

Priit Mikker

**NISSAN CA18DET MOOTORI
SISEKOMPONENTIDE
MUUDATUSED TALUMAKS
VÕIMSUST 350 kW**

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2014

Priit Mikker

**NISSAN CA18DET MOOTORI
SISEKOMPONENTIDE
MUUDATUSED TALUMAKS
VÕIMSUST 350 kW**

LÕPUTÖÖ

Transporditeaduskond
Autotehnika eriala

Tallinn 2014

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. NISSAN CA18DET ÜLEVAADE	8
2. MOOTORIS MÕJUVAD JÕUD	10
3. SUURENDATUD VÕIMSUSE MÕJU MOOTORI TÖÖKINDLUSELE	12
4. LAHENDUSED PARANDAMAKS TÖÖKINDLUST	14
4.1. Väntmehhanism.....	14
4.1.1. Kolvid.....	14
4.1.2. Kepsud.....	21
4.1.3. Väntvõll	29
4.1.4. Väändevõngete leevendamine	32
4.2. Mootoriplokk.....	33
4.3. Plokikaas	36
4.4. Õlitussüsteem	37
4.4.1. Õlipuuduse välitimne	39
4.5. Jahutussüsteem	40
4.5.1. Jahutusradiaator ja vahejahuti	41
5. MAJANDUSLIK ARVESTUS.....	43
KOKKUVÕTE.....	44

SUMMARY	45
Lisa 1	49
Lisa 2	50
Lisa 3	53

SISSEJUHATUS

Lõputöö teema on „Nissan CA18DET mootori sisekomponentide muudatused talumaks võimsust 350 kW“.

Käesolev teema sai valitud, kuna CA18DET on jõuallikaks ühele aina rohkem levivale sportauto mudelile Eesti turul – Nissan 200SX-le. Nissan 200SX on üks soodsamaid ja levinumaid hea juhitavuse ning dünaamikaga sportkupeesid kasutatud autode turul. Neid autosid kasutatakse tihti ka erinevatel võistlustel, olgu need siis kiirendus-, ringraja- või driftivõistlused. Auto kasutamist autospordis soosib ka lai võidusõidule orienteeritud veermiku- ja jõuülekanne osade valik turul.

CA18DET on malmist valatud mootoriplokiga ja alumiiniumsulamist plokikaanega neljaklapitehnikas ülanukkvõllidega ridaasetusega neljasilindriline turboga ülelaetud mootor. Mootori tehase poolt märgitud võimsus on 124 kW. [22]

CA18DET mootor oli eelkäijaks SR20DET mootorile. Mõlemat paigaldati muude Nissani mudelite hulgas ka 200SX-le. Kuna laiem arvamus on, et SR20DET on vastupidavam ja suurema võimsuspotsiaaaliga mootor, on nende hinnad tihtipeale kordi kõrgemad, kui eelkäijal. See on jätnud CA18DET vaeslapse rolli ja seda on näha ka autode ja mootorite turuhindadest – SR20DET ja sellega varustatud autod on reeglina oluliselt kallimad. [22]

CA18DET-i võrdlemisi halva maine põhjused võib seostada selle mootori mudeli keskmise vanusega. Tegemist on juba 20 aastat tootmisest maas olnud mootoriga ja kuna tootmisaja jooksul jõuti toota väga palju sellega varustatud autosid, on need ka järelturul levinud ja võrdlemisi odava hinna eest. Madal hind meelitab ligi noori huvilisi, kes tunnevad suurt huvi kerge ja hea juhitavusega auto vastu, aga kellel tihtipeale ei jagu rahalisi võimalusi, et autot ka korrapäraselt hooldada, mis oleks eriti vajalik sportliku sõidustiili juures, mis sellisele vanusegrupile omane on. Selle tagajärjel on need mudelid tihtipeale halvas korras ja vajavad mootori kapitaalremonti. Selle asemel aga jätkatakse samas stiilis sõitmist või kõrgendatakse veelgi koormust mootorile (mootori pööretepiiriku ja/või ülelaaderõhu tõstmine).

Viimaste aastate võimsuse võidujooks võidusõidus on viinud selleni, et alla 350 kW mootoriga autoga näiteks kiirendus- või driftivõistlustel on peaaegu võimatu konkurents püsida. Kui driftivõistlustel on paljud hakanud kasutama kas suure töömahuga kaheksasilindrilisi mootoreid või turboga ülelaetud kuuesilindrilisi mootoreid, on kiirendusspordis asjad teisiti, kuna klassijaotus (Lisa 2) toimub kiirusindeksite järgi, mis sisuliselt sõltuvad mootori võimsusest. Seega ei ole võimalik situatsioon, kus üle 800-hobujõuliste mootoritega autod satuksid samasse klassi poole väiksema võimsusega autodega. [16]

Võttes arvesse mootori konstruktsiooni, on CA18DET just kiirendusautole sobilik mootor. Et saavutada sama võimsust, *ceteris paribus*, on väiksema töömahuga mootorile vaja rakendada suuremat ülerõhku. Kuna ülerõhku tootev seadeldis – turbo töötab väljalasekgaaside energia pealt, vajatakse suurema rõhu tootmiseks rohkem energiat, lihtsaim viis selleks on mootori pöörlemissageduse tõstmine [1, p. 7]. Selle tõttu on kiirenduses kasutataval väiksemahulisel mootoril väga tähtis selle vastupidavus kõrgetele pööretele. CA18DET-l on nukkvõllid otse klappide kohal, mis tähendab, et puuduvad liigsed osad gaasijaotusmehhanismist, mis kõrgetel pööretel hakkaksid segama selle korrapärasest toimimist. Mootori sobivust kiirendusvõistlustele näitab ka fakt, et seda on maailmas, eriti Jaapanis, laialdaselt samal eesmärgil kasutatud ja edukalt sellega üle 450 kW võimsuse juures võisteldud [22].

Kuna CA18DET on juba üle 25 aasta vana mootor ja olnud tootmisest maas 20 aastat, on võidusõidule orienteeritud varuosade saadavus kahanenud ja turg on keskendunud rohkem selle järeltulija osade müügile. See aga ei tähenda, et CA18DET-le osi üldse ei toodeta, vaid valik on palju kitsam. Lõputöös käsitletakse ka nüansse, mille järgi valida õigeid osi, et saavutada soovitud võimsuse juures ka hea töökindlus.

Lõputöö koostamisel tuginetakse erinevatele teatemetestele, erinevate mootoriehitajate empiirilisele materjalile ja maailmas levinud oskusteabele, mida saab leida erinevatest internetifoorumitest.

Käesoleva töö ülesandeks on võetud CA18DET mootori modifitseerimine nii, et see taluks valmistaja omast kolm korda suuremat võimsust. Töökindluse all peetakse silmas, et konstrueeritav mootor peaks vastu vähemalt kaks hooaega võistlemist kiirendusvõistlustel klassis Street B ning lõppkiirusvõistlustel klassis B. Lisaks leiab auto kasutust ka tänavaliikluses.

Töö käigus on vaja teostada kolm ülesannet:

1. Selgitada välja, millised ja kui suured jõud mõjuvad suurendatud võimsuse juures mootori põhikomponentidele (väntmehhanismile, mootoriplokile, gaasijaotusmehhanismile) ja millised on muud muutused mootori töös võrreldes valmistajatehases valminud mootoriga.
2. Leidnud mõjuvad jõud, tuleb hinnata milliseid probleeme võivad need põhjustada mootori töökindlusele, leida neile probleemidele lahendused ja kirjeldada teostusviise.
3. Arvutada projekti maksumus.

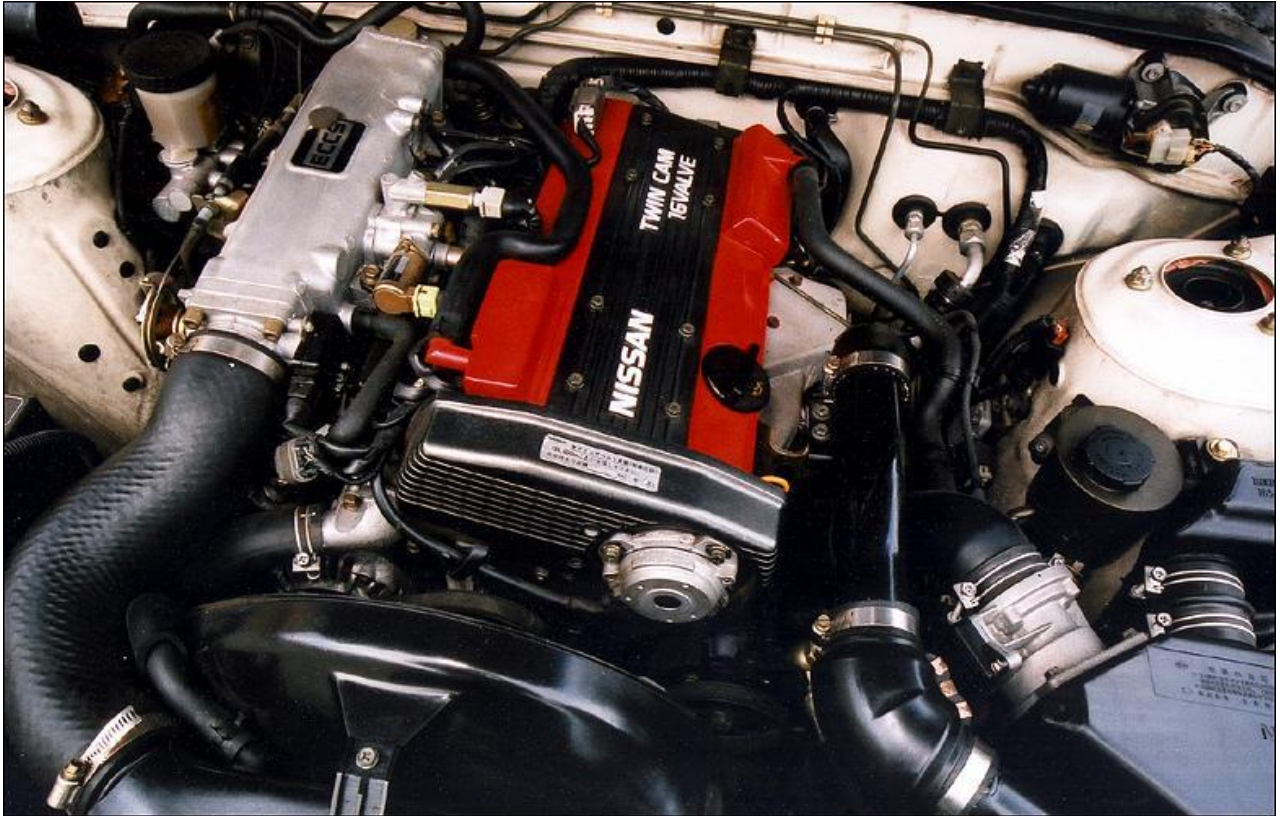
1. NISSAN CA18DET ÜLEVAADE

CA18DET on Nissan Motorsi poolt toodetud 1,8 liitrise töömahuga neljasilindriline turboülelaadimisega ridamootor. Seda paigaldati aastatel 1987-1994 mitmetele Nissani mudelitele, nii esi-, taga- kui nelikveolistele, piki- ja põikiasetuses [22]. Lõputöös käsitletakse CA18DET mootorit paigaldatuna tagaveolisele Nissan 200SX-le.

Nissan 200SX mudelipõlvkonnast S13 on neljas põlvkond Nissani S-mudeliperekonnast. S-mudelid olid kavandatud olema mõõduka hinnaga kerged ja hea juhitavusega sportlikud autod, S-platvorm oli tootmises 1976...2002a. Peaaegu eranditult olid kõik S-mudelid neljasilindrilise reasmootoriga, paljud neist turboülelaadimisega, eriti 1985-st uuemad mudelid, kõik S-mudelid olid tagaveolised. [22]

Nissan 200SX S13 oli erinevatel turgudel tuntud ka kui Nissan 180SX, 240SX või Silvia. Euroopas müüdi S13 vaid 180SX nime all ja ainult CA18DET mootoriga. Jaapani siseturu(seal müüdi S13 180SX ja Silvia nime all) jaoks paigaldati autole ka uuemat SR20DET mootorit. [22]

Käesolevas töös on kajastatud Euroopa mudeli CA18DET mootorit, mis on mõnevõrra erinev mujal maailmas müüdust. Nimelt on Euroopa mudelil 4 kanaliga sisselaskekollektor ja plokikaanes neli kanalit, mis alles vahetult enne sisselaskeklappi hargnevad igaüks kaheks. Mujal maailmas oli sisselaskekollektor 8 kanaliga, igale sisselaskeklapile oma kanaliga. Et saavutada madalatel pööretel paremat pöördemomenti, olid neil pärast õhuklappi iga silindri ühes kanalis veel omakorda drosselklapid, mis madalatel pööretel sulgesid kanali, kiirendades gaaside voolamiskiirust teises kanalis andmaks suuremat pöördemomenti ja kiiremat turbo reageerimisega. Kõrgetel pööretel ja suurel võimsusel osutuvad need klapid takistavaks teguriks, piirates õhuvoolu isegi avatud asendis. Võimsuspotentsiaali piirab ka plokikaane disain, kus sissepritse pihusti pihustab vaid ühte kanalisse, mitte kahte kanalisse korraga, nagu Euroopa jaoks toodetud mootoril. [22]



Sele 1.1 Nissan CA18DET mootor [22]

2. MOOTORIS MÕJUVAD JÕUD

Sisepõlemismootor, kui paljude liikuvate osadega masin vajab vastupidavuse saavutamiseks seda, et selle projekteerimisel oleks arvesse võetud kõigile liikuvatele osadele mõjuvad jõud ja nende liikuvate osade poolt muudele mootori detailidele avalduvad mõjud. Suurendades mootori võimsust, suurenevad peale liikuvatele osadele mõjuvate jõudude ka jõud, mis mõjuvad mootori muudele konstruktsioonilistele detailidele. Selline vastastikmõju tuleneb Newtoni kolmandast seadusest, mis ütleb, et kaks keha mõjutavad teineteist jõududega, mis on absoluutväärtuselt võrdsed ja vastassuunalised. [10, p. 49]

Väntmehhansimis mõjuvaid tsüklilisi jõude iseloomustab hästi töotakti keskmine rõhk – BMEP (ingl. k. *Break mean effective pressure*). Ette antud mootori BMEP-i saab leida, kasutades valemit

(1)

$$P = \frac{4\pi * M}{V},$$

kus $P[\text{kPa}]$ – BMEP,

$M[\text{N*m}]$ – mootori pöördemoment,

$V[\text{m}^3]$ – mootori töömaht. [10]

BMEP ei näita reaalselt rõhku silindris, vaid väljendab pigem mootori forsseeritust, mootori võimet teha tööd. Mida kõrgem BMEP, seda efektiivsemalt toodab mootor pöördemomenti antud töömahu juures. [10, p. 59]

CA18DET tehasemootori BMEP on 1590 kPa. 350 kW, 600 N*m ja sama töömahu juures on selle mootori BMEP 3890 kPa, mis tähendab 145% suurst tõusu.

Väntmehhanismile mõjuvat maksimaalset jõudu väljendab maksimaalne silindrirõhk, mis sarnaselt forsseeritud kaudprisega ottomootoril ei ületa tavatingimustes 7 MPa. Võrdluseks on võetud sarnase

disainiga ning võrreldava erivõimsusega modifitseeritud Opel C20LET silindrirõhu andmed. [14] Detonatsiooni puhul on võimalik silindrirõhu kasv kuni 15 MPa-ni. Standartse CA18DET-i maksimaalne silindrirõhk suurimal koormusel on 3,1 MPa, mis tähendab, et käesolevas töös käsitletavas mootoris on suurenenud rõhk 125%.

Neljasilindrilise ridamootori konstruktsiooni tõttu tekivad igal vääntvõlli poolpöördel seal ka inertsjõud mis ühesuguse võnkesageduse tõttu liituvad. Igal täispöördel tekkivate inertsjõudude võnkesagedused on aga teineteisega vastasfaasis ja tasakaalustuvad [9, p. 25]. Käsitletava mootori pööretepiirik on tõstetud 7500 pealt 8000 p/min pöörlemissagedusele.

