

KURESAARE GÜMNAASIUM

JANAR TÄNAK

10. A KLASS

KARDI JA AUTO SISEPÕLEMISMOOTOR JA SELLE FORSSEERIMINE

JUHENDAJAD: SIRJE KEREME, MARGUS LIHULINN, MARTIN LIHULINN

SISSEJUHATUS

Meid igapäevaselt ümbritsevate seadmete tähtsaimaks liikumapanevaks jõuks on mootorid, mis võivad olla ülimalt väikesed, aga ka väga suured. Mootori peamine ülesanne on toota energiat, mis paneks liikuma kõiksugu mootorsõidukeid, või toota elektrit ja sellest omakorda soojust. Samas saab soojust koguda ka mootorist endast, sest töötamise käigus ta soojeneb ja seda peab jahutama.

Tänapäeval arenevad mootorid kiiresti ja kuna autor ise tegeleb päevast päeva mootoritega, siis taheti seda põhjalikumalt uurida. Siiani on autor tegelenud vaid kardi- ja autosõiduga ning nende mootorite parandamisega, nüüd aga otsustas ühe mootori forsseerida, et selgitada, kas ja kuidas see muudab mootori töö efektiivsemaks ja võimsamaks. Kuna hetkel on autor tegelenud kardi ja autoga, siis otsustas ta uurimise alla võtta just need ning kuna üks on neljatahtiline ja teine kahetahiline, siis olid vaatluse all ka nende erinevused.

Töö eesmärgiks on:

- saada teada mootorite täpne tööpõhimõte;
- saada teada, kuidas forsseerida;
- saada teada erinevatest forsseerimistehnikatest;
- saavutada töökindlamad ja võimsamad mootorid.

Töös on uuritud järgmisi küsimusi:

- kui palju võiks maksma minna forsseerimine;

- kuidas mootorit forsseerida.

Püstitatud on järgmised hüpoteesid.

1. Forsseerimine võib olla kallis, kui peab laskma kuskil teha asju, mida ise ei oska ja pole vahendeid, et teha, aga samas saab väiksemaid mootoreid ka odavalt forsseerida, kui teha ainult selliseid asju, mis hõlmavad lihvimist, ja töid, mida saab ise teha, kui on vajalikud masinad olemas.
2. Mootorit saab forsseerida väga lihtsal viisil.
3. Forsseeritud mootor on võimsam.

Eesmärkide täitmiseks ja hüpoteeside tõestamiseks oli vaja lahendada järgmised ülesanded:

- läbi töötada teemakohane kirjandus;
- tuletada meelde mootori ehitus;
- antud teadmisi katsetada praktiliselt;
- analüüsida tulemusi ja teha järeldused.

Töö on jaotatud kolme ossa. Esimeses osas räägitakse erinevatest mootoritest ja on üksikasjaliselt seletatud lahti mootori töösüklid ehk kuidas mootor töötab iga liikumise hetkel ning mis siis mootoris toimub. Teises osas kirjutab autor mootorite forsseerimisest: millised on forsseerimistehnikad ja kuidas oleks kõige sobilikum forsseerida ning mis moel saab kõige odavamalt mootorit forsseerida. Kolmandas osas on vaatluse all autori enda tehtud praktiline töö ning on selgitatud, mida tehti või juurde osteti, lisatud on ka forsseerimistulemuste võrdlustabel.

MOOTOR

Tänapäeva sõiduvahenditel ja ka teistel kütust vajavatel masinatel kasutatakse sisepõlemismootoreid. Põhimõte on selles, et soojusenergia muutub mehaaniliseks energiaks kütuse põlemisel mootoris. Selle kõige töötavaks kehaks on gaas, mis tekitab survet, et mootor liikuma hakkaks.

1.1. MOOTORI TÖÖPÕHIMÕTTED

Mehaanilise energia tekkimiseks toimub mootoris kaks erinevat protsessi, mille tulemusena hakkab mootor tööle.

1. Kõigepealt tekib kütuse põlemise käigus soojus.

2. Tekkinud soojusenergia muutub mehaaniliseks energiaks, suure soojuse tulemusena soojus paisub ja paneb kolvid liikuma.

Sisepõlemismootorites juhitakse kütus mööda kindlaid kanaleid ja vajamineva õhuga silindrisse, kus teatud hetkel see süüdatakse. Kütuse põlemise tagajärjel tekib kõrge temperatuur, mis tekitab väga suure rõhu, kuna on pressitud plokikaane ja kolvi vahele. Suure rõhu tagajärjel hakkab silindris olev kolb liikuma. Kolb on ühendatud omakorda kepsuga, mille ta liikuma paneb ja keps omakorda vāntvõlliga, mis hakkab tiirlema. Silinder ja vāntvõll toetuvad omakorda karterile. Kolvi ülemisse asendisse tagasiviimiseks asetatakse vāntvõllile hooratas, mis ühtlustab tööd. Töotakti vāltel, s.o gaaside rõhu mõjul kolvi liikumisel hakkab vāntvõll koos hoorattaga pöörlema. Vāntvõlli pöörlemise käigus tuleb kolb alla ja sellel hetkel imetakse uus küttesegu silindrisse. Kolvi ülesminemisel suletakse küttesegule väljapāās ning kütus surutakse kokku, mis omakorda aitab āra kasutada gaaside paisumist. Selle tagajärjel toimub uuesti kütuse süütamine ning põlemine ja kogu protsessi tagajärjel tekib mehaaniline töö. Hooratas saab endale hoo ja hakkab oma inertsijõuga pöörlema ning kolb hakkabki üles ja alla liikuma, mille käigus ta tekitab uusi plahvatusi, aga samas viib välja ka vanad gaasijāāgid. Siis hakkab kogu protsess korduma ja mootor töötabki – enam pole vaja anda ise hoogu, mida algul tuleb teha, et süüdata gaas ja panna mootor tööle. (Martin Lihulinn 2011)

- Silinder on ruum, kus toimub küttesegu põlemine ja soojusenergia muutumine mehhaaniliseks.
- Kolb on silindris tihedalt paiknev ja sirgjooneliselt üles-alla liikuv silindrikujuline keha.
- Keps kujutab endast kangi, mis seob kolvi edasi-tagasi liikumise vāntvõlliga, mille tagajärjel ka see tiirlema hakkab.
- Vāntvõll on poolitatud võll, mis on liidetud tervikuks neid ühendava vānda kaudu. Vāntvõll koos hoorattaga tekitab mootori töötades pöörleva liikumise, mis omakorda on läbi ülekande viidud veorattale ning see paneb masina liikuma. (Wikipedia 2011)

1.2.1. KAHETAKTILINE MOOTOR

Kahetaktiline mootor on oma ehituselt lihtsam kui neljataktiline. Kahetaktiline mootor tähendab seda, et töötsükkel koosneb kahest taktist (kahe kolvikāigu) ehk vāntvõlli ühe täispöörde jooksul. Kahetaktilise mootori peamisteks osadeks on silinder, kolb, keps, vāntvõll ühes hoorattaga ja karter. Silindri kütusega täitmiseks ja põlemisjāākide eemaldamiseks on

