



(12) SØKNAD

(11) 20200639

(13) A1

NORGE

(19) NO

(51) Int Cl.

F02B 25/16 (2006.01)

F02B 33/30 (2006.01)

F01B 9/02 (2006.01)

F01L 9/04 (2006.01)

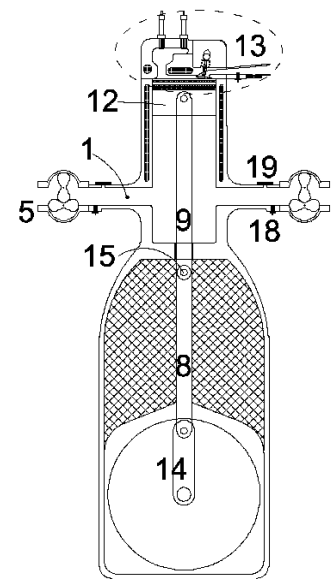
F02B 75/00 (2006.01)

### Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20200639	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr
(22)	Inng.dag	2020.05.29	(85)	Videreføringssdag
(24)	Løpedag	2020.05.29	(30)	Prioritet
(41)	Alm.tilgj	2021.11.30		
(71)	Innehaver	Lars Harald Heggen, Konvallveien 28, 3031 DRAMMEN, Norge		
(72)	Oppfinner	Lars Harald Heggen, Konvallveien 28, 3031 DRAMMEN, Norge		
(74)	Fullmektig			

(54) Benevnelse **Gassveksling i forbrenningsmotorer for økt virkningsgrad**  
(57) Sammendrag

Oppfinnelsen angår gassveksling i forbrenningsmotorer for økt virkningsgrad. Øket virkningsgraden på en motorprosess er spesielt viktig ved bruk av lav- og null- utslipps drivstoffer. Økt virkningsgrad fører til lavere drivstoff forbruk og derved lavere drivstoff kostnader enn ved drift med disse drivstoffer i tradisjonelle motorer. Fordelen med oppfinnelsen er hvordan virkningsgraden til forbrenningsmotorer kan økes ved å endre på gassvekslingen til motorene slik at man reduserer kompresjonstakten til kun å gjennomføres i siste del av motorens kompresjonsslag. Derved kan motorene beholde et høyere ekspansjonsforhold i forhold til dagens motorer. Dette gjøres ved at man reduserer mengden luft og drivstoff som benyttes i forbrenningsprosessen ved at man lar eksosventilen(e) (2) stå åpne gjennom en del av kompresjonsslaget for å redusere mengde luft til forbrenningen samt redusere kompresjon og da trykkstigning før forbrenningen. Dette reduserer kompresjonsarbeidet motorene må gjøre. Mindre luft reduserer også pumpearbeidet motorene må gjøre. Det optimale for prosessen er at trykket i sylindere etter at ekspansjonen er ferdig er tilnærmet det samme som trykket i eksos systemet (3). Ved ett gitt pådrag vil prosessen optimaliseres til å prøve og ha et tilnærmet likt trykk i sylindere etter ekspansjonen som i eksossystemet (3). Dette trykket sammen med pådraget og turtallet til motoren, samt verdier fra sensorer i eksossystemet (3) og innsuget (1) vil styre mengden av både hoved- og pilot- drivstoff til motoren samt mengde luft både for forbrenning og eksosrensing. Dette vil igjen styre innsprøytings- og tennings- tidspunkt. Luftmengde og gassveksling reguleres av kompressor(er) (5) samt åpning og lukking av eksosventil(er) (2) med eksosventilenes styring (4). Alternativt også innsugsventiler for 4-takts motorer. Optimal virkningsgrad vil kun oppnås innen begrenset belastningsområde formotoren, så det er en fordel å benytte denne type motorer som del av et hybriddriftssystem.



Oppfinnelsen angår gassveksling i forbrenningsmotorer for økt virkningsgrad.

### **Kjent teknikk:**

På grunn av kravene til reduksjon i CO<sub>2</sub> utslipp har det blitt ett større fokus på lav- og null- utslipps løsninger innen alle typer fremdriftsmaskineri og andre typer energianlegg som for blant annet elektriske kraftproduksjon.

Utfordringen med denne type drivstoffer er blant annet at de er mer kostbare enn tradisjonelle fossile drivstoffer. For skipsfarten er en aktuell nullutslipps løsning ammoniakk, men dette blir dyrere enn tradisjonell drift med bunkerolje.

En løsning for å kompensere for de økte drivstoffkostnader er å bedre virkningsgraden til motorene. For en tradisjonell Otto prosess er virkningsgraden til prosessen en funksjon av ekspansjonsforholdet. Man vil kunne øke virkningsgraden ved å øke ekspansjonsforholdet, men begrensningen er hvor stort sylindetrykk motorene kan tåle. I tillegg til eventuelt hva selvantennings-temperaturen drivstoffet som er blandet med luft i sylinderen har.

Av kjent teknologi er motorkonstruksjoner med variabelt kompresjonsforhold. Kull- og knottgeneratorer drift av forbrenningsmotorer.

Norsk patentsøknad 20200463 «Utforming av forbrenningsrom i stempelmotorer som benytter tungt antennebare brennstoffer».

Norsk patentsøknad 20191482 «Hybridsystem for droner og andre typer fremkomstmidler».

Og norsk patent 343554, (PCT – WO/2019/035718)

«Nullutslipps fremdriftssystem og generatoranlegg med ammoniakk som brennstoff» som beskriver antenning av ammoniakk med hjelp av en pilotantenning.

### **Kort omtale av oppfinnelsen:**

I denne beskrivelsen benyttes terminologien kompresjonsslag om stempelvandringen fra nedre dødpunkt – ND opp til øvre dødpunkt ØD før forbrenning, og ekspansjonsslag om stempelvandringen fra øvre dødpunkt – ØD ned til nedre dødpunkt – ND etter forbrenning. Motorens takter er de forskjellige prosesser som utføres i løpt av en arbeidssyklus.

Normalt vil en stempelmotor ha et likt kompresjons- og ekspansjons- forhold. Fordelen med denne oppfinnelsen er hvordan man endrer gassvekslingen til motoren slik at man reduserer kompresjonstakten til kun å gjennomføres i siste del av motorens kompresjonsslag. Derved kan motorene ha et høyere ekspansjonsforhold enn tradisjonelle motorer. Dette gjøres ved at man reduserer mengden luft som benyttes i forbrenningsprosessen ved at man lar eksosventilen(e) stå åpne opp

gjennom en del av kompresjonsslaget, samt at dette også reduserer kompresjon og da trykkstigningen før forbrenningen.

Ved å betrakte en tenkt motor uten turbolader som opererer etter en Otto prosess vil det optimale trykket i sylindere etter at ekspansjonen er ferdig være det samme som trykket i eksossystemet eller trykket utenfor motoren. Da har motoren utnyttet trykkstigningen fra forbrenningen optimalt. Eksosvarmen kan også benyttes til drift av andre kraftproduserende enheter, eller som varmekilde for forskjellige formål som for eksempel å varme vann. Dette vil kunne øke energiutnyttelsen fra drivstoffet enda bedre.

For 2-takts motorer vil gassvekslingen reguleres med eksosventilenes åpningstider sammen med kompressorer som regulerer mengde tilført luft eller luft/drivstoff blanding.