3. SUURENDATUD VÕIMSUSE MÕJU MOOTORI TÖÖKINDLUSELE

Suurendatud rõhk silindris põhjustab mitmeid probleeme, nii mehaanilisi kui füüsikalisi.

Suurem rõhk silindris tähendab ka kolvile avalduvat suuremat jõudu. Selle jõu saab arvutada järgneva valemiga:

(2)

$$F = p \cdot S,$$

kus $F[N]$ – jõud,

$p[kPa]$ – maksimaalne rõhk silindris,

$S[mm^2]$ – kolvipõhja pindala. [4]

Tehasemootoril on see jõud 16,9 kN, töös käsitletud modifitseeritud mootoril 38,3 kN.

Selliseid mootoreid varem koostanud inimeste kogemustele tuginedes võib väita, et tehases koostatud mootori kolvid ja kepsud ei talu nii suurt koormuse tõusu. Sellise koormuse juures purunevad tavaliselt kolvirõngaste sooned kolvis, mis mõjub hävitavalt silindriseintele ja mootori kompressioonile. Valmistajatehases paigaldatud kepsud ei talu nii suurt dünaamilist koormust ning võivad puruneda või deformeeruda, suure tõenäosusega muutes kõlbmatuks ka mootoriploki ja vāntvõlli. [22]

Kuna erinevalt enamikust tavamootoritest, kus vāntvõll on valatud malmist, on CA18DET vāntvõll sepietatud legeeritud terasest, olles sarnane pigem kõrgforsseritud mootorites kasutatavale ja on seega paremini vastupidavad suurendatud dünaamilisele koormusele [22]. CA18DET vāntvõllile selline võimsus asjatundjate kogemusele tuginedes tavaliselt probleeme ei valmista, niikaua kui see on korrektselt töödeldud, tasakaalustatud ja õigete tolerantsidega koostatud. Vāntvõlli liugepindade

vastupidavus sõltub enamasti õlitussüsteemi efektiivsusest. Väntvõlli kui terviku vastupidavus sõltub, aga selle tasakaalustatusest ja mootoriploki korrasolekust.

Ideaalse gaasi seadustest, nimelt Charles'i seadusest on teada, et

(3)

$$p/T = \text{const, kui } V = \text{const,}$$

kus $p[\text{Mpa}]$ – gaasi rõhk,

$T[^\circ\text{C}]$ – gaasi temperatuur,

$V[\text{m}^3]$ – gaasi ruumala.

See tähendab, et sama ruumala juures suureneb gaasi rõhk võrdeliselt temperatuuriga. [4]

Tulenevalt sellest seadusest on modifitseeritud mootoril vaja arvestada ka silindrirõhu tõstmisel kaasneva kõrgeenenud temperatuuriga ja vajadusega salvestada suurem hulk soojusenergiat, mis suurema võimsuse juures vabaneb. Teadagi on sisepõlemismootori efektiivsus suhteliselt madal ja vähemalt 60% energiast muundub otseselt või kaudselt soojusenergiaks, 30% sellest salvestub jahutussüsteemi. Seega suureneb võimsuse suurendamisel ka vajadus jahutussüsteemi efektiivsust tõsta. [9, p. 641]

Ekstreemsed temperatuurid ja suurenenud koormus tõstavad tähelepanu alla ka mootori õlitussüsteemi. Mitmekordselt suurenenud koormus laagriliudadele kepsudes ja mootoriplokis tähendavad vajadust suurendada õlikiilu kandevõimet ja vähendada hõõrdumist tehases palju väiksemate jõudude tarvis konstrueeritud hõõrdepaarides.

Suurenenud silindrirõhk paneb ka suure koormuse plokikaane kinnituspoltidele ja plokikaanetihendile. Suurenenud silindrirõhu tulemusena on tehases ettenähtud plokikaanetihend tavaliselt esimene lüli, mis võimsust suurendades järele annab [22]. Seda nähtust soodustavad ka detonatsioon, töötlemata ploki- ja plokikaane pinnad ning tehases ettenähtud pingutusmomentide ja poltide kasutamine.

4. LAHENDUSED PARANDAMAKS TÖÖKINDLUST

Kuna tehases projekteeritud osad ei ole mõeldud nii suure koormuse jaoks, kui on selles töös käsitletava mootori prognoositavad väliskarakteristikud, siis tuleb välja selgitada, millised detailid on vaja modifitseerida, millised asendada ja millised sobivad ka muutmata jätta.

4.1. Vântmehhanism

Kuna vântmehhanism on sisepõlemismootori töö kõige olulisem element, detailide kogum, mis muudab gaaside põlemisenergia pöördemomendiks, siis on suurim tähelepanu pööratud just sellele.

4.1.1. Kolvid

Kolb on sisepõlemismootoris osa, mis vajab kõigema suuremat paindlikkust ja peab täitma üheaegselt mitut ülesannet. Esiteks peab kolb taluma kokkupuude temperatuuridega -30 (ekstreemne külmkäivitus) ... $+2000$ °C (põlemisprotsessi temperatuur töotakti alguses). Teiseks on kolvi ülesanneteks silindris nii tihendada, puhastada kui määrada [9, p. 47]. Kolb on ka esimene lüli ahelas, mis muudab gaaside põlemisenergia vântvõlli pöördliikumiseks, võttes vastu suurima koormuse, mis sellel protsessil tekib.

Kolvi osadeks on kolvipea ja hõlm. Kolvipõhi on kolvipea ülemine osa – piirkond, mis saab töotaktil suurima koormuse ja temperatuuri osaliseks. Kolvipõhi võib olla nii täiesti tasapinnaline, kui ka erikujuline, moodsate mootorite puhul enamasti küll viimast. Erikujuline võib kolvipõhi olla mitmel põhjusel:

- väljatõrjuga, et suurendada surveastet;
- süvisega, et madaldada surveastet;
- erikujuga, et soodustada põlemisprotsessi silindris;
- väljalõigetega, et tagada klappide vaba liikumisruum;

- erikujuline, sest on põlemiskambri üks osa (diiselmootorid).

Tihti on kolvipõhja konstrueerimisel kasutusel mitme lahenduse kombinatsioon. [9, p. 53]

Kolvipeas asuvad ka sooned kolvirõngastele. Enamusel seeriaautode kolbidel on 3 rõngasoont – kaks surverõngastele ja üks õlirõngale. On ka erijuhutumeid, näiteks mõned võidusõidumootorid, kus kasutatakse vaid üht surverõngast või suure koormusega diiselmootorid, millel on lisaks üks või kaks rõngasoont. Kolvirõngaste sooned peavad olema valmistatud äärmise täpsusega, et tagada hea tihenduskindel kolvi ja rõnga vahel. [9]

Kolvihõlmas asuvad ka tugevdatud avad kolvisõrmede jaoks. Kolvisõrm ühendab kolvi kepsuga. Kolvi sõrmed on kahte tüüpi – liikumatud ja ujuvad. Liikumatud sõrmed on paigaldatud kepsu pressistuga ja sõrm liigub vaid kolvi suhtes. Kolvi ja sõrme vaheline lõtk on sel juhul 0,008...0,012 mm. Ujuva kolvisõrme puhul on sõrm kolvis ja kepsus lõtkuga 0...0,004 mm, kolvi ja sõrme kuumenedes lõtk suureneb kuni 0,015 mm-ni [11]. Sõrme telgrikkumist takistavad kolvisilma ringsoontesse paigaldatud tõkkerõngad. [12]

Kuigi kolvid liiguvad silindris, ei ole need ise täielikult silindri kujuga. Alumiiniumi suure soojuspaisumisteguri tõttu on vajalik, et kolvi pinnad, kus paikneb rohkem materjali ja mis kuumenevad töötükli jooksul rohkem, oleks väiksema mõõduga, kui vähem kuumenevad osad. Seetõttu tehakse kolvipea koonuse kujuga ja hõlm ovaalse kujuga. Vaid kolvirõngaste sooned on täielikult ringikujulised. [9]

Kolvipea kuju on tingitud asjaolust, et see on kogu ristlõike ulatuses täismaterjal ning silindrilise kuju korral kiiluks see soojuspaisumise tõttu silindrisse kinni. Kolvipea on kolvi suuremast läbimõõdust seetõttu 0,1...0,25 mm võrra väiksem. Hõlm töödeldakse ovaalseks, sest seal asuvad palju materjali sisaldavad kolvisilmad, millele peab andma soojuspaisumise jaoks rohkem lõtku. Ovaalsus jääb üldiselt piiridesse 0,3...1,0 mm. Vähendamaks vajadust ovaalseks töötlemise järele, on paljudel kolbidel kolvisilmade kohal süvised, vähendades pindala, mis kuumenedes rohkem paisub. Kolvide soojuspaisumise vähendamiseks kasutatakse tihti hõlma sisse valatud terasest tükki, mis oma väiksema soojuspaisumisteguri tõttu tekitab pingemomendi, mis ei lase kolvil paisuda nii ebaühtlaselt, kui see ilma lisatud terasetükita paisuks. See võimaldab töödelda kolvid väiksema ovaalsusega ja väiksema lõtkuga silindris. [9, p. 49]

Võttes arvesse kolvi väga suure osatähtsuse mootori töötamisel ja töökindluse tagamisel, on võimsust suurendades vajalik hinnata standardkolvi sobivust konkreetse lahenduse juures. Alati ei

ole standardkolb ebapiisav. Seetõttu tuleb võrrelda, millised on standardkolvi ja millised võidusõiduks projekteeritud järelturu kolvi omadused, eelised ja puudused.

Enamusel seeriaviisiliselt valmistatud sõiduautomootoritel on alumiiniumsulamist valatud kolvid. Vanematel ja madala forsseeringuga (erivõimsusega kuni 60 kW/l) mootoritel kasutatakse kolbide valmistamisel alumiiniumsulamit, milles on legerivaks elemendiks kuni 12% räni. Sellist sulamit nimetatakse silumiiniks. Räni tõstab alumiiniumi kulumiskindlust ja vähendab soojuspaisumistegurit, olles seega väga olulise tähtsusega just kolbide konstrueerimisel. Seeriaautode mootorite kolbide konstrueerimisel on tähtsaimaks argumendiks tootmise lihtsus ja odavus. Vähem tähtis pole ka kasutusmugavus ja säästlikkus, seetõttu on need kolvid valmistatud selliselt, et väheneks lõtk kolvi ja silindri vahel ja oleks saavutatud võimalikult hea tihendus juba enne mootori töötemperatuuri saavutamist. Selleks valmistatakse kolvid kasutades valutehnoloogiat. See tagab võimalikult väheste materjalikulu ning hõreda terastruktuuriga toote, mille soojuspaisumistegur on väiksem, kui sepistatud tootel. [6]

Viimaste aastakümnete jooksul esile tõusnud keskkonnasäästlikkuse tõstmine igas valdkonnas on viinud ka autoinsenerid uute lahenduste otsingule. Peamine arengusuund on olnud üleminek väiksema töömahuga kõrgelt forsseeritud mootoritele (erivõimsusega üle 90 kW/l) See on tekitanud vajaduse muuta ka kolbide tootmistehnoloogiat. Tähtsaim muutus on üleminek suurema ränisisaldusega alumiiniumsulamile [9, p. 51]. Varasema 12% asemel võib moodsates automootorites kasutatavate kolbide ränisisaldus ulatuda kuni 19%-ni. Kuna normaalingimustel pole alumiiniumis võimalik lahustuda rohkem kui 12% räni (eutektne sulam - eutektoid), on selleks kasutusel võetud spetsiaalsed vormid ning valu- ja jahutustehnoloogiad, et tagada räni täielik jaotumine alumiiniumi struktuuris. Alumiiniumsulamit räni sisaldusega üle 12% nimetatakse üleeutektseks. [6]

Üleeutektsest sulamist valmistatud kolvid on palju väiksema soojuspaisumisteguriga kui eutektsed. Suur hulk räni molekule sulamis toimivad ka kui soojusisolaatorid, hoides kõrge temperatuuri kolbi neeldumast, aidates veelgi kaasa väiksemale soojuspaisumisele. Kuna räni lisamine tõstab ka kolvi kulumiskindlust, muutes sulami struktuuri kõvemaks, on üleeutektsed kolvid vastupidavamad suurte silindrirõhkude tõttu suurenenud külgkoormusele töötaktil alla liikudes. Räni lisamise negatiivne pool on hapruse suurenemine, mis suurendab kolvi purunemise ohtu suurte löökkoormuste nagu detonatsiooni ja hõõgsüüte korral. Seetõttu on üleeutektne sulam hea valik tehases valmistatud kõrge forsseeringuga mootorite puhul, kus on põlemisprotsess väga täpselt kontrollitav

ning kus on mootorite arendamisele ja varieeruvates tingimuste katsetamisele kulutatud tuhandeid tunde, et võimalikke probleeme vältida. [6]

Võidusõidumootorite ehitamisel kasutatakse eranditult sepistatud kolbe. Selliste kolbide terasruktuur on valmistamisel rakendatud ülikõrge rõhu tõttu palju tihedam, kui valutehnoloogiaga valmistatud kolvil [6]. Sellised kolvid taluvad paremini tsüklilist koormust ja ka mõningast detontatsiooni.

Kuna terastruktuur on tihedam ja samas hulgas materjalis on rohkem molekule, on sepistatud kolvi soojuspaisumistegur suurem kui valatud kolvil. Suurema soojuspaisumise tõttu istuvad sepistatud kolvid silindrisse suurema lõtkuga ja võivad enne töötemperatuuri saavutamist tekitada kloppivat heli ja suurendada õlikulu.

Sepistatud kolbe valmistatakse üldiselt kahte tüüpi alumiiniumsulamist: 4032 või 2618 margitähisega sulamist. [20]

4032 sulam sisaldab kuni 12% räni ja on eutektne sulam, millest valmistatud kolb talub suuremat koormust ja on vähem habras kui üleutektsest sulamist valatud kolb. Suurest ränisisaldusest tingitud väiksema soojuspaisumise tõttu on sellist kolbi tänu tootmistehnoloogiate arengule võimalik valmistada ka lõtkuga, mis ei oleks oluliselt suurem tehase ettenähtust. [20]

2618 sulam sisaldab räni kuni 2%, olles eeleutektne sulam. Vähesese räni sisalduse tõttu vähenenud haprus muudab sellise kolvi väga tugevaks ja vastupidavaks kõrgele koormusele. Selliseid kolbe kasutatakse tihti suure koormusega diiselmootorites ja ülikõrgelt (250 kW/l) forsseeritud võidusõidumootorites. Väike räni sisaldus ja sepistatud sulami tihe terastruktuur tähendavad, et sellisest sulamist valmistatud kolb vajab suuremat külmlõtku ja põhjustab mootorimüra suurenemist. [20]

Tabel 1

Kolbide valmistamisel kasutatavate alumiiniumsulamite füüsikalised omadused [15]

Materjal	Tõmbetugevus, MPa	Voolavuspiir, MPa	Kuumpaisumistegur, $\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$
Eutektne silumiin			$19,5 \cdot 10^{-6}$
Üleeutektne silumiin			$17,5 \cdot 10^{-6}$
4032	359	331	$19,4 \cdot 10^{-6}$
2618	440	370	$25,9 \cdot 10^{-6}$

Võidusõiduks konstrueeritud sepistatud kolbide erinevus tavakolvist on ka kolvirõngaste vahekauguste muutus, et tagada surverõngastele võimalikult suur tugiala. Selline lahendus tagab kolvirõngaste tihendusvõime säilimise ka väga kõrgete silindrirõhkude ning võimaliku detonatsiooni korral. Suurendatakse ka esimese surverõnga kaugust kolvipõhjast, tõstmaks kolvi ülemise serva tugevust. [20]

Käesolevas töös käsitletud mootoris kasutatakse 0,5 mm ülemõõdus (83,5 mm) 4032 sulamist sepistatud kolbe tootjalt Wiseco (Sele 4.1.1.1). 4032 sulam sai valitud kuna tegu on ka tänavaliikluses osaleva autoga ja tähtsad on ka mootori omadused tavakasutuses. Seega suure lõtkuga ja seetõttu mürarikkad 2618 sulamist kolvid jäid valikust välja.