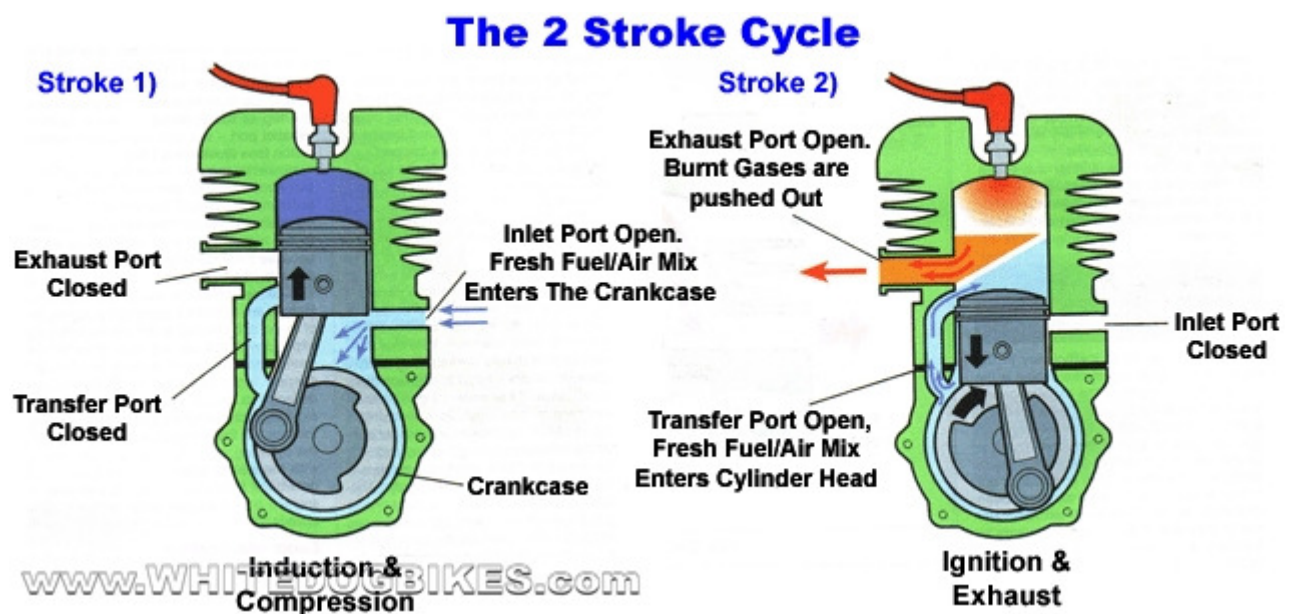
silindri allosas avad, mida nimetatakse akendeks ja neid sulgeb ning avab kolb oma üles-alla liikumisel. Kui neljataktilisel sulguvad ja avanevad klapid, siis kahetaktisel teeb kogu selle töö kolb. Kahetaktises mootoris toimub silindri täitmine värske kütteseguga täitepumba abil ja põlemisjääkide eemaldamine silindrist töötakti lõpul valitseva ülerõhu ja täitepumba poolt silindrisse surutava värske küttesegu rõhu mõjul. Põlemisjääkide eemaldamine silindrist ja selle täitmine värske kütteseguga toimub peaaegu üheaegselt töötakti lõpul ja survetakti algul. Tänu sellele saab mootori töösükli teostada väntvõlli ühe täispöörde vältel. Värske küttesegu täitepumbana kasutatakse tavaliselt mootori karterit. Kui karter valmistada õhutihedana, siis tekivad selles vastavalt kolvi üles-alla liikumisele kord hõrendus, kord surve. (Martin Lihulinn 2011)

1.2.1.1. KAHETAKTILISE MOOTORI TÖÖTSÜKLID

Järgnevalt vaatleme üksikasjalikumalt töösükli teostumist kahetaktises mootoris. Kolvi liikumisel alumisest surnud seisust ülemisse surnud seisu tekib õhutihedalt ehitatud karteris hõrendus umbes 0,8–0,9 atmosfääri. Ülesliikumisel avab kolb silindriseinas asuva sisselaskekanali ja karburaatorist voolab sisselaskekanali kaudu karterisse värske küttesegu.

Oletades, et ülalpool kolbi asub varem sinna juhitud värske küttesegu, siis teostub samal ajal selle kokkusurumine ehk survetakt. Kolvi jõudmisel ülemisse surnud seisu (või veidi varem) süüdatakse surveruumi kokkusurutud värske küttesegu süüteküünla elektroodide vahel tekkiva elektrisädeme poolt. Põlemisel tekkiva soojuse mõjul gaasid paisuvad ja suruvad kolvi ülalt alla ehk teostub töötakt. Kolvi allaliikumise alguses on sisselaskeaknal veel avatud ja sellel perioodil toimub värske küttesegu sissevool karterisse küttesegu sissevoolamisel saavutatud inertsjõu mõjul, kuna küttesegu sissevoolu kiirus ulatub 100 m/sek. Järgnevalt suletakse kolvi poolt sissevooluava. Silindris valitseva 3–4 atmosfääri ülerõhu mõjul voolavad põlemisjäägid silindrist suure kiirusega välja – algab väljalaskeprotsess. Seejärel avaneb kolvi veel allapoole liikudes silindrit ja karterit ühendava ülevoolukanali ava. Rõhk sel ajal silindris on langenud 1,2–3,5 atmosfääri. Ülevoolukanali kaudu voolab karterist seal 1,5 at alla kokkusurutud küttesegu kiirusega 80–100 m/sek silindrisse. Et vältida värske küttesegu otsest väljavoolu silindri vastasküljes oleva väljavooluava kaudu, on kolvipõhi varustatud erilise väljaulatuva nukiga – deflektoriga. Viimase kuju on niisugune, et ta suunab värske küttesegu üles, kus see vastu silindri kaant pörkudes suundub uuesti alla ja tõukab enda ees silindrist välja ka põlemisjäägid. Seega toimub nn silindri läbipuhumine, kus värske küttesegu sissevool

soodustab silindri puhastamist põlemisjääkidest. Muidugi lahkuks seejuures silindrist ühes põlemisjääkidega ka osa värsket küttesegu, mis vähendab mootori ökonoomsust. Väntvõllile kinnitatud hooratta mõjul, mis töötab endasse kogutud kineetilise energia arvelt jätkab pöörlemist, töötab väntvõll edasi ja tõukab kepsu kaudu kolvi uuesti alumisest surnud seisust ülemise surnud seisuga. Ülesliikumisel suleb kolb esiteks ülevoolukanali ja seejärel ka väljavoolukanali ava ning silindris algab karterist sinna surutud värske küttesegu kokkusurumine. Kolb avab veel kõrgemale tõustes sissevoolukanali, karburaatorist voolab uus annus värsket küttesegu karterisse ja kordub jälle kirjeldatud protsess. Seega näeme, et mootori kogu töösüklil teostub kahe takti ehk väntvõlli ühe täispöörde vältel (vt Joonis 1), millest ka mootori nimetus – kahetaktiline mootor. (Palu 1953: 23–25)



Joonis 1. Kahetaktilise mootori töösüklil (whitedoglubes 2011)

1.2.2. NELJATAKTIINE MOOTOR

Neljataktiliseks mootoriks nimetatakse niisugust mootorit, mille töösüklil toimub nelja takti (kolvikäigu) ehk väntvõlli kahe täispöörde vältel. Silindri täitmiseks värske kütteseguga ja põlemisjääkide eemaldamiseks silindrist on viimases klappidega suletavad sisse- ja väljalaskeavad. Klappi, mis suleb sisselaskeava, nimetatakse sisselaskeklapiks ja väljalaskeava sulgevat klappi väljalaskeklapiks. Klappide avamine toimub nukkvõllilt tõukvarraste ja nookurite kaudu. Nukkvõllil saab väntvõllilt liikumise hammasratasajami abil. Klappide sulgemine toimub klappivedrude abil. Kütuse ja õhu segu ehk lühidalt küttesegu valmistamine toimub karburaatoris, kust see toru kaudu silindrisse juhitakse. Silindrisse

juhitava küttesegu hulka reguleeritakse karburaatori segusiibri asendi muutumisega. Küttesegu süütamine silindris teostub silindri surveruumi seina keeratud süüteküünla elektrootide vahel tekitatava elektrisädeme abil. Selleks vajalikku kõrgpingelist voolu saadakse magneetost (või süütepoolist), kus see isoleeritud juhtme kaudu juhitakse süüteküünlasse. Küttesegu põlemisel silindris tekib kõrge temperatuur, mille tõttu silindri seinad kuumenevad. Liigse soojuse ärajuhtimiseks on silindri seinad jahutuspinna suurendamiseks varustatud jahutusribidega. Niisugust mootori jahutusviisi nimetatakse õhkjahutuseks. Vesijahutuseks nimetatakse niisugust jahutusviisi, kus silindri ümber asetsev vesi juhitakse veepumba abil radiaatorisse, kus see maha jahutatakse.

