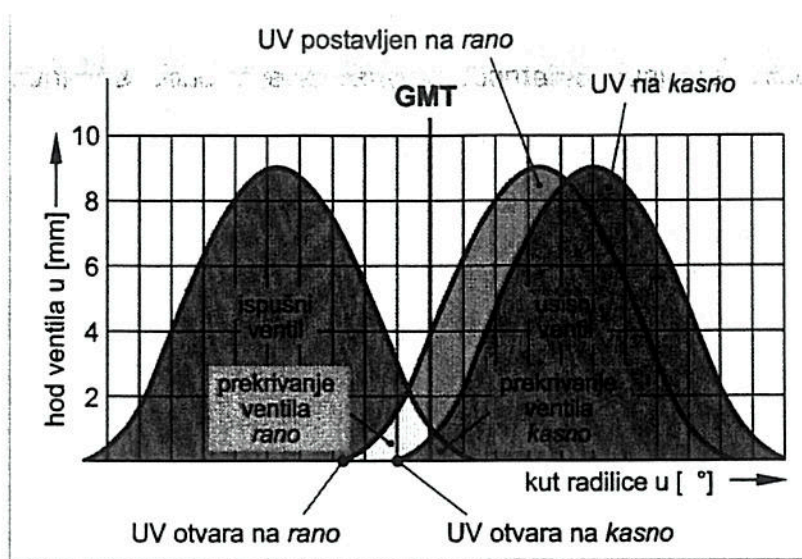
U praksi se koriste dva sustava kontrole otvaranja i zatvaranja ventila: [3]

- upravljanje bregastim vratilom
- varijabilno otvaranje ventila

### 5.1. Upravljanje bregastim vratilom

Ova konstrukcija izvedba varijabilnog upravljanja razvodnim sustavom radi na način da upravlja zakretanjem bregastog vratila na jedno od dva moguća položaja. Korekcijske veličine koje određuju položaj vratila su opterećenje i temperatura motora. Vrijeme otvorenosti ventila i hod ventila se ne mijenja nego se samo mijenja trenutak otvaranja i zatvaranja ventila. Dva moguća položaja bregastih vratila su „rano“ i „kasno“. Hod ventila s trenutcima otvaranja je vidljiv na slici 19. koja prikazuje razlike u trenutcima otvaranja ventila tijekom rada motora u slučaju kada se koristi varijabilno upravljanje bregastim vratilom i kada to nije slučaj. [3]





Slika 27 hod ventila pri radu sustava varijabilnog upravljanja bregastim vratilom

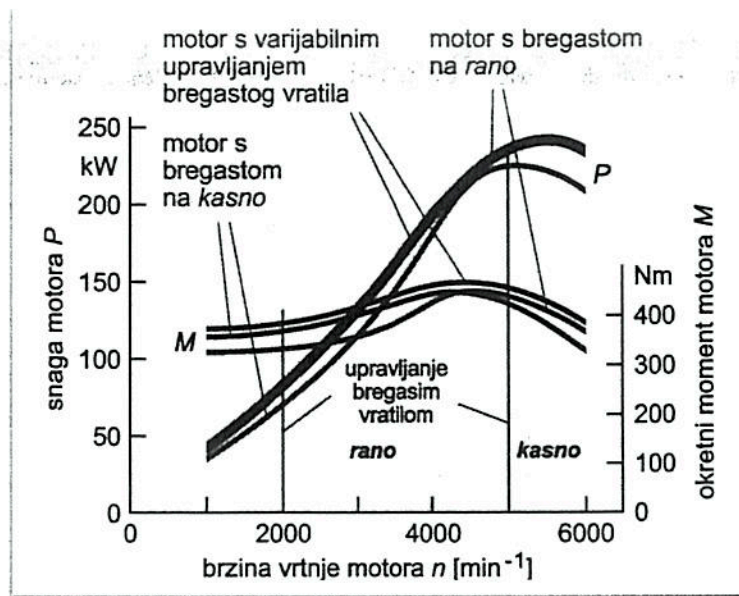
Izvor: [3]

Kada je broj okretaja motora ispod 2000 1/min, bregasto vratilo što upravlja usisnim ventilima se zakreće na položaj „kasno“. Poboľšava se izgaranje gorive smjese, okretni moment se povećava u odnosu na rad motora bez pomicanja bregastog vratila, prekrivanje ventila se smanjuje, a čime se smanjuje i povrat produkata izgaranja u usisni dio motora. [3]