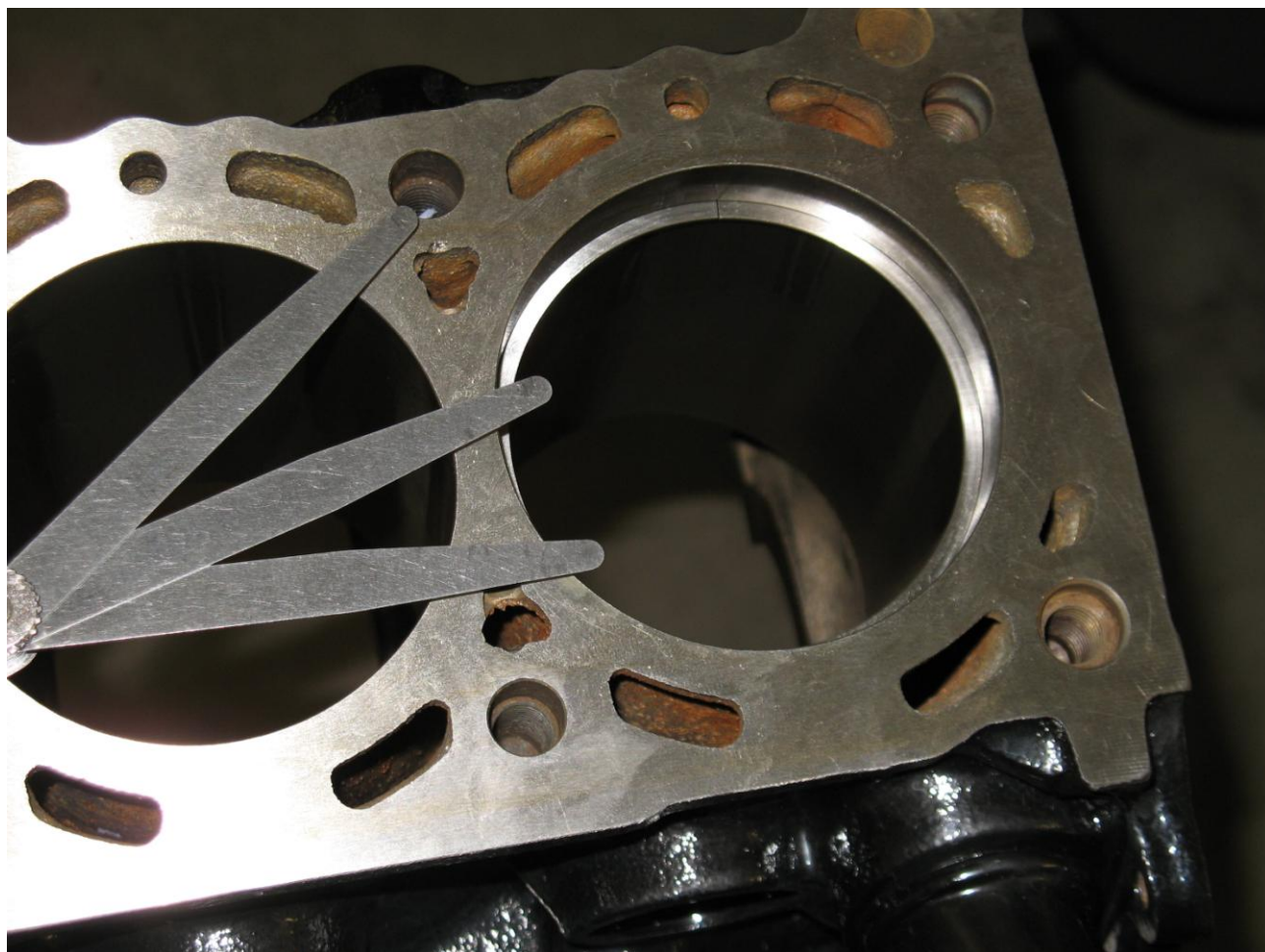


Sele 4.1.1.1 Wiseco kolb [20]

Wiseco kolbide lisaväärtusteks on ka hõõrdumisvastase kattega kolvi hõlm, ning detonatsioonivastased sooned esimese surverõnga kohal. Hõõrdumisvastane kate vähendab hõõrdumist kolvihõlma ja silindriseina vahel, vähendades hõõrdekadusid ja tagades kolvi pikema tööea. Detonatsioonivastased sooned on kolvi hõlma ülemisse ossa freesitud sooned, mis toimivad kui puhvertsoonid, kaitsmaks detonatsiooni korral ülemist surverõngast. [20]

Wiseco kolbidega komplektis on ka kolvirõngad. Esimene surverõngas on molübdeenkattega kõrgtugevast malmist rõngas, mille heaks omaduseks on kiire sissetöötamisaeg s.t. puudub vajadus pika madala koormusega rõngaste sisse töötamise järele. Teine rõngas on valmistatud legeeritud hallmalmist ning selle ülesandeks on põlemisgaaside hoidmine põlemiskambris kui ka liigse õli eemaldamine silindriseinalt. Paremate puhastusomaduste tagamiseks on selle rõnga alumine serv väikese väljalõikega, mis aitab õli silindrilt maha kraapida. Kolmas rõngas on mitmeosaline õlirõngas, mis koosneb kahest terasest rõngast ning ühest laiendist, mille ülesanne on rõngaid laiali ja vastu silindri pinda suruda. [20], [9, p. 55]

Wiseco kolvirõngad on toodetud väga väikese lukupiluga, et anda kasutajale võimalus kohandada need oma vajaduse järgi. Mida suurem koormus mootorile ja suurem silindri erivõimsus, seda suurem lukupilu tuleb valida. Seejuures tuleb materjalide erineva soojuspaisumise tõttu valmistada esimese kolvirõnga lukupilu väiksem kui teise rõnga oma. Rõngaste lukupilu suurendatakse rõnga ühest otsast materjali maha viilimisega. Pärast viilimist paigutatatakse rõngas vastavasse silindrisse ning mõõdetakse lehtkaliibriga pilu laiust (Sele 4.1.1.2). Konkreetse mootori puhul sai pilude laiuseks valitud esimesel rõngal 0,45 mm, teisel rõngal 0,50 mm ning õlirõngastel 0,25 mm. [20]



Sele 4.1.1.2 Lukupilu mõõtmine [24]

Kui Nissani poolt toodetud kolvid peavad silindris istuma lõtkuga 0,015...0,035 mm, siis suurema paisumisteguriga sepiastatud Wiseco kolvid on tootja poolt soovitatud silindrisse paigaldada 0,08...0,1 mm lõtkuga [20]. Võttes kuulda varem Wiseco kolbidega kokku puutunud mootoriehitajaid ja arvestades mootori suurt erivõimsust sai lõtkuks valitud 0,1 mm [22].

4.1.2. Kepsud

Keps on sisepõlemismootori detail, mis ühendab omavahel sirgelt edasi-tagasi liikuva kolvi ja pöörleva vāntvōlli. Kepsu osadeks on ülemine pea, sār ja alumine pea. Ülemises peas on ava kolvisōrme paigaldamiseks, et ühendada keps kolviga. Alumine pea on lahtivōetav, et vōimaldada kepsu paigaldamist vāntvōlli vāndakaelale. Kepsu alumine pea koostatakse polditava kaanega. Sār on tavaliselt I-kujulise ristlōikega osa, mis ühendab omavahel alumise ja ülemise pea. [12]

Kuna keps on ühenduses kahe erinevas suunas pōrleva detailiga, mōjuvad sellele ka mitu erinevas suunas toimivat jõudu. Ühed neist on inertsjōud, mis tekivad kolvi surnud seisudest kiirendamisel ja sinna jõudmisel. 8000 p/min pōrlemissageduse juures on neljasilindrilisel mootoril selliste jõudude vaheldumise sageduseks ühel kepsul 533 Hz, sedavōrd suure tsüklilise koormuse tõttu on kepsu juures väga tähtis suur vāsimustugevus. Vāhem tähtis pole ka suurendatud silindrirōhust tingitud suurem jõud (2) kepsu allaliikumisel tōotakil, mille sageduseks 8000 p/min juures ühel kepsul on 66 Hz. Konkreetsete kasutustingimuste juurde sobiv vāsimustugevus saavutatakse valides kepsu valmistamisel kasutatud materjalide, valmistamistehnoloogiatega ja konstruktsioonide vahel.

Seeriaviisiliselt valmistatud mootorite kepsud on valmistatud sepistatud terasest. Levinud on ka pulbermetallurgia tehnoloogiat kasutades valmistatud kepsud, mille eelisteks on materjali väga ühtlane terastruktuur ja vāike materjalikadu, kuna detailid on vōimalik kohe valmistada väga vāikeste tōötlemisvarudega. [9, p. 60]

Sepistatud kepsud valmistatakse seeriamootorite puhul tavaliselt keskmise süsinikusisaldusega terastest nagu SAE1045 vōi SAE1038 (Tabel 2), millel on süsinikusisaldus vastavalt 0,45% ja 0,38%. Sellisest terasest valmistatud kepsud on standardmootoritele piisava tugevusega ja seega ei ole nende puhul vāsimustugevusega probleeme. Kui aga tōsta silindirōhku ja samas suurendada ka pōrlemissagedust, muutuvad kepsule mōjuvad tsüklilised jõud suures mahus ning vōivad põhjustada kepsus vāsimuspragude teket ning deformatsioone, mis viivad kepsu hāvimiseni. [9]

Tabel 2

Kepsude valmistamisel kasutatavate teraste füüsikalised omadused [15]

Materjal	Tõmbetugevus, MPa	Voolavuspiir, MPa	Katkevenivus, %
SAE1045	565	310	16
SAE1038	570	485	12
SAE4340	745	470	22

Enamus moodsaid mootoreid koostatakse ujuva kolvisõrmega. Selleks pressitakse kepsu ülemisse peasse pronkspuks, mis tõstab kolvisõrm-keps liite kulumiskindlust ja omakorda pehmendab löökoormustel tekkivat võimalikku löikepinget. Mootorid, millel paigaldatakse kolvisõrm ülemisse peasse pinguga võib valmistada väiksema välisdiameetriga peaga, kuna neil ei ole vaja sõrme ja pea vahele lisaruumi puksi mahutamiseks. [3, p. 76]

Võidusõidus kasutatakse eranditult ujuva sõrmega lahendusi, kuna need tagavad kolvisõrme ühtlase koormamise ja väheneb risk väsimuspurunemise tekkeks. Lisaks on ujuva sõrmega mootoreid lihtsam demonteerida ja komplekteerida, vähendades ajakulu.

Võidusõidus kasutatakse nii I-kui H-profiiliga säärega kepse. Kummagi eelised teise ees on täpselt selgitamata. Tähtsam aspekt kui profiil, on kepsu valimisel selle materjalid ja töötlusviisid. Levinuim materjal kepsude valmistamiseks võidusõidu tarbeks on SAE4340 – keskmise süsinikusisaldusega (0,40%) nikkel-kroom-molübdeen teras. Sellise terase omadusteks on väga suur sitkus ja tugevus võrreldes 10XX seeria süsinikterastega (Tabel 2). [15]

Sitkus väljendab materjali omadust taluda koormamisel olulist deformeerimist enne purunemist [6]. Suur sitkus aitab kepsul taluda tsüklilisi koormusi paremini, kuna keps on elastsem ja seetõttu on väiksem oht ka väsimuspragude tekkeks.

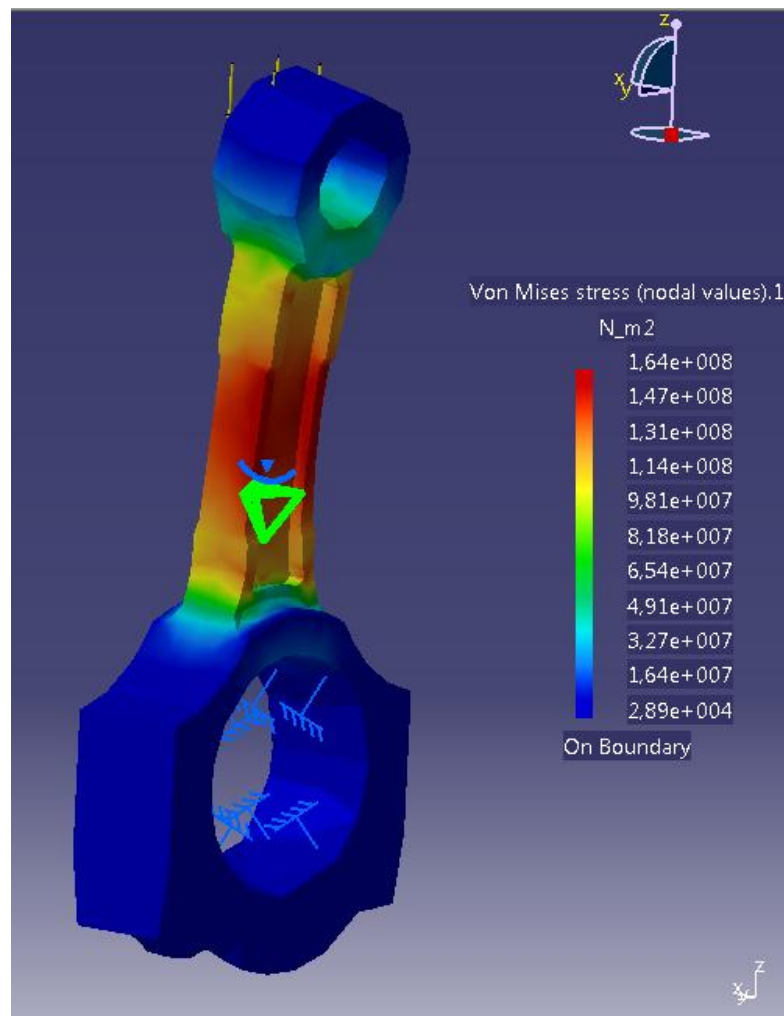
Võidusõidukepsud võivad olla nii sepistatud kui ka toorikust väljalõigatud, kasutades freespinke. Levinuimad on siiski sepistatud kepsud, kuna nende valmistamisel kasutatud suure rõhu tõttu korraldub materjali terastruktuur täpselt kepsu kuju järgivaks. Pärast sepistamist läbivad

võidusõiduks loodud kepsud ka haavalkalestamise protsessi, mille tulemusena materjali pindmine kiht kalestub ja tekivad survepinged, vähendades pingekontsentraatoreid detailis ja takistades veelgi väsimuspragude teket. [3, p. 71]

Mõnel juhul on võimalik ka modifitseeritud seeriakepsu kasutada võidusõidus. Selleks on vaja veenduda kepsu konstruktsioonilises sobivuses, koostades kepsule sellele mõjuvaid jõude arvesse võttes lõplike elementide analüüs. Arvesse tuleb võtta, et tehases projekteeritud detailide tugevusvaru on tavaliselt vähemalt 125%, sama suurt varu tuleks jälgida ka võidusõidumootori projekteerimisel. Kui keps selle rahuldaval määral läbib, on alles mõistlik seda modifitseerima hakata. Modifitseerimine hõlmab endas pingekontsentraatorite mehaanilist eemaldamist, siludes kepsude pindu ja kaotades teravad üleminekud kepsu pinnal. Pärast mehaanilist töötlemist on vaja tasakaalustada omavahel kogu mootori kepsude kaalud. Sellisele töötlemisele järgneb haavalkalestamise protsess, tõstmaks kepsu pinna vastupidavust väsimusele. [2, p. 67]

Tihti ei ole seeriamootori kepsud siiski suutelised vastu võtma jõude, mis tekivad mootori ulatuslikul modifitseerimisel ja on vaja asendada tugevamate detailidega, mis on loodud võidusõiduks. Seeriamootorite kepsude probleemid taanduvad odavuse ja töötlemise lihtsuse jaoks tehtud kompromissidele. Enamus kepsurikkeid on põhjustatud varre kõverdumisest, vähem kepsu alumise silma purunemisest. Varre kõverdumine on põhjustatud kepsu liiga väikesest ristlõikepindalast, liiga nõrgast materjalist või kehvast konstruktsioonist. [3, p. 68]

Lõplike elementide analüüs (Sele 4.1.2.1) näitab, et CA18DET standardkeps ei ole prognoositava võimsuse jaoks piisava tugevusega, kuna selle varre osa on töödeldud liiga väikese ristlõike peale, mis tekitab selles piirkonnas olulist deformatsiooni, mida ei suuda SAE1045 materjalist seeriakeps pikemal kasutamisel välja kannatada. Sellise kepsu kasutamine suurendatud silindirõhu ja pöörlemissageduse juures viib kepsu kõverdumise või purunemiseni.