Mootori liikuvate detailide hõõrdumise vähendamiseks juhitakse nende vahele õli. Õli ringvool mootoris toimub õlikanalite kaudu õlipumba rõhul. Need seadmed tervikuna kannavad õlitussüsteemi nimetust. (Margus Lihulinn 2011)

1.2.2.2. NELJATAKTILISE MOOTORI TÖÖTSÜKLID

Järgnevalt tutvume üksikasjalikumalt neljataktilises mootoris toimuva töötsükli protsesside käiguga. Mootori töötsükli esimeseks protsessiks on silindri täitmine värske kütteseguga. Seda protsessi nimetatakse sisselasketaktiks. Selleks tuleb mootori väntvõlli pöörata nii, et kolb alustaks oma liikumist ülemisest surnud seisust. Väntvõlli pööramine käivitamisel toimub starterkäiviti abil. Sellega pannakse väntvõll vastava ülekandemehhanismi kaudu pöörlema. Sisselasketaktil ehk kolvi liikumisel ülemisest surnud seisust alumisse surnud seisu on sisselaskeklapp avatud ja väljalaskeklapp suletud. Väntvõll teeb selle takti vältel 180-kraadise pöörde ehk poolpöörde. Kolvi allaliikumisel suureneb ruum silindris ja väheneb seal asuva õhu tihedus, mille tõttu rõhk silindris muutub välisõhu rõhust 0,1–0,2 atmosfääri võrra madalamaks. Rõhkude vahe tõttu voolab värske küttesegu sisselaskeava kaudu karburaatorist silindrisse. Sisselasketaktil silindrisse voolava küttesegu temperatuur on külma mootori käivitamisel võrdne välisõhu temperatuuriga. Töösooja mootori puhul silindrisse voolav küttesegu soojeneb, puutudes kokku silindri seinte, kolvipõhja ja eelmisest tööprotsessist silindrisse jäänud põlemisjääkidega, umbes kuni 80–120°C. Seetõttu värske küttesegu, mis praktiliselt on gaas, paisub veidi. Peale selle kohtab värske küttesegu silindrisse sissevoolamisel oma teel mitmesuguseid hüdraulilisi takistusi. Nendel põhjustel voolab sisselasketaktil silindrisse kaaluliselt vähem küttesegu, kui seda võiks mahtuda silindrisse antud mahu ja välistemperatuuri ning rõhu juures. Suhet tegelikult silindrisse voolava

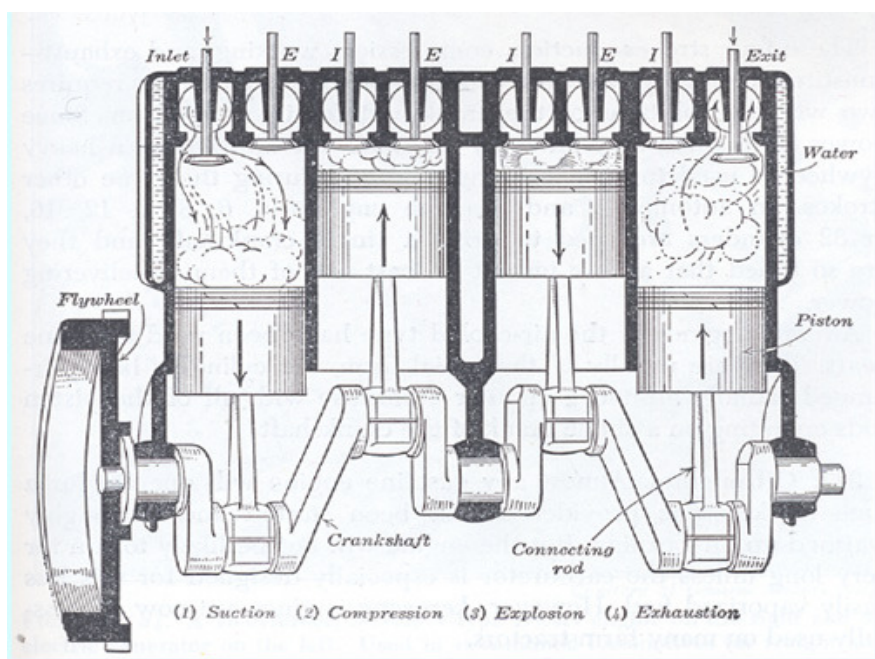
küttesegu ja teoreetiliselt antud tingimuses sinna mahtuda võiva küttesegu vahel nimetatakse *täiteteguriks*. Täiteteguri suurus neljataktilisel mootoritel kõigub 0,75–0,85 piirides. Loomulikult, mida suurem on täitetegur, seda parem, sest seda rohkem soojust eraldub põlemisel ja seda suuremat võimsust arendab mootor.

Väntvõlli edasi pöördudes alustab kolb liikumist alumisest surnud seisust ülemise surnud seisu suunas. Sel hetkel suletakse sisselaskeklapp ja algab silindris asuva küttesegu kokkusurumine, mille tõttu antud takti nimetatakse survetaktiks. Väntvõll teeb selle takti vältel jälle pool pööret ehk 180 kraadi. Kokku on väntvõll teinud seega ühe täispöörde ehk 360 kraadi.

Survetaktil kolvi ülesliikumisel väheneb ruum silindris ja seetõttu tõuseb küttesegu rõhk, mis survetakti lõpul küünib 7–13 atmosfääri. Muidugi on see rõhk seda suurem, mida suurem on antud mootori surveaste ehk mida väiksem on silindri surveruumi maht võrreldes silindri üldmahuga. Asjaolu, et küttesegu kokkusurumisel kõrgeneb ka selle temperatuur kuni 350–380 °C, suurendab omakorda lõpprõhku. Mida suurem on mootori surveaste, seda väiksemas ruumis ja seda kiiremini toimub järgnev küttesegu põlemine, sest kokkusurutud küttesegus on leegi levimise kiirus suurem ja väiksema ruumi tõttu ka leegi levimise tee lühem. Olenevalt sellest on küttesegu põlemisel tekkiva soojuse kadu silindriseinte kaudu väiksem ja gaasid paisuvad rohkem, tekitades kõrgema surveaste, mis omakorda suudab ära teha suurema töö. Teiselt poolt on gaaside põlemise järel tekkiv rõhk otseses sõltuvuses gaasi rõhust enne põlemist, sest kõik gaasid paisuvad jääval rõhul ühtlaselt, ehk kõikidel gaasidel on ühesugune paisumistegur. Rõhu suur survetakti lõpul oleneb peamiselt surveastmest. Seega, mida suurem surveaste, seda kõrgem on gaasi lõpprõhk põlemisel ja seda suurem on mootori võimsus. Järgneval gaasi paisumis- ehk töotaktil on nii sisse kui ka väljalaskeklapp suletud. Silindri surveruumi kokku surutud küttesegu süüdatakse süüteküünla elektroodide vahel tekitatava elektrisädemega. Küttesegu põlemisel tekib väga kõrge temperatuur *ca* 1800–2000 °C. Kõrge temperatuuri tõttu gaas paisub, tekitades põlemise lõpul rõhu 25–40 atmosfääri. Surve mõjul liigub kolb silindris ülemisest surnud seisust alla ja paneb kepsu kaudu väntvõlli pöörlema. Väntvõll teeb selle takti vältel jälle pool pööret ehk 180 kraadi. Kokku on väntvõll teinud juba poolteist täispööret. Järgnevaks mootori väntvõlli pööramiseks pole enam vaja rakendada välisjõudu, vaid selle teeb ära väntvõllile kinnitatud hooratas, mis töotaktil endasse kogutud kineetilise energia arvel pöörleb edasi, pöörates endaga kaasa ka väntvõlli.

