

10. SREDSTVA ZA DOBAVU ZRAKA ZA ISPIRANJE, PUNJENJE I PREDNABIJANJE CILINDRA MOTORA

Osim turbopuhala za dobavu zraka za ispiranje i prednabijanje cilindara motora upotrebljavaju se:

- stapne zračne sisaljke
- rotacijska puhala
- vijčane sisaljke
- centrifugalni kompresori.

10.1 Stapne zračne sisaljke

Ove sisaljke upotrebljava firma BW na svojim dvotaktnim motorima do 411 kW kao jedino sredstvo za dobavu zraka. Stapne su sisaljke u upotrebi i kod motora (starije generacije) većih snaga (FIAT, Sulzer), gdje je dobava zraka serijska.

Prednosti su stapnih sisaljki:

- tlak zraka je po volji visok
- stapunaj dobave je dobar (75—95)%
- volumetrijski stupanj djelovanja je (90—94)%
- ukupni stupanj djelovanja je (50—80)%.

Nedostaci su:

- troše oko (3—6)% efektivne snage motora za svoj pogon
- mogu se upotrijebiti samo za sporohodne strojeve do oko 450 okr./min.

Sisaljke su dvoradne, a ventili moraju biti lagani da bi udarci, zbog brzog otvaranja i zatvaranja (velika brzina zraka do 80 m/s), bili što manji. To su čelične okrugle pločice slične izvedbe kao kod stapnih kompresora.

Kapacitet sisaljki (m^3/h) može se odrediti formulom:

$$Q = A \cdot s \cdot n \cdot \eta_d \cdot i \cdot 60 \left[m^3 / h \right],$$

- $A \text{ m}^2$ — površina stapa,
 $s \text{ m}$ — hod stapa,
 $n \text{ okr./min}$ — broj okreta,
 i — radnost sisaljke ($i = 1$ kod jednoradne sisaljke, $i = 2$ kod dvoradne sisaljke),
 η_d — stupanj dobave.

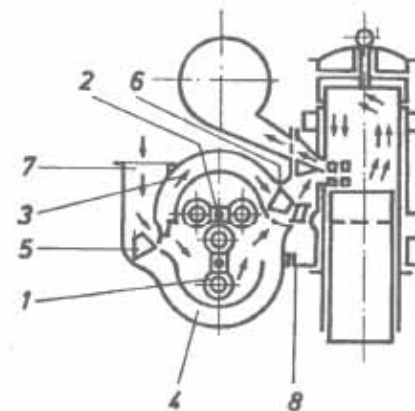
10.2 Rotirajuća puhala sustava Root

Tlačen zrak ne sadrži čestice ulja. Stupanj dobave i ukupni stupanj djelovanja je zadovoljavajući. Volumetrijski stupanj djelovanja iznosi 72—85%.

Ukupni stupanj djelovanja iznosi (50—90)%. Kod većih tlakova manji je stupanj dobave.

Broj lopatica može biti 2—4, a broj okreta od 2 000 do 6 000 u minuti. Prave se obično za tlakove $(1,5—1,8) \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Zbog velikog broja okreta i pulzirajućeg gibanja zraka jako buče. Kod ovih sisaljki nastaje natražno strujanje zraka iz ispirog kolektora u tlačni prostor i kad se tlakovi izjednače, počinje istlačenje pri konstantnom tlaku. Natražno strujanje spojeno je s gubicima.

Ako se lopatica 1 okreće u suprotnom smjeru kazaljke na satu, usis i tlačenje zraka vrši se u smjeru ucrtanih strelica. Kod prekreta motora mijenja se smjer okretanja lopatica 1,2. Zaklopke 5 i 6 pomoću servomotora i razvodne osovine postavljaju se u položaj II. Iako je kod prekreta motora tlačna strana sisaljke postala usisna, zrak se usisava također kroz usisnu cijev 7 i provodni kanal 4, a tlači se kanalom 3 u sabirnu cijev motora 8 (sl. 10.1).



