

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Andrius Miliūnas

Automobilio išmetimo kolektoriaus temperatūrinio nuovargio tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Vaidas Lukoševičius

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Automobilio išmetimo kolektoriaus temperatūrinio nuovargio tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Vaidas Lukoševičius
(data)

Recenzentas

(parašas)
(data)

Projektą atliko

(parašas) Andrius Miliūnas
(data)

KAUNAS, 2015

AUTORIAUS GARANTIJA

Aš, Andrius Miliūnas, garantuoju, kad viešam gynimui Kauno technologijos universitete (KTU) pateikiamą magistro baigiamąjį darbą tema „Automobilio išmetimo kolektoriaus temperatūrinio nuovargio tyrimas“ parengiau pagal Kauno technologijos universiteto Transporto inžinerijos katedros baigiamųjų darbų rengimo reikalavimus. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių informacija pažymėta, pateikiant nuorodas į literatūrą.

Kitų asmenų indėlio į parengtą magistro baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų mokesčių už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Darbas iki šiol nei šalyje, nei užsienyje tokia ar kita forma pristatytas ginti kaip magistro baigiamasis darbas nebuvo.

(data)

(parašas)

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS KATEDRA

Automobilio išmetimo kolektoriaus temperatūrinio nuovargio tyrimas
Andrius Miliūnas

SANTRAUKA

Automobilio dujų išmetimo sistemos paskirtis yra nepavojingai pašalinti variklio darbo metu susikaupiančias dujas ir slopinti išmetimo triukšmą. Dujų išmetimo sistema ne tik mažina triukšmą, bet ir neleidžia toksiškoms dujoms patekti į automobilio saloną, katalizatorius sumažina kenksmingų dujų išmetimą į aplinką.

Darbe apžvelgtos išmetimo sistemos, jų sudedamosios dalys. Naudojant „SolidWorks Simulation“ ir „Flow“ programas atlikta sumodeliuotų išmetimo kolektorių analizė. Analizės pradžioje atlikta dujų tekėjimo analizė, jos rezultatai perkelti į statinę analizę ir gauti rezultatai perkeliama į nuovargio tyrimą.

Darbo tikslas: Ištirti skirtingų formų išmetimo kolektorių temperatūrinius nuovargius

Darbo uždaviniai:

- Apžvelgti atliktų studijų su išmetimo sistemomis rezultatus
- Išanalizuoti automobilio išmetimo sistemos konstrukciją, naudojamas medžiagas bei jų charakteristikas.
- Įsisavinti, išmokti naudotis „FLOEFD“ ir „SolidWorks“ programomis.
- Sudaryti BE (baigtinių elementų) skaičiuojamąjį modelį.
- Palyginti skirtingų formų kolektorių dujų pratekėjimą ir temperatūrinius vidaus degimo variklio darbo metu.

KAUNAS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING AND DESIGN
DEPARTMENT OF TRANSPORT ENGINEERING

Car exhaust manifold thermal fatigue study

Andrius Miliūnas

SUMMARY

Car exhaust system is designed to reduce exhaust volume and reduce gasses emission. Exhaust system is equipped with catalytic converter to meet emission legislation.

In this study “SolidWorks Simulation” and “Flow” programs were used to get the results. Three different exhaust manifolds were designed. First of all flow analysis was done, after that the results were taken to static analysis and after that to fatigue analysis.

The aim: to test car exhaust manifold thermal fatigue

The goal:

- To analyze exhaust study in other studies
- To analyze car exhaust system, exhaust components.
- Use „FLOEFD“ ir „SolidWorks“ programs to flow, static and thermal analysis.
- Make FE (finite element) model.
- Compare different exhaust manifold flow parameters and thermal fatigue results.

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS KATDERA

Suderinta:

2015 m. vasario mėn. 6 d.

MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS

Išduota studentui: *Andriui Miliūnui*

1. Darbo tema: Automobilio išmetimo kolektoriaus temperatūrinio nuovargio tyrimas

Patvirtinta: 2015 m. gegužės mėn. 11 d. dekanų įsakymu Nr. ST17-F-11-2

2. Darbo tikslas: Ištirti skirtingų formų išmetimo kolektorių temperatūrinius nuovargius

3. Darbo uždaviniai ir reikalavimai:

- Apžvelgti atliktų studijų su išmetimo sistemomis rezultatus
- Išanalizuoti automobilio išmetimo sistemos konstrukciją, naudojamas medžiagas bei jų charakteristikas.
- Įsisavinti, išmokti naudotis „FLOEFD“ ir „SolidWorks“ programomis.
- Sudaryti BE (baigtinių elementų) skaičiuojamąjį modelį.
- Palyginti skirtingų formų kolektorių dujų pratekėjimą ir temperatūrinius vidaus degimo variklio darbo metu.

4. Darbo konsultantai (nurodant projekto skyrius)¹:

5. Užduoties išdavimo terminas: 2015 m. vasario mėn. 6 d.

Užbaigto darbo pateikimo terminas: 2015 m. gegužės mėn. 29 d.

Vadovas: Vaidas Lukoševičius _____

(vardas, pavardė)

(parašas)

Užduotį gavau: Andrius Miliūnas _____

(studento vardas, pavardė)

(parašas)

¹ Esant reikalui, suderinus su katedros vedėju

Turinys

ĮVADAS	9
1. Išmetimo sistema	10
1.1 Išmetimo kolektorių tipai ir medžiagos	10
1.2 Išmetimo sistemos temperatūros	11
1.3 Išmetimo sistemos priežiūra	13
2. Vidaus degimo variklio struktūra	13
3. Baigtinių elementų metodo apžvalga.....	15
4. Literatūros apžvalga.....	16
4.1 Dabartinės ir ateities metalų rūšys naudojamos automobilių išmetimo sistemoje	16
4.2 Išmetimo sistemos kolektoriaus dizaino patobulinimas.....	19
4.3 Dujų tekėjimo dinamika automobilių išmetimo sistemoje su katalizatoriumi.....	22
4.4 Variklio išmetimo sistemos dizainas paremtas perduodamomis temperatūromis	26
4.5 Automobilio išmetimo kolektoriaus dizaino tobulinimas prie variklio darbo ciklą	28
4.6 Daugiacilindrio vidaus degimo variklio išmetimo kolektoriaus CFD analizė parinkti optimalią geometriją emisijai sumažinti.	29
4.7 Temperatūrinė įtaka išmetimo kolektoriaus temperatūriniam moduliui.....	31
5. Sumodeliuotų kolektorių analizė	33
5.1 Sumodeliuoti kolektoriai.....	35
5.2 Analizės rezultatai esant 3000 aps/min variklio apkrovai	38
5.3 Analizės rezultatai esant 850 aps/min variklio apkrovai	50
IŠVADOS.....	63
LITERATŪRA	64

IVADAS

Automobilio dujų išmetimo sistemos paskirtis yra nepavojingai pašalinti variklio darbo metu susikaupiančias dujas ir slopinti išmetimo triukšmą. Dujų išmetimo sistema ne tik mažina triukšmą, bet ir neleidžia toksiškoms dujoms patekti į automobilio saloną, katalizatorius sumažina kenksmingų dujų išmetimą į aplinką.

Kiekvienas automobilio gamintojas pateikia savo konstrukcinius dujų išmetimo sistemos ypatumus. Tačiau pagrindinės išmetimo sistemos dalys yra šios: priėmimo vamzdis, katalizatorius, jungiamasis vamzdis, duslintuvo bakeliai.

Į priėmimo vamzdį patenka panaudotos dujos iš išmetimo kolektoriaus. Dujų temperatūra jame gali pasiekti 1000 laipsnių. Katalizatoriai reikalingi sumažinti teršalų kiekį, bet jie sukuria ir papildomą pasipriešinimą dujoms. Galima naudoti didesnio laidumo katalizatorius, kad būtų mažesnis pasipriešinimas, bet daugelyje šalių tai yra draudžiama dėl ekologijos.

Šio darbo tikslas ištirti temperatūros įtaką automobilio išmetimo kolektoriui. Kolektoriaus braižymui naudota „SolidWorks“ programa. Analizė atlikta „FLOEFD“ aplinkoje.

Tyrimo tema – automobilio išmetimo kolektoriaus temperatūrinio nuovargio tyrimas

Darbo tikslas – ištirti skirtingų formų išmetimo kolektorių temperatūrinius nuovargius

Darbo uždaviniai:

- Apžvelgti atliktų studijų su išmetimo sistemomis rezultatus
- Išanalizuoti automobilio išmetimo sistemos konstrukciją, naudojamas medžiagas bei jų charakteristikas.
- Įsisavinti, išmokti naudotis „FLOEFD“ ir „SolidWorks“ programomis.
- Sudaryti BE (baigtinių elementų) skaičiuojamąjį modelį.
- Palyginti skirtingų formų kolektorių dujų pratekėjimą ir temperatūrinius vidaus degimo variklio darbo metu.

1. Išmetimo sistema

Šiuolaikinio automobilio išmetimo sistema ne tik pašalina degimo produktus iš variklio, bet juos ir išvalo. Be visur jau naudojamų katalizatorių, kurie sumažina nuodingų medžiagų kiekį išmetamose dujose, naujuose dyzeliniuose varikliuose papildomai yra naudojamas smulkiųjų išmetamų dalelių filtras, kuris surenka smulkias labiausiai aplinką teršiančias daleles. Todėl tokie varikliai atitinka EURO 4 standartą, o dabar gaminami benzininiai varikliai jau turi ir EURO 5 standartą. Šis standartas apriboja išmetamų nuodingų medžiagų kiekį. Kiekvienas sekantis skaitmuo reiškia dvigubai griežtesnę apribojimą lyginant su paskutiniu standartu. t.y. EURO 6 standarto apribojimai bus dvigubai griežtesni už EURO 5 [7].

1.1 Išmetimo kolektorių tipai ir medžiagos

Išmetimo kolektoriai skirstomi į:

- Išlietus (1 pav.)
- Suvirinti (Gamintus iš atskirų dalių (1 pav.))



1 pav. Išmetimo kolektorių tipai: išlieti (kairėje) ir suvirinti (dešinėje) [5].

Išlieti išmetimo kolektoriai pasižymi ilgaamžiškumu ir yra pigūs pagaminti. Dėl pigios gamybos daugelis automobilių ir sunkvežimių iš gamyklos leidžiami su išlietais kolektoriais. Šiuolaikiniuose automobiliuose išmetimo kolektoriams skiriama vis mažiau vietos, dėl to galios didinimas yra gan sudėtingas procesas. Viena pagrindinių lietu kolektorių traukimosi iš rinkos priežastčių – formos apribojimai, dėl to atsirandantys ir išgaunamos galios apribojimai. Dar viena išlietu kolektorių bėda – svoris, taip pat dėl dažnų temperatūrinių apkrovų ir senėjimo atsirandantys trūkimai. Dėl padidėjusių

išmetamų dujų kiekio, transporto priemonė neatitinka aplinkosauginių reikalavimų, teršia aplinką, taip pat automobilis gali prarasti ekonomiškumą bei trauką.

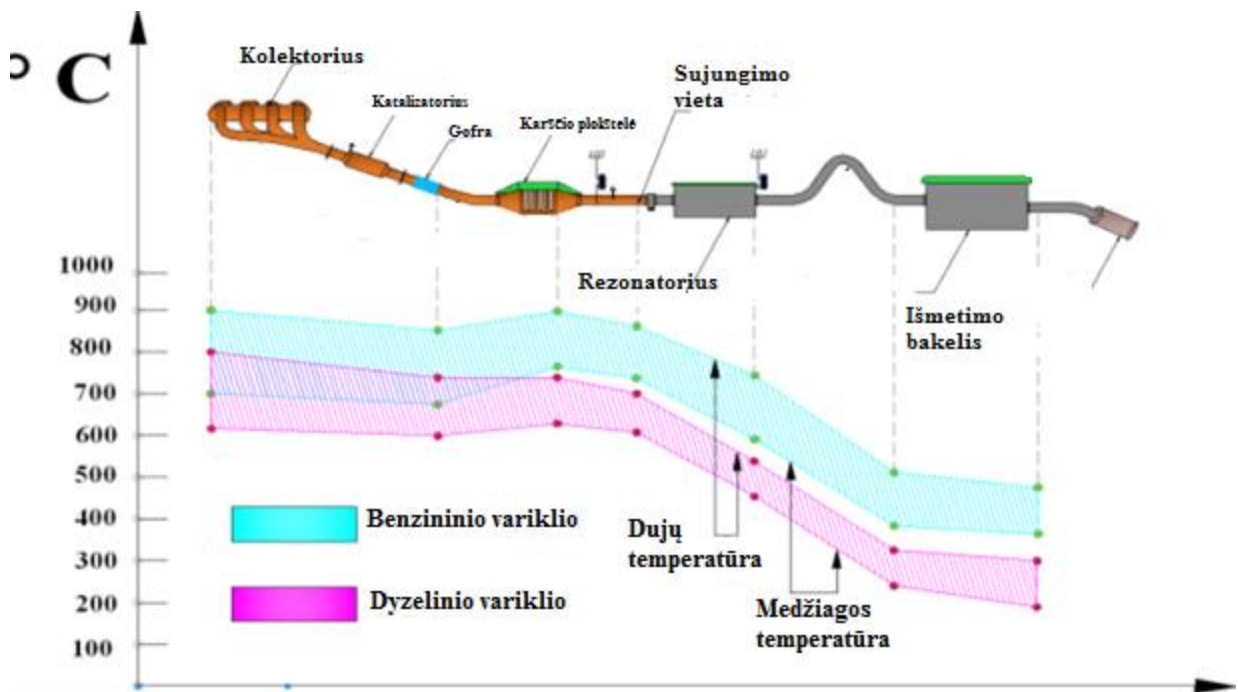
Iš vamzdžių virinti kolektoriai turi mažesnę tekėjimo pasipriešinimą. Dažniausiai tokie kolektoriai naudojami sportiniuose automobiliuose. Tačiau yra automobilių gamintojų, naudojančių virintus kolektorius serijinėje ne sportinio tipo automobilių gamyboje (pavyzdys „JEEP“). Šio tipo išmetimo kolektorių gamybai gali būti naudojamos nerūdijančio plieno arba mažaanglio plieno medžiagos. Mažaanglio plieno kolektoriai pigesni, tačiau jų ilgaamžiškumas trumpesnis nei nerūdijančio plieno. Kaip ir šampuotose kolektoriuose, taip ir virintuose gali atsirasti įtrūkimų.

Taigi:

- Nerūdijančio plieno išmetimo kolektoriai yra atsparūs rūdijimui. Taip pat jie išlaiko ilgalaikį blizgesį, tačiau kolektoriaus gamyba iš šios medžiagos yra gerokai brangesnė nei naudojant kitas medžiagas.
- Išlieti kolektoriai gaminami iš geležies. Jie sunkūs ir negalimas galios didinimas.
- Aliumininis plienas suformuoja oksido sluoksnį, kuris apsaugo nuo korozijos. Šios medžiagos kolektoriai yra lengviausi, tačiau pažeidus šį sluoksnį, prasidžia korozijos procesas [4].

1.2 Išmetimo sistemos temperatūros

Atsižvelgiant į automobilio vidaus degimo variklio tipus (benzininis ar dyzelinis), kinta ir išmetimo sistemos temperatūra. Dyzeliniam varikliui išmetimo sistemos temperatūra priklauso nuo katalizatorių tipo ir kietųjų dalelių filtro užsinešimo lygio. Esant dideliame suodžių kiekiui katalizatoriuje ar kietųjų dalelių filtre (suodžių kiekis >60%) sistemos temperatūra išauga, nes krenta išmetamųjų dujų sukiamas slėgis sistemoje. Esant mažesniai slėgiui, dujos per lėtai yra išmetamos, dėl to įkaitindamos išmetimo sistema, tai paveikia sistemos ilgaamžiškumą. 2 pav. pateikta automobilio išmetimo sistema.



2 pav. Išmetimo sistemos dalių vyraujančios temperatūros [2].

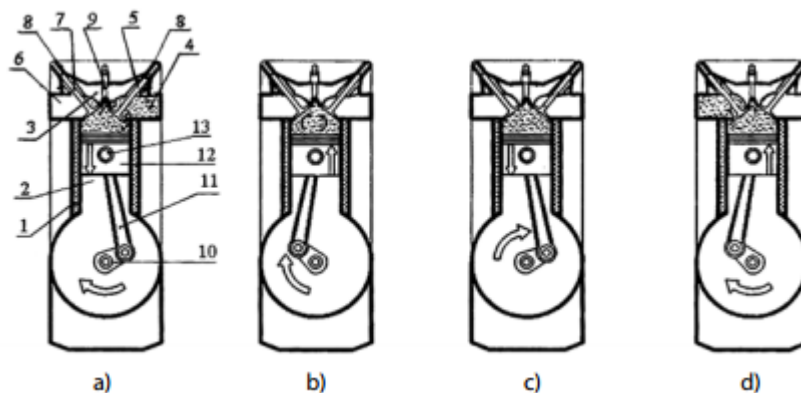
2 pav. Pateikta diagrama, kurioje pavaizduota didžiausia benzininio ir dyzelinio variklio temperatūra yra išmetimo sistemos kolektoriuje, ji siekia $\sim 910^{\circ}\text{C}$. Panaši temperatūra $\sim 900^{\circ}\text{C}$ yra išmetimo katalizatoriuje. Sistemoje matuojamos dvi temperatūros t.y.: išmetimo sistemos medžiagos temperatūra ir išmetamų dujų temperatūra. Tiek benzininio tiek dyzelinio variklio dujų temperatūra yra aukštesnė nei sistemoje naudojamos medžiagos temperatūra. Išmetimo sistemos elementuose, esančiuose už rezonatoriaus temperatūros yra mažesnės nei iki rezonatoriaus. Tai yra dėl to, kad už rezonatoriaus išmetamų dujų slėgis yra didesnis. Dujos išmetamos greičiau, taip nespėdamos įkaitinti išmetimo bakelį iki didesnės nei 500°C temperatūros. Mažesnė darbinė temperatūra padeda pailginti elemento ilgaamžiškumą. Dėl skirtingų išmetimo sistemos vamzdžio sienelių storio ir sistemoje naudojamų medžiagų vyraujančios temperatūros gali kisti. Iš paveikslėlio matome, kad benzininio variklio išmetimo sistemoje vyrauja aukštesnė dujų temperatūra nei dyzelinio variklio išmetimo sistemoje.

1.3 Išmetimo sistemos priežiūra

Kiekviena automobilio sistema reikalauja priežiūros. Dėl netinkamos priežiūros ar eksploataavimo režimų išmetimo sistemos ilgaamžiškumas trumpėja. Darbas labai aukštoje temperatūroje: duslintuvas gali įkaisti iki 800°C važiuojant 130 km/h greičiu. Vidinė duslintuvo korozija, atsirandanti dėl eksploataavimo miesto režimu: užvedant variklį atsiranda kondensatas, kuris nespėja išgaruoti dėl trumpo važiavim ir dėl to duslintuvo vamzdyje susidaro rūgštinis vandens tirpalas, kuris graužia duslintuvo sieneles. Išorinė korozija dėl aplinkos poveikio: duslintuvo paviršius yra pastoviai veikiamas purvo, vandens bei druskų, dėl to vyksta oksidacijos procesas. Susidėvėjusios variklio pagalvės: padidėja variklio bloko judesio amplitudė ir ypač užvedimo/užgesinimo, kai variklis tiesiog „susipurto“ jis atitinkamą impulsą perduoda prie jo pajungtam išmetimo vamzdžiui.

2. Vidaus degimo variklio struktūra

Elementaraus keturtakčio stūmoklinio vidaus degimo variklio struktūra ir darbo ciklai pavaizduoti 3 paveikslėlyje

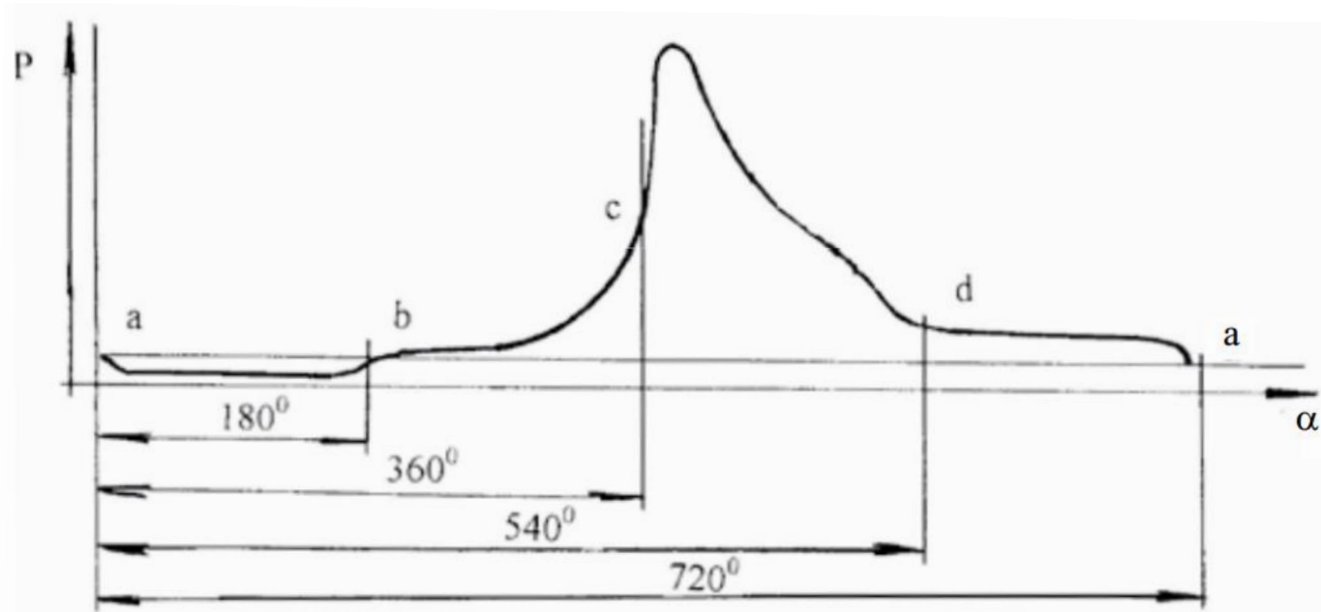


3 pav. Vidaus degimo variklio darbo ciklai [3].

Vidaus degimo variklio sandara pavaizduota 3 pav. (Keturtaktį kibirkštinio uždegimo vidaus degimo variklį sudaro: cilindų blokas 1, cilindras 2, cilindų bloko galvutė 3, įsiurbimo kanalas 4, įsiurbiamasis vožtuvas 5, išmetamųjų dujų kanalas 6, išleidžiamasis vožtuvas 7, vožtuvų spyruoklės 8, kibirkštinė uždegimo žvakė 9, alkūninis velenas 10, švaistiklis 11, stūmoklis 12 ir stūmoklio pirštas 13. Slėginio terminio uždegimo varikliuose vietoje kibirkštinės uždegimo žvakės yra purkštukas, o šaltam varikliui paleisti – kaitinimo žvakė. Alkūninis velenas a) b) c) d) 13 remiasi į cilindų bloką slydimo guoliais ir

juose gali sukintis. Stūmoklis 2 pirštu 13 ir švaistikliu 11 sujungtas su alkūniniu velenu 10. Priklausomai nuo veleno sukimosi stūmoklis gali slankioti cilindre į viršų arba žemyn. Alkūninis velenas kinematinė grandinė sujungtas su įsiurbiamuoju ir išleidžiamuoju vožtuvais ir juos sinchroniškai atidarinėja, o spyruoklės, veikiančios vožtuvus, juos stengiasi uždaryti ir laikyti uždarytus.

Sukant alkūninį veleną, švaistiklis verčia stūmoklį judėti cilindre ašine kryptimi į viršų arba žemyn. Slenkant stūmokliui žemyn, kai įsiurbiamasis vožtuvas 5 atidarytas, cilindro tūris, esantis virš stūmoklio, didėja, ir ten didėja oro išretėjimas. Kibirkštinio uždegimo varikliuose pro atvirą įsiurbiamąjį vožtuvą įsiurbimo kanalu 4 siurbiamas degusis mišinys, kuris užpildo cilindrą. Šis procesas, kai stūmoklis, slinkdamas iš viršaus žemyn, pro atvirą įsiurbiamąjį vožtuvą užpildo cilindrą šviežiu degiuoju mišiniu, vadinamas įsiurbimo taktu 3a paveikslėlis. Slėginio uždegimo varikliuose į cilindrą įsiurbiamas tik oras. Alkūninis velenas, sukdamasis toliau, stumia švaistiklį, o per jį ir stūmoklį į viršų. Per kitą kinematinę grandinę veleno kumštėlis atleidžia įsiurbiamąjį vožtuvą 5, kurį spyruoklė 8 prispaudžia prie lizdo ir uždaro įsiurbimo kanalą. Kai stūmoklis kyla į viršų, o abu vožtuvai uždaryti, cilindre virš stūmoklio esantis degusis mišinys yra suspaudžiamas. Šis procesas vadinamas suslėgimo taktu 3b paveikslėlis. Tuo momentu, kai stūmoklis pasiekia beveik kraštinę viršutinę padėtį, variklio uždegimo sistemos elektros grandinėje suformuojamas aukštosios įtampos srovės impulsas, kuris, patekęs į uždegimo žvakės centrinį elektrodą, sudaro potencialų skirtumą ir tarp žvakės elektrodų atsiranda iškrovos kibirkštis. Nuo kibirkšties degusis mišinys staigiai įsiliepsnoja. Slėginio uždegimo varikliuose suspaudžiamas oras, o į suslėgtą ir įkaitusį degimo kameroje orą įpurškiami dyzeliniai degalai, kurie nuo temperatūros savaimė įsiliepsnoja. Degant degalų ir oro degiajam mišiniui, cilindre virš stūmoklio staiga pakyla temperatūra, degančių dujų slėgis, kuris didele jėga slegia stūmoklį žemyn, per švaistiklį verčia sukintis 14 alkūninį veleną. Šis procesas, kai degančių dujų slegiamas stūmoklis spaudžiamas žemyn ir per švaistiklį suka alkūninį veleną, vadinamas darbo taktu 3c paveikslėlis. Alkūninis velenas, veikiamas inercijos jėgų, sukasi toliau, per švaistiklį stumia stūmoklį į viršų, o per kinematinę grandinę atidaro išleidžiamąjį vožtuvą. Stūmoklis, slinkdamas į viršų, išstumia dujų deginius pro atvirą išleidžiamąjį vožtuvą. Šis procesas vadinamas išmetimo taktu 3d paveikslėlis. Įsiurbimo, suslėgimo, darbo ir išmetimo taktai sudaro visą keturtakčių variklių darbo ciklą. Visas keturtakčio variklio darbo ciklas viename cilindre įvyksta per du alkūninio ir vieną skirstomojo veleno apsisukimus.



4 pav. Keturtakčio variklio slėgio kitimas nuo veleno posūkio kampo [3].

Iš dujų slėgio kitimo diagramos pateiktos 4 pav., matome, kad visas darbo ciklas keturtakčiame variklyje įvyksta apsisukus alkūniniam veleniui 720° . Kaip veleno posūkis yra 540° - 720° intervale (darbo taktas) variklyje slėgis yra didžiausias. Esant 0° - 180° veleno posūkio kampui, t.y. pirmam taktui (įsiurbimo), vidaus degimo variklyje vyrauja žemiausias slėgis.

3. Baigtinių elementų metodo apžvalga

Baigtinių elementų metodas (BEM) yra vienas plačiausiai taikomų metodų, skirtų mechaninių, hidraulinių, šiluminių ir kitų fizinių sistemų uždaviniams spręsti bei dinaminiais procesams modeliuoti. Baigtinių elementų metodu galima įvertinti įtempių būvio, šilumos sklaidimo stacionarius ir kintamus procesus. Jis yra pagrįstas diferencialinių lygčių ir jų sistemų pakeitimu tiesinėmis lygčių sistemomis ir jų sprendimu naudojant kompiuterinę įrangą.

BEM buvo sukurtas įtempių analizės uždaviniams spręsti. Dabar šis metodas taikomas statybinėms konstrukcijoms, elektriniams ir šiluminiams varikliams, laivams, automobiliams, taip pat ekspertiniams uždaviniams spręsti, atliekant šių konstrukcijų stiprumo, standumo, stabilumo ir ilgaamžiškumo patikrą.

Svarbi BEM sudėtinė dalis yra baigtinių elementų savybės. Naudinga žinoti, kad naudojant nedidelį skaičių sudėtingesnių baigtinių elementų galima gauti geresnius rezultatus, negu naudojant didesnį skaičių paprastesnių elementų [1].