Povećanjem broja okretaja motora u područje između 2000 i 5000 1/min, bregasto vratilo koje upravlja usisnim ventilima se okreće u položaj „rano“ za određeni broj stupnjeva, npr. 20°. U ovom području broja okretaja se usisni ventili zatvaraju odmah nakon što klip prođe unutrašnju mrtvu točku, a s ciljem da klip pri kretanju prema vanjskoj mrtvoj točki ne potiskuje gorivu smjesu natrag u usisni dio motora. Dolazi do povećanja okretnog momenta. Zbog male brzine strujanja svježje smjese na ulasku u cilindar, dio ispušnih plinova se miješa s usisnom smjesom i usisava ponovno u cilindar. Na taj način se odvija unutrašnja recirkulacija plinova izgaranja sa ciljem sniženja temperature ispušnih plinova, a isto tako i smanjenja štetnih emisija ispušnih plinova. [3]

Pri vršnom broju okretaja motora, od 5000 1/min, bregasto vratilo što upravlja usisnim ventilima se zakreće u položaj „kasno“. Na taj se način usisni ventili zatvaraju kasnije nakon što klip prođe unutrašnju mrtvu točku. Kinetička energija usisne smjese je velika te se proces usisa gorive smjese može nastaviti i nakon što je klip prošao unutrašnju mrtvu točku i krenuo prema vanjskoj. Korištenjem ovakvog sustava, povećava se značajno punjenje cilindra i motor proizvodi više snage i okretnog momenta. [3]

Prikaz karakteristike motora pri radu s korištenjem sustava varijabilnog upravljanja bregastim vratilom je moguće vidjeti na slici 20.

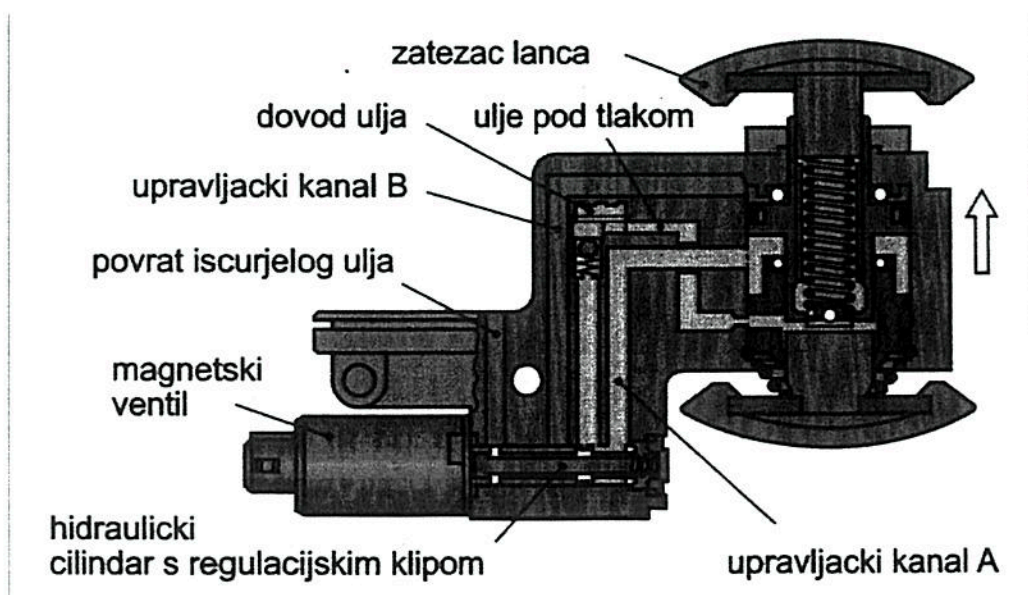


Slika 28 karakteristika motora s ventilima u položaju „rano“ i „kasno“

Izvor: [3]

Upravljanje pomakom bregastog vratila se može izvesti pomoću:

Podesivog natezivača-zatezača lanca - u početnom je položaju zatezač lanca podignut, a bregasto se vratilo nalazi u položaju kasno. U ovom se položaju ulje usmjerava u upravljački kanal „A“. Kako bi se bregasto vratilo zakrenulo u položaj „rano“, ulje se usmjerava u upravljački kanal „B“, a zatezač lanca se spušta u krajnju donji položaj. Prikaz sustava sa sastavnim elementima je vidljiv na slici 21. [3]



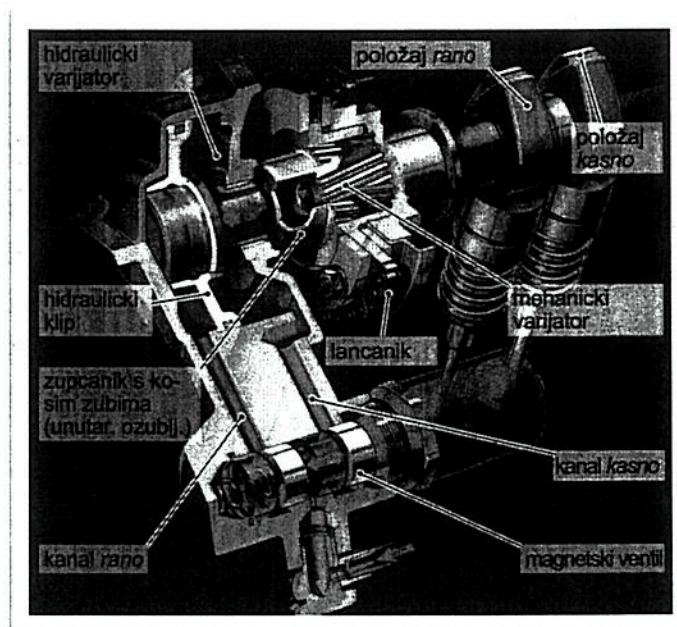
Slika 29 podesivi zatezač lanca

Izvor: [3]