For 4-takts motorer vil innsugs- og eksos- ventiler reguleres som følger:

- for Ekspansjonsslaget er alle ventilene stengt som for tradisjonelle motorer.
- for Utblåningslaget vil eksosventilen(e) være åpne og eksosen blåses ut som for tradisjonelle motorer.
- for Innsugsslaget vil først eksosventilen(e) være lukket og innsugsventilen(e) være åpne slik at luft eller luft drivstoffblanding suges eller trykkes inn i sylindere. Når riktig mengde luft eller luft drivstoffblanding er suget/trykket inn i sylindere lukker innsugsventilen(e) samtidig som eksosventilen(e) åpner igjen. Dette gjøres for å redusere motorens pumpearbeid. For motorer med flere innsugs- og eksos- ventiler kan hver enkelt ventil styres individuelt for å optimalisere gassvekslingen.
- for Kompresjonsslaget vil eksosventilen(e) være åpne ett stykke oppover i slaget slik som beskrevet ovenfor.

Ammoniakk er et antennelig stoff som kan benyttes som drivstoff for både luft-, vann- og landbasert transport i tillegg til aggregater for forskjellige typer anlegg som for eksempel til elektriske kraftproduksjon, vannpumper og annet. Ulempen er at ammoniakk er tungt antennelig, men siden nullutslippssystemer er definert som systemer som ikke produserer CO<sub>2</sub> begrenser dette i praksis slike systemer til å være elektriske, nukleære eller hydrogen drevne systemer. For hydrogen drevne systemer er ammoniakk den enkleste måten å lagre hydrogen på.

For å utnytte ammoniakk som drivstoff vil det være fordelaktig å kunne benytte flere fremdriftssystemer, alternativt kunne benytte fremdriftssystemer som kan benytte flere forskjellige drivstoffer, som «dual-fuel» eller «flex-fuel» motorer. I tillegg vil det på grunn av ammoniakks forbrenningsegenskaper være fordelaktig at slike motorer er en del av et hybridssystem, slik at forbrenningsmotorene kan operere ved en statisk drift (konstant belastning) og at hybridssystemet tar seg av variasjonen i belastningene til systemet. Dette kan

gjøres både med elektriske hybridanlegg hvor batterier og kondensatorer vil fungere som buffere for å jevne ut variasjoner i belastningene, eller det kan være hydrauliske eller pneumatiske hybrissystemer hvor trykktanker eller trykkbelastede sylindre/holdere fungere som energilagere. Systemet vil da ha hydrauliske pumper og motorer, eller kompressorer og turbiner for pneumatiske systemer. Ved behov kan forbrenningsmotorenes effekt økes ved å tilføre mer luft og drivstoffer til motoren, alternativt at motorene går på rent pilotdrivstoff. Dette er aktuelt for ammoniakk drevne motorer med diesel som pilotdrivstoff. Ved behov kan motorene gå som rene forkammer dieselmotorer. Eksosventilene vil da stenge lengre nede i kompresjonsslaget og tenningstidspunktet vil forsinkes for å hindre for høyt sylindetrykk under forbrenningen. Dette vil redusere virkningsgraden, men være en enkel løsning for å kunne gi høy ytelse. En annen løsning er at ekstra forbrenningsmotorer med tradisjonell forbrenning også kan være en del av hybridssystemet for å kunne gi høy effekt ved behov.

For å sikre god antennelse av ammoniakk vil det være påkrevet med et pilot-antenningsystem for en ammoniakk og luft blanding. Denne pilotantenningen kan skje ved bruk av rent hydrogen, andre biodrivstoffer eller tradisjonelle fossile brenslere både flytende og gassformige.

### **Beskrivelse av figurer:**

Figur 1) er en skisse på et utførelseseksempel på en 2-takts krysshode motor.  
 Figur 2) er en illustrasjon av taktskiftene på utførelseseksempellet i Figur 1.  
 Figur 3) er en skisse på et utførelseseksempel av et topplokk for motoren i Figur 1

### **Detaljert beskrivelse av oppfinnelsen:**

Systemet kan benyttes både for 2-takts og 4-takts stempelmotor. Både motorer som opererer etter Diesel-, Otto-, Atkinson- eller andre prosesser for stempel-motorer omfattes av denne oppfinnelsen.

- 1) Stempelmotorens innsug.  
 Her vil luft suges inn i sylinderen. Alternativt trykkes med kompressor (5) og/eller også med turbolader. Kompressor(er) (5) vil for 2-takts motorer kunne være påkrevet for å kunne regulere lufttilførselen. Kompressoren(e) (5) vil kunne være trinnløst drevet for å kunne regulere lufttilførselen. Normalt vil hoved drivstoffet tilføres forbrenningsrommet (10) med innsprøytningdyse for hoved drivstoffet (11), men det er mulig å tilføre hoved drivstoffet til luften i innsuget. Dette gjøres eventuelt med forgasser(e) eller innsprøytningdyse(r) for flytende drivstoffer, eller med en gassblander «gasmixer» eller innsprøytningdyse(r) for gassformige drivstoffer. For drivstoffer på fast form vil disse normalt tilføres rett i forbrenningsrommet (10).

For å sikre rett luftmasse til sylindern vil innsuget normalt ha en temperatursensor (18) for å måle temperaturen på luften i tillegg til en MAP-sensor (19) for å måle trykket i innsuget. For 2-takts motorer kan innsuget også ha reed-ventiler eller andre ventilsystemer for å styre luftstrømmen.

For å optimalisere gassvekslingen kan høyden på innsugsportene i sylindern i en 2-takts motor tilsvare høyden på slaglengden til kompresjon av luften i sylindern. Det vil si at høyden på innsugsportene i sylindern i en 2-takts motor tilsvare høyden på slaglengden under kompresjonslaget hvor eksosventilen(e) (2) er lukket under optimal drift. Eventuelt med tillegg av en ekstra høyde for å sikre eventuell luftmengde til kompresjonsvolumet og mengde luft som skal blåses ut i eksossystemet (3) for å bidra til eksosrensing. Formålet med dette er å redusere pumpearbeidet til gassvekslingen. Det er også mulig å øke trykket i innsuget og redusere høyden på innsugsportene. Men under optimal drift av motorene vil trykket i innsuget tilsvare, eller være litt høyere enn trykket i sylindern etter ekspansjon. Da vil eksosventilen(e) (2) være lukket helt ned til nedre dødpunkt – ND slik at det er stempellets bevegelse sammen med høyden på innsugsportene som doserer mengde luft eller luft/drivstoff til sylindern.

- 2) Eksosventil.  
 Dette vil normalt være en tradisjonell eksosventil. For 2-takts motorer vil det være en eller flere eksosventiler for å lede eksosgassene ut fra sylindern. For 4-takts motorer vil det både være eksos- og innsugsventiler.
  
- 3) Stempelmotorens eksossystem.  
 Eksosen kan eventuelt ledes videre for helt eller delvis å drive andre kraftproduserende enheter som for eksempel en Stirlingmotor, eller drift av turbolader. For generatoranlegg kan eksosvarmen også benyttes til dampproduksjon for drift av en dampturbin.  
 Om ammoniakk benyttes som hoved drivstoff kan ammoniakken også benyttes som arbeidsmedium i en turbinkrets til en kraftproduserende enhet som for eksempel en strømgenerator. Dette kan eventuelt gjøres etter først å ha benyttet eksosvarmen til en dampturbin, og restvarmen benyttes til en ammoniakk drevet turbin. Eksosvarmen kan også benyttes til andre formål som for eksempel vannproduksjon på skip.  
 Eksossystemet vil, avhengig av type hoved – og pilot – drivstoff, ha følere for forskjellige parametere til eksosen. Dette kan blant annet være for temperatur (16) og trykk (17), samt for kjemisk sammensetning. Signalene sendes til motorenes styresystem.