Sl. 10.1 Rootovo puhalo

Kapacitet dobave približno se može odrediti po jednadžbi:

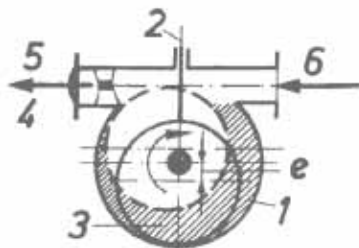
$$Q = \left(\frac{D^2 \cdot \pi}{4} - A \right) \cdot l \cdot n \cdot \eta_v \cdot 60 \left[m^3 / h \right].$$

- η_v — volumetrijski stupanj djelovanja,
 $D \text{ m}$ — promjer lopatice,
 $A \text{ m}^2$ — površina presjeka lopatica,
 $n \text{ okr./min}$ — broj okreta u minuti,
 $l \text{ m}$ — dužina lopatica.

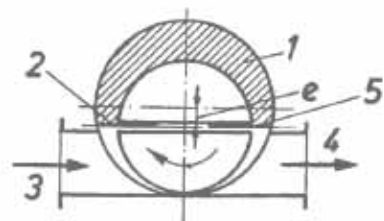
Da se omogući pogon bez torzijskih vibracija (trzaja) i udaraca, ukopčava se Rootovo puhalo [Rut] pomoću hidraulične spojke, a ugrađuje se što bliže zamašnjaku motora.

10.3 Puhala s rotirajućim stapom i zasunom

Rotirajući stap 3 (sl. 10.2) smješten je ekscentrično s obzirom na kućište 1 za veličinu ekscentričnosti e . Zasun 2, koji dijeli radni volumen na usisnu 6 i tlačnu stranu 5, smješten je u rotirajućem stapu 3. U tlačnoj cijevi 5 ugrađen je nepovratni ventil 4.



Sl. 10.2. Puhalo s rotirajućim stapom i zasunom



Sl. 10.3. Dvoradna rotirajuća sisaljka

1-cilindar; 2-cilindrični stap sa zasunima 2 i 5; 3-usisna cijev; 4-tlačna cijev

Ova je sisaljka jednoradna, jer se za svaki okret dobiva kapacitet predstavljen crtkanom površinom. Njezina dobava je intermitirajuća (nekontinuirana). Dvoradna rotirajuća sisaljka s dvostrukim zasunom ima veći kapacitet dobave kod istih karakteristika sisaljke (sl. 10.3).

Volumen dobave ovisi o broju zasuna. Naime, koliko ima zasuna, toliko puta u jednom okretu tlači sisaljka u ispirni kolektor. Dobava sisaljke je jednoličnija — kontinuirana, a ne intermitirajuća — isprekidana. Kapacitet dobave može se odrediti jednadžbom:

$$Q = l \cdot (\pi \cdot D - s \cdot z) \cdot 2 \cdot e \cdot 60 \eta_d \cdot n \quad [\text{m}^3 / \text{h}]$$

l m — dužina stapa,

D m — promjer cilindra,

s m — debljina zasuna,

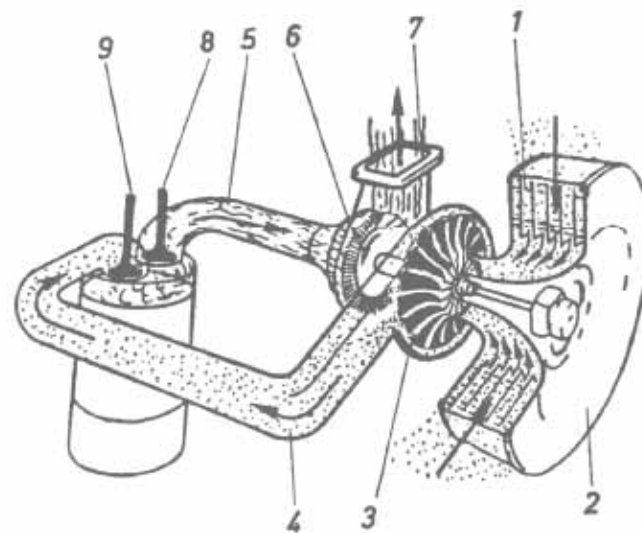
z — broj zasuna,

n okr./min — broj okreta,

η_d — stupanj dobave (približno 75—95%).

