

Keith Ever

**KROSSIMOOTORRATTA
JUHTIMIST JA SÕIDUASENDIT
MÕJUTAVATE KOOSTE-
DETAILIDE ARENDAMINE JA
RAKENDAMINE KAWASAKI
KX250F JA KX450F NÄITEL**

LÕPUTÖÖ

Mehaanikateaduskond
Tehnomaterjalide ja turunduse eriala

Tallinn 2014

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. MOTOKROSSIST ÜLDISELT	8
1.1 Jalatugede osa juhtimisel.....	8
1.2 Turvavarustus	9
1.3 Krossimootorratas	10
1.4 Krossimootorratta jalatoed	11
2. JALATUGEDE PROBLEEMIDE OLEMUS	12
2.1 Vastukajad sõitjatelt	12
2.2 Tehasemudelite puudused	13
3. ALTERNATIIVID JÄRELTURUL	15
3.1 Alumiiniumisulamitest mudelid	16
3.2 Alumiiniumisulamitest mudelite analüüs.....	17
3.3 Terasesulamitest mudelid.....	21
3.4 Terasesulamitest mudelite analüüs.....	22
3.5 Titaanisulamitest mudelid	24
3.6 Titaanisulamitest mudelite analüüs	25
4. SOBIVAIMA TOOTE ARENDUS	26
4.1 Materjali valik	27
4.2 Tugevusarvutused.....	28
4.3 Sobivaima mudeli projekteerimine	29
5. 3D MUDELI PROJEKTEERIMINE	31
5.1 Koormustestid	34
KOKKUVÕTE.....	38
SUMMARY	39
VIIDATUD ALLIKAD.....	40

Lisa 1: Jalatõe tehniline joonis**Error! Bookmark not defined.**

Lisa 2: Jalatõe puksi tehniline joonis**Error! Bookmark not defined.**

SISSEJUHATUS

Esimese mootorratta ehitas Gottlieb Daimler 1885 aastal, kuid alles aastakümnete möödudes arenes tehnika sedavõrd, et mootorrattaga sai võimalikuks sõita ka teedeta maastikul [1]. 1924 aastal Inglismaal toimunud esimest sellelaadset võistlust võib pidada tänapäeval populaarse motosportiala – motokrossi sünniks [2].

Krossimootorrattaid kasutatakse spetsiaalselt selleks otstarbeks kohandatud erineva profiiliga radadel või maastikusõiduks. Tehased lähtuvad oma mudelite projekteerimisel eelkõige ärihuvidest ja turundusstrateegiast, see on suunatud tavaliselt kõige suuremale võimalikule ostjaskonnale. Seetõttu on krossirataste ehitus väljatöötatud sellise arvestusega, et need oma parameetrite poolest sobivad eelkõige keskmise kasvu ja ka kaaluga sõitjatele. Suur osa motokrossi harrastajatest on aga oma kehaliste füüsiliste näitajate poolest sellest arvestuslikust keskmisest erinevad. Töö autor leiab, et nimetatud asjaolu asetab sellised inimesed ebavõrdsesse olukorda. Seda nii võistlusspordis kui ka motokrossi hobikorras viljeledes.

Analoogset suhtumist oma toodete arendamisse näitavad ka järelturule varuosi valmistavad ettevõtted, sisuliselt kopeeritakse originaaldetaile või panustatakse pigem pilkupüüdvamale disainile. Kriitika ei puuduta neid varuosi, mille valmistamisel peab lähtuma täpsetest originaalosa materjalidest, mõõtudest ja omadustest.

Eesti keeles ei ole ühtset ja väljakujunenud nimetust nendele mootorratta raamile kinnituvatele detailidele, millele sõitja jalgadega toetub. Neid nimetatakse (inglise k - footrests, footpegs) ka jalaraudadeks, kuid see võimalikule materjalile tänapäeval enam mittevastav nimetus ei ole kõige kohasem. Autor kasutab töö koostamise käigus edaspidi selleks mõistetavamat väljendit – jalatoed.

Juht mootorrattal on sõiduvahendiga ühenduses kolme punkti kaudu – juhtrauast kätega hoides istutakse nii sadulas kui seistakse jalatugedel. Nimetatud detailidest sõltub sõitja asend rattal ja nende abil on võimalik sõiduvahendit juhtida. Kõikide nende koostedetailide parameetreid on võimalik muuta sõitjale sobivaimaks. Krossimootorrataste tootjad kasutavad oma mudelitel juhtivate varuosade valmistajate juhtraudu, mille valik on suhteliselt piisav, rahuldamaks ka kõige

nõudlikumat kasutajat. Samuti on järelturul saadaval hulgaliselt erinevate mõõtude ja omadustega krossirataste sadulaid.

Erinevalt tänavasõidumootorrattast paikneb krossisõitja enamuse ajast oma sõiduvahendil jalatugedel seistes, juhtimine toimub jalgade asendit muutes ja mootorratta raamile survet korrigeerides. Selle tõttu langeb praktiliselt kogu koormus jalgadele ja jalatoed on sisuliselt sõitja ainsateks toetuspunktideks ja kõige olulisemaks krossimootorratta juhtimist ja sõiduasendit mõjutavaks koostedetailiks. Nende parima sobivuse jaoks kõigile sõitjaile ei ole rataste tootjad ja varuosade valmistajad pööranud töö koostaja arvates piisavalt tähelepanu.

Erinevad motokrossiõpikud ja -ajakirjad ning spordiala puudutavad videomaterjalid on täis õpetusi krossimootorrattaga sõitmiseks. Kirjeldatakse põhjalikult, kuidas leida õiget sõiduasendit ja mootorrattast erinevates tingimustes juhtida. Nendes materjalides antakse nõuandeid ja juhiseid, kuidas valida oma kasvule ning sõidustiilile sobivaim juhtraud ning kuidas seda reguleerida. Piisavalt on juttu ka erinevatest sadulamudelitest ja sellest, millest valikutes lähtuda. Kõige enam kirjeldatakse sõidutehnikat, kus asjatundjad annavad näpunäiteid, kuidas krossimootorrattur jalatugedel seistes peaks käituma raja erinevate lõikude läbimisel. Praktiliselt kusagil pole aga arutletud, kas jalatoed on sõitja jaoks selleks sobivad, et neid soovitusi järgida. Autor leidis, et probleem on piisavalt aktuaalne lõputööks.

Uurimustöö koostaja lähtus teema valikul ka enda kogemustest ja tähelepanekutest, kuna on tegelenud motokrossiga alates 2001 aastast ja võistlusspordiga alates 2004 aastast. Analüüsinud möödunud aastal koduvabariigis toimunud motokrossivõistluste osavõtjate koguarvu selgus, et praegusel ajal on Eestis umbes tuhatkond motosportlast, kes küllaltki regulaarselt võtavad osa erinevatest motokrossivõistlustest ja maastikusõitudest täiskasvanutele mõeldud krossiratastel [3], [4]. Ligikaudu kolmandik on aga neid, kes kehaliste mõõtude poolest on keskmisest meesterahvast suuremad, ka siinkirjutaja kuulub nende hulka. Seetõttu lähtus autor oma valikul kindlasti individuaalsest huvist, kuid arvestades motokrossiga tegelevate inimeste hulka võiks teema ka neile piisavalt oluline olla.

Uurimustöö põhieesmärgiks seati krossimootorratta jalatugede ehituse ja parameetrite arendamine, lähtudes keskmisest pikemat kasvu ja raskema kehakaaluga sõitjate vajadustest ning selle rakendamine. Eesmärgist tulenevalt seadis autor järgmised uurimisülesanded:

- 1) selgitada autori isiklike ja teiste motokrossiharrastajate kogemuste ja tähelepanekute põhjal välja võimalikud jalatugede konstruktsiooni, mõõtude ja omadustega seotud probleemid;
- 2) võrrelda krossimootorratta originaaldetailidena ja erinevate varuosade tootjate poolt valmistatavate jalatugede ehitust, materjale ja tehnilisi andmeid;
- 3) analüüsida võrdlustesse toodud detailide parameetrite sobivust töö eesmärgiga, tuua välja erinevate jalatugede puudused ja eelistused;
- 4) tulemuste põhjal töötada välja jalatoe mudel, milline oleks sobivaim pikemate ja raskemate motokrossisõitjate vajadusi arvestades.

Autor seadis tööülesandeks projekteerida väljatöötatud detailist 3D mudel, valida selle materjal, koostada vastavad tugevusarvutused ning koormustestid.

Uurimustöö esimeses peatükis antakse lühiülevaade motokrossi olemusest, jalatugede osast ratta juhtimisel, varustusest, krossimootorratta ehitusest ning selle jalatugedest. Teises osas tuleb juttu mootorratta jalatugede probleemsest konstruktsioonist ja nende puudustest sõitjate seisukohast lähtudes. Analüüsitakse tehasemudelite kitsaskohti. Kolmandas peatükis kajastatakse järelturul müüdavaid detaile, võrreldakse erinevatest materjalidest saadaolevat mudelite ehitust, mõõtusi ja teisi tehnilisi tingimusi. Lõputöö neljandas osas keskendutakse toote arendusele, selle materjalide valikule, viiakse läbi tugevusarvutused ja projekteeritakse sobivaim mudel uurimustöö eesmärgist ja tulemustest lähtudes. Neljas osa käsitleb tööülesandes etteantud arendatava toote 3D mudeli projekteerimist vastavalt võrdluste ja analüüsi tulemustele ning toote koormustele.

Töös kasutatakse detailide jooniste koostamiseks ja testide läbiviimiseks tarkvara Siemens Solid Edge ST6.

Lõputöö koostaja ei leidnud viiteid varem avaldatud teaduslike artiklite või uurimustööde kohta, millised puudutaksid autori poolt valitud teemat, seepärast ei olnud eriti millelegi tugineda. Kuni käesoleva ajani leidis autor uurimuses loetletud probleemidele võimalikke lahendusi pigem katse-eksituse meetodil. Nimetatud asjaoludest tingituna lähtuti püstitatud eesmärkide täitmisel põhimõttest - uurida, võrrelda ja analüüsida niipalju kui vajalik, aga muuta nii vähe kui võimalik.

1. MOTOKROSSIST ÜLDISELT

Motokross on teatud määral väljakutse esitamine loodusjõududele ja füüsikaseadustele, seetõttu ei pruugi paljud mõista, miks keegi üldse sellise spordialaga peaks tegelema. Motokrossi harrastamiseks kasutatakse selleks otstarbeks projekteeritud ja ehitatud radasid, mille pinnase materjal võib olla erineva struktuuriga. Sõitude ajaline kestus jääb sõltuvalt võistlusklassist 20 kuni 40 minuti vahele, korraga on rajal kuni 40 võistlejat. See asjaolu teeb kindlasti nii pealtvaatajatele kui ka võistlejaile endile spordiala põnevamaks, kuid samas muudab tunduvalt ohtlikumaks.

Kiiruse piiramiseks on rajad liigendatud erineva raadiustega kurvidega ning motokrossi vaatamisväärseks tegevate hüpete, lainetega ning teiste elementidega. Tavaliselt ei ületa ringide läbimise keskmine kiirus 50-55 km/h, kuid siiski võivad radade sirgetel lõikudel kiirused kasvada ka kuni 90-100 km/h. Radade profiil võib olla kohandatud looduslike nõlvade ja orgudega, aga kasutatakse ka lauskmaale rajatud võistlustrasse. Lisaks ülalnimetatud spordialale korraldatakse kestvuskrossi võistlusi, kus võistlusrada on maha märgitud maastikule, radade pikkus jääb keskmiselt 4-5 kilomeetri vahele ja läbitava ringi aeg umbes 10-15 minuti piiresse. Krossirataste kohandatud versioonid on kasutusel supermotos ja enduuros.

1.1 Jalatugede osa juhtimisel

Krossirajal siledat pinnast sisuliselt ei leidu, kui ei ole parajasti hüppeid, laineid ega teisi elemente, siis on kindlasti ees ootamas järjekordsed kurvid. Krossirajal saab sõitja sadulasse istuda ainult kurvides, aga puhkehetkeks võib pigem nimetada hüpete ja maandumiste vahelist aega. Kuigi rajal on ka sirgeid lõike, siis enamasti on seal sooned ja augud ning järgmisel ringil võib juba kõik muutunud olla. Raja profiili ja elementide tõttu asetseb krossisõitja ligikaudu 90% ajast mootorrattal seistes, toetudes jalgadega jalatugedele.

Krossirajal kasutatakse mootorratta soovitud suunda pööramiseks ainult juhtrauda kurvides kui sõitja istub sadulas ja keharaskuse ülekandmisega esirattale saavutatakse piisav kontakt maapinnaga kurvi läbimiseks. Selleks tõstetakse sisetrajektooriga olev jalg jalatoelt ning jala asendi muutmisega reguleeritakse esirattale mõjuvaid jõudusid ning säilitatakse mootorratta tasakaal. Jala kontakt

rajapinnasega ei ole soovitatav, kaob tasakaal ning suureneb vigastuste oht. Kurvi välistrajektoorigil olev jalg asetatakse jalatoele, ning vastavalt kurvi raadiusele kantakse sellele üle keharaskust.

Väljaspool kurvilist osa on mootorratta juhtimine võimalik eelkõige jalgade abil. keha asendit rattal muutes. Jalasäärte sisekülgedega surutakse mootorratta raami otse jalatugede kohal ja põlvede siseosadega mootorratta detaile sellest ülalpool. Vedrustus ja amortisaatorid kompenseerivad rajapinna ebatasasusi mootorratta suhtes, jalatugedel seisva sõitja jalad toimivad sõiduvahendi suhtes sisuliselt samamoodi, hoides ülakeha võimalikult stabiilsena. Pehmema pinnasega rajal liigutakse mootorrattal tahapoole, et esiratas võimalikult vähem pinnasesse vajuks ja veeretakistus oleks minimaalne. Mida pehmema ja ebatasasema pinnasega on rada, seda väiksem on juhtimise osakaal mootorratta juhtraual.