- 4) Eksosventilens styring.  
For 4-takts motorer vil det både være eksos- og innsugs- ventilstyringer. Dette vil være elektromekaniske-, hydrauliske- eller pneumatiske ventilstyringer for å optimalisere gassvekslingen. Det kan også være elektromekanisk styrte, hydrauliske eller pneumatiske ventilstyring, hvor aktuatorer styrer hydraulikken eller gasstrykket som åpner og lukker ventilen(e) (2). Tradisjonell mekanisk styring er også mulig, men dette vil eventuelt fungere best ved en statisk drift av motorene. Denne ventilstyringen vil sammen med kompressoren(e) (5) styre og sikre riktig gassveksling i sylindren.  
En fordel med dette systemet er at eksosventilen(e) (2) kan styres for å regulere mengde luft eller luft/drivstoff blanding til sylindren og derved regulere kompresjonsarbeidet. Eksosventilen(e) (2) vil styres til å være åpne ett stykke oppover i kompresjonsslaget. Motorene kan dermed reguleres til å operere ved forskjellige driftsforhold. Enten for å gi optimal virkningsgrad, eller at eksosventilen(e) (2) styres slik at motorene fungerer mer som tradisjonelle motorer hvis ønske er maksimal effekt på motorene. Da stenger eksosventilen tidligere (lengre nede) i kompresjonsslaget slik at mer luft eller luft/hoved drivstoff komprimeres. Da må eventuelt innsprøytningsstidspunkt og tenningsstidspunkt endres for å hindre for høyt sylindetrykk. Eksosventilen(e) (2) kan også styres for forskjellige kombinasjoner av virkningsgrads- og effekt- forhold.
- 5) Kompressor.  
Avhengig av pådraget til motoren, sammen med behovet for luft til eksosrensing vil kompressoren(e) sørge for å levere luft til motorene. Kompressoren(e) vil sammen med eksosventilen(e) sin styring (4) bidra til å sikre riktig luftmengde til motoren. Kompressoren(e) kan være trinnløst drevet for bedre å kunne regulere lufttilførselen, og for å redusere pumpearbeidet.  
Om motoren(e) går på ren diesel vil det under normale forhold være ønskelig å drive motorene med maksimal virkningsgrad. Om maksimal effekt skulle være påkrevet kan motoren(e) eventuelt gå med mindre luftoverskudd enn ved tradisjonell dieseldrift. For å kompensere for en eventuell ufullstendig forbrenning under slike driftsforhold kan kompressoren(e) reguleres til å sørge for at tilførsel av luft til sylindren under gassvekslingen øker slik at mer luft blåses ut med eksosen for å bidra i eksosrensingen. Mindre luftoverskudd under forbrenningen kan også bidra til å redusere NO<sub>x</sub> dannelsen.
- 6) Forkammeret.  
Dette er forkammer for antennelse av pilotdrivstoffet. For motorer med fremmedtenning vil pilotdrivstoffet antennes av en tennpluggen (7), mens det for motorer med kompresjonstenning vil være en innsprøytningsdyse og en glødeplugg (7) for tilførsel og antennelse av pilotdrivstoffet.

Forholdet mellom forkammerets volum og forbrenningsrommets (10) volum vil normalt være det samme forholdet som mellom sylindereens volum med luft til prosessen under normale driftsforhold og kompresjonsvolumet.

Kompresjonsvolumet til sylindereen vil bestå av volumet mellom stempel (12) og sylindertopplokk (13) når stempelet (12) står i øvre dødpunkt – ØD i tillegg til forbrenningsrommets (10) volum og forkammerets volum. Grunnen til å ha samme forhold mellom forbrenningsrommets (10) volum og forkammeret volum som forholdet mellom sylindereens volum med luft rett før kompresjonen begynner under normale driftsforhold og kompresjonsvolumet, er for å sikre at mest mulig av luften eller eventuelt en luft/pilot-drivstoff blanding som er i forbrenningsrommet (10) og forkammeret ved kompresjonstaktens begynnelse blir komprimert inn i forkammeret. Dette for å sikre at en luft eller luft/pilotdrivstoff blanding i forkammeret har en så liten innblanding av hoved drivstoff som mulig. Dette er spesielt viktig ved bruk av ammoniakk som hoved drivstoff da det ikke er ønskelig å ha en forbrenning med både et organiske drivstoffer og ammoniakk sammen, fordi det kan føre til cyanidforbindelser  $[:C\equiv N:]^-$  Andre forhold mellom volumene til sylindere, forbrenningsrom (10) og forkammeret er også mulige, og kan være aktuelt spesielt ved bruk av lignin som hoved drivstoff. Da kan for eksempel en mager blanding av luft og etanol suges inn gjennom sylindereens innsug (1) for å bedre forbrenningen. Lignin tilføres i forbrenningsrommet (10) via innsprøytningsanordning (11). En ekstra mengde pilotdrivstoff til antenneing tilføres forkammeret med pilotdrivstoffets innsprøytningsdyse og antennes med antennelsesanordning (7).

- 7) Pilotdrivstoffets antennelsesanordning.  
For motorer med fremmedtenning vil dette være en tennplugg. For motorer med kompresjonstenning vil dette være en innsprøytningsdyse og en glødeplugg plassert i forkammeret (6). For motorer med kompresjonstenning vil pilotdrivstoffanlegget også være stort nok til at motorene kan drives som forkammer motorer om ikke hoved drivstoff er tilgjengelig.
- 8) Råde.  
Dette er råden mellom veivakselen (14) og stempelet (12), alternativt mellom veivakselen (14) og stempelstangen (9) / krysshodet (15) for krysshodemotorer.
- 9) Stempelstang.  
Til krysshode motorer er dette stempelstangen mellom råden (8) / krysshodet (15) og stempelet (12).
- 10) Forbrenningsrommet.  
For tungt brennbare drivstoffer, og ikke minst drivstoffer med lav flammehastighet er det viktig å ha et forbrenningsrom utformet for å sikre

at energiomsetningen fra forbrenningen skjer så hurtig som mulig. Typisk vil dette bety et kuleformet, eller tilnærmet kuleformet forbrenningsrom. Forbrenningsrommet kan enten være et rom i sylindertopplokket (13) eller i toppen av stempelet (12). Alternativt delt med rom både i sylindertopplokket (13) og stempelet (12). Hvis forbrenningsrommet er i toppen av stempelet (12) må forkammeret (6) ha en forbindelse med forbrenningsrommet for å sikre at pilotforbrenningen gir en god antennelse av hoved drivstoffet. Dersom forbrenningsrommet er i sylindertopplokket (13) er det viktig at utløpet fra forbrenningsrommet til sylinderen er tilstrekkelig stort til at det ikke oppstår trykktap for de forbrente og uforbrente gassene.

- 11) Innsprøytningdyse for hoved drivstoffet.  
Dersom luft/hoved drivstoff blandingen ikke er blandet utenfor motoren i en forgasser, gassblander eller drivstoffdyser montert på eller i innsuget (1), vil dette vil være innsprøytningdyse(r) til innsprøytning av hoved drivstoffet i forbrenningsrommet (10). Disse kan være av alle konvensjonelle dysekonstruksjoner både til bruk for flytende og gassformige drivstoffer. For faste drivstoffer kan andre doseringsprinsipper benyttes. For rent lignin vil normalt en pumpeanordning av oppvarmet lignin benyttes. Lignin er et amorft materiale med en Tg (“glass-transition temperature”). Fordelen er at ved oppvarming får man et tildels viskøst materiale som ved hjelp av en «pumpe dyse» anordning eller annen pumpeanordning kan pumpe ligninet inn i forbrenningsrommet (10). Ett pumpe eller innsprøytningssystemer for faste drivstoffer vil normalt også måtte kunne pumpe flytende drivstoffer som for eksempel bensin bio-diesel eller etanol for å ha mulighet til å tømme systemet for faste drivstoffer før en eventuell driftstans. Dette vil kunne være tilfelle ved bruk av lignin. Et hydraulisk operert system vil være en fordel dersom drivstoffet må oppnå en viss temperatur før det kan benyttes. Dette kan være tilfelle for lignin. Ved bruk av faste drivstoffer som lignin eller kull/biokull bør innsprøytningdysen(e) til hoved drivstoffet plasseres slik at hoved drivstoffet pumpes eller sprøyts rett foran, eller rett i forkammerets (6) utløp til forbrenningsrommet (10) for å bruke gass strømmen fra forkammerets (6) forbrente og uforbrente gasser til å spre og blande hoved drivstoffet med luften i forkammeret (10) og sylinderen.
- 12) Stempel  
Stempelet i sylinderen til forbrenningsmotorene. Hele eller deler av forbrenningsrommet (10) kan være et rom i toppen av stempelet, slik det i mange tilfeller er for direkteinnsprøytete dieselmotorer. I det tilfelle hvor forbrenningsrommet (10) er en del av stempelet, må forkammerets (6) utløp være rettet direkte mot dette forbrenningsrommet (10).