10.4 Turbopuhala

Kod suvremenih dvotaktnih i četverotaktnih motora najviše se ugrađuje turbopuhalo za dobavu svježeg zraka za ispiranje, punjenje i prednabijanje cilindra. Na sl. 10.4. prikazano je turbopuhalo u funkciji četverotaktnog motora. Ispušni plinovi izlaze iz radnog cilindra kroz otvoreni ispušni ventil 8 u ispušni vod 5, a odatle u plinsku turbinu 6. Plinovi predaju svoju energiju kolu plinske turbine koji se okrene i do 7 000 puta u minuti. Plinovi izlaze iz plinske turbine kroz cijev 7 u slobodnu atmosferu s vrlo malim predtlakom. Budući da je na istoj osovini ugrađeno puhalo 3 i on će se okretati istim brojem okreta. Čisti zrak usisava se kroz mrežni čistalac (1.2) i tlači kroz cijev 4 i otvoreni usisni ventil 9 u radni cilindar. Cilindri četverotaktnih motora ispiru se i pune za vrijeme preklopanja ventila.

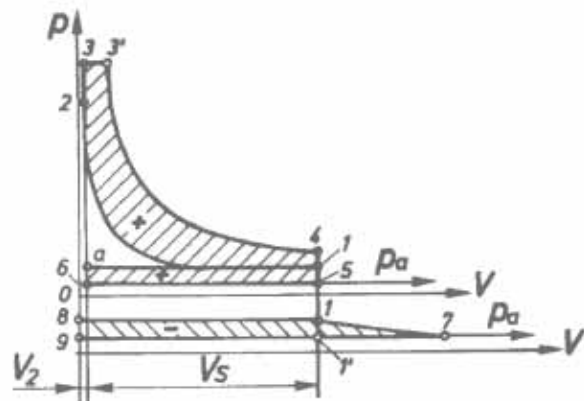


Sl. 10.4. Turbopuhalo u funkciji četverotaktnih motora

10.5 Teorijski proces s mehaničkim pogonom puhala

Površinom 1—2—3—3'—4—1 u pV -dijagramu prikazan je idealni rad motora, a površinom 7—1—8—9—7 predočen je veći dio radnje potrošene u puhalu za kompresiju i dobavu zraka. Zbog pozitivne radnje u procesu prednabijanja dobiva se natrag dio utrošenog rada za pogon puhala označen površinom a —1—5—6— a . Površina 1—1'—7—1 je gubitak u radu puhala (sl. 10.5).

Snaga motora postignuta povećanim punjenjem znatno ovisi o maksimalno dozvoljenim tlakovima izgaranja. Što je veće punjenje, veći je stupanj djelovanja puhalo, ali s porastom tlaka prednabijanja zraka snaga motora ne postiže se proporcionalno, a specifični potrošak goriva raste. Ovaj sustav prednabijanja četverotaktnog motora danas se malo upotrebljava, jer je iskoristivost motora manja od sustava prednabijanja s turbopuhalom.