Eesti keeles ei ole käesolevaks ajaks avaldatud motokrossi sõidutehnikat puudutavaid raamatuid, küll on aga noppeid leida ajakirjadest. Autori riulilt esimesena kättejuhtunud ajakirjastki võis leida nõuandeid USA motokrossikorüfeedelt nagu Jeff Heming ja Ryan Hughes. Omaaegsed tippsõitjad rõhutavad jalatugedega pidevat kontakti hoidma nii sirgetel liikudes ning kurvides ratta juhtimisel [6]. Töö teemaks ei ole aga sõidutehnika.

1.2 Turvavarustus

Motokrossis on ala ohtlikust arvestades kohustuslik kasutada turvavarustust. Kõige paremini on kaitstud sõitja jalad. Mootorrattur peab olema jalatugedega pidevas kontaktis, selle puudumine sõitja tahtest olenemata võib viia koheselt juhitavuse kaotuseni, tagajärjed kukkumiste ja traumadeni. Motokrossiringkondades on laialt levinud väljend, et õige krossisõitja tunneb raja äärest ära kipsis jala järgi.

Traumade vältimiseks kantakse spetsiaalseid paksu ja jäiga tallaga saapaid. Hüppeliigeste ja säärtede kaitsmiseks on saabaste vastavad osad tugevdatud. Erinevate liigenditega tagatakse põiaosa liikuvus. Krossisaapa valik tehakse reeglina sõitja jala anatoomilistest aspektidest lähtudes, kuid lisaks turvalisusele peab ennast tundma jalanõusid kandes võimalikult mugavalt. Motokrossis on sisuliselt möödapääsmatu vajadus kasutada ka põlve- ja säärekaitsmeid. Odavamad ja lihtsamad mudelid leevendavad lööke põlvedele ja säärtel kukkumise korral ning kaitsevad rajal lendavate kivide eest. Kallimad tooted tagavad lisaks igakülgse kaitse põlveliigestele. Enamus krossisõitjaid on tänapäeval teinud oma valiku kallimate ja turvalistemate mudelite kasuks.

Samas ei pruugi sõitjaile mugavad saapad sobida jalatugede ehituse ja nende asendiga mootorratta raami suhtes. See kehtib ka osade põlvekaitsmete mudelite kohta.

1.3 Krossimootorratas

Motokrossis kasutatakse spetsiaalselt selleks spordialaks toodetud mootorrattaid, mille ehitus erineb tänavasõiduratastest olulisel määral. Erinev on raami ehitus, vedrustus, mootori väände ja võimsusenäitajad, käigukasti ja jõuülekanne arvud. Ratta keskseks koostedetailiks on raam. Kõikide ülejäänud detailide (mootori, jõuülekanne, vedrustuse) ehitus ja kinnitused on raamist sõltuvad. Selle tõttu ei ole raami geomeetria omaalgatuslikult muudetav, modifitseerimine võib põhjustada mootorratta juhitavuse olulist halvenemist ning viia selle purunemiseni. Kõikide koostedetailide ehituses on lähtutud kasutustingimuste ekstreemustest ja mootorratta erinevatele osadele mõjuvatest jõududest. Seetõttu on krossimootorrattad projekteeritud võimalikult lihtsateks, midagi üleliigset ei ole.

Töö autor on valinud teemat läbivate uurimusküsimustele vastuste leidmiseks ja ülesannete lahendamiseks näitena Kawasaki Motors Corporation toodangu, 2013 mudeliaasta krossimootorrattad KX250F ja KX450F [7]. Mudelid erinevad põhimõtteliselt ainult mootori töömahu ja vedrustuse detailide poolest nagu ka kõik ülejäänud krossimootorrattaid valmistavate tehaste toodang.

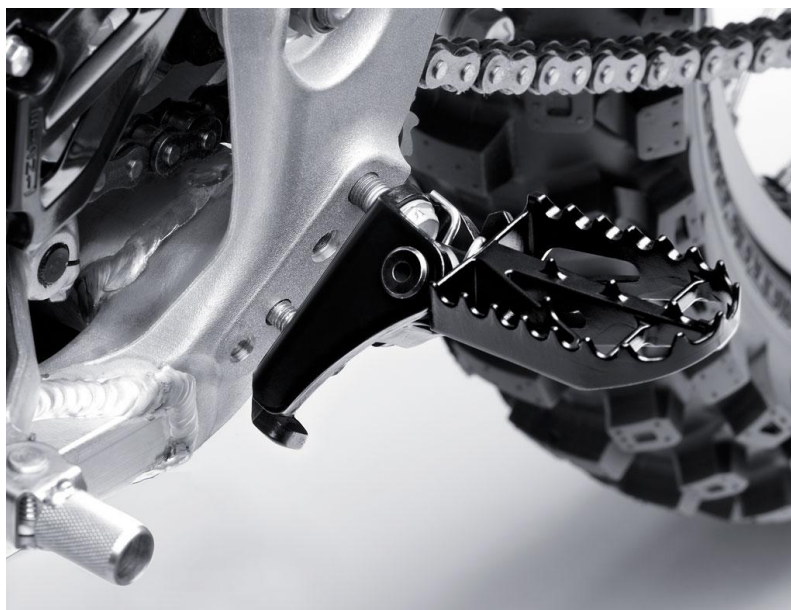


Joonis 1. Vaade Kawasaki KX450F mootorrattale [8]

1.4 Krossimootorratta jalatoed

Krossimootorratta jalatoed kinnituvad otse raamile, nende asukoht konkreetsetel mudelil on välja arvestatud mootorratta raskuskeskmest, kliirensist ja teiste detailide tehnilistest tingimustest. Tehasevarustuses krossimootorratta jalatoed on ühesugused ehituselt, mõõtudelt ja kinnitusklabrite sobivuse poolest tavaliselt mõne järjestikuse mudeliaasta jooksul. Seda ainult konkreetse rattamargi mudelite puhul. Erinevate krossimootorrataste tootjate originaaljalatoed ei ole omavahel asendatavad.

Nagu krossimootorrattas tervikuna, on ka jalatugede mõõtmed, kuju ning nende asukoht raamil sellised, et sobivad keskmist kasvu meesterahvale, kelle pikkus jääb vahemikku 170-180 cm. Tehaserataste vedrustus on 250 cm³ mootori töömahuga mootorratastel arvestatud keskmiselt 75 kg kaaluga sõitja jaoks. Suurema kubatuuriga, 450 cm³ krossirataste vedrustus on reeglina sobivaim umbes 85 kg kaaluga mootorratturile. Selliseid andmeid annavad krossimootorrataste tootjad oma mudelikirjeldusena viimased kümme aastat. Kuni 2013 aastani ei olnud krossimootorrataste jalatoed originaaosana reguleeritavad ei kõrguse ega kaldenurga suhtes. Möödunud aasta mudeliuuendusena pakuti Kawasaki KX450F mudelil võimalust jalatugede asendi langetamist 5 mm võrra, selleks on raamile listatud kaks poldiava (Joonis 2) [9]. Raami kaldenurkadest tingituna liikus jalatugede asend küll 5 mm allapoole, kuid samas ka 5 mm ettepoole ja 2 mm sissepoole. Selline lahendus ei sobi aga suuremat krossisaapa numbrit kandvale sõitjale, kuna muudab nii käiguvahetuse kui ka tagapiduri pedaali kasutamise ebamugavaks.



Joonis 2. Vaade KX450F jalatoele ja klambrile [9]

2. JALATUGEDE PROBLEEMIDE OLEMUS

Uurimuse koostaja jaoks sai lõputöö teema aktuaalsuse 2007 aasta motohooajal, kui autori pika kasvu tõttu hakkasid krossisõidul tekkima probleemid - asend mootorratal muutus ebakindlaks, kehas tekkisid pinged ning sõiduvahendit oli raske juhtida. Ka selleks ajaks keskmisest pisut raskema kehakaalu tõttu oli sõites hüpetelt maandudes mõnikord tunda valu jalgades. Autori krossisaapa suurusnumber oli tollel hetkel 46, ebamugavaks oli muutunud käikude vahetamine ja tagapiduripedaali kasutamine. Tihti tuli võistlussõidus ette olukordi, kus jalad ei püsinud enam jalatugedel. Tagantjärgi tarkusest võib järeldada, et mõned autorile osaks saanud traumad võisid olla jalagealuse kindla pinna kaotusest.

Varasematel aastatel olid lõputöö teemat läbivad probleemid autorile aktuaalsed eelõige isiklikust huvist. Tutvunud Eesti Mootorataaföderatsiooni ja Eesti Hobikrossiklubi 2013 aasta motokrossivõistluste stardiprotokollide ja tulemustega, selgus, et hekel on koduvabariigis umbes tuhat motosportlast, kes regulaarselt võistlevad erinevatel motokrossidel või võtavad siis osa erineva taseme ja suunitlusega maastikusõitudest [3], [4]. Lisaks on paljudel krossimootorrattad, kuid ametlikel võistlustel ei osaleta. Seetõttu andis bakalaureusetöö teema valik tõuke ka laiapõhjalisemaks uuringuks.

2.1 Vastukajad sõitjatele

Liitunud 2005 aastal ehk arvukaima kasutajaskonnaga motokrossi teemasid puudutava USA veebiportaaliga [5], püüdis töö koostaja alates 2007 aastast leida lahendust probleemile ja vastust tekkinud küsimustele. Arvamustest ja vastukajadest võis järeldada, et pikema kasvu ja suurema kehaehitusega sõitjatele pakuti probleemi võimaliku lahendusena standardsest kõrgema sadula kasutuselevõtmist ning kõrgema ja teise kujuga juhtraua soetamist. Paljud mainisid krossirataste tehasevarustuses olevate jalatugede ebamugavaid omadusi. Alternatiividena pakuti välja väga erinevaid jalatugede mudeleid, reeglina kinnitati, et mida laiem, seda parem. Autorile jäi kommentaaridest ja arvustustest mulje, et enamik pooldas isiklikult soetatud tooteid, millised olid välja valitud pigem detaili maksumust ja välist disaini arvestades.

Samal hooajal koduvabariigis toimunud motokrossivõistluste ajal ja ka treeningute käigus pöördus autor pikemate ja kogukamate kaasvõistlejate poole, saamaks vastust küsimustele jalatugede sobivuse ja puuduste kohta. Uurimustulemuste analüüsimisel selgus, et nagu ka enamik ülalmainitud veebiportaalide kasutajatest, käitusid ka Eesti motosportlased samalaadselt. Probleemide tekkimisel prooviti mugavamalt sõiduasendit leida eelkõige juhtraua asendi ja kõrguse muutmise teel. Osad sportlased olid asendanud juhtraua teise kujuga mudeliga, vähesel määral oli siis kas muudetud sadula kõrgust käepäraste vahenditega või soetati suurendatud istekõrgusega sadul. Reeglina jalatugesid välja ei vahetatud, tavaliselt olid need asendatud veebikataloogis „Allright“ saadaolevate mudelitega, ostu põhjendati soodsama hinna ja kättesaadavusega. Konkreetsemalt jalatugesid puudutavates küsimustes toodi välja järgmised peamised probleemid:

- haarduvuse oluline vähenemine ja vale kaldenurga tekkimine toetuspinna kulumisel;
- ebapiisav kontakt saapatalla ja tugevate toetuspinna vahel niisketes ilmastikutingimustes;
- jalatugede toetuspinna ebapiisavad mõõdnud tehaste originaaltoodangul ning ka varuosadena toodetavatel mudelitel;
- pikemakasvulistel sõitjatel tugevate madalamale reguleerimise võimaluse puudumine;
- jalatugede ebasobiv kaldenurk ja selle reguleerimisvõimaluse puudumine;
- niiske rajapinnase kogunemine jalatugede toetuspinnale ja selle ummistumine.

Lisaks mainiti mõningate krossisaabaste mudelite mittesobivust jalatugede ehitusega ja kirjeldati käiguvahetushoova kasutamisel tekkinud probleeme. Osade sõitjate jaoks oli raske leida hoova sellist asendit, milline võimaldaks mugavat käikude vahetamist. Ebapiisava haarduvuse ja ebapiisava toetuspinna suuruse üle kurtsid ka keskmise pikkuse ja kehaehitusega võistlejad. Enamik sõitjaid toonitasid, et kodusel turul oli jalatugede valik suhteliselt kasin.

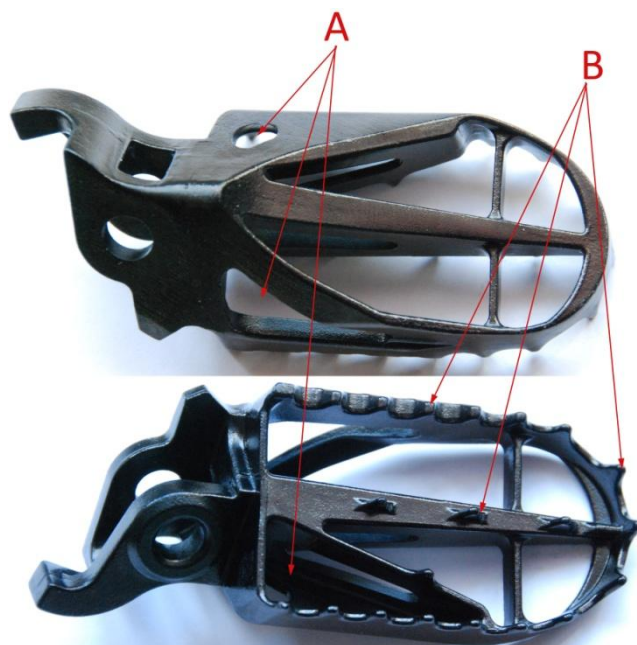
2.2 Tehasemudelite puudused

Nagu ka lõputöö eelnenud osas, tekib edasise uurimise käigus vajadus kasutada kirjakeeles mittelevinud väljendeid. Arusaadavuse selgituseks kasutatakse jalatugede mõõtmete märkimisel nende toetuspinna laiust ratta sõidusuunas laiuseks pikisuunas ja laiust ratta külgede suunas laiuseks külgsuunas. Jalatugede toetuspinnal haardumiseks vajalikke kolmnurkseid sisselõikeid nimetatakse teravikeks, asendamisvõimalusega tugevadel naastudeks.