Sele 4.1.2.1 Standardkepsu analüüs [24]

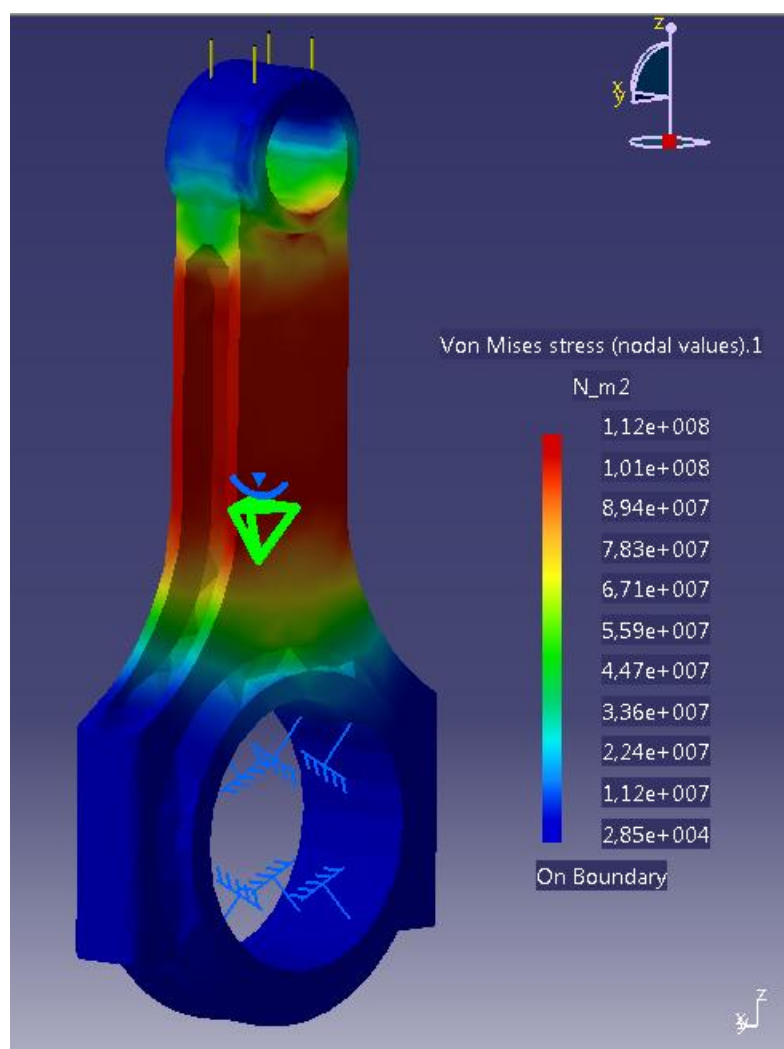
SAE4340 materjalist valmistatud H-kujulise ristlõikega keps tootjalt Eagle, mille lõplike elementide analüüs näitab väiksemaid pingeid kui standardkeps, sobib antud mootoris paremini. Konkreetse H-profiiliga kepsu parem konstruktsioon on välja loetav Selet 4.1.2.2. Võrreldes standardkepsuga, ei teki selles nii suuri pingeid (164 MPa vs 112 MPa) ja tekkivad pinged ei ole ühte piirkonda kontsentreeritud vaid jagunevad laiemale alale. Ühte piirkonda kontsentreeritud pinged tõstavad oluliselt võimalust detaili purunemisele või jäävale deformatsioonile selles piirkonnas, seega on alati kasulik pinged hajutada võimalikult suurele alale, et detail oleks ühtlasemalt koormatud [6].

Võttes arvesse tugevusvaru, rahuldavad H-profiiliga kepsud ka selles aspektis, tagades 319% tugevusvaru, samas kui standardised I-profiiliga kepsud ei suuda täita ka tehase nõutavat 125% tugevusvaru.

Tabel 3

Erinevate kepsude tugevusvaru [24]

Kepsu tüüp	Maksimaalne pinge, MPa	Pinge tugevusvaruga 125%, MPa	Voolavuspiir, MPa	Reaalne tugevusvaru, %
I-profiil	164	369	310	89
H-profiil	112	252	470	319



Sele 4.1.2.2 H-profiiliga kepsu analüüs [24]

Lisaks täiuslikumale konstruktsioonile on need kepsud väiksema kaaluga kui originaalid, mis tähendab vääntvõlli mõjuvaid väiksemaid inertsjõude, vähendades võimalust vääntvõlli väsimuspurunemisele (4.1.4). Kuna käesolevast töös käsitletud mootori jaoks komplekteeritud kolvi ja kepsu mass on tehases valmistatust 20% väiksem (940 g võrreldes 1140 g) ning pöörlemissagedust on tõstetud vaid 6%, ei ole vajalik teostada kepsu tugevusanalüüsi tõmbele.

Kepsu alumine pea on enamasti tasapinnaliste liitepindadega, kuigi mõndadel moodsatel kepsudel võivad need olla ka murtud s.t. kepsud valmistatakse monoliitsena ja püsivad sellised kuni mootoris paigaldamiseni, enne mida alumine kaas mõõduka löögiga kepsust eraldatakse. Murtud pinna eelisteks on ideaalne sobivus kepsu ja kaane vahel ning kindlam kepsu alumise silma ümaruse säilimine. Traditsiooniliselt valmistatud kepsud sepiatakse küll ühtse detailina, kuid enne järeltöötlust ja kepsusilmade puurimist ja hoonimist lõigatakse kaas maha ja töödeldakse liitepinnad tasapinnaliseks. Selliselt koostatud kepsu alumise pea samatelgsus tagatakse kas väga täpselt töödeldud kepsupoltidega, mis töötavad kui juhikud või poldiavadesse pressitud hülssidega, mis paigutuvad pingistuga vastaspinna sisse freesitud avadesse. Tasapinnaliselt töödeldud pinnad võivad siiski omavahel nihkuda töötlemistäpsuse võtta, kui aga murtud pinnaga liite täpsus on võrreldavas mõõtepiirkonnas metalli terastruktuuriga. [9, p. 60]

Kepsu alumine pea saab koormuse nii kolvi üles kui alla liikudes. Alla liikudes saab see suurima koormuse töotaktil, kui kepsule mõjub survejõud, mida tekitab kolvile mõjuv gaaside paisumisrõhk silindris. Survejõule on alumine silm vastupidav, kuna on selles suunas monoliitne ja kepsu konstruktsioon on just survele kõige vastupidavamaks konstrueeritud. Kolvi kiirendamisel ülemisest surnud seisust alla liikudes, mõjub kepsu alumisele silmale tõmbejõud. Tõmbejõud on seda suurem, mida suurem on kolvi ja kepsu kaal ning mida kõrgem on vääntvõlli pöörlemissagedus. Kuna kepsu alumine silm on lahtivõetav, sõltub alumise pea vastupidavus väga suurel määral kepsupoltidest. [3, p. 72]

CA18DET-i ja valdaval osal teistel seeriaviisiliselt toodetud mootoritel kasutatakse kepsude koostamisel 12.9 tugevusklassiga polte voolavuspiiriga 1100 Mpa [11]. Olles täiesti sobivad tehases valmistatud ja modifitseerimata mootoris, osutuvad need siiski nõrgaks kui hakatakse suurendama vääntvõlli pöörlemissagedust või paigaldatakse raskemad kolvid, mille kiirendamisel ja aeglustamisel tekivad suuremad inertsjõud.

Üks võimalus kepsupoltide pingutusjõu suurendamiseks on suurendada kepsupoltide ristlõike pindala, kuna maksimaalne pingutusjõud on võrdeliselt sõltuv sellest ja poldi materjali

voolavuspiirist. Suurema läbimõõduga poldid viivad omakorda massiivsema kepsu alumise pea vajaduseni, kuna kepsupoldil peab säilima piisav toetuspind ning kepsusilm nõrgeneb ka lihtsalt poldiavade suuremaks puurimisega. Sellele lisaks on ruum mootori sees piiratud ning suurem kepsusilm võib vāntvōlli pōōrlemisel sattuda kontakti ploki külgedele vōi silindritega.

Kuna poldi läbimōōdu suurendamine pole alati vōimalik on teine lahendus kōrgema voolavuspiiriga poltide kasutamine. Kāesolevas tōōs kāsitletud mootoris kasutatakse kepsukaante kinnitamisel ARP2000 spetsiaalsulamist 3/8-tollise (9,525mm) läbimōōduga polte. CA18DET standardsed kepsupoldid on 9mm läbimōōduga ja 12.9 tugevusklassist. Poldide pingutusjōud ehk jōud, millega polt liidet koos hoiab on vōimalik leida kasutades valemit

(4)

$$P = S_t * A_s,$$

kus $P[N]$ – pingutusjōud,

$S_t[MPa]$ – materjali voolavuspiir,

$A_t[mm^2]$ – ristlōike pindala. [6]

Valemi (4) tulemusena selgub, et standardpoldide puhul on pingutusjōud 69979 N ehk 7135 kg ning 3/8“ ARP2000 poltide puhul 88357 N ehk 9009 kg. Siit selgub, et pelgalt materjali muutuse ja poldi läbimōōdu 0,5 mm suurendamise puhul on vōimalik suurendada pingutusjōudu 26%. [19]

Sama tāhtis kui suur pingutusjōud on vajadus pingutada kōik poldid vōrdselt ja tāpselt. Tehase remondijuhendi jārgi kepsupolte pingutades ei ole vōimalik tagada kōigi poltide puhul vōrdne pingutusjōud. See on pōhjustatud asjaolust, et juhendit jārgides tuleb polte pingutada, jālgides pingutusmomenti. Pingutusmoment vōib aga sōltuda nii poltide pikkuse erinevusest, hōōrdejōust poldi keermel, kui ka poltide pinnakaredusest. Kui pingutada molūbdeenmāārdega ja kuiv polt ūhesuguse momendiga, on pingutusjōud suurem just molūbdeenmāārdega poldil, kuna sellel on vāiksem hōōrdetakistus ja pingutusmoment lāheb suuremal hulgal poldi keeramisele, mitte hōōrdetakistuse ūletamiseks. [19]

Tāpseim moodus ōige pingutusjōu tagamiseks on mōōta poltide venivust. Kuna poldi venivus on otseselt seotud voolavuspiiriga, on poldi pikkust mōōtes vōimalik tagada poldi pingutamine tāpselt voolavuspiirini, ehk kōige suurema jōuni, mille puhul polt ei ole veel saavutanud jāāvat

deformatsiooni. ARP2000 poltide puhul on tootja laborikatsetega kindlaks teinud, millise pikkuse muudu puhul on poldil kõige suurem pingutusjõud. Nende tulemuste põhjal on iga poltide komplektiga kaasa antud juhised, millise venivuseni polte pingutada. Lisaks on komplektis kaasas spetsiaalse koostisega määre, millega on ka laboratoorsed katsed tehtud. [19]

Venivuse määramiseks tuleb mõõta spetsiaalse indikaatornäidikuga (Sele 4.1.2.3) poltide pikkus enne paigaldust, seejärel koostada kepsud väntvõlliga, pingutada poldid nende tootja poolt nõutud esialgse pingutusmomendiga ning mõõta poltide pikkust. Indikaatornäidik on konstrueeritud nõnda, et on võimalik mõõta ka mootoris paigaldatud kepsu kepsupoldi pikkust. Kui poldi pikkus pole piisav, tuleb polti veel pingutada ja taaskord mõõta ning korrata protseduuri soovitud pikkuse saavutamiseni. [19]



Sele 4.1.2.3 Mõõteriist poltide venivuse mõõtmiseks [24]

4.1.3. Vântvõll

Vântvõll on sisepõlemismootori konstruktsioonis detail, mis muudab kolvile mõjuvad jõud pöördemomendiks, mida kasutatakse auto jõuülekande ja mootori lisaseadmete käitamiseks. Vântvõll koosneb võlli- ja vändakaeltest ning neid ühendavatest põskedest. Samal tasapinnal vändakaeltega, kuid vântvõlli pikiteljel 180^0 nihutatud on vântvõlli vastukaalud. Võlli kaelad paigutuvad raamlaagritesse ja kannavad vântvõlli mootoriplokis paiknevates sängides. Vändakaeltele monteeritakse kepsud. Vändakaela telje kaugus vântvõlli pikiteljest määrab kolvikäigu. [12]

Seeriaviisiliselt valmistatud vântvõllid võivad olla valatud hallmalmist või sepistatud terasest. Hallmalmist valatud vântvõllide eeliseks on tootmise lihtsus ja odavus. Sellised võllid on sobivad keskmiselt forsseeritud autodele, mille pöörete piirkond ei ületa 7000. Puuduseks on neil malmi hapruse tõttu madalam vastupanu tsüklilisest koormamisest tulenevale väsimusele. Suurema pööretesagedusega, suurema erivõimsusega ja võidusõidumootorites kasutatakse enamasti sepistatud terasest vântvõlli, millel on tihedam molekulaarstruktuur ja terasstruktuur, mis on moodustunud vântvõlli kuju järgivaks (sarnane puidu kiulisele struktuurile). See annab sepistatud vântvõllile malmist valatud vântvõlli ees eelise, kuna talub tänu suuremale jäikusele ja tugevusele paremini vändakaelte tsüklilisest koormamisest tekkivat väändumist võlli piki- ja ristiteljes. [9, p. 67]

Võlli- ja vändakaelad töödeldakse, et saavutada suurem kulumiskindlus. Levinuimad töötlusviisid on induktsioonvooluga pindkarastamine ja nitriitimine. Nende töötlusviiside eesmärgiks on tõsta kaelte pinna kõvadust, et vältida nende kulumist ja õlilõtku suurenemist. Pindkarastamise puhul kuumutatakse kaelad tempertuurini $850...870^0\text{C}$, ning seejärel jahutatakse järsult. Sellise tegevuse eesmärk on muuta raua kristallstruktuuris austeniit süsinikuga üleküllasutunud ferriidiks ehk martensiidiks. Martensiidi üks füüsilisi omadusi on väga suur kõvadus (kuni 700 HB), mis teeb selle sobivaks suurt kulumiskindlust nõudvatel pindadel [6]. Protsessi kõrvalnähtudeks on kaela tugevuse vähenemine termotöödeldud alas ja järsul jahutusel tekkivad sisepinged. Seega suureneb küll pinna kõvadus, aga väheneb vântvõlli kui terviku väsimustugevus, tehes selliselt töödeldud vântvõllid sobivaks madala kuni keskmise erivõimsusega autodel, mis töötavad mõõdukas pööretevahemikus (kuni 7000 p/min). [9, p. 68]

Suure erivõimsusega forsseeritud mootorites ja võidusõidumootorites on levinuimaks viisiks kaelte kõvaduse tõstmisel nitriitimine. Nitriitimisel kuumutatakse terve vântvõll ammoniaagiga täidetud

keskkonnas temperatuurini 500...5600 °C ning lastakse seal seista vähemalt 24 tundi. Tulemusena tekib kuni 0,25 mm sügavune nitriiditud teras – väga tugev ja kõva (kuni 760 HB) pinnakiht. Nitriitimise tulemusena suurenevad ka survepinged detailis, mis sarnaselt haavekalestamisele tõstavad selle väsimustugevust. [3, p. 61]

CA18DET on oma tootmisaja kohta ebatavaliselt juba tehastest koostatud kasutades terasest sepietatud vääntvõlli, mis on kulumiskindluse tõstmiseks nitriiditud. Seega sobib käesolevas töös käsitletud mootoril kasutada ka originaal vääntvõlli, niikaua kui see on heas korras ja kontrollitud. Kasutatud vääntvõlli ettevalmistamisel puhastatakse vääntvõll nii seest kui väljast põhjalikult, kontrollitakse telgviskumist, mõõdetakse üle kaelte läbimõõdud ja vajadusel poleeritakse need. Kaelte remontimist takistab asjaolu, et lihvimisel eemaldatakse rohkem materjali, kui on nitriiditud pinna sügavus. Seega tuleb pärast kaelte remontmõõtu lihvimist vääntvõll uuesti nitriitida. Kuna selline protsess nõuab spetsiaalse aparatuuri olemasolu, on selline teenus võrreldavas hinnaskaalas uue vääntvõlliga ja majanduslikult mõistlikum on hankida teine kasutatud vääntvõll.