Viimane tõukab kolvi alumisest surnud seisust ülemisse surnud seis. Kolvi ülesliikumise algmomendil avatakse väljalaskeklapp ja põlemisjäägid lahkuvad silindrist seal valitseva ülerõhu ning kolvi surve mõjul. Seda takti nimetatakse seetõttu väljalasketaktiks. Lõppkokkuvõttes on vääntvõll teinud kaks täispööret. Edasi toimub mootoris samade protsesside kordumine – sisselase, kokkusurumine, töö ja väljalase. Kuna mootori kogu töötsükkel teostub nelja takti ehk kahe vääntvõlli pöörde vältel, siis kannab niisugune mootor neljataktilise mootori nimetust. (Palu 1953: 19–21)

Ja kuna autori neljataktiliseks mootoriks on automootor, siis sellel on neli silindrit (vt Joonis 2), mis teevad tööd samal ajal ning tänu sellele on ka mootor palju võimsam kui kahetaktiline mootor, millega samuti autor tegeleb, sest sellel on ainult üks silinder, kus toimub töö.



Joonis 2. Nelja silindriga neljataktilise mootori töötsükliid. (boomeria 2011)

FORSSEERIMINE

Mootori forsseerimise all mõistetakse mootori efektiivvõimsuse suurendamist, et saavutada suuremat kiirust ja jõudu. Nii kahe- kui neljataktilise töötsükliga mootorit on põhimõtteliselt võimalik forsseerida. Kogu tulemus oleneb kolmest tegurist: mootori algkonstruktsioonist, teostavate muudatuste õigest valikust ja töö kvaliteedist. Paremaid tagajärgi on võimalik saavutada neljataktiliste mootoritega, mis omavad rippuvate klappidega gaasijaotusmehhanisme, eriti aga ülemise nukkvõlli asetuse puhul.

Tulemuste põhjal võib öelda, et kahetaktilised hästi forsseeritud mootorid ei jää palju maha neljataktilistest. On endastmõistetav, et forsseerida pole mõtet vana, kulunud detailidega mootorit. Uue või kapitaalremondist saadud mootori puhul on aga enne selle forsseerimisele asumist tarvilik nn sissetöötlemine. Uued hõõrdele töötavad mootoridetailid omavad vaatamata nende hoolikale töötlemisele ikkagi ebatasasusi, ning nende vastastikune sobitumine toimub alles teatud aja möödudes.

Mootori võimsuse määrab teatavasti kütuse kulu – soojusenergia hulk, mis muudetakse mehaaniliseks tööks ühes ajaühikus. Nagu iga masina töötamine, on mootori töötamine seotud kadudega. Sellepärast oleneb mootori võimsus ka mootori mehaanilisest kasutegurist. (Martijn Stehouwer 2011)

2.1. FORSSEERIMISTEHNİKAD

Mootori forsseerimisel tuleb niisiis püüda suurendada ühes ajaühikus silindrisse imetavat kütuse hulka ja mootori mehaanilist kasutegurit. Mootoris ühes ajaühikus juhitava kütuse hulka on võimalik suurendada mootori pöörete tõstmisega. Sisselaskeprotsess mootori suurtel pööretel vältab mõne sajandiku sekundist, selle aja jooksul peab küttesegu läbima võrdlemisi kitsa ja käänakulise tee silindrisse. Niisugustes tingimustes ei saa loomulikult silindri täitumine olla kuigi täielik ja nagu varem käsitletust teame, saavutame pöörete suurendamisel võimsuse juurdekasvu ainult teatud pööreteni. Selle piiri ületamisel tekib mootori võimsuse kiire langus, mille peamiseks põhjuseks on täiteteguri vähenemine. Mootori täitetegurit on võimalik suurendada järgmistel viisidel:

- sisselaskel esinevate hüdrauliliste takistuste vähendamisega;
- gaasijaotusfaaside laiendamisega;
- väljalaske süsteemi takistuse vähendamisega.

2.1.1. SISSELASKEL ESINEVATE HÜDRAULILISTE TAKISTUSTE VÄHENDAMINE

Sisselaskel esinevate hüdrauliliste takistuste vähendamisega tuleb alustada karburaatorist. Kõigepealt tuleb eemaldada karburaatori külge kinnitatud õhufilter, ehkki see on mootori kulumise seisukohast kahjulik. Karburaatori seguruumis tekkiva õhutakistuse vähendamiseks võib peaaegu kõikide mootorite karburaatori seguruumi segukoonuse läbimõõtu suurendada 2–4 mm võrra. Põhiliselt reguleeritakse forsseeritud mootorite karburaatorid alati rikastatud

küttesegule, sest viimasel on kõige suurem põlemise kiirus ja peale selle suureneb mootori jahutusefekt kütuse aurumissoojuse arvel.

Neljasilindrilise mootori puhul tuleb kõiki silindreid varustada eraldi karburaatoriga, millega üldine takistus sisselaskel tunduvalt väheneb. Paremaid tagajärgi, eriti kiirenduse osas, on saavutatud ka ühesilindrilistel mootorratastel kahe karburaatori kasutusele võtmisega, mis on ühendatud mootori sisselaskekanaliga kaheharulise sisselasketoru kaudu. Karburaator kinnitatakse forsseeritud mootoreil tavaliselt otse silindri külge. Niisuguse kinnitusviisi hüveks on väiksem takistus sisselaskel ja mootori hea kiirendus. Mõnel juhul on aga häid tagajärgi saavutatud ka karburaatori kinnitamisega 20–25 cm pikkuse sisselasketoru külge. Viimast õigustatakse sellega, et sisselasketoru olemasolul suureneb küttesegu hulk tagapool sisselaskeklappi, mis võimaldab paremini kasutada küttesegu silindrisse voolamisel tekkivaid inertsjõude suurema täie saamiseks sisselaskeklapi hilissulgemise vältel.

Sisselasketorud, kui need leiavad kasutamist, tuleb valmistada võimalikult ilma järskude käänakuteta, suurema läbimõõduga ja hästi soojust juhtivast materjalist, selleks et vähendada nende takistust ja küttesegu eelsoojendust. Kõikidel detailidel, alates karburaatorist ja lõpetades sisselaskekanaliga silindris, tuleb sisepinnad hoolikalt lihvida ja poleerida, ning kõrvaldada kõik väljaulatised (nt ühenduskohtade vahel väljaulatuvad tihendite servad jne). Sellega väldime kahjulike pöörise tekkimist küttesegu sissevoolul ja vähendame küttesegu hõõrdetakistust vastu sisselaskesüsteemi seinu. Kuna kahetaktiliste juures küttesegu juhtimine silindrisse toimub karteri kaudu, siis peale välise sisselaskesüsteemi tuleb hoolikalt kõrvaldada kõik takistused karteris ja ülevoolukanaleis. Viimaste juures tuleb kõrvaldada kõik teravad servad, samuti pinnad hoolikalt lihvida ja poleerida. (Emot 2011)