Kawasaki 2013 aasta krossimootorratastel KX250F ja KX450F on tehasevarustuses roostevabast terasesulamist jalatoed, laiusega pikisuunas 50 mm, laiusega külgsuunas 80 mm, üks jalatugi kaalub 220 grammi. Toetuspind lõpeb külgsuunast ümara osaga, pinna haarduvuse tagavad 21 kolmnurkset

teravikku, ühtse osana jalatoest. Kawasaki rattamudelitel on samasuguste mõõtudega ja konstruktiooniga detailid alates 2007 aasta väljalasetest, ka varasematel mudelitel olid need põhimõtteliselt analoogsed. Originaalosadena on praktiliselt kõikide tehaste krossimootorataste jalatoed sarnased – terasest, ühesuguste mõõtude ja kujuga, krossisaapa haarduvuse tagavad kolmnurksed teravikud toetuspinnal. Ühegi tootja rattal olevad originaaljalatoed ei ole reguleeritavad, seega ei rahulda selliste mõõtude ja ehitusega detailid nõudlikumat kasutajat, eriti suurema kehaehitusega sõitjaid.

Kawasaki KX250F ja 450F jalatugi pakub toetuspinda 50X80 mm, sellest 60 mm külgsuunas on toed sirgete servadega ja 20 mm ulatuses lõpeb tugi ümara otsaga (Joonis 3). Ilmselt rahuldab toetuspinna suurus keskmise kehakaaluga sõitjat, aga raskem võisteleja vajaks kindlasti rohkem toetuspinda. Nagu enamik krossirataste jalatugesid, on ka Kawasaki mudeli suhteliselt kinnise ehitusega. Raamipoolses osas on jalatoel allosas tugevdused, kuhu koguneb rajapinnast ja väiksemaid kive, jalatugi ummistub ning väheneb haardumine (Joonisel 3 tähistatud A). Toetuspinnal asuvad teravikud (Joonisel 3 tähistatud B) kuluvad ning selle taastamiseks teritatakse neid uuesti, mille tagajärjel muutub konstruktioon üha õhemaks. Lõpuks võib konstruktioon murduda. Väljapääsuks on ainult jalatugede asendamine. Praktiliselt samasuguse ehitusega on Honda krossirataste jalatoed, Suzuki ja Yamaha tootjate mudelitel on ummistumise suhtes parem konstruktioon. Kuluvad nad kõik aga ühtemoodi.



Joonis 3. Vaade Kawasaki Kx450F jalatoele. Autori erakogu

3. ALTERNATIIVID JÄRELTURUL

Varuosadena toodavaid jalatugesid paljud erinevad välismaised järelturule suunatud firmad, enamusest asuvad USA-s. Ükski selline ettevõtte ei valmista muidugi ainult jalatugesid, vaid tavaliselt kõiki metallist detaile, mida mootorratastel saab originaalosadega asendada. Kuigi tehasevarustuses on jalatoed roostevaba terase sulamist, siis sellest materjalist valmistatakse neid varuosana suhteliselt vähe. Kõik terasest valmistatud jalatoed toodetakse valumeetodil ning kopeeritakse võimalikult täpselt originaaltoodangut. Enamik järelturu mudelitest on valmistatud erinevatest alumiiniumsulamitest ja toodetud arvjuhtimisega freespinkides. Kõige vähem pakutakse titaansulamist jalatugesid.

Autor koostas uurimustöö käigus võrdlustabelid erinevate järelturu varuosade tootjate poolt valmistatud jalatugede mudelitega. Lähtuti kõigepealt eeldusest, et nende toetuspinna mõõtmed peaksid olema suuremad kui originaalosadel, edasi püüti leida reguleeritava kõrguse ja kaldenurgaga mudeleid. Kolmandaks kriteeriumiks oli toetuspinna haarduvust tagavate naastude asendamise võimalus, samuti lisati loetelule toote keskmine hind. Detailide kohta informatsiooni hankimiseks külastati kõigepealt tootjate kodulehekülgi, mille tulemus mõningal määral töö autorit üllatas. Nimelt ei olnud paljudel juhtudel tootja kodulehel detaili kohta praktiliselt mingisugust informatsiooni, peale hinna ja sobivuse mootorattale margile ja mudelile. Mõne tootja veebilehel võis sageli ainult jalatoe pildi järgi aimata, millisest materjalist on see valmistatud. Erinevate veebipoodide kodulehekülgedel oli tihti tunduvalt rohkem informatsiooni. Täielikke andmeid ei olnud mitte ühegi tootja kodulehel. Kuna töö koostaja eesmärk oli piiritletud võimalikult täpselt, ei olnud mõttekas kasutada võrdluses ebapiisavaid mudelikirjeldusi. Selgus, et paljude toodete puhul jäi konkreetne valmistaja tuvastamata, tegemist oli sama detailiga, ainult teise tootenimetusega. Sellise järelturu toodangu kohta saadav informatsioon oli puudulik, viidati tavaliselt ainult suuremale laiusele pikisuunas (keskmiselt 57 mm), autor eeldas, et külgsuunas olid mõõdud originaalilähedased (80 mm). Eeltoodust lähtudes lisas töö koostaja võrdlusesse ainult need järelturul pakutavad mudelid, mille kohta oli saadav kogu informatsioon nii materjali nimetuse, tehniliste mõõtude väärtuste ja teiste oluliste andmetega.

3.1 Alumiiniumisulamitest mudelid

Kõige rohkem müüakse järelturul alumiiniumist jalatugesid ning kõik mudelid on valmistatud arvjuhtimisega freespinkides. Töö eesmärkides näidatud tingimustele vastas nendest kuus mudelit, millised lisati tabelisse (Tabel 1). Tooted asetsevad tabelis suvalises järjekorras, võrdluse eesmärgiks ei olnud pingerea koostamine.

Tabel 1

Alumiiniumisulamitest jalatoemudelite põhiandmed

Tootja	Materjal	Laius pikisuunas, mm	Naastude tüüp	Hind, €
Mudel	Tehnoloogia	Laius külgsuunas mm	Naastude arv jalatoel	
	Ühe jalatoe mass, g	Reguleerimisala	Asendusvõimalus	
Talon	alumiinium 2014	57	terasnaast	98
X8	CNC töötlus	86	10	
	170	ei	universaalne	
Torc1 Racing	alumiinium 6061-T6	57	terasnaast	65
Torc1	CNC töödeldud	80	16	
	180	ei	originaal	
Promoto Billet	alumiinium 7075-T6	56	terasnaast	145
Fastway EVO	CNC töötlus	81	12	
Air	180	kahes suunas	universaalne	
Scar	alumiinium 7075-T6	57	terasnaast	110
Evolution	CNC töötlus	90	18	
	130	ei	ei	
Warp 9	alumiinium 6065-T6	57	terasnaast	73
T6	CNC töötlus	75	17	
	170	ei	universaalne	
Kite	alumiinium	62	terasplatvorm	138
Ultra	CNC töötlus	87	17	
	170	ei	originaaliga	

Toodete võrdlusel selgus, et peale ühe (Kite Ultra) oli mudelikirjeldustes äranäidatud ka konkreetne alumiiniumisulami margitähis. Jalatugede toetuspinna laius oli reeglina 57 mm nagu enamikul järelturul saadaolevatel mudelitel, laius külgsuunas jäi vahemikku 80-90 mm. Toetuspind oli alumiiniumist mudelitel erineva kujuga, esines nii klassikalise, külgsuunast otsast ümara kujuga jalatugesid kui ka erinevaid nelinurkseid mudeleid. Võrdluses toodud toodete kaal jäi vahemikku 130-180 grammi. Ühegi tootja detailikirjeldusest ei olnud võimalik välja lugeda, kas toetuspinna

naastude kaal oli arvestatud sellesse väärtusesse. Materjali omaduste tõttu kasutati kõikide mudelite toetuspinna terasest naastusid, pooltel juhtudel olid need asendatavad laialdaselt kaubandusvõrgus saadaolevate sisekuuskantpesaga seadekruvidega M5 (ISO 4026)[29]. Varuosana pakutavad samasugused kruvid olid veebipoodides küllaltki kallid. Pisut vähem oli selliseid mudeleid, mille naastude kuju oli tootjapoolse viimistlusega. Nende täpsemaid andmeid tootjad ei märkinud, illustreerivate fotode järgi võis järeldada, et kinnituskruvi mõõduks võiks olla M4. Kõige väiksemal määral oli selliseid lahendusi, kus tootja oli märkinud, et naastud on toetuspinna kinnitamiseks sisse pressitud. Üksikutel juhtudel oli ka selliseid mudeleid, mille toetuspinna teravikud olid tervikuna vahetavad varuosana, valmistatud terasest ja kinnitatud kruvidega. Toetuspinna naastude arv kõikus mudelite lõikes kümnest kuni 18-ni, naastude kõrguse muutmise võimalus toetuspinna oli ainult nendel mudelitel, millel kasutati M5 seadekruvi lahendust. Jalatugede kõrguse ja kaldenurga reguleerimist võimaldas ainult ühe tootja (Promoto Billet) mudel. Ka tabelisse mittelisatud mudelite puhul olid võrdluses näidatud suhtarvud praktiliselt samasugused.

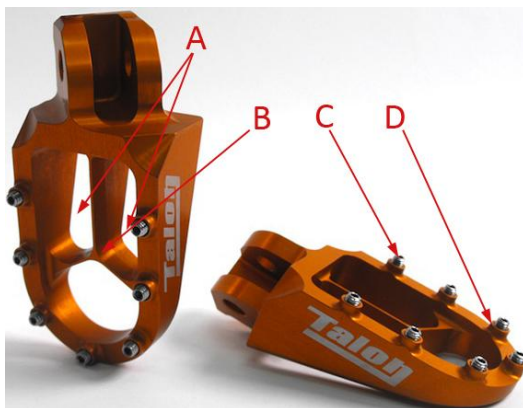
3.2 Alumiiniumisulamitest mudelite analüüs

Analüüsides veebilehtedel asuvaid kommentaare, leidis autor, et eriti laideti sellised mudeleid, millele oli haarduvuse tagamiseks vajalikud terasnaastud toetuspinna sisse pressitud. Paljude kasutajate väiteil tulid naastud suhteliselt kiiresti pesadest välja ja analoogselt neid enam asendada ei olnud võimalik. Samuti said madala hinnangu sellised mudeled, mille vahetatavate naastude läbimõõt oli väksem kui 5 mm, naastud murdusid pesadesse või põrusid sealt lahti sõidu käigus. Torc1 mudeli puhul oli mitmel korral märgitud, et jalatoed murdusid paari sõidu järel. Kuna arvamuste avaldajad olid kõik anonüümsed, siis põhjalikke järeldusi nendest teha ei saanud, sest samas oli ka kiitvaid hinnanguid. Kõige enam oli aga positiivseid vastukajasid Promoto Billet mudelile Fastway Evo Air, kuna pakkus piisavat toetuspinna ja on reguleeritav nii kõrguse kui ka kaldenurga suhtes.

Tabelis näidatud andmeid ja veebilehtedele lisatud fotosid analüüsides lisas autor omapoolse hinnangu mudelitele (Tabel 1).

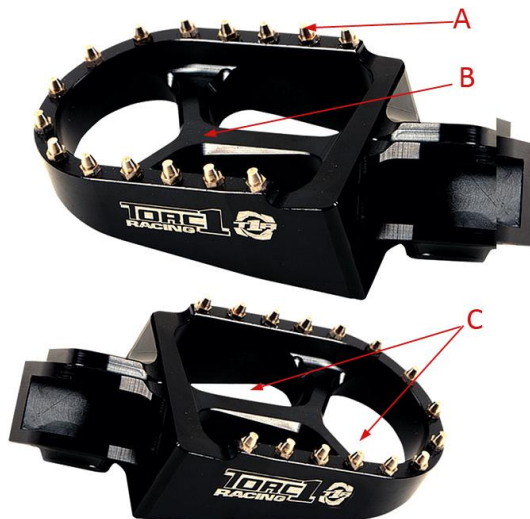
Talon X8 mudel on pisut teistest laiem külgsuunas ja pakub suuremat toetuspinna ja on küllaltki tugeva konstruktsiooniga (Joonis 4). Autori arvates on mudeli puuduseks liiga väike (seitse) naastude arv (Joonisel 4 tähistatud C) ning naastude kinnituspesade kõrgem serv (Joonisel 4 tähistatud D), milline naastu kulumise järel võib murduda. Lisaks ei ole mudelil naastusid toetuspinna keskel, milline ei võimalda kindlasti piisavat haardumist saapatallaga (Joonisel 4 tähistatud B). Naastud on saadaval ostuosana ka kaubandusvõrgust. Mudeli puuduseks pidas töö

koostaja ka keskosa ehitust, kuhu väikeste avade tõttu võib pinnase ja kivide sattumisel ummistus tekkida (Joonisel 4 märgitud A). Mudel ei ole reguleeritav.



Joonis 4. Vaade Talon X8 mudelile [10]

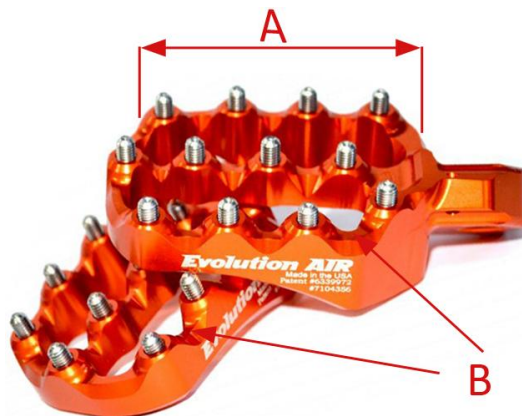
Torc1 Racingu mudelil on 16 terasest naastu, millede läbimõõt on arvatavalt 4 mm (Joonisel 5 märgitud A). Kasutajate hinnangul purunesid naastud kiiresti, ka autori arvates on see mudeli suurimaks puuduseks, naastud on saadaval originaal varuosana. Puuduseks peab töö koostaja mudeli keskosas asuvate naastude puudumist (Joonisel 5 märgitud B) ja avade pinnasega ummistumise ohtu (Joonisel 5 märgitud C). Mudel ei ole reguleeritav.