Varijabilnog upravljanja bregastim vratilom (VANOS): Ovaj se sustav temelji na zakretanju bregastog vratila što upravlja usisnim ventilima za određeni kut u odnosu na bregasto vratilo što upravlja ispušnim ventilima. Sustav se sastoji iz: [3]

- hidraulički upravljački sklop
- mehanički sklop
- magnetski ventil za hidrauličko upravljanje

Magnetski ventil upravlja radom sustava te u ovisnosti o broju okretaja pomiče hidraulički klip lijevo ili desno. Pomicanjem hidrauličkog klipa, se bregasto vratilo koje upravlja usisnim ventilima pomiče u položaj „rano“ ili „kasno“. Prikaz sastavnih elemenata sustava je vidljiv na slici 22. [3]



Slika 30 varijabilno upravljanje bregastim vratilom

Izvor: [3]

Položaj „rano“: motorno ulje kao radni medij sustava se provodi upravljačkim kanalom za postavljanje vratila u položaj „rano“, upravljački klip se pomjera u desnu stranu, a zupčanik koji je povezan na klip zakreće bregasto vratilo koje upravlja usisnim ventilima u položaj „rano“. [3]

Položaj „kasno“: temeljem korekcijskih veličina motora pri određenom broju okretaja upravljački sklop prebacuje magnetski ventil na drugu stranu, ulje se vodi drugim kanalom kako bi djelovalo na klip sa suprotne strane i prebacilo ga ulijevo što za rezultat ima da bregasto vratilo zauzme svoj drugi krajnji položaj, tj. položaj „kasno“. [3]

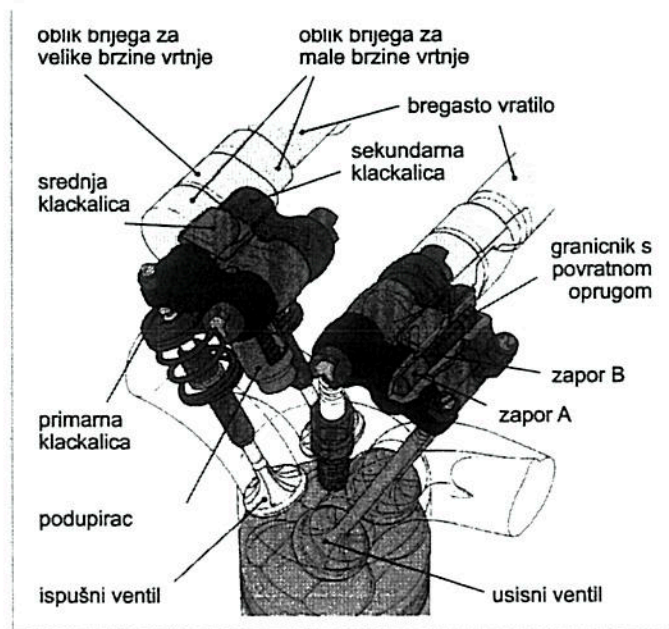
Ovaj sustav nema kontinuirani prijelaz između dva stanja, već samo diskretne položaje. Korištenjem sustava dvostrukog VANOS – a, upravlja se s oba dva bregasta vratila, a pomak postaje kontinuiran, a ne diskretan u pogledu dva krajnja stanja. [3]

## 5.2. Varijabilno otvaranje ventila

Karakteristika korištenja ovakvog sustava je mogućnost regulacije i promjene intervala otvorenosti ventila uz regulaciju vremena otvaranja i zatvaranja ventila. Korekcijske vrijednosti koje su potrebne za rad ovakvog sustava su: [3]

- brzina vozila
- temperatura rashladne tekućine vozila
- broj okretaja motora
- opterećenje motora

Rad ovog sustava zahtijeva postojanje po tri klackalice (primarna, sekundarna i srednja) na usisnoj strani razvodnog mehanizma, a može se nalaziti dodatno i na ispušnoj strani. Na svaku klackalicu djeluje posebno oblikovan brjieg bregastog vratila. Profili brjegova su tako oblikovani da pri niskim brojevima okretaja motora, motor radi mirno i pruža visok okretni moment. Profil brjegova pri visokom broju okretaja motora je tako oblikovan da omogućava visok snagu motora. Na slici 23. je vidljiv prikaz elemenata ovog sustava. [3]