- 13) **Sylindertopplokk**  
Sylindertopplokket vil kunne være to- eller fler- delt. Både fordi det kan være enklere rent produksjons-teknisk i fremstillingen av sylindertopplokkene, men også for å lette service og vedlikehold. Ved bruk av marine drivstoffoljer som pilotdrivstoff, og/eller ved bruk av faste hoveddrivstoffer som kull og lignin kan et delt sylindertopplokk være spesielt viktig for å lette rensing av forbrenningsrom (10) og forkammer (6) for blant annet sot og andre avleiringer.
- 14) **Veivaksel.**  
Dette er motorens veivaksel.
- 15) **Kryss hode.**  
Dette er forbindelsen mellom råde (8) og stempelstang (9) som tar opp de sideveise kreftene fra råden (8).
- 16) **Temperatursensor.**  
Temperatursensor for å måle temperaturen på eksosgassen. Denne benyttes for å måle temperaturen på eksosen idet den blåses ut i eksossystemet (3). Denne temperaturen gir en verdi på trykket i sylinderen etter ekspansjon.
- 17) **Trykksensor.**  
For å kunne optimalisere både trykket i innsuget (1) og sylindetrykket til trykket i eksossystemet (3) under gassvekslingen kan en trykk giver i eksossystemet (3) benyttes for å gi et signal om eksosstrykket.
- 18) **Luft temperatur sensor.**  
Temperatursensor for å måle temperaturen på luften, eller luft/drivstoff blandingen i innsuget (1).
- 19) **MAP-sensor.**  
Sensor for å måle trykket i innsuget (1).

Det optimale for å oppnå best virkningsgrad på prosessen er at trykket i sylinderen etter at ekspansjonen er ferdig blir det samme som trykket i eksossystemet (3), og at dette eksosstrykket er så likt omgivelses- eller atmosfære- trykket som mulig. Sylindetrykket etter ekspansjonen vil være styrende for hvordan gassvekslingen i motoren blir, og vil sammen med pådraget, turtallet, data om drivstofftypene både for hoved – og pilot– drivstoff samt signaler fra eksosrensing styre mengde luft og mengden av både hoved- og pilot- drivstoff til motorene. Dette vil igjen styre innsprøytnings- og tennings- tidspunkter samt åpning og lukking av eksosventil(er) (2) med eksosventilenes styring (4). Mengde luft som tilføres sylinderen vil også inkludere luft som trenges til eksosrensing. Mengde og drivstofftyper både for hoved– og pilot– drivstoff vil gi luft/brennstoff forholdet (L/B).

Luftmengde til gassveksling vil styres av kompressor(er) (5), alternativt også av innsugsventiler for 4-takts motorer, og høyden på innsugsportene (1) for 2-takts motorer. Motorene kan også styres for å oppnå et bestemt temperatur-område på eksosgassen. Grunnen kan være for å utnytte eksosen til andre formål som for eksempel pyrolyse av faste brennstoffer.

For direkteinnsprøytete motorer kan prinsippet med en pilotantenne fra et ekstra pilot-antenningsystem også benyttes. Både om de går på fossil diesel, biodiesel parafin/jet-fuel, bensin, metanol/etanol LPG eller lignende. Fordelen er at man kan redusere trykket i kompresjonslaget for å bedre virkningsgraden på motorene ved å ha et høyt ekspansjonsforhold, samt fremdeles sikre en god forbrenning av hoved drivstoffet i tillegg til at man kan forbrenne en større andel av hoved drivstoffet ved øvre dødpunkt (ØD). Dette vil både bedre virkningsgraden og effekten på motorene.

Istedenfor å benytte faste brennstoffer som kull, lignin eller lignende som drivstoff direkte i motorene kan pyrolyse av disse brennstoffer benyttes for å produsere gassformige drivstoffer som suges inn sammen med luft i innsug (1). Blant annet kan dette kombineres med kull som benyttes til produksjon av lysgass/kullgass sammen med produksjon av koks. Eksosen kan da brukes helt eller delvis som varmekilde for en slik pyrolyseprosess. For eksempel kan dette være en del av en prosess for produksjon av bio-kull.

Under 2. verdenskrig ble trevirke «knott» benyttet til produksjon av gass ved ufullstendig forbrenning i en gassgenerator (knottgenerator). Denne gassen ble benyttet som drivstoff i forbrenningsmotorer. Kull kan også benyttes i gassgeneratorer for å produsere en karbonmonoksid (CO) rik gass. Noe vann kan også tilsettes under denne forbrenningen for å sikre et visst hydrogeninnhold (H<sub>2</sub>) i gassen for å bedre forbrenningsegenskapene slik at gassen vil antenne og forbrenne bedre i forbrenningsmotorer.

Man vil med ammoniakk som hoved drivstoff operere motorene med en «fet» luft/ammoniakk blanding for å redusere NO<sub>x</sub> dannelse under forbrenningen, samt kompensere for så mye som mulig av effektreduksjonen denne prosessen gir sammenlignet med en tradisjonell Otto- eller Diesel- prosess. I tillegg vil en «fet» ammoniakkblanding kunne sammen med ekstra tilførsel av luft til eksosen bidra til NO<sub>x</sub> rensing med SCR.

Fordelen med denne prosessen er også at om motorene opereres med ren dieselolje kan man redusere luftoverskuddet under forbrenningen i forhold til tradisjonelle dieselmotorer av de samme grunner som for ammoniakk. Motorene vil for disse tilfeller operere med et øket trykk i innsuget (1) for å tilføre mer luft, slik at noe av luften blåses ut i eksossystemet (3) for å bidra til rensing av eksosen. Ved bruk av diesel kan det kreves tilførsel av luft til eksosen, både til rensing av eksosen i et partikkelfilter og eventuelt sammen med tilførsel av ammoniakk eller urea til SCR.

Om det er ønskelig kan effekten økes på bekostning av virkningsgraden ved at det suges eller trykkes mer luft eller luft/drivstoff blanding inn i sylindere og at eksosventilen(e) (2) stenger tidligere – det vil si lengre nede i kompresjonslaget. Dermed vil motoren ha mer luft og kan forbrenne mer drivstoff. For å forhindre et for høyt forbrenningsstrykk ved slike driftsforhold vil forbrenningen skje senere i prosessen så mer av forbrenningen skjer i ekspansjonslaget.

Dette kan også benyttes for andre drivstoffer. Ved bruk av LNG/CNG/LPG som hoved drivstoff vil man enten kunne benytte innsprøytningdyse (11) for tilførsel av hoved drivstoff, eller blande hoved drivstoffet med luft i innsuget (1).

Hvis man blander hoved drivstoffet i innsuget (1) vil mengden luft/drivstoff til sylindere måtte reguleres slik at uforbrent drivstoff ikke blåses ut i eksosen (3). Dette kan gjøres med et spjeld eller annen type luftregulator montert på innsuget (1) eller regulere mengde luft/drivstoff ved å regulere kompressoren (5), alternativt en kombinasjon av begge deler. For 4-takts motorer kan innsugsventilen(e) også være styrte med samme type styringer som eksosventilenes styring (4).