Liugelaagrid peavad olema suure väsimustugevusega, kõrge sulamistemperatuuriga, korrosioonikindlad ja võimega imada mustusosakesi. Liugelaagreid hoiab laagrisängis pöördumast pinguga ist, mis tekib laagrikaante pingutamisel. Laagrite otstel olevad eendid on vaid laagrite kindla asendi tagamiseks sängis. [9, p. 698]

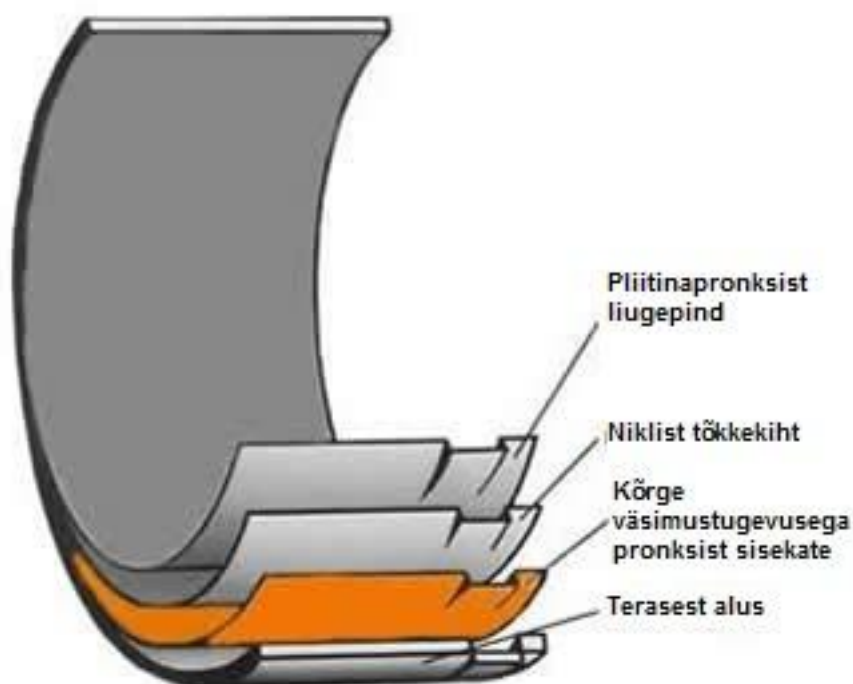
Vääntvõlli töökindluse seisukohalt on väga tähtis valida sinna õiged liugelaagrid. Liiga pehmed liugelaagrid võivad suure koormuse korral deformeeruda, põhjustades mootoris ulatuslikke kahjustusi. Liiga kõva liugelaager võib mustuseosakestega kokku puutudes põhjustada kahjustusi vääntvõlli kaeltele ja rikkuda selle kulumiskindla pinna.

Seega peab liugelaagri materjal olema kompromiss kõva laagri, mis ei deformeeruks detonatsiooni korral ja pehme laagri, mis taluks kokkupuudet väiksemate mustuseosakestega vahel. Nissani originaallaagrid on kolmekihilised terasest aluse, paagutatud pliipronksist vahekihi ja tinaga kaetud liugepinnaga. Selline laager on väga hea standardmootori pikaajalisuse tagamisel, kuna tinakiht on võimeline haarama endasse ka mikroskoopilisi mustuseosakesi, mis pääsevad läbi õlifiltri, vähendades võimalust kaelte kahjustamisele. [22]

Väga suure koormuse ehk suurendatud silindrirõhu või detonatsiooni tulemusena võivad standardlaagrid liialt deformeeruda, põhjustades õlilõtku suurenemise laagri ja kaela vahel, sellest tuleneva õlirõhu languse ning õlikiilu kandevõime vähenemise. Kui väheneb õlikiilu kandevõime, tekib oht laagri ja kaela kokkupuutele kõrgel pöörlemissagedusel. Kaela ja laagri kokkupuutel

kuumenevad mõlema pinnad võides rikkuda nii väntvõlli kui kepsu, halvimal juhul põhjustada kepsu purunemise, mis tavaliselt toob endaga kaasa kogu mootori hävinemise.

Vältimaks sellist situatsiooni on parim valik mootoris valida võidusõiduks ettenähtud laagrid. Nende puhul on tõstetud aluspinna jäikust, säilitades imavate omadustega liugepind. Tüüpiline võidusõiduks konstrueeritud laager on neljakihiline, nagu kujutatud selel 4.1.3.1. Pliitinapronksist liugepinna eesmärk on koguda mustuseosakesi, et need ei saaks kahjustada kaelte pinda. Niklist tõkkekiht takistab pliitinapronksist liugepinna segunemist pronksist vahekihiga. Kõrgtugevast terasest alus tagab suurema pingu laagrite paigal hoidmiseks. [17]



Sele 4.1.3.1 Liugelaagri läbilõige [17]

Nissan Motors on eriti täpsete õlilõtkude saavutamiseks kasutanud viisi, kus laagreid saab valida täpselt oma tolerantsivälja sobima. Nimelt on plokile iga laagrisängi juurde märgitud number, mis väljendab selle sängi tolerantsi. Samuti on väntvõllile märgitud numbrikombinatsioon, mis määrab täpselt selle kaelte tolerantsid. Liites kokku vastava kaela ja sängi tolerantse väljendavad numbrid, on summaks sobiva tolerantsiga laagri number. [11]

Käesolevast töös käsitletud mootoril kasutatakse suuure koormuse tõttu siiski võidusõidu suunitlusega laagreid tootjalt ACL.

4.1.4. Väändevõngete leevendamine

Väntvõlli suure pöörlemissageduse tõttu mõjuvad vändakaeltele, põskedele ja kepsude alumistele peadele suured tsentrifugaaljõud. Need jõud koonduvad raamlaagritesse. Leevendamaks raamlaagritelt tsentrifugaaljõu koormust on väntvõllil vastukaalud. Vastukaalu suurus valitakse kolvi ja kepsu massi ning mootori pööretevahemikku silmas pidades. Kergete kolvide ja kepsude puhul kasutatakse tavaliselt ühekordseid vastukaale. Vändakaelale taandatud kepsu suure kaalu või väikese läbimõõduga kepsukaelte korral on ühekordne vastukaal ebapiisav ning väntvõll võib painduda, koormates laagreid. Seetõttu kasutatakse raskemate kolvide-kepsude puhul kahekordsete vastukaaludega väntvõlle (Sele 4.1.4.1) . [9, p. 25]

CA18DET väntvõll on ühekordsete vastukaaludega, kuid kuna kepsud on kergemad kui originaalid ja väntvõll on terasest sepietatud, valiti käesolevas töös käsitletud mootoris kasutamiseks originaalväntvõll. Peale selle on takistav ka asjaolu, et CA18DET mootorile kahekordsete vastukaaludega originaalmõõdus väntvõlli ei ole toodetud. [22]



Sele 4.1.4.1 Erinevate vastukaaludega väntvõllid [22]

Väntvõlli vändakaeltele mõjub töötaktide vaheldumise tõttu tsükliline tangentsiaalne jõud ja vändasihiline jõud, mis vastavalt tekitavad väntvõllis väändeid ja paindeid. [9, p. 30]

Kuna esimese järgu inertsjõududest põhjustatud vändasihilised paindejõud neljasilindrilises ridamootoris tasakaalustavad teineteist, ei ole tarvis nendega muul viisil tegeleda, kui anda väntvõllile piisav tugevus painetega toimetulemiseks.

Kuna tangentsiaalsed jõud neljasilindrilises reasmootoris mitte ei tasakaalustu vaid liituvad samas faasis, on vajalik need mingil viisil leevendada. Kui väändevõnkeid ei leevendata võib nende sagedus ühtida väntvõlli omavõnkesagedusega ning tekkinud resonantsi tulemusena puruneda väntvõll. Väändevõngete leevendamiseks kasutatakse spetsiaalset summutit, mis asetatakse väntvõlli esimesse otsa. Esimesse otsa seetõttu, et väntvõlli tagumises otsas paikneb suure massiga hooratas, mille järsk kiirendamine ja aeglustamine on raskendatud, seega suureneb väändevõngete amplituud kaugusega hoorattast, olles kõige suurem just väntvõlli esimeses otsas. [9, p. 30]

Väändevõngete summuti koosneb kahes osast: võlli otsale kinnitatud keskmine osa ja sellega elastse kummi kaudu ühendatud välimine osa. Elastse kummi hüstereesi tõttu hilineb välimise osa võnkumine sisemise osa omast, sattudes vastasfaasi väntvõlli võnkesagedusega ja tasakaalustades seda. [9, p. 30]

Kuna CA18DET standardne võnkeleevendi on tehast valmistatud võttes arvesse just selle motori eripärasid ja pöörlemissagedust, on käsitletavas mootoris võetud kasutusele võidusõidumootoritel kasutamiseks mõeldud võnkeleevendi, mille konstrueerimisel on silmas peetud ka 10...20% suurendatud pöörlemissagedust ning suuremast silindrirõhust tulenevat väändevõngete amplituudi suurenemist.

4.2. Mootoriplokk

Mootoriplokk on mootori konstruktsiooni kandev element, mille ülesandeks on mahutada endasse väntvõll, kepsud, kolvid, õlipump, veepump, suur osa jahutussärgist ning õlikanalitest. Plokk peab olema piisavalt jäik, et oleks tagatud laagrisängide ja silindrite telgede ristiseis ning sängide telje ja plokikaane lahutuspinna paralleelsus kogu mootori kasutusvälba jooksul. Plokk peab tagama ka plokikaane fikseerimise õigesse asendisse ja seal püsimise.

Enamlevinud materjalid mootoriplokide valmistamiseks on malm, alumiiniumsulamid ja magneesiumsulamid, kuigi viimastel aastakümnetel on vähenenud magneesiumi kasutamine sellel otstarbel. Malmplakkide eelisteks on suur kulumiskindlus tänu malmi isemäärivatele omadustele, hea jäikus ning tootmise odavus. Puuduseks on aga kaal. Alumiiniumploki eeliseks on väike kaal ja hea soojusjuhtivus, muutes selle eelistatuimaks materjaliks moodsate säästlike autode mootorite projekteerimisel. Kuna ka kolvid on valmistatud alumiiniumsulamist, on sarnase joonpaisumisteguri tõttu võimalik vähendada lõtku kolvi ja silindri vahel. Alumiiniumsulami kasutamise puudusteks on toorme kõrge hind ning jäiga ploki konstrueerimise keerukus. Samuti on alumiiniumplokil suurem tõenäosus deformeeruda ülekuumenemise korral, muutes selle kõlbmatuks. [13]

CA18DET mootoriplokk on valmistatud malmist, muutes selle sobilikumaks kõrgel koormusel töötavale mootorile. Siiski on vaja selle töökindluse tagamiseks teostada lisatoiminguid ning modifitseerida ploki. Esimese tegevusena iga ploki ettevalmistusel on mõõta laagrisängide samateljelisus ja ümarus, et olla kindel ploki korrasolekus. Kui erinevus samateljelisusest või ovaalsus on üle poole väntvõlli võllilaagrite õlilõtkust ehk üle 0,01...0,02 mm, vajavad laagrisängid hoonimist ning remontmöödus laagrite paigaldamist. Kui ühe või mitme silindri koonilisus ületab 0,01 mm või ovaalsus 0,015 mm, vajavad puurimist ja hoonimist ka kõik silindrid. Ploki pealmine lahutuspiind vajab lihvimist kui erinevus tasapinnast on üle 0,1 mm. [11]

Kuna mitmekihilise terasest plokikaanetihendi pind ei deformeeru nii suures ulatuses kui standardne komposiitmaterjalist tihend ja ei võimalda liialt kareda pinna tihendamist, tuleb selle kasutamisel tehases töödeldud pind üle lihvida, et saavutada pinnakaredus alla 1,32 Ra. Tehases töödeldud pinna karedus jääb tavaliselt 1,60...2,40 Ra vahemikku. [23]

CA18DET mootori üheks heaks omaduseks on võllilaagrite kaante omavaheliseks sidumiseks kasutatav lisaraam, mis tõstab mootoriploki jäikust ja tagab laagrisängide samateljlsuse säilimise. Selline raam on kasutusel paljudel Nissan Motorsi poolt toodetavatel mootoritel.

Kuna CA18DET üheks probleemiks on suurenenud koormuse puhul kehv karterituulutus, mis tehases ettenähtust suurema kolvilõtku puhul muutub veel olulisemaks, kuna suureneb kolvirõngastest mööda pääseva gaasi hulk [22]. Et muuta karterituulutust efektiivsemaks on üks võimalus parandada mootorisest aerodünaamikat.

Kolvi üles-alla liikumisel muutub ka karterigaaside rõhk selle silindri all, kuid kuna silindrid on karteri kaudu omavahel ühendatud ruumis ei muutu rõhk nii suureks, et takistada kolvi alla liikumist. Kuna karteris on mootori töötamise ajal laagritest paiskuva õli tõttu tihe õliudu, on

gaaside liikumine kolvi all siiski mõnevõrra takistatud ning suurte rõhupulsatsiooni tõttu suureneb ka karterituulutusest väljapaiskuva õliudu hulk. Et vähendada rõhupulsatsioone karteris ning koormust kolvile selle allaliikumisel, ühendatakse omavahel vastasfaasis olevate kolvidega silindrid võimalikult silindri alumise serva lähedalt. Neljasilindrilisel reasmootoril tööjärjekorraga 1-3-4-2 tähendab see kanali (Sele 4.2.1) loomist esimese ja teise ning kolmanda ja neljanda silindri vahel. Kui ühes silindris liigub kolb üles ja tekitab enda all hõrenduse, liigub teises kolb alla tekitades enda alla surve. Kui muidu tasakaalustaksid need rõhud end liikudes läbi karteri, kus on tihe ja raskesti pumbatav õliudu, toimub nüüd tasakaalustumine vahetult silindri all ning väheneb pulsatsioon karteris. Lisaks väheneb ka mootori võimsuskadu, kuna kolb ei pea tegema karterigaaside kokku surumisel või hõrenduse tekitamisel nii suurt tööd kui varem.