Joonis 5. Vaade Torc1 Racing mudelile [11]

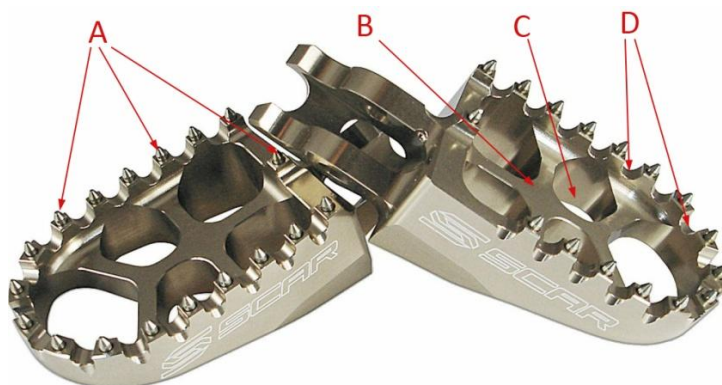
Promoto Billet mudel Evo Air on autori arvates parim järelturul saadaolevatest mudelitest. Mudelil on võimalik reguleerida kaldenurkakinnitusaasa all asuva reguleerimispoli abil. Toe kõrgust raami kinnituse suhtes on võimalik reguleerida ümberpööratava puksi abil allapoole 10 mm. Selle tulemusena liigub jalatugi ka tahasuunas 10 mm. Mõningaseks puuduseks peab autor mudeli laiust külgsuuna äärtel (Joonisel 6 tähistatud A). Vaatamata 81 mm laiusele külgsuunas pakub see

tagaservas tuge ovaalse ehituse tõttu ainult 60 mm, nagu ka kõik originaalmudelid. Teise puudusena nimetab autor toetuspinna erineva kõrgusega ala naastude vahel, milline võib nõrgestada konstruktsiooni (Joonisel 6 tähistatud B). Naastude arv on haardumise tagamiseks piisav ja saadaval kaubandusvõrgus ostuosana.



Joonis 6. Vaade Fastway Evo Air mudelile [12]

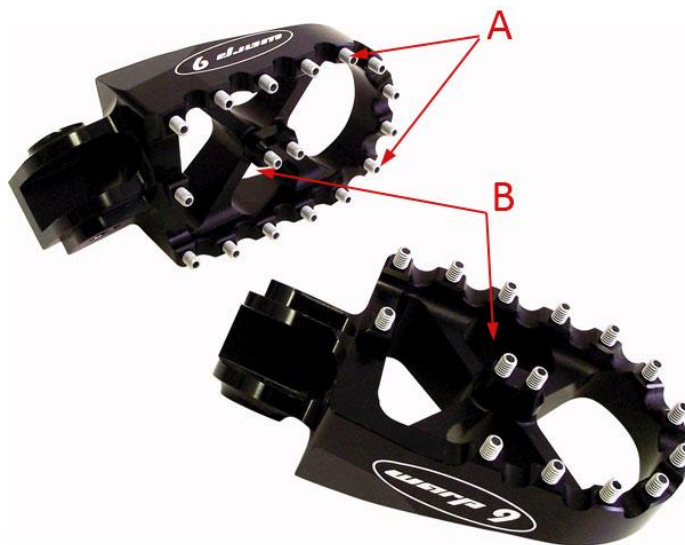
Scar Evolution mudel on võrreldavatest kõige laiema külgsuunalise toetuspinna ja autori hinnangul üks kõige tugevama ehitusega alumiiniumist jalatugesid (Joonis 7). Samas puudub sellel keskel kolmas rida naastusid (Joonisel 7 tähistatud B) ja keskmise osa ehitus, kuhu väikeste avade tõttu võib pinnasematerjali kogunemisest ummistus tekkida (Joonisel 7 tähistatud C). Scar mudeli puhul peab autor puuduseks väikse läbimõõtudega naastude kinnitamist pressimise meetodil (Joonisel 7 tähistatud A) naastude suurem arv ei taga veel haardumist, need kuluvad kiiresti ja võivad murduda koos pesadega (Joonisel 7 tähistatud D), ei ole asendatavad. Mudel ei ole reguleeritav.



Joonis 7. Vaade Scar Evolution mudelile [13]

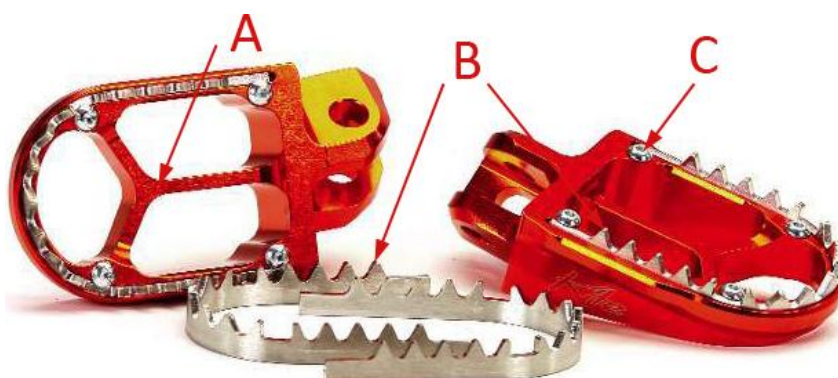
Warp 9 T6 mudel sarnaneb mitmete ülalpool kirjeldatud mudelitega, konstruktsioon jätab tugeva mulje, 5mm läbimõõduga terasnaastud on saadaval ka ostuosana kaubandusvõrgus. Autori

seisukohalt on mudeli äärtesse paigaldatud naastusid liiga tihedalt (Joonisel 8 tähistatud A). Nende suur arv ei taga paremat haardumist. Samuti on jalatoel keskosas selline konstruktsioon, kuhu võib koguneda rajapinnast ja tekkida ummistus (Joonisel 8 tähistatud B), mudel ei ole reguleeritav.



Joonis 8. Vaade Warp 9 T6 mudelile [14]

Kite Ultra mudel erineb ülejäänutest toetuspinna olevate naastude ehituse tõttu (Joonis 9). Itaalia toodangu eripäraks on toetuspinna haardumise tagamine vahetatava terasest platvormiga, milline on kinnitatud poltidega. Autori arvates on mudeli puuduseks vahetatavus ainult originaalosaga, ka osalise kulumise korral (Joonisel 9 tähistatud B). Samuti võib üksiku poldi purunemine või lahtipõrumine murda lahti kogu platvormi (Joonisel 9 tähistatud C). Autor peab puuduseks ka keskel asuva haardepinna puudumist (Joonisel 9 tähistatud A). Mudel ei ole reguleeritav.



Joonis 9. Vaade Kite Ultra mudelile [15]

3.3 Terasesulamitest mudelid

Terasest valmistatud jalatugesid pakutakse järeturul üle kahe korra vähem kui alumiiniumisulamitest tooteid. Analüüsides nende tehnilisi kirjeldusi ja fotosid, jõudis autor järeldusele, et suur osa neist on valminud originaaltoodete kopeerimise tulemusena. Uurimuse tingimustele vastas neli mudelit, (Tabel 2). Selgituse mõttes lisati sellesse loetelusse ka originaaldetail.

Tabel 2

Terasesulamitest jalatoemudelite põhiandmed

Tootja	Materjal	Laius pikisuunas mm	Naastude tüüp	Hind, €
Mudel	Tehnoloogia	Laius külgsuunas mm	Naastude arv jalatoel	
	Ühe jalatoe mass g	Reguleerimisala	Asendusvõimalus	
Kawasaki	roostevaba teras	50	teravikud	55
Originaalosa	valuvorm	80	21	
	220	ei	ei	
IMS	roostevaba teras	57	teravikud	70
BigFoot	valuvorm	86	21	
	220	ei	ei	
Pro Taper	roostevaba teras	57	platvorm Al 7075	186
S.P.I. 2.3	valuvorm	88	34-54	
	240-290	ei	originaal	
IMS	roostevaba teras 17-4	50	teravikud	53
Super Stock	valuvorm	75	27	
	220	ei	ei	
Moose Racing	roostevaba teras	57	teravikud	73
Hybrid	valuvorm	90	33	
	370	ei	ei	

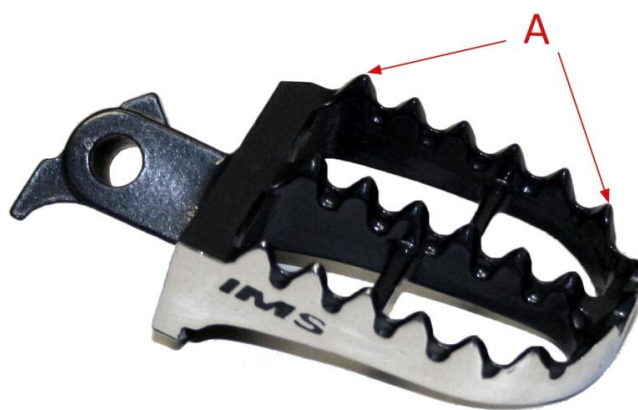
Terasesulamitest jalatugede kohta märgiti, et need olid valmistatud valumeetodil, konstruktsioon oli sarnane originaaltoodetele. Ühel juhul oli märgitud ära sulami margitähis. Toetuspinna laius pikisuunas oli praktiliselt kõigil mudelitel 57 mm, külgsuunas 75-90 mm, kaal jäi vahemikku 220-370 grammi. Jalatugede toetuspinnaal asuvad naastud moodustasid detailiga ühtse terviku, nende arv jäi vahemikku 21-33. Naastud olid kolmnurkse kujuga, tipust teravad. Pro Taper mudelil oli

alumiiniumist eraldi vahetatav platvorm kogu toetuspinna. Seda oli varuosana saadaval kolmes erinevas paksuses 5 mm sammuga, mille naastude arv jäi 34 ja 54 vahele.

3.4 Terasesulamitest mudelite analüüs

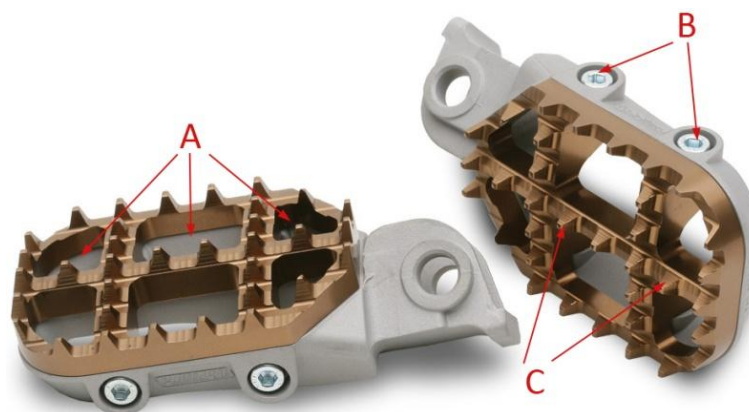
Võrdlusesse lisatud terasesulamitest valmistatud jalatugede kohta jagunesid veebilehtedel ilmunud arvamused kaheks – osad pooldasid odava hinna tõttu, teised pidasid mudeleid vanamoodsateks eelkõige selle tõttu, et haardumispinna kulumisel peab lõpuks jalatoed välja vahetama.

IMS BigFoot mudel pakub autori arvates oma mõõtude tõttu piisavalt toetuspinda (Joonis 10) ja ainsaks põhiliseks puuduseks olngi haarepinna teravike kulumine ning sellest tingituna lühike kasutusaeg, eriti raskema kehakaaluga sõitjatel (Joonisel 10 tähistusega A) Mudel erineb teistest oma tugevama ehituse ja silmatorkavam disaini poolest. Reguleerimisvõimalus puudub.



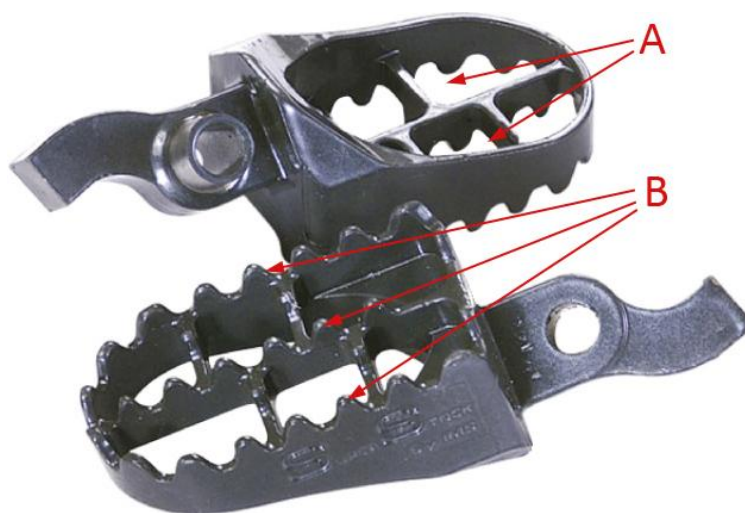
Joonis 10. Vaade IMS BigFoot mudelile [16]

Pro Taper mudel S.P.I 2.3 erineb kõigist ülejäänutest jalatugedest oma üldise ehituse poolest. Kinnitusosa ja kandepind on valmistatud terasest ja toetuspind alumiiniumist platvormina, milline kinnitub nelja poldi abil (Joonis 11). Platvorm on varuosana saadaval kolmes eri kõrguses 5 mm vahega. Autori arvates võib sobida mingil määral raskema kehakaaluga sõitjale toetuspinna suuruse poolest, samas kuluvad alumiiniumist platvormi teravikud kiiresti. Autor peab mudeli puuduseks keerukat toetuspinda (Joonisel 11 tähistusega C), milline kiiresti märja rajapinnasega ummistub. Ka on haardepinna teravike arv liialt suureks paisutatud (Joonisel 11 tähistusega A), see ei pruugi tagada paremat haardumist. Jalatoe külgedel asuvad platvormi kinnituspoldid võivad lahti pöruda ja selle tulemusena platvorm murduda (Joonisel 11 tähistatud B). Varuosana saadavad platvormid moodustavad küllaltki kallite mudelite hinnast kolmandiku. Reguleerimisvõimalus platvormi vahetamisega.