En mulighet for å optimalisere gassvekslingen er at om sylindere har flere ventiler kan disse reguleres individuelt. Spesielt for 4-takts motorer kan eksosventilene (2) og innsugsventilene åpnes og lukkes individuelt. Dette kan være påkrevet for å sikre innblanding av luft som skal blåses ut i eksosen. Under innsugsslaget vil først innsugsventilene åpne for luft, så stenger en av disse, mens en annen holdes delvis åpen, slik at videre i innsugsslaget åpner eksosventilene (2) for å redusere pumpearbeidet. Da vil den eksosmengden som blir sugd tilbake inn i motoren bli blandet med en liten mengde luft. Kompresjonslaget vil forløpe med lukkede innsugsventiler, mens eksosventilene (2) vil holde oppe ett stykke oppover i kompresjonslaget slik at eksosen og da litt luft blåses ut igjen før eksosventilene (2) stenger og kompresjonen av restmengden av luft begynner.

For 4-takts motorer er ikke en kompressor (5) påkrevet, da disse kan fungere som tradisjonelle sugemotorer.

Hvis hoved drivstoffet blandes med luft i innsuget, kan et eget innsug med egen innsugsventil til forbrenningsrommet (10) som beskrevet i norsk patent 343554 benyttes for å oppnå en god antenning av et pilotdrivstoff.

Dersom et hoved drivstoff som for eksempel propan (LPG) blandes med luft i innsuget (1) er det ikke nødvendig med et eget forkammer (6) med egen innsprøytningdyse eller antenninganordning (7). Da kan antenninganordningen være en tennplugg plassert i forbrenningsrommet (10) istedenfor innsprøytningdyse (11). Plassering av en slik tennplugg må eventuelt være slik at den gir antenning av luft/drivstoff blandingen. Typisk kan den plasseres slik at luft/drivstoff blandingen antennes fra midten av forbrenningsrommet (10). Dette vil gi den hurtigste forbrenningen av drivstoffet. Det vil også sikre at gnist fra en

slik tennplugg eventuelt ikke hindres fra å antenne luft/drivstoff blandingen ved at en rest av eksos i sylinder og forbrenningsrom (10) komprimeres opp i topp av forbrenningsrommet (10). Plassering av en eventuell slik tennplugg bør derfor være slik at eventuelle rester av eksos ikke hindrer antennelse av drivstoffet.

Det kan være ønskelig med en rest av eksos i sylindere under drift fordi dette vil virke som EGR. Dette kan reguleres ved å regulere mengde luft eller luft/drivstoff blanding som suges eller trykkes inn i sylindere, og ved styring av eksosventilen(e) (2).

**Prinsippet for prosessen i en 2-takts motor med ammoniakk som hoved drivstoff som antennes med en pilotantenne av diesel basert på utførelseseksempel i Figur 1 og Figur 3, samt forløpet av prosessen som skissert i Figur 2:**

Proessen som er beskrevet er basert på prinsippene fra en teoretisk Otto-prosess med trykkstigning ved øvre dødpunkt (0 grader). Figur 2 illustrerer punktene mellom hver takt i prosessen for en motor som har rotasjon med urviseren:

- 1) Stempelet (12) er i øvre dødpunkt (0 grader) og alt drivstoff har forbrent og trykkstigningen fra forbrenningen er ferdig – som for en Otto prosess. Eksosventilen (2) er stengt. Diesel har vært sprøytet inn i forkammeret (6) via innsprøytningsdyse (7). Dieselenes forbrenning antente luft/ammoniakk blandingen i forbrenningsrommet (10) hvor ammoniakk hadde blitt tilført via innsprøytningsdyse (11). Mengden ammoniakk som ble tilført var litt mer enn mengden til en støkiometrisk forbrenning, både for å redusere NOx dannelse og for å bidra i en NOx rensing av eksosen (3) med SCR.

Mellom pkt. 1 og pkt. 2 er EKSPANSJONS-takten.

- 2) Ekspansjon har skjedd slik at trykket i sylindere nå er likt trykket i eksos-systemet (3). Dette trykket er tilnærmet likt omgivelsestrykket rundt motoren. (Andre forholdstall for ekspansjonen og trykk i sylindere ved ekspansjonenes slutt er avhengig av hvilket eksosstrykk man ønsker eller om pådraget gjør at man ikke klarer å opprettholde optimal virkningsgrad for prosessen.) Toppen av stempelet (12) har nå kommet ned til innsugsportene (1) i sylindere, og eksoventilen (2) vil fortsatt være stengt. Trykket i innsuget (1) er litt høyere enn i sylindere for å sikre gassvekslingen.

Mellom pkt. 2 og pkt. 3 er første del av GASSVEKSLINGS-takten.

- 3) Stempelet (12) er i nedre dødpunkt (180 grader). Stempelbevegelsen gjør at den del av sylindervolumet som tilsvarende høyden på innsugsportene (1) nå fylles med luft. Eksoventilen (2) åpner ved hjelp av en hydraulisk

ventilstyring (4). Denne hydrauliske ventil-styringen (4) er digitalt styrt med en elektrisk aktuator som regulerer hydraulikktrykket for å kunne ha kontroll på eksosventilen (2) sin åpning og lukking. En ekstra fordel med et lavt sylindetrykk er at kreftene, og da trykket som er nødvendig for å styre eksosventilen (2) blir lavere enn for tradisjonelle motorer. Dette betyr lavere mekaniske tap for motoren. Eksosventilen (2) både åpnes og lukkes hydraulisk.

Gassveksling reguleres både av stempelvandringen og av mengde luft kompressoren (5) trykker inn i sylindrens innsug (1). Et overtrykk i innsuget (1) i forhold til trykket både i sylindren etter ekspansjonen samt i eksossystemet (3) reguleres med kompressoren (5). Dette for at mengde luft som blir tilført sylindren ikke er mer enn det som er nødvendig for å forbrenne drivstoffene i tillegg til ekstra mengde luft for å gi et luftoverskudd til eksosen for etterbehandling og rensing (SCR, ref. pkt. 1) av eksoseb i eksosystemet (3). Dette for å redusere pumpearbeidet til gassvekslingen til ett minimum.

Mellom pkt. 3 og pkt. 4 er andre del av GASSVEKSLINGS-takten.

- 4) Stempelet (12) er nå i kompresjonsslaget, og toppen av stempelet (12) har nå kommet opp til toppen av innsugsportene (1) i sylindren. Eksosventilen (2) vil fremdeles være åpen, og restmengden av eksos sammen med luft til rensing av eksosen vil fortsatt blåses ut i eksosystemet (3).

Mellom pkt. 4 og pkt. 5 er tredje og siste del av gassvekslingen som er EKSOSUTBLÅSING sammen med luft til eksosrensing.