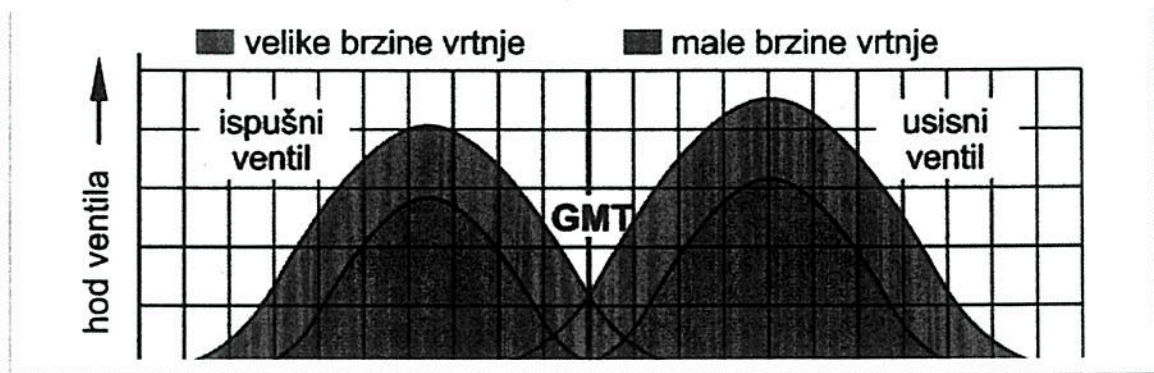
Slika 31 sustav varijabilnog otvaranja ventila

Izvor: [3]

Otvaranje ventila na niskom broju okretaja motora: sve tri klackalice su međusobno nepovezane i pomak im je proizvoljan. To je tako iz razloga što je povratna opruga u sekundarnoj klackalici tako podešena da zadržava oba zapora „A“ i „B“ u krajnjem lijevom položaju, a ventilima se upravlja preko primarne i sekundarne klackalice. U ovom karakterističnom režimu rada motora su ventili otvoreni kratko vrijeme s malim hodom pri otvaranju i zatvaranju. Na srednju klackalicu djeluje srednji brijeg bregastog vratila, ali se to gibanje i pomak ne prenosi na ventile jer srednja klackalica nije trenutno izravno povezana s ostalim klackalicama. [3]

Otvaranje ventila na visokom broju okretaja motora: Na specifično određenom broju okretaja motora se aktivira magnetski upravljački ventil koji regulira protok ulja prema zaporu „A“ suprotstavljajući se povratnoj opruzi sustava u razvodnom mehanizmu motora. Zapori „A“ i „B“ se međusobno povezuju i zapiru sve tri klackalice zajedno. Budući da središnja klackalica ima najveći hod, jer na nju djeluje najveći brijeg bregastog vratila, ona određuje hod i vrijeme otvorenosti ventila. [3]

Slika 24. prikazuje pomak ispušnog i usisnog ventila tijekom rada motora, koristeći sustav varijabilnog otvaranja ventila.



Slika 32 dijagram prikaza hoda ventila

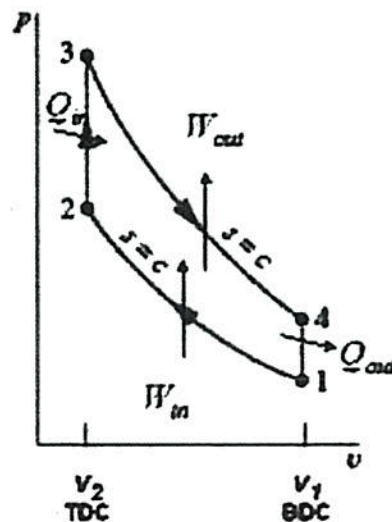
Izvor: [3]

## 6. PRIMJENA VENTILA KOD DVOTAKTNIH MOTORA

U osnovi, izmjena radnog medija pri radu dvotaktnih motora se obavlja prekrivanjem i otkrivanjem usisnog, ispušnog i prestrujnog kanala, a kretanje radnog medija zbog razlika u tlaku između tlaka u cilindru i tlaka u prostoru koljenastog vratila ili okoline. Taj način vođenja procesa i izmjena radnog medija unutar cilindra nije učinkovit, ali razlog primjene sustava je jednostavnost konstrukcije i potreban mali broj elemenata što smanjuje eksploatacijske i proizvodne troškove motora. Na slici 33 je prikazan p - V dijagram dvotaktnog Otto motora koji se često nalazi u primjeni. [10]

Kružni proces dvotaktnog Otto motora se može promatrati na slijedeći način: [11]