Joonis 11. Vaade Pro Taper S.P:I 2.3 mudelile [17]

IMS Super Stock jalatoe mudel pälvis kommentaarides hävitava hinnangu. Väideti väga ebakvaliteetset ehitust, seetõttu raske paigaldada, lisaks nõrga konstruktsiooniga (Joonis 12). Autori arvates kesosas asuvad avad (Joonisel 12 tähistusega A) ummistuvad märja rajapinnasega kiiresti. Toetuspinnal olevaid teravikke arvatavalt kulumise korral teritada ei saa, kuna konstruktsioon õhuke (Joonisel 12 tähistusega B). Reguleerimisvõimalus puudub.



Joonis 12. Vaade IMS Super Stock jalatoemudelile [18]

Moose Racing Hybrid mudel erineb klassikalisest terasest jalatoest oma kindlasti tugevama konstruktsiooni poolest, tänu millele üks kõige raskemaid mudeleid. Kõige suurema toetuspinnaga terasest mudelite hulgas. Autori arvates tänu oma ehitusele ummistub kiiresti, haarduvust tagama peavaid teravikke asub liiga tihedalt ja kulumise korral nende teritamine on keeruline. Mudelil ei ole reguleerimisvõimalust.



Joonis 13. Vaade Moose Racing Hybrid mudelile [19]

3.5 Titaanisulamitest mudelid

Titaanisulamist valmistatud jalatugesid leiti vastaval uurimuse tingimustele ainult kaks mudelit (tabel 3), kusjuures odavamal Lightspeed tootel oli titaanist ainult toetuspind. Nimetatud materjalist pakutavate jalatugede vähest valikut võib ilmselt põhjenda titaani oluliselt kõrgema hinnaga.

Tabel 3

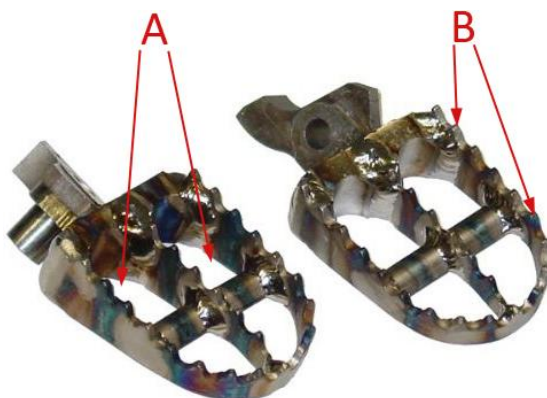
Titaanisulamitest jalatoemudelite põhiandmed

Tootja	Materjal	Laius pikisuunas mm	Naastude tüüp	Hind, €
Mudel	Tehnoloogia	Laius külgsuunas mm	Naastude arv jalatoel	
	Ühe jalatoe mass g	Reguleerimisala	Asendusvõimalus	
Lightspeed	titaan	57	teravikud	170
Titanium	laserlõige, keevisliide	80	24	
	170	ei	ei	
Raptor	titaan 6Al-4V	57	teravikud	257
Titanium Xtreme	laserlõige, keevisliide	90	23	
	160	ei	ei	

Titaanist jalatoemudelite valmistamise tehnoloogiaks oli märgitud laserlõiketöötlus, ühendused TIG keevisliidetega. Raptori toote puhul oli näidatud sulami margitähis. Toetuspinna laiuks pikisuunas oli mõlemal mudelil 57 mm, laius külgsuunas oli ühel 80 mm ja teisel 90mm. Ühe tootja mudeli kaaluks oli 160 grammi, teine kaalus 170 grammi. Sarnaselt terasest toodetega moodustasid toetuspinna naastud detailiga terviku, kolmnurkse kujuga, tipust teravad. Naaste oli ühel mudelil 23, teisel 24. Reguleerimisvõimalusi ei pakutud kummagi mudeli puhul.

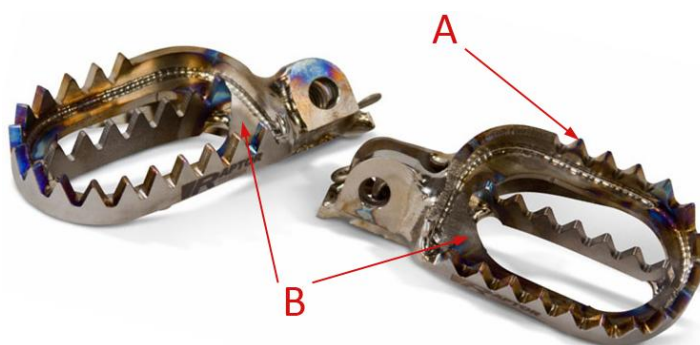
3.6 Titaanisulamitest mudelite analüüs

Lightspeed Titanium on kasutajate kommentaaride põhjal halva ehituskvaliteediga ega sobi tihti jalatoe tehasepoolsete kinnitusklaambrate mõõtudega. Ehituse tõttu võib lihtsasti rajapinnasega ummistuda (Joonisel 14 tähistusega A). Haardepinna kulumisel ei ole eriti võimalik teravikke teritada (Joonisel 14 tähistusega B), kuna konstruktsioon paljude kasutajate kogemuste põhjal muutub seetõttu oluliselt nõrgemaks. Mudelil ei ole reguleerimisvõimalust.



Joonis 14. Vaade Lightspeed Titanium jalatugedele [20]

Raptor Titanium Xtreme titaanist jalatoed on kasutusel paljude maailma tippsõitjate seas. Nad on kerged ja vastupidavad, kuid suurimaks puuduseks on kindlasti poole kõrgem hind ülejäänutega võrreldes. Mingil määral koguvad need mudelid niisket pinnast jalatoe servadele (Joonisel 15 tähistusega B) ja kuna jalatoed on suhteliselt õhukesed, siis korduv teritamine ei ole soovitatav (Joonis 15 tähistusega A). Mudel ei ole reguleeritav.



Joonis 15. Vaade Raptor Titanium Xtreme jalatugedele [21]

Lõputöö koostaja analüüsis võrdlustesse lisatud jalatugede omadusi ja tehnilisi andmeid uurimustöö eesmärkidega. Siinkirjutaja jõudis järeldusele, et käesoleval ajal ei pakuta varuosade järelturul selliseid jalatugede mudeleid, millised vastaksid nii töö koostaja kui ka paljude teiste motokrossiga tegelejate vajadustele.

4. SOBIVAIMA TOOTE ARENDUS

Lõputöö autor oli seadnud töö eesmärgiks arendada välja krossimootorata jalatoe mudel, milline ühendaks kõik uurimuses näidatud parimad tehnilised parameetrid ja omadused. Samas oli autoril soov vältida kõike negatiivset, mida leiti võrdluste käigus.

Enne toote arendamist püüdis lõputöö koostaja arvestada ka krossisaapa ehituse ja parameetritega, leidmaks sobivat lahendust. Enamus kohalikest krossisõitjatest kasutab Alpinestars, Gaerne, Sidi, Fox ja TCX toodangut. Kuna toote arendus oli suunatud suuremat kasvu sõitajatele, siis lähtus autor asjaolust, et nimetatud harrastajad kannavad ka keskmisest suurema numbriga saapaid. Ülaltoodud krossisaabaste tallamõõdusid võrrelnud, leidis autor, et 45-48 suurusnumbriga krossisaapa tallaosa pikkus jääb vahemikku 330-350 mm (joonisel 15 tähistusega A), talla päkaosa laiemast kohast vahemikku 120-125 mm (Joonisel 15 tähistusega B), kontsaosa laius vahemikku 85-90 mm (Joonisel 15 tähistusega E). Nimetatud väärtused jäid nendesse vahemikesse kõikidel ülaltoodud mudelitel. Kõige olulisem osa krossisaapa tallal on tallaosa kontsast päka suunas, sest selle osaga toetub krossisõitja jalatoele (Joonisel 15 tähistusega D). Optimaalne jalatoe laius pikisuunas oleks sõitja saapa suurust arvestades 60 mm. Nii kontsa kui ka talla laius sellel alal on 90 mm, seetõttu otsustas autor projekteerida jalatoe toetuspinna mõõdud nimetatud väärtustes. Sellisel juhul tagataks jalatugede tagasisuunas reguleerimise võimalusel õige piduripedaali puuteala (Joonisel 15 tähistusega C).



Joonis 16. Vaade Sidi Crossfire krossisaapa tallale [22]

Kõiki töös varemnimetatud aspekte arvestades seati tööülesandeks projekteeritava toote vastavus järgmistele tingimustele:

- parim sobivus keskmisest pikemat kasvu ja raskema kaaluga sõitjale, arvestades sealhulgas krossisaapa suurusnumbrit üle 45;
- reguleerimisvõimalus nii kõrguse kui ka kaldenurga suhtes;
- vahetatavad ja ostuosana kaubandusvõrgust kättesaadavad naastud toetuspinnal;
- võimalikult lihtne ehitus ja ja rajapinnasest tekkida võivate ummistuste vältimine;
- löökide ja deformatsiooni suhtes vastupidavus;
- toorikmaterjali kättesaadavus Eestis

4.1 Materjali valik

Jalatugede materjali valikul arvestati nii originaaltoodete kui ka järelturul saadavate mudelitega. Võrreldi titaani, roostevaba terase ja alumiiniumi omadusi (tabel 4) ja ka hinda [23]. Kuna töö autor otsustas toote valmistamiseks kasutada arvjuhtimisega freespink (CNC), siis lülitati nimekirjast välja terasesulamid ja titaan, viimane ka oma kõrge hinna tõttu, mis tuleneb laser lõiketööstusest.

Tabel 4

Materjalide võrdlustabel [24]

Materjal	Tähistus	Hind, €/kg	Voolavuspiir, MPa	E (GPa)	Masintöödeldavus	Tihedus (g/mm^3)
Titaan	Ti6Al4V	12,73	1000	114	Halb	4,42
Roostevaba teras	17-4	1,65	1379	28,5	Keskmine	7,8
Alumiinium	7075-T6	1,18	503	71,7	Hea	2,81

Kuna materjali töötlemise viis oli kõige olulisemaks faktoriks, siis valis autor toote materjaliks alumiiniumi, täpsemalt sulami margitähisega EN AW 7075-T6. Valikut põhjendas autor asjaoluga, et 7000 seeria alumiiniumsulamid, mille koostises on AlZnMgCu, omavad kõrgeimat staatilist jõudu alumiiniumi sulamitest.[25] Järelturul müüdavate alumiiniumsulamites jalatugede puhul oli pooltel juhtudel tegemist Al 7075-T6 margitähisega. Samasugusest sulamist valmistatakse enamik krossimootorratastel kasutatavatest juhtraudadest ja nende kinnitusdetailidest. Krossimootorrataste

alumiiniumsulamist ketirattad on praktiliselt kõikide tootjate poolt valmistatud 7075 T6 margitähisega metallist. Seetõttu on autoril alust arvata, et vastavad arvutused materjali sobivuse kohta on nende tootjate poolt varasemalt läbiviidud. Täpsemaid andmeid järelturul pakutavate jalatugede materjalide kohta ei ole avaldatud ning viiteid selliste uurimuste kohta ei leitud. Kontrolliti toote materjali saadavust Eesti turul, mille tulemusena selgus, et Al 7075 sulameid tarnivad mitmed ettevõtted, sealhulgas kogu Baltikumis harukontoreid omav LINOKSA [26].

4.2 Tugevusarvutused

Teostati valitud kauguste ja mõõtmatega tugevusarvutused, et omandada paremat arusaamist materjali ja detaili vahel. Eesmärgiks oli leida ohutustegur.

Paindejõud rakendatakse jalatoe kõige välimisele servale ühte punkti, mis asub 90 mm kaugusel toetuspunktist.

Arvutuskäik:

L - kaugus alates toetuspunktist kuni detaili vastasservani otsa poolt vaadatuna

$$L = 90\text{mm} = 0,9\text{m}$$

F - Jõud, mida rakendatakse; $F = 500\text{kg} = 4903\text{ N}$

Kuna materjaliks on valitud alumiinium 7075-T6 siis selle voolavuspiiriks on $R_{eH} = 470\text{ MPa}$

Leitakse telgvastupanumoment $W [\text{mm}^3]$ lähtuvalt valemist (1) [27],

$$W = \frac{w \cdot h^2}{6}, \quad (1)$$

kus $w [\text{mm}]$ - ristlõike laius

$h [\text{mm}]$ - ristlõike kõrgus

Maksimaalne paindemoment $M [\text{Nm}]$ (2) [28]:

$$M = F \times L, \quad (2)$$

kus $F [\text{N}]$ - paindejõud

$L [\text{m}]$ - jaotatud koormuse ulatus

Maksimaalse paindepinge valemist lähtudes (3) [29] leiame paindepinge $\delta p [\text{N/mm}^2]$

$$\delta p = \frac{M}{W} = \frac{M \times 10^3}{W}, \quad (3)$$

kus $M [\text{Nm}]$ - paindemoment

$W [\text{mm}^3]$ - telgvastupanumoment

$$M = 4903 \times 0,9 = 441\text{ Nm}$$

$$W = \frac{15^3}{6} = \frac{3375}{6} = 562,5\text{ mm}^3$$

$$\delta p = \frac{441}{562,5} = \frac{441 \times 10^3}{562,5} = 784\text{ N/mm}^2$$

Leitakse saadud tulemuste põhjal ohutustegur $\delta p [N/mm^2]$ ja materjali voolavuspiiri R_{eH} [Mpa] vahel, milleks on alumiinium 7075-T6 puhul 470 MPa

$$Ohutustegur = \frac{784}{470} = 1,7$$

Leiti, et antud detaili kohta jääb 1,7 kordne varu. Järelikult, materjal on piisav talumaks antud paindejõudu.