2.1.2. GAASIJAOTUSFAASIDE LAIENDAMINE

Gaasijaotusmehhanismi edasi-tagasi liikuvate osade inertsjõude vähendamiseks tuleb võimaluse piires püüda nende kaalu vähendada. Seda on võimalik saavutada näiteks tõukurite õõnsaks puurimisega, kergemast metallist osade kasutamisega jne, muidugi seejuures silmas pidades nende vajalikku tugevustagavara. Kahetaktiliste mootorite juures gaasijaotusfaaside muutmiseks suurendatakse silindri sissevoolu-, ülevoolu- ja väljavooluavade kõrgust. Läbivooluava suurendamiseks suurendatakse ka avade laiust. Sissevoolukanali avamise ja sulgemise momenti on võimalik muuta veel teatud piires sissevooluavapoolse kolvi serva mahavõtmisega. Orienteeruvalt võib öelda, et

sissevoolukanali ava kõrgust võib suurendada kuni 25%, ülevoolukanali ava kõrgust 20% ja väljavoolukanali ava kõrgust kolvikäigust kuni 30%. Avade laiust võib aga nii palju suurendada, kui palju see konstruktiivselt on võimalik, s.o et kolvirõngad, sattudes kohakuti avadega, ei jääks paindumisel kinni avade servade taha. Teatavates piirides on seda hädaohtu võimalik vähendada avade servade kumeraks viilimisega. Sobiv avade kõrgus ja laius leitakse katselisel teel, suurendades järk-järgult ava kõrgust ning laiust millimeetri võrra. Paremaid tagajärgi on võimalik saavutada kahetaktiliste mootorite forsseerimisel, milliseid omavad ebasümmeetrilisi gaasijaotusfaase (otsevool-läbipuhumisega).

Pärast silindriavade muutmist on vaja kontrollida silindri läbipuhumise käiku. Küttesegu suunda silindris võib määrata kahesugusel viisil: mittetöötaval mootoril suitsuga läbipuhumisel, töötaval mootoril kolvipõhjale jäävate jälgede järgi. Viimasel juhul tuleb kolvipõhi enne poleerida, seejärel mootor kokku panna ja sõita umbes 6–10 km, maha võtta silindripea ning kolvipõhjal olevate jälgede põhjal määrata läbipuhumise kulgemine. Sisselaskefaasi suurendamine kahetaktilises mootoris suuremas piiris, kui seda võimaldab silindri sissevooluava ja kolvi- juhtpinna kuju muutumine, on võimalik automaatklapi kasutusele võtmisega sissevoolukanalis. Karburaator ühendatakse sel juhul karteriga otseselt. Küttesegu sissevoolufaasi piirid määratakse karburaatori ja karteri vahelisse kanalisse asetatud klapi abil.

Viimasena kasutatakse pöördkolbtüüpi klappi, mida käitatakse väntvõllilt hammasratasajami või kettajami abil. Pöördkolbtüüpi klapp kujutab endast väikest kolvikest pikliku aknaga juhtpinna, mis pöörleb silindrilises keres. Silindris on samasugune aken kui kolviski. Kolvi õõnsus on ühendatud karburaatori seguruumiga ja klapi silinder mootori karteriga. Mõlema akna kohakuti sattumisel pääseb küttesegu karburaatorist kolvi õõnsusse ja sealt läbi akende karterisse. Klapi kulumisel tekkiva lõtku hõlpsamaks kõrvaldamiseks on nii klapp kui ka selle silinder valmistatud koonilistena. Pöördkolbtüüpi klapi kasutuselevõtmisega on võimalik sisselaskefaasi suurendada peaaegu kaks korda. (Emot 2011)

2.1.3. NELJATAKTILISE VÄLJALASKESÜSTEEMI TAKISTUSE VÄHENDAMINE

Mootori täitetegur oleneb ka väljalaskesüsteemi takistustest, kuna sellest omakorda oleneb silindrisse jäävate põlemisjääkide hulk. Neljataktiliste mootorite summutid asendatakse nn megafonidega, mis soodustavad põlemisjääkide väljajätmist silindrist. Praktilised

kogemused näitavad, et sobivaim megafoni koonuse nurk on 8–10 kraadi. Megafoni pikkuse suurendamisel aga suureneb tema diameeter ja viimane praktiliselt piirabki megafoni pikkust. Kompressoriga varustatud mootoritele megafonide asetamine pole oluline, kuna silindri hea täitumine kindlustatakse kompressori poolt. (Emot 2011)

2.1.4. KAHETAKTILISE VÄLJALASKE SÜSTEEMI TAKISTUSE VÄHENDAMISEGA

Kahetaktiliste mootorite juures, välja arvatud otsevoolläbipuhumisega mootorid, tuleb väljalaskesüsteemi sobiv takistus leida katseliselt, kuna vastusurve täielikul kõrvaldamisel lahkub silindrist ühes põlemisjääkidega ka hulk värsket küttesegu, mille tagajärjel mootori võimsus väheneb. Peale täiteteguri omab mootori forsseerimisel tähtsat kohta mootori surveaste. Surveastme tõstmisega suureneb mootori termiline kasutegur, st. suurem hulk küttesegu põlemisel saadavast soojusest muudetakse mehaaniliseks tööks. Peale selle väheneb surveastme tõstmisel koos põlemiskambri mahu vähenemisega ka jääkgaaside hulk silindris. See aga soodustab põlemisprotsessi teostumist. Esiteks suureneb jääkgaaside hulga vähenemisel küttesegu põlemiskiirus, mis omakorda soodustab mootori pöörete tõusu. Teiseks langeb jääkgaaside hulga vähenemisel värsket küttesegu temperatuur sisselasketakti lõpul, mille tagajärjel suureneb silindri täitetegur. Surveastme suurendamisel mootori võimsus suureneb algul kiiresti, seejärel aeglasemalt. Keskmiselt arvestatakse, et surveastme viie- kuni kuuekordsel suurendamisel suureneb mootori võimsus umbes 10%, surveastme kuue- kuni seitsmekordsel suurendamisel võimsus suureneb veel 8%, edasisel surveastme suurendamisel (seitse kuni üheksa korda) suureneb võimsus ainult 3–5%. Surveastme suurendamine on piiratud survetakti lõpul tekkiva temperatuuri lähenemisega kütuse isesüttimistemperatuurile ja detonatsiooni tekkimisega. Siin annavad mõõtu mitmesugused mootori konstruktiivsed tegurid ja kasutatava kütuse rõhukindlus. Surveastme suurendamisega kaasneb töotakti algul tekkivate kõrgete rõhkude tõttu väntmehhanismi detailide koormuse suurenemine ja mootori töötamise sujuvuse vähenemine. Praktilised kogemused näitavad, et peaaegu kõigi normaalmootorrataste mootorite surveastet on võimalik suurendada kuni 30–50%, ilma et esineks tõsisemaid kahjustusi (kui mitte arvestada remontidevahelise läbijooksu vähenemist). Mootori surveastet on olenevalt mootori ehitusest võimalik suurendada mitmesugusel viisil: silindripea sulgepinna mahafreesimisega; kõrgema, kumera põhjaga kolvi kasutuselevõtmisega ja tihendite paksuse vähendamisega silindrikeha ja karteri vahel. Neist paremaks tuleb lugeda esimest viisi, kuna kõrgema kumera põhjaga kolvi kasutuselevõtmisega suureneb