Pasirenkant baigtinių elementų tipą reikia atsižvelgti į konstrukcijos savybes ir jos apkrovimo pobūdį. Tas pats elementas gali gerai tikti vienam uždaviniui, tačiau bus mažai efektyvus kitam uždaviniui. Elementų

pasirinkimą lemia daugelis veiksnių: geometrija, apkrovimo sąlygos, medžiagos modelis, nagrinėjamos problemos pobūdis ir pan.

BEM- tai apytikslis uždavinių sprendimo metodas, kurį taikant nagrinėjamo objekto geometrija, medžiagų savybės ir apkrovimo pobūdis yra sprendžiamas paprastomis matematinėmis funkcijomis kiekvienoje nagrinėjamos srities dalyje. Funkcijų vertės turi atitikti mazgus, kuriais yra sujungtos šios sritys - baigtiniai elementai.

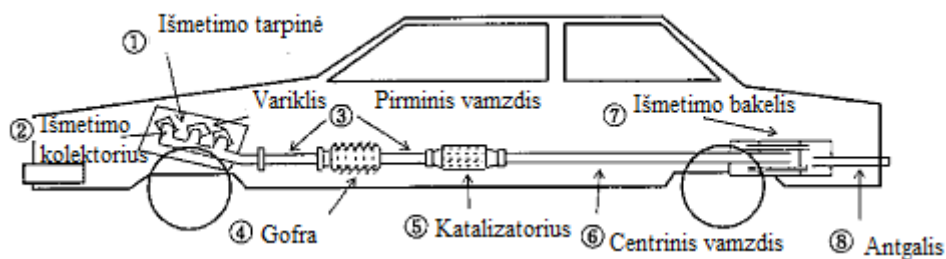
Atliekant baigtinių elementų analizę paprastai sprendžiami tokie klausimai:

- Sudaromas diskretus tiriamojo kūno arba srities modelis. Čia standartiniu pavidalu užrašomos tiriamojo kūno ar kūnų sistemos statistikos, dinamikos, šilumos mainų.
- Parenkama gautųjų diskrečiojo modelio lygčių sprendimo strategija. Ji labai priklauso nuo fizinės uždavinio esmės. Dinamikoje – tas pats baigtinių elementų modelis gali būti panaudotas labai įvairiems uždaviniams formuluoti.
- Išsprendžiamos diskrečiojo modelio lygtys.
- Iš gautojo lygčių sistemos sprendinio apskaičiuojami reikalingi išvestiniai dydžiai, tokie kaip: įtempimai deformuojamame kūne, skysčio greičiai [1].

4. Literatūros apžvalga

4.1 Dabartinės ir ateities metalų rūšys naudojamos automobilių išmetimo sistemoje

Jungtinėse Amerikos Valstijose 1960 metais pirmi pradėjo naudoti 409 tipo nerūdijantį plieną automobilio išmetimo sistemai. Japonai 1970 metais pradėjo naudoti 409 tipo nerūdijantį plieną automobilių išmetimo sistemoms, kurios turėjo katalizatorių. Norėdami prailginti išmetimo sistemos tarnavimo laiką, karštai grūdintas anglinis plienas buvo keičiamas nerūdijančiu plienu. Šiuo metu nerūdijantis plienas naudojamas visoje išmetimo sistemoje, nuo išmetimo kolektoriaus iki duslintuvo antgalio. 5 pav. pavaizduota automobilio išmetimo sistema.



5 pav. Išmetimo sistema automobilyje [13].

Iš pradžių 409 tipo nerūdijantis plienas buvo vienintelis nerūdijantis plienas naudojamas išmetimo sistemai Japonijoje. Bėgant laikui kilo poreikis aukštos kokybės nerūdijančiam plienui, įtraukiant feritinį nerūdijantį plieną, atsparų temperatūriniam pokyčiam, austenitinį nerūdijantį plieną atsparų aplinkos poveikiui, korozijai, išmetimo sistemos sujungimui.

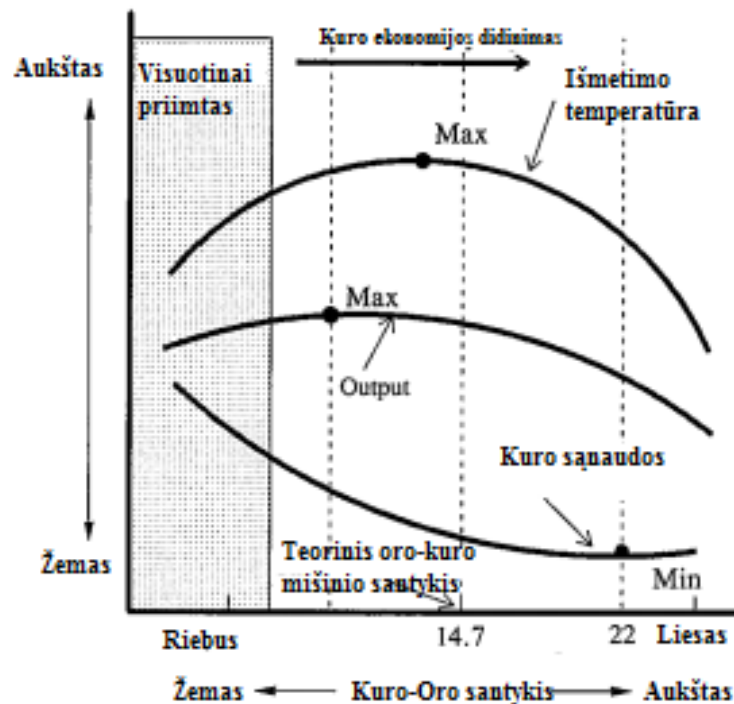
1 lentelė

Nr.	Dalis	Temperatūros , ^o C	Plieno markė
1	Išmetimo tarpinė prie variklio	100	SUS301L
2	Išmetimo kolektorius	950-800	YUS409D, YUS180
3	Pirminis vamzdis	800-600	YUS409D, YUS180, YUS436S
4	Gofra		SUS304, SUSXM15J1, SUS302B
5	Katalizatoriai		YUS205M1
6	Pagrindinis vamzdis	600-300	YUS409D, YUS436S, YUS432
7	Duslintuvas	300-100	YUS409D, YUS436S, YUS432, NSA1 YUS409D, NSA1 YUSA32
8	Duslintuvo antgalis		YUS436S, YUS432, NSA1 YUS409D

1 lentelėje pateiktos nerūdijančio plieno markės, naudotos išmetimo sistemų gamyboje. Išmetimo kolektorius, per sujungimus yra pritvirtintas prie variklio. Kolektoriui teka dujų srautas, kuris jį, dėl išmetimo sistemoje atsirandančių slėgių ir temperatūrų įkaitina. Kolektoriui gaminti naudojama FCD41 geležis. 1980m. kolektorių gamybai pradėti naudoti YUS409D ir YUS180 markių angliniai nerūdijantys plienai (storis 2 mm). Šie plienai pasižymi atsparumu oksidacijai ir terminiam nuovargiui. Ketaus naudojimas išmetimo sistemose yra sumažintas, nes naudojant nerūdijantį plieną taip pat galima išlieti (atliekant vakuminę liejimo procedūrą) reikiamos formos ir sienelės storio išmetimo kolektorių.

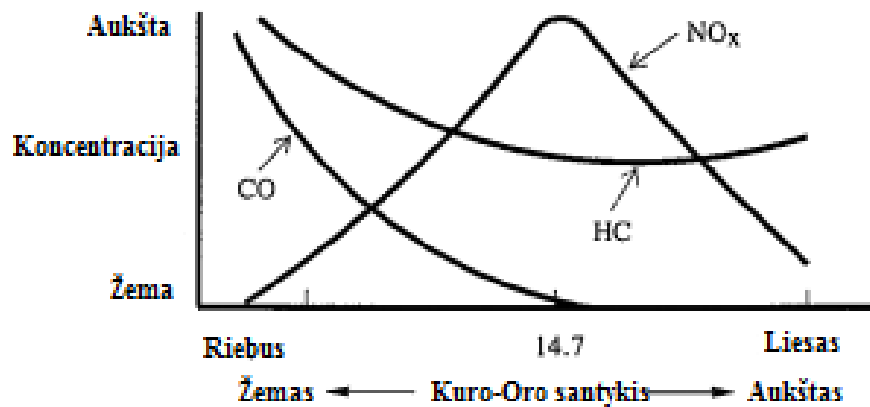
Vieni pagrindinių reikalavimų išmetimo kolektoriams yra : atsparumas oksidacijai, temperatūriniam nuovargiui, nedidelis šilumos laidumas, katalizatorių funkcijoms atlikti ,geras suvirinamumas ir paprastas sistemos surinkimas.

Anglinis nerūdijantis plienas sustiprintas niobiu ir molibdenu yra atsparesnis terminiams įtempiams ir oksidacijai.



6 pav. Grafike pateikta kuro ekonomijos ir išmetimo sistemos temperatūros priklausomybė nuo kuro-oro mišinio santykio [13].

6 pav. pavaizduotas kuro ekonomijos ir išmetimo sistemos temperatūros priklausomybė nuo kuro-oro mišinio santykio. Iš grafiko matome, kad esant liesam kuro-oro santykiui temperatūra yra žema. Optimalus kuro-oro santykis išgauna didžiausią išmetimo temperatūrą. Esant riebesniam kuro mišiniui, sąnaudos, dėl nesudeginto kuro, išauga. Išmetimo temperatūra yra žemesnė, nei esant optimaliam kuro mišiniui. Jei mišinys yra liesas, išmetamųjų dujų temperatūra yra žemesnė nei riebaus ar optimalaus mišinio.



7 pav. Grafike pateikta išmetamų dujų koncentracijos priklausomybė nuo kuro-oro mišinio santykio [13].

7 pav. Pateikta išmetamų dujų koncentracijos priklausomybė nuo kuro-oro mišinio santykio. Esant optimaliam kuro mišinio santykiui, išmetamų dujų CO koncentracija yra žema, maksimalią riba siekia NO_x koncentracija, vidutinė koncentracija HC. Liesinant mišinį No_x koncentracija mažėja, HC koncentracija didėja, o CO koncentracija pasidaro arti nulio.

Pirminis vamzdis sujungia išmetimo kolektorių su katalizatoriumi. Siekiant, kad katalizatorius atliktu savo darbą, reikia, kad pirminis vamzdis atiduotų kuo mažiau temperatūros į lauką. Pradžioje, buvo naudojamas vientisas vamzdis, dabar naudojami plonasieniai dvigubi vamzdžiai, išvengti temperatūros mainų su aplinka. Pirminiam vamzdžiui gaminti naudojamas YUS409D, YUS436S arba YUS180 tipo plienai.

Gofruotas sujungimo vamzdis statomas tarp pirminio vamzdžio ir katalizatoriaus. Jo paskirtis- sumažinti vibracijas perduodamas iš variklio į išmetimo sistemą. Gofros vamzdžio sienelių diametras 0.3-0.4 mm. Vamzdis yra apipintas metalinėmis gijomis. Gofrai naudojama austenitinis nerūdijantis plienas dėl savo suvirinamumo ir hidrostatinio pranašumo. Dėl temperatūrinių pokyčių gofroje ir aplinkos poveikių ji gaminama iš SUSXM15J1.

Straipsnyje aprašytos medžiagos, kurios buvo ir yra naudojamos automobilio išmetimo sistemoje. Pateikti temperatūrų įtaka išmetimo sistemos terminiam nuovargiui, oksidacijai. Aprašyti temperatūrų įtaka kompozitinėms medžiagoms. Grafiškai pavaizduota kuro-oro mišinio įtaka ekonomijai ir išmetimo temperatūrai.

4.2 Išmetimo sistemos kolektoriaus dizaino patobulinimas

Viena pagrindinių išmetimo kolektorių problemų, tai termodinaminis nuovargis, atsirandis dėl ilgalaikių temperatūrinių pokyčių metale. Dėl šio nuovargio kolektoriuose atsiranda mikroįtrūkimų, kurie, laikui

bėgant auga, taip kolektorius tampa netinkamas naudojimui. Išmetamų dujų temperatūros augimą įtakoja gamintojų keliami galios ir emisijos standartų reikalavimų tenkinimai. Išmetamų dujų temperatūros augimas iššaukia tris pagrindines kolektorių bėdas [7]:

- Oksidaciją (Aplinkos poveikis)
- Valkšnumą (Laiko poveikis)
- Mechaninį nuovargį (Ciklinis plastiškumas)

Oksidacijos bėdos sprendimas – parinkimas medžiagos, turinčios didesnę oksidacijos atsparumą, tačiau kadangi oksidacija susijusi su temperatūra, optimalios medžiagos parinkimas yra apsunkinamas dėl sudėtingų kolektorių geometrijų ir nuolat kintančių apkrovų.

Pagrindinė išmetimo kolektorių sutrūkinėjimų priežastis – plastiškumas, kurį galima keisti, keičiant kolektoriaus formą, sienelių storį taip pat medžiagą. Žemiau esančioje 2 lentelėje pateikti kolektoriaus gamybos būdai bei naudojamos medžiagos.

2 lentelė

Tipas	Medžiagos	Temperatūra, °c	Ypatumai	Tikslai
Išlietas	GJS-SiMo-5.0-1.0 GJV-SiMo-4.5-0.6 GJSA-XNSiCr35-5.2 GX40CiNiSi25-20	700-830 800-860 850-1050 1050-1100	+ Gamybos kaina + Dizainas - Emisija - Svoris	Emisija, galia, svoris, dydis, pagaminio kaina, akustika, dinaminis patvarumas, terminis atsparumas.
Virintas	X2 CrTiNb18 X5CrNi 18-10 X6CrNiTi 18-10 X15CrNiSi 20-12	900-950 900-850 850-920 950-1000	+ Emisija + Termiškai stabilus -Sudėtingas dizainas - Dinaminės apkrovos	

2 lentelėje pateikti du galimi kolektorių tipai: išlieti ir virinti. Taip pat medžiagos, kurios naudojamos skirtingiems kolektorių tipams bei virujančios darbinės temperatūros. Išlieti kolektoriai turi pranašumą gamybos kainoje, tačiau jie yra sunkenski lyginant su virintais. Virintų kolektorių privalumas – terminis stabilumas.

Atliekant išmetimo kolektoriaus analizę atkreipiamas dėmesys į:

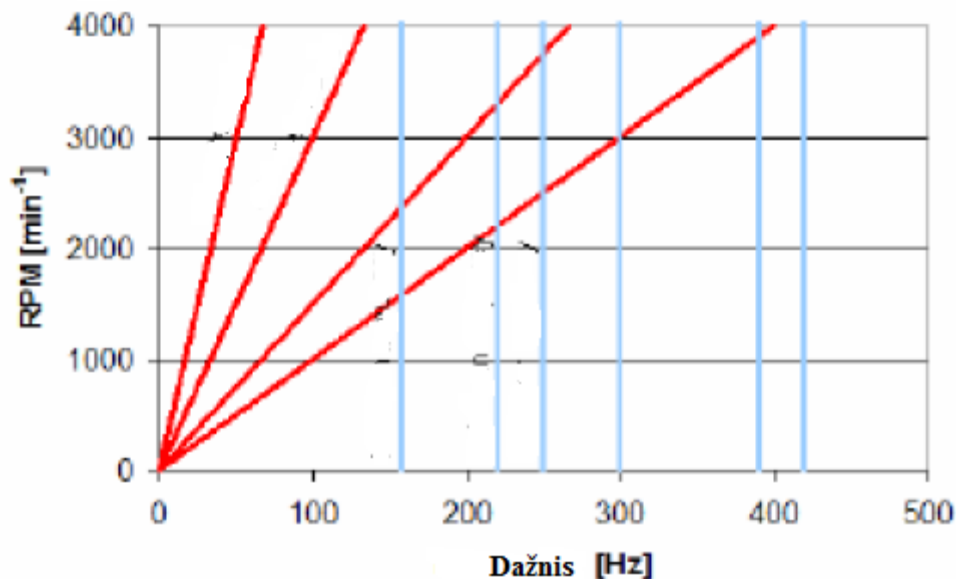
- Temperatūrinius lygis- apibrėžia valkšnumo būseną, oksidaciją ir mikroįtrūkimus.
- Termomechaninius suvaržymus – usvaržymus atsirandančius dėl vidinių ir išorinių apkrovų (kolektoriaus priveržimo, terminio išsiplėtimo koeficiento).

Išmetimo kolektoriaus problemos:

Termomechaninių įtempių trūkimas - pirminis temperatūrinis išmetimo kolektoriaus apkrovimas gali įtakoti pasiektas takumo ribos reikšmes kolektoriaus geometrijoje. Ciklinė temperatūrinė apkrova parodo vietas, kuriose atsiranda įtrūkimai. Priklausomai nuo įtempių buvimo vietos geometrijoje, reikalingi optimalūs parametrai optimizacijai atlikti. Tampa aišku, kad reikalingos išsamios žinios apie sistemos elgesį, norint parinkti medžiagą, sienelės storį.

Pratekėjimas- nepaisant sutrūkinėjimo sistemoje, esant ciklinėms apkrovoms pasireiškia ir pratekėjimo problema kolektoriuje. Ši problema išryškėja apkraunant modelį didesniu ciklų skaičiumi.

Ciklinis nuovargis- ši problema atsiranda dėl dinaminio poveikio. Ši problema pasitaiko rečiau. Tiriant ciklinį nuovargį atliekama dažnio poveikio analizė. 8 paveikslėlyje matome analizės rezultatus pateiktus esančiame grafike.



8 pav. Išmetimo kolektoriaus dažnių priklausomybės nuo variklio nuosavo ciklo grafikas [13].

8 pav. pateikta dažnio priklausomybė nuo variklio apsisukimų. Dėl temperatūrinių ir dinaminių sistemos apkrovų trumpėja sistemos ilgaamžiškumas.

Studijoje aptarta integruotas sprendimo būdas, kuriuo siekiama išvengti išmetimo geometrijoje atsirandančių trūkumų. Tinkamų medžiagų, apkrovų ir suvaržymų parinkimas, geometrijos optimizavimas padeda sumažinti galimų gedimų tikimybę.

Dėl emisijos reikalavimų automobiliams, gamintojai privalo siekti naujų išmetimo dujų standartų. Siekiant šių standartų automobilio išmetimo sistemos temperatūros tampa vis aukštesnės, tai verčia keisti naudojamą gamybos medžiagas naujomis, kurios atitiktų aukštesnes temperatūras. Studijai naudota virtualaus dizaino programa.

4.3 Dujų tekėjimo dinamika automobilių išmetimo sistemoje su katalizatoriumi

Dėl besikeičiančių išmetimo dujų standartų, vis daugiau dėmesio skiriama išmetimo sistemos elementams, jų medžiagos ir temperatūros pokyčiams.

	Leistinos reikšmės [g/km]							
	CO		C _x H _y +NO _x				PM	
	Benzinas Dyzelis		Benzinas Dyzelis				Benzinas Dyzelis	
1992, Euro I	2.72	2.72	0.97	0.97	-	-	-	0.14
1996, Euro II	2.20	1.00	0.50	0.7/0.9 ¹	-	-	-	0.08/0.1 ¹
	CO		C _x H _y		NO _x		PM	
	Benzinas Dyzelis		Benzinas Dyzelis		Benzinas Dyzelis		Benzinas Dyzelis	
2000, Euro III	2.30	0.64	0.20	-	0.15	0.50	-	0.05
2005, Euro IV	1.00	0.50	0.10	-	0.08	0.25	-	0.025
2008, Euro V	1.00	0.50	0.075	-	0.06	0.20	0.005	0.005

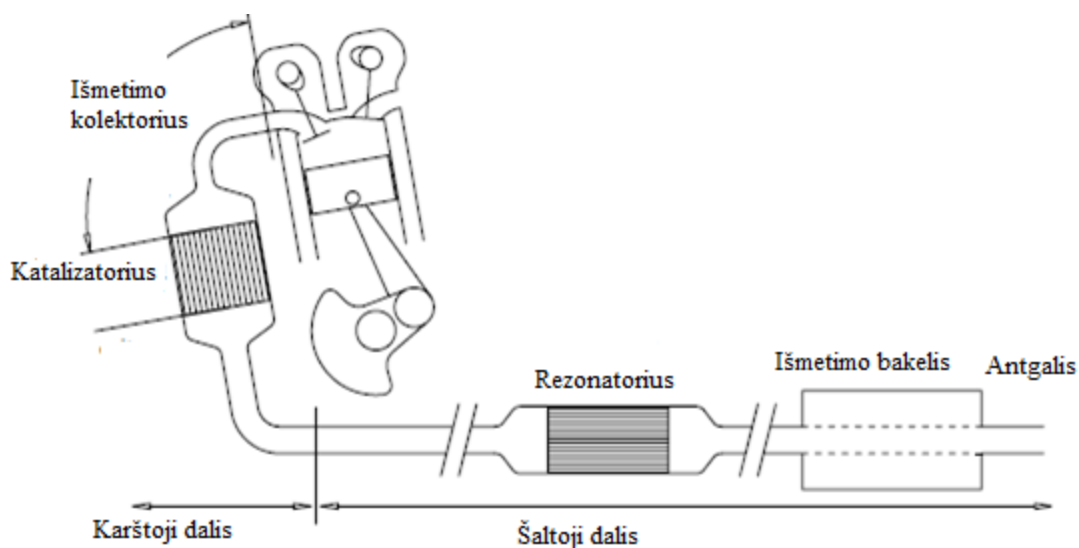
9 pav. Leistinos išmetamųjų dujų reikšmės pagal EURO standartus [6].

Norint pasiekti emisijos standartus pateiktu 9 pav., išmetimo sistemoje reikalingi katalizatoriai. Benzininiuose varikliuose katalizatorius vienu metu CO ir C_xH_y paverčia CO₂ ir vandeniu, taip pat sumažina NO_x kiekį. Dyzeliniai automobiliai turi oksidacinius katalizatorius. Pagrindinė dyzelinių variklių emisijos dalį sudaro NO_x. Katalizatoriaus medžiagos sumažina reakcijos nergiją, kuri iššaukia išmetimo sistemos temperatūros kilimą (400^{oC}-800^{oC}). Katalizatoriui reikalinga temperatūra 250-400 laipsnių celsijaus, kad prasidėtų reakcijos.

Pagrindiniai produktai esantys išmetamosiose dujose:

- Karbono monoksidas (CO) – atsiranda dėl blogai sudegusio mišinio degimo kameroje. CO aplinkoje mažina kraujo gebėjimą nešti deguonį organizme, dėl per didelio CO kiekio aplinkoje, atsiranda galvos skausmai ir kvėpavimo problemos.
- Karbono dioksidas (CO₂) – netoksinės dujos, tačiau prisideda prie „ šiltnamio“ efekto. Priimami vis griežtesni reikalavimai, sumažinti CO₂ taršą, norint išvengti globalinio atšilimo.
- Nitrogeno oksidai (NO_x)- išsiskiria bet kuriame degimo procese. NO_x oksiduoja atmosferoje ir įtakoja rūgščius lietus. Taip pat NO_x reaguoja su hidrokarbonais, išgauti fotocheminius oksidus.
- Sieros dioksidas (SO₂)- siera išgaunama iš neapdirbtos naftos, iš kurios gaminamas dyzelinas ir benzinai. Siera suformuoja abrazyvinį paviršių, kuris trumpina variklio darbo laiką. Ji taip pat prisideda prie kietųjų dalelių susiformavimo. Siera įtakoja variklio išgaunamą galią, taip apt išmetamos sistemos kietųjų dalelių filtro ilgaamžiškumą.

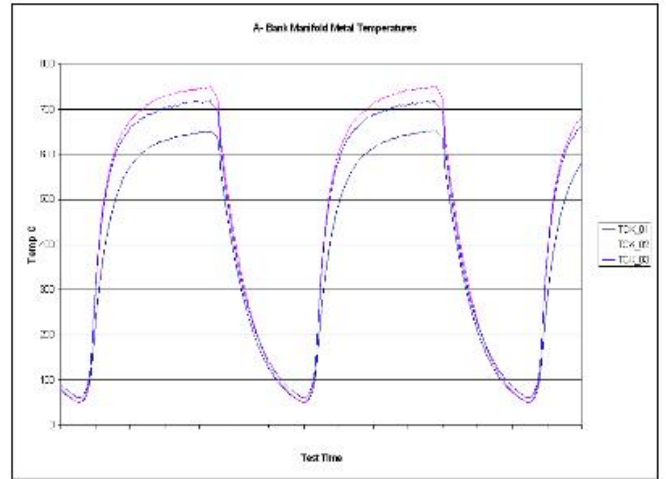
- Hidrokarbonas (HC) – HC tai nesudegintas kuras, variklio darbo metu. Taip pat dėl nesandarios kuro sistemos HC gali garuoti į aplinką. Šis produktas reaguoja su NO_x saulės šviesoje ir išskiria fotocheminį oksidą.
- Benzenas (C_6H_6)- randamas mažuose kiekiuose benzino ar dyzelino. Benzenas išmetas kaip nesudegintas kuras. Ilgalaikis benzeno poveikis sveikatai- leukemia.
- Kietosios dalelės - dažniausiai pasitaiko dyzeliniuose varikliuose. Išsiskiria degimo proceso metu. Šios dalelės gali patekti į žmogaus kvėpavimo takus, tai gali sukelti kvėpavimo problemų. Naujuose automobiliuose įrengti kietųjų dalelių filtrai, jie stabdo kietąsias daleles nuo patekimo į atmosferą [11].



10 pav. Paveikslėlyje pavaizduoto išmetimo sistemos karštoji ir šaltoji zonos [12].

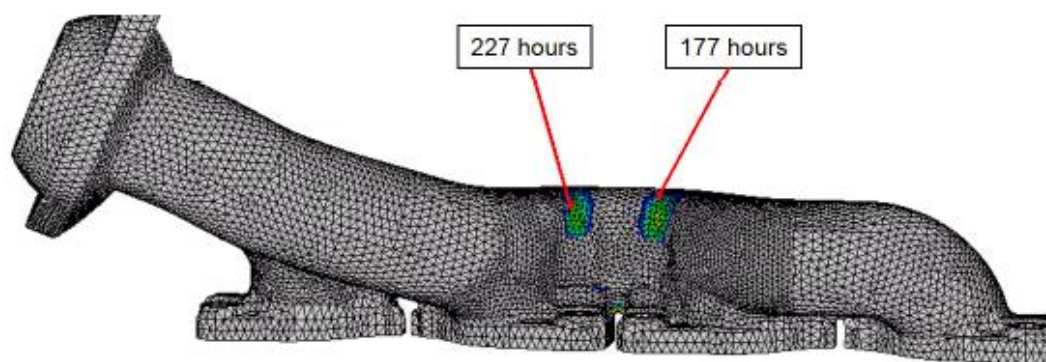
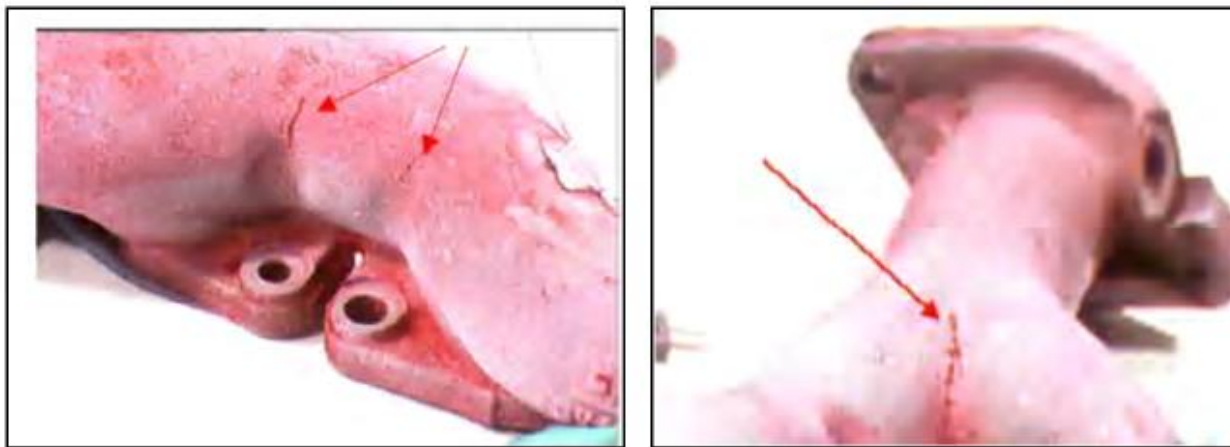
10 pav. matome išmetimo sistemos karštoji ir šaltoji dalys. Karštąją dalį sudaro išmetimo kolektorius ir katalizatorius. Šaltąją dalį sudaro rezonatorius ir išmetimo bakelis.