Sl. 10.5. Procesi s mehaničkim pogonom puhalo

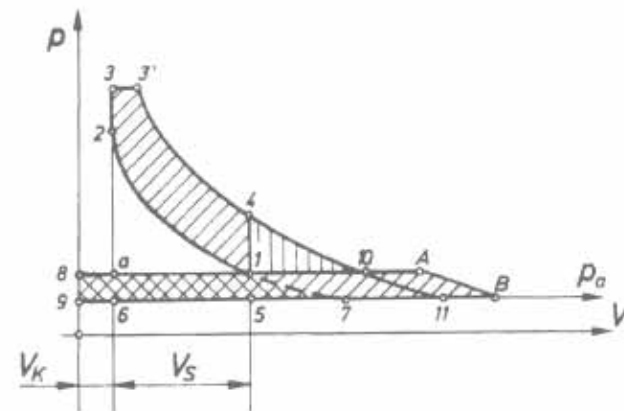
10.6 Teoretski proces četverotaktnog dizel-motora s iskorištavanjem ispušnih plinova u plinskoj turbini

Radnja savršenog dizel-motora predočena je površinom 1—2—3—3'—4—1 (sl. 10.6). Radnja puhalo bez gubitaka prikazana je površinom 7—1—8—9—7, a radnja turbine na ispušne plinove s A—B—9—8—A. Kad bi se kod točke 4 nastavila adijabatska ekspanzija u cilindru do točke 10, mogla bi se radnja 4—10—1—4 iskoristiti za pogon motora. Ako se ekspanzija nastavi od 10—11 u turbini, tada bi se dobila idealna radnja turbine 10—11—9—8—10. Proces ispuha (4—1) spojen je s gubicima prigušivanja (brzina se troši na virove), povećava se temperatura plinova, a time i njihov volumen od 10—A.

Površina 4—10—1—4 odgovara apsolutnoj toplinskoj vrijednosti zbog povišenja temperature i volumena. Nešto se od te topline gubi ispiranjem i prijenosom zraka za prednabijanje pa se zbog toga snizuje temperatura ispušnih plinova pri ulasku u turbinu.

Radnja turbine predočena površinom A—B—9—8—A može se odrediti prema izrazu:

$$W = i_A - i_B \text{ [kJ/kg].}$$



Sl. 10.6. Teoretski proces u plinskoj turbini

Radnja predočena u puhalu kod adijabatske kompresije može se odrediti jednadžbom:

$$W = i_1 - i_7 \text{ [kJ/kg],}$$

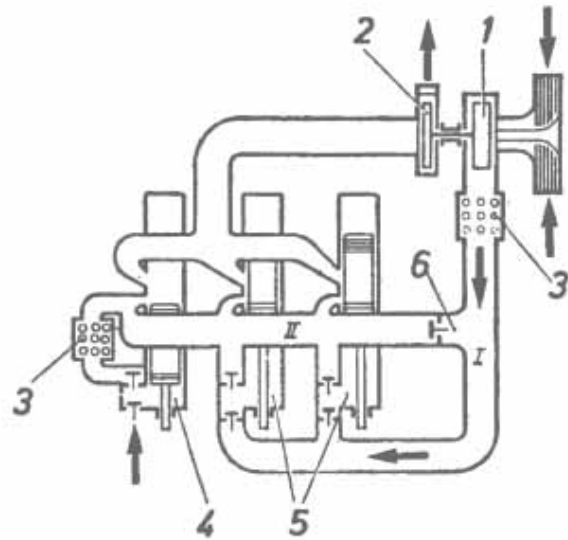
i_1 — stanje zraka u točki 1,
 i_7 — stanje zraka u točki 7.

Razlika tih radnja predočena površinom A—B—7—1—A, mora biti dovoljna za podmirenje gubitaka puhalo i turbine.