esiteks väntmehhanismi edasi-tagasi liikuvate osade mass ja seega suurenevad inertsjõududest tulenevad koormused ning halveneb mootori tasakaalustus. Teiseks suureneb põlemiskambri pind ning koos sellega suurenevad ka soojuskaod. Viimane surveastme tõstmise viis võimaldab surveastet suurendada ainult väga väikestes piirides. Kahetaktiliste mootorite juures tuleb arvestada seda, et küttesegu kokkusurumine algab tegelikult hetkest, millal väljavoolukanali ava suletakse. Seetõttu tuleb silindri töömahu arvestamisel kolvikäiku suurust vähendada keskmiselt 30%. Kahetaktilised mootorid (välja arvatud otsevool-läbipuhumisega mootorid) lubavad üldiselt märksa kõrgema surveastme kasutamist kui neljataktilised mootorid, ilma et esineks detonatsiooninähtusi. See on seletatav kahetaktiliste mootorite juures suurema hulga põlemisjääkide jäämisega silindrisse, võrreldes neljataktiliste ja otsevool-läbipuhumisega kahetaktiliste mootoritega, mis mõnevõrra vähendab detonatsioonilist küttesegu põlemist. Nii nelja- kui kahetaktilistes mootorites, mis töötavad kõrgetel surveastmetel, on küttesegu põlemine tingitud mootori töötemperatuurist. Hõõgsütte vähendamiseks tuleb põlemiskambrit ja kolvipõhjalt täielikult kõrvaldada teravad väljaulatuvad osad, mis halva jahutuse tõttu kuumenevad hõõgumiseni. Soojuskadude vähendamiseks on soovitatav põlemiskambri sisemised seinad ja kolvipõhi hoolikalt lihvida ja poleerida. Sellega väheneb ühtlasi ka tahma kleepumine neile pindadele. Detonatsiooninähtuste vähendamiseks tuleb kasutada kõrge oktaanarvuga kütusesegusid. Kütuse valikul tuleb esijoones silmas pidada surveastme suurust või sundtoitmise rõhku. Peale selle tuleb arvestada silindri läbimõõtu, konstruktsiooni ja valmistusmaterjali. (Emot 2011)

MOOTORI FORSSEERIMINE

3.1. KAHETAKTILISE MOOTORI UURINGU ISELOOMUSTUS

Andmekogumise meetodiks kasutab autor eksperimendi meetodit. Autor forsseerib ära mootori teises peatükis soovitatud meetoditega. Autor valis katsealuseks kaks mootorit: Moskva kahetaktilise mootori (vt Lisa 4) ja Lada 2106 neljataktilise mootori (vt Lisa 16).

Autor kasutab kahetaktilise mootori forsseerimiseks antud meetodeid:

- kütusekanalite suurendamine;
- karburaatori ja kütusekanalite lihvimine ja poleerimine;
- ülevoolu-, sisselaske- ja väljalaskekanalite suurendamine;
- surveaste suurendamine.

3.1.1. KÜTUSEKANALITE SUURENDAMINE

Autor suurendas karburaatori ja silindri vahelisi kütusekanaleid ja ka silindris olevaid kütusekanaleid (vt Lisa 3).

3.1.2. KARBURAATORI JA KÜTUSEKANALITE LIHVIMINE JA POLEERIMINE

Autor lihvis ära karburaatori ja kütusekanalite käigud igasugustest väljaulatuvatest metallihattudest ja poleeris kanalid hoolikalt (vt Lisa 2).

3.1.3. ÜLEVOOLU-, SISSELASKE- JA VÄLJALASKEKANALITE SUURENDAMINE

Autor suurendas sissevoolukanali ava kõrgust, ülevoolukanali ava kõrgust ja väljavoolukanali ava kõrgust. Avade laiust suurendas nii palju, kui see konstruktiivselt oli võimalik, s.o et kolvirõngad ei satuks kohakuti avadega (vt Lisa 1).

3.1.4. SURVEASTME SUURENDAMINE

Autor suurendas surveastet 6 atm-st 7 atm-ni (vt Lisa 5).

3.1.5. KAHETAKTILISE MOOTORI FORSSEERIMISTÖÖDE MAKSUMUS

Kahetaktilise mootori forsseerimisel kasutas autor ainult lihvimise asju, et välja uurida, kuidas saada võimalikult odavalt läbi. Lihvimistööks vajalikud asjad läksid kokku maksma 34,98 eurot. See oli tulemus, kui proovida forsseerida nii odavalt kui vähegi võimalik nii, et mingeid uusi juppe mootorile juurde ei osta.

3.1.6. MOOTORI FORSSEERIMISTÖÖDE TULEMUS

Et saada teada, palju muutus mootori võimsus, kasutati DÜNO pinki, mis mõõdab täpsed kilovatid, väändemomendi ja hobujõud. Mootorrataste ainuke DÜNO pink Eestis on Motodepoos. Tulemused, mis autor sai kahetaktilise mootori Moskva forsseerimisel, on järgmised:

Tabel 1. Siin on näha kahetaktilise mootori võimsust enne forsseerimist ja pärast.

	Enne forsseeringut	Pärast forsseeringut
Kilovatid (kW)	3 kW	7 kW
Hobujõud (HP)	4 HP	9,4 HP
väändemoment	14	16

Võimsuse ühikuid võrreldes on näha, et masin on läinud võimsamaks.

3.2. UURINGU ISELOOMUSTUS NELJATAKTILISE MOOTORI KOHTA

Autor kasutab neljataktilise mootori forsseerimiseks antud meetodeid:

- karburaatori ja kütusekanalite lihvimine ja poleerimine;
- klapi suunaja otsa maha võtmine;
- sisselaske- ja väljalaskekanalite suurendamine;
- parema karburaatori kasutuselevõtt;
- parema välja- ja sisselaskekollektori kasutuselevõtt;
- surveaste suurendamine;
- suurema käiguga vääntvõlli kasutuselevõtt;
- sportnukkvõlli kasutuselevõtt;
- reguleeritava nukkvõlli hammasratta kasutuselevõtt;
- bloki suuremaks puurimine;
- hooratta kergemaks tegemine;
- uute kolbide ja rõngaste soetamine, klappide kergemaks lihvimine ja pesasse lihvimine.

3.2.1. KARBURAATORI JA KÜTUSEKANALITE LIHVIMINE JA POLEERIMINE

Autor lihvis ära karburaatori ja kütusekanalite käigud igasugustest väljaulatuvatest metallihattudest ja poleeris kanalid hoolikalt (vt Lisa 12).

3.2.2. KLAPI SUUNAJA OTSA MAHA VÕTMINE

Autor lõikas sisse- ja väljalaskekanalites ära klapi suunajad, et kütuse või väljaminevate gaaside takistust väiksemaks teha (vt Lisa 12).

3.2.3. SISSELASKE- JA VÄLJALASKEKANALITE SUURENDAMINE

Autor suurendas sisse- ja väljalaskekanalite suurust vastavalt kollektorite suurustele. Kui kanal on suurem, siis on ka kütuse sissevoolamine suurem ja väljaminevad gaasid saavad kiiremini välja minna (vt Lisa 12).

3.2.4. PAREMA KARBURAATORI KASUTUSELEVÕTT

Autor võttis kasutusele Weberi rallikarburaatorid, mis on mootoriga ühenduses kollektori kaudu ja kus igale silindrile on oma karburaator, mis on 45-millimeetrised ning koos viledega, mis tekitavad keerise ja siis on kütuse sisseminek poole suurem (vt Lisa 6).

3.2.5. PAREMA VÄLJA- JA SISSELASKEKOLLEKTORI KASUTUSELEVÕTT

Autor soetas endale sisselaskekollektori (vt Lisa 14), et saaks külge panna Weberi karburaatorid ja väljalaskekollektori 4-2-1 (vt Lisa 15), mis tähendab, et algul lähevad kaks toru üheks ja alles siis omavahel kokku – siis on väljaminevatel gaasidel kergem välja minna ja auto saab võimsust juurde.

3.2.6. SURVEASTE SUURENDAMINE

Autor viis bloki (vt Lisa 7) ja blokikaane (vt Lisa 10) mahalihvimisse, kus lihviti maha blokil paar mm, et surveastet suurendada.