Sele 4.2.1 Kanalid silindrialuste ruumide ühendamiseks [24]

4.3. Plokikaas

Tehases komplekteeritud mootoris suurendatud silindrirõhu rakendamine viib väga tihti ühe tulemuseni: plokikaane tihendi purunemiseni. Plokikaanetihendi purunemine võib-olla põhjustatud nii tihendi disainist kui plokikaane pingutusjõust. Lahenduseks neile probleemidele on mitmekihilise terasest plokikaanetihendi kasutamine ja plokikaane kinnitamisel kasutada poltide asemel tikkpolte. [8, p. 158]

Mitmekihiline terasest plokikaanetihend koosneb tavaliselt kolmest kihist, kuigi on ka viiekihilisi variante. Kaks välimist kihti on stantsitud roostevabast vedruterasest ja kaetud 0,025 mm paksuse elastomeeri kihiga. Keskmise kiht on tasapinnaline roostevabast terasest leht. Viiekihilise tihendi puhul lisanduvad veel üks vedruterasest kiht ja üks tasapinnaline vaheleht. [23]

Vedruterasest kihile on sisse stantsitud kõrgendused silindrite ning vee- ja õlikanalite ümber. Plokikaant kinni pingutades pressitakse need kõrgendused tasaseks, aga vedruterases säiliva pinge tõttu avaldub kõrgenduste kohtadel pinnale suurem rõhk, tagades vajalikud tihendusomadused. Kuna teraslehe pinnakaredus on väiksem plokki ja plokikaane pinnakaredusest, on vajalik nendevaheline kontaktpind tihendada mingil muul moel, selleks on vedruterasest lehed mõlemalt poolt kaetud 0,025mm paksuse elastomeeri kihiga [23]. Kuna Ra 1,32 pinnakareduse puhul on pinna sügavaima ja kõrgeima punkti vahe maksimaalselt 0,0026 mm, piisab 0,025 mm elastomeeri kihist selle tihendamiseks täielikult. Nagu ka mootriplokki puhul, on plokikaane tihendamisel mitmekihilise terasest plokikaanetihendiga vaja tagada kontaktpinna täielik tasapinnalisus ja väike pinnakaredus. Selleks on vaja lihvida maha 0,05...0,1 mm plokikaane kontaktpinnast.

Kui silindrirõhku suurendada, kasvab tõenäosus kaane „tõusmisele“. See on nähtus, kus üksikutel hetkedel suureneb silindrirõhk nii drastiliselt, et ületatakse plokikaanepoltide eelpinge ning suureneb kaugus plokki ja kaane kontaktpindade vahel. Komposiittihend, mis saavutab oma tööasendi kokku surumisel ei ole enam võimeline tihendama, kuna selle paksus on pärast kokkusurumist jääv. Mitmekihilise terasest tihendi vedruterasest lehed annavad end sellisel juhul mõningal määral vetruma, tagades tihendusomaduste säilimise ka kaane „tõusmisel“. [8, p. 160]

Tasapinnaline jäik vaheleht tagab tihendile külgjäikuse. Silindrirõhu järsul tõusul (enamasti detonatsiooni tagajärg) on komposiittihendi puhul suur võimalus, et puruneb põlemiskambrit ümbritsev teraseplekist rõngas ning põlemisgaasid põlevad läbi suhteliselt pehme tihendimaterjali ning pääsevad jahutussärki või plokki ja kaane vahelt välja. Terastihendi suur külgjäikus tagab, et ka detonatsiooni puhul oleks tihendi purunemise tõenäosus väike. [3, p. 106]

Kuna plokikaanetihend püsib paigal enamasti vaid suurde hõõrdeteguri tõttu, mis on tekitatud plokikaane pingutamise plokki külge, on väga tähtis tagada ka plokikaane ühtlane pingutusjõud, et ei esineks ohualteid väiksema pingutusjõuga alasid. Kõige ühtlasema pingutusjõu tagamiseks on vajalik plokikaane kinnitamisel kasutada tikkpolte. Kuigi standardsete poltide ja tikkpoltide mutrite pingutusmoment pole väga erinev (CA18DET puhul vastavalt 103 ja 108 Nm), on erinevate kinnitusvahendite puhul erinev, mis selle pingutusmomendiga tehakse. Polti pingutades mõjub sellele nii vääne kui tõmme, mis tähendab, et pingutusmomenti kulub nii poldi varre väänamiseks kui liitele pingutusjõu andmiseks. Tikkpolidid paigaldatakse plokki ilma pinguta, paigaldatakse tihend ja plokikaas ning seejärel pingutatakse mutritega. Mutriga tikkpolt-liidet pingutades mõjub poldile vaid tõmbejõud, s.t. rakendatav pingutusmoment kasutatakse ära ainult pingutusjõu saavutamiseks. [19]

Käesolevas töös käsitletud mootoris kasutatakse plokikaane kinnitamiseks tikkpolt tootjalt ARP. Lisaks eeltoodud eelistele on neil tikkpoltidel ka suurem voolavuspiir (1380 MPa) [19] kui standardsetel poltidel (1100 MPa) [11]. Kui standardsed polid on vaja ettenähtud pingutusjõu saavutamiseks pingutada üle nende voolavuspiiri ja jääva deformatsiooni tõttu vajavad iga kord demonteerimisel vahetust uute vastu, võib ARP polte kasutada korduvalt, kuna neis toimub vaid plastne deformatsioon ja lõdvestades taastavad need oma esialgsed mõõtmed. See on eeliseks ka võistlusolukorras, kus võib tekkida vajadus mootori kiirele demonteerimisele ja remondile. Kuna võistlusele ei ole alati võimalik kõiki varuosi kaasa tuua, on abiks ka osade korduvkasutuse võimalus.

4.4. Õlitussüsteem

Õli täidab mootoris peale määrimise veel mitmeid ülesandeid: jahutab, tihendab, peseb ja väldib korrosiooni teket. Seetõttu on tähtis tagada, et mootor oleks igal hetkel õliga varustatud ning õli ise oleks oma ülesannete kõrgusel. [9, p. 629]

Mootori detailide õlitamiseks on kolm viisi: surve all õlitamine, paiskõlitus ja valgumine. Surve all õlitust kasutatakse kõige suurema koormusega detailide juures: väntvõlli raamlaagrid, kepsude laagrid ja jaotusvõlli laagrid. Laagrite vahele juhitakse õli piisava survega, et tekiks õlikiil – suure kandevõimega õlikile, mis tagab, et võlli ja laagri vahel ei toimuks kuivhõõrdumist, vaid täielik vedelikhõõrdumine. Õlikiilu kandevõime sõltub neljast faktorist: põõrlemissagedusest, õlilõtkust laagri ja võlli vahel, õlirõhust ning õli viskoossusest. [9, p. 619]

Ühtlase õlikiilu tekitajaks on pöörlev võll, mis haarab endaga kaasa õliosakesi moodustades neist ühtlase kihi. Kui seisva mootori puhul puudub võlli ja laagri vahel kandev õlikiil ning võll on gravitatsiooni tõttu puhkeasendis laagriga kontaktis, siis töötava mootori puhul surub õlikiil võlli üles ja keskele. Mida suurem on võlli pöörlemiskiirus, seda rohkem õliosakesi see endaga kaasa haarab ning seda suurem on ka õlikiilu kandevõime. Õlikiilu kandevõimet suurendab ka suurem õlirõhk, kuna laagri ja võlli vahele tekitatakse suurem rõhk, suurendades õlikiilu tihedust. [9, p. 632]

Õlikiilule kahjulikult mõjub aga liiga väike või suur lõtk võlli ja laagri vahel. Liiga väikese lõtku puhul pole võimalik laagri vahele piisavat hulka õli viia, et pöörlev võll saaks õlikiilu tekitada. Suure lõtku puhul on kiilu tekkimine takistatud, kuna õli on liiga palju ning pöörlev võll ei suuda nii suurt massi kiirendada [9, p. 632]. Et tagada sobiv õlilõtk hõõrdepaaride vahel, on komplekteerides vajalik mõõta lõtk iga laagri vahel. Selleks tuleb kasutada spetsiaalset mõõteriista Plastigage (Sele 4.4.1). Lõtku mõõtmiseks asetatakse Plastigage-i mõõteriba võllile või laagrile, koostatakse laager ettenähtud pingutusega, lõdevestatakse see, demonteeritakse laager ning võrreldakse kokkusurutud mõõteriba laiust etaloniga, kus on märgitud mõõtevahemikud, mis vastavad lõtku suurusele. Komplekteeritud mootoris mõõdetud lõtkud olid kepsulaagritel 0,030 ja raamlaagritel 0,040 mm, mis jäävad tootja poolt ettenähtu piiridesse.



Sele 4.4.1 Lõtku mõõtmine Plastigage-iga [24]

Kuna viskoossem õli tagab suurema õlikiilu kandevõime, on vaja igasse mootoris õli, mis oleks selle töötingimuste juures sobiva viskoossusega. Eesti tingimustes aastaringselt sõitvasse standardautosse sobib tavaliselt kõige paremini 5W-40 viskoossusega õli. S.t. õli, mis -18°C kraadi juures käitub kui SAE 5 ja 100°C juures kui SAE 40. See tagab head käivitusomadused külma ilmaga, kuna õli on küllaltki vedel ja kergelt pumbatav. Mootori töötemperatuuri saavutades on sellise õli viskoossus piisav, et tagada õlikiilu kvaliteet ka kokkupuutel väga kuumade detailidega.

Võidusõiduauto, mis töötab suurema osa ajast suurel koormusel ja valdavalt soojadel ilmul, vajab teistsuguste omadustega õli. Kuna on väga väike võimalus, et selline auto käivitatakse temperatuuridel alla 0 °C, ei ole vajadust väikese külmviskoossusega õli järele. Kuna võidusõidumootorites võivad õli temperatuurid ulatuda 130 °C-ni, on esmatähtis valida kõrge kuumviskoossusega õli ehk selline, mis säilitaks oma määrimisvõime ja oleks piisava viskoossusega ka ekstreemsete temperatuuride juures. [7]

Käeseolevas töös käsitletud CA18DET-is kasutatakse SAE 20W-60 viskoossusega Motul 300V õli, mis on välja arendatud spetsiaalselt silmas pidades pikalt kõrgel koormusel töötavaid võidusõidumootoreid. Tõstmaks õlirõhku, on suurendatud õlipumbas rõhureduktsioonklapi vedru eelpinget.

Alandamiseks kolvipõhjade temperatuuri on CA18DET mootoriplokki tehases paigaldatud õlipihustid, mis pritsivad tihedat õliudu kolvipõhja alla. Kolvi alla pihustatud õli on madalama temperatuuriga kui kolb seega neelab õli kolvilt soojusenergiat ning valgub tagasi karterisse. Kuigi kõige rohkem on neist kasu standardsete valukolbide koormuse vähendamisel, on need omal kohal ka sepietatud kolbidega võidusõidumootoris, vähendades kolvi temperatuuri ja seega vähendades ka selle soojuspaisumist. Kuna kokkupuutel kolviga neelab õli palju soojusenergiat ning ka muidu on kõrge koormusega töötavas mootoris paratamatult õlil kõrgem temperatuur kui tavaautol, on vajalik jahutada ka õli.

Kuigi õli jahtub ka karteri õlivannist mööduvate õhuvoogude toimetel, on selleks ka efektiivsemaid meetodeid. CA18DET puhul kasutatakse õli jahutamiseks jahutussüsteemiga ühendatud vedelik-õliradiaatorit õlifiltri jala küljes. Sellise lahenduse eelis varasemate õhk-õliradiaatorite ees on mootoriõli kiirem soojenemine külmkäivitusel kuna see puutub kokku soojema jahutusvedelikuga. Vedelik-õliradiaatori efektiivsuse tõstmiseks tuleb tõsta jahutussüsteemi efektiivsust.

4.4.1. Õlipuuduse välitamine

CA18DET mootoritel kasutati kahte tüüpi õlipumpasid, mõlemad käitatuna otse vāntvōlli esiotsalt. Varasematel mootoritel kasutati vahejuhikuga sisehambumisega hammasrataspumpa, mis kehva töökindluse tõttu asendati hilisematel mudelitel rootorpumbaga [22]. Tōōs käsitletavale mootorile on paigaldatud hilisema konstruktsiooniga uus pump.

CA18DET üheks puuduseks on kehva õli tagasivool plokikaanest, mis vōib pikaajalisel kõrge pōōrlemissagedusega sõitmisel põhjustada õlipuuduse karteris ning liugelaagrite hāvimise [22].

Lahenduseks sellele probleemile on kas lisada välised õli tagasivoolu torud või suurendada karteri õlivanni mahtu.

Käsitletava mootori õlipump on 1000 p/min juures tootlikkusega 5 l/min [11]. S.t. minuti jooksul pumbatakse mootorist läbi 5 l õli. Kuna rootorpumba tootlikkus on proportsionaalne pöörlemissagedusega, selgub et 8000 p/min juures pumbatakse mootorist läbi 40 l õli. Arvestades, et 15...20% pumbatavast õlist paiskub välja laagrite vahelt [9, p. 633] tähendab see siiski, et plokikaande pumbatakse minuti jooksul 32 liitrit õli. Kui karteris on vaid 3,5 l õli, tähendab see, et absoluutselt ilma tagasivooluta pumbatakse karter tühjaks vähem kui seitsme sekundiga. Siiski on igal mootoril olemas kanalid õli tagasivooluks plokikaanest karterisse. CA18DET puhul on nende kanalite ristlõigete kogupindala 213 mm². Võrdluseks on SR20DET tagasivoolude kogupindala üle 3500 mm², seda küll tänu gaasijaotusmehhanismi kettajami kasutamisele. Tagasivoolu parandamiseks on käesolevas töös käsitletud mootorile lisatud välised tagasivoolu voolikud ristlõigete kogupindalaga 190 mm². Koos standardsete tagasivoolukanalitega teeb see ristlõike pindalaks 403 mm², mis on 89% pindala kasv võrreldes originaaliga. Lisaks on suurendatud õlivanni mahtu 1 l võrra, vähendades veelgi õlipuuduse ohtu.

4.5. Jahutussüsteem

Kuna sisepõlemismootori võimsusest läheb ligikaudu 30% jahutusvedelikku salvestuva soojusena kaduma, tähendab võimsuse suurendamine ka vajadust jahutussüsteemi efektiivsust proportsionaalselt suurendada. Standardse jahutussüsteemi kasutamine modifitseeritud autol võib kaasa tuua mootori ülekuumenemise, mille tulemusena võivad nõrgeneda paljud mootori detailid, rikneda plokikaanetihend, deformeeruda plokikaas ja väheneda õli määrimisomadused.

Töökindluse tagamiseks on käesoleval mootoril termostaat asendatud 25mm siseläbimõõduga piiramisbimõõduga. Piiraja eesmärk on suurendada rõhku plokis, et tõsta kõrgemale jahutusvedeliku keemistemperatuur ning vähendada ohtlike aurulukkude tekkevõimalust mootoris. Süsteemi maksimaalne rõhk on 140 kPa. Rõhku suurendades kasvab iga 10 kPa järel keemistemperatuur 2,5 °C. Seega, kui atmosfäärirõhk on 100 kPa ja jahutusvedeliku keemistemperatuur on 110 °C, tõuseb nüüd keemistemperatuur 120 °C-ni. [9, p. 641]

CA18DET-ile paigaldati tehast viskosiduriga jahutusventilaator. Olles igati sobiv tänavasõiduautole tavasõidu tingimustes, ei sobi see siiski kasutamiseks võidusõiduautol. Selle peamiseks puudusteks on juhtimisvõimaluse puudumine ja oht purunemisele suurendatud pöörlemissageduse juures. Asenduseks on valitud elektriline ventilaator tootjalt Spal. Paigaldatava

ventilaatori tootlikkus on 37 kPa vaakumi tootmisel 3250 m³/h, mis ületab standardse ventilaatori maksimaalset tootlikkust 40%. Lisaks on elektrilist ventilaatorit võimalik juhtida nii termolülitiga, kui programmeerida selle töö juhtimine juhtarvutisse.