- $1 \rightarrow 2$  = klip se kreće od unutrašnje prema vanjskoj mrtvoj točki komprimirajući radni medij u cilindru pri čemu dolazi do smanjenja volumena i povećanja tlaka radnog medija, a prikazano je na slici 33 adijabatom
- $2 \rightarrow 3$  = izgaranje gorive smjese na slici 33 prikazano izohorom
- $3 \rightarrow 4$  = kretanje klipa od vanjske prema unutrašnjoj mrtvoj točki, dolazi do povećanja volumena radnog medija u cilindru i smanjenja tlaka što je na slici 33 prikazano adijabatom
- $4 \rightarrow 1$  = ispuh radnog medija iz cilindra što rezultira smanjenjem tlaka na početnu vrijednost u točki 1 prikazano na slici 33 izohorom



Slika 33 p - V dijagram dvotaktnog motora

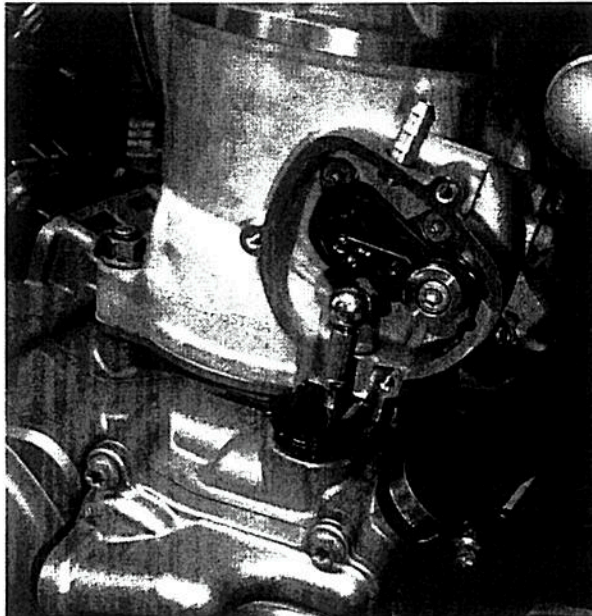
Izvor: [11]

Koncept korištenja ventila u ispušnom kanalu se sastoji iz otvaranja ventila paralelno s povećanjem broja okretaja motora. Na taj način se postiže i visok okretni moment pri niskim brojevima okretaja motora, a isto tako i visoka snaga pri visokom broju okretaja. Prije korištenja ove tehnologije, ispušni kanali su bili određenih fiksnih dimenzija. Kanali velikog promjena su pogodni za stvaranje visoke snage pri

visokom broju okretaja, a kanali malog promjena su pogodni za brz odaziv na gas i okretni moment pri niskom broju okretaja.

Brzinom kojom se zahtijeva od motora porast snage se otvara i ventil, ako se od motora zahtijeva visoka snaga i brz odaziv na gas ventil se istovremeno potpuno otvara, a u slučaju stupnjevitog ubrzavanja se ventil također otvara usporeno i na taj način omogućava stvaranje okretnog momenta visokog iznosa. [10]

U eksploataciji na motorima sportskih motocikala se koriste mehanički ventili kod kojih se ručno može podesiti napetost opruge čime se određuje brzina otvaranja ventila. Ako je opruga opuštena ventil se može brzo aktivirati, a povećanjem napetosti opruge se otežava otvaranje ventila i na taj način usporava povećanje snage. Na slici 34 je vidljiv prikaz mehanizma ventila u ispušnom kanalu motora, na motoru proizvođača „KTM“ koji je prvi počeo s korištenjem ove tehnologije. [10]