4.3 Sobivaima mudeli projekteerimine

Mudeli projekteerimisel lähtuti etteantud mõõtudest, laiusest pikisuunas 60 mm, laiusest külgsuunas 90 mm. Toote paksuseks kinnitustala poolsest otsast arvestati 30 mm ja külgsuunas välimisest otsast 15 mm. Valiku tegemisel peeti kinni ka saadaolevate toorikmaterjalide mõõtudest, alates 30 mm.

Jalatoe kandepind otsustati projekteerida sellisena, kus haarduvust tagavad naastud oleksid paigutatud detaili servadesse ja keskel asuvalle külgsuunalisele talale. Naastude mudeli valikul otsustati ostuosana saadava seadekrugi M5 kasuks (ISO 4026)[30]. Arvestati võimalust kasutada kahe erineva pikkusega naastusid – 10 mm ja 12 mm. Autori poolt läbiviidud katesetestide tulemusena selgus, et umbes 100 kg kehamassiga sõitja puhul on optimaalseks naastude arvuks 10-14 naastu toetuspinna suurusest lähtudes. Alla 10 naastu toetuspinna tungisid naastude teravikud liiga sügavale krossisaapa talla materjali, mille tõttu saapatalla keskosa kuluks suhteliselt kiiresti. Rohkem kui 14 naastu puhul jäi nende suurema kogupinna tõttu surve saapatallale nõrgaks. Sellest lähtudes valiti mudelile naastude arvuks 12. Konstruktsiooni tugevdamise eesmärgil ei projekteeritud naastude asukohti jalatoe toetuspinna talade ristumiskohtadesse.

Detaili sõidusuunas olev välimine nurk otsustati projekteerida tugevama ehitusega, kuna nimetatud osa puutub kukkumise käigus tavaliselt kokku raja pinnaga. Käiguvahetushoova ja piduripedaali mugavamaks kasutamiseks kujundati detaili sama osa ümarama kujuga.

Jalatoe kõrguse reguleerimiseks otsustati kasutada kinnitustalasse paigaldatava terasest puksi ümberkeeramise lahendust. Selle tulemusena saaks jalatugede asendit madalamaks muuta 10 mm väärtuses, samal ajal liiguksid detailid tagasisuunas samas suurusjärgus. Detailide kaldenurga muutmise võimaldamiseks projekteeriti kinnitustala alla reguleerimispolts M6 (ISO 4017) [31], millele 0,5 mm seibide lisamise või eemaldamise teel väärtusi muudetakse. Nii naastude kui ka reguleerimispoltsi kinnitamisel kasutatakse keskmise tugevusega keermeliimi.

Kindlustamaks paremat haardumist otsustati detaili toetuspinna tagasuunas asuval talal viia naastude kinnitused välisküljele. Nimetatud lahendus tagab jalatoega parema haarduvuse sõitja poolt mootorratta tagarattale raskusjõudu suurendades. Samuti kindlustab naastude parema kontakti niiskest rajapinnasest ummistunud krossisaapa talla asetamisel jalatoe tagaservale.

Niiskest rajapinnasest tekkida võivate toetuspinna ummistuste vältimiseks otsustati toetuspinna avad ehitada positiivsete mõõtutega. Jalatoe avad allosas projekteeriti $2,5^\circ$ võrra suurematena kui toetuspinna ülaosas. Selline lahendus peaks välistama ka väiksemate kivide avadesse kinnikiilumise võimaluse.

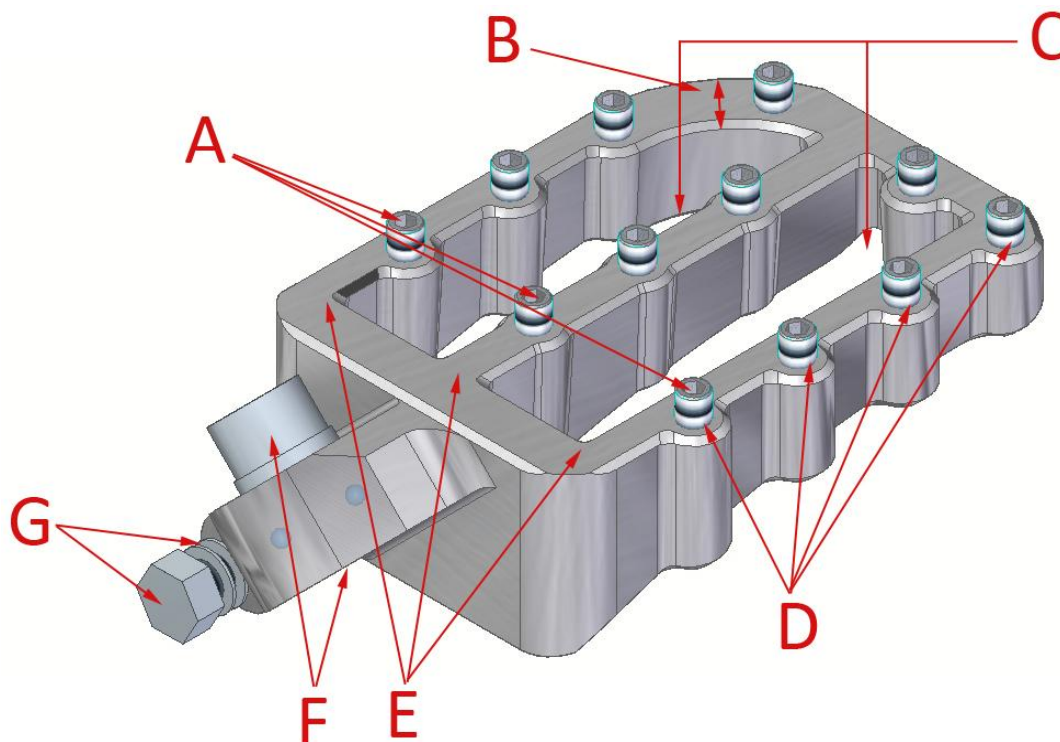
Autor lähtus toote arendamisel ja projekteerimisel tingimusest, et detail sobiks lisaks Kawasaki mudelitel kasutamiseks ka teiste tehaste krossimootorratastele. Viimaste aastate jooksul valmistatavate krossimootorrataste jalatugede kinnitustala asetub raamil olevasse kinnitusklambritesse 45° nurga all. Erinevus on markide lõikes ainult klambrisse kinnitustala lukustava poldi läbimõõdu väärtus kümnendikmillimeetrite võrra ja klambri sisemise mõõdu erinevus samas suurusjärgus. Jalatoe universaalsuse saavutamiseks on vajalik kinnitustalasse asetatava ümberpööratava puksi väljaulatuva osa ja sisemise läbimõõdu muutmine. Autori arvestuste kohaselt oleks võimalik projekteeritavat jalatuge kasutada ka Yamaha, Suzuki, Honda ja teiste krossi- ning enduromootorrataste mudelitel.

Nii projekteeritava detaili konstruktsiooni, tehniliste mõõtude kui ka materjali valiku puhul oli arvestatud, et detaili valmistamise tehnoloogiliseks seadmeks oleks CNC-pink [32].

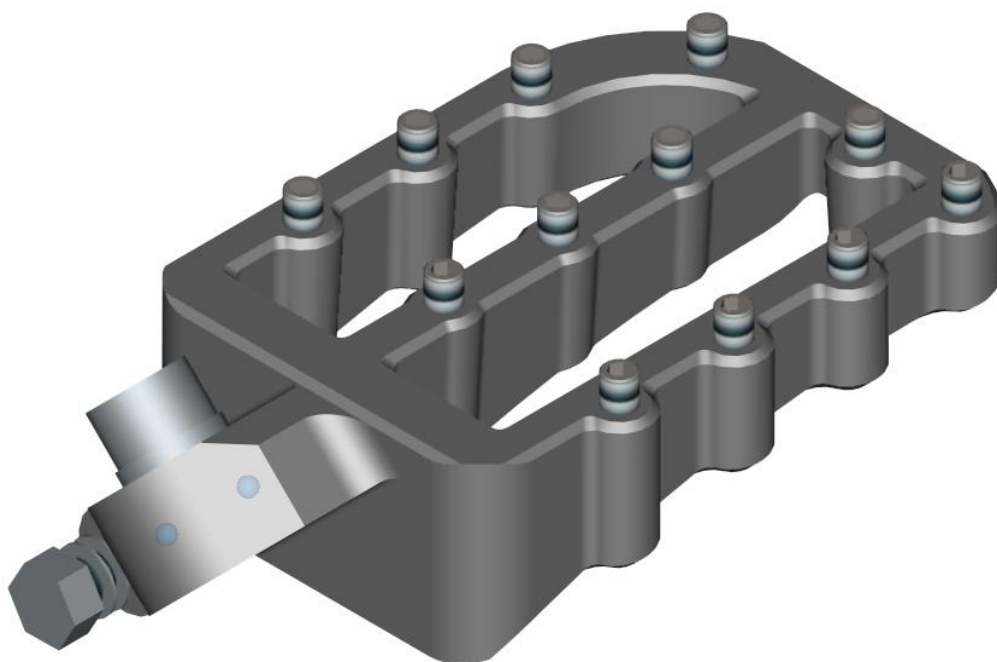
5. 3D MUDELI PROJEKTEERIMINE

Vastavalt ettenähtud kriteeriumitele projekteeriti toote 3D mudel, kasutades tarkvara Siemens Solid Edge ST6. Arendatud tootel on näidatud tähestikulises järjekorras autori jaoks olulised arendused uurimustulemuste ja võrdluste järel.

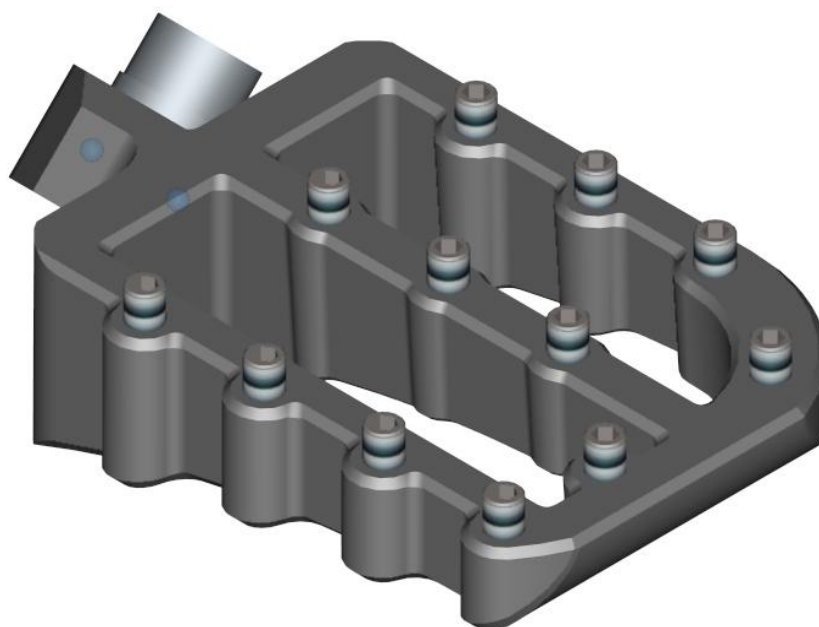
- A) ostuosana vahetatavad 5mm läbimõõduga naastud kahes pikkuses;
- B) tugevdatud välisnurk löökide ja deformatsiooni leevendamiseks;
- C) positiivsed ($2,5^\circ$) avad toetuspinnas rajapinnasest tingitud ummistuste vältimiseks;
- D) jalatoe sirge tagaosade detaili lõpuni (90 mm) toetuspinna paremaks saavutamiseks, naastude toomine välisküljele haardumise parandamiseks;
- E) naastudeta ala konstruktsiooni tugevdamiseks;
- F) ümberpööratav puks jalatoe kõrguse muutmiseks ja tagasisuunas nihutamiseks 10 mm võrra;
- G) seibidega reguleeritav polt jalatoe kaldenurga reguleerimiseks.