- 5) Stempelet (12) har nå kommet opp til det punkt i sylindren hvor sylindren inneholder riktig mengde luft for å forbrenne drivstoffene. Eksosventilen (2) vil nå stenge slik at kompresjon av luften kan begynne. Avhengig av hvilket hoved drivstoff som benyttes vil dette sprøytes inn i forbrenningsrommet (10) i løpet av kompresjonen. Med ammoniakk som drivstoff vil dette tilføres i slutten av kompresjonstakten for at mesteparten av luften skal være komprimert inn i forbrenningsrommet (10) og forkammeret (6) først. Dette for å sikre så lite ammoniakk som mulig i forkammeret (6) for å hindre dannelse av cyanidforbindelser  $[C-N]^-$ . En fordel ved denne prosessen er at ved bruk av ammoniakk som drivstoff kan kompresjonstemperaturen holdes nede ved å begrense kompresjon av luften slik at dekomponering av ammoniakken reduseres for å hindre feiltelling. For å bedre blandingen av luft og ammoniakk er en annen mulighet at hoved drivstoffets dyse (11) er plassert midt i topplokket (13), eller i andre enden av topplokket (13) i forhold til forbrenningsrommets (10) utløp. Da vil innsprøytning av ammoniakk med hoved drivstoff dyse (11) begynne når eksosventilen (2) akkurat har lukket. I dette tilfelle må forholdet mellom forbrenningsrom (10) og forkammer (6) være det samme som, eller tilnærmet likt, kompresjonsforholdet motoren normalt vil

operere ved. Dette gjøres for å sikre så ren luft som mulig i forkammeret (6) når diesel sprøytes inn i forkammeret (6) for å antenne og forbrenne som pilotdrivstoff.

Mellom pkt. 5 og pkt. 1 er KOMPRESJONS-takten.

- 1) Prosessen er nå tilbake til pkt. 1. Stempelet (12) er tilbake i øvre dødpunkt (0 grader) og en pilotinnsprøyting (7) av diesel i forkammeret (6) har allerede skjedd slik at hoved drivstoff blandingen i forbrenningsrommet (10) nå forbrennes og TRYKKSTIGNINGEN skjer.

### **Prinsippet for en 2-takts motor med LNG som drivstoff basert på utførelseseksempel i Figur 1 og Figur 3:**

For en slik motor trengs ikke forkammer (6) med innsprøytningsdyse/ antennesenanordning (7). LNG vil blandes støkiometrisk med luft i innsuget (1) i en gassblander, så innsprøytningsdyse for hoved drivstoff (11) er byttet ut med en tennplugg som er plassert midt i forbrenningsrommet (10) for å sikre god antenne. På grunn av metangassens forbrenningshastighet vil det benyttes et kuleformet forbrenningsrom (10). Kompressor (5) regulerer mengde luft til gassblanderens som gir mengde luft/drivstoff til sylindren. Det vil etter gassvekslingen være igjen en rest med eksos som EGR. Dette blant annet fordi brennverdien til LNG er mye høyere enn for ammoniakk. Ellers vil forløpet for kompresjon og ekspansjon være som beskrevet ovenfor. LNG (samme med eventuelt LPG og ammoniakk) må varmes i en fordamper før gassblanderens. For et LNG system vil det også være en trykkregulator (PBU – pressure buildup unit) for å sikre et jevnt trykk på drivstoffet.

Forløpet av en arbeidstakt (en omdreining) vil være som beskrevet for andre drivstoffer, men verdiene for både posisjon (grader) og da volum ( $m^3$ ), sylindetrykk (bar) og temperatur ( $^{\circ}C$ ) ved slutten av hver takt vil naturlig nok være andre enn de som fremkommer i Tabell 1 (under) som er for ammoniakk drift.

### **Verdier for et teoretisk prosessforløp for en 2-takts motor med ammoniakk som drivstoff basert på utførelseseksempel i Figur 1 og forløpet av prosessen som skissert i Figur 2:**

Tabell 1 er en forenklet tabell over verdier for utførelseseksempel av en 2-takts motor som illustrert i Figur 2. I dette regneeksempel er det regnet med at motoren kun får tilført energi til trykkstigningen tilsvarende energimengden fra forbrenning av en ren støkiometrisk blanding av luft og ammoniakk. Det vil si uten diesel som et pilotdrivstoff. Alle gassprosesser er forutsatt utført som om de går med ren luft. Det vil si at både temperatur- og trykk- stigning i pkt.1 og

ekspansjonstakten fra pkt.1 til pkt.2 er beregnet med fysiske data for ren luft. Ekspansjonsprosessen er også kun regnet som ekspansjon av luft, og med samme luftmasse som for resten av prosessen, det vil si uten tillegg for masse av drivstoffer.

Prosessen i Tabell 1 er beregnet på følgende motor dimensjoner:  
 Boring: 1000mm, Slaglengde: 2000mm, Lengde råde: 2500mm.  
 Innsugsportenes høyde: 422,35mm, som gir en ekspansjonslengde i sylindere på 1577,65mm. Dette tilsvarer et ekspansjonsforhold på 40:1 med et kompresjonsvolum på 31,8L.

Utrekningene for prosessen i Tabell 1 er basert på ren luft. Dette gjelder for kompresjonen fra pkt. 5 til pkt.1, trykkøkningen i pkt. 1 og ekspansjonen fra pkt. 1 til pkt. 2. Masse luft i hver av disse taktene er 385,17g.

Pkt.	Prosess mellom punktene	Posisjon (grader)	Sylindertrykk (bar)	Temperatur (°C)	Forbrenningsrom volum (L)	Gassprosess
1	Forbrenning 1	0	176,7	4804,0	31,8	Isokor / (Isometrisk)
2	Ekspansjon 1–2	113,85	1,0	876,3	1270,9	Isentropisk / (Adiabatisk)
3	Nedre Dødpunkt	180	1,0	27,0	1602,6	
4	Gassveksling 2–4	246,15	1,0	27,0	1270,9	
5	Reduksjon av gassmengde i sylindere 4-5	315,82	1,0	27	331,7	
1	Kompresjon 5–1	0	26,9	498,6	31,8	Isentropisk / (Adiabatisk)

Tabell 1. Angir verdier for posisjon, trykk, temperatur, volum og type gassprosess mellom hver takt til motoren illustrert i Figur 2.

(Det vil være små variasjoner på verdiene i Tabell 1 sammenlignet med utregninger fra ett pkt. til det neste i tabellen. Det skyldes både at tallverdiene i Tabell 1 er avrundet til en desimal, og at verdiene som er angitt i Tabell 1 er basert på utregninger for en hel prosess fra pkt. 1 og tilbake til pkt.1.)

For en nærmere forklaring til verdiene i Tabell 1 er det naturlig å begynne med pkt.5, som er når kompresjonen begynner.

Pkt. 5 i Tabell 1 er der eksosventilen (2) er blitt lukket, og kompresjonen begynner. Volumet er i dette utførelseseksempelet 331,7L med ett trykk på 1bar og temperatur på 27°C. Dette tilsvarer en masse luft på 385,17g. En isentropisk

kompresjon til et volum på 31,8L begynner, og vil resultere i et trykk etter kompresjon ( $\emptyset D$ ) på 26,9bar og 498,6°C.

I pkt. 1 ( $\emptyset D$ ) skjer en trykkstigning basert på energimengden fra en støkiometrisk forbrenning av ammoniakk. Det er en masse luft på 385,17g, som har volum på 31,8L, trykk på 26,9bar og en temperatur på 498,6°C som nå blir tilført en energimengde på 1182,2kJ. Dette tilsvarer energien i 63,56g ammoniakk. Dette gir en temperaturstigning for 385,17g luft på 4305,4K til 4804,0°C. (Det regnes kun med tilført energimengde fra ammoniakk, ikke med noen tilført masse ammoniakk.) Dette ville tilsvart et luft/brennstoff forhold mellom luft og ammoniakk på 385,17g / 63,56g som er et L/B forhold på 6,06, eller  $\lambda=1$  for luft/ammoniakk. Trykkstigningen etter forbrenning vil skje etter en isokor prosess og trykket vil øke til 176,7bar. En isentropisk ekspansjon vil begynne.

I pkt. 2 har det vært en isentropisk ekspansjon av en masse luft på 385,17g fra pkt.1 til et volum på 1270,9L. Dette gir et trykk etter ekspansjon på 1bar, og en temperatur på 876,3°C.