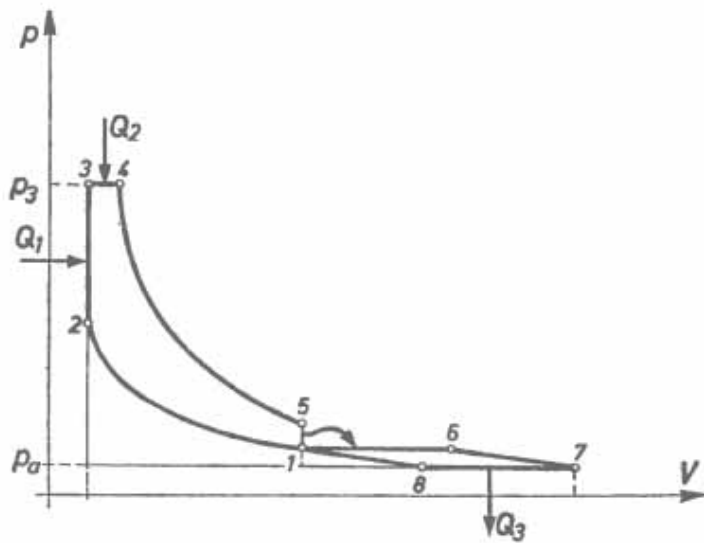
10.7 Ispušna turbina s iskorištavanjem tlaka u zajedničkoj ispušnoj cijevi

Ovdje se primjenjuje sustav konstantnog tlaka. Ispušni plinovi svih cilindara dovode se u zajedničku ispušnu cijev većeg promjera (sl. 10.7). Kinetička energija plinova pretvara se u toplinu pri čemu se povisuje temperatura i povećava volumen plina pri ulazu u turbinu.

U pV -dijagramu (sl. 10.8) prikazan je idealni kružni proces površinom 1—2—3—4—5—1, a točkama 5—1 odvođena topline pri $v = \text{konst.}$ koja odgovara ispuhu cilindra u zajedničku ispušnu cijev. Točke 1—6 predstavljaju dovođenje iste količine topline turbini pri $p = \text{konst.}$ Krivulja 6—7 je adijabatska ekspanzija plinova u turbini, a 7—8 odvođenje topline pri $p = \text{konst.}$ (ispuh iz turbine u atmosferu). Adijabatska kompresija u kompresoru prikazana je točkama 8—1.



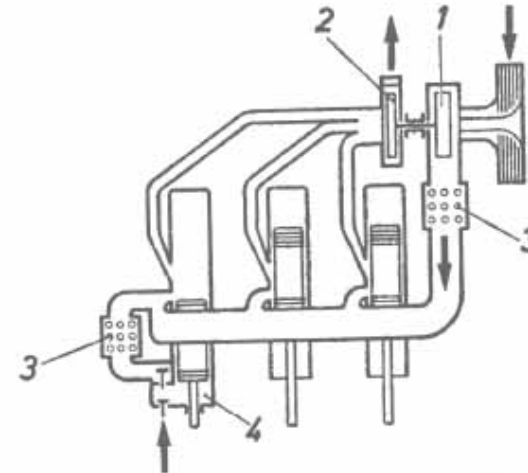
Sl. 10.7. Ispušna turbina s iskorištavanjem tlaka u zajedničkoj ispušnoj cijevi
1-turbopuhalo; 2-plinska turbina; 3-rashladnici ispirog zraka; 4 i 5-uisisne
komore ispirog zraka; 6-nepovratni lamelasti ventili



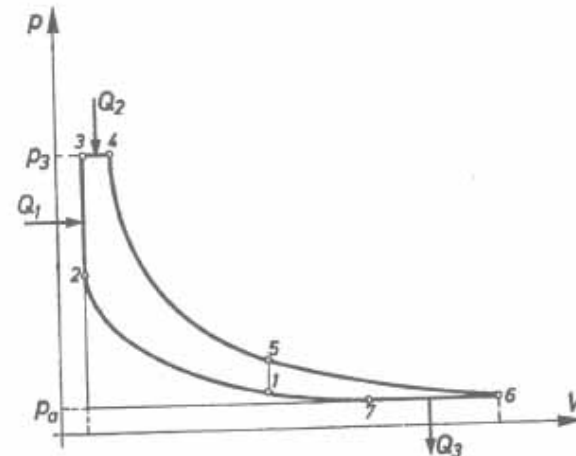
Sl. 10.8. pV-dijagram konstantnog tlaka

10.8 Ispušna turbina s iskorištavanjem kinetičke energije plinova (sl. 10.9).

Ako se izlazni plinovi u plinskim turbinama, koje pogone puhala za dobavu zraka, koriste za prednabijanje cilindara, tada motori rade po kružnom procesu s produženom ekspanzijom plinova. Toplinska iskristivost procesa veća je od odgovarajućih procesa bez produžene ekspanzije.