Joonis 19. Vaade jalatoe 3D mudelile



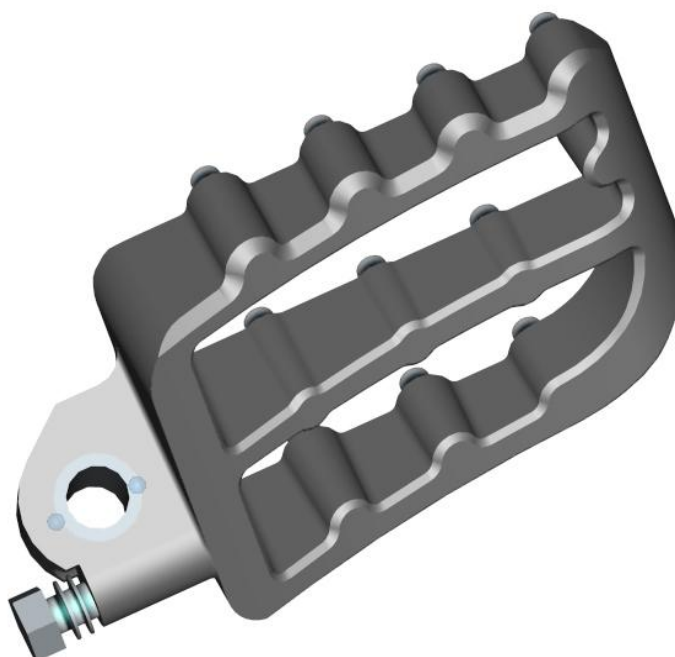
Joonis 20. Vaade jalatõe 3D mudelile



Joonis 21. Vaade jalatõe 3D mudelile



Joonis 22. Vaade jalatoe 3D mudelile

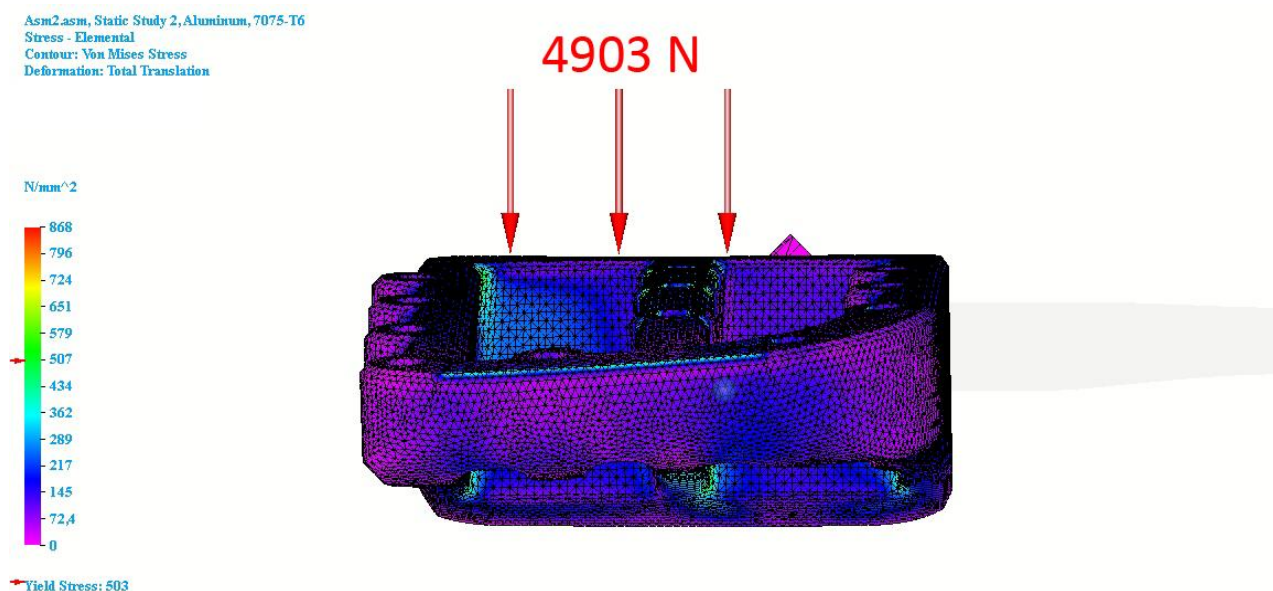


Joonis 23. Vaade jalatoe 3D mudelile

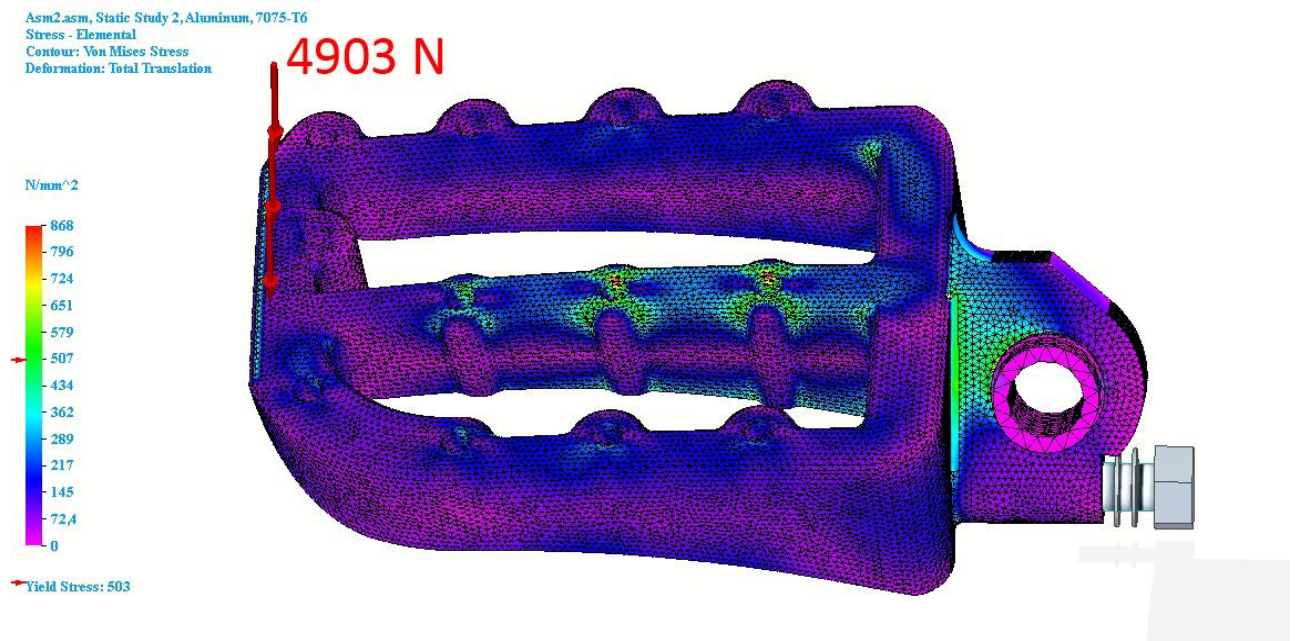
5.1 Koormustestid

Mudelit koormati Solid Edge ST6 rakendusega Static Study 2. Jalatoe välisservale kõige kaugemasse punkti kinnitustalast rakendati jõudu 4903N ehk 500 kg. Testide tulemusena ei täheldatud projekteeritud detaili erinevates osades koormuse kriitilise piiri ületamist, milline viiks selle purunemiseni.

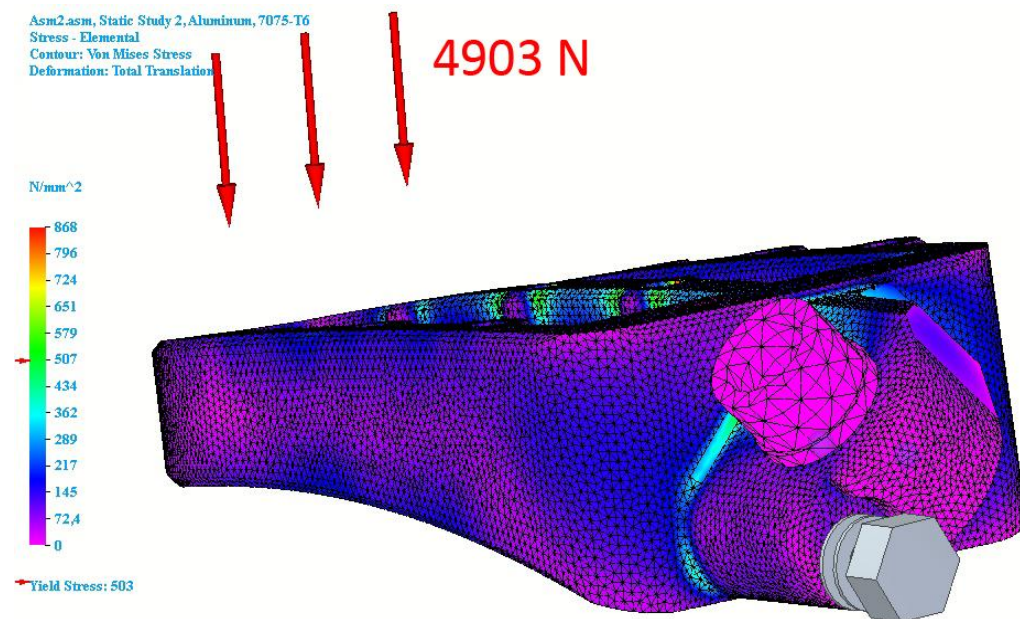
Nimetatud koormus ületab arvestuslikult motokrossi käigus 100 kg sõitja poolt rakendatud raskusjõu jalatugedele kümnekordselt, seda juhul kui sõitja asetseb mootorrattal jalatugedel seistes. Maksimaalselt rakendatakse jalatugedele raskusjõudu motokrossis hüpetelt maandumisel. Ka siis jääb jalatugedele rakenduv raskusjõud sõitja keha massist lähtudes kindlasti alla kahekordse väärtuse. Suuremat koormust ei peaks vastu krossimootorratturi füüsis, kokkupuute maapinnaga peavad leevendama vedrustus ja amortisaatorid. Testide põhjal järeldeb, et nõrgemaks kohaks jalatugede ehituses on selle kinnitustala ja toetuspinna vaheline ühenduskoht. Kuna kõikidel jalatoemudelitel asetseb samas ka jalatugesid algasendisse suunav vedru, siis selle punkti tugevdamine eeldaks teise konstruktsiooniga lahenduse kasutuselevõtmist. Sellisel juhul ei oleks aga detailide asendamine tehase poolt ettenähtud kinnitusklambritesse võimalik.



Joonis 24. Vaade koormustestile

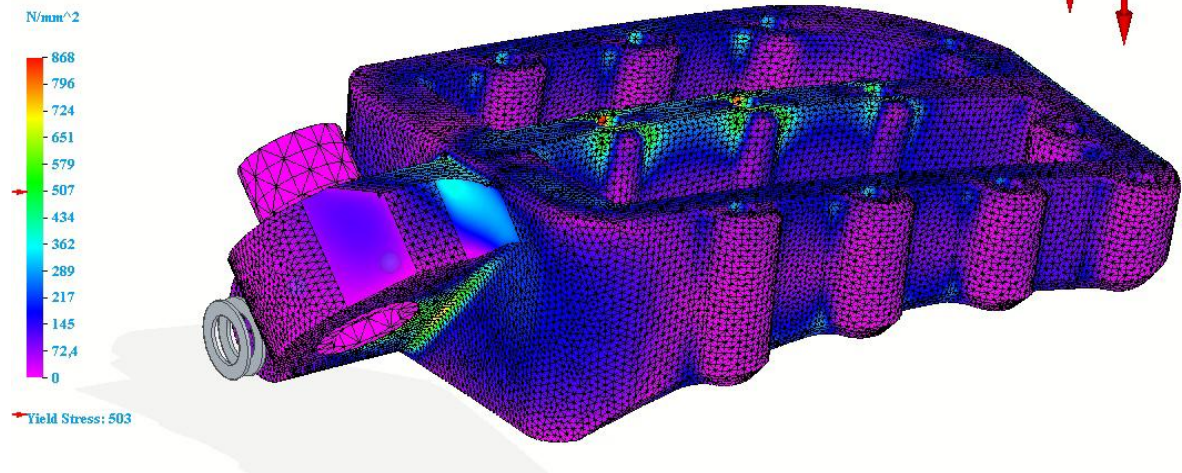


Joonis 25. Vaade koormustestile



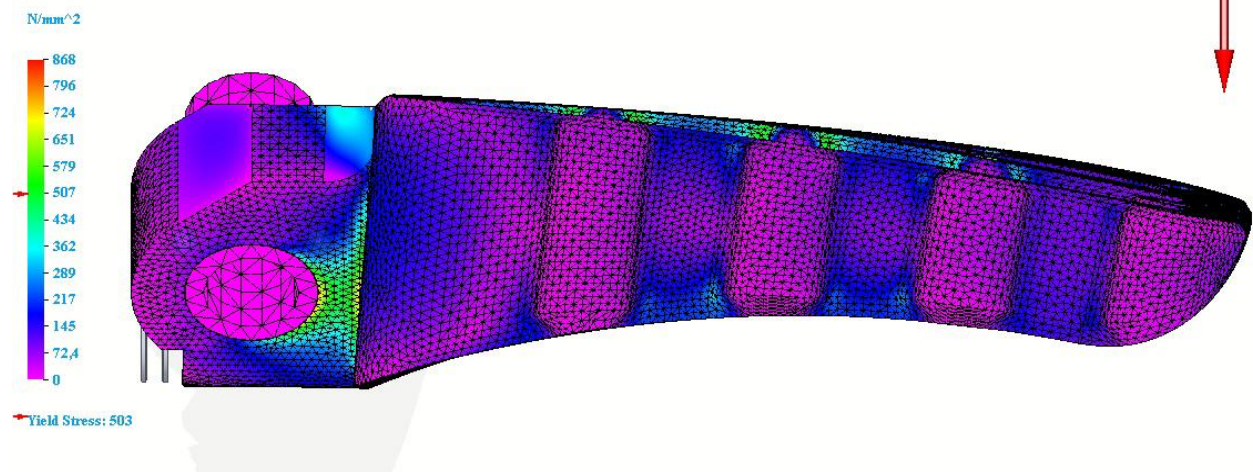
Joonis 26. Vaade koormustestile

Asm2.asm, Static Study 2, Aluminum, 7075-T6
 Stress - Elemental
 Contour: Von Mises Stress
 Deformation: Total Translation