3.2.7. SUUREMA KÄIGUGA VÄNTVÕLLI KASUTUSELEVÕTT

Autor soetas endale suurema käiguga väntvõlli, sest siis teeb kolb suurema käigu ja võtab rohkem õhku – niisiis on surveaste suurem.

3.2.8. SPORTNUKKVÕLLI KASUTUSELEVÕTT

Autor soetas sportnukkvõlli, mis aitab mootori töötamise ajal teha klappi rohkem lahti ja sellega on kütusel ka väljalaskel parem ja kiirem voolavus.

3.2.9. REGULEERITAVA NUKKVÕLLI HAMMASRATTA KASUTUSELEVÕTT

Autor soetas reguleeritava nukkvõlli, millega saab reguleerida nuka avanemist (vt Lisa 13).

3.2.10. BLOKI SUUREMAKS PUURIMINE

Autor lasi buurida bloki sees silindreid, tänu millele tõuseb kubatuur ja mootoril on rohkem jõudu, kuna surveaste tõuseb (vt Lisa 8).

3.2.11. HOORATTA KERGEMAKS TEGEMINE

Autor lasi hooratast kergemaks treida, tänu millele on mootoril kergem pöördeid koguda ja mootor on ergem.

3.2.12. UUTE KOLBIDE JA RÕNGASTE SOETAMINE, KLAPPIDE KERGEMAKS LIHVIMINE JA PESASSE LIHVIMINE

Autor soetas uued kolvid (vt Lisa 9) ja rõngad, mis ei laseks kuskilt survet läbi ja lihvis sisse uued klapid (vt Lisa 11), et klappide vahelt rõhk ära ei kaoks.

3.2.13. NELJATAKTIILISE MOOTORI FORSSEERIMISTÖÖDE MAKSUMUS

Kui tahta mootorit tiptasemel ära forsseerida, siis ei aita kodustest vahenditest. Oli palju asju, mille eest tuli maksta.

Tabel 2. Siin on näha, kui palju läks maksma neljataktilise mootori forsseerimine.

Toode	Maksumus
Liivapaber	55.35 EUR
Metallfrees	16.68 EUR
Weberi karburaator	600 EUR
Sisse- ja väljalaskekollektor	200 EUR
Bloki lihvimine (spetsialisti juures)	50 EUR
Suurem väntvõll	44.90 EUR
Sportnukkvõll	76.96 EUR
Reguleeritav nukkvõlli hammasratas	40 EUR
Bloki puurimine (spetsialisti juures)	110 EUR
Hooratta treimine (spetsialisti juures)	45 EUR
Kolvid ja rõngad	80 EUR
kokku	1318,89 EUR

3.2.14. NELJATAKTIILISE MOOTORI FORSSEERIMISTÖÖDE TULEMUS

Neljataktilise mootori testimiseks käisin DÜNO tegemas Dynomaxis.

Tabel 3. Siin on neljataktilise mootori võimsuse andmed enne forsseerimise tegemist ja pärast.

	Enne forsseeringut	Pärast forsseeringut
Kilovatid (kW)	56	119.3
Hobujõud (HP)	75,1	160
Väändemoment (Nm)	118	240

Võimsusühikuid enne ja pärast võrreldes on näha vahet.

Katse kokkuvõte

Kõiki töid korrektselt tehes ja järgides forsseerimise tehnikaid, forsseeris autor mõlemad mootorid. Autor pidi nägema palju vaeva, aga samas läks palju aega ostetud või treimisel olevate mootorijuppide ootamisele. Uute mootorite tulemusi oli näha ülaltoodud tabelites ja neid uurides nägi autor, et forsseerimine võib mootorit tõepoolest võimsamaks muuta. Nagu ka raamatus ja internetis oli öeldud, peaks mootor muutuma töökindlamaks, aga seda pole autor jõudnud veel katsetada. Enda tehtud sõidu tulemusel sai autor ka ise aru, et mootor on läinud võimsamaks. Samas kui mootor on forsseeritud, siis on mootoril vähem ressursse, kuna kulub kiiremini.

Automootorit kasutatakse nüüd, pärast forsseeringut, ainult võistlustel ja mitte-tänavasõiduautol. Mootorrattamootorit kasutatakse ainult kardil, mis on lõbu pärast ja samuti on see mitte-tänavasõidumasina peal. Samas võib kasutada neid ka tänaval.

Kuna autor tegeleb ise ka päevast päeva mootoritega, siis katse tegemine oli lõbus ajaviide, aga samas sai autor ka väga palju uusi teadmisi.

KOKKUVÕTE

Uurides teemakohast kirjandust ja internetiallikaid sai autor teada väga palju mootori tööpõhimõttest, forsseerimisest ja forsseerimistehnikatest.

Katsetades neid tehnikaid ja mitmeid erinevaid meetodeid kahe erineva mootori forsseerimisel, saavutati mootori parem töökindlus ja võimsusnäitajate tõus.

Töö analüüsimisel saadi teada järgmist:

- mootorid saab forsseerida nii odavalt kui ka kallilt, vahe on selles, kui palju tahad või saad teha;
- mootori forsseerimiseks on väga palju meetodeid;
- forsseerimine ei ole lihtne;
- forsseeritud mootor töötab paremini kui forsseerimata mootor.

Töös püstitatud hüpoteesid said uuringu põhjal kinnitust:

- forsseerimine võib olla kallis, kui peab laskma kuskil teha asju, mida ise ei oska ja pole vahendeid, et teha aga samas saab väiksemaid mootoreid ka odavalt forsseerida, kui teha ainult selliseid asju mis hõlmavad lihvimist ja töid, mida saab ise teha, kui on vajalikud masinad olemas.
- mootorit saab forsseerida väga lihtsal viisil;

- forsseeritud mootor on võimsam.

Autorile oli uurimustöö tegemine põnev ning suur väljakutse.

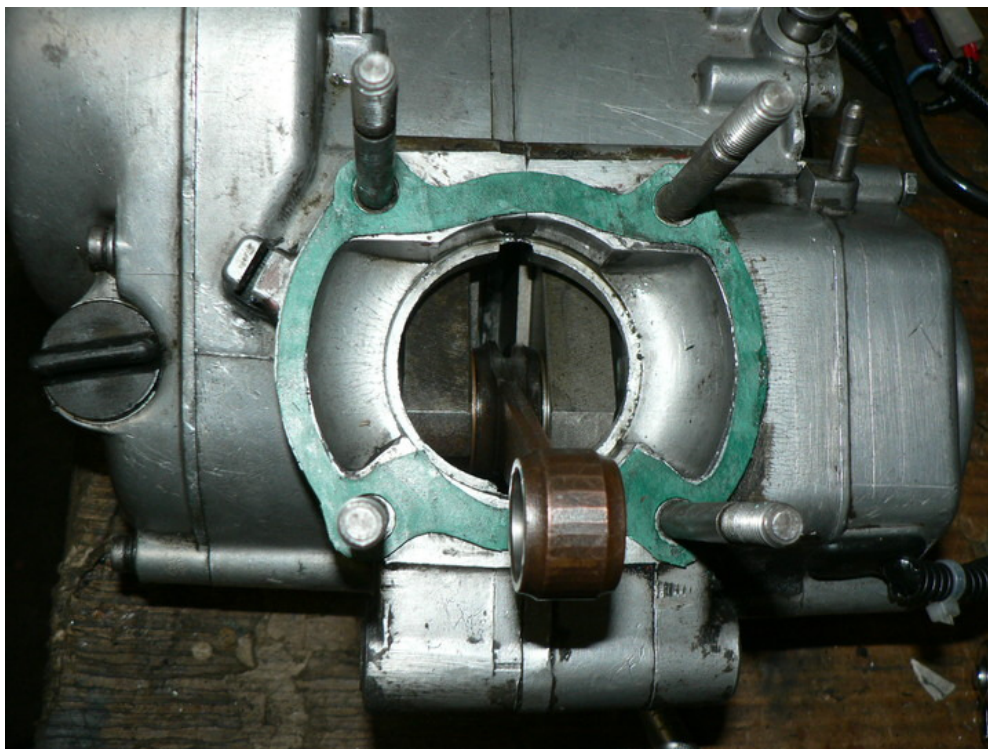
KASUTATUD MATERJAL

1. Palu, Arseni 1951. Mootorratta juhi õpik.
2. Palu, Arseni 1976. Mootorrattad – ehitus, ekspluatatsioon ja sõidutehnika.