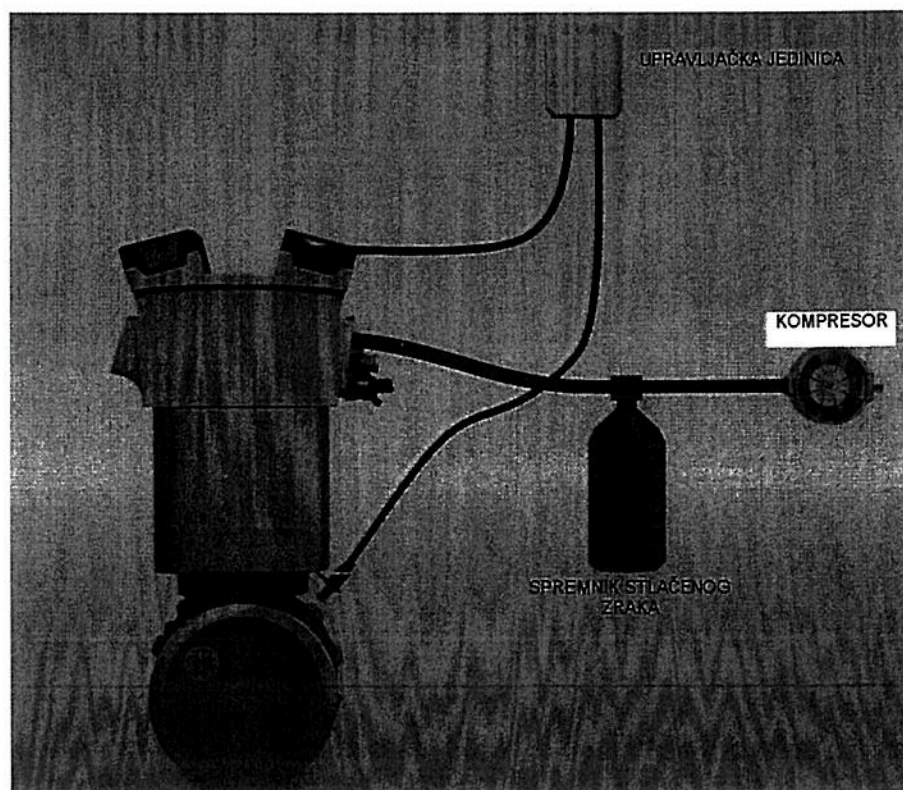


*Slika 34 Prikaz mehanizma ventila na dvotaktnom motoru*

Izvor:[10]

## 7. TEHNOLOGIJA SLOBODNIH VENTILA

Tehnologija slobodnih ventila omogućava elektronsko upravljanje otvaranjem i zatvaranjem usisnih, odnosno ispušnih ventila bez korištenja razvodnog mehanizma. Ventilima upravlja računalna jedinica, a pomak ventila se ostvaruje djelovanjem stlačenog zraka na ventil. Ventil se zatvara ispuštanjem stlačenog zraka i djelovanjem opruge koja se stlačila pri otvaranju ventila. Prikaz ventila je vidljiv na slici 36. Nepoželjno vibriranje i ublažavanje neželjenih kretnji ventila se osigurava povezivanjem tijela ventila s hidrauličkim cilindrom u kojem se nalazi radni medij. Stlačeni zrak koji se koristi pri radu sustava se nalazi u posebno odvojenom spremniku i pod konstantnim je tlakom od 20 – 30 bara. Zrak se vodi do ventila, gdje djeluje na ventil u trenutku koji određuje upravljačka jedinica, a potom se vraća u spremnik što je vidljivo na slici 35. Glavna korist pri eksploataciji je neograničena mogućnost u određivanju pomaka ventila i trajanja otvorenosti ventila, što nije moguće kod dosadašnjih razvodnih mehanizama koji koriste bregasto vratilo i samim time imaju samo jednu kombinaciju. Korištenjem ove tehnologije se može postići visoka učinkovitost motora pri niskim brojevima okretaja, a isto tako je moguće osigurati veće otvaranje ventila tijekom dužeg vremenskog intervala kako bi se povećala snaga na visokim okretajima. [7]



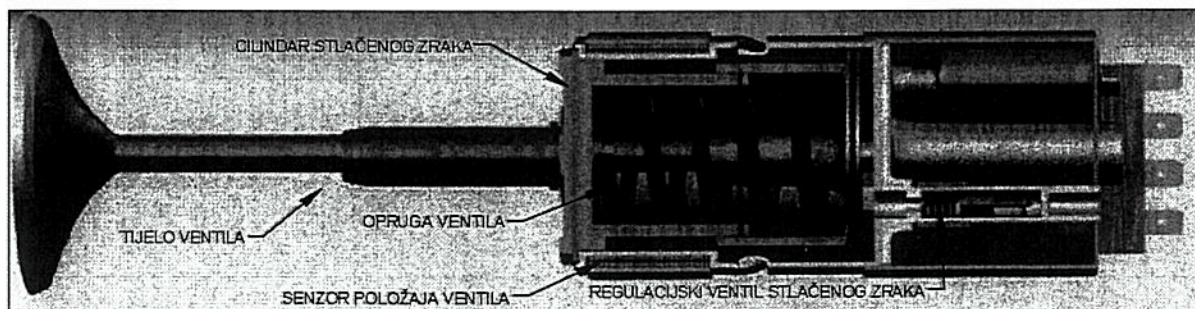
Slika 35 prikaz sustava dobave stlačenog zraka

Izvor: [8]



Prednosti korištenja ovog sustava u usporedbi sa sustavom koji koristi razvodni mehanizam s bregastim vratilom su: [7]