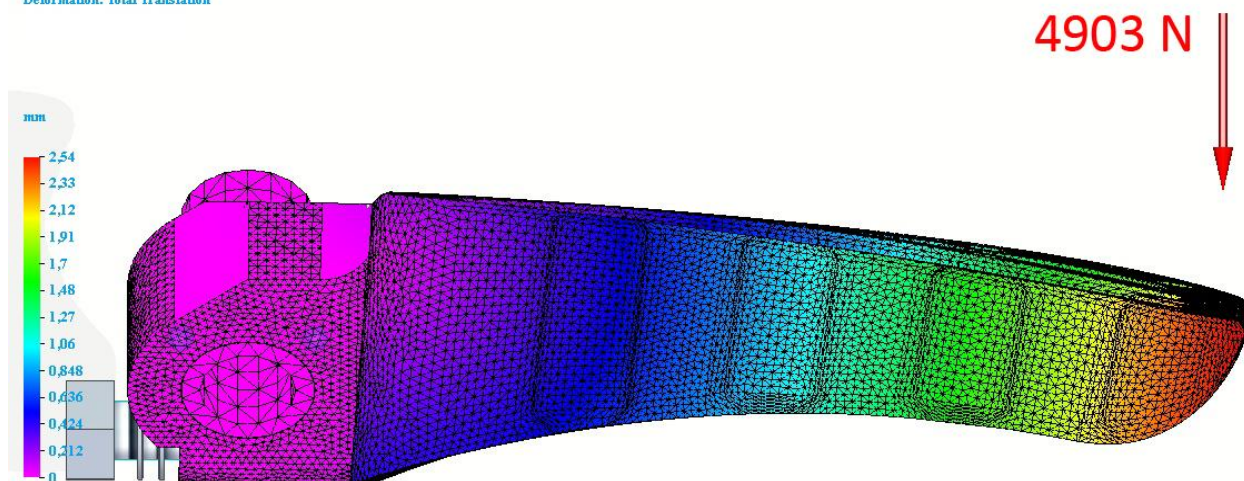
Joonis 27. Vaade koormustestile

Asm2.asm, Static Study 2, Aluminum, 7075-T6
 Stress - Elemental
 Contour: Von Mises Stress
 Deformation: Total Translation



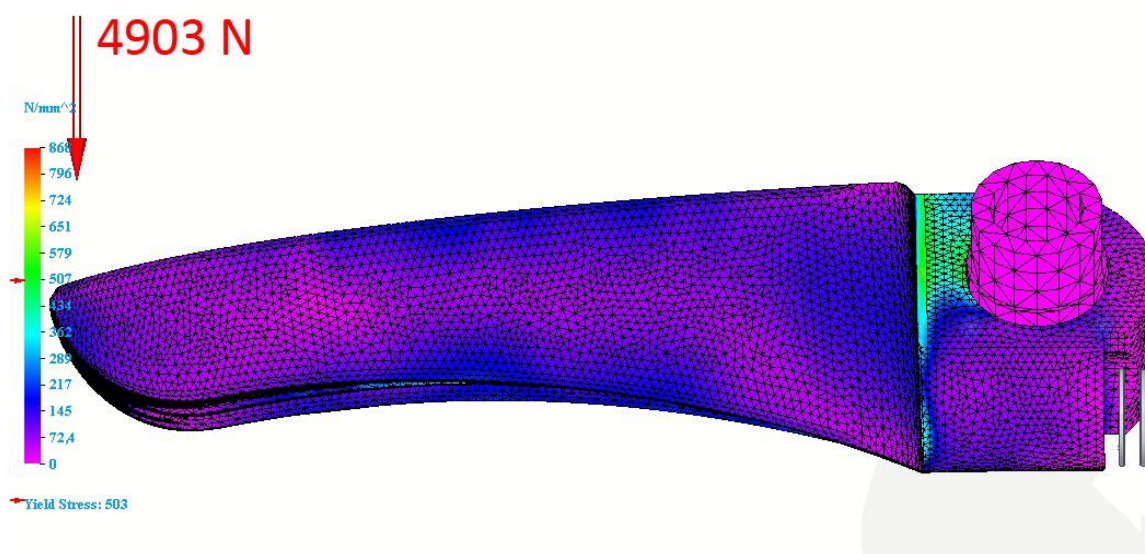
Joonis 28. Vaade koormustestile

Asm2.asm, Static Study 2, Aluminum, 7075-T6
 Displacement - Nodal
 Contour: Total Translation
 Deformation: Total Translation



Joonis 29. Vaade koormustestile

Asm2.asm, Static Study 2, Aluminum, 7075-T6
 Stress - Elemental
 Contour: Von Mises Stress
 Deformation: Total Translation



Joonis 30. Vaade koormustestile

KOKKUVÕTE

Lõputöös püstitatud eesmärkide saavutamiseks analüüsiti krossimootorratta juhtimist ja sõiduasendit mõjutavate koostedetailide tähtsust. Leiti, et sellisteks olulisemateks koostedetailideks on krossimootorrattal jalatoed, mille ehitusele ja tehnilistele mõõtudele ei ole mootorrataste valmistajad pööranud piisaval määral tähelepanu. Eesmärgiks seati keskmisest pikemat kasvu ja raskema kehakaaluga krossisõitja jaoks sobiva jalatoemudeli väljaselgitamine ning analüüsi tulemustele vastavalt sobiva väljatöötamine. Lisaks arvestati uurimustöö käigus detaili parimat sobivust alates 45 suurusnumbri krossisaabastele. Uurimuses analüüsiti erinevate sõitjate arvamusi ja kommentaare, võrreldi originaaldetailide ja järelturul saadaolevate toodete materjale, konstruktsiooni, tehnilisi mõõtusid ja omadusi ning jõuti järeldusele, et sobiv mudel järelturul saadaolevate seas puudub. Materjalide läbitöötamise käigus reastati erinevast materjalist jalatugede puudused ja eelised ning otsustati arendada välja tootemudel. Detaili projekteerimise käigus leiti jalatoe sobivaimad toetuspinna tehnilised mõõdud. Töö käigus leiti sobivaim lahendus kõrguse ja kaldenurga reguleerimiseks, toetuspinna haarduvuse tagamiseks ettenähtud naastutüüp valiti asendamisvõimalusena ostuosana kaubandusvõrgust. Detaili valmistamiseks otsustati kasutada arvjuhtimisega freespink. Sellest lähtudes valiti materjaliks alumiiniumisulam margitähisega 7075-T6. Nimetatud materjalile koostati tugevusarvutused ning projekteeriti 3D mudel. Arendustöö käigus juhinduti võimalusest, et projekteeritud mudelit oleks kinnituspuksi ja reguleerimiskruvi asendamise korral võimalik kasutada praktiliselt kõikidel krossimootorratastel. Toote arenduse käigus lähtuti põhimõttest – analüüsida ja muuta niipalju kui vajalik, aga nii vähe kui võimalik.

Lõputöö autori arvates panustavad paljud motosportlased pigem oma kaherattalise sõbra disainielementidesse, investeerivad mootori võimsust suurendavatesse lahendustesse ja jätavad tähelepanuta turvalisuse ja sõidumugavuse. Sõidu kiirusele avaldavad pigem olulisemat mõju mootorratta juhtimisdetailid ja vedrustus. Viimase arendamine nõuab aga tunduvalt mahukamat uurimistööd, mille läbiviimiseks autoril käesoleval ajal veel teadmisi napib.

SUMMARY

The main purpose of this paper was to develop and exploit the constructions and conditions of a motocross bike's footpegs because these details are directly influencing the control of the bike. There were four main purposes set - to find out the main problems of a footpeg, to compare different footpegs and to discover the best suitable footpeg model on the basis of the analyzed results, after which to create a 3D model of the footpeg. In the process of this paper several riders opinions and experiences were analyzed. The dimensions, material, design and properties were compared between the original footpegs and the aftermarket footpegs. The conclusion of the research was that a suitable product was not among the available ones. Different aftermarket footpegs were compared in a table by which their advantages and disadvantages were brought out. After the conclusion the decision was to create a prototype model. The material was chosen by its properties and advantages compared to others, which was 7075 series aluminium T6. The main reason was its light weight and machinability. The strength calculations were created based on the material and dimensions of the 3D model. The 3D model's construction was created based on the results of the comparison. It was taken into account that the rider would be taller, heavier and with a bigger foot size than the average rider. The designed model is possible to be used for any production motocross bike with different dimensions for the fastening sleeve and the adjusting screw.

The result was to create a suitable footpeg model for a taller and heavier motocross rider - despite this, riders tend to focus more on the outlook of the bike, not the safety of themselves. Footpegs and suspension play a much bigger part in controlling the bike.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] "www.inventors.about.com" Leiutajatest [Võrgumaterjal]. Available:
<http://inventors.about.com/od/mstartinventions/a/motorcycle.htm> [Kasutatud: 12. veebruar 2014].
- [2] "www.freestyle-motocross.net.com" Motokrossi ajalugu [Võrgumaterjal]. Available:
<http://www.freestyle-motocross.net/info/guide/fmx/history> [Kasutatud: 12. veebruar 2014].
- [3] "www.organisation.mylaps.com " Motokrossi EMV TOP200 [Võrgumaterjal]. Available:
<http://organisation.mylaps.com/championship/view.jsp?id=28085> [Kasutatud: 20. veebruar 2014].
- [4] "www.ehkk.ee " EHKK 2013 tulemused [Võrgumaterjal]. Available:
<http://ehkk.ee/tulemused/2013-3/> [Kasutatud: 20. veebruar 2014].
- [5] "www.thumpertalk.com" USA motofoorum[Võrgumaterjal]. Available:
<http://www.thumpertalk.com/index> [Kasutatud: 28. aprill 2014].
- [6] Baltic MX OÜ "Ässade näpunäited," Ajakiri motokross, kd. nr 5, lk 60-61, 15. november, 2009.
- [7] " www.dirtrider.com " Kawasaki KX450F [Võrgumaterjal]. Available:
<http://www.dirtrider.com/tests/2013-kawasaki-kx450f-first-impression/> [Kasutatud: 26. veebruar 2014].
- [8] " www.vitalmx.com " Kawasaki KX450F ja KX250F [Võrgumaterjal]. Available:
<http://www.vitalmx.com/features/2013-Kawasaki-KX450F-and-KX250F,3276> [Kasutatud: 26. veebruar 2014].
- [9] " www.vitalmx.com " Kawasaki KX450F ja KX250F [Võrgumaterjal]. Available:
<http://www.vitalmx.com/features/2013-Kawasaki-KX450F> [Kasutatud: 26. veebruar 2014].
- [10] " www.dubyausa.com" Talon jalatoed [Võrgumaterjal]. Available:
<http://www.dubyausa.com/images/stories/TalonFootpegs/Talon-Footpegs-Orange> [Kasutatud: 12. jaanuar 2014].
- [11] " www.btosports.com" TORC1 Jalatoed [Võrgumaterjal]. Available:
<http://www.btosports.com/pTORC1-FOOTPEGS> [Kasutatud: 11. jaanuar 2014].
- [12] " www.promotobillet.com" Fastway jalatoed [Võrgumaterjal]. Available:
<http://www.promotobillet.com/i-13389950-ttr-225-1993-2007.html> [Kasutatud: 11. jaanuar 2014].

- [13] " www. scar-racing.com" Scar jalatoed [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.scar-racing.com/product1202321602/evolution-footpegs-repose-pieds> [Kasutatud: 11. jaanuar 2014].
- [14] " www. chaparral-racing.com" Warp9 jalatoed [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.chaparral-racing.com/Productwarp-9-t6-aluminum-foot-pegs576-94-FP12.aspxsd=true> [Kasutatud: 11. jaanuar 2014].
- [15] " www. btosports.com" Kite jalatoed [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.btosports.com/KITE-FOOTPEGS> [Kasutatud: 11. jaanuar 2014].
- [16] " www. vitalmx.com " IMS jalatoed [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.vitalmx.com/product/feature/IMS-Footpegs-Three-Models-to-Choose-From,2631> [Kasutatud: 11. jaanuar 2014].
- [17] " www. protaper.com" Pro Taper jalatoed [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.protaper.com/products/footpegs2-3-platforms> [Kasutatud: 11. jaanuar 2014].
- [18] " www. vitalmx.com" IMS jalatoed [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.vitalmx.com/product/feature/IMS-Footpegs-Three-Models-to-Choose-From,2631> [Kasutatud: 11. jaanuar 2014].
- [19] " www. motorcycle-superstore.com" Moose jalatoed [Võrgumaterjal]. Available: 2014]<http://www.motorcycle-superstore.com/34364/i/moose-racing-hybrid-footpegs> [Kasutatud: 12. veebruar 2014].
- [20] " www. btosports.com" LST jalatoed [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.btosports.com/p/LSTIFP> [Kasutatud: 12. veebruar 2014].
- [21] " www. btosports.com" Raptor jalatoed [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.btosports.com/p/raptor-titanium-xtreme-footpegs> [Kasutatud: 22. märts 2014].
- [22] " www. sunstatemotorcycles.com.au " Raptor jalatoed [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.sunstatemotorcycles.com.au/onlineshop/boots/sidi-crossfire-2-boot-white/> [Kasutatud: 28. märts 2014].
- [23] " www.metalprices.com." Metallisulamite hinnad [Võrgumaterjal]. Available: www.metalprices.com [Kasutatud: 04. aprill 2014].
- [24] J. A. Charles, Selection and Use of Engineering Materials Third Edition, Oxford:Reed educational publishing, 1997, p. 2 , 25.
- [25] Uroš Zupanc, Janez Grum, Journal of Mechanical Engineering, Ljubljana: Slovenian Research Agency, 2011, pp 379-384.
- [26] " www. linoksa.lt." Metallide hinnad [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.linoksa.lt/Lehed|1-EE.html> [Kasutatud: 04. aprill 2014].

- [27] U. Fischer, R. Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, F. Näher, S. Oesterle, H. Paetzold, A. Stephan, Mehaanikainseneri Käsiraamat, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2012, lk 49
- [28] U. Fischer, R. Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, F. Näher, S. Oesterle, H. Paetzold, A. Stephan, Mehaanikainseneri Käsiraamat, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2012, lk 47
- [29] U. Fischer, R. Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, F. Näher, S. Oesterle, H. Paetzold, A. Stephan, Mehaanikainseneri Käsiraamat, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2012, lk 47
- [30] U. Fischer, R. Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, F. Näher, S. Oesterle, H. Paetzold, A. Stephan, Mehaanikainseneri Käsiraamat, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2012, lk 260
- [31] U. Fischer, R. Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, F. Näher, S. Oesterle, H. Paetzold, A. Stephan, Mehaanikainseneri Käsiraamat, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2012, lk 252
- [32] Uuenduslik tootmine, Tallinn, Tallinna Tehnikaülikool: TTÜ kirjastus 2011, lk-d 187-191.