Sl. 10.9. Ispušna turbina s iskorištavanjem kinetičke energije plinova
1-turbopuhalo; 2-plinska turbina; 3-rashladnici; 4-uisisna komora ispirog zraka



Sl. 10.10 pV-dijagram sustava Pulse

Pulzirajući sustav nastaje kada ispušna turbina radi s tlakom koji postupno opada, od tlaka u cilindru na atmosferski tlak. To je moguće postići ako se ispušni plinovi svakog cilindra vode do turbine posebnim vodom relativno manjeg promjera. Kod ovog sustava u turbini se iskorišćuje i kinetička energija istjecanja plinova iz cilindra.

Sustav Pulse u pV -dijagramu prikazan je na sl.10.10. Točkama 4—5—6 prikazana je krivulja adijabatske ekspanzije plinova u cilindru, ispušnoj cijevi i među lopaticama turbine, a s točkama 6—7 krivulja istjecanja plinova u slobodnu atmosferu (odvođenje topline kod $p = \text{konst.}$). Krivuljom 7—1 prikazana je adijabatska kompresija zraka u turbopuhalu.

10.9 Podmazivanje ležaja turbine

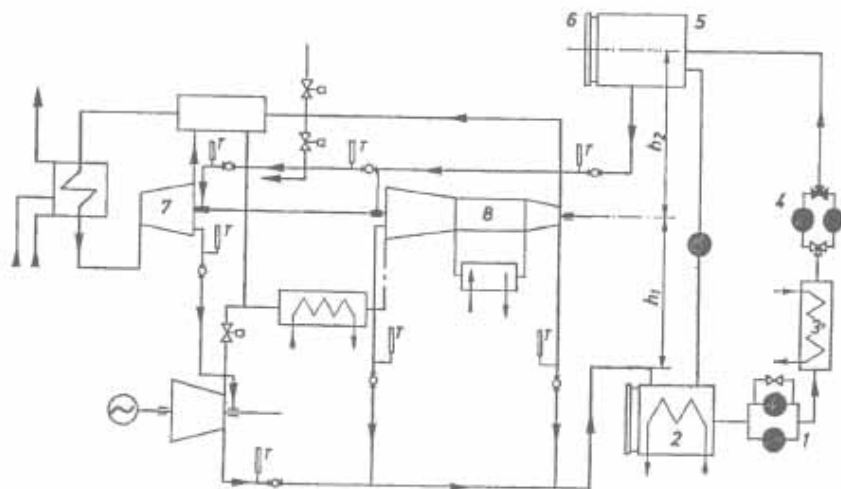
Vratilo rotora plinske turbine i puhala smješteno je u kotrljajućim ili kliznim ležajima. Uz normalne uvjete pogona, trajnost kotrljajućih ležaja iznosi 8—12000 pogonskih sati. Da bi se osigurao besprijekorni rad ležaja, potrebno ih je podmazivati i hladiti.

Postoje dva sustava podmazivanja ležaja, i to:

- cirkulacijsko-tlačno podmazivanje i
- podmazivanje dovodom ulja slobodnim padom.

Za podmazivanje kliznih ležaja ulje se koristilo iz tlačnog voda sustava glavnog motora, ali zbog krutih nečistoća sadržanih u ulju i velikog broja okreta vratila turbine, ležaji se relativno brzo troše, pa se prešlo na odvojeni sustav podmazivanja.