- povećanje snage i okretnog momenta
- povećanje učinkovitosti pri svim režimima rada
- smanjenje dimenzija i mase motora
- omogućeno je neovisno otvaranje usisnih, odnosno ispušnih ventila kod motora koji koriste viševentilsku tehnologiju u različitim režimima rada, primjerice pri niskim okretajima se otvara samo jedan usisni ventil, dok je drugi zatvoren, a s ispušne se strane otvara također samo jedan ventil koji je povezan na turbo punjač dok je drugi zatvoren. pri visokim brojevima okretaja i zahtjevima za isporučivanje najveće raspoložive snage se otvaraju oba usisna i ispušna ventila
- motori koji koriste samo jedan turbo punjač nemaju potrebe za rasteretnim ventilom jer se samo jedan ispušni ventil sa svakog cilindra povezuje na turbo punjač dok drugi je slobodno povezan na ispušni sustav vozila što pospješuje zagrijavanje katalizatora na radnu temperaturu i smanjuje emisiju štetnih plinova
- regulacijom ranog zatvaranja ispušnog ventila se dio ispušnih plinova vraća u prostor cilindra što pospješuje hlađenje plinova, a samim time i emisiju štetnih dušikovih oksida



Slika 36 prikaz ventila sa sastavnim elementima

Izvor: [8]

Nedostaci koji prate korištenje ove tehnologije su visoki troškovi i u eksploataciji zbog precizne izrade i složenih zahtjeva za održavanjem, a isto tako i u proizvodnji jer ovaj sustav zahtjeva velik broj senzora i aktuatora kako bi uspješno radio. Stoga se najčešće ovaj sustav koristi na skupim sportskim vozilima. Primjer korištenja ove tehnologije je u vozilu Koenigsegg Gemera. Motor ovog vozila ima samo tri cilindra i radni volumen je dvije tisuće kubičnih centimetara. Koristi sustav od dva turbo punjača za prednabijanje. Proizvodi 600 konjskih snaga pri  $7500 \text{ min}^{-1}$  i 600 Nm okretnog momenta u rasponu od  $2000 \text{ min}^{-1}$  do  $7000 \text{ min}^{-1}$ . [7]

## 8. ZAKLJUČAK

Razvodni mehanizam s varijabilnim upravljanjem ventila predstavlja poboljšanja u eksploataciji i razvoju modernih pogonskih agregata. Korištenjem takvog sustava se omogućava motorima suvremenih vozila da proizvode visoku snagu, postižu visoke brojeve okretaja, a uz to da su kompaktni, nisu velikih dimenzija kako bi se mogli ugraditi u širi spektar vozila. U pogledu smanjenja štetnih emisija i buke, korištenjem ovakvog sustava se povećava punjenje cilindra motora, a shodno tomu motor proizvodi više snage. Povećanje snage i punjenja cilindra motora, uz korištenje upravljačkih uređaja i električnih senzora, omogućava se optimizacija rada motora u pogledu održavanja stehiometrijskog omjera gorive smjese. Izgaranje gorive smjese je uspješno, produkti izgaranja su manje štetni nego u slučaju korištenja razvodnog mehanizma sa fiksnim elementima, a snaga i efektivnost motora su veći.

Kako bi motor, a time i ovaj sustav, uspješno radio potrebno je obratiti pozornost na održavanje cijelog sustava. U slučaju otkaza određenih senzora čije podatke i informacije koristi ovaj sustav, sustav varijabilnog upravljanja ventilima ne može raditi što rezultira smanjenom efektivnošću motora i gubitkom svih prednosti korištenja ovog sustava. U praksi se ovaj sustav pokazao kao vrlo izdržljiv i robustan, a najbolja aktivnost pri održavanju je redovita izmjena motornog ulja s pročištačem i korištenje specificiranih maziva. U kombinaciji ovog sustava sa sustavom vanjskog prednabijanja postižu se velike specifične snage motora, visok okretni moment koji je dostupan kroz širok spektar broja okretaja, a pri vožnji konstantnom brzinom potrošnja goriva omogućava visok domet s prosječnom veličinom spremnika goriva.