4.5.1. Jahutusradiaator ja vahejahuti

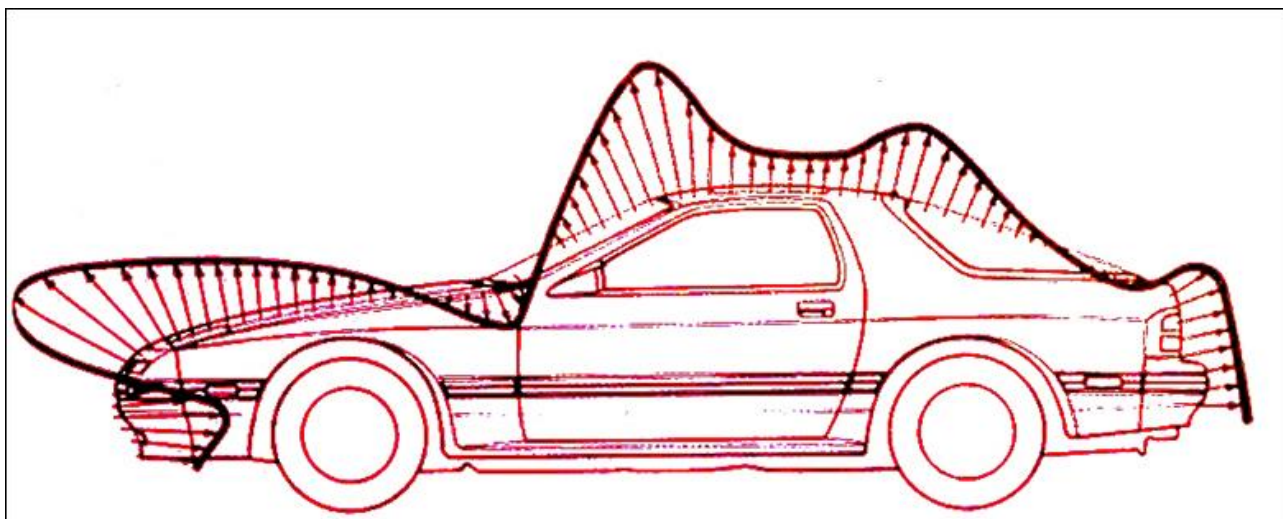
Standartne CA18DET-i radiaator on plastist anumatega alumiiniumradiaator mõõtudega 650*380*15 mm. See on asendatud alumiiniumist anumatega radiaatoriga mõõtudega 650*400*60 mm. Alumiiniumist anumate eelis plasti ees on nende tugevus – plastist anumad on radiaatori jahutuselemendiga ühendatud valtsimise teel, alumiiniumist vannid on aga keevitatud jahutuselemendi külge. See tagab radiaatori töökindluse ka tõstetud süsteemirõhu korral.

Kui 15 mm paks originaalradiaatori jahutuselement koosneb 50-st horisontaalselt paiknevast torust, siis 60 mm paks võidusõiduks konstrueeritud radiaator koosneb 150-st horisontaalselt kolmes reas paiknevast torust. Torude arvu suurendamine suurendab efektiivset jahutuspindala, kuna suureneb pind, millega jahutusvedelik radiaatorist läbi voolates kokku puutub.

Lähtuvalt Charles'i seadusest (3), on teada, et gaasi ruumala, rõhk ning temperatuur on üksteisest sõltuvad. Seega, kui rõhku tõsta, suureneb sama ruumal juures ka temperatuur. Selline efekt toimub ka turbokompressoris. Õhu kokku surumisel turbo kompressoriosas, tõuseb sealt väljuva õhu temperatuur. Kuna kuum õhk on väiksema tihedusega ja sisaldab vähem hapniku, väheneb turbost väljuvat õhku jahutamata ka mootori võimsuspotentsiaal ning kõrgema temperatuuri tõttu suureneb ka detonatsioonioht. Seetõttu on vajalik jahutada turbost väljuvat ülelaaderõhku enne selle sisenemist mootorisse. [18]

Ülelaaderõhu jahutamiseks on levinud kaks lahendust: õhk-vesi soojusvaheti või õhk-õhk vahejahuti. Kuna õhk-vesi soojusvaheti vajab kas eraldi jahutusringi konstrueerimist, mis nõuaks lisainvesteeringut või pidevalt jääga täitmist, mis ei ole sobilik tänavasõiduks, langes valik õhk-õhk tüüpi vahejahuti kasuks. [18]

Tehases kasutatav vahejahuti on mõõtudega 200*250*50 mm ning paigutatud esimese pörkeraua sisse ühte nurka, kus on ka kehv õhuvoolu ligipääs. Modifitseeritud mootorile on paigaldatud vahejahuti mõõtudega 600*300*75 mm, ning paigaldatud pörkeraua sees oleva ava taha, kus on maksimaalne võimalik õhuvool modifitseerimata kerega Nissan 200SX puhul. Õhuvoolude rõhutsoonide arvestuses on kasutatud Mazda RX7 vastavat graafikut (Sele 4.5.1.1), kuna RX7 ja 200SX on sarnase kerekujuga autod, eriti esiosa poolest.



Sele 4.5.1.1 Kupeekerel mõjuvad õhuvoolude rõhutsoonid [22]

5. MAJANDUSLIK ARVESTUS

Majanduslikus arvestuses on kajastatud kõigi osade ja tööde hinnad, mis on vajalikud saavutamaks töökindlust ning mis on käesolevas töös kirjeldatud. Auto soetusmaksumus ning muude modifikatsioonide hinnad ei kuulu arvestusse.

Tabel 3

Osade ja tööde maksumus [24]

	Hind, €	Tööaeg/kogus	Summa, €
Plokikaane remont	200		200
Mootoriploki remont ja modifitseerimine	310		310
Kolvid	610	komplekt	610
Kolvirõngad	100	komplekt	100
Kepsud	600	komplekt	600
Väntvõll	430	1	430
Väntvõlli võnkeleevendi	500	1	500
Liugelaagrid	260	komplekt	260
Õlipump	150	1	150
Veepump	80	1	80
Rihmakomplekt	200	1	200
Radiaator	600	1	600
Vahejahuti	290	1	290
Ventilaator	100	1	100
Mootori demonteerimine ja puhastus	30	13	390
Mootori mõõdistamine	30	6	180
Õli	15	4,5	67,5
Õlifilter	10	1	10
Mootori komplekteerimine	30	38	1140
Kokku			6207,5

KOKKUVÕTE

Lõputöö teema on „Nissan CA18DET mootori sisekomponentide muudatused talumaks võimsust 350 kW“. Teema eesmärk oli saavutada Nissan 200SX puhul 350 kW-ni suurendatud mootori väliskarakteristikute juures töökindlus vähemalt kaheks hooajaks osalemisel kiirendusvõistlustel Street B klassis ning lõppkiirusvõistlustel.

Esmalt oli vaja välja selgitada, millised jõud mõjuvad mootoris ning kuidas nende muutus muudab mootori töökindlust. Sellest selgus, et suurimat tähelepanu väärivad vāntmehhanism, õlitus- ja jahutussüsteemid, mootoriplokk ning plokikaas. Suurenenud koormuse juures peab tähelepanu pöörama ka detailidele nagu tihendid ning kinnitusvahendid.

Analüüsides erinevaid materjale ja valmistusviise selgus, et vāntmehhanismi töökindluse parandamiseks tuleb kepsud ning kolvid vahetada tugevamast ja sitkemast materjalist ning täiustatud konstruktsiooniga sepiostatud detailide vastu. Vāntvõll peab olema sepiostatud ja soovituslik oleks kasutada kõrge pöörlemissagedusega mootoril ka kahekordsete vastukaaludega vāntvõlli selle täiuslikuma tasakaalustatuse tõttu.

Mootoriploki ettevalmistuseks tuleb see vajadusel puurida ja hoonida sobivasse mõõtu, lihvida kontaktpind saavutamaks pinnakaredus Ra 1,32 ning modifitseerida plokki et paranda karterigaaside liikumisvõimet. Samuti tuleb plokikaane kontaktpinnale tagada tasapinnalisus ning sobiv pinnakaredus. Mootoriploki ja kaane liitmisel peab kasutama suurema tõmbetugevusega tikkpolte, mis tagavad pingutusjõu ka mitmekordsel kasutamisel.

Õlitussüsteemi muudatused tagavad kvaliteetse õlikiilu olemasolu ka suurendatud pöörlemissagedusel ja koormusel. Jahutussüsteemi täiustuste eesmärk on tagada suurendatud võimsusega kaasneva suurema soojushulga efektiivne hajutamine ning mootori jahutuse tagamine ka 120 °C temperatuuri juures.

Mootori sisekomponentide muudatused prognoositava võimsuse juures töökindluse tagamiseks lähevad 04.05.2014 hindade seisuga maksma 6207,5 eurot.

SUMMARY

„Modifications on the Nissan CA18DET engine internals to endure 350 kW of power.“

The objective of this thesis is to construct an engine that would endure two seasons of drag racing and top speed events while producing power in the amount of 350 kW. In addition the car is being driven on the street. The selection of this particular subject is due to the fact that Nissan 200SX – the car on what the CA18DET is most commonly found – is getting increasingly popular amongst young drivers and more so in different types of motorsport – be it drag racing, drifting or track events. Because the power rating of drag racing cars in EDRA Street B Class often exceeds 300 kW, the power on the discussed car is increased to 350 kW.

Although the CA18DET is known for having reliability issues, especially when comparing it to the newer SR20DET engine, these problems are mostly due to the age of an average CA18DET – over 20 years. Because the 200SX is a relatively inexpensive car, it is often bought by people with not enough funds to properly service the car. Due to the fact that proper service is the key to an engine's longevity, it is not seldom that a CA18DET breaks down.

To make the CA18DET capable of coping with nearly three times the amount of power it came from the factory, the engine must be thoroughly analyzed and some parts of it replaced or reconstructed.

To achieve the objective of this thesis, it has to consist of three steps.

First it has to be explained, what kind of forces and in how big a scale influence the engine's basic components when power has risen from 124 kW to 350 kW and what kind of other changes might be present in the engine's operation.

Secondly, what kind of problems to the engine's longevity could arise from the power increase. Then a solution to those problems has to be found and explained thoroughly.

Last step is to calculate the cost of such modifications.

Summarized, the pistons, connecting rods and engine block needed the most attention. Also some changes had to be made to the lubrication and cooling systems and the cylinder head. Due to the forced nature of the engine attention had to be given even to the fasteners and seals.

The original pistons and connecting rods are replaced with forged items which are specially designed for racing purposes being stronger and tougher than those produced by the original manufacturer. Because the CA18DET original crankshaft is forged from steel, there is no need to replace it.

Modifications to the block include boring, honing and decking. Decking is necessary to achieve a maximum roughness of Ra 1,32. This is necessary to achieve a good seal when using a multi layer steel gasket. The same kind of roughness is needed from the cylinder head. To ensure sufficient and accurate clamping force on the head gasket, studs have to be used instead of head bolts.

Changes to the lubrication system are made to ensure a good oil film between the shaft and bearings. Cooling system modifications include the installation of a more efficient radiator and an increase in the cooling system pressure. This is necessary to raise the coolant boiling temperature to 120 °C.

Total cost of all modifications is 6207,5 euros.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] A. Graham Bell, Forced Induction Performance Tuning, Haynes Publishing, 2002
- [2] T. Monroe, Engine Builders Handbook, HP Trade, 1996
- [3] R. Voegelin, Engine Blueprinting, Motorbooks Intl. 1997
- [4] H. Heizler, Advanced engine technology, Society of Automotive Engineers Inc, 1995
- [5] M. J. Nunney, Light and Heavy Vehicle Technology, A Butterworth-Heinemann Title, 1999
- [6] P. Kulu, Metallioõpetus, TTÜ Kirjastus, 2005
- [7] Automotive Handbook 8th Edition, Cambridge: Bentley Publishers, 2011
- [8] C. Bell, Maximum Boost: Designing, Testing and Installing Turbocharger Systems, Cambridge: Bentley Publishers, 1997
- [9] T. K. Garrett, K. Newton, W. Steeds; The Motor Vehicle, Reed Educational and Professional Publishing, 2001
- [10] W.W. Pulkrabek, Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Prentice Hall, 2003
- [11] Nissan 200SX Service Manual, Nissan Motor Company Ltd., 1988
- [12] V. Klennikov, N. Iljin, J. Buraljov; B-kategooria autod, Tallinn: Valgus, 1987
- [13] C. Hadfield, Automotive Engine Repair & Rebuilding, 5th edition; Delmar, Cengage Learning, 2014
- [14] J. D. Halderman, Automotive Engine Performance, Pearson Education, 2014
- [15] Azom.com, [Võrgumaterjal], Available:
<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6772/>. [Kasutatud 10. aprill. 2014]

- [16] Estonian Drag Racing Association, „Tehnilised reeglid,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.edra.ee/tehnilised-reeglid-2014>. [Kasutatud 13. märts. 2014]
- [17] ACL Race Series Performance Products, „ACL Race Series Performance Engine Bearings,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.aclperformance.com.au/prod_e_bearings.htm. [Kasutatud 26. märts. 2014]
- [18] tqhq.ee, „Ülelaadimine,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://tqhq.ee/dir.php?id=163>. [Kasutatud 29. aprill. 2014]
- [19] The Official ARP Web Site, „Technical Information,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://arp-bolts.com/p/technical.php> [Kasutatud 4. aprill. 2014]
- [20] Wiseco Performance Products, „Forged Automotive Pistons,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.wiseco.com/Automotive/Pistons.aspx>. [Kasutatud 4. aprill. 2014]
- [21] One Mile Challenge, „Reeglid,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.onemile.ee/?lang=et&page=reeglid>. [Kasutatud 5. mai. 2014]
- [22] Zilvia.net, „Forums,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://zilvia.net/f/>. [Kasutatud 3. veebruar. 2014]
- [23] Cometic Gaskets Inc., „Technical,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.cometic.com/technical.aspx>. [Kasutatud 12. veebruar. 2014]
- [24] Autori foto/illustratsioon/tabel

LISA 1

Nissan CA18DET põhiandmed:

Mootori tüüp: ridaasetuses neljasilindriline ottomootor

Töömaht: 1809 cm³

Kolvikäik: 83,6 mm

Silindri läbimõõt: 83 mm

Surveaste: 8,5:1

Võimsus: 124 kW 6400 p/min

Pöördemoment: 228 N*m 4000 p/min

Mootoriplokk: kuivhülssidega valatud malmiplokk

Väntvõlli kinnitus: 5 liugelaagriga, lisaraam võllilaagrite kaante sidumiseks

Väntvõll: 5 võllikaelaga, üheosaline, terasest sepietatud kahekordsete vastukaaludega

Plokikaas: kahe ülanukkvõlliga neljaklapitehnikas alumiiniumsulamist plokikaas

Gaasijaotusmehhanismi ajam: hammasrihm

Klappide arv: 16

Klappide käitamisviis: otsene, läbi hüdrotõukurite

Õlipump: ühesektsiooniline rootorpump

LISA 2

EDRA tehnilised reeglid klassis Street B. [16]

EMV-välised tänavasõiduautode karikasarja klassid

- **Street A.** Indeksiklass tänavasõiduautodele. Ilma mootori ja veoskeemi piiranguta autod, mis ei sõida kiiremini, kui 13.500 (8,50) sek. Klassi tähis ST/A.

- **Street B.** Indeksiklass tänavasõiduautodele. Ilma mootori ja veoskeemi piiranguta autod, mis ei sõida kiiremini, kui 11.500 (7,300) sek. Klassi tähis ST/B.

2. ÜLDNÕUDED SÕIDUKILE

2.1. Sõidukis ei või olla kinnitamata esemeid.

2.2. Aku peab olema kinnitatud jäigalt sõiduki kere külge. Juhul, kui aku ei asu sõiduki originaalasukohas, peab aku läheduses olema täiendav massilüliti. Juhul kui aku asub sõiduki salongis, on kohustuslik kasutada tulekindlat väliskeskkonda ventileeritud lisakorpust.

2.3. Sõidukil ei või olla mistahes vedelike lekkeid. Võistluse ajal peab kliimaseade või konditsioneer olema välja lülitatud, vältimaks kondentsi tilkumist rajale.

2.4. Sõidukil peab juhiistmel olema vähemalt 3-punkti turvavöö. Sõidukites, kuhu on paigaldatud turvakaar või turvapuur, peab juhiistmel olema vähemalt SFI 16.1 nõuetele vastav 3“ laia rihmaga 5-punkti turvavöö. Võistlussõidu ajal peab turvavöö olema kinnitatud.