Fra pkt. 2 til pkt 4 er gassveksling. For dette utførelseseksempel skjer dette ved et trykk på 1bar og luften som trykkes inn holder 27°C.

Fra pkt.4 til pkt. 5 vil eksos blåses ut. For dette utførelseseksempel er mengde luft som er trykket inn mellom pkt. 2 til pkt. 4 den mengde luft som behøves til forbrenningen, så det blåses ikke ut luft i prosessen mellom pkt. 4 og pkt. 5. Luften vil fremdeles ha et trykk på 1bar og en temperatur på 27°C.



**Patentkrav:**

## Krav 1)

Gassveksling i forbrenningsmotorer for økt virkningsgrad, karakteriseres ved å kunne regulere mengde luft eller luft/drivstoff blanding i sylindere med en eller flere eksosventil(er) (2) som har regulerbare åpningstider for å kunne styre gassvekslingen i sylindere slik at eksos, og alternativt også luft, kan blåses ut i eksossystemet (3) et stykke oppover i kompresjonsslaget.

## Krav 2)

Gassveksling i forbrenningsmotorer for økt virkningsgrad ifølge krav 1. karakteriseres ved å redusere mengde luft og dermed mengde drivstoff til hver arbeidstakt, som sammen med et redusert kompresjonstrykk gjør at denne type motorer kan operere med et høyere ekspansjonsforhold enn tradisjonelle motorer og derved oppnå bedre virkningsgrad.

## Krav 3)

Gassveksling i forbrenningsmotorer for økt virkningsgrad ifølge krav 1. karakteriseres ved at 2-takts motorer vil bruke kompressorer (5) som sammen med eksosventilen(e) (2) regulerer luft- eller luft/drivstoff tilførselen til sylindere for å optimalisere driften for best virkningsgrad, alternativt maksimal effekt, eller alle kombinasjoner av dette.

## Krav 4)

Gassveksling i forbrenningsmotorer for økt virkningsgrad ifølge krav 1. karakteriseres ved at under innsugsslaget for 4-takts motorer vil både innsugs- og eksos- ventiler åpne og lukke suksessivt; først vil eksosventilen(e) (2) være lukket og innsugsventilen(e) være åpne slik at luft eller luft/drivstoff blanding suges eller trykkes inn i sylindere; når riktig mengde luft eller luft/drivstoff blanding er suget eller trykkes inn i sylindere lukker innsugsventilen(e) samtidig som eksosventilen(e) (2) åpner igjen slik at eksos suges inn igjen i sylindere for å redusere motorens pumpearbeid.

## Krav 5)

Gassveksling i forbrenningsmotorer for økt virkningsgrad ifølge krav 1. karakteriseres ved at både mengde luft som benyttes til forbrenning av hoved- og pilot- drivstoffer, samt mengde av drivstoffene, begrenses slik at trykkstigningen fra forbrenningen utnyttes slik at trykket i sylindere etter ekspansjonen vil være likt eller tilnærmet likt trykket i eksossystemet (3), eller trykket på utsiden av motoren.

## Krav 6)

Gassveksling i forbrenningsmotorer for økt virkningsgrad ifølge krav 1.  
k a r a k t e r i s e r e s v e d at for både å redusere pumpearbeid til gassvekslingen samt optimalisere gassvekslingen kan høyden på innsugsportene (1) i sylinderen i en 2-takts motor tilsvare høyden på slaglengden under kompresjon av luften i sylinderen ved optimal drift – det vil si den slaglengde under kompresjonslaget hvor eksosventilen(e) (2) er lukket;  
alternativt kan høyden på innsugsportene (1) i sylinderen i en 2-takts motor tilsvare høyden på slaglengden under kompresjonslaget hvor eksosventilen(e) (2) er lukket ved optimal drift, i tillegg til en ekstra høyde for å sikre eventuell luftmengde til kompresjonsvolumet og mengde luft som skal blåses ut i eksossystemet (3) for å bidra til eksosrensing.

## Krav 7)

Gassveksling i forbrenningsmotorer for økt virkningsgrad ifølge krav 1.  
k a r a k t e r i s e r e s v e d at for å regulere prosessen kan det være montert en temperatursensor i eksosystemet (3) som måler eksostemperaturen ut av sylinderen rett etter eksosventilen(e) (2);  
denne temperaturen er et mål på sylindetrykket etter ekspansjonen.

## Krav 8)

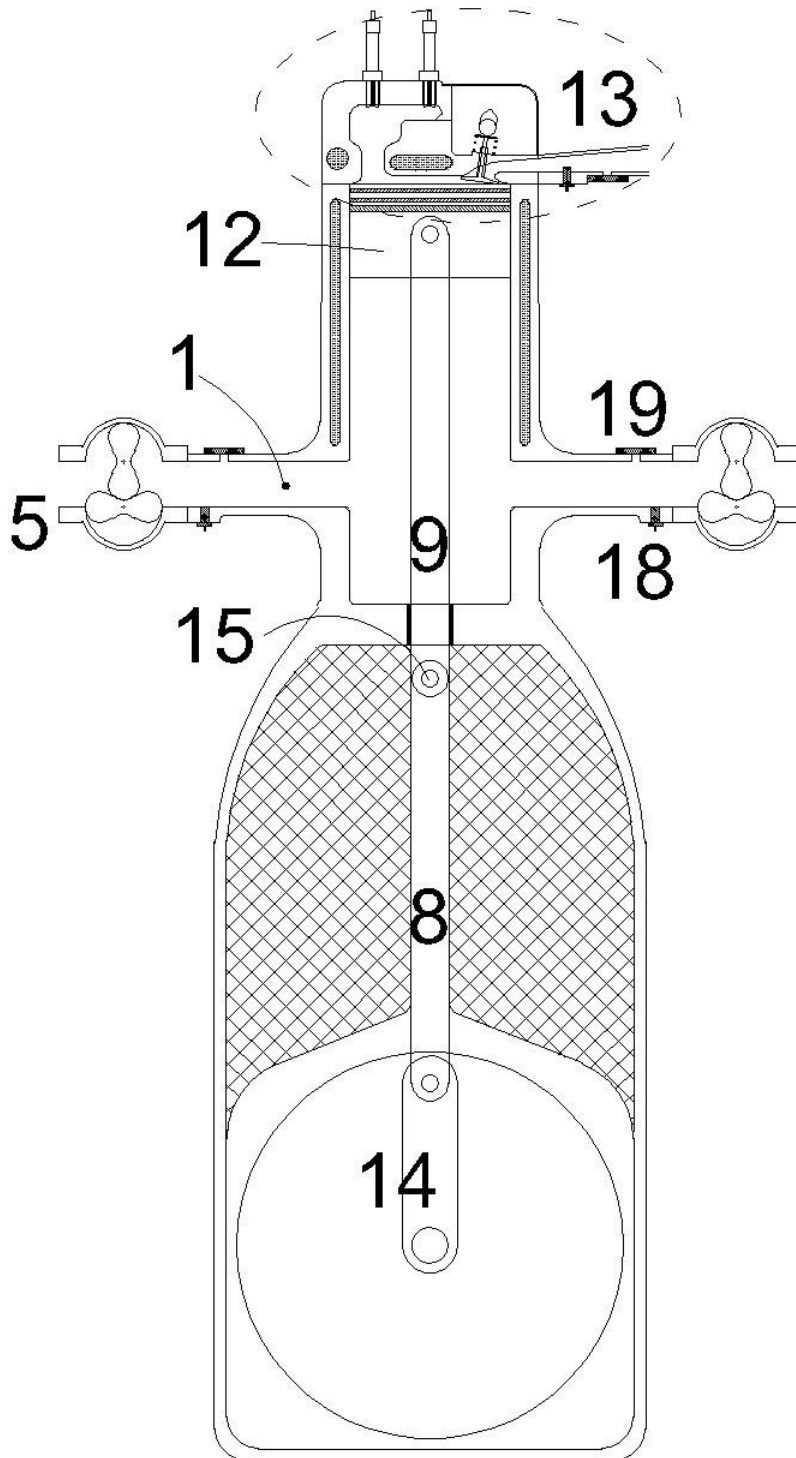
Gassveksling i forbrenningsmotorer for økt virkningsgrad ifølge krav 1.  
k a r a k t e r i s e r e s v e d at restvarmen i eksosen kan utnyttes til å drive andre kraftproduserende enheter som for eksempel stirlingmotorer, dampturbinanlegg eller turbin-anlegg som benytter andre arbeidsmedium;  
om ammoniakk eller LPG benyttes som hoved drivstoff kan dette også benyttes som arbeidsmedium i en turbinkrets til en kraftproduserende enhet hvor da hoved drivstoffet til forbrenningsmotoren kan trekkes i gassform fra turbinkretsen etter turbinen og før kondensatoren, mot at samme masse drivstoff tilføres flytende til turbinkretsen etter kondensatoren eller trykkpumpen, men før fordampere i turbinkretsen.