Internetiallikad

1. How a 2 stroke engine works [WWW]
<http://www.whitedoglubes.com/2strokeengines.htm>
2. Heat engines of physics [WWW]
<http://boomeria.org/physicslectures/engines/engines.html>
3. [EMOT Racing forum TUNING-FORUM](http://emot.nl/forum/index.php?board=1.0) [WWW]
<http://emot.nl/forum/index.php?board=1.0>
4. Engine tuning basics [WWW] <http://tuning.wanadoo.co.uk/tuning-basics.htm>

LISA



Lisa 1. Moskva mootori ülevoolu avad.



Lisa 2. Sisse- ja väljalaskeavad. (Moskva mootor)



Lisa 3. Sisselaskeavad ja mootori silinder. (Moskva mootor)



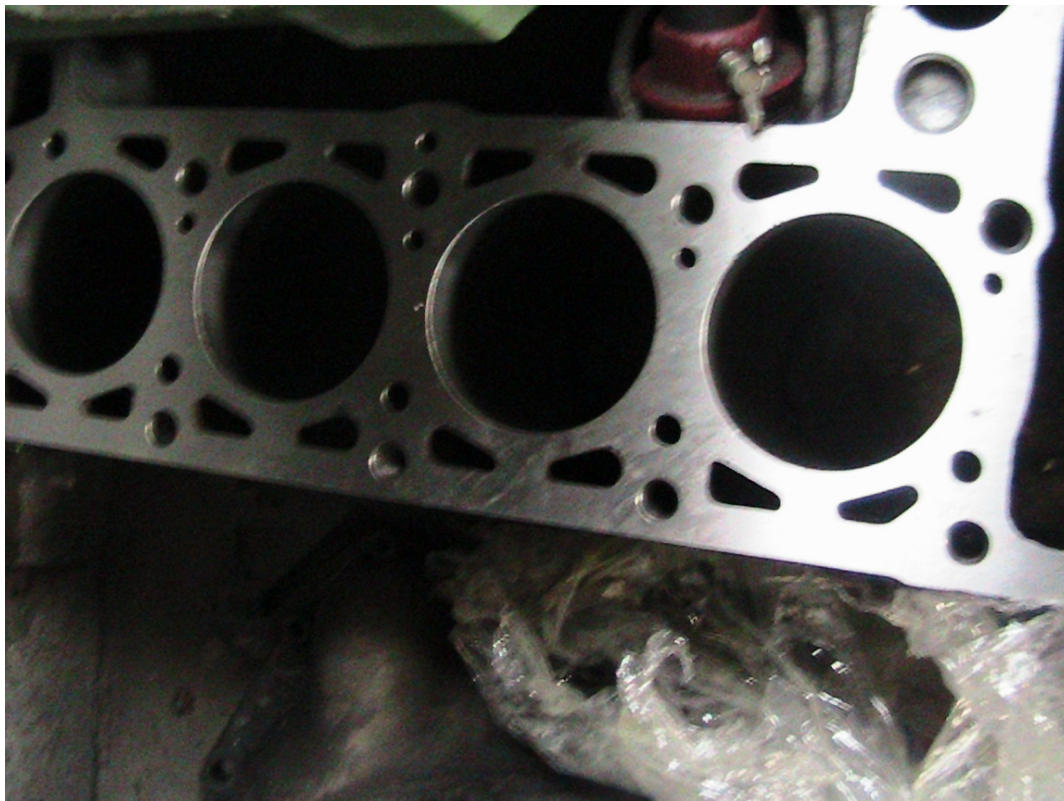
Lisa 4. Moskva mootor.



Lisa 5. Mootori blokikaas. (Moskva mootor)



Lisa 6. Weberi karburaatorid. (Lada mootor)



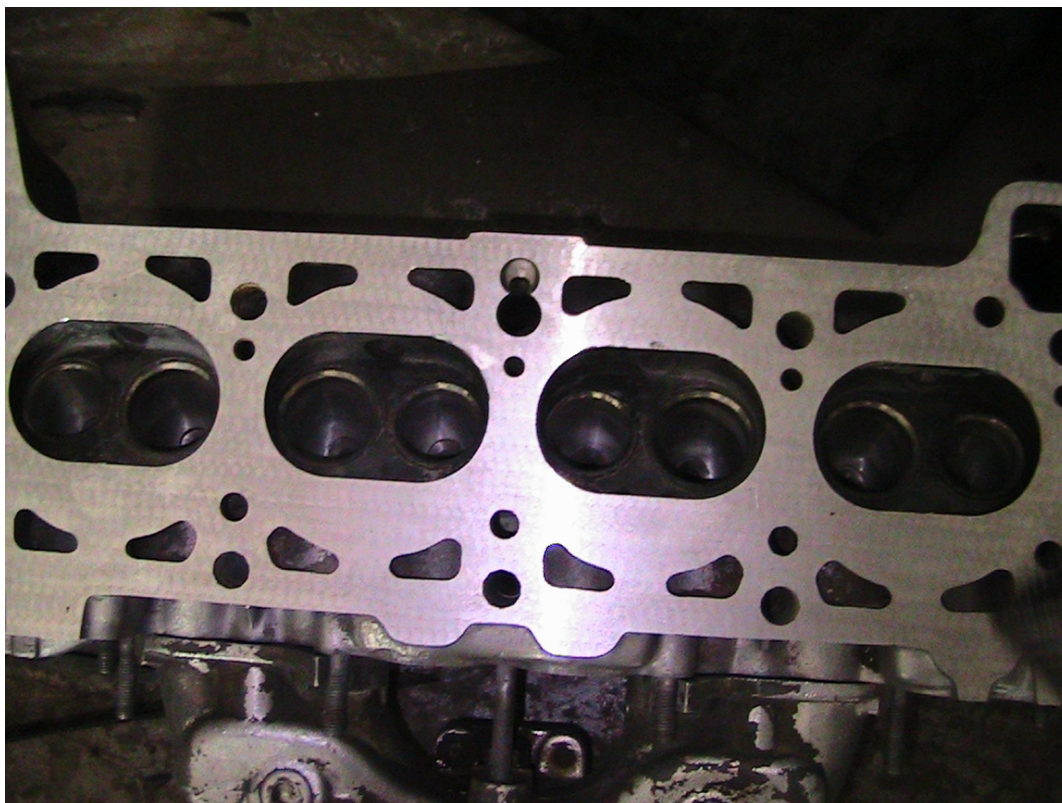
Lisa 7. Mootori blokk. (Lada mootor)



Lisa 8. Mootoribloki silinder. (Lada mootor)



Lisa 9. Mootori kolb. (Lada mootor)



Lisa 10. Blokikaas. (Lada mootor)



Lisa 11. Mootoriklapp. (Lada mootor)



Lisa 12. Sisse- ja väljalaskeavad. (Lada mootor)



Lisa 13. Nuka reguleeritav hammasratas. (Lada mootor)



Lisa 14. Sisselaskekollektor. (Lada mootor)



Lisa 15. Väljalaskekollektor. (Lada mootor)



Lisa 16. Lada mootor.