Kotrljajući ležaji imaju tzv. unutrašnji sustav podmazivanja. Zupčana sisaljka tlačí ulje u svaki ležaj s jedne i druge strane svakog ležaja.



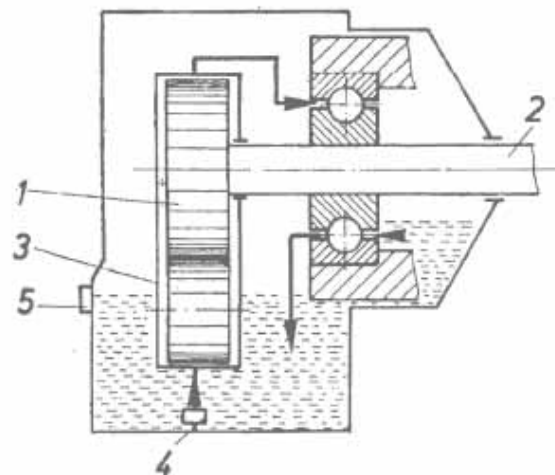
Sl. 10.11. Podmazivanje turbine sustava BBC

10.9.1 Podmazivanje ležaja turbine sustava BBC slobodnim padom (sl.10.11)

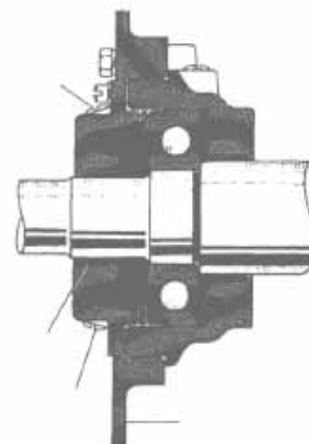
Sisaljka 1 usisava ulje iz tanka 2 i kroz rashladnik 3 i dvostruke čistioce 4 tlači u gravitacijski tank 5. Gravitacijski tank ima ugrađen uljokaz 6. Ulje iz gravitacijskog tanka slobodnim padom (visine h_2) ulazi u sve ležaje turbine 7 i 8. Iz ležaja turbine ulje otječe slobodnim padom (visine h_1) u sabirni tank 2, a odatle tlačnom sisaljkom u gravitacijski tank i tako se kružni proces cirkulacije ulja ponavlja.

10.9.2 Podmazivanje ležaja turbine cirkulacijsko-tlačnim sustavom (sl.10.12)

Cirkulacijsko-tlačna sisaljka 1 pogonjena od pogonskog vratila turbine 2, a smještena u svom kućištu 3, koje je sa strane usisa spojeno s usisnim čistiocem 4. Razina ulja kontrolira se uljokazom 5. Sisaljka 1 usisava ulje iz spremnika ulja i tlačí ga u sve ležajeve turbine. Izvedbeni detalj ležaja turbine prikazan je na sl. 10.13.



Sl. 10.12. Podmazivanjem turbine pod tlakom



Sl. 10.13. Ležaj plinske turbine

Pitanja za ponavljanje

1. Koja se sredstva za dobavu zraka za ispiranje i prednabijanje cilindara motora najviše upotrebljavaju?
2. Koje su dobre i loše strane stapnih zračnih sisaljki?
3. Objasnite na kojem načelu rade rotacijske zračne sisaljke; navedite njihove prednosti i nedostatke.
4. Zašto su turbopuhala najekonomičnija sredstva u dobavi zraka za ispiranje i prednabijanje cilindra motora?
5. Nacrtajte i objasnite pV -dijagram dizel-motora s iskorištavanjem ispušnih plinova u plinskoj turbini.
6. Objasnite razliku u konstrukcijskoj izvedbi plinske turbine s iskorištavanjem tlaka u zajedničkoj ispušnoj cijevi i turbine s iskorištavanjem kinetičke energije plina. Nacrtajte i objasnite pV -dijagram sustava Pulse.
7. Kako se podmazuju ležajevi turbine?