



Tootearenduse õppetool

MES70LT

*Arkadi Pristavko*

**KAHEKOMPONENDILISE PLASTIVALUGA  
OHUTUSRIHMA KEEL**

Autor taotleb  
tehnikateaduse magistri  
akadeemilist kraadi

Tallinn

2015

## AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.  
Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.  
Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis..... juhendamisel

“.....” .....201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....” .....201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... eriala/õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....” .....201... a.

..... allkiri

TTÜ masinaehituse instituut

Tootearenduse õppetool

## MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2015 aasta kevad semester

Üliõpilane: Arkadi Pristavko, 130479  
Õppekava: MATM02/11- Tootearendus ja tootmistehnika  
Eriala: Mehhanotehnika  
Juhendaja: prof. Martin Eerme, Tootearenduse õppetooli juhataja  
Konsultandid: Riho Vahtra, AS Norma, tootearendusjuht, tel. 6500322  
Larissa melnikova, AS Norma, tootearendusinsener

### MAGISTRITÖÖ TEEMA:

Kahekomponendilise plastivaluga ohutusrihma keel.  
Seatbelt tongue with plastic double moulding.

### Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr.	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Probleemi püstitus, võimalikud lahendused	Veebruar 2015
2.	Patendialane uurimus	Veebruar 2015
3.	Uue disaini loomine ja selle analüüs programmis (MoldFlow)	Märts 2015
4.	Prototüüpide testid ja katsed (aruanne)	Aprill 2015
5.	Magistritöö seletuskirja ja jooniste vormistamine	Mai 2015

**Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:** antud lõputöö ülesandeks on olemasoleva ohutusrihma modifitseerimine, uue disaini loomine, detailide analüüs programmis (MoldFlow), kahekomponentse survevalu tehnoloogia probleemi lahendused, arvutuste teostamine TPA valikuks.

### Täiendavad märkused ja nõuded:

**Töö keel:** eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 12.05.2015

**Töö esitamise tähtaeg** 25.05.2015

**Üliõpilane:** Arkadi Pristavko /allkiri/ kuupäev 02.02.2015

**Juhendaja:** Martin Eerme /allkiri/ kuupäev 02.02.2015

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE .....	3
1. SISSEJUHATUS .....	6
2. PROBLEEMI KIRJELDUS .....	13
3. PROBLEEMI VÕIMALIKUD LAHENDUSED.....	15
3.1. Plastikust klambrite kasutamine .....	15
3.2. Rihma piirdenupu koha muutmise .....	15
3.3. Kahekomponentse keele kasutamine.....	16
4. PATENDIALANE UURIMUS .....	18
5. TURVAVÖÖ KEELE TOOTMISE PROTSESS (ÜLDINE INFO).....	19
6. MITMEKOMPONENTSE SURVEVALU TEHNOLOOGIA .....	20
7. VOLVO TURVAVÖÖ KEELE MODIFITSEERIMINE .....	21
7.1. Esteetiline välimus.....	22
7.2 Tehniline lahendus.....	26
8. MOLDFLOW ANALÜÜS (VOLVO KEEL) .....	28
9. PEHME MATERJALI VALIK (VOLVO KEEL) .....	36
10. LIGIKAUDSED PROTOTÜÜPIDE VALMISTAMISE KULUD.....	40
11. VALMINUD PROTOTÜÜBID JA TULEMUSED (VOLVO KEEL).....	41
12. KAHEKOMPONENTSE TURVAVÖÖ KEELE (UUS DISAIN) .....	45
13. MOLDFLOW ANALÜÜS (UUS DISAIN).....	52
13.1 Uue kahekomponentse turvavöö keele analüüside aruanne (põhimaterjaliga kaetud osa) ....	52
13.2 Uue kahekomponentse turvavöö luku analüüsi (pehmematerjaliga kaetud osa).....	60
13.3. Üldine kokkuvõtte .....	67
14. PEHME MATERJALI VALIK (UUS DISAIN).....	68
15. VALMISTATUD PROTOTÜÜBID JA TULEMUSED (UUS DISAIN) .....	71
16. KATSETUSED JA TESTID .....	74
16.1. Tõmbetugevuse testimine.....	74
16.2. Temperatuurikindlus.....	78
16.3. Tulekindlus .....	78
16.4. Korrosioonikindlus .....	79
16.5. UV-kiirguse taluvus.....	79
17. PRESS-VORMIDE KOMPLEKT.....	81
18. TPA VALIK JA VORMIÕÕNTE SÜSTEEM [13].....	83

19. TOOTE TEEKONNAKAART .....	87
VIITED JA KASUTATUD KIRJANDUS.....	90
KOKKUVÕTTE.....	91
SUMMARY .....	92

# 1. SISSEJUHAATUS

Auto passiivse turvalisuse mõiste on muutunud tänapäeval juba harjumuspäraseks. Selle all mõistetakse tervet auto konstruktsioonis olevat vahendite kompleksi, mille eesmärgiks on leevendada liiklusõnnetuste tagajärgi, eelkõige juhi ja kaassõitjate võimalike traumade raskusastet.

Kõige efektiivsemateks passiivse turvalisuse tagamise vahenditeks on osutunud nii autojuhi kui ka kaassõitjate turvavööd (Supplementary Restraint System – SRS). Need on päästnud tuhandeid inimesid<sup>[1]</sup>.

Turvavöö iseenesest liiklusõnnetust vältida ei suuda. Samuti nagu kinnitamata turvavöö ei ole avarii põhjuseks. Turvavöö otstarve on suunatud avarii tagajärgede leevendamisele, eelkõige juhi ja kaassõitjate traumade raskusastme vähendamisele.

Turvavöö kasutamine on hädavajalik selleks, et:

- vältida juhi või kaassõitja liikumist inertsilise jõu mõjul kas avarii või järsu pidurdamise puhul;
- fikseerida asend, mis tagab turvapatjade ohutu avanemise;
- Kineetilise energia summutamiseks.

Turvavöö koosneb kolmest põhikomponendist:

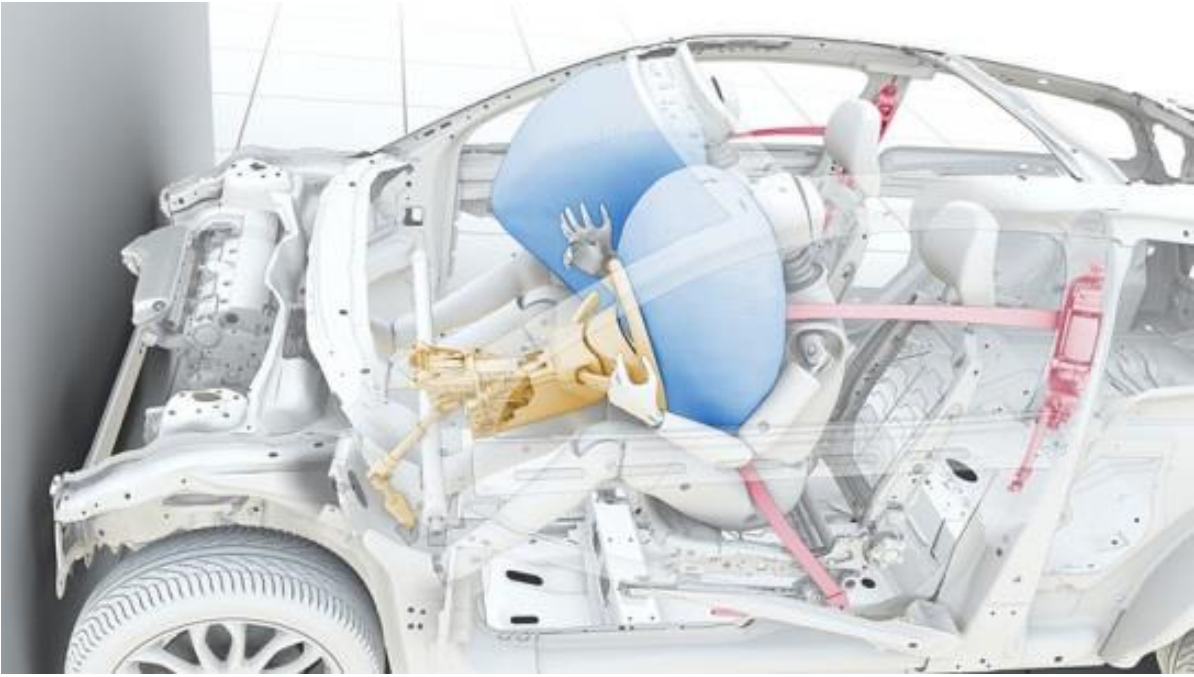
- rihm;
- lukk;
- tagasitõmbav rullik.