Išmetimo kolektoriaus apkrovos ciklai atliekami šimtus kartus kaitinant ir vėsinant kolektorių. Kolektorius yra kaitinamas variklio maksimalios apkrovos metu kelias minutes, poto staigiai ataušinamas iki kambario temperatūros. Sukuriamas išorinis aptekancio oro efektas, vėsinti kolektorių. Išmetimo kolektoriaus medžiagos pasiektos temperatūros lyginamos su realiomis sąlygomis gautomis temperatūromis 11 pav.

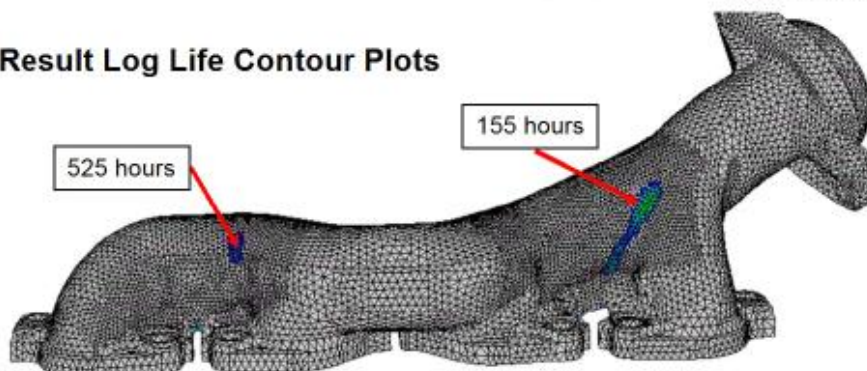


11 pav. Temperatūros matavimas kolektoriuje ir skirtinguose taškuose gautų temperatūrų grafikas [18].

Šiuo testavimo būdu gaunami realių eksploataavimo sąlygų temperatūrinių ciklu rezultatai. Gamintojai gali remtis šiais rezultatais žiūrėdami į garantines detales arba detalių dilimą eksploatacijos metu.



Turbolife Result Log Life Contour Plots



12 pav. Ciklinių apkrovų įtaka išmetimo kolektoriui [18].

12 pav. pateikta ciklinių apkrovų poveikiai kolektoriui. Praėjus 177 ir 227 valandoms metale atsirado deformacijų. Po 155 ir 525 valandų atsirado įtrūkimo požymių.

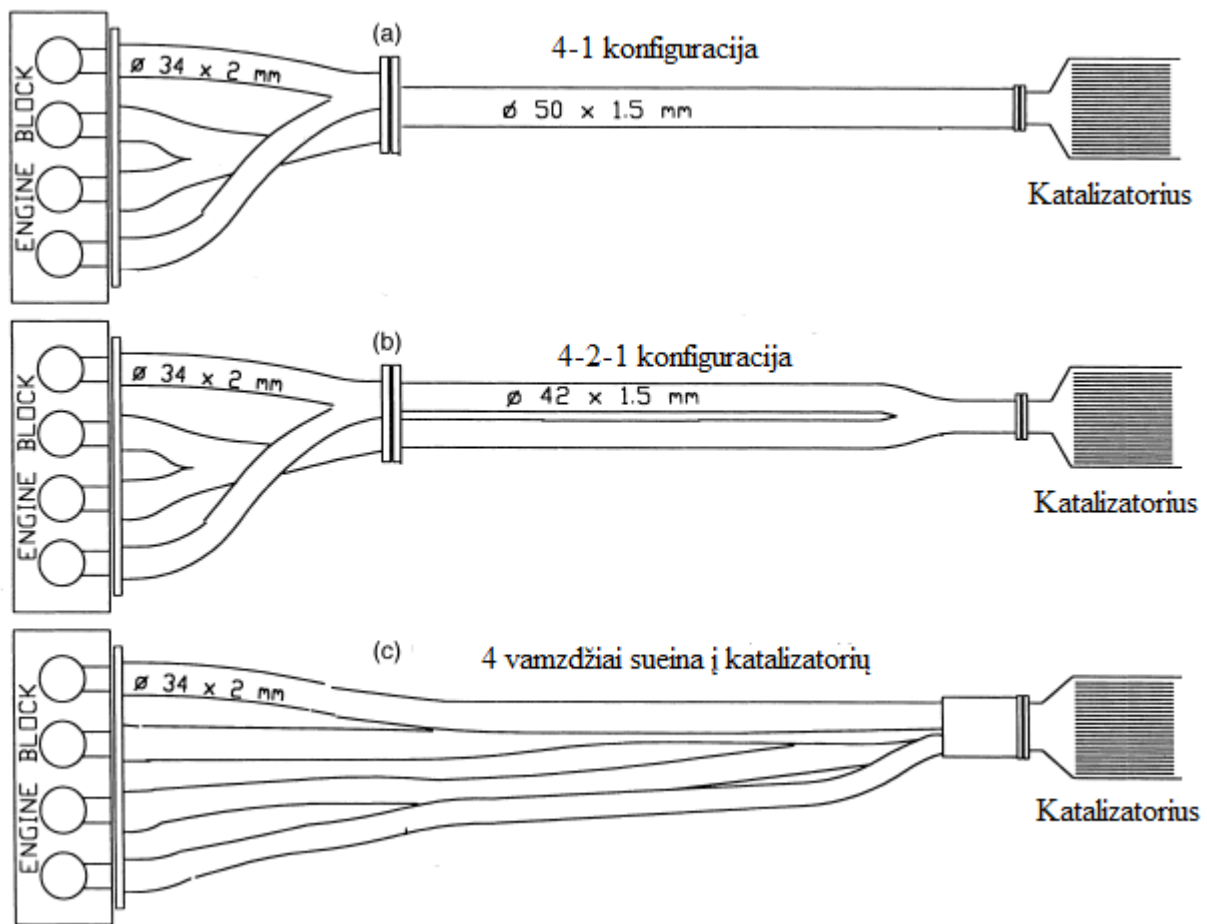
Taigi programa suteikia galimybę ištirti ilgalaikių temperatūrinių poveikių veikiamos detalės elgsią. Šiuo atveju, tiriamas kolektorius, buvo sutrumpintas gamintojų skiriamas dėmesys geometrijos elgsiaiui veikiant apkrovoms. Taip pat atrinktos gamybai galimos naudoti medžiagos.

4.4 Variklio išmetimo sistemos dizainas paremtas perduodamomis temperatūromis

Automobilio išmetimo sistemos temperatūros tyrinėjimas trunka jau kelis dešimtmečius. Išmetimo kolektoriaus dizainas įtakoja variklio gaunamą galią ir yra svarbi dalis siekiant iš to pačio variklio išgauti daugiau galios. Atsižvelgiant į dizainą, vamzdžio diametras ir ilgis apibrėžia variklio galią taip pat maksimalios galios diapozoną. Gaminant kolektorių svarbu atsižvelgti į vidaus degimo variklio cilindrų skaičių, kubatūrą, maksimalius leistinus apsisukimus.

Kiekvienas tyrimas suteikia galimybę geriau suprasti temperatūrų poveikį sistemos ilgaamžiškumui ir ekologiniams standartams. Taip pat didelis dėmesys atkreiptas į šalto ir darbinės temperatūros variklio išmetimo sistemos įtakos katalizatoriui ir kietųjų dalelių filtrui.

Norima sumažinti šalto variklio išmetimo sistemos emisiją. Tam bandomos skirtingos išmetimo sistemos kolektorių geometrijos 13 pav.



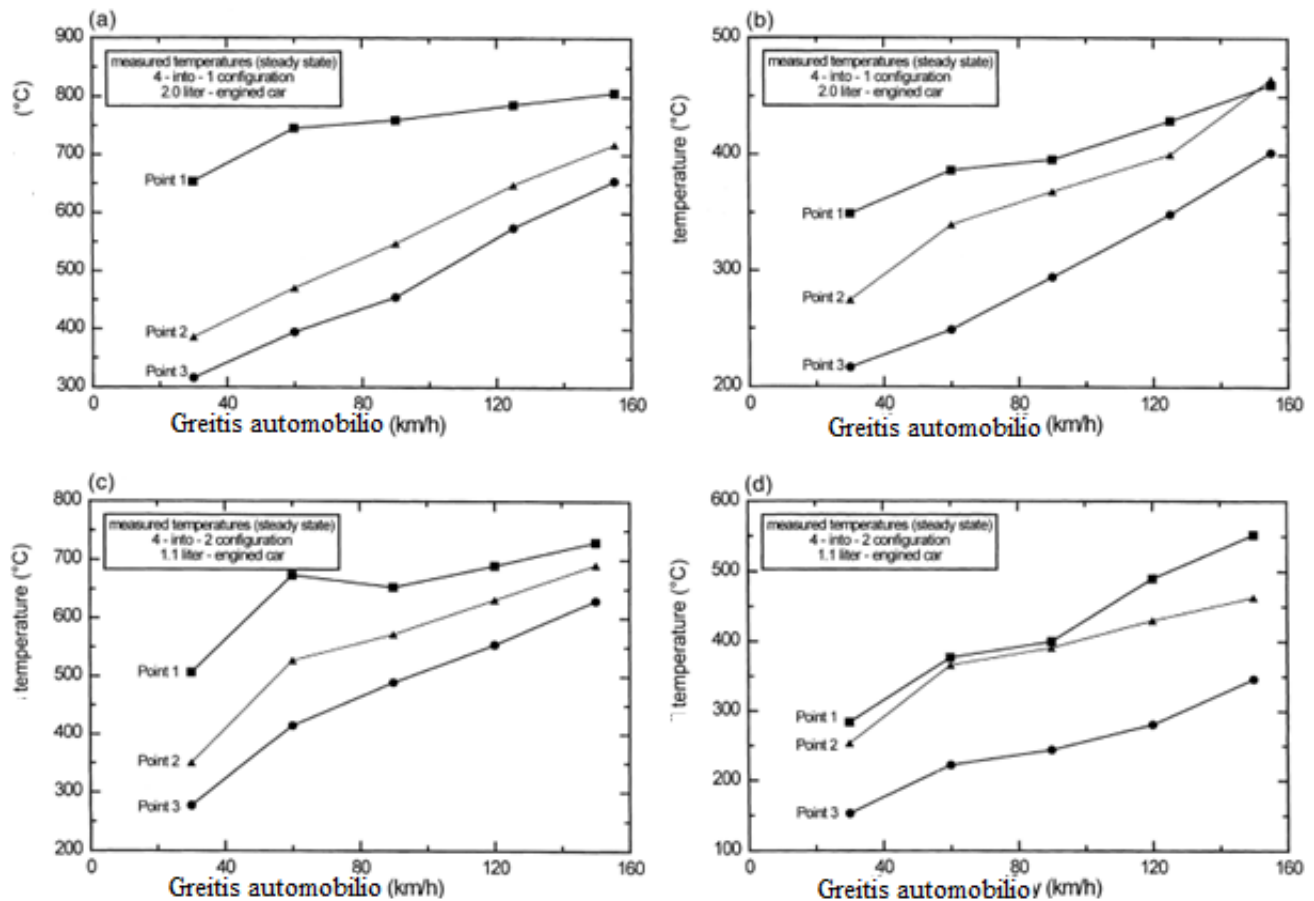
13 pav. Galimos kolektorių kombinacijos [19].

13 pav. matome lengvojo automobilio išmetimo sistemos kombinacijas nuo kolektoriaus iki katalizatoriaus.

Išmetimo sistemos konfigūracijos:

- 4-1 konfigūracija (13a pav.)
- 4-2-1 konfigūracija (13b pav.)

- 4 vamzdžiai sueina į katalizatorių (13c pav.)



14 pav. Bandytų skirtingų geometrijų išmetimo sistemos temperatūros [19].

14 paveiksle pateikti grafikai (a,b) dviejų litrų kubatūros automobilių, (c,d) vieno litro kubatūros automobilio. Temperatūros matuotos esant skirtingiems greičiams: 30, 60, 90, 120 ir 150 km/h.

Taigi, gerai suprojektuota dujų išmetimo sistema surenka išmetamąsias dujas iš variklio cilindrų ir išmeta jas greitai ir su minimaliu triukšmu. Pagrindinė sistemos projektavimo siekiamybės yra šios:

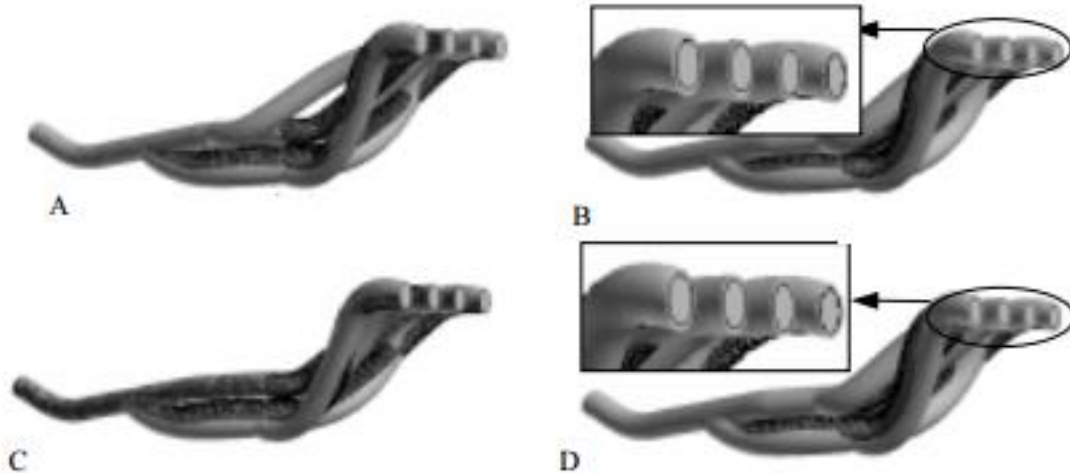
- Sumažinti dujų srauto (atgalinio slėgio) pasipriešinimą, tačiau išlaikyti jį leistinos ribose, kurios nurodytos konkrečiam variklio modeliui, kad užtikrinti maksimalų efektyvumą.
- Sumažinti išmetimo sistemos triukšmo lygį, siekiant užtikrinti išmetimo garso reglamentus.
- Sumodeliuoti tinkamą atstumą tarp išmetimo sistemos komponentų ir variklio dalių, mašinos konstrukcijos, siekiant sumažinti neigiamą išmetamųjų dujų sistemos temperatūros poveikį automobilio dalims.
- Apsaugoti variklio dalis (variklio galvutę, turbiną) nuo per aukštos temperatūros. Dėl detalių perkaitimo trumpėja jų ilgaamžiškumas.
- Tvarkymo ar keitimo atveju, sistemos konstrukcija turi būti lengvai ardoma.

Tipiška dujų išmetimo sistema automobilyje sukuria Reinoldso dydį, kurio ribos 10^3 - $5 \cdot 10^4$. Išmetimo sistema dažniausia pasiekia $Re < 2300$, ypač dujos tekančios išmetimo kolektoriumi. Nepaisant šio fakto, kad dujų tekėjimas išlieka turbulentinis net kai jis prateka pro katalizatorių. Pro išmetimo vožtuvus pratekantis nepastovus dujų kiekis nepereina į laminarinį tekėjimą. Šilumos perdavimas išmetimo sistemoje yra nestabilus. Atsidarius išmetimo vožtuvui, per kanalą išteka didelis srautas dujų, kuris suformuoja recirkuliacijos zonas, kuriose vyrauja didesnės temperatūros. Vožtuvui atsidarius pilnai, dujų tekėjimas panašus į turbulentinį. Kai išmetimo vožtuvas užsidaro, atsiranda kitos vietos kanale, kurios susiformuoja recirkuliacijos zonas, kuriose taipogi temperatūros yra aukštesnės.

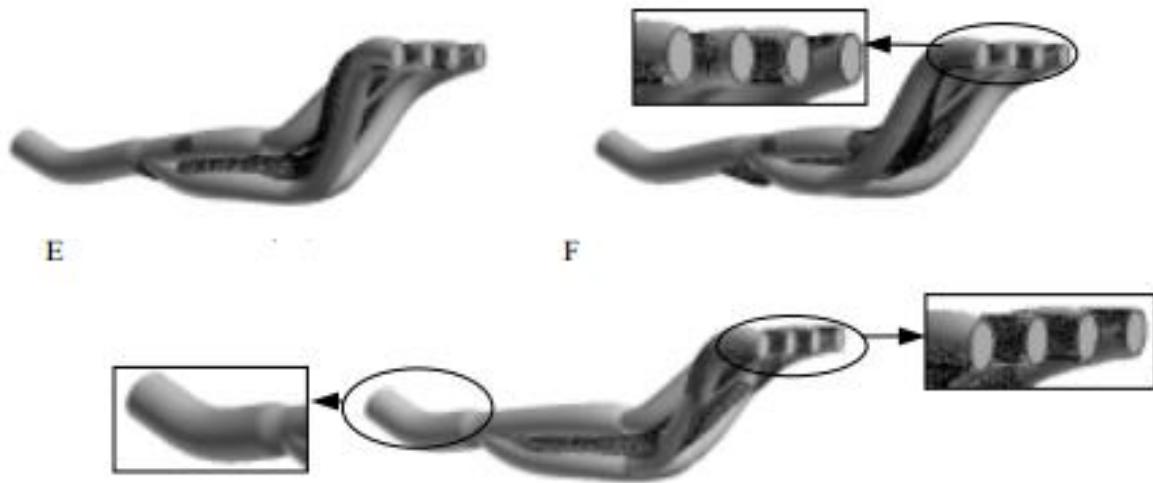
4.5 Automobilio išmetimo kolektoriaus dizaino tobulinimas prie variklio darbo ciklą

Studijos tikslas - išgauti didesnę išmetimo sistemos temperatūra prie 1500 apsisukimų ir pagerinti ekonomiškumo rodiklius esant maksimaliai variklio galiai prie 6000 apsuokų.

Studijoje tirti du variantai kolektorių dizaino. Pirmasis, atskirų kolektoriaus vamzdžių susijungimo vietos keitimas, antrasis, paliekamas pasirinktas vamzdžių susikirtimas kolektoriuje, tačiau keičiamas vamzdžių diametras.



15 pav. Pastovus vamzdžių diametras, su skirtingomis sujungimo vietomis [14].



16 pav. Pasirinkta geometrija , skirting vamzdžių diametrai [14].

Optimizuotas automobilio išmetimo sistemos kolektorius naudojant DRMOGA programa. Empitinis variklio ciklų simuliacijos kodas buvo sujungtas su nestabiliu Eulerio kodu, tam kad apskaičiuoti 3D kolektoriaus formą. Skaičiavimo tinklelis automatiškai sugeneruotas atsižvelgiant į vamzdžių susikirtimo taškus. Pasirinktas keturių cilindro automobilio išmetimo kolektoriaus dizainas. Pirmu atveju dizainas buvo optimizuotas, keičiant susikirtimo vietas.

4.6 Daugiacilindrio vidaus degimo variklio išmetimo kolektoriaus CFD analizė parinkti optimalią geometriją emisijai sumažinti.

Bet kuriame vidaus degimo variklyje išmetimo kolektoriuje susikaupia iš variklio išmetamos dujos. Kolektorius veržlėmis pritvirtinamas prie variklio galvutės. Kolektorius pereina į pirminį vamzdį. Dujos tekėdamos sistemoje susiduria su tekėjimo pasipriešinimu. Jį įtakoja išmetimo sistemos elementų išsidstymas, katalizatorių kiekis.

Variklio išmetamųjų dujų priešslėgis yra apibrėžiamas kaip išmetamųjų dujų slėgis, kuris gaunamas iš variklio, tam kad įveikti išmetamųjų dujų sistemos hidraulinį pasipriešinimą, išmetant dujas į atmosferą. Slėgis yra skaliarinis, o ne vektorinis dydis, kuris neturi krypties. Antra, dujų srautas yra varomas slėgio gradientu su vienintele galima tekėjimo kryptį tai yra iš aukštesnio į žemesnio slėgio zoną. Dujos negali tekėti didėjančio slėgio kryptimi.

Padidėjus atgaliniam slėgiui, padidėja ir variklio išmetamųjų dujų slėgis. Norint padidinti variklio išmetamųjų dujų slėgį reikia atlikti papildomą mechaninį darbą, taip prarandant išgautą energiją. Tai sukelia slėgį išmetimo kolektoriuje. Padidėjęs slėgis padidina ne tik kuro sąnaudas, CO ir NO_x emisija, bet ir išmetimo

sistemos temperatūos. Padidėjusi temperatūra turbininiam vidaus degimo varikliui gali perkaitinti turbiną, taip pat sudeginti išmetimo vožtuvus. Turbinose naudojama variklio tepimo sistema, taip ji tepama ir aušinama. Visi varikliai turi leistinus atgalinius slėgius, kuriuos nustato gamintojai. Per didelis atgalinis slėgis trumpina variklio ilgaamžiškumą.

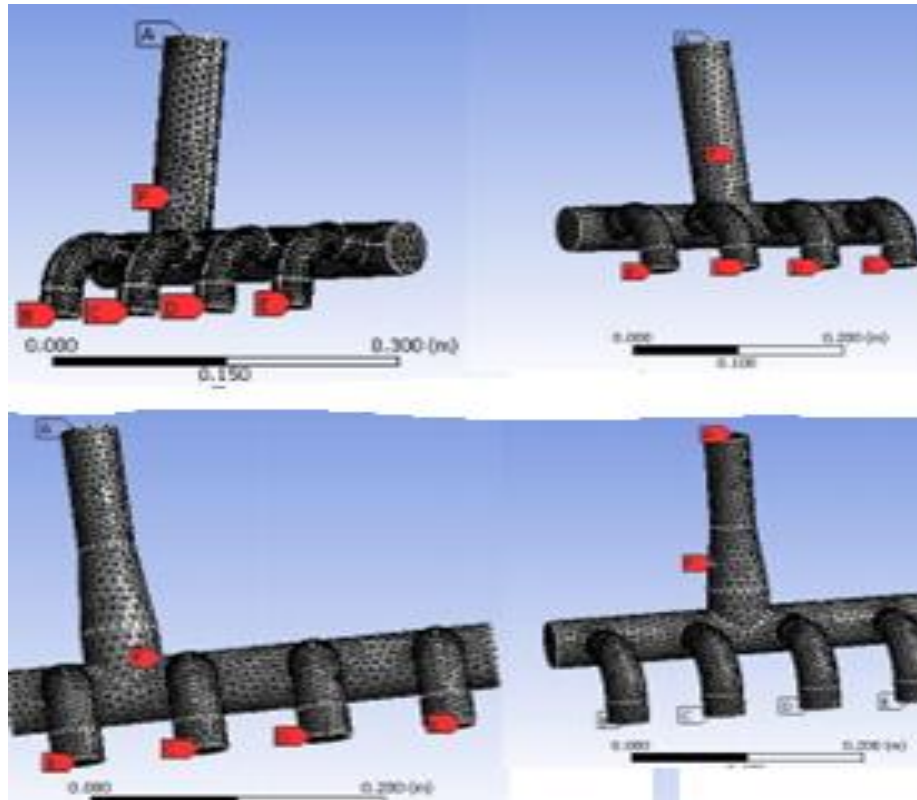
3 lentelė

Variklio galia	Atgalinio slėgio limitas
<50kW	40kPa
50-500kW	20kPa
>500kW	10kPa

3 lentelėje pateikta variklio atgalinio slėgio limitas priklausantis nuo variklio galios. Esant <50kW variklio išgaunamai galiai atgalinis slėgis neviršija 40kPa. Kai variklio galia yra 50-500kW intervale atgalinis slėgis yra 20kPa. Esant >500kW variklio galiai slėgis siekia 10 kPa. Kuo variklio išgaunama galia didesnė, tuo mažesnis atgalinis išmetimo slėgio limitas [15].

Analizėje naudojami simetriniai ir asimetriniai modeliai. Pirminio vamzdžio medžiaga SA 106, flanšo medžiaga IS 2602, alkūnei parinkta SA 234 WPB medžiaga. Viso naudoti aštuoni modeliai:

- Trumpas lenktas centrinis išmetimas
- Trumpas lenktas šoninis išmetimas
- Ilgas lenktas centrinis išmetimas
- Ilgas lenktas šoninis išmetimas
- Trumpas lenktas centrinis išmetimas su redukciniu vožtuvu
- Trumpas lenktas šoninis išmetimas su redukciniu vožtuvu
- Ilgas lenktas centrinis išmetimas su redukciniu vožtuvu
- Ilgas lenktas šoninis išmetimas su redukciniu vožtuvu

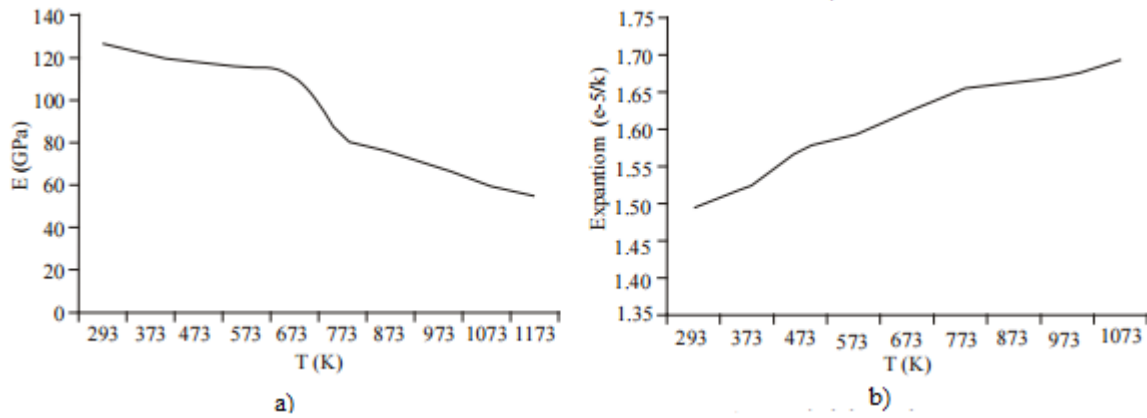


17 pav. Tirti išmetimo kolektoriai [15].

17 av. matome skirtingus modelius atliekant išmetamų dujų tekėjimo analizę.

4.7 Temperatūrinė įtaka išmetimo kolektoriaus temperatūriniam moduliui

Modalinė analizė atliekama tirti sistemos dinamines charakteristikas. Standartiniu atveju dažninė charakteristika parodo sistemos rezonanso ribas. Vibracijos režimas parodo struktūrinės sistemos deformacijas priklausomas nuo kintančio dažnio. Išmetimo kolektorius yra arčiausiai variklio tvirtinama išmetimo sistemos dalis. Dėl iš cilindro išmetamų dujų temperatūros ($>800^{\circ}\text{C}$) poveikio temperatūrinio nuovargio efektas yra neišvengiamas. Temperatūrinis nuovargis iššaukia išmetimo kolektoriaus geometrijos trūkumus. Temperatūra įtakoja medžiagų mechanines charakteristikas, taigi reikia atsižvelgti į atsirandančius temperatūrinius įtempius ir vibracijos įtaka geometrijai.



18 pav. a) grafike pateikta temperatūrinė Jungo modulio priklausomybė, b) temperatūrinė įtaka plėtimosi koeficientui [12].

18 a pav. matome temperatūrinę Jungo modulio priklausomybę nuo temperatūros. Didėjant temperatūrai Jungo modulis mažėja. Temperatūros kitimo intervalas 293-1173 Kelvinų, Jungo modulio kitimas 130-58 GPa. 18 b pav. parodyta temperatūrinė įtaka temperatūriniam išsiplėtimo koeficientui. Keičiantis temperatūrai intervale 293-1073 Kelvinų, temperatūrinis plėtimosi koeficientas didėjo intervale 1.50-1.70. Studijoje atlikta terminio modulio analizė. Termo modulio analizė, kai temperatūriniai įtempimai ir priveržimo jėgos yra pridėtos prie geometrinio modelio ABAQUS ir STAR CCM+ aplinkose, yra apskaičiuoti.

Rezultatai:

- Perkaitimas įtakoja nelinijinius pokyčius medžiagų charakteristikose taip suskuriama terminiai įtempimai. Dėl šių pokyčių kolektoriaus struktūra tampa mažiau atspari vibracijų dažnių kitimams.
- Lyginant kambario temperatūros modulio ir termo modulio dažnio virpesių ir vibracijų kreives, galima daryti išvadą, kad atsiradę įtempimai skirtingai veikia tiriamas kolektorių geometrijas.