## Popis literature:

1. Busić P. *Analiza kinematike i dinamike razvodnog mehanizma u motorima s unutarnjim izgaranjem*. Završni rad. Veleučilište u Karlovcu; 2017. Preuzeto s: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/vuka:730/preview>, [Pristupljeno: 10. svibanj 2023.]
2. Pakšec D. *Numerička analiza rada sustava Valvetronic*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2018. Preuzeto s: [http://repozitorij.fsb.hr/8830/1/Pakšec\\_2018\\_završni\\_preddiplomski.pdf.pdf](http://repozitorij.fsb.hr/8830/1/Pakšec_2018_završni_preddiplomski.pdf.pdf) [Pristupljeno: 12. svibnja 2023.]
3. Popović G. *Tehnologija motornih vozila*, Zagreb: Pučko otvoreno učilište Zagreb; 2004.
4. Autonet – Hrvatski automobilski Internet magazin. *Pravilno disanje i kretanje plinova unutar cilindra*. Preuzeto s: <https://www.autonet.hr/arhiva-clanaka/ventili> [Pristupljeno: 15.8.2023.]
5. Motor Diht. *Vodilice ventila*. Preuzeto s: <https://motor-diht.hr/asortiman/motorna-grupa/vodilice-ventila/> [Pristupljeno: 15.8.2023.]
6. Mašinski tehničar motornih vozila. *Razvodni mehanizam*. Preuzeto s: [https://izeksploatacijemv.weebly.com/razvodni\\_mehanizam.html](https://izeksploatacijemv.weebly.com/razvodni_mehanizam.html) [Pristupljeno: 15.8.2023.]
7. Top Gear. *Here's how the Koenigsegg Gemera's 600 bhp camless engine works*. Preuzeto s: <https://www.topgear.com/car-news/future-tech/heres-how-koenigsegg-gemeras-600bhp-camless-engine-works> [Pristupljeno: 16.8.2023.]
8. Youtube. *Working mechanism of freevalve & the reason for its disappearance*. Preuzeto s: <https://www.youtube.com/watch?v=1bMRTcgvTpM>. [Pristupljeno: 17.8.2023.]
9. Marušić A. *Ottov i Dieselov kružni proces*. Završni rad. Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet: 2022. Preuzeto s: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/riteh%3A3329/datastream/PDF/view> [Pristupljeno: 3.9.2023.]
10. MXA Motocross Action. *MXA Tech Spec: How Two – Stroke Power Valves Operate & Why*. Preuzeto s: <https://motocrossactionmag.com/mxa-tech-spec-how-two-stroke-power-valves-operate-why/> [Pristupljeno: 3.9.2023.]
11. Horvatek M. *Izrada modela dvotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem*. Diplomski rad. Sveučilište Sjever, 2021. Preuzeto s: <https://repozitorij.unin.hr/islandora/object/unin%3A4054/datastream/PDF/view> [Pristupljeno: 6.9.2023.]

## Popis slika:

Slika 1 takt "Usis".....	3
Slika 2 takt "Kompresija".....	4
Slika 3 takt „Ekspanzija“.....	5
Slika 4 takt "Ispuh".....	6
Slika 5 prikaz odnosa tlaka, temperature i volumena tijekom procesa kompresije radnog medija u cilindru.....	6
Slika 6 idealan p – V dijagram Otto četverotaktnog motora.....	7
Slika 7 prikaz stvarnog p - V dijagrama četverotaktnog Otto motora.....	8
Slika 8 prikaz idealnog četverotaktnog Diesel procesa.....	9
Slika 9 prikaz stvarnog četverotaktnog Diesel procesa.....	9
Slika 10 prikaz donjeg razvoda SV motora.....	11
Slika 11 prikaz donjeg razvoda OHV motora.....	12
Slika 12 prikaz gornjeg razvoda OHC motora.....	13
Slika 13 prikaz gornjeg razvoda DOHC motora.....	13
Slika 14 prikaz gornjeg razvoda CIH motora.....	14
Slika 15 prikaz demontiranog ventila sa sastavnim elementima.....	15
Slika 16 prikaz vise ventilske tehnike s 4 ventila po cilindru.....	16
Slika 17 prikaz više ventilske tehnike s 3 ventila po cilindru.....	16
Slika 18 prikaz više ventilske tehnike s 5 ventila po cilindru.....	17
Slika 19 prikaz hidrauličkog podizača u čašici.....	19
Slika 20 prikaz vodilice ventila.....	20
Slika 21 sastavni elementi mehanizma za rotaciju ventila.....	21
Slika 22 princip rada mehanizma za rotaciju ventila.....	22
Slika 23 klatna poluga s valjčićem.....	23
Slika 24 prikaz elemenata pogona zupčastim remenom.....	24
Slika 25 prikaz lančanog razvodnog mehanizma.....	26
Slika 26 prikaz razvodnog mehanizma pomoću zupčanika.....	27
Slika 27 hod ventila pri radu sustava varijabilnog upravljanja bregastim vratilom.....	29
Slika 28 karakteristika motora s ventilima u položaju „rano“ i „kasno“.....	30
Slika 29 podesivi zatezač lanca.....	30
Slika 30 varijabilno upravljanje bregastim vratilom.....	31
Slika 31 sustav varijabilnog otvaranja ventila.....	32
Slika 32 dijagram prikaza hoda ventila.....	33
Slika 33 p - V dijagram dvotaktnog motora.....	34
Slika 34 Prikaz mehanizma ventila na dvotaktnom motoru.....	35
Slika 35 prikaz sustava dobave stlačenog zraka.....	36
Slika 36 prikaz ventila sa sastavnim elementima.....	37

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je

**Završni rad**

(vrsta rada)

isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom **Analiza razvodnih sustava s varijabilnim upravljanjem ventila**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 02.05.2024.

Ivan Kukrika, Ivan Kukrika  
(ime i prezime, potpis)