## Krav 9)

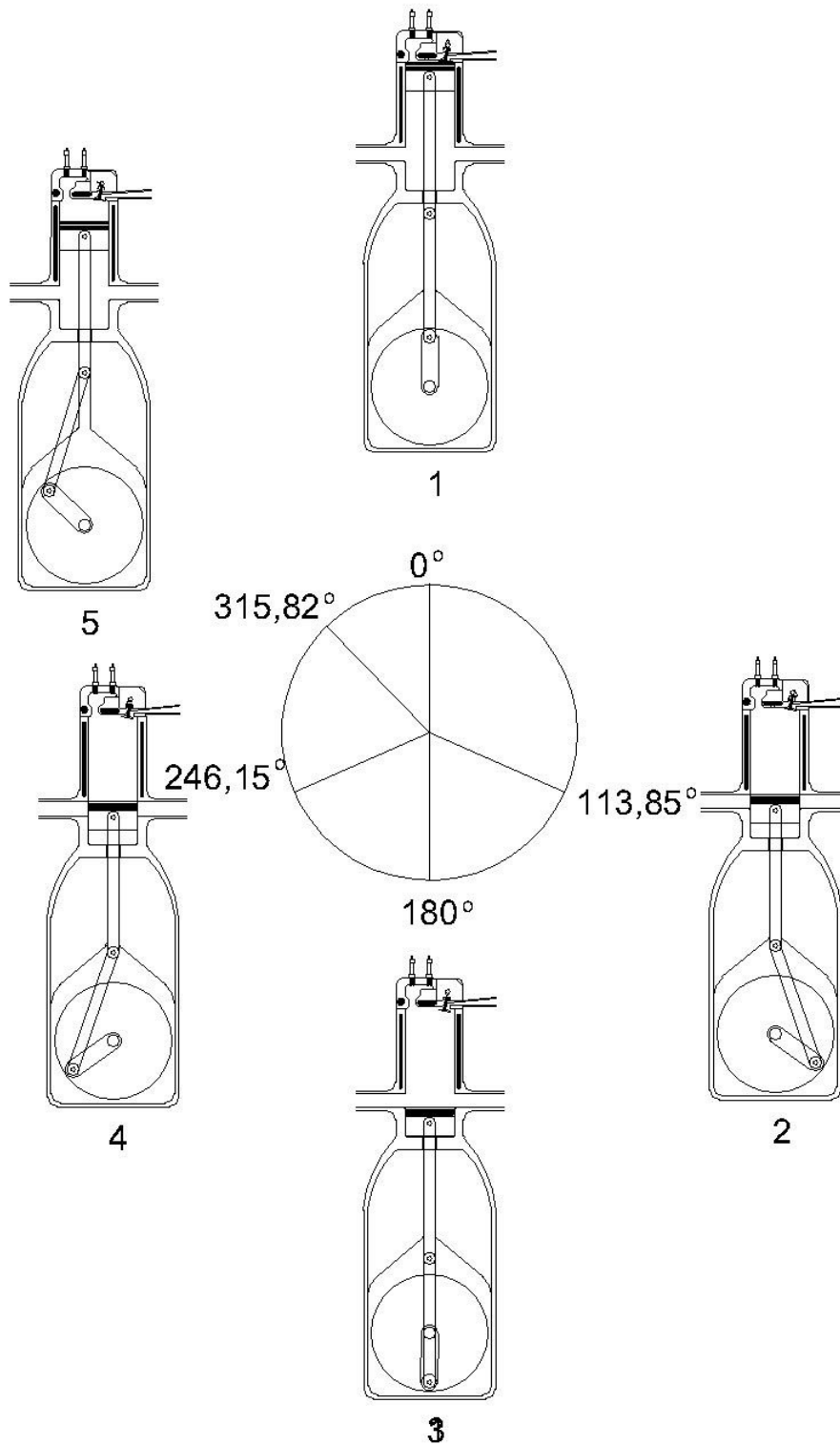
Gassveksling i forbrenningsmotorer for økt virkningsgrad ifølge krav 1.  
k a r a k t e r i s e r e s v e d at for å optimalisere gassvekslingen kan eksosventiler (2) og eventuelle innsugsventiler styres elektromekanisk, hydraulisk, pneumatisk eller en kombinasjon av disse;  
hver enkelt ventil kan være individuelt styrt.

## Krav 10)

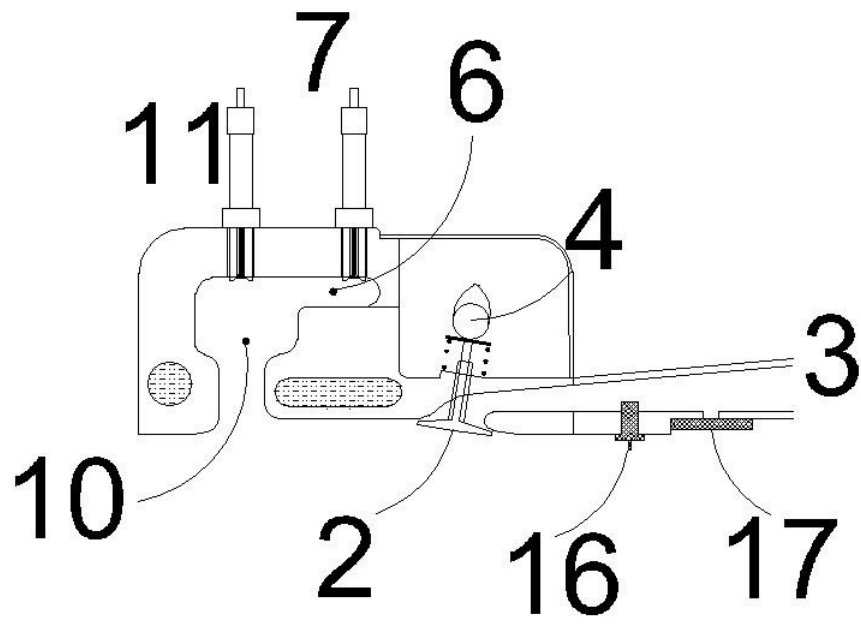
Gassveksling i forbrenningsmotorer for økt virkningsgrad ifølge krav 1.  
k a r a k t e r i s e r e s v e d at for å nyttiggjøre seg faste brennstoffer kan disse ved hjelp av pyrolyse omgjøres til gassformige drivstoffer til forbrenningsmotorer samt eventuelt koks fra kull, eller bio-kull fra tre og plantemateriale;  
motorens eksos vil kunne benyttes helt eller delvis til en oppvarming av pyrolyseprosessen.



Figur 1



Figur 2



Figur 3