2.5. Sõidukites, kuhu on paigaldatud turvapuur, on kohustuslik juhipoolse aknavõrgu kasutamine. Aknavõrk peab olema seestpoolt kinnitatud turvapuu ülemise ja keskmise küljetoru külge.

2.6. Kõikidel turvapuuriga autodel peab turvapuu peakaarel olem 5mm läbimõõduga kontrollava.

2.7. Sõidukil, mis saavutab rajal lõppkiiruseks üle 240 km/h, peab olema FIA reeglite kohane pidurdusvari või -varjud.

2.8. Sõiduki esiosal või katusel peab olema sõiduki pukseerimist võimaldav veoas või -konks.

2.9. Iga võistlussõiduk peab võistlema tema tehnilistele tingimustele vastavas klassis.

2.10. Korraldajal on õigus starti mitte lubada autosid, mis vastavad kõikidele käeolevas juhendis esitatud nõuetele, kuid pole korraldaja hinnangul turvalised. Eelkõige puudutab see juhtumeid, kus ümberehituste tulemusena on oluliselt suurenenud auto maksimaalkiirus, kuid samaväärselt pole parendatud auto pidureid, vedrustust, juhitavust, turvastruktuure jne.

Ümberehitatud autode puhul on tungivalt soovitatav paigaldada autosse täiendav turvastruktuur (turvakaar, turvapuur) koos sertifitseeritud 5- või 6-punkti turvavöödega.

3. MOOTOR JA LISASEADMED

3.1. Lubatud on kasutada sisepõlemismootoreid. Mootori modifitseerimine on lubatud.

3.2. Sõiduki sisepõlemismootor peab käivituma starteriga.

3.3. Mootori kinnituspunktide arv kere külge ei või olla väiksem kui mootori tootja poolt ette nähtud. Kinnituste muutmine ja lisakinnitused on lubatud.

- 3.4. Roots-tüüpi kompressori kasutamisel peavad turvakinnitused vastama SFI 14.1 nõuetele.
- 3.5. Kütuse- ja õlitorud ning voolikud peavad olema kaitstud kompressori rihma ümbruses. Kaitse peab olema voolikutel ja/või rihmal.
- 3.6. Kõikidel vedelikjahutusega sõidukitel peab olema vähemalt 0.5 liitrise mahutavusega paisupaak, mis on kinnitatud jäigalt sõiduki kere või mootori külge. Jahutusvedelikuna on soovitatav kasutada ainult vett.
- 3.7. Kuivkarteri kasutamise korral on nõutud vähemalt 1 liitrise ülevoolupaagi kasutamine.
- 3.8. Filtreerimata karterituulutus väliskeskkonda on keelatud.
- 3.9. Väljalaskekollektorite kasutamine on kohustuslik. Väljalaskesüsteem peab olema lekete ja vigastusteta ning kindlalt kinnitatud nii, et mistahes võistlussituatsioonis oleks välistatud väljalaskesüsteemi kokkupuude maapinnaga. Väljalaskesüsteem peab olema suunatud auto alt välja tahapoole, eemale juhust ja kütusepaagist.

4. TOITESÜSTEEM JA KÜTUSED.

- 4.1. Sisepõlemismootori korral on lubatud kasutada kõiki jaevõrgus müüdavaid kütuseid ja võistlusotstarbelisi bensiine.
- 4.2. Kütusepaak peab olema sõitjaruumist eraldatud tihendatud tulekindla vaheseinaga viisil, et sõitjateruumi kütuse sattumine oleks välistatud.
- 4.3. Kogu toitesüsteem (kütusepaak, -torud, -pump jne.) peavad asuma väljaspool sõitjaruumi ja seespool kere gabariite.
- 4.4. Komposiitmaterjalist kütusepaak peab olema maandatud.
- 4.5. Kütusepaak peab olema ventileeritud välisõhku.

5. NITROSEADMED

- 5.1. Lubatud on kasutada vaid avalikult turustatavaid, sertifitseeritud ja ametliku tootja poolt valmistatud nitrosüsteeme.
- 5.2. Nitrogaasi pudel peab olema kinnitatud sõiduki kere külge jäigalt. Lubatud on kasutada nitrokomplektiga kaasas olevaid originaalkinnitusi, kuid soovitatav on kasutada kuni 15kg kaaluga pudelite puhul kahte vähemalt 25mm laiust terasvitsaga kinnitust ja üle 15 kg pudelite puhul vähemalt kolme 25mm laiust terasvitsaga kinnitust.
- 5.3. Nitrogaasi pudelil peab olema selge vastav märgistus.
- 5.4. Nitrogaasi pudel peab olema varustatud ülesurveventiiliga, mis peab olema ventileeritud juhikabiinist väljapoole. Ülesurveventiili modifitseerimine on keelatud.
- 5.5. Nitrosüsteemi ei tohi olla võimalik sisse lülitada siis, kui sõiduki süüde on välja lülitatud.
- 5.6. Nitrosüsteemil peab olema oma eraldiseisev sulavkaitse.
- 5.7. Nitrosüsteemil peab olema juhi käeulatuses lüliti, mille juures peab olema selgelt loetav silt "N2O. ON / OFF".
- 5.8. Nitrosüsteemi aktiveerimine peab olema teostatud nii, et süsteem saab aktiveeruda ainult täisgaasil. Gaasipedaali vabastamisel peab nitrosüsteem välja lülituma. Juhul kui aktiveerimine on teostatud elektrooniliselt läbi mootori juhtaju või eraldiseisva kontrolleri, peab see olema dubleeritud ka gaasihoovastikus asuva lülitiga.
- 5.9. Nitrogaasi pudeli kraan peab olema suletud rehvide soojendamise (nn. „burnout“-i) ajal ja seda tohib avada vaid vahetult enne stardijoonet asetumist (nn. „stage“-mist).
- 5.10. Nitrogaasi pudeli soojenduseks tohib kasutada vaid spetsiaalseid tööstuslikke, teki tüüpi ja termostaadiga varustatud soojendajaid.

13. Lisanõuded ja reeglid Street A ja Street B klassi sõidukitele.

Vastuolude korral üldiste nõuetega, on lisanõuded ja reeglid üliluslikud.

1. Sisepõlemismootori korral on lubatud kasutada vaid jaevõrgus müüdavaid kütuseid.
2. Keelatud on kõik taimerid, mis mõjutavad gaasipedaali või käiguvahetust. Lubatud on nn. „throttle stop“ ja „delay box’i“ kasutamine.
3. Lubatud on kasutada vaid standardset kütusepaaki
4. Summutussüsteem peab sisaldama vähemalt ühte summutavat elementi (Näiteks resonaator)
5. Klassis Street A on slikkrehvide s.h. tänavalegaalsete kiirenduse- ja ringrajarehvide kasutamine keelatud.
- 5.1. Klassis Street B on lubatud kasutada DOT-märgistusega tänavasliikk-rehve (nt. Mickey Thompson „ET Street“ jms.)
6. On lubatud osaleda sõidukiga, kui selle tehasekaal on väiksem kui, auto mootori järgne miinimumkaal.

15. Lisanõuded sõidukitele, mis sõidavad 11.999 sek või kiiremini.

1. Manuaalkäigukasti puhul on standardse hooratta ja sidurikorvi kasutamine keelatud. Hooratas ja sidurikorp peavad vastama SFI 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 või 1.5 nõuetele.
2. Tubeless-tüüpi rehvi puhul on mutriga kinnitatavad ventiilide kasutamine kohustuslik.
3. Kohustuslik on kasutada vaid SNELL või SFI homologeeringuga autokiivreid. Kiivri homologeering võib olla aegunud. Motokiivrite kasutamine ei ole lubatud.

LISA 3

OMC 2014 reeglid. [21]

Võistlusklassid ja juhend

- A - kuni 2000 cm³ vabalthingavad mootorid
- B - kuni 4000 cm³ vabalthingavad-, kuni 2300 cm³ ülelaadimisega*
- C - üle 4000 cm³ vabalthingavad-, üle 2300 cm³ ülelaadimisega* mootorid.

* - ülelaadimine tähendab, et kasutusel on turbo, kompressor ja/või nitro.

Ülelaadimismeetodit kasutaval sõidukil korrutatakse mootori töömaht koefitsendiga 1.7.

Rootormootoriga sõiduki mootori töömaht korrutatakse koefitsiendiga 1.7 ja ülelaadimist kasutava rootormooriga sõiduki mootori töömaht korrutatakse koefitsiendiga 3.4.

4. Üldnõuded sõidukile

- 4.1 Auto peab olema registreeritud tänavasõiduks ja registreerimistunnistusel peab olema märges kehtiva riikliku tehnoulevaatuse kohta või auto peab omama kehtivat EAL poolt teostatud tehnilist ülevaatust.
- 4.2 Võistlema pääsevad vaid need autod, mis läbivad tehnilise kontrolli. Kuna kontroll teostatakse välitingimustes ja ilma eriseadmeteta, siis on sellise kontrolli ulatus ja efektiivsus piiratud. Seetõttu on võistleja kohustus vahetult enne võistlust korraldada auto ülevaatus vastavat sisseseadet omavas autoremondiettevõttes või ametlikus ülevaatuspunktis. Hoolimata läbitud tehnilisest kontrollist vastutab auto tehnilise seisukorra ja ohutusnõuetele vastavuse eest võistleja. Võistleja on kohustatud mistahes küsimuste korral seoses tehniliste nõuetega ja ohutuse tagamisega pöörduma korraldaja poole selgituste saamiseks.
- 4.3 Korraldajal on õigus starti mitte lubada autosid, mis vastavad kõikidele käeolevas juhendis esitatud nõuetele, kuid pole korraldaja hinnangul turvalised. Eelkõige puudutab see juhtumeid, kus ümberehituste tulemusena on oluliselt suurenenud auto maksimaalkiirus, kuid samaväärselt pole parendatud auto pidureid, vedrustust, juhitavust, turvastruktuure, tuleohutust jne. Ümberehitatud autode puhul on tungivalt soovitatav paigaldada autosse täiendav turvastruktuur (turvakaar, turvapuur) koos sertifitseeritud 5- või 6-punkti turvavöödega.
- 4.4 Ei ole lubatud eemaldada tehase poolt paigaldatud kere välisdetailide, välja arvatud antennid, peeglid ja klaasipuhastid. Soovitatav on eemaldada isepaigaldatud aerodünaamikat mõjutavad välisdetailid. Kõik auto välisdetailid peavad olema kindlalt kinnitatud, tagamaks nende püsivuse suurtel kiirustel.
- 4.5 Sõidukis ei või olla kinnitamata esemeid ja aku peab olema jäigalt kinnitatud sõiduki kere

külge. Juhul, kui aku ei asu sõiduki originaalasukohas, peab aku läheduses olema täiendav massilüliti.

- 4.6 Sõidukil ei või olla mistahes vedelike lekkeid. Võistluse ajal peab kliimaseade või konditsioneer olema välja lülitatud, vältimaks kondentsi tilkumist rajale.
- 4.7 Sõidukil peab juhiistmel olema vähemalt 3-punkti turvavöö. Sõidukites, kuhu on paigaldatud turvapuur, peab juhiistmel olema vähemalt 4-punkti turvavöö. Võistlussõidu ajal peab turvavöö olema kinnitatud ja pingutatud!
- 4.8 Sõiduki esiosal või katusel peab olema sõiduki pukseerimist võimaldav veoas või -konks.

7. Mootor ja lisaseadmed

- 7.1 Lubatud on kasutada sisepõlemismootoreid. Mootori modifitseerimine on lubatud.
- 7.2 Sõiduki sisepõlemismootor peab käivituma starteriga.
- 7.3 Mootori kinnituspunktide arv kere külge ei või olla väiksem kui mootori tootja poolt ette nähtud. Kinnituste muutmise ja lisakinnitused on lubatud.
- 7.4 Roots-tüüpi kompressori kasutamisel peavad turvakinnitused vastama SFI 14.1 nõuetele.
- 7.5 Kütuse- ja õlitorud ning voolikud peavad olema kaitstud kompressori rihma ümbruses. Kaitse peab olema voolikutel ja/või rihmal.
- 7.6 Kõikidel vedelikjahutusega sõidukitel peab olema vähemalt 0.5 liitri mahutavusega paisupaak, mis on kinnitatud jäigalt sõiduki kere või mootori külge. Jahutusvedelikuna on soovitatav kasutada ainult vett.
- 7.7 Kuivkarteri kasutamise korral on nõutud vähemalt 1 liitri ülevoolupaagi kasutamine.
- 7.8 Filtreerimata karterituulutus väliskeskkonda on keelatud.
- 7.9 Väljalaskekollektorite kasutamine on kohustuslik. Väljalaskeüsteem peab olema lekete ja vigastusteta ning kindlalt kinnitatud nii, et mistahes võistlussituatsioonis oleks välistatud väljalaskeüsteemi kokkupuude maapinnaga. Väljalaskeüsteem peab olema suunatud auto alt välja tahapoole, eemale juhust ja kütusepaagist.

8. Toitesüsteem ja kütused

- 8.1 Sisepõlemismootori korral on lubatud kasutada kõiki jaevõrgus müüdavaid kütuseid ja võistlusotstarbelisi pliivabasid bensiine.
- 8.2 Kütusepaak peab olema sõitjaruumist eraldatud tihendatud tulekindla vaheseinaga viisil, et sõitjateruumi kütuse sattumine oleks välistatud.
- 8.3 Kogu toitesüsteem (kütusepaak, -torud, -pump jne.) peavad asuma väljaspool sõitjaruumi ja seespool kere gabariite.
- 8.4 Komposiitmaterjalist kütusepaak peab olema maandatud.
- 8.5 Kütusepaak peab olema ventileeritud välisõhku.

9. Nitroseedmed

- 9.1 Lubatud on kasutada vaid avalikult turustatavaid, sertifitseeritud ja ametliku tootja poolt valmistatud nitrosüsteeme.
- 9.2 Nitrogaasi pudel peab olema kinnitatud sõiduki kere külge jäigalt. Lubatud on kasutada nitrokomplektiga kaasas olevaid originaalkinnitusi, kuid soovitatav on kasutada kuni 15kg kaaluga pudelite puhul kahte vähemalt 25mm laiuse terasvitsaga kinnitust ja üle 15 kg pudelite puhul vähemalt kolme 25mm laiuse terasvitsaga kinnitust.
- 9.3 Nitrogaasi pudelil peab olema selge vastav märgistus.

- 9.4 Nitrogaasi pudel peab olema varustatud ülesurveventiiliga, mis peab olema ventileeritud juhikabiinist väljapoole. Ülesurveventiili modifitseerimine on keelatud.
- 9.5 Nitrosüsteemi ei tohi olla võimalik sisse lülitada siis, kui sõiduki süüde on välja lülitatud.
- 9.6 Nitrosüsteemil peab olema oma eraldiseisev sulavkaitse.
- 9.7 Nitrosüsteemil peab olema juhi käeulatuses lüliti, mille juures peab olema selgelt loetav silt "N2O. ON / OFF".
- 9.8 Nitrosüsteemi aktiveerimine peab olema teostatud nii, et süsteem saab aktiveeruda ainult täisgaasil. Gaasipedaali vabastamisel peab nitrosüsteem välja lülituma. Juhul kui aktiveerimine on teostatud elektrooniliselt läbi mootori juhtaju või eraldiseisva kontrolleri, peab see olema dubleeritud ka gaasihoovastikus asuva lülitiga.
- 9.9 Nitrogaasi pudeli kraan peab olema suletud rehvide soojendamise (nn. "burnout"-i) ajal ja seda tohib avada vaid vahetult enne stardijoonete asetumist.
- 9.10 Nitrogaasi pudeli soojenduseks tohib kasutada vaid spetsiaalseid tööstuslikke, teki tüüpi ja termostaadiga varustatud soojendajaid.

10. Käigukast

- 10.1 Käigukastil peab olema töötav tagurpidikäik.
- 10.2 Automaatkast peab olema varustatud tagurpidikäigu eksliku lülitamise vastase blokeeringuga.
- 10.3 Automaatkastiga sõiduk ei tohi käivituda juhul, kui mõni käik on sisse lülitatud.