Rihm on valmistatud tugevast materjalist ja kinnitatakse mitmes punktis auto kere külge (olenevalt turvavöö tüübist). Lukk tagab spetsiaalse metallist keelekesega abil rihma lukustumise. Lukk asetseb istme kõrval (joonis 1).



**Joonis 1. Rihm – see on lihtsalt kapronlint. Kuid selle arvel on miljoneid päästetud inimelusid<sup>[1]</sup>.**

Turvavöö rihm, mis on kootud polüesterkiust, peab vastu rohkem kui kolme tonni suurusele koormusele. Umbes nii palju kaalub keskmist kasvu elevant, kaks VW Golfi ja ... rihmaga kinnitatud 80-kilone sõiduauto juht, kes pörkab 80 km/h kiirusel kokku seisva takistusega (joonis 2). Et keha mitte traumeerida – mitte põhjustada rindkeres luumurdusid ja vähendada aeglustuse kiirust – hakkab rihm ülekoormuse jõul venima ja amortiseerib lööki.



**Joonis 2. Turvavöö katsetamine <sup>[1]</sup>.**

Enamuse riikide Liikluseeskirjad nõuavad nii autojuhi kui ka kaassõitjate turvavööde kasutamist, kaasa arvatud tagaistmel istujad (joonis 3).



**Joonis 3. Turvavööde kasutamine ka tagaistmel on enamuses tsiviliseeritud riikides kohustuslik <sup>[1]</sup>.**

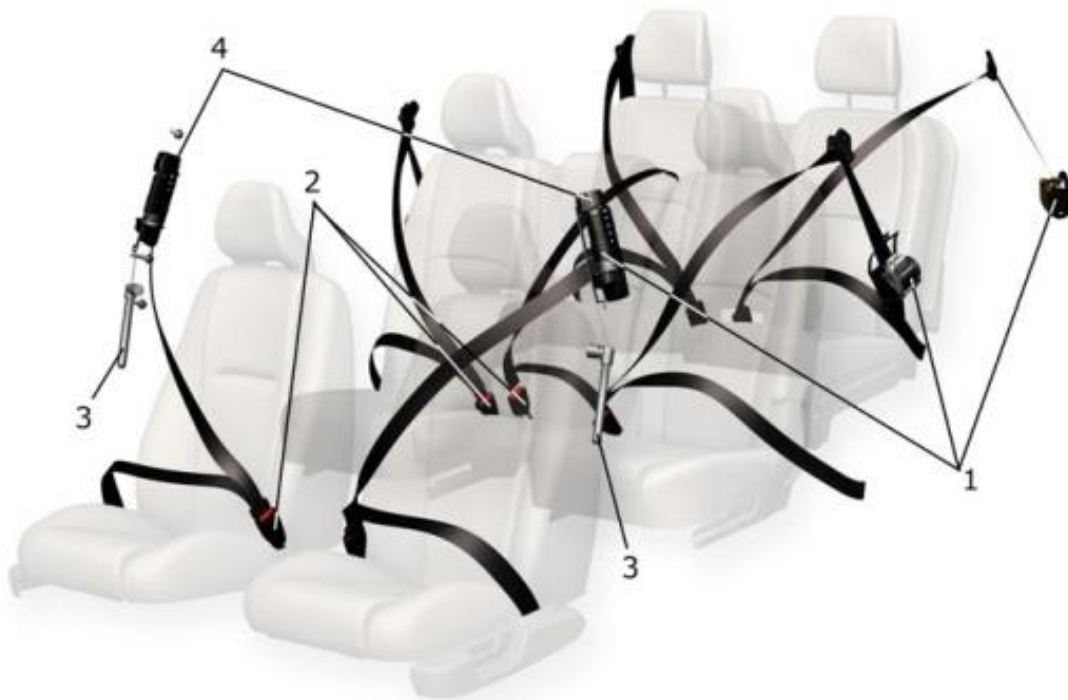


Kinnituspunktide arvu järgi jagunevad turvavööd:

1. Kahepunktilised :
  - reievööd;
  - puusavööd;
  - õlavööd.
2. Kolmepunktilised(diagonaal-puusavööd):
  - inertsvööd;
  - mitteinertsed.
3. Mitmepunktilised ( kasutatakse võidusõiduautodes ja lastetoolide kinnitamiseks).

Kolmepunktilised turvavööd on enimkasutatavad turvavööd ja need on paigutatud kõigisse kaasaegsetesse autodesse. Kolmepunktilise diagonaal-puusavööl kasutatakse V-kujulist kinnitust(V-kuju moodustavad kaks lukustatavat rihmaharu), mis tagavad energia ühtlase jaotumise keha liikumise korral nii rinnale, õlgadele kui puusadele. Niisuguse rihma kasutamine vähenda rohkem kui kahekordselt raskete traumade ohtu avarii puhul. Esimesed seeriaviisilised kolmepunkti turvavööd valmistas Volvo 1959. aastal. Autoriks Nils Bolin.

Auto põhiliste turvaelementide paiknemine on esitatud joonisel 4.



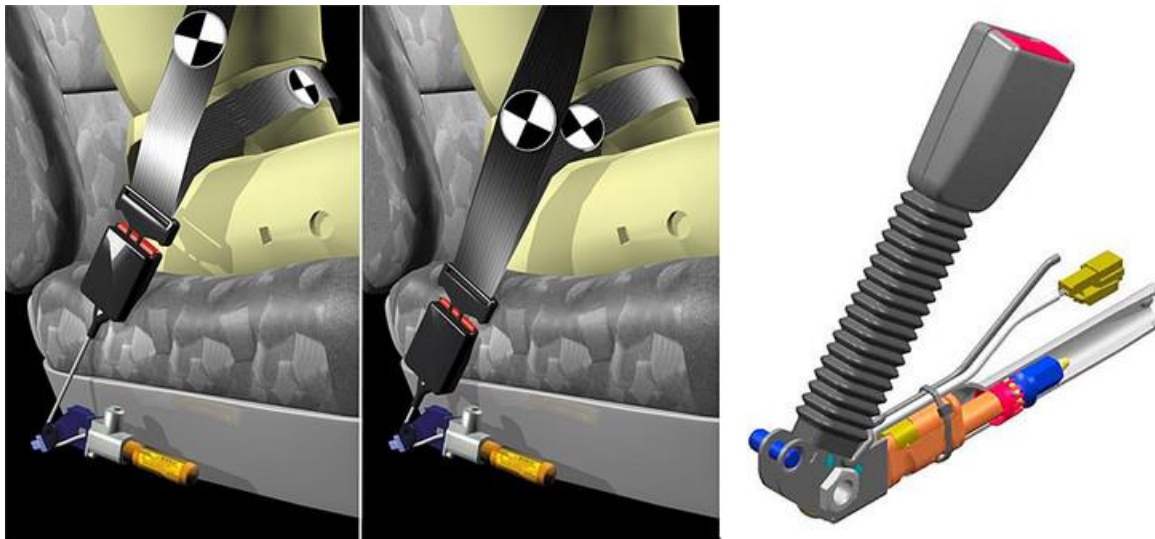
**Joonis 4. 1 – inertsrullikud; 2 – lukud; 3 – eelpingutid koos püropadrunitega; 4 – ülemised kõrguse regulaatoriga kinnitused <sup>[1]</sup>.**

Rihm kinnitatakse auto kere külge spetsiaalsete vahenditega kolmes punktis: uksepostil, lävel, ja spetsiaalse lukuga tõmmitsaga. Rihma kohandamiseks sõitja kasvule sobivaks on paljudes konstruktsioonides ette nähtud ülemise kinnituspunkti vertikaalsuunalise reguleerimise võimalus.

Lukk võimaldab kinnitada turvavöö ja paigutatakse autoistme kõrvale. Rihmal asuva lukustusplaadi fikseerimiseks liigub metallist keeleke. Turvavöö kinnitamise vajadust aitab meelde tuletada luku sisse monteeritud lüliti, mis on ühendatud audiovisuaalse signaalsüsteemi vooluahelasse. Hoiatuse andmine toimub signaallambi süttimisega näidikuteplakis ja helisignaaliga. Selle süsteemi töö algoritmid on autode tootjatel erinevad.

Tagasitõmbav rullik tagab rihma takistusega väljatõmbamise ja iseenesliku sissekerimise. Rullik paikneb auto uksepostis. Rullik on varustatud inertse blokeersüsteemiga, mis peatab avarii korral turvavöö liikumise läbi rulliku. Kasutatakse kaht erinevat blokeersüsteemi – auto liikumise (inerti) mõju ja ohutusrihma liikumise mõju. Rihma saab trumlist väljas tõmmata ainult aeglaselt ja ühtlaselt, ilma kiirenduseta tõmmates.

Kaasaegsed autod varustatakse turvavöödega, millel on pingutid (joonis 5). On olemas mitu eelpingutite konstruktsiooni ja kontseptsiooni varianti, kuid nende töö põhimõte on sellele vaatamata ühesugune. Näiteks, ajam keerab pooli, mis omakorda pingutab turvavööd, aga vahel pingutab lukku, mõjudes võrdselt mõlemale rihmaharule. Keskmiselt „lüheneb” rihm 100 – 150 mm – see on piisav, et likvideerida ohtlik tühemik rinnakorvi ja rihma vahel. Aga mis käivitab turvavöö mehhanismi? Küsimus on ju sekundi sajandikest.



**Joonis 5. Eelpinguti pingutab rihma ja fikseerib inimese istme külge mõne millisekundi jooksul <sup>[1]</sup>.**

Kaasa aitab püroadrüni mikroplahvatus, mille päästab valla elektriline detonaator. Juhtimissüsteemi andurid tunnevad ära löögi suuna ning jõu, edastavad signaali juhtimiskeskusesse ja „süütavad” laengu. Paisuvate gaaside energia, mis vabaneb keemilise raktsiooni tulemusena, tõukabki eelpinguti ajamit.

Kiirenduse summutamisel on oluline, et rihma haare ei muutuks „surmahaardeks”. Maksimaalne jõud, millega rihm võib suruda rinnale, õlale ja puusavööle, ei tohi ületada 1500 N (umbes 150 kg.), vastasel juhul on rasked traumad vältimatud. Sellepärast käivitub piirkoormuse lähedale jõudmisel koormuse piiraja (joonis 6). Selle ehitus on äärmiselt lihtne: rihmaga rull on asetatud torsiooni – metallist vardale, mis teatud pingeni jõudmisel hakkab pöörlema ja rihma järele andma. Turvavöö seega pikeneb, vähendades survet rindkerele ja suurim koormus rindkerele vähendab mõningal määral. Torsioonsüsteemiga turvavöö korral muutub keha poolt vastuvõetav löök mõnevõrra kergemaks võrreldes variandiga, kus rihm on kinnitatud jäigalt. Torsioonsüsteem suurendab inimese ellujäämise võimalusi.



**Joonis 6. Rihma inertsrollik püro-eelpinguti ja koormusepiirajaga. Punased märgid vardal näitavad, kuidas töötab üks kõige levinumatest koormuse piirajatest. Kui koormus rihmale ületab lubatava taseme, hakkab torsioon rihma lahti rullima <sup>[1]</sup>.**

Püro-padrunitele on tulemas vääriline vahetus. Kaasaegsetes turvalisuse preventiivsetes süsteemides, mis töötavad ennetamise põhimõttel, pingutatakse rihmu elektriajamitega (joonis 7). Neil ei saa „püssirohi märjaks” ja need töötavad sõna otseses mõttes ilma tolmu ja kärata. Nad rakenduvad küll veidi aeglasemini, kuid vajaliku ajalise varu annab neile elektroonika. Näiteks, kiirenduse andur või radarid, mis skaneerivad pidevalt olukorda auto ümber, fikseerivad ohtliku

situatsiooni, tõmbavad rihma juba eelnevalt pingule ja suruvad inimese tugevalt istmesse. Kui oht möödab, lõdveneb turvavöö, vastupidisel juhul rakenduvad ka muud passiivse turvalisuse tagamise vahendid.



**Joonis 7. Preventatiivsetel vahenditel aitavad tõhusalt töötada turvavöö rullikusse monteeritud elektrimootorid. Saades signaali juhtimisplokilt, pingutavad niisugused eelpingutid turvavöö juba enne kokkupõrget<sup>[1]</sup>.**

Turvavööd, nagu vihjab juba nende nimetuski, on ette nähtud inimesele ohtliku istmest väljapaiskumise vältimiseks liiklusõnnetuse korral. Siinkohal on kõne all inimese elu ja tervise ohutus. Sellepärast esitatakse turvavöödele eriti kõrgeid kvaliteedinõudeid (nii tootmise kui eksploatatsiooni osas). Autotööstuse ettevõtted pöörduvad sageli komplekteeritavate sõlmede tootjate poole taotlustega. Nende taotluste sisuks võib olla nii toote kvaliteedi parandamine kui ka mingite muude probleemide lahendamine.

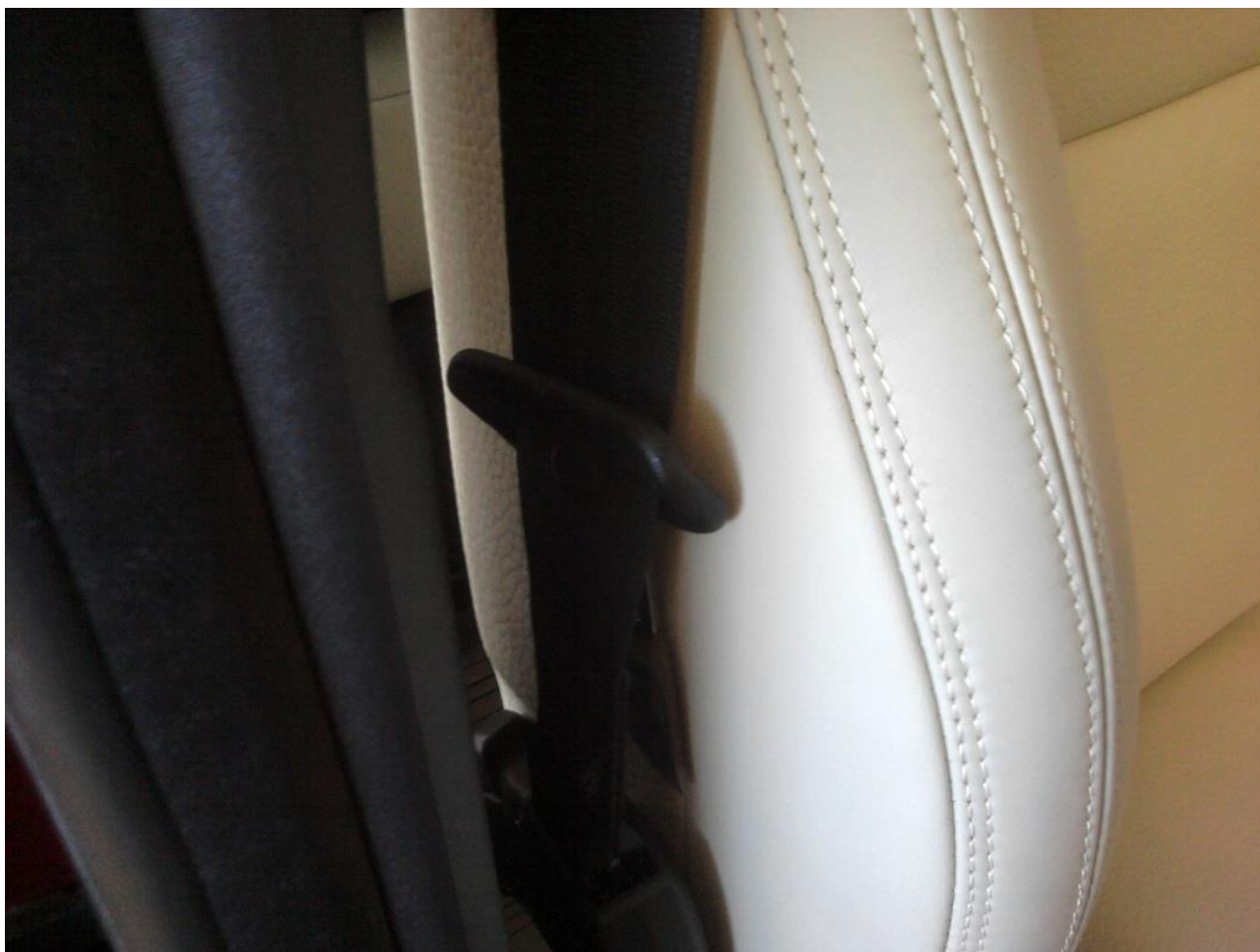
## 2. PROBLEEMI KIRJELDUS

Autod varustatakse turvavöödega, et suurendada nii juhi kui kaassõitjate turvalisust. Rihma kinnitamine toimub spetsiaalse metallist keelekese (edaspidi „keel”) abil. Keel liigub vabalt piki turvavöö rihma ja on kaetud plastikuga, et kaitsta rihma keele avadest läbi tulemise kohtades.

Laekus taotlus Volvo Car Corporation’i poolt. Probleem seisnes selles, et sõidu ajal tekitavad rihmad kõlisevat heli (Volvo XC60). Probleemi uurimisel selgus, et heli tekitab ohutusrihma keele kokkupuude auto ukseposti polsterdusega.

Kui kaassõitja iste on tühi, turvavöö rihm piki ukseposti (tagumine/eesmine). Teatud teolude puhul, istme seljatoe või auto vibratsiooni puhul võib turvavöö keel väriseda või kõikuda (nagu pendel) ja puutuda vastu uksepiida polstrit. Kui keel asub sõidu ajal polstri lähedal, võib selle vibratsioon või kõikumine tekitada mõningast ebasoovitavat kõbinat või müra.

Kõige sagedamini on põhjust selles, et keel on vales asendis (keerdnud turvavöö rihma tõttu). Joonisel 8 on näidatud disaineri poolt ettenähtud keele asukoht.



**Joonis 8. Keele ettenähtud asukoht.**



Joonisel 9 on näidatud keele vale asetsemine. Selle on põhjustanud kaassõitja hooletus. Autost väljudes ei ole pööratud tähelepanu sellele, millisesse asendisse turvavöö keel jäi.



**Joonis 9. Keele vale asend. Punase ringiga on tähistatud keele kokkupuutekoht ukseposti polstriga.**

Antud juhul puutub keel vastu ukseposti polstrit ja see tekitab sõidu ajal müra.

### 3. PROBLEEMI VÕIMALIKUD LAHENDUSED

Antud probleemi uurimisel jõudsimme kolme võimaliku lahenduseni:

- Plastikust klambrite kasutamine;
- Rihma piirdenupu koha muutmine;
- Kahekomponentse keele kasutamine.

#### 3.1. Plastikust klambrite kasutamine

Katse probleemi lahendada seisneb plastikust klambrite paigaldamises autoukse polstri külge. Keele ja ukseposti kokkupuutekohta tuleks paigaldada pehmest plastikust klambrid, see vähendab müra.

See idee tellijale ei meeldinud, sest niisugused klambrid muudavad auto interjööri ilme halvemaks. Nende arvates muudab see auto inetumaks.

Ettepanek jäi idee tasandile.

#### 3.2. Rihma piirdenupu koha muutmine

Katse probleemi lahendada seisneb rihma piirdenupu asukoha muutmises (joonis 10). Kui nupp tõsta 150 mm kõrgemale, võimaldab see eemaldada turvavöö keele auto ukseposti polstrist.



**Joonis 10. Piirdenupu asetamine 150 mm esialgsest asendist kõrgemale.**

Piirdenupu ligikaudne uus asukoht (kui rihm on kinnitatud) on näidatud joonisel 11.



**Joonis 11. Piirdenupu ligikaudne uus asukoht (kui rihm on kinnitatud).**

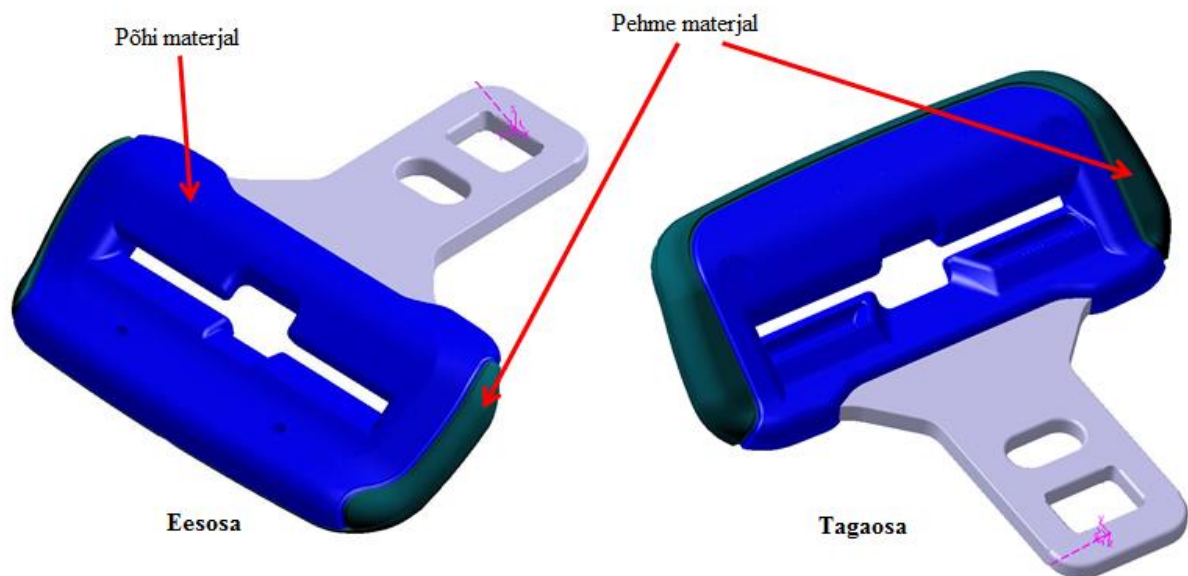
See ettepanek edastati Volvo Car Corporation'le. Kuid mõne aja pärast saabus vastus, et selle lahendusega müra ei lakanud. Pärast piirdenupu nihutamist puutub turvavöö keel endiselt vastu ukseposti polstrit.

**3.3. Kahekomponentse keele kasutamine**

Nagu eespool kirjeldatud, on turvavöö keel plastikuga kaetud. Käesoleva idee mõte seisnes selles, et võtta keele tootmisel kasutusele lisaks veel teiste omadustega plastik (pehmem kui esimene).

Pehmen materjal sulatatakse kõvema (põhikomponendi) servade ümber neis kohtades, kus kontakt ukseposti polstriga on tõenäoline. See vähendab kontakti korral tekkivat müra (joonis 12).





### Joonis 12. Kahe plastikomponendiga turvavöö lukk.

Tootmisprotsessi lühikirjeldus: sulatatud põhikomponent (suhteliselt jäik) katab survevalu käigus metallist keele. Seejärel kaetakse samal meetodil pehmemat plastikut kasutades veel tardumata jäik plastik.

Käesolev töö on pühendatud kahekomponentse turvavöö luku loomise idee kirjeldamisele ja arendamisele.

## 4. PATENDIALANE UURIMUS

Meie idee mõte seisneb juba olemasoleva turvavöö luku plastosa äärte katmises pehmema plastikuga. See võimaldab vabaneda kõbisevast mürast, mis tekib luku kokkupuutel uksepostiga. Lisaks eelöeldule võimaldab see vältida ka kriimustuste tekkimist põhimaterjalile (jäigemale), kuna esialgne kontakt keele ja polstri vahel tekib just pehema materjaliga kaetud piirkonnas.

Patendialase uuringu käigus selgitati välja, et ülalkirjeldatud tehniline lahendus ei ole uudne.

Patent on väljastatud 25. detsembril 2003. aastal „USA Patendi ja Kaubamärkide Registreerimise Büroo” poolt.

Patendi number: 20030234530 A1 <sup>[2]</sup>.

Nimetus: Seat belt latch plate and method of making same.

Autorid: Moskalik, Michael P.; (Grand Blanc, MI) ; Van Rooyen, Paul M.; (Orion, MI) ; Griffin, Gary J.; (Fraser, MI).

Muu info patendi kohta on lisas 1.

## 5. TURVAVÖÖ KEELE TOOTMISE PROTSESS (ÜLDINE INFO)

Turvavöö keele tootmise protsessi võib jagada kaheks peamiseks etapiks:

1. Armatuuri ettevalmistamine
2. Plastmassi survevalu.

Armatuuri ettevalmistava osa võib omakorda osadeks jaotada:

- stantsimine;
- termiline töötlemine;
- galvaniseerimine.

Kasutatakse lehtmetsalli stantsimist. Stantsimiseks kasutatakse valtsterase lehte (süsinikteras C60E).

Et turvavöö keel kuulub inimelu ohutust tagavate toodete hulka, peavad selle omadused vastama kõrgendatud nõuetele. Stantsitud detailid läbivad termilise töötlemise (joonis 13). Selleks kasutatakse isothermist töötlemist kaitsvas keskkonnas, millele järgneb soola keskkonnas jahutamine.



### Joonis 13. Karastamisprotsess.

Metalli kaitsmiseks korrosiooni eest kaetakse toorik nikli (Ni) ja kroomi (Cr) sooladega. Samal ajal annab see armatuuri pinnale ka dekoratiivsema välimuse. Õhukese nikli ja kroomi kihiga katmine toimub galvaaniseerimise teel.

Plastmassi surve all valamine toimub TPA-s (termoplastiautomaadid). Armatuur asetatakse pressvormi ja pärast selle sulgemist toimub vormiõõnte täitmine sulatatud materjaliga. See on turvavöö keele valmistamise viimane etapp. Sealt edasi toimuvad veel ainult katsetused ja testid.

## 6. MITMEKOMPONENTSE SURVEVALU TEHNOLOOGIA

Mitmekomponentne valu on survevalu universaalne tehnoloogia, mis muutub järjest populaarsemaks. Mitmekomponentne valu pakub järjest uusi lahendusi, mis võimaldavad kombineerida mitme termoplasti kasutamist valuvormi sees ja mis väldib vajaduse hilisemaks detailide monteerimiseks ja seega aitab tootmiskulusid kokku hoida. Autotööstuses kasutatakse sageli polüamiidi (PA) ja termoplastilise elastomeeri (TPE) kooslust eesmärgiga vältida kallideid ja keerulisi koosteprotsesse.

Veelgi enam, võimalus valmistada mitmekomponendilisi tooteid ühes masinas kõrvaldab vajaduse detailide transpordiks mitmeetapilise tehnoloogilise töötlemise jaoks, see aga hoiab kokku transpordikulusid, vähendab kadusid monteerimisel ja säästab tootmispinda.

Protsessi puuduseks võib lugeda valadust teha täiendavaid investeeringuid keerukamate valuvormide ja pritsesõlmede soetamiseks ja investeeringuid spetsiaalsele juhtimissüsteemile.

Mitmekomponentse survevalu protsessis toimub erinevate plastikute sissepritsimine protsessi erinevates faasides, kasutades erinevaid matriitse või puansoone erineva geomeetrilise konfiguratsiooniga pindade jaoks. Praktikas valatakse esmalt plastmassist südamik, mis hiljem asetatakse teise vormi, milles valatakse teisest polümeerist osad. Valuvormides toimub omalaadne „keevitumine”: teine osa – teisest termoplastist – „keevitatakse” esimese peale pärast seda, kui vorm või mõni detail läbib ettenähtud muutuse. Teise õõnsuse kuju määratakse südamiku ja valmistoote vormide põhjal. Kahe erineva materjali liitmine võib toimuda:

- Mehhaanilise ühendamise teel;
- Difuusse ühendamise teel;
- Keemilise ühendamise teel.

Mitmekomponentse valu tehnoloogias kasutatavate materjalide valik on otsustava tähtsusega. Hädavajalik on läbi viia materjalide omavahelise sobivuse, keemilise vastupidavuse ja kulumiskindluse mitmekülgne analüüs ning uurida kasutusvõimalusi ümbritseva keskkonna tingimustes, samuti materjalide vastavus muudele tehnilistele tingimustele. Sulanud plastide viskoossus ja kokkutõmbuvus peaksid olema üksteisele ligilähedased. Materjalide erinevad kombinatsioonid viivad liitumistugevuse suurte diapsoonideni alates null-tasemest kuni keemilise ühendi tugevuseni, kus materjalid toimivad molekulaarsel tasandil ja loovad ülitugevaid seoseid, mida iseloomustavad pikk ekspluatatsiooniperiood isegi agressiivses keemilises või ümbritsevas keskkonnas. Et mitmekomponentne valu seisneb erinevate materjalide kokkuliitmises üheks terviktooteks, on materjalide liitetugevus väga tähtsal kohal. Liitumistugevust mõjutavate faktorite hulka kuuluvad omavaheline kokkusobivus, tehnoloogiliseks protsessiks vajalik temperatuur, kontaktpindade suurus, tekstuur, materjalide valamise järjekord ja detailide konstruktsioon nende mehhaanilisel ühendamise <sup>[3]</sup>.

## 7. VOLVO TURVAVÖÖ KEELE MODIFITSEERIMINE

Volvo XC 60 turvavöö tekitatavast mürast vabanemiseks tuleb välja töötada kahekomponentsest materjalist turvavöö keel. Aluseks on võetud praegu kasutatav keel (joonised 14 ja 15).



**Joonis 14. Kasutuses olev Volvo turvavöö keel.**



**Joonis 15. Kasutuses olev Volvo turvavöö keel.**

Üheks materjaliks on kasutatav (PA6 Bergamid B65), teiseks pehmem – mis summutab müra, kui keel põrkab vastu ukseposti polstrit.

Selle probleemi uurimisel tuleb leida kaks lahendust:

- esteetiline välimus;
- tehniline lahendus.

### 7.1. Esteetiline välimus

Kahekomponentse turvavöö keele valmistamise tehnoloogiat tuleb muuta. Lisandub teine materjal (pehme plast). Pehmem materjal suunatakse jäigemale (baasmaterjali) peale nendes kohtades, kus on võimalik kokkupuude auto ukseposti polstriga.

Vastavalt tehnoloogilistele nõuetele on vajalik muuta olemasoleva turvavöö keele disaini. Toome esile mõned punktid::

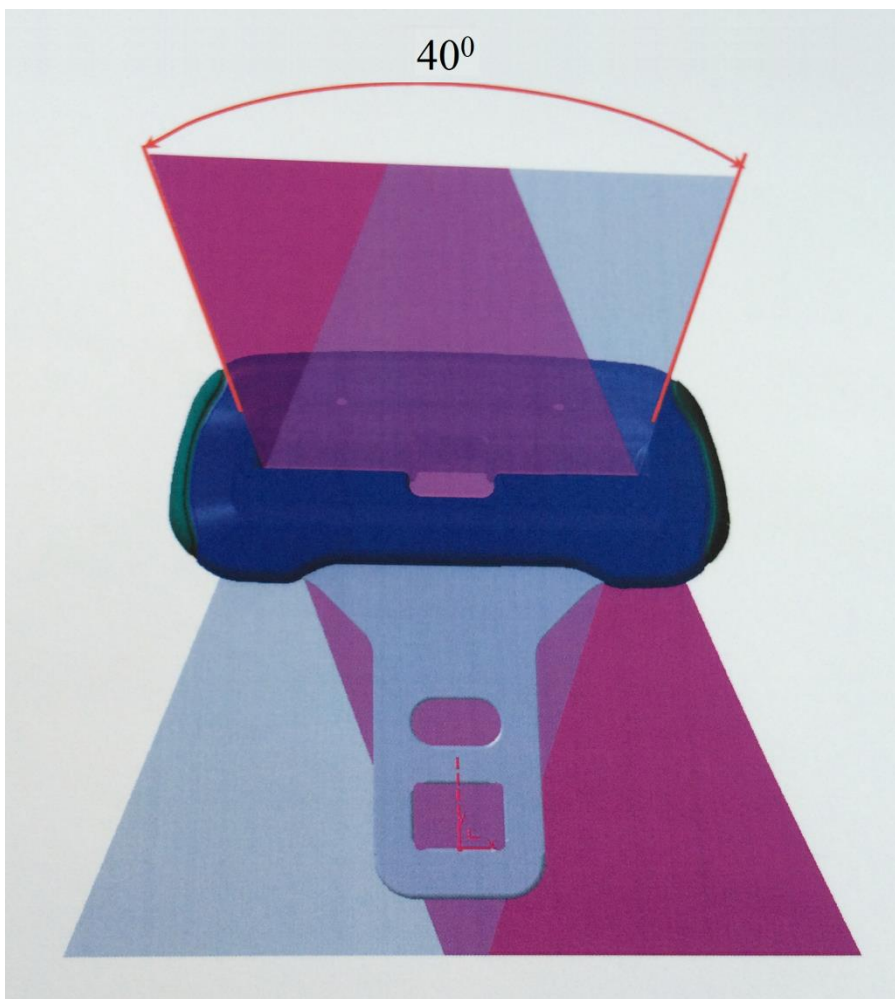
- pehme materjali piiride kindlaksmääramiseks tuleb leida nurk rihma äärmiste asendite vahel;
- „soonte” vajadus ja nende mõõdud;
- mõnede mõõtmete muutmine.

Pehme materjali piiride kindlaksmääramiseks märgime ära rihma äärmised asendid (joonis 16).



**Joonis 16. Rihma serva asend turvavöö kasutamisel.**

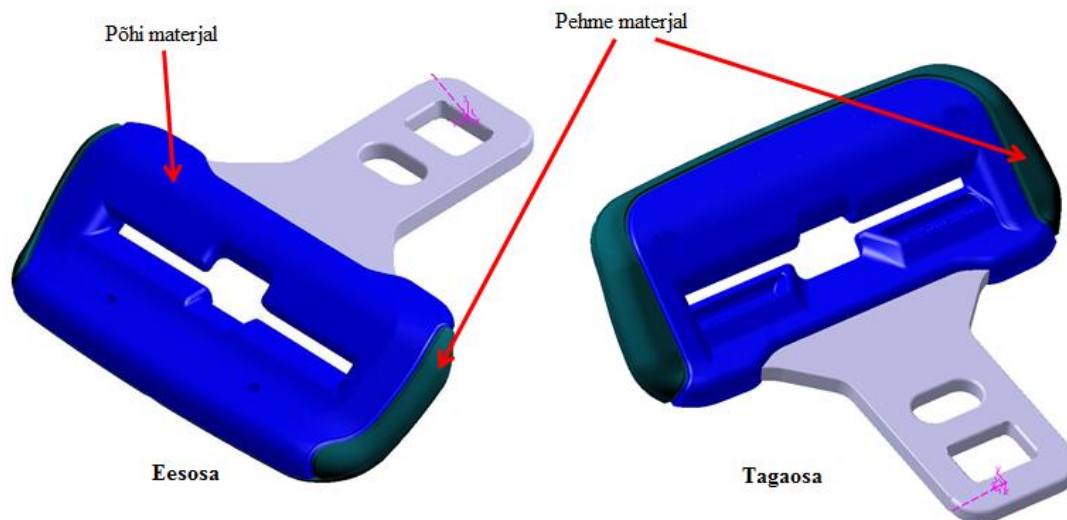
Selle järgi määrame kindlaks nurga turvavöö rihma äärmiste asendite vahel (joonis 17).



**Joonis 17. Rihma äärmiste asendite vahelise nurga määramine.**

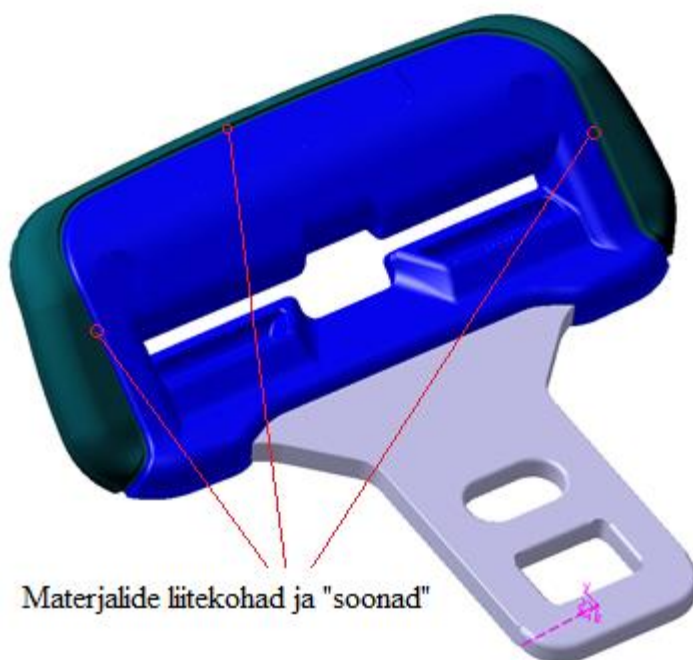
Modifitseeritud keele pehme materjal hakkab paiknema külgede äärtel (eespoolt) ja ümber keele (tagumine pool) nagu näidatud joonisel 18. Esikülje ülemises osas pehmet materjali ei ole, vältimaks kontakti turvavöö rihmaga, mis põhjustaks rihma defekte ja materjali kiire kulumise.





**Joonis 18. Pehme materjali paiknemine modifitseeritud keelel.**

Kui jätta pind siledaks, tekiks kahe materjali ühinemiskohtades ebatasasused, mis rikuksid detaili esteetilise ilme. Selle vältimiseks on liitekohtadesse projekteeritud „soonad” (joonis 19).



**Joonis 19. Materjalide liitekohad ja „soonad».**

Kõik valu ebatasasused jäävad soontesse. Soonte mõõdud 1,2 mm x 02 mm (laius ja sügavus). Soone sügavus peab olema minimaalne. Juhul, kui „soonad” oleks liiga sügavad, hakkab pikema kasutuse järel neisse mustust kogunema.

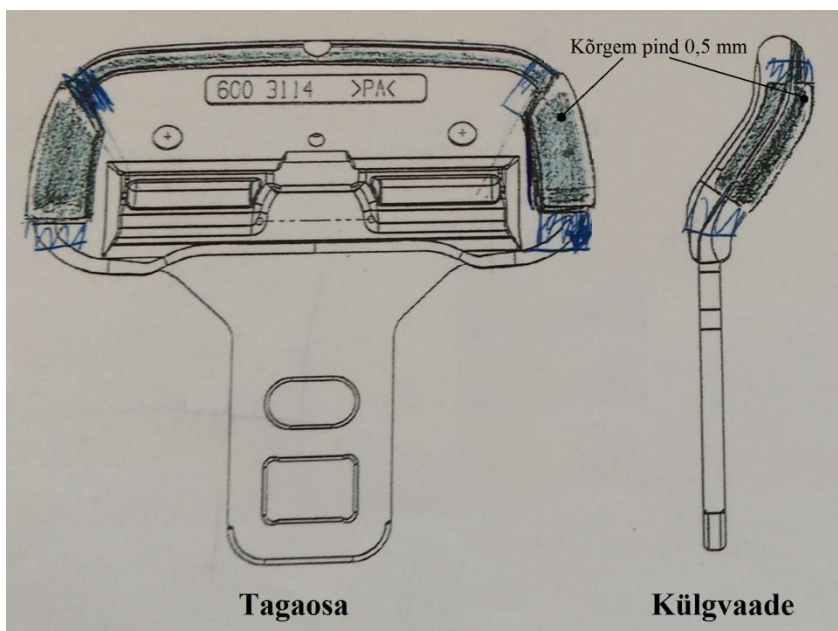


Oli möödapääsmatu muuta mõningaid mõõde:

- Vähendada pinna kõrgust 0,3 mm võrra, et vältida rihma kokkupuute võimalust pehmest materjalist kattega (joonis 20);
- Pehme materjaliga kate tuua põhikattega kaetud pinnast 0,5 mm madalamale, et vältida pehme kate kontakt rihmaga (joonis 21).



**Joonis 20. Kirjeldatud pinna madaldamine 0,3 mm võrra.**



**Joonis 21. Pehme materjaliga kaetud pind on 0,5 mm madalam kui põhimaterjaliga kaetud pind.**

## 7.2 Tehniline lahendus

Kahekomponentseks survevaluks kasutatavad materjalid on erinevad ( põhikomponent on jäik ja teine sellest pehmem). Pehme materjal valitakse materjalide uurimise teel. Uurimine on vajalik selleks, et leida sobiv materjal, millel on vajalik adhesiooni ( molekulaarjõududest tingitud liitumise) tase põhikomponendiga PA6 Bergamid B65 .

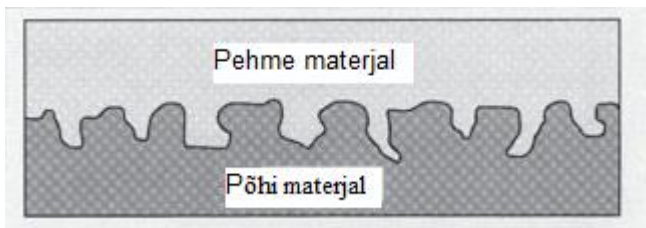
Nagu ülalpool kirjeldatud, esineb kolm adhesiooni liiki:

- mehhaaniline;
- difuusne;
- keemiline.

### Mehhaaniline adhesioon

See on adhesiooni lihtsaim vorm. Mehhaanilise adhesiooni puhul kasutatakse ära pinna niisuguseid ebataasusi nagu konarused, praod ja pilud, mille suurenemisel tekivad mikroskoopilised süvendid.

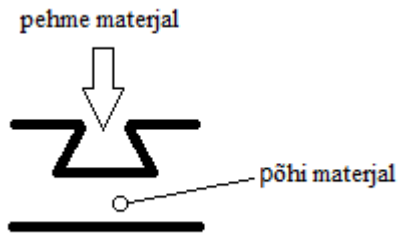
Mehhaanilise adhesiooni saavutamise peamiseks tingimuseks on liidetava materjali (pehme materjal) omadus tungida substraadi (põhimaterjali) ebataasustesse ja seejärel hanguda. Parema kontakti saavutamiseks tuleb enne adhesiivi pealekandmist eemaldada õhk või aur põhimaterjali konarustes vahelt. Kui adhesiiv suudab täita ebataasused ja seejärel hanguda, siis kinnitub ta konaruste külge (joonis 22).



### Joonis 22. Mehhaaniline adhesioon.

Mil määral adhesiiv põhimaterjali konarustesse tungib, sõltub nii materjali sissepritsimise survest kui ka adhesiivi omadustest. Kui püüda adhesiivi substraadist lahti rebida, on see võimalik vaid adhesiivi purustades, sest adhesiivi ei ole võimalik substraadi konarustest eemaldada.

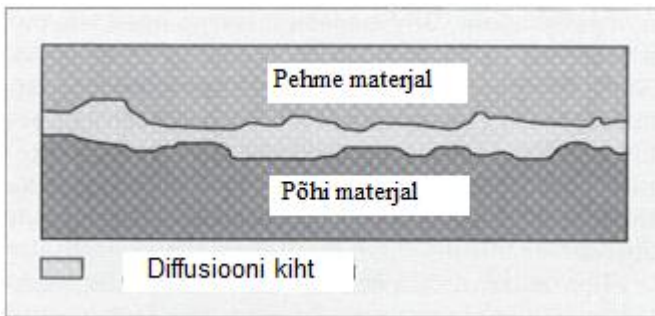
Kui meie soovime kasutada mehhaanilist adhesiooni, peab põhiaine pind olema konarlik. Pehme materjal surutakse neisse kopnarustesse ja pärast hangumist tekib mehhaaniline ühendus. Konaruste näidet illustreerub joonis 23.



**Joonis 23. Pehme materjal satub põhimaterjali pinna konarustesse.**

### Difuusne adhesioon

Mõnel juhul on adhesiiv või mõni selle komponent suuteline tungima substraadi pinna sisse, mitte selle peale kuhjuma (joonis 24). Adhesiivi ja substraadi molekulide põimumisel või interdifusiooni tulemusel tekib difusiooni kiht, mis on eriti vastupidav.



**Joonis 24. Difuusne adhesioon.**

Adhesiivi ja substraadi ühenduse tugevus oleneb peamiselt sellest, millised olid ühendamise hetkel adhesiivi ja substraadi füüsikalised omadused. Difusioon on võimalik juhul, kui adhesiiv on ühendamise hetkel väga palstilises või voolavalt viskooses olekus.

### Keemiline adhesioon

Keemiline liitmine erineb füüsilisest selle poolest, et kahel naaberaatomil on ühine elektron. Adhesiivi pind peab olema kindlalt ühendatud substraadi pinnaga keemilise seose kaudu, seetõttu on vajalik reaktiivainete kasutamine mõlemal pinnal. Muuseas, siin on tegemist kovalentsete ühendite moodustumisega <sup>[4]</sup>.

## 8. MOLDFLOW ANALÜÜS (VOLVO KEEL)

Moldflow – see on plastmassi survevalu protsessi modelleerimise vahendite kompleks. See võimaldab optimeerida plastdetailide ja valuvormide projekteerimist valuprotsessi täpse prognoosimise abil. Moldflow abil saab vähendada katsekemplaride valamise vajadust, kõrvaldada potentsiaalseid tootmisdefekte ja jõuda kiiremini innovatiivse toodangu turustamiseni.

Detaili uurimiseks kasutasime seadet Moldflow Adviser, mis võimaldab kontrollida toodet, valuvorme ja tehnoloogilisi rakiseid juba kaua enne nende tootmise alustamist. Plastmassi valu protsessi modelleerimine digitaalsete prototüüpide abil aitab vähendada testimiseks vajalike füüsiliste katsekemplaride hulka ja kiirendab toote turule jõudmist.

Detailide analüüsimiseks Moldflow programmis tuleb mudelit säilitada STL formaadis. Seejärel, avanud Moldflow Adviser'i, tuleb sisestada materjali mark ja sissepritsimise koht. Seejärel määratakse kriteeriumid, millest lähtutakse analüüside teostamisel.

Käesoleval juhul pakuvad huvi järgmised analüüsid:

- valuvormi materjaliga täitmise aeg;
- valuvormi materjaliga täitmise nivoo;
- sissepritsimise rõhk;
- rõhu langus;
- sulami temperatuur detaili erinevates punktides;
- kvaliteedi prognoos;
- fusiooni võimalikud asukohad;
- õhutaskute tekkekohad;
- sileduse hindamine.

Pärast analüüsi läbiviimist koostab programm aruande. Aruandes esitatakse ligikaudsed töö parameetrid ja protsessi graafiline analüüs.

Volvo kahekomponense keele analüüsi aruanne:

Põhimaterjal: PA6 Bergamid B65

Maksimaalne sissepritsimise rõhk: 100 MPa

Press-vormi temperatuur: 55 °C

Sulami temperatuur: 275 °C

Mudeli vastavus: Mudel tervikuna on analüüsiks sobiv

Sissepritse aeg: 0,93 sec

Sissepritse rõhk: 10,84 MPa

Adhesiooni jooned: Jah

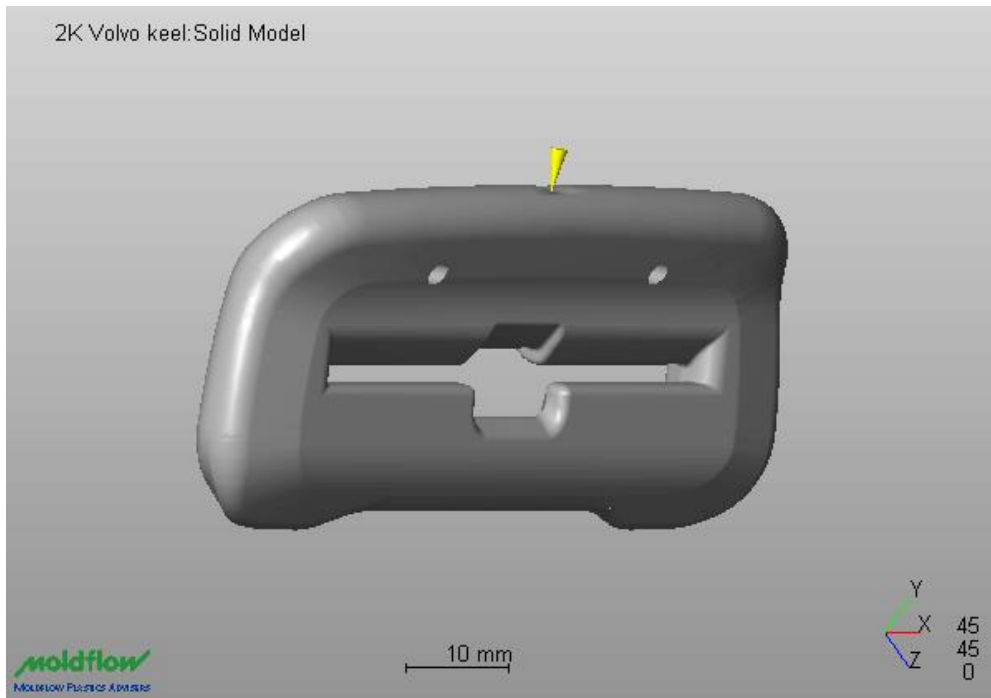
Õhutaskud: Jah

Materjali maht: 9,87 sm<sup>3</sup>

Tsükli pikkus: 19,38 sec

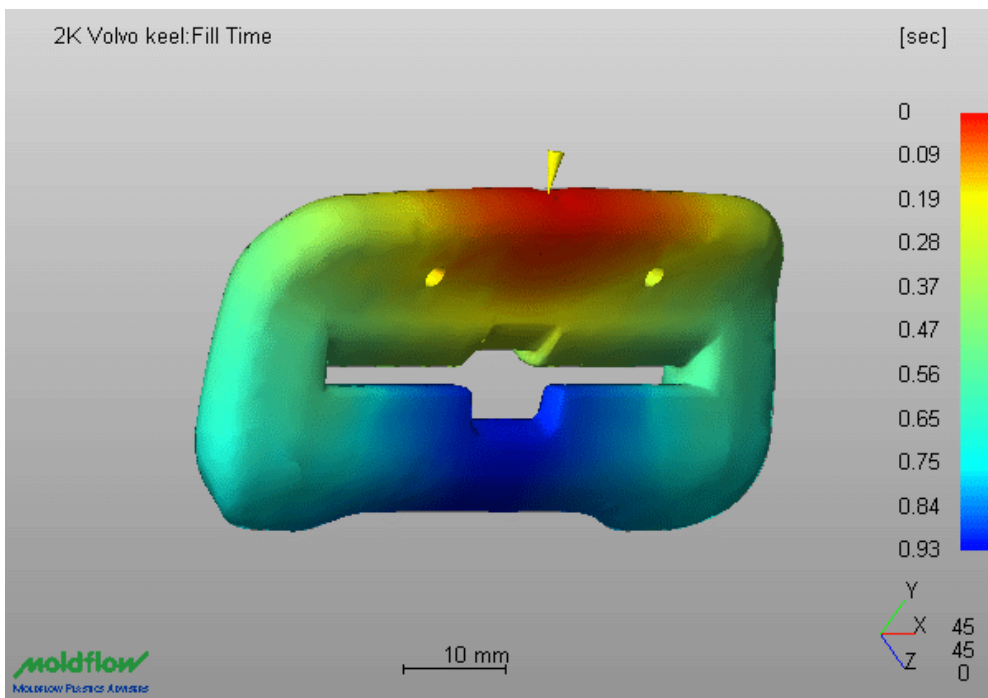
Graafiline analüüs on esitatud joonistel.

Detaili mudel on esitatud joonisel 25 (imporditud programmi CATIA 3D keskkonnast).



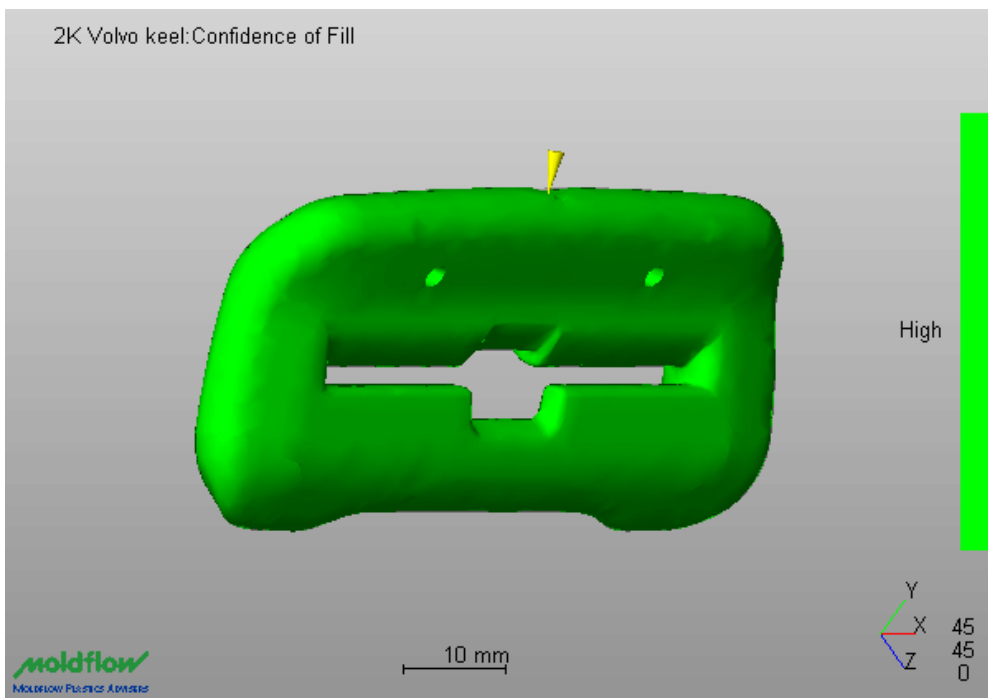
### Joonis 25. Detaili mudel.

Valuvormi täitumise ajaline skaala (sissepritse aeg) on toodud joonisel 26. Nagu näha, täitub kõige viimasena detaili alumine osa. Molflow keskkonnas esitatakse vormi täitumine näitlikult animatsiooni vahendusel.



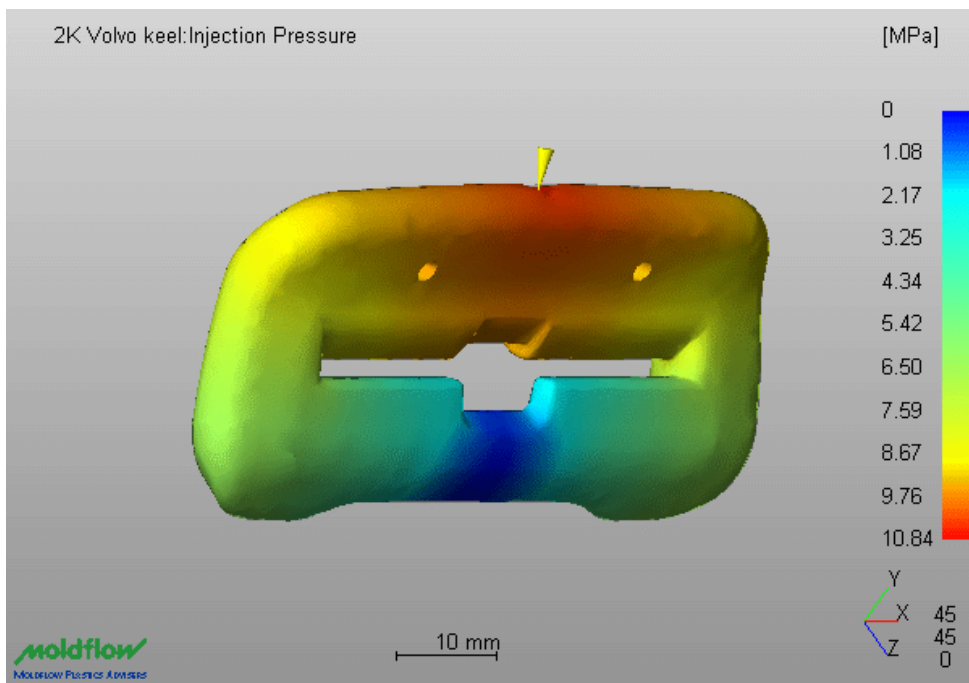
**Joonis 26. Valuvormi täitumise aeg – sissepritsimise aeg.**

Joonisel 27 on esitatud materjaliga täitmise nivoo (roheline – kõrgeim). On arusaadav, et täidetud on kogu detaili maht, see tähendab, et tühemikke ei ole, ja see on hea näitaja. See oleneb temperatuurist ja rõhust.



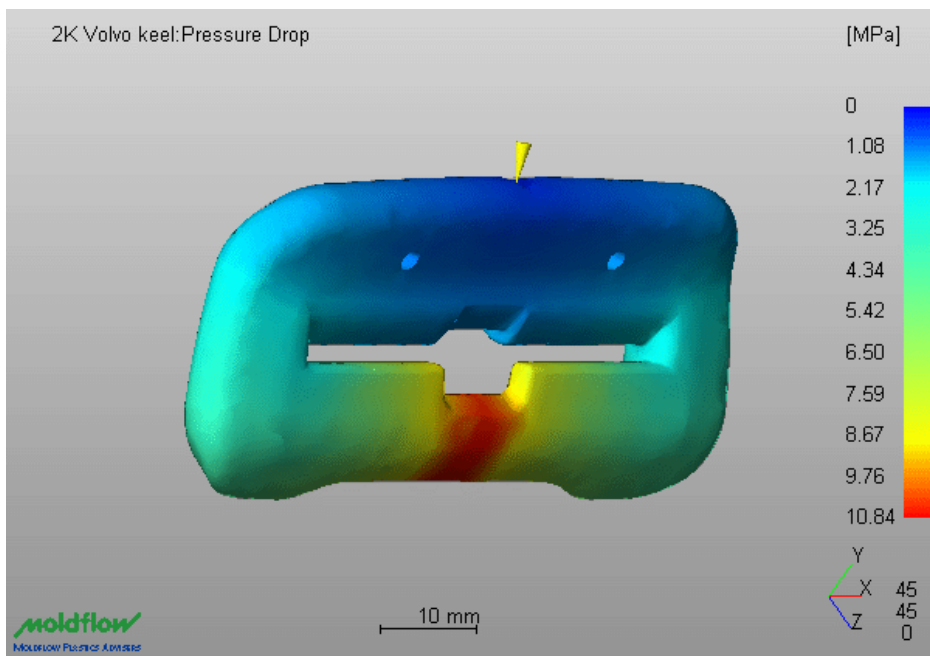
**Joonis 27. Materjaliga täitumise nivoo.**

Joonisel 28 on esitatud sissepritsimise rõhk. Ülemises osas (sissepritsimise koht) on rõhk maksimaalne, detaili alumises osas - minimaalne.