5. Sumodeliuotų kolektorių analizė

Atliktas tyrimas, kurio tikslas iširti skirtingų formų išmetimo kolektorių temperatūrinius nuovargius . Kolektorių braižymui naudota „SolidWorks“ programa. Pasirinkti trys skirtingų geometrijų tipų kolektoriai: A tipo (20 pav.) , B tipo (21 pav.), C tipo (22 pav.) . Reikalingiems duomenims t.y. pratekančių dujų srautui, atsirandančių įtempių ir temperatūrinių nuovargių skaičiavimui naudota „SolidWorks Simulation“ ir „SolidWorks Flow Simulation“ programos. Skaičiavimuose naudota nerūdijantis plienas su geležies priemaišomis, kurio stiprumo riba $1.723 \cdot 10^8$. Kiekvienas modelis apkrautas vidiniu dujų sukeltu slėgiu, dujų temperatūra bei temperatūra, atsirandančia nuo variklio darbo. Gauti rezultatai perkeliama į nuovargio skaičiavimo programą. Programoje įvesti keturi vidaus degimo variklio taktai, kurie suskirstyti atskirai kiekviena išmetimo kolektoriaus angai pagal variklio darbo taktų veiklą. Bendras analizės laikas $20\mu s$, kai variklio apkrova yra 3000aps/min. Sumažinus variklio apkrovą iki 850aps/min analizės laikas $60\mu s$. Gauti statiniai slėgiai naudojami statinėje analizėje. Statinės analizės metu gaunami įtempiai, kurie naudojami nuovargio analizėje.

Kolektorių temperatūrai išmatuoti esant skirtingai variklio apkrovai (1000aps/min ir 3000aps/min) naudotas bekontaktis termometras EMSiTest – 8865. Termometras pavaizduotas 19 pav.



19 pav. bekontaktis termometras EMSiTest – 8865 [10].

19 pav. pavaizduotas infraraudonų spindulių termometras matuoja tamsaus objekto paviršiaus temperatūrą. Agregato optika fiksuoja išskirtą (emituotą), atspindėtą ir perduotą energiją, kuri detektoriaus yra kaupiama ir fokusuojama. Agregato elektronika gautą informaciją perveda į temperatūros parodymą, kuris yra atvaizduojamas agregato displejuje. Lazeris yra naudojamas tik nusitaikymo tikslu.

Apkrova	Matavimai, °C							\bar{x}	s	C_p
850aps/min	216	221	225	224	223	220	228	222.4	3.58	6.72
3000aps/min	599	602	605	607	611	612	614	607.1	5.11	5.01

Aritmetiniam vidurkiui (\bar{x}) nustatyti naudota 4.1 išraiška:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (4.1)$$

Čia:

n-bandymų skaičius; x_i - i-ojo bandinio eksperimentinis matavimo rezultatas [4];

Aritmetinis vidurkis, esant skirtingoms variklio apkrovoms:

$$n = 7, \quad \sum_{i=1}^n x_i = 216 + 221 + 225 + 224 + 223 + 220 + 228 = 1557$$

$$n = 7, \quad \sum_{i=1}^n x_i = 599 + 602 + 605 + 607 + 611 + 612 + 614 = 4250$$

$$\bar{x}_{850} = \frac{1557}{7} = 222.4; \quad \bar{x}_{3000} = \frac{4250}{7} = 607.1;$$

Vidutiniam kvadratiniam nuokrypiui nustatyti naudota 4.2 išraiška:

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}; \quad (4.2)$$

Čia:

s- vidutinis kvadratinis nuokrypis [4];

Vidutinis kvadratinis nuokrypis, esant skirtingoms variklio apkrovoms:

$$S_{850} = \pm \sqrt{\frac{(216-222,4)^2 + (221-222,4)^2 + (225-222,4)^2 + (224-222,4)^2 + (223-222,4)^2 + (220-222,4)^2 + (228-222,4)^2}{7}} = 3.58$$

$$S_{3000} = \pm \sqrt{\frac{(599-607,1)^2 + (602-607,1)^2 + (605-607,1)^2 + (607-607,1)^2 + (611-607,1)^2 + (612-607,1)^2 + (614-607,1)^2}{7}} = 5.11$$

Dispersijai nustatyti naudota 4.3 išraiška:

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}; \quad (4.3)$$

Čia:

S^2 - dispersija [9];

Dispersija, esant skirtingoms variklio apkrovoms:

$$S_{850}^2 = \frac{(216 - 222,4)^2 + (221 - 222,4)^2 + (225 - 222,4)^2 + (224 - 222,4)^2 + (223 - 222,4)^2 + (220 - 222,4)^2 + (228 - 222,4)^2}{6}$$
$$= 14,95;$$

$$S_{3000}^2 = \frac{(599 - 607,1)^2 + (602 - 607,1)^2 + (605 - 607,1)^2 + (607 - 607,1)^2 + (611 - 607,1)^2 + (612 - 607,1)^2 + (614 - 607,1)^2}{6}$$
$$= 30,47$$

Variacijos koeficientui nustatyti naudota 4.4 išraiška [4]:

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\%; \quad (4.4)$$

Variacijos koeficientas C_v , esant skirtingoms variklio apkrovoms:

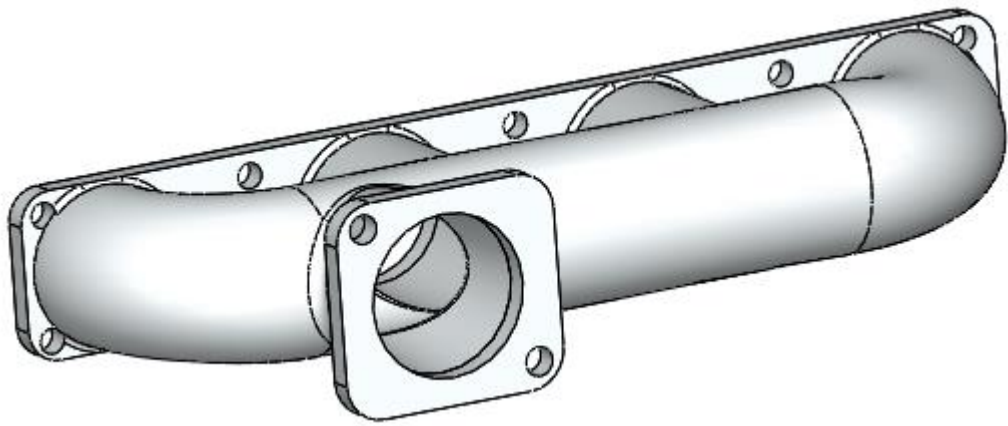
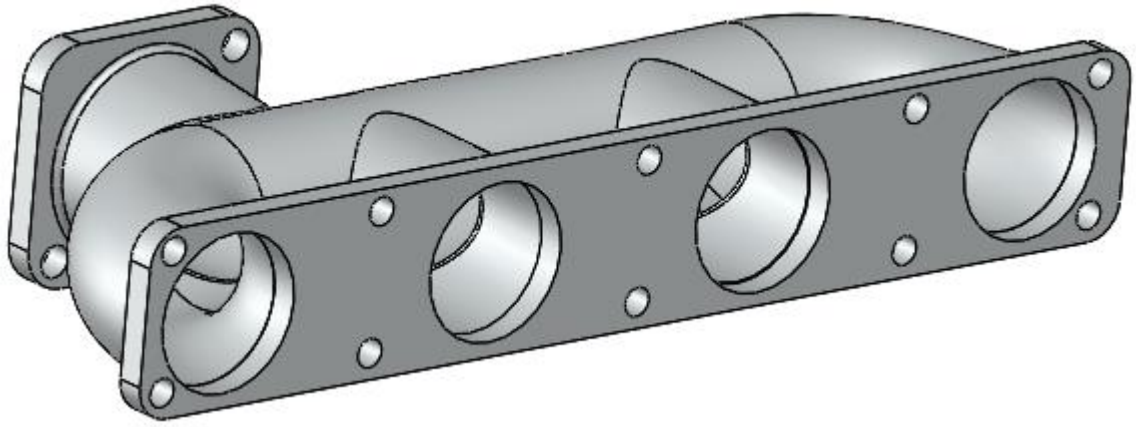
$$C_{v850} = \frac{14,95}{222,4} \cdot 100\% = 6,72 \%$$

$$C_{v3000} = \frac{32,2}{607,1} \cdot 100\% = 5,01 \%$$

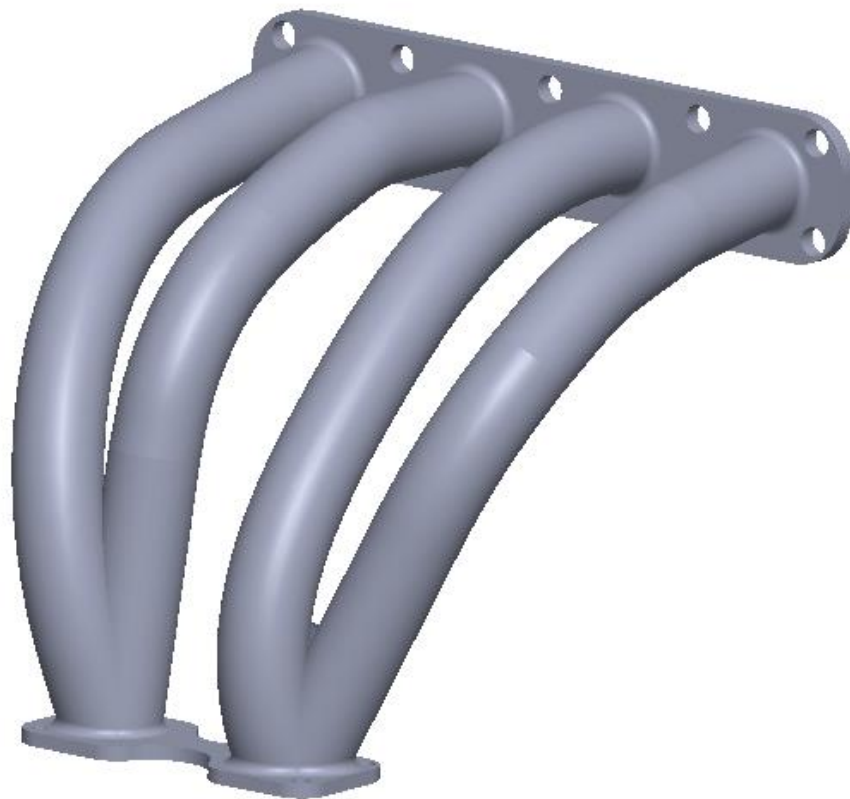
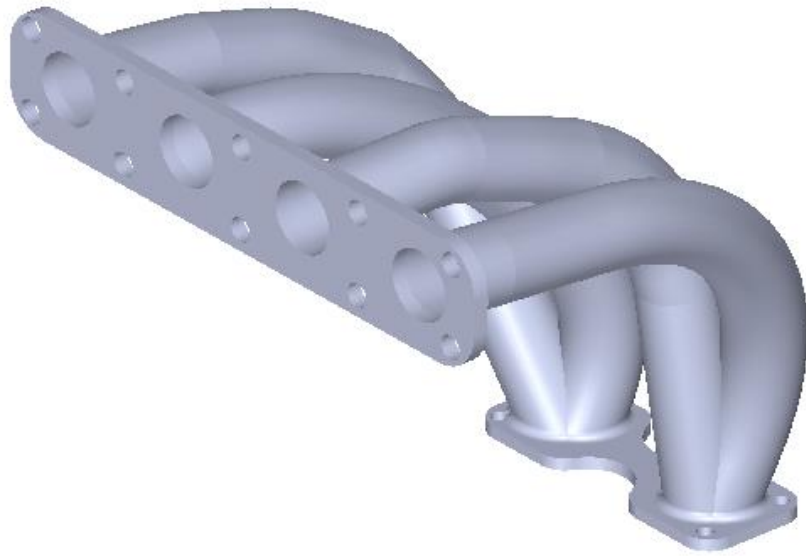
4 lentelėje pateiktos išmatuotos vidaus degimo variklio išmetimo kolektoriaus temperatūros, vidutinis kvadratinis nuokrypis, dispersija ir variacijos koeficientas. Temperatūros matuotos stovinčiam automobiliui, esant skirtingoms variklio apkrovoms, tai yra, 850aps/min ir 3000aps/min. Matuotų temperatūrų vidurkis 222,4 °C ir 607,1 °C. Matuoto automobilio vidaus degimo variklis įtvirtintas išilgai kėbulo. Kadangi variacijos koeficientas $C_v < 10 \%$, tai laikoma, kad sklaida yra nedidelė.

5.1 Sumodeliuoti kolektoriai

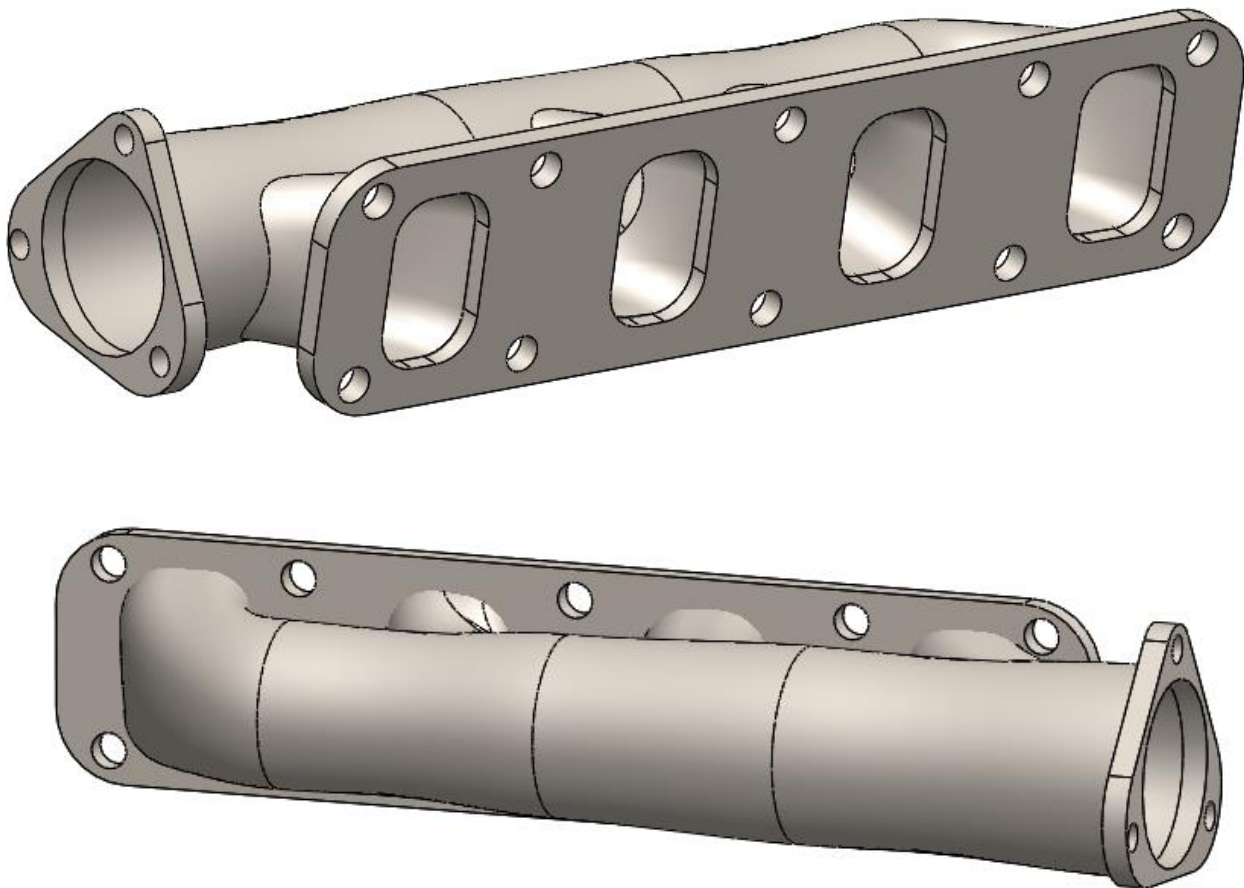
„SolidWorks“ programa suprojektuoti trys, skirtingų geometrijų, lengvųjų automobilių išmetimo kolektoriai:



20 pav. A tipo kolektorius



21pav. B tipo išmetimo kolektorius

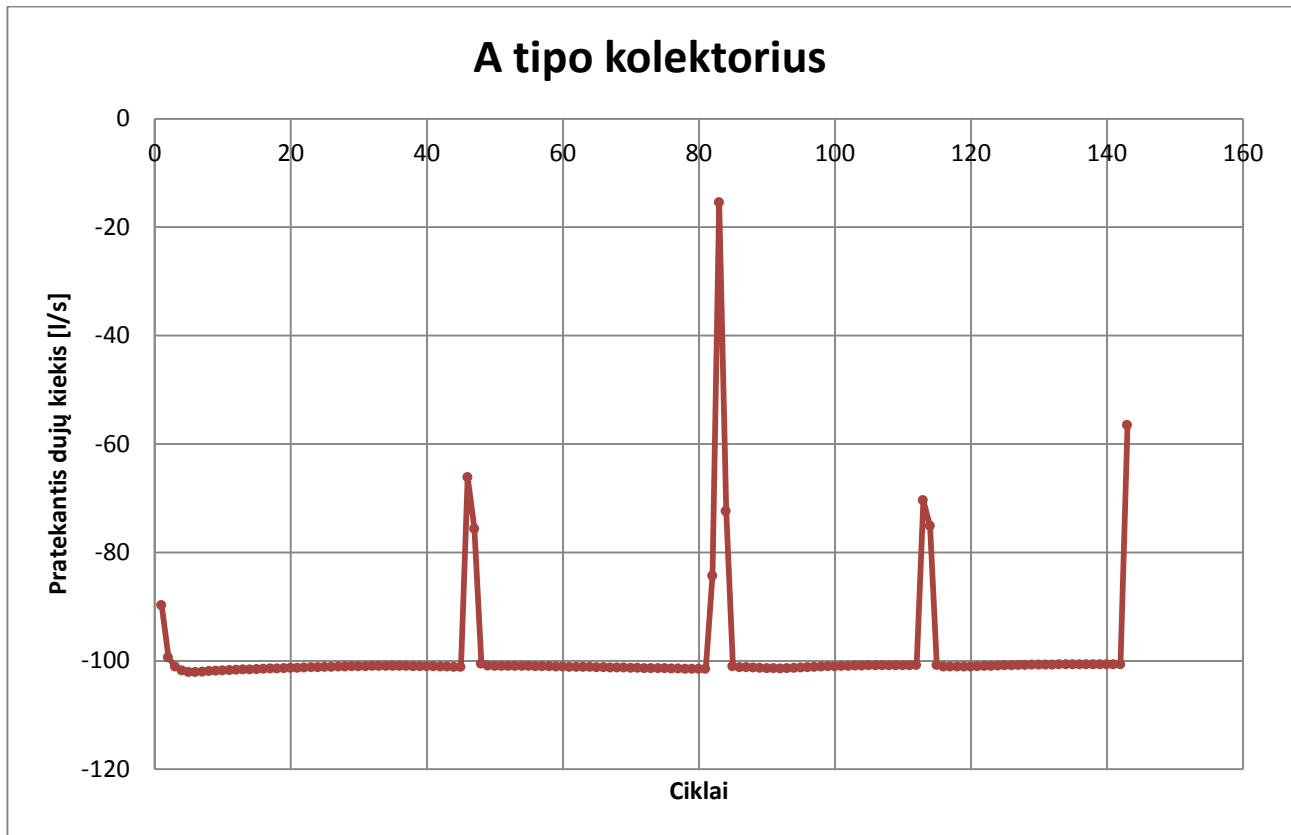


22 pav. C tipo išmetimo kolektorius

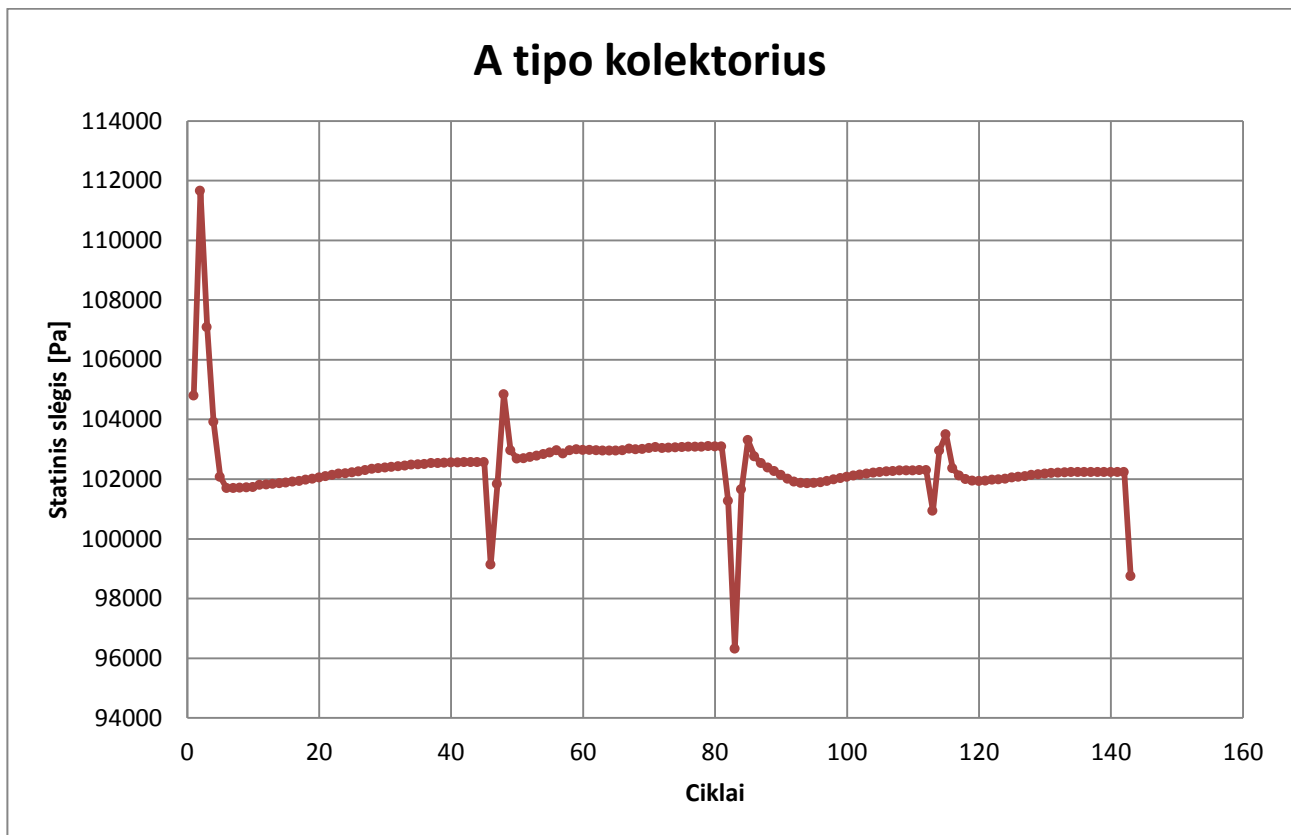
Nubraižyti kolektoriai automobilio keturių cilindrų vidaus degimo varikliui. A tipo kolektorius yra 4-1 tipo, kur išmetimo vamzdžio kryptis sutampa su tekančių dujų kryptimi. Iš kiekvieno cilindro išmetamos dujos teka į bendrą vamzdį ir per jį išteka į sekančią išmetimo sistemos dalį. B tipo kolektorius yra 4-2 tipo. Dujos išteka atskirai į kiekvieną kolektoriaus vamzdį, kurie pereina iš keturių vamzdžių į dviejų konfigūraciją. C tipo kolektorius yra 4-1 tipo, kur dujų tekėjimo kryptis nesutampa su kolektoriaus išėjimo angos kryptimi.

5.2 Analizės rezultatai esant 3000 aps/min variklio apkrovai

Analizės metu užduotas ištekančių dujų tūris, kuris lygus 100 litrai. Paveikslėliuose pateikti gauti rezultatai.

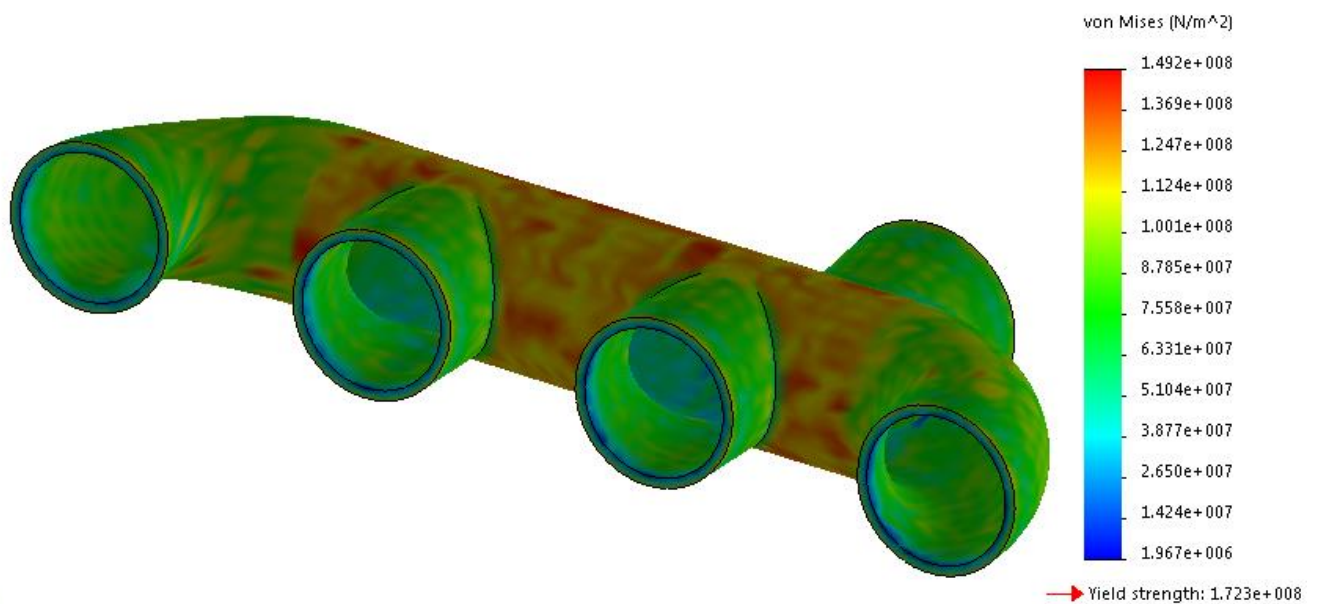


23 pav. “SolidWorks Flow” programa gauti rezultatai, tai yra ciklų skaičius per kurį prateka 100 litrų dujų.



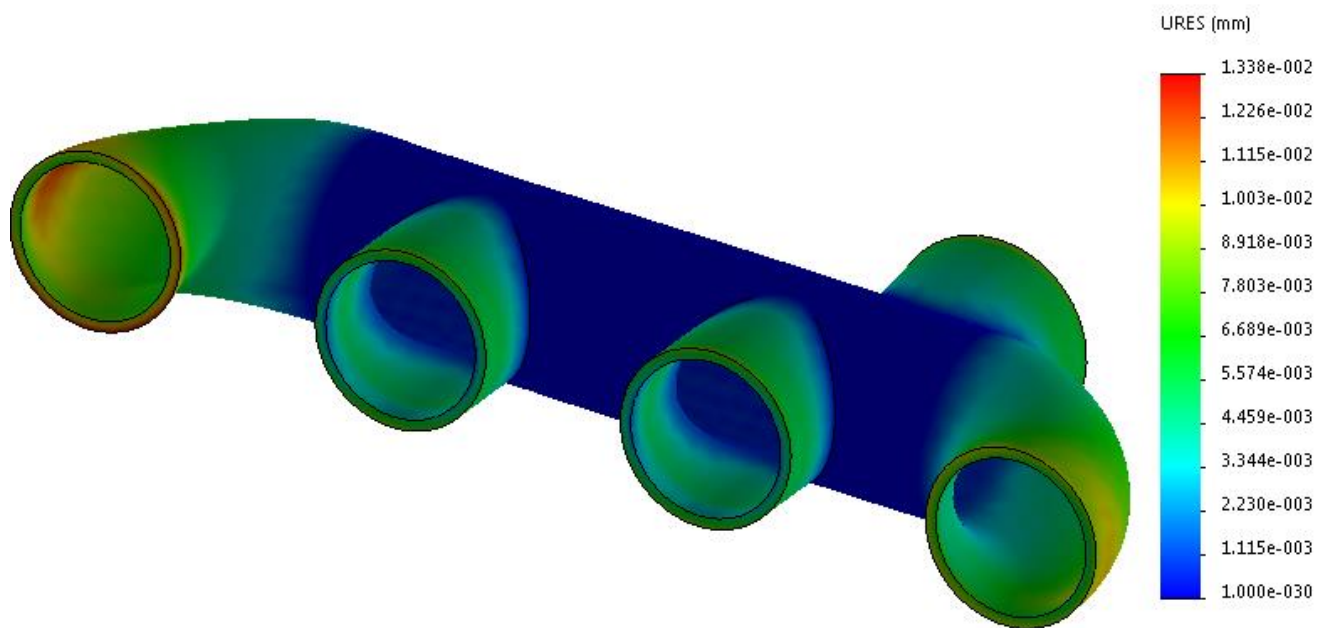
24 pav. “SolidWorks Flow” programa gauti rezultatai, tai yra statinio slėgio kitimas ciklų metu.

Tyrimo metu užduotas pratekančių dujų kiekis 100 litrų. Iš pratekančių dujų kiekio grafiko 23 paveikslėlyje matome, kad greičiausiai dujos išteka per trečia kolektoriaus angą, nes trečio cilindro dujų ištekėjimas užima mažiausiai ciklų 146. Tai lemia arti esantis ištekamasis sistemos vamzdis, dujoms trumpiausias kelias išeiti iš kolektoriaus. Ilgiausiai dujų kiekis išmetamas per pirmą kolektoriaus angą. Tai lemia toliau esantis išmetimo sistemos vamzdis, dėl to dujos teka ilgesniu keliu bei jas veikia didesnis sienelių pasipriešinimas. 24 paveikslėlyje matome statinio slėgio grafiką. Didžiausias slėgis yra pirmoje išmetimo kolektoriaus angoje 111975 (Pa). Mažiausias slėgis yra trečioje kolektoriaus angoje 96420 (Pa). Visas užduotas dujų kiekis per taktus išteka per 142 ciklų. Slėgio kitimą įtakoja kolektoriaus forma, išmetamų dujų kiekis bei paviršiaus glotnumas.



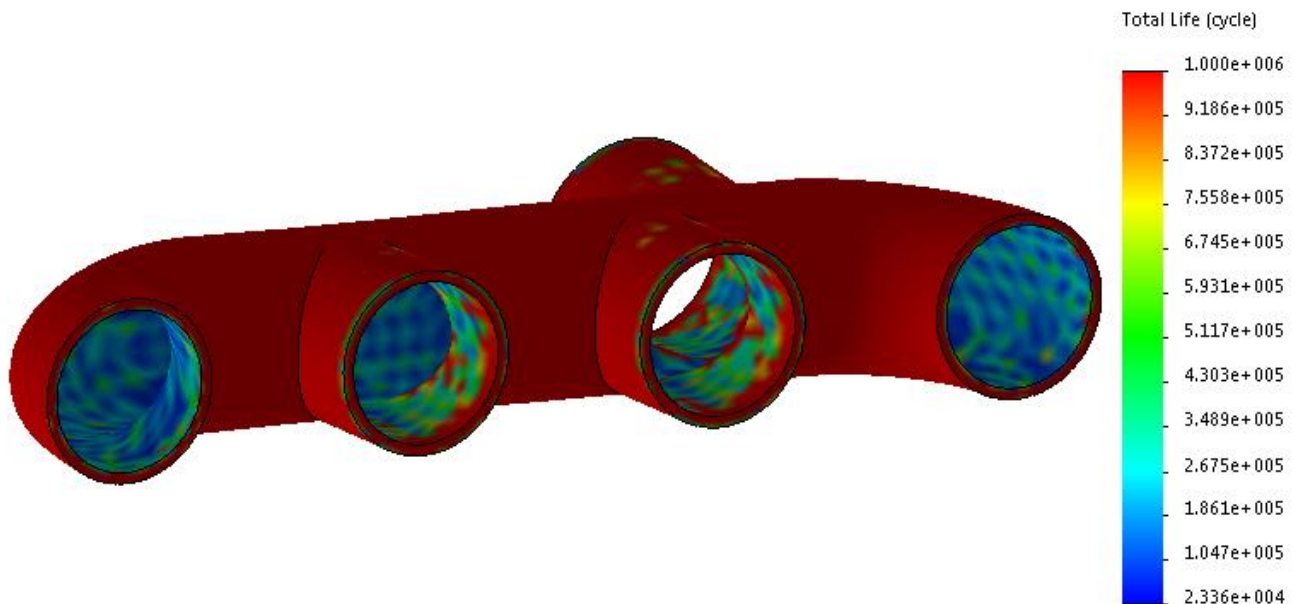
25 pav. A tipo kolektoriuje gauti įtempiai

25 pav. matome įtempimus, atsirandančius po apkrovos studijos. Kolektorius apkrautas vidiniu statiniu slėgiu, taip pat atsirandanti temperatūrinė apkrova dujoms tekant. Kolektoriaus išorės sienelės apkrautos temperatūra, kuri atsiranda nuo dirbančio variklio. Maksimalūs gauti įtempiai $1.492 \cdot 10^8$ Pa. Minimalūs įtempiai $5.058 \cdot 10^7$ Pa.



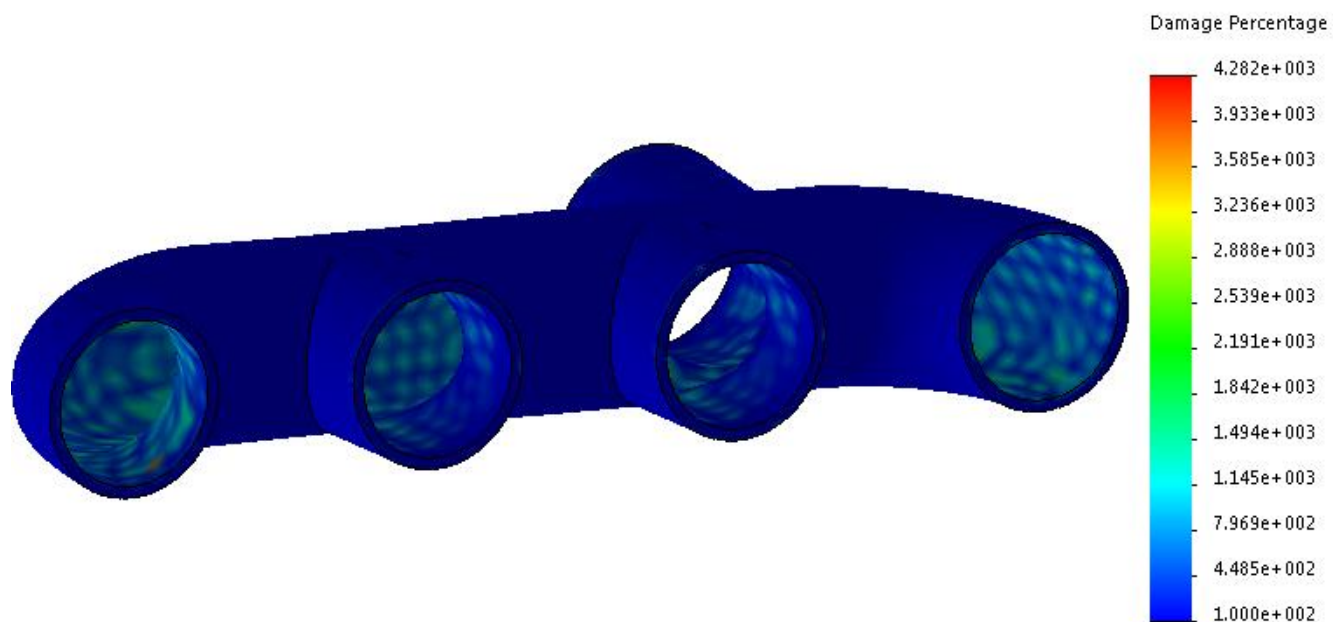
26 pav. A tipo kolektoriuje gauti poslinkiai

26 pav. pavaizduoti maksimalūs poslinkiai kolektoriuje siekia $1.118 \cdot 10^{-2}$ mm. Minimalūs poslinkiai $1.119 \cdot 10^{-3}$ mm.



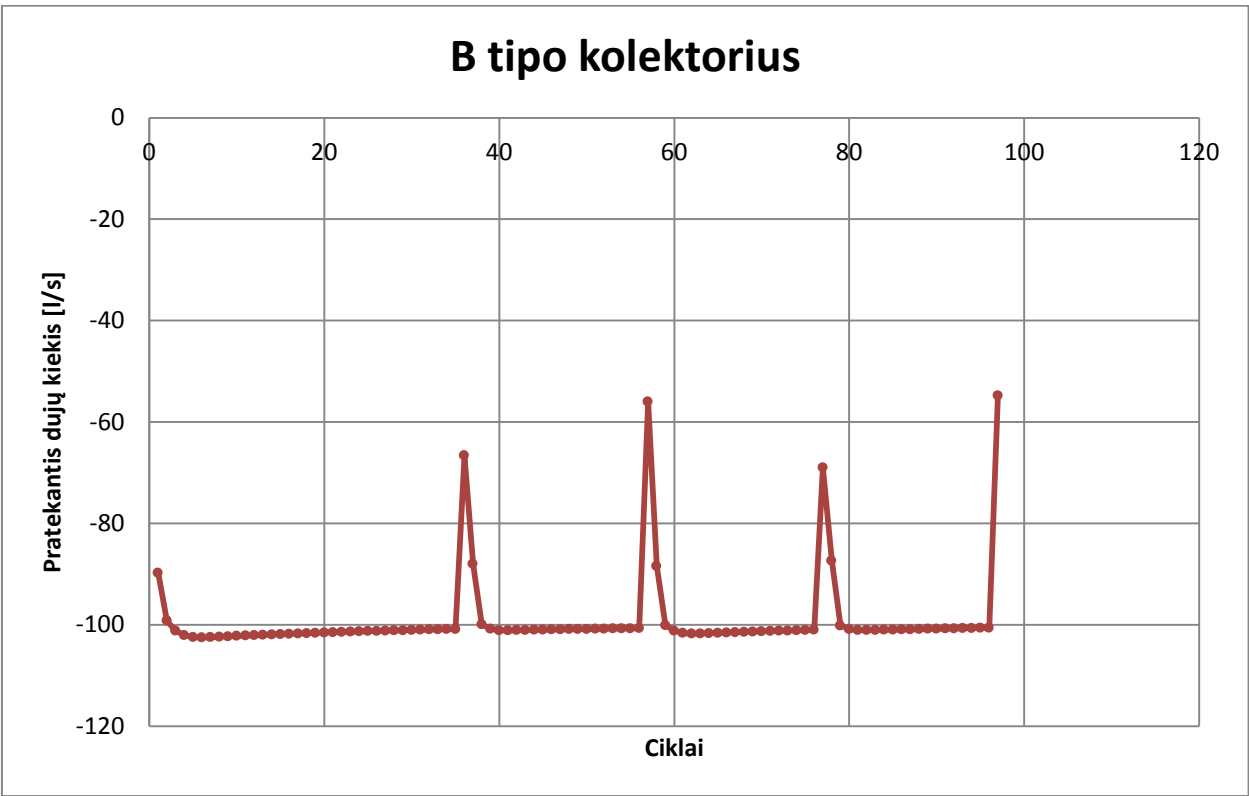
27 pav. Ciklų skaičius modelyje

27 pav. matome kintamų ciklų skaičių, kuris nurodo skirtingų modelio vietų pokyčius, esant apkrovoms. Maksimalus ciklų skaičius yra 1000000. Iš ciklų skaičiaus grafos, matome, kad pradiniai pokyčiai modelyje atsiranda po 23360 ciklų.

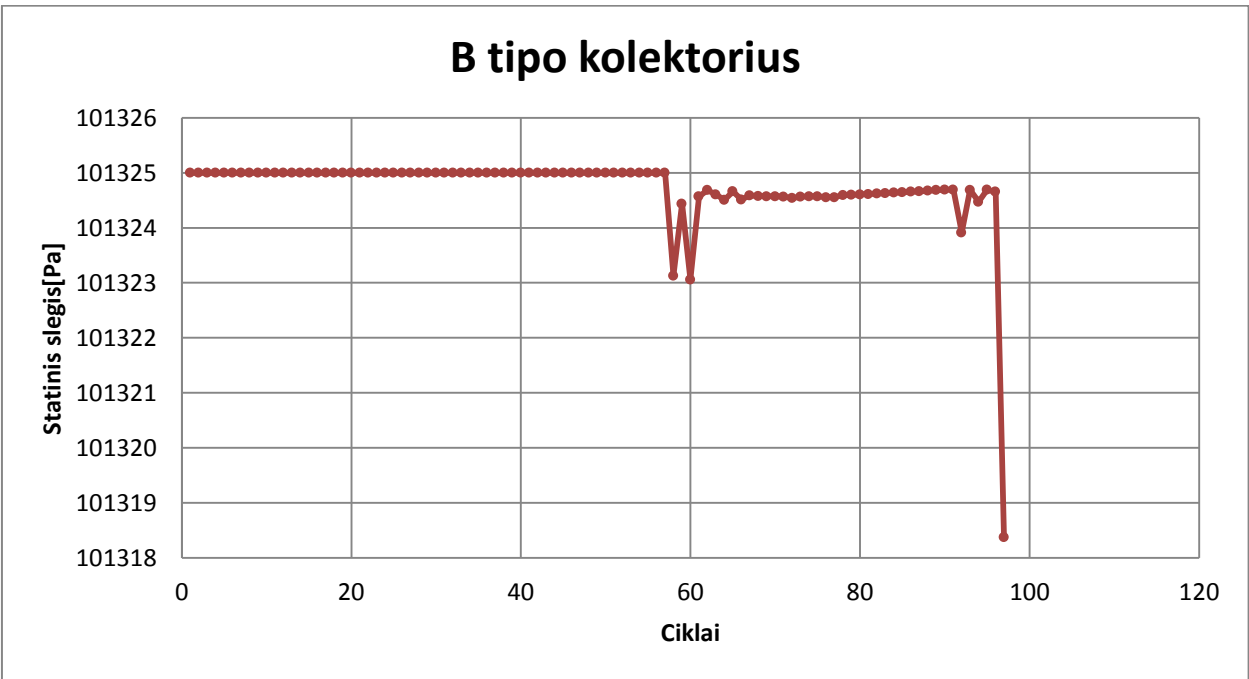


28 pav. Nuovargio atsiradimo tikimybė

28 pav. matome nuovargio trūkimo atsiradimo tikimybę. Viršijus 100% patikimumo ribą, matome atsirandančius pakitimus modelyje.

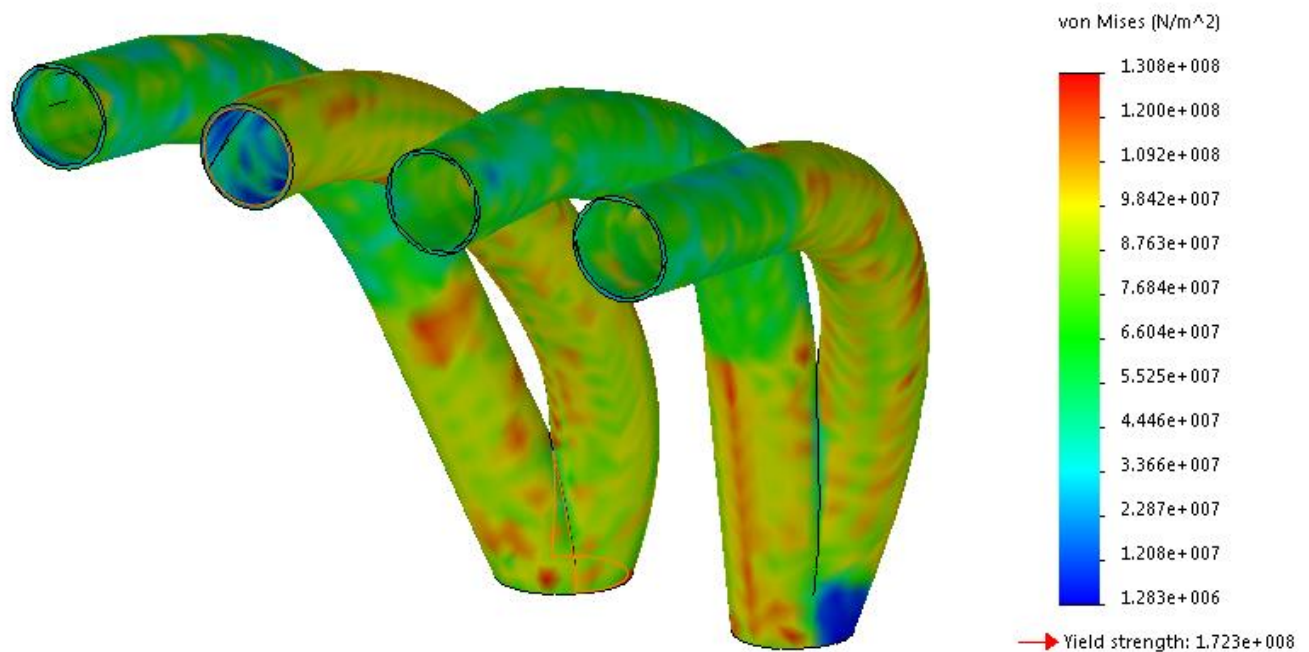


29 pav. Grafike pateikta “SolidWorks Flow” programa gauti rezultatai tai yra ciklų skaičius per kurį prateka 100 litrų dujų.



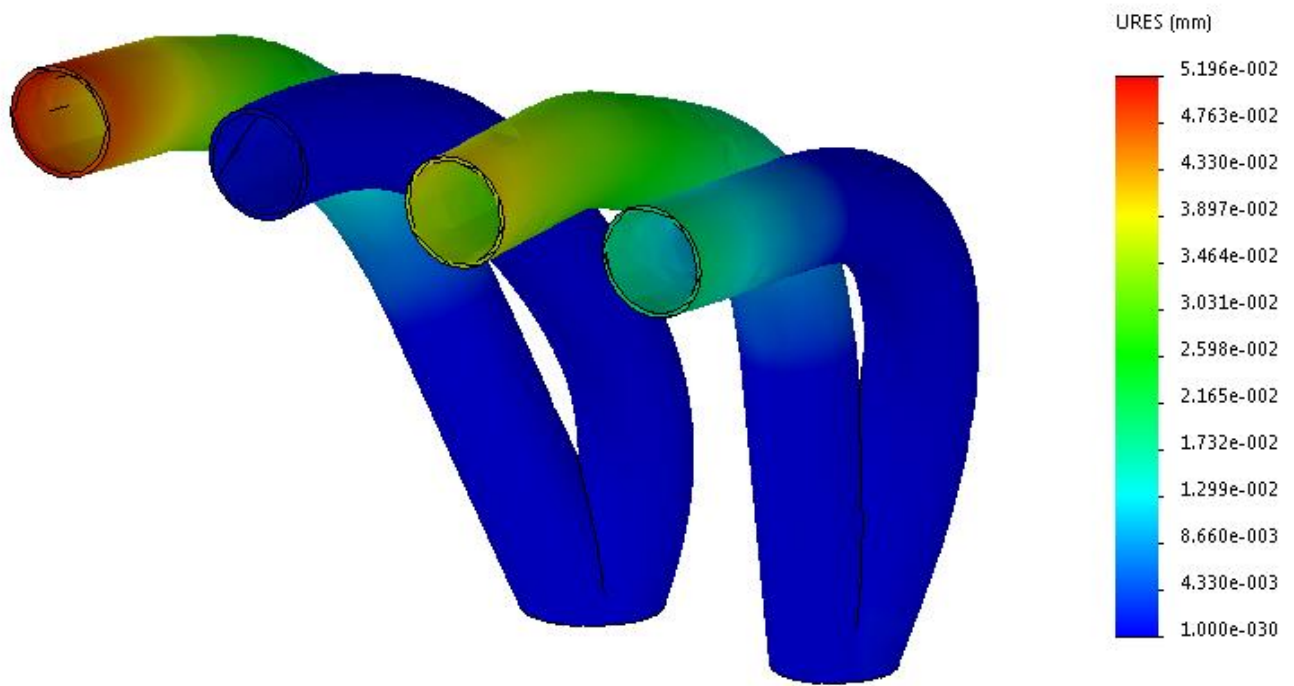
30 pav. Grafike pateikta “SolidWorks Flow” programa gauti rezultatai, tai yra statinio slėgio kitimas ciklų metu.

29 paveikslėlyje iš pratekančių dujų slėgio grafiko matome, kad ilgiausiai užduotas dujų kiekis teka pro pirmą kolektoriaus vamzdį. Užduotas dujų kiekis, tai yra 100 litrų, išteka per 97 ciklus. Slėgis, kurį sukuria tekančios dujos pateiktos statinio slėgio 30 paveikslėlyje esančiame grafike. Maksimalus slėgis kolektoriuje 101325 Pa. Slėgis kolektoriuje kinta iki 101323 Pa. Tokį mažą slėgio kitimą lemia kolektoriaus forma. Visi keturi vamzdžiai yra vienodo ilgio, skiriasi tik vamzdžių susijungimo vieta (du vamzdžiai susijungia į vieną).



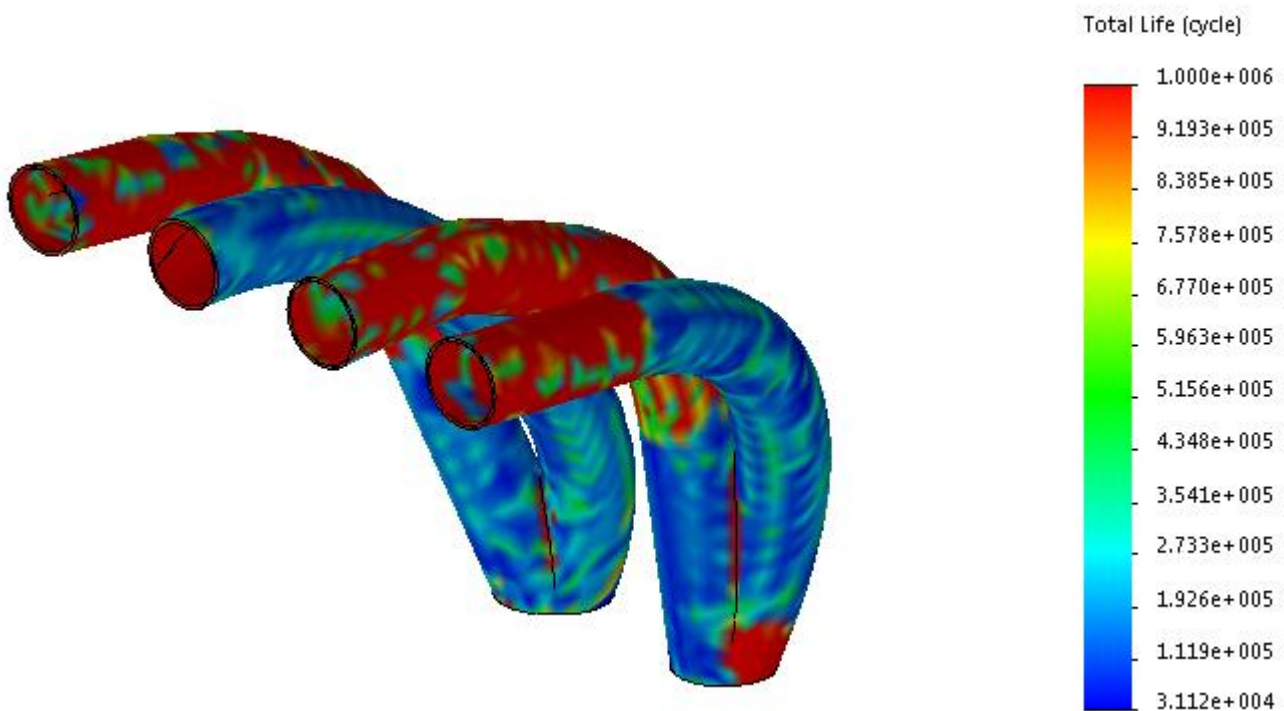
31 pav. B tipo kolektoriaus gauti įtempiai

31 pav. matome, kad didžiausi įtempiai išmetimo kolektoriuje siekia $1.308 \cdot 10^8$ Pa. Minimalūs įtempiai kolektoriuje $1.354 \cdot 10^6$ Pa.



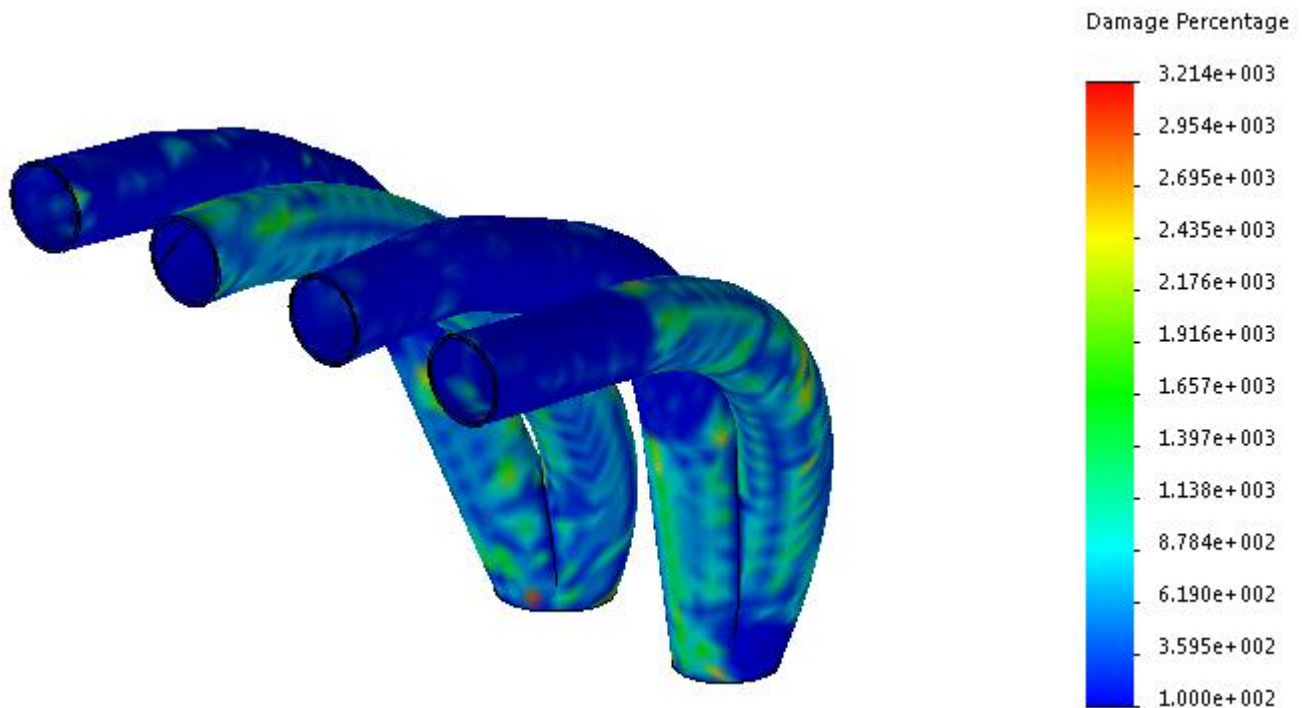
32 pav. B tipo kolektoriaus poslinkiai

32 pav. pateikti maksimalūs poslinkiai modelyje, kurie siekia $5.196 \cdot 10^{-2}$ mm. Minimalūs poslinkiai $1.0 \cdot 10^{-3}$ mm.



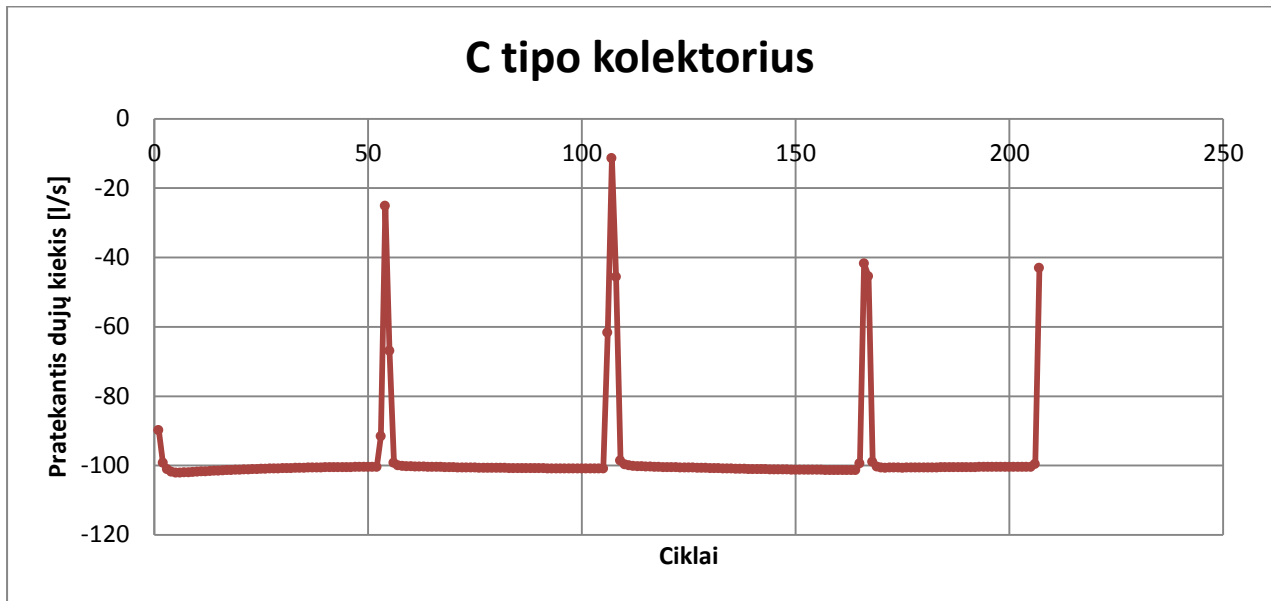
33 pav. Ciklų skaičius modelyje

33 pav. matome atsirandantį nuovargį nuo ciklų skaičių, kuris nurodo skirtingų modelio vietų pokyčius, esant apkrovoms. Maksimalus ciklų skaičius yra 1000000. Iš ciklų skaičiaus grafos, matome, kad pradiniai pokyčiai modelyje atsiranda po 31120 ciklų.

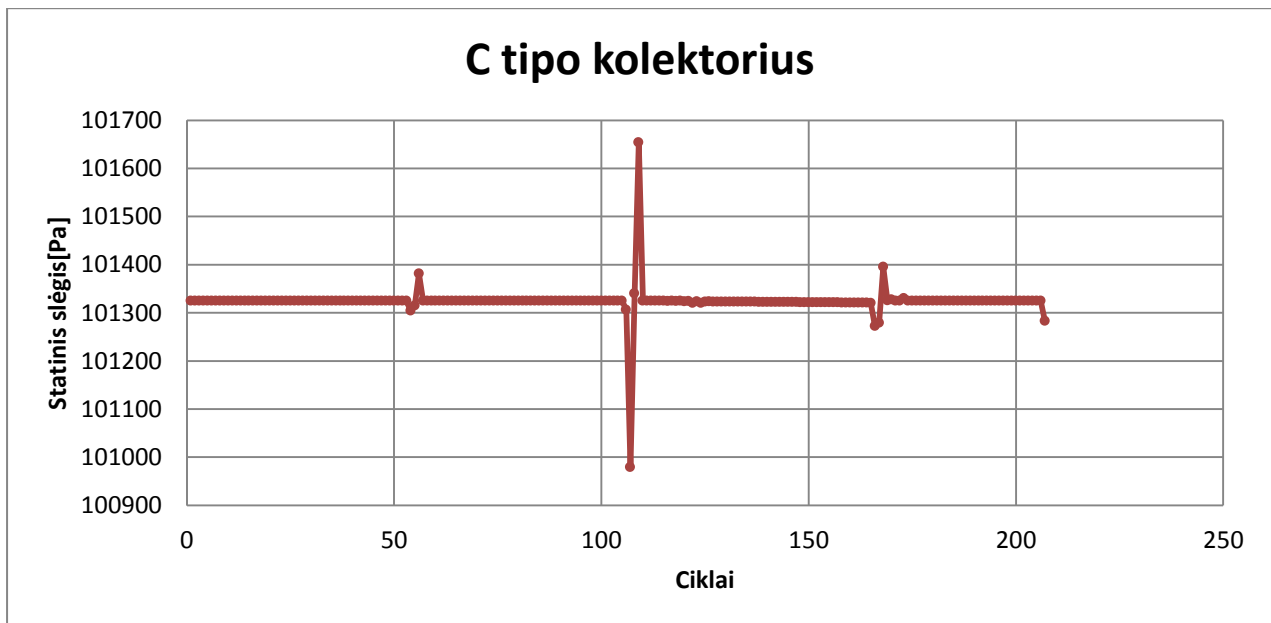


34 pav. Nuovargio atsiradimo tikimybė

34 pav. matome nuovargio trūkimo atsiradimo tikimybę. Viršijus 100% patikimumo ribą, matome atsirandančius pakitimus modelyje.

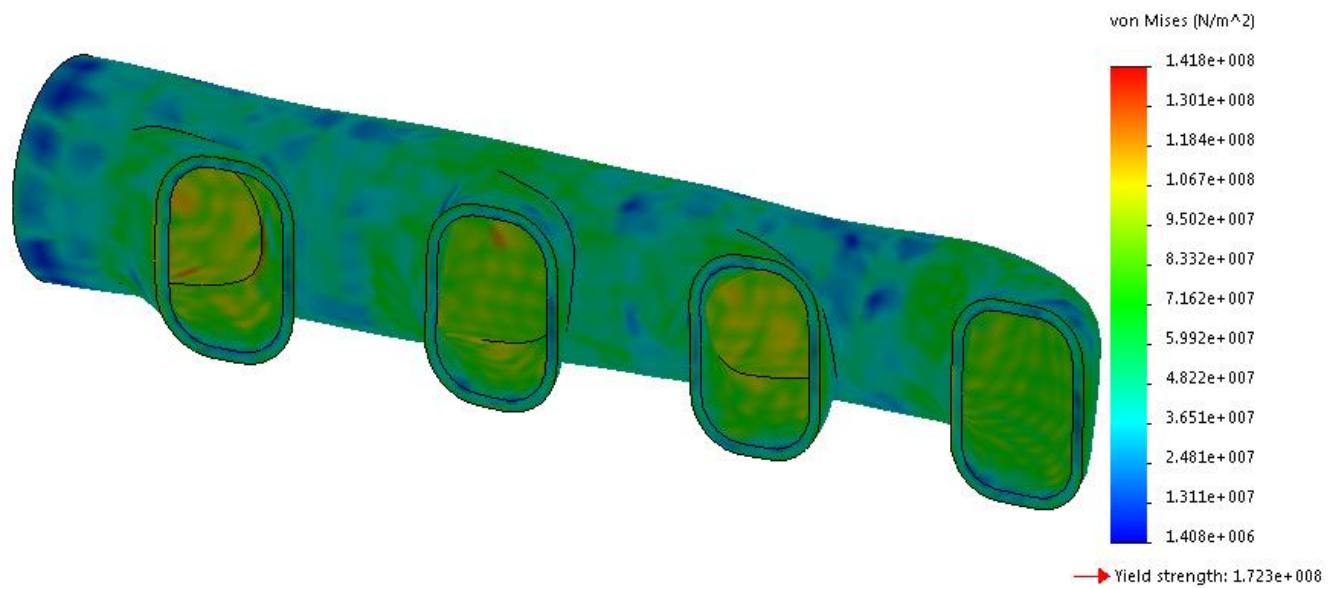


35 pav. "SolidWorks Flow" programa gauti rezultatai tai yra ciklų skaičius per kurį prateka 100 litrų dujų.



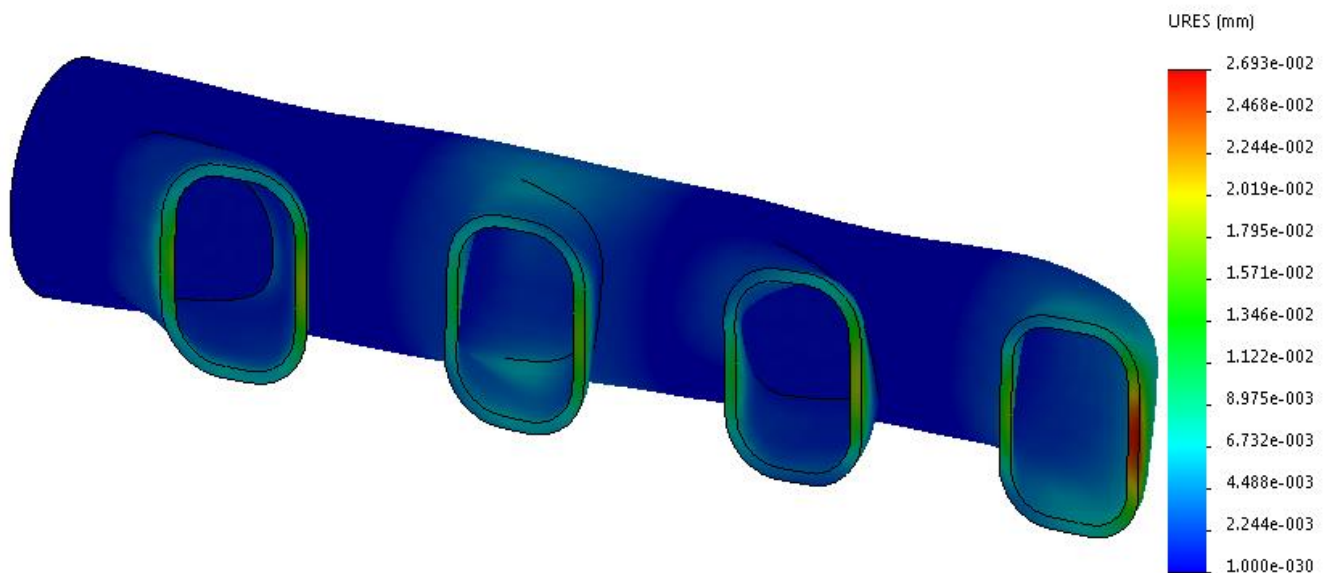
36 pav. "SolidWorks Flow" programa gauti rezultatai, tai yra statinio slėgio kitimas ciklų metu

36 pav. pateiktame pratekančių dujų kiekio grafiko, matome, kad trumpiausiai trunka dujų tekėjimas iš ketvirto cilindro. Kitų cilindrų dujų ištekėjimas nesiskiria. Maksimalus slėgis kolektoriuje 101675 Pa. Visas užduotas dujų kiekis per taktus išteka per 208 ciklus.



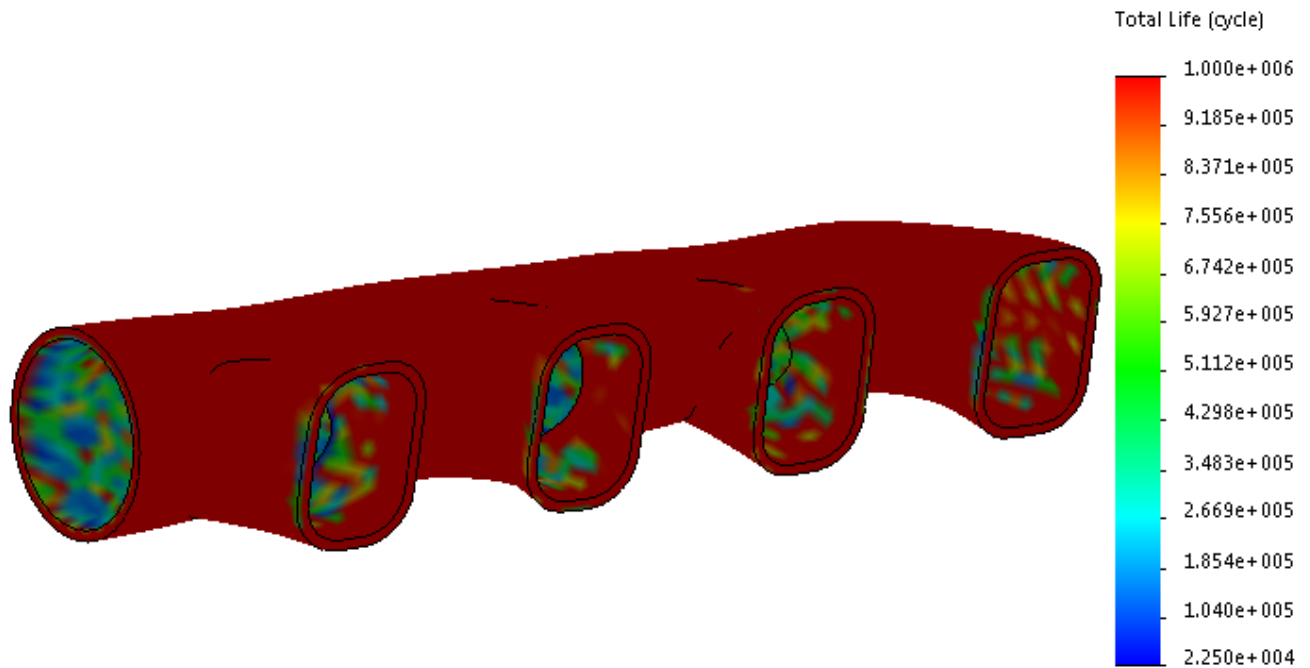
37 pav. C tipo kolektoriuje gauti įtempiai

37 pav. matome kolektoriuje gautus įtempius. Maksimalūs gauti įtempiai $1.41 \cdot 10^8$ Pa. Minimalūs gauti įtempiai $1.421 \cdot 10^6$ Pa.



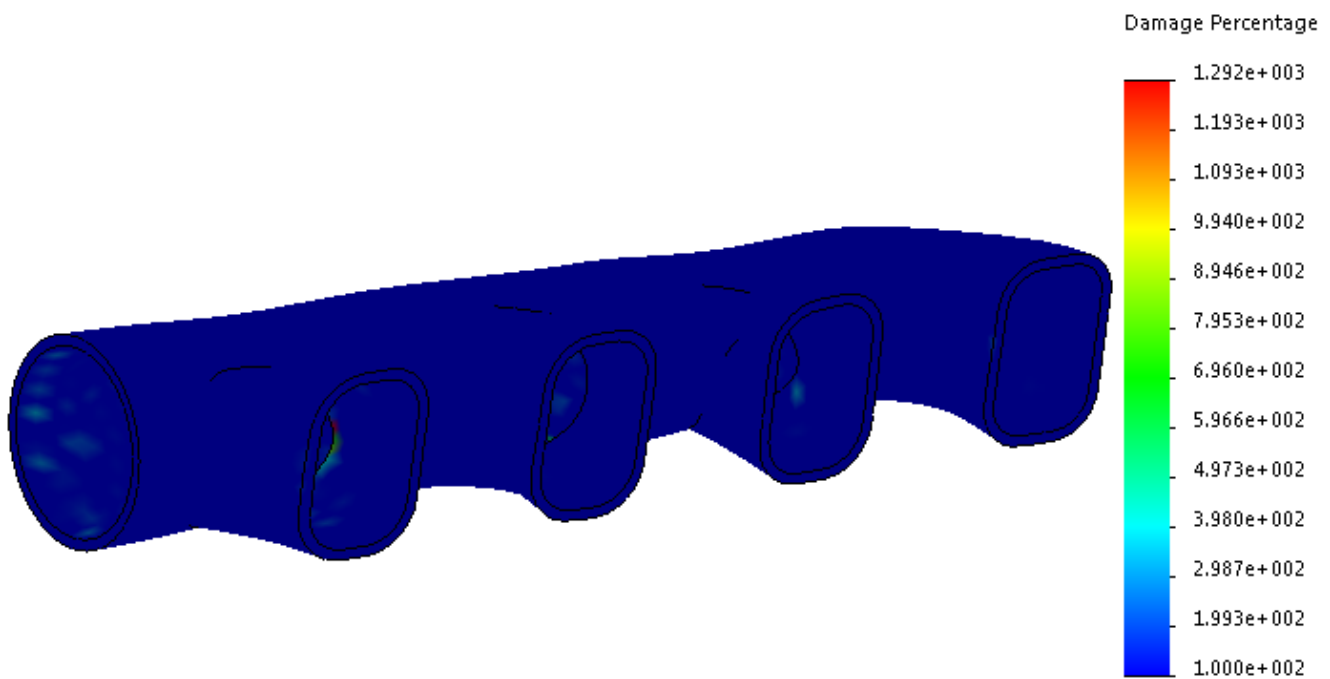
38 pav. C tipo kolektoriuje gauti poslinkiai

38 pav. matome C tipo kolektoriuje gautus poslinkius. Maksimalūs poslinkiai siekia $2.542 \cdot 10^{-2}$ mm. Maksimalūs poslinkiai kolektoriuje $1 \cdot 10^{-3}$ mm.



39 pav. Ciklų skaičius modelyje

39 pav. matome atsirandantį nuovargį nuo ciklų skaičių, kuris nurodo skirtingų modelio vietų pokyčius, esant apkrovoms. Maksimalus ciklų skaičius yra 1000000. Iš ciklų skaičiaus grafos, matome, kad pradiniai pokyčiai modelyje atsiranda po 22500 ciklų.

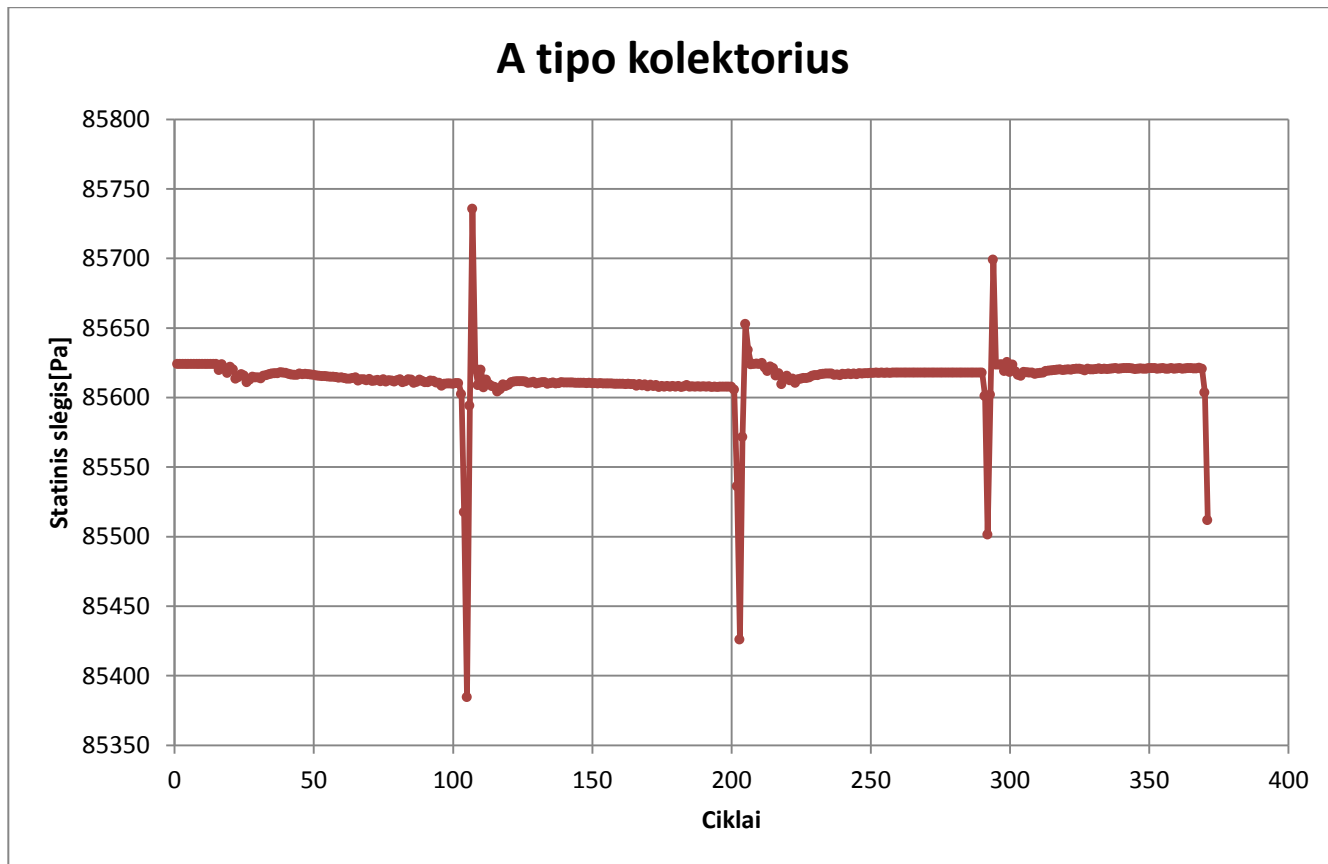


40 pav. Nuovargio atsiradimo tikimybė

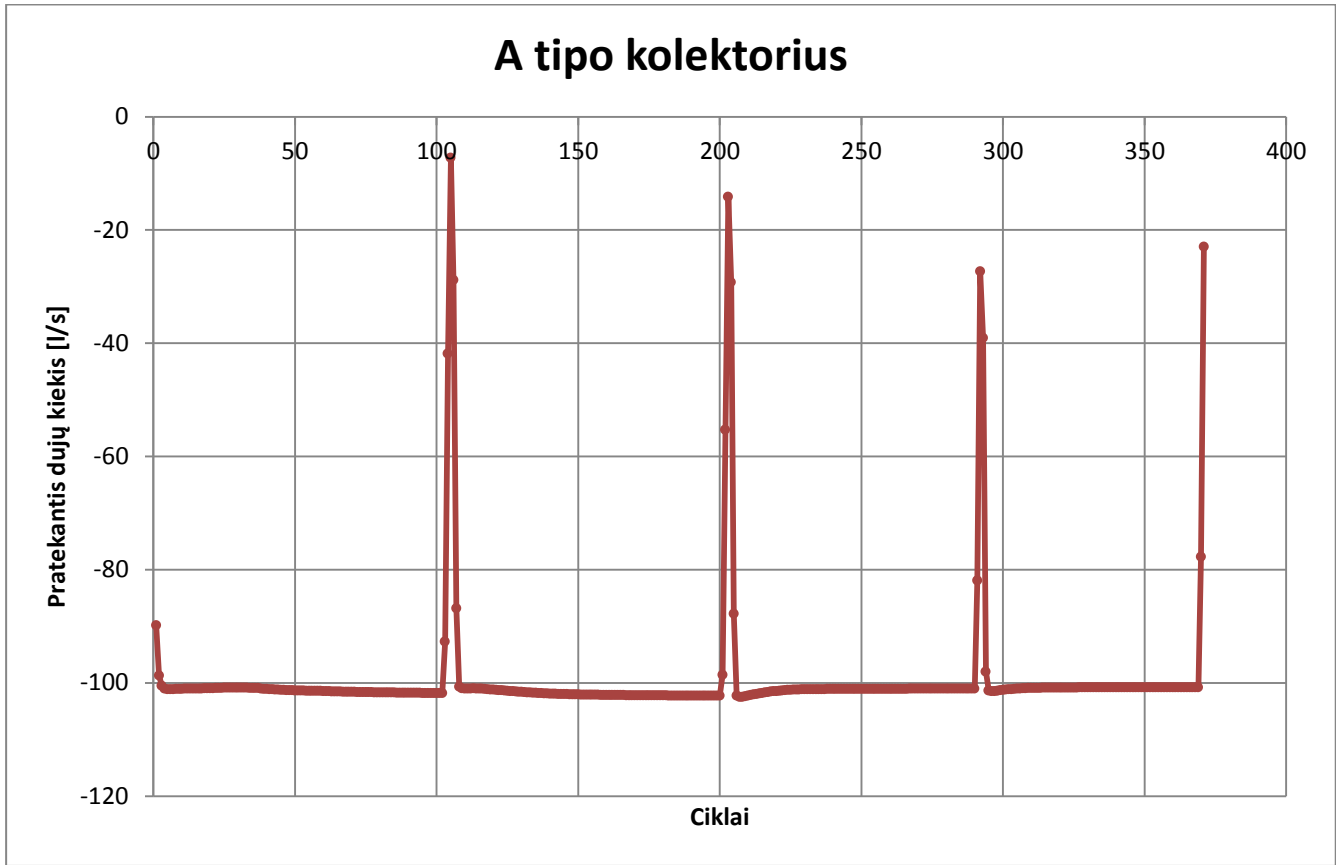
40 pav. matome nuovargio trūkimo atsiradimo tikimybę. Viršijus 100% patikimumo ribą, matome atsirandančius pakitimus modelyje.

5.3 Analizės rezultatai esant 850 aps/min variklio apkrovai

Analizės metu užduotas ištekantių dujų tūris, kuris lygus 100 litriui. Pasirinkta variklio apkrova 1000 aps/min. analizės laikas 60μs. Vykdomi taktai. Ciklų skaičius parodo kiek trunka užduoto dujų tūrio pratekėjimas per skirtingų geometrijų kolektorius. Paveikslėliuose pateikti gauti rezultatai.

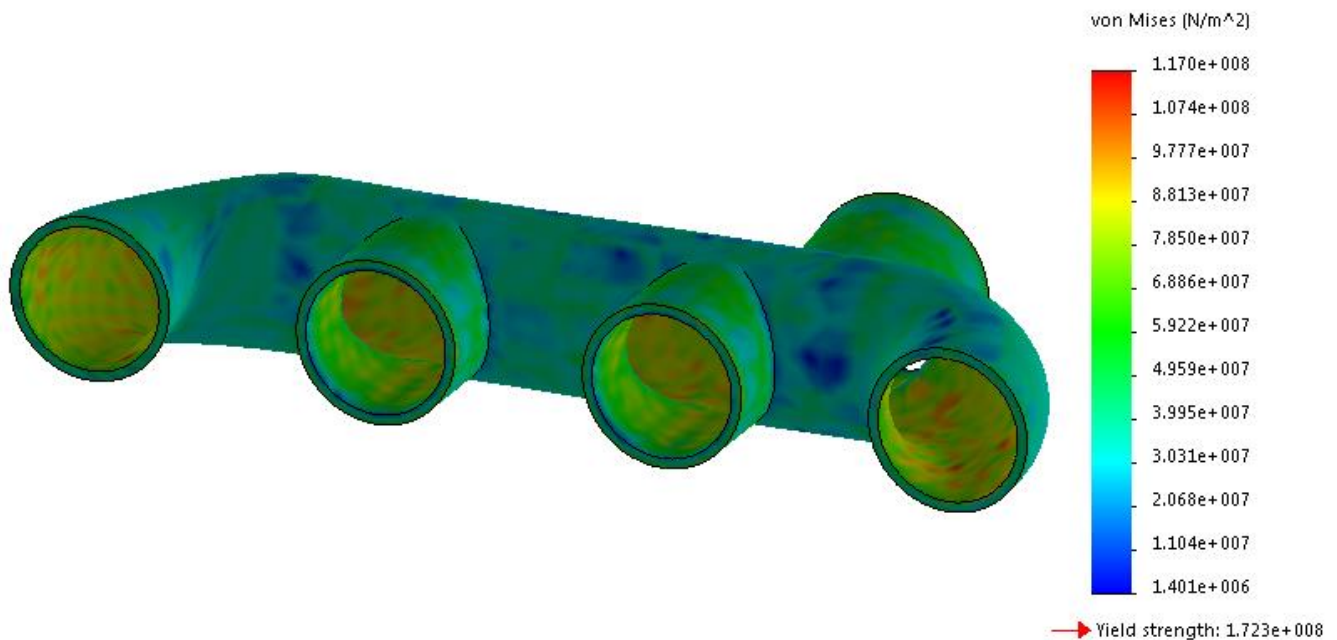


41 pav. "SolidWorks Flow" programa gauti rezultatai tai yra ciklų skaičius per kurį prateka 100 litrų dujų.



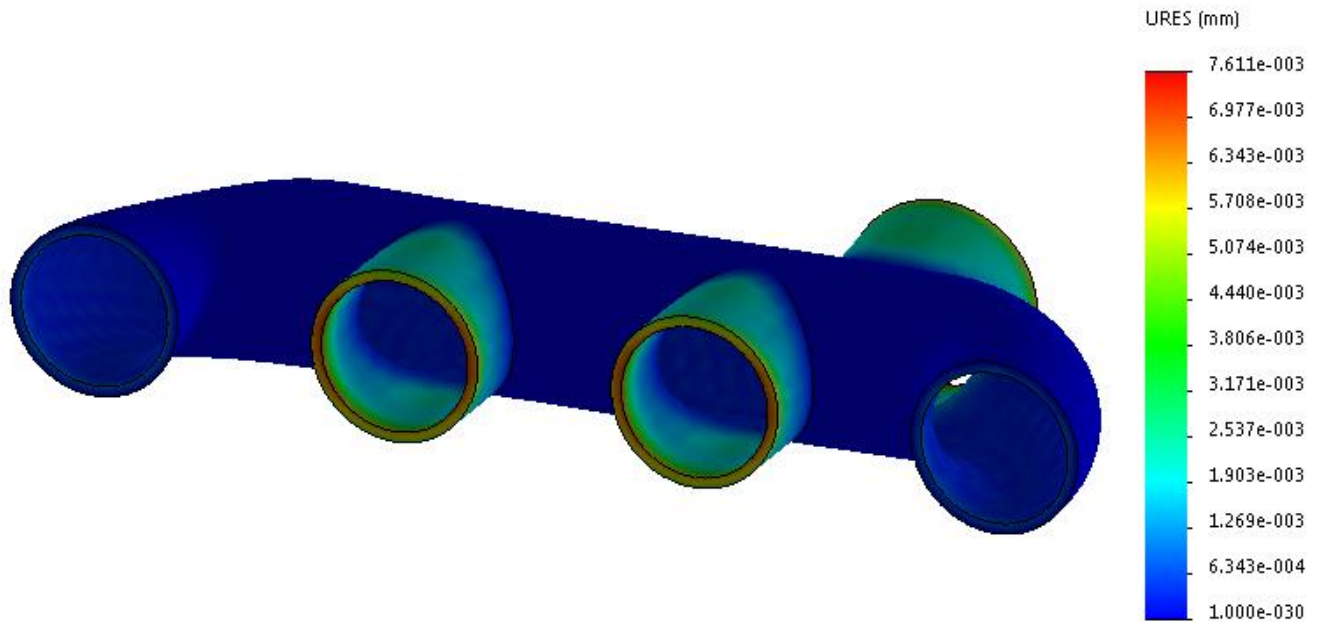
42 pav. “SolidWorks Flow” programa gauti rezultatai, tai yra statinio slėgio kitimas ciklų metu

41 paveikslėlyje matome A tipo kolektoriuje atsirandanti statinį slėgį, esant 850 aps/min variklio apkrovai. Maksimalus statinis slėgis siekia 85738Pa. 42 paveikslėlyje matome dujų pratekėjimo laiką. Ilgiausiai 100 litrų teka per pirma kolektoriaus kanalą – 105ciklai. Trumpiausiai, tai yra 88 ciklus, dujos teka per ketvirtą kolektoriaus kanalą. Bendras dujų ištekėjimo laikas 371 ciklų.



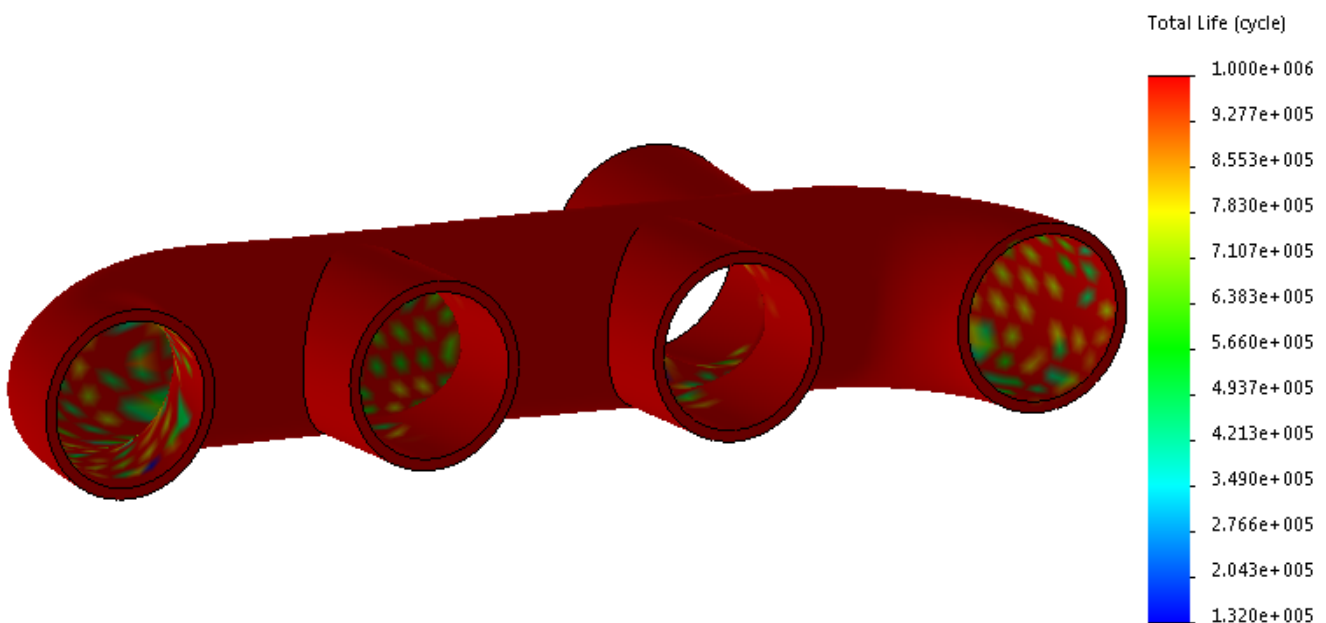
43 pav. A tipo kolektoriaus įtempiai

43 paveikslėlyje matome įtempimus, atsirandančius po apkrovos analizės. Kolektorius apkrautas vidiniu statiniu slėgiu, taip pat atsirandančia temperatūrine apkrova dujoms tekant. Kolektoriaus išorės sienelės apkrautos temperatūra, kuri atsiranda nuo dirbančio variklio. Maksimalūs gauti įtempiai $1.170 \cdot 10^8$ Pa. Minimalūs įtempiai $1.401 \cdot 10^6$ Pa.



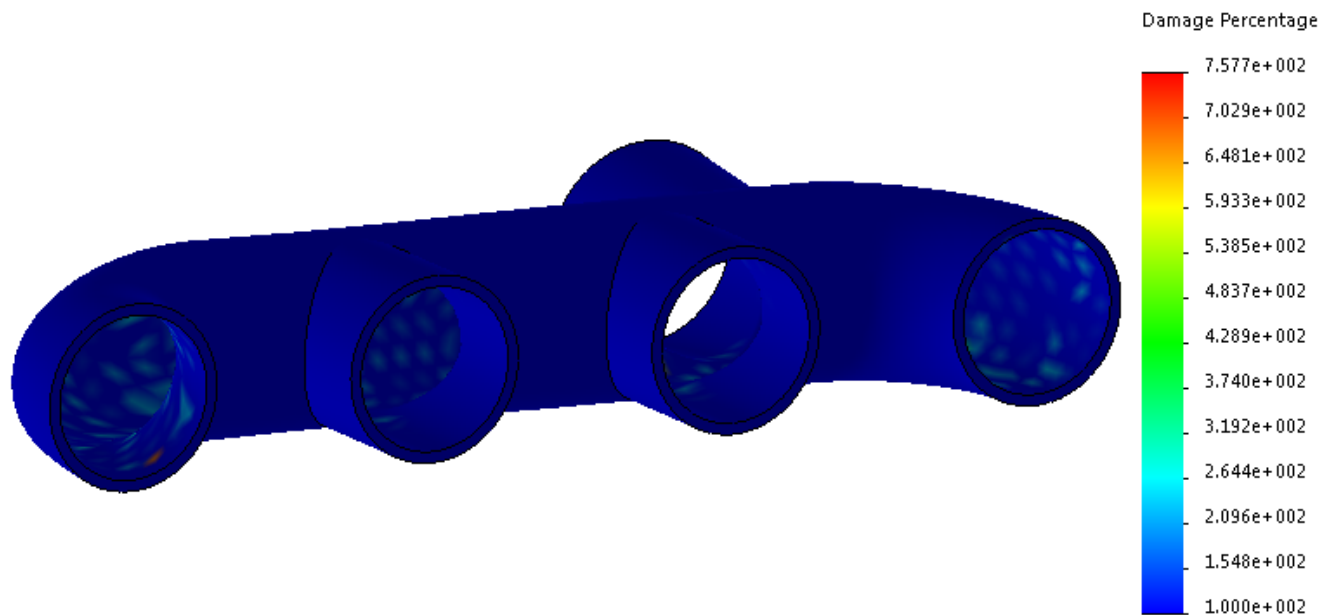
44 pav. A tipo kolektoriaus įtempiai

44 paveikslėlyje pavaizduoti maksimalūs poslinkiai kolektoriuje, jie siekia $7.611 \cdot 10^{-3}$ mm. Minimalūs poslinkiai $1.00 \cdot 10^{-3}$ mm.



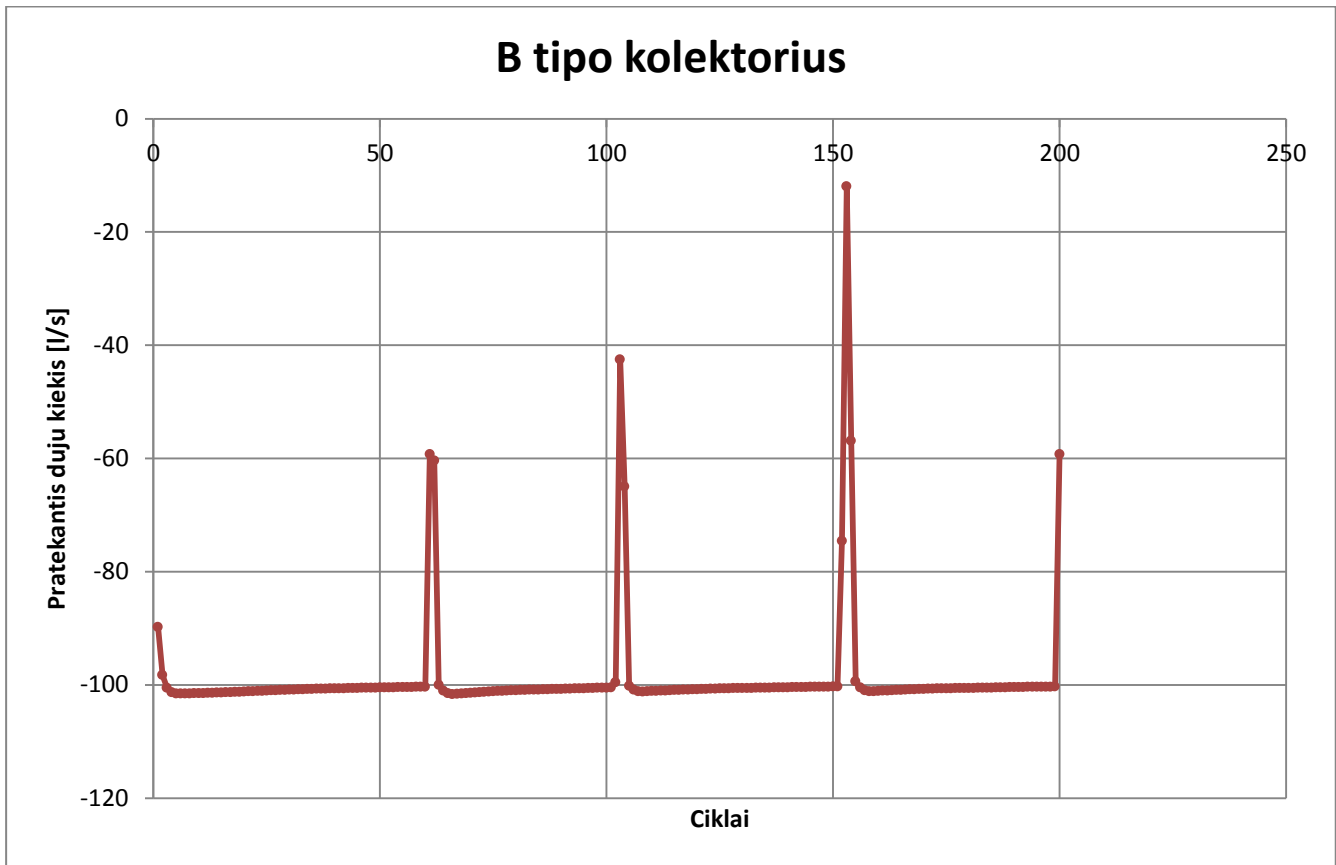
45 pav. Ciklų skaičius modelyje

45 paveikslėlyje matome kintamų ciklų skaičių, kuris nurodo skirtingų modelio vietų pokyčius, esant apkrovoms. Maksimalus ciklų skaičius yra 1000000. Iš ciklų skaičiaus grafos, matome, kad pradiniai pokyčiai modelyje atsiranda po 132000 ciklų.

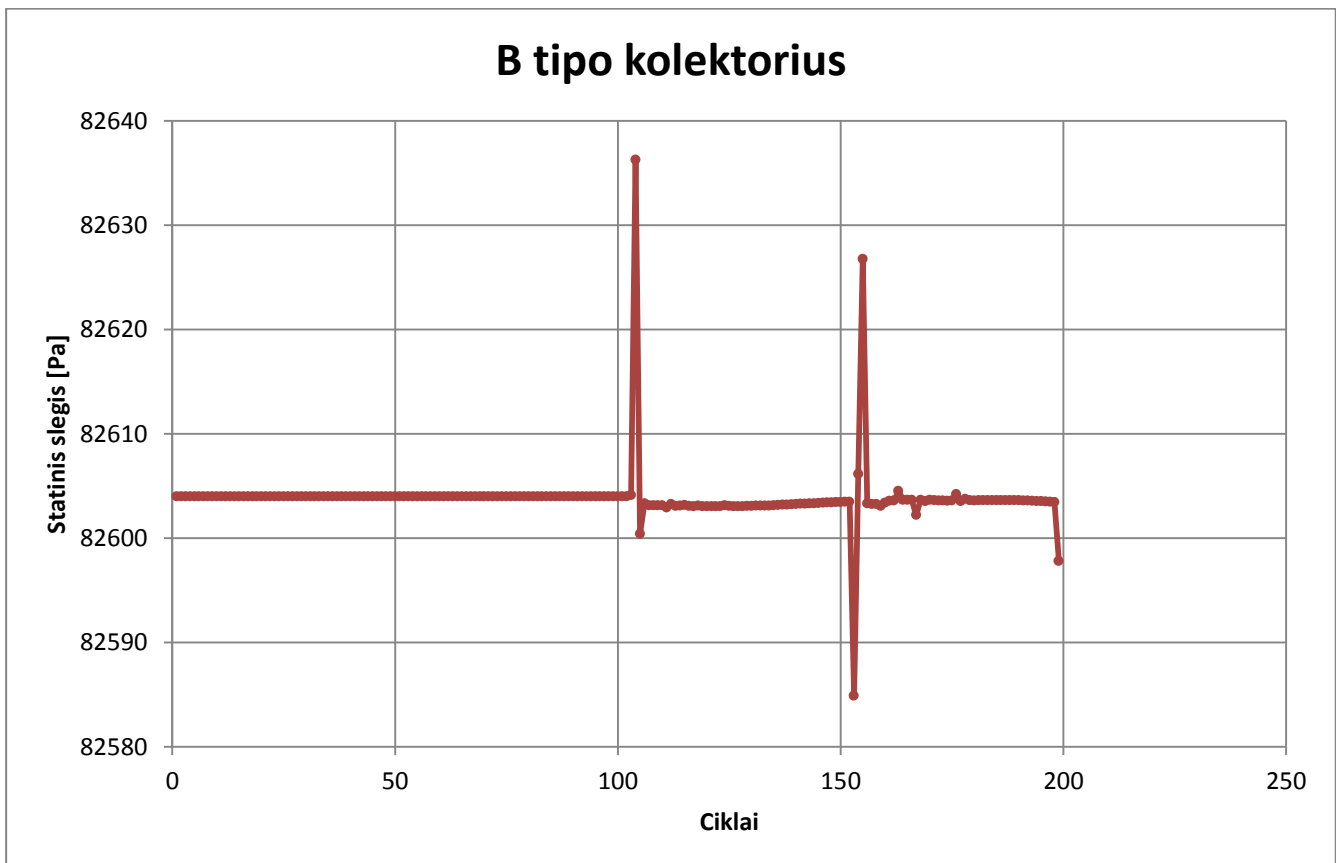


46 pav. Nuovargio atsiradimo tikimybė

46 pav. matome nuovargio trūkimo atsiradimo tikimybę. Viršijus 100% patikimumo ribą, matome atsirandančius pakitimus modelyje.

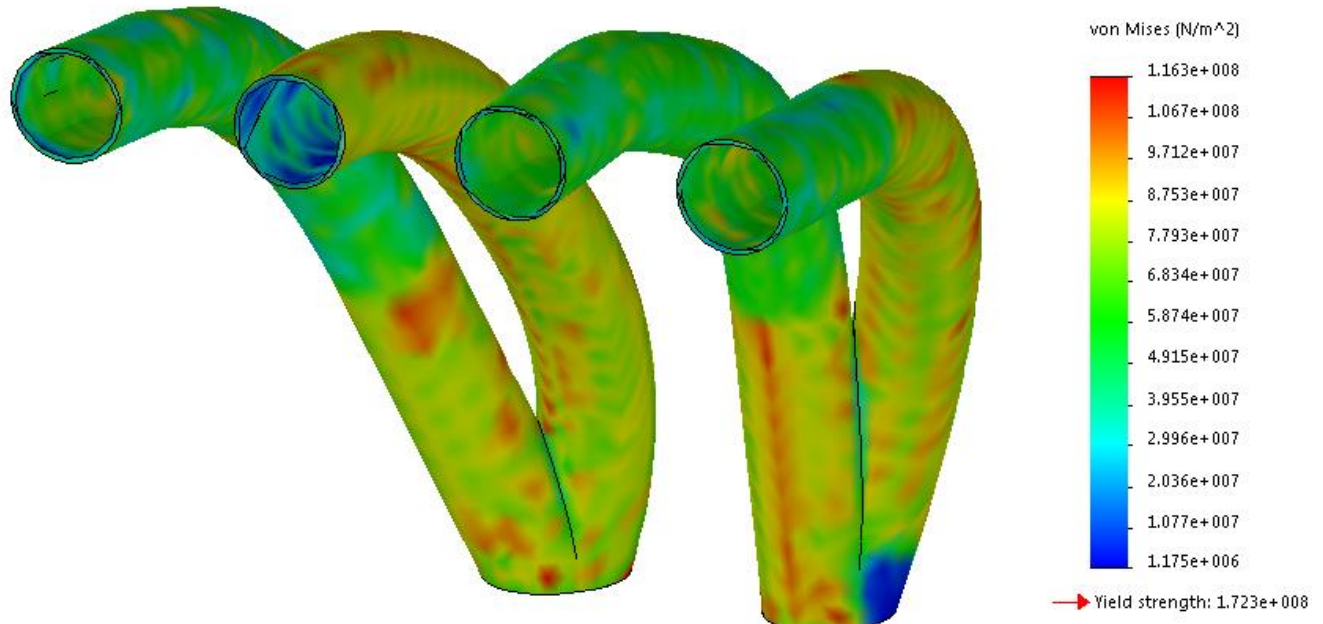


47 pav. "SolidWorks Flow" programa gauti rezultatai tai yra ciklų skaičius per kurį prateka 100 litrų dujų.



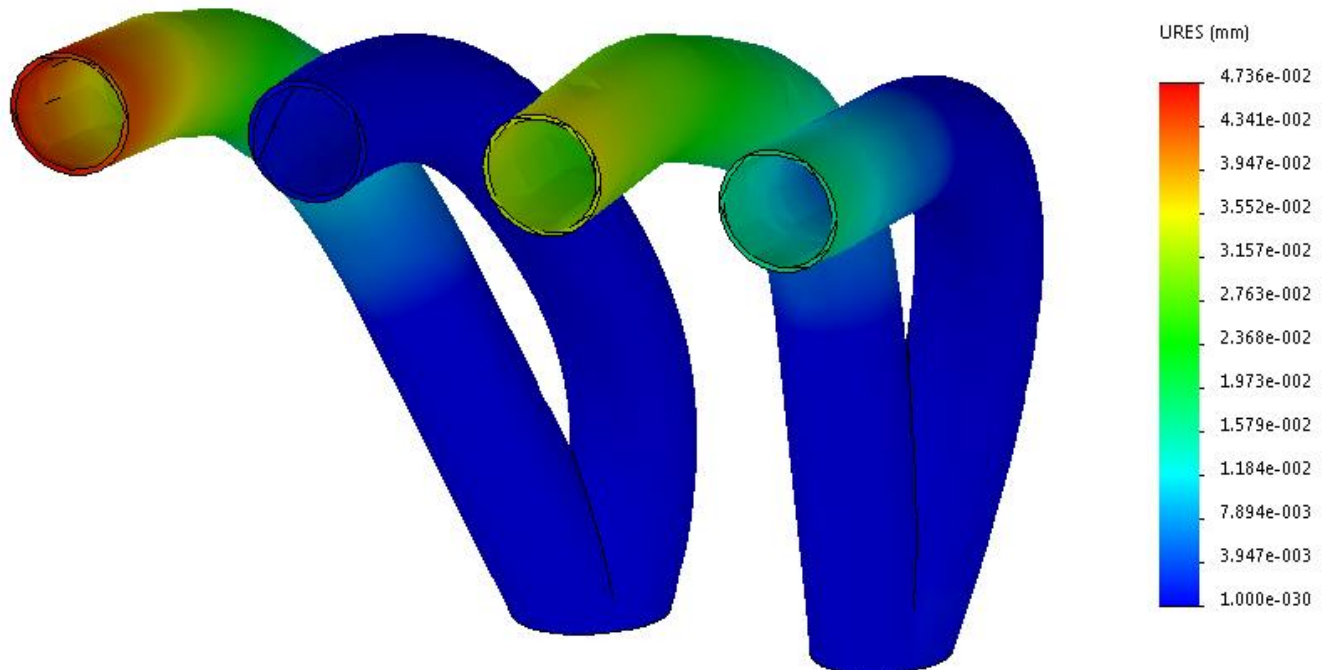
48 pav. "SolidWorks Flow" programa gauti rezultatai, tai yra statinio slėgio kitimas ciklų metu

47 paveikslėlyje iš pratekančių dujų slėgio grafiko matome, kad ilgiausiai užduotas dujų kiekis teka pro pirmą kolektoriaus vamzdį – 102 ciklai. Užduotas dujų kiekis, tai yra 100 litrų, išteka per 200 ciklus. Slėgis, kurį sukuria tekančios dujos pateiktos statinio slėgio grafike 48 paveikslėlyje. Maksimalus slėgis kolektoriuje 82635 Pa.



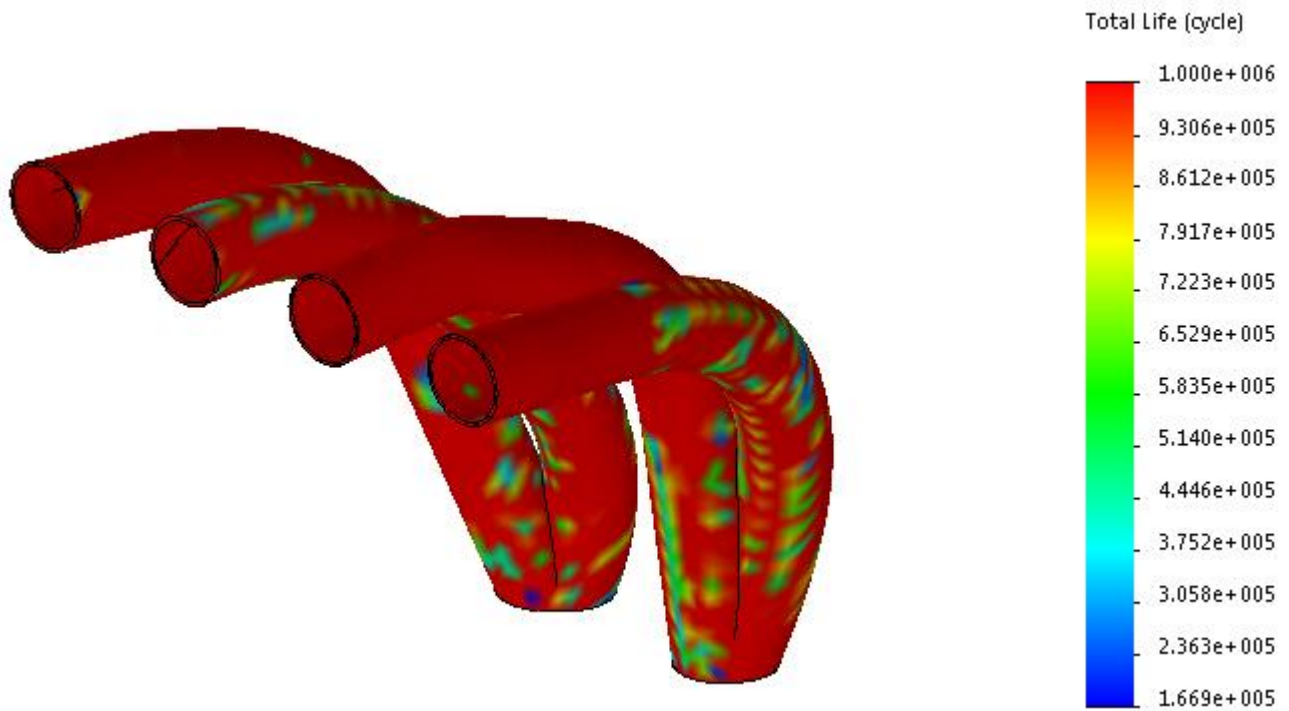
49 pav. B tipo kolektoriaus įtempiai

49 paveikslėlyje matome, kad didžiausi įtempiai išmetimo kolektoriuje siekia $1.163 \cdot 10^8$ Pa. Minimalūs įtempiai kolektoriuje $1.175 \cdot 10^6$ Pa.



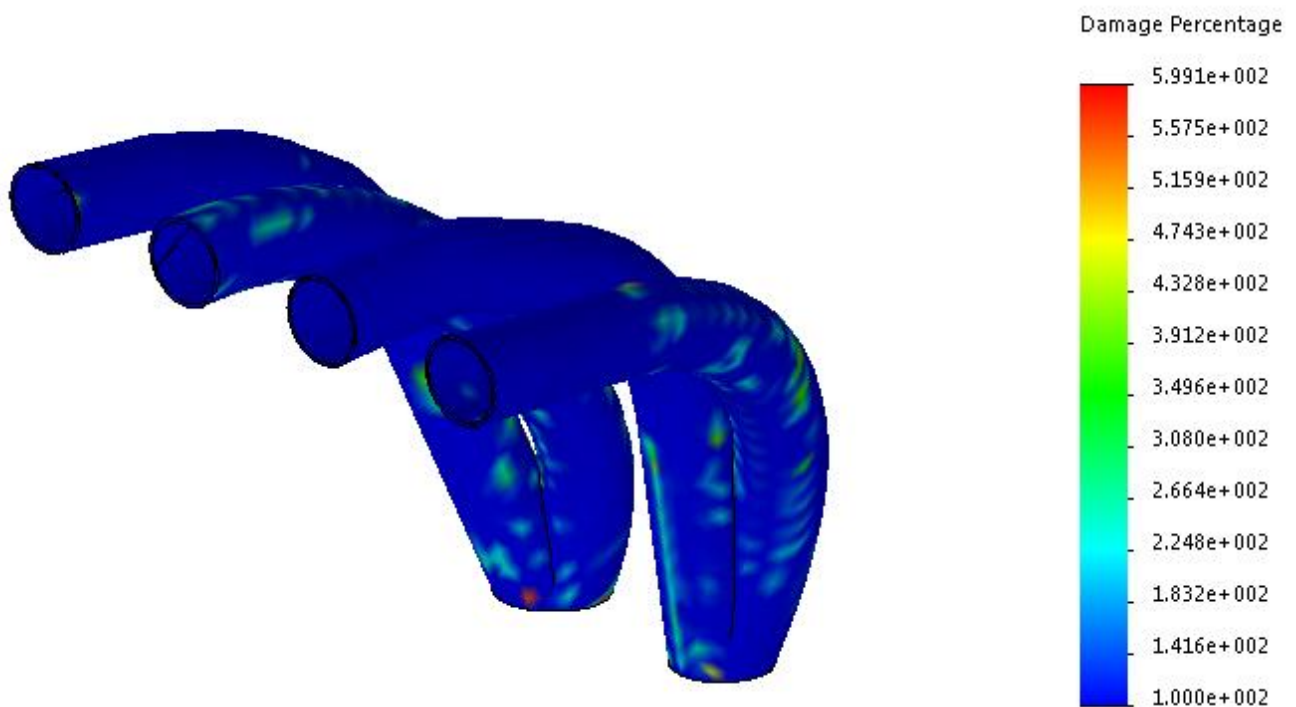
50 pav. B tipo kolektoriaus poslinkiai

50 paveiksle matote gautus poslinkius tyrimo metu. Maksimalūs poslinkiai siekia $4,736 \cdot 10^{-2}$ mm.



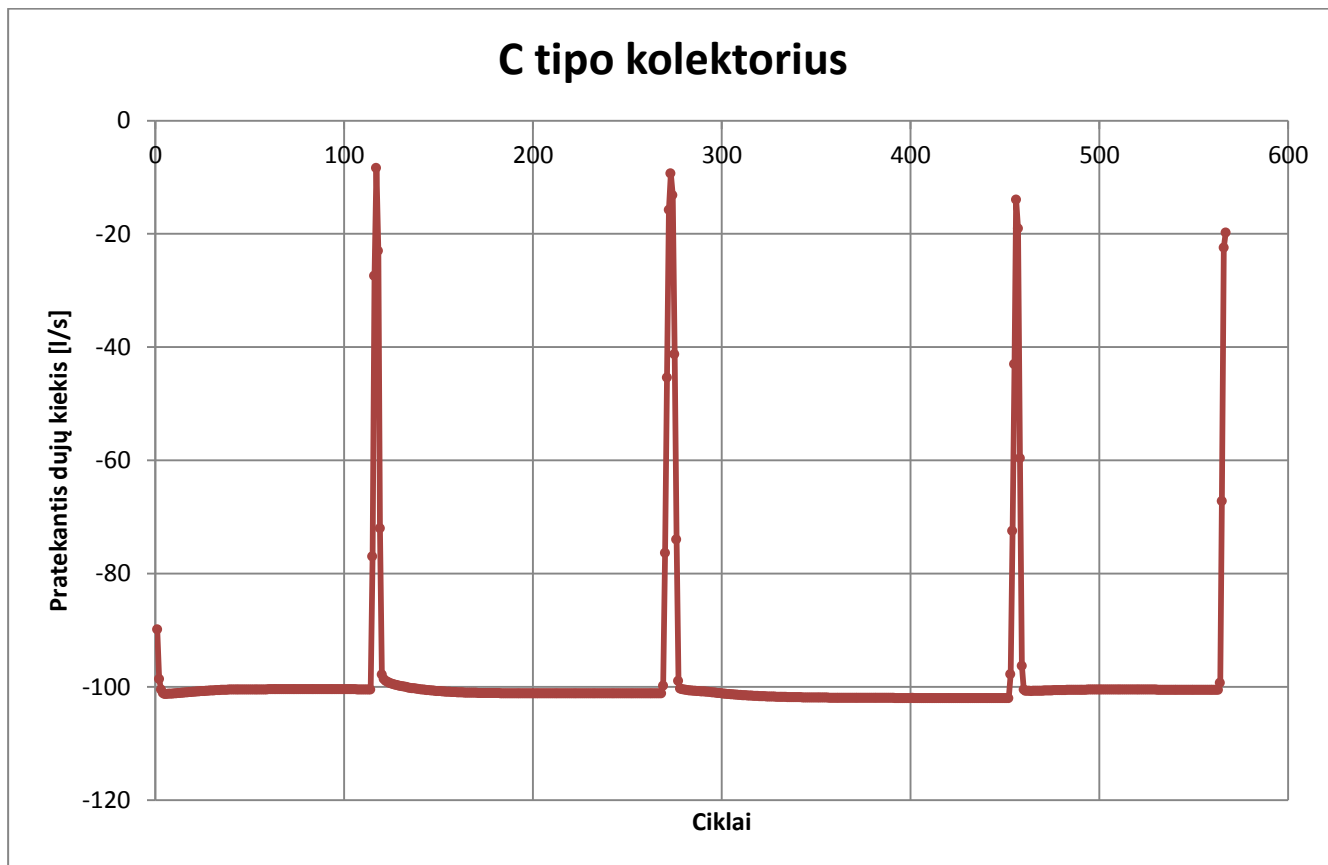
51 pav. Ciklų skaičius modelyje

51 paveikslėlyje matome kintamų ciklų skaičių, kuris nurodo skirtingų modelio vietų pokyčius, esant apkrovoms. Maksimalus ciklų skaičius yra 1000000. Iš ciklų skaičiaus grafos, matome, kad pradiniai pokyčiai modelyje atsiranda po 166900 ciklų.

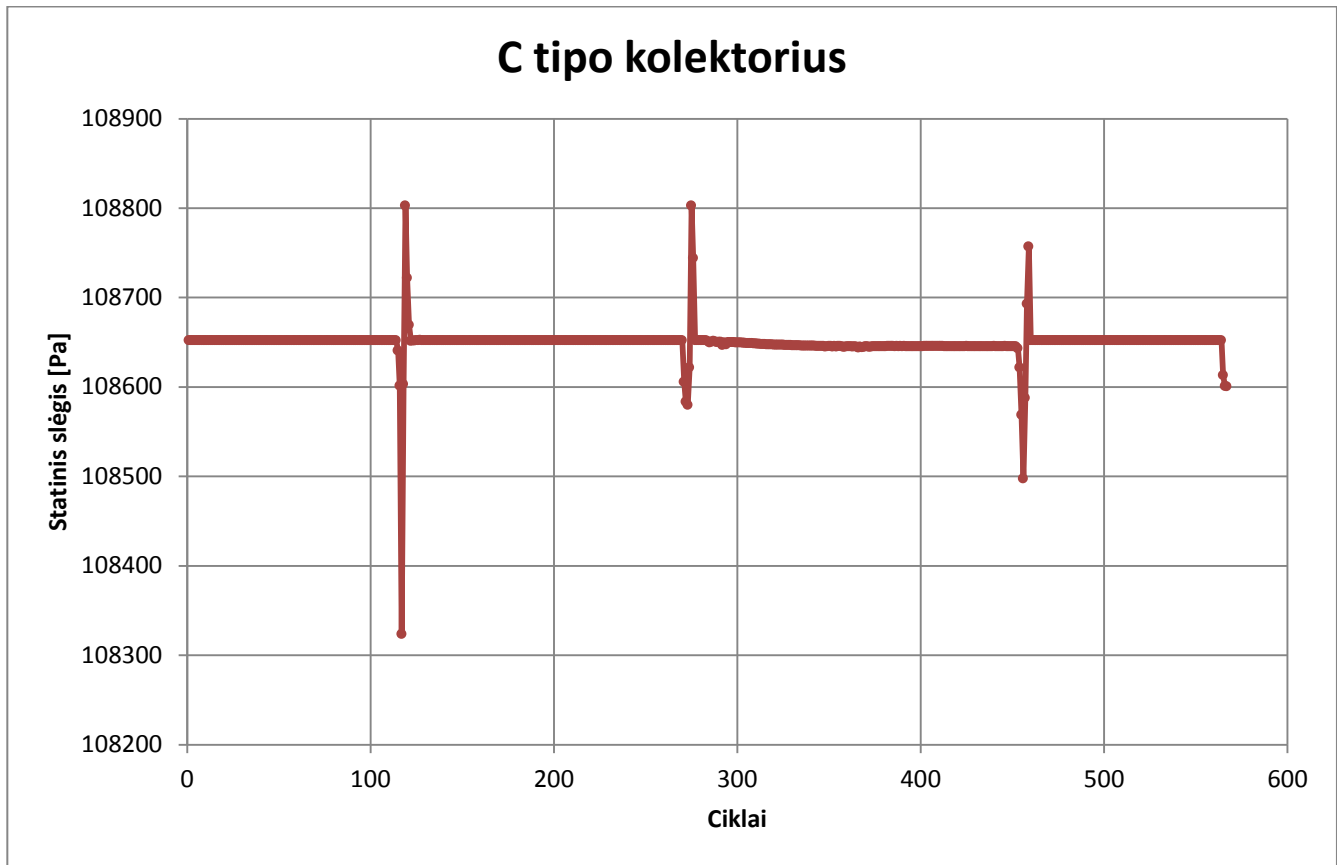


52 pav. Nuovargio atsiradimo tikimybė

52 pav. matome nuovargio trūkimo atsiradimo tikimybe. Viršijus 100% patikimumo ribą, matome atsirandančius pakitimus modelyje.

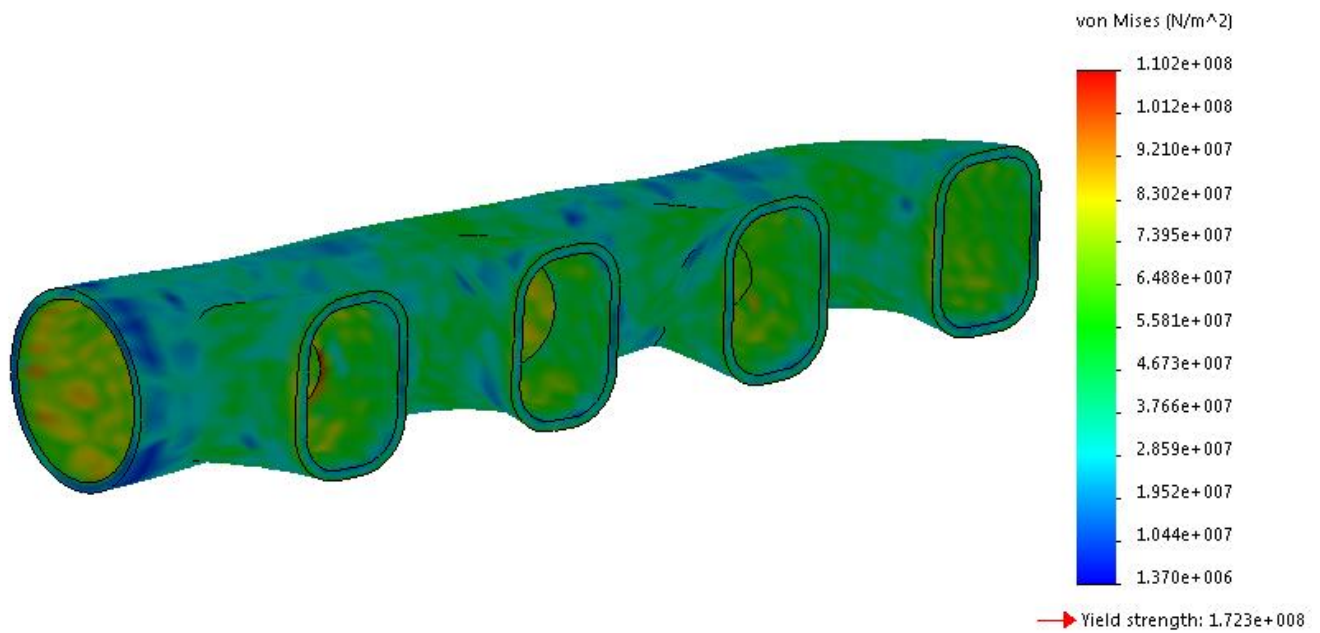


53 pav. "SolidWorks Flow" programa gauti rezultatai tai yra ciklų skaičius per kurį prateka 100 litrų dujų.



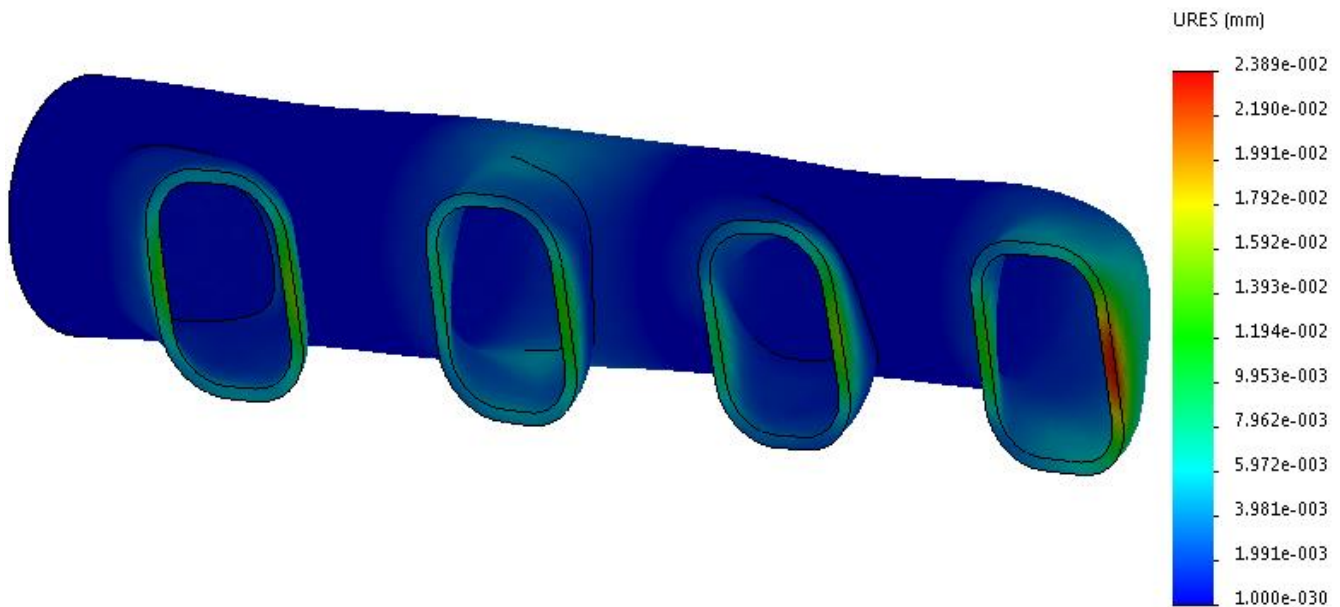
54 pav. "SolidWorks Flow" programa gauti rezultatai, tai yra statinio slėgio kitimas ciklų metu

53 pav. iš pratekančių dujų kiekio grafiko, matome, kad trumpiausiai trunka dujų tekėjimas iš ketvirto cilindro. Visas užduotas dujų kiekis per taktus išteka per 580 ciklus. Kitų cilindrų dujų ištekėjimas nesiskiria .54 pav. pateiktas slėgio kitimo grafikas. Maksimalus slėgis kolektoriuje 108800 Pa.



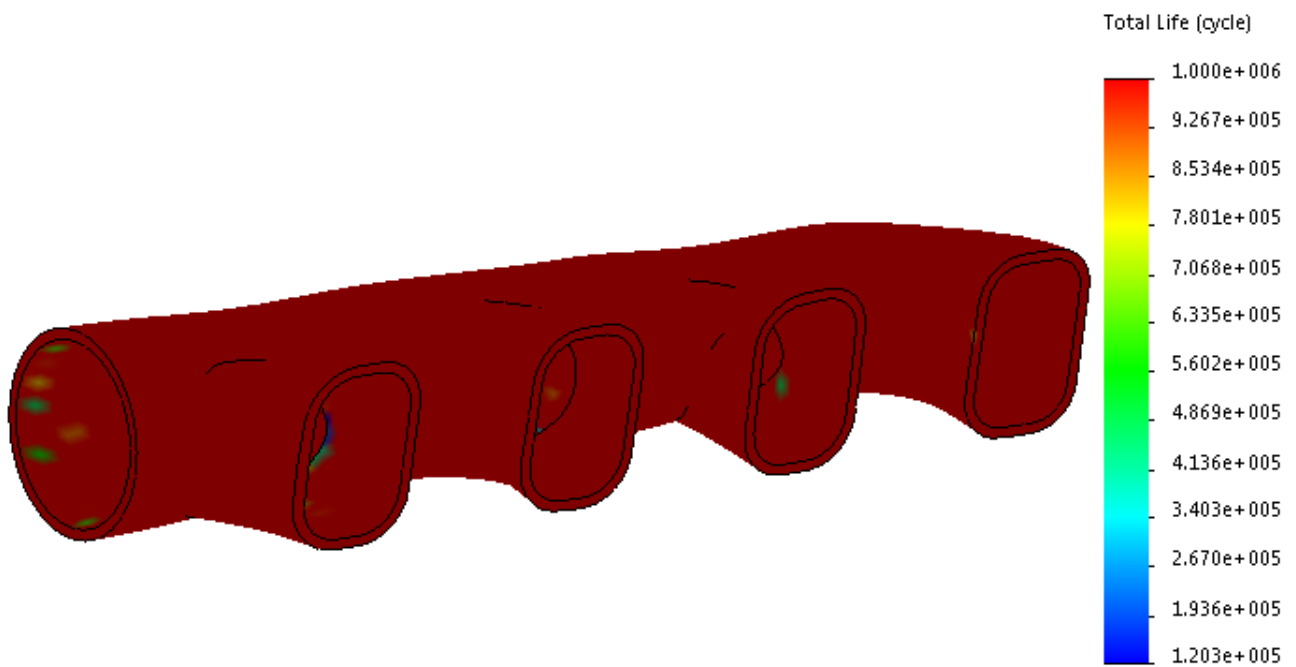
55 pav. C tipo kolektoriaus įtempiai

55 pav. Pateikti kolektoriuje gauti įtempiai. Maksimalūs gauti įtempiai $1.102 \cdot 10^8$ Pa. Minimalūs gauti įtempiai $1.37 \cdot 10^6$ Pa.



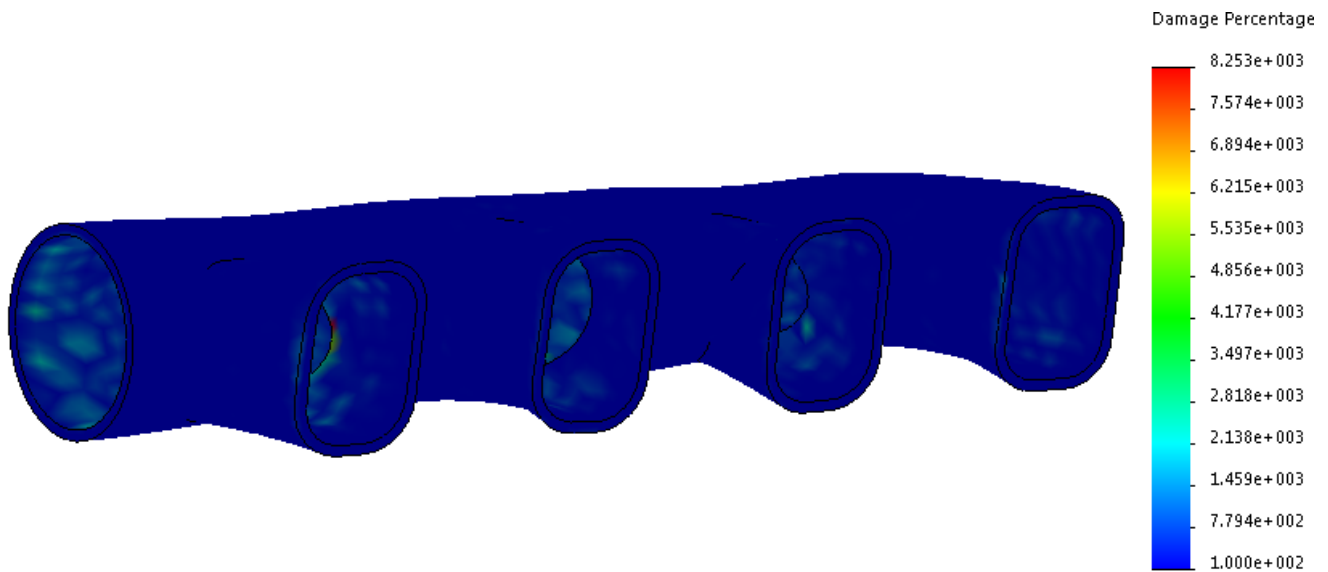
56 pav. C tipo kolektoriaus poslinkiai

56 pav. matome poslinkius gautus analizės metu. Maksimalūs poslinkiai siekia $2.389 \cdot 10^{-2}$ mm. Maksimalūs poslinkiai kolektoriuje $1 \cdot 10^{-3}$ mm.



57 pav. Ciklų skaičius modelyje

57 pav. matome kintamų ciklų skaičių, kuris nurodo skirtingų modelio vietų pokyčius, esant apkrovoms. Maksimalus ciklų skaičius yra 1000000. Iš ciklų skaičiaus grafos, matome, kad pradiniai pokyčiai modelyje atsiranda po 12120 ciklų.



58 pav. Nuovargio atsiradimo tikimybė

58 pav. matome nuovargio trūkimo atsiradimo tikimybę. Viršijus 100% patikimumo ribą, matome atsirandančius pakitimus modelyje.

Gauti analizių rezultatai pateikti 5, 6 ir 7 lentelėse.

5 lentelė

Kolektorius	Statinis slėgis, Pa		Ciklų skaičius	
	850 aps/min	3000 aps/min	850 aps/min	3000 aps/min
A	85738	111975	371	142
B	82635	101325	200	97
C	108800	101675	580	208

5 lentelėje pateiktas statinis slėgis ir ciklų skaičius gautas esant skirtingoms variklio apkrovoms. Mažiausias statinis slėgis 82635Pa, esant 850aps/min variklio apkrovai, yra B tipo kolektoriuje. Didžiausias statinis slėgis 108800 Pa yra C tipo kolektoriuje. Padidinus variklio apkrovą iki 3000aps/min mažiausias statinis slėgis 101325 Pa, išlieka B tipo kolektoriuje. Didžiausias statinis slėgis 111975 Pa, esant padidintai variklio apkrovai, yra A tipo kolektoriuje.

Pratekančių dujų kiekio laiką nusako ciklų skaičius. Esant 850 aps/min variklio apkrovai greičiausiai tai yra per 200 ciklų dujos išteka per B tipo kolektorių. Ilgiausiai, 580 ciklų, dujos teka C tipo kolektoriumi. Padidinus variklio apkrovimą iki 3000aps/min, greičiausiai, per 97 ciklus, dujos išteka per B tipo kolektorių. Ilgiausiai, per 208 ciklus, dujos išteka per C tipo kolektorių.

6 lentelė

Kolektorius	Įtempiai, N/m ²		Poslinkiai, mm	
	850 aps/min	3000 aps/min	850 aps/min	3000 aps/min
A	$1.170 \cdot 10^8$	$1.492 \cdot 10^8$	$7,611 \cdot 10^{-3}$	$1,118 \cdot 10^{-2}$
B	$1.163 \cdot 10^8$	$1.41 \cdot 10^8$	$4,736 \cdot 10^{-2}$	$5,196 \cdot 10^{-2}$
C	$1.102 \cdot 10^8$	$1.308 \cdot 10^8$	$2,389 \cdot 10^{-2}$	$2,542 \cdot 10^{-2}$

6 lentelėje pateikti įtempiai ir poslinkiai atsirandantys analizės metu. Didžiausi gauti įtempiai $1.170 \cdot 10^8$ N/m², esant 850aps/min variklio apkrovai, gauti A tipo kolektoriuje. Mažiausi įtempiai $1.102 \cdot 10^8$ N/m², gauti C tipo kolektoriuje. Padidinus variklio apkrovą iki 3000aps/min, mažiausi įtempiai $1.308 \cdot 10^8$ N/m², gauti C tipo kolektoriuje. Didžiausi įtempiai $1.492 \cdot 10^8$ N/m², gauti A tipo kolektoriuje.

Mažiausi poslinkiai $7,611 \cdot 10^{-3}$ mm, esant 850aps/min variklio sukiamams, gauti A tipo kolektoriuje. Didžiausi poslinkiai, $4,736 \cdot 10^{-2}$ mm, gauti B tipo kolektoriuje. Padidinus variklio apkrovą iki 3000aps/min, didžiausi poslinkiai, $5,196 \cdot 10^{-2}$ mm, gauti B tipo kolektoriuje. Mažiausi poslinkiai, $1,118 \cdot 10^{-2}$ mm, gauti A tipo kolektoriuje.

7 lentelė

Kolektorius	Ciklų skaičius	
	850 aps/min	3000 aps/min
A	132000	23360
B	166900	31120
C	120300	22500

7 lentelėje matome minimalų ciklų skaičių, prie kurio atsiranda nuovargis. Esant 850aps/min variklio apkrovai, greičiausiai, po 120300 ciklų, pokyčiai atsiranda C tipo kolektoriuje. Didžiausią ciklų skaičių iš analizuojamų kolektorių iki nuovargio atsiradimo atlaiko B tipo kolektorius, tai yra 166900 ciklų. Padidinus variklio apkrovą iki 3000aps/min, mažiausiai ciklų, tai yra 22500, iki atsirandančio nuovargio atlaiko A tipo kolektorius. Didžiausią ciklų skaičių, tai yra 31120, atlaiko C tipo kolektorius.

IŠVADOS

1. „SolidWorks” programa sumodeliuoti trys skirtingų geometrijų kolektoriai. „SolidWorks Simulation“ ir „SolidWorks Flow” programomis apskaičiuotas tyrimo metu kolektoriuose atsirandantis statinis slėgis, įtempiai bei poslinkiai. Taip pat, esant skirtingoms variklio apkrovoms: 850aps/min ir 3000aps/min, apskaičiuotas laikas, per kurį išteka 100 litrų dujų.
2. Analizėje reikalingos kolektoriaus temperatūros išmatuotos bekontakčiu termometru EMSiTest – 8865. Išmatuotos variklio, dirbančio 850aps/min ir 3000aps/min, išmetimo kolektoriaus temperatūros.
3. Mažiausias statinis slėgis 82635Pa, esant 850 aps/min variklio apkrovai, yra B tipo kolektoriuje. Didžiausias statinis slėgis 108800 Pa yra C tipo kolektoriuje. Padidinus variklio apkrovą iki 3000 aps/min mažiausias statinis slėgis 101325 Pa, išlieka B tipo kolektoriuje. Didžiausias statinis slėgis 111975 Pa, esant padidintai variklio apkrovai, yra A tipo kolektoriuje.
4. Esant 850 aps/min variklio apkrovai greičiausiai tai yra per 200 ciklų dujos išteka per B tipo kolektorių. Ilgiausiai, 580 ciklų, dujos teka C tipo kolektoriumi. Padidinus variklio apkrovimą iki 3000 aps/min, greičiausiai, per 97 ciklus, dujos išteka per B tipo kolektorių. Ilgiausiai, per 208 ciklus, dujos išteka per C tipo kolektorių.
5. Didžiausi gauti įtempiai $1.170 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$, esant 850 aps/min variklio apkrovai, gauti A tipo kolektoriuje. Mažiausi įtempiai $1.102 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$, gauti C tipo kolektoriuje. Padidinus variklio apkrovą iki 3000 aps/min, mažiausi įtempiai $1.308 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$, gauti C tipo kolektoriuje. Didžiausi įtempiai $1.492 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$, gauti A tipo kolektoriuje.
6. Esant 850 aps/min variklio apkrovai, greičiausiai, po 120300 ciklų, pokyčiai atsiranda C tipo kolektoriuje. Didžiausią ciklų skaičių iš analizuojamų kolektorių iki nuovargio atsiradimo atlaiko B tipo kolektorius, tai yra 166900 ciklų. Padidinus variklio apkrovą iki 3000 aps/min, mažiausiai ciklų, tai yra 22500, iki atsirandančio nuovargio atlaiko A tipo kolektorius. Didžiausią ciklų skaičių, tai yra 31120, atlaiko C tipo kolektorius.
7. Atsižvelgiant į gautus rezultatus: statinį slėgį, ciklų skaičių, per kurį prateka dujos bei nuovargio atsiradimą B tipo kolektoriuje dujos prateka greičiausiai ir nuovargio atsiradimas užtrunka daugiau ciklų. Taigi B tipo kolektorius eksploatacijos metu tarnaus ilgiau nei A ir C tipo kolektoriai.

LITERATŪRA

Knygos:

1. R. Barauskas, R. Kačianauskas, R. Belevičius „Baigtinių elementų metodo pagrindai“ 2004, p.10 [žiūrėta 2015 05 14]
2. Gunter P. Merker, Christian Schwarz, Ruiger Teichmann „Combustion Engines Development“ 2009 [žiūrėta 2015 05 15]
3. Stanislovas Buteliauskas, „Automobilių sandara ir priežiūra“ 2008
4. Philip Hubert Smith , John C. Morrison Scientific Design of Exhaust and Intake Systems Third edition
5. Mike Mavrigian, Performance Exhaust Systems: How to Design, Fabricate, and Install
6. Ben Watson, How to Build & Modify Intake & Exhaust Systems

Interneto svetainės:

7. <http://www.automedia.lt/temos/autoservisai-lengvuju-automobiliu/ismetimo-sistema>
8. http://www.1aauto.com/content/articles/exhaust_manifolds
9. http://www.autopartswarehouse.com/exhaust_manifold~pop.html
10. <http://www.lemona.ee/LIUSE/>
11. http://www.theaa.com/motoring_advice/car-buyers-guide/cbg_toxics.html

Elektroninės knygos:

12. A.Haegemans, M.Baelmans „Experimental Flow Dynamics In Automotive Exhaust Systems with Close-Coupled Catalyst“
13. Taner Gocmez, Udo Deuster „Designing Exhaust Manifold Using Integral Engineering Solutions“

Straipsniai iš elektroninio žurnalo:

14. Eiji Sato, Toshio Tanoue „Present And Future Trends Of Material For Automotive Exhaust Systems“ , Nippon steel technical report No.64, 1995
15. Masahiro Kanazaki, Masashi Morikawa, Shigeru Obayashi, Kazuhiro Nakahashi „ Exhaust Manifold Design For A Car Engine Based On Engine Cycle Simulation“ , Parallel Computational Fluid Dynamics, International Conference Parallel CFD 2002.

16. K. S. Umesh¹, V. K. Pravin² & K. Rajagopal „Cfd Analysis Of Exhaust Manifold Of Multi-Cylinder Si Engine To Determine Optimal Geometry For Reducing Emissions“, International Journal of Automobile Engineering, Research and Development, Vol.3, Issue 4, 2013.
17. Taner Gocmez, Udo Deuster „Designing Exhaust Manifolds Using Integral Engineering Solutions“
18. Brian Daniels, Rob Mitchell „Virtual Design Validation Of High Temperature Components – Automotive Engine Exhaust Manifold Case Study“, Engineering Structural Integrity Assessment: present goals – future challenges, 2009.
19. I.P. Kandylas, A.M. Stamatelos „Engine exhaust system design based on heat transfer computation“, Laboratory of Applied Thermodynamics, Mechanical Engineering Department, Aristotle University of Thessaloniki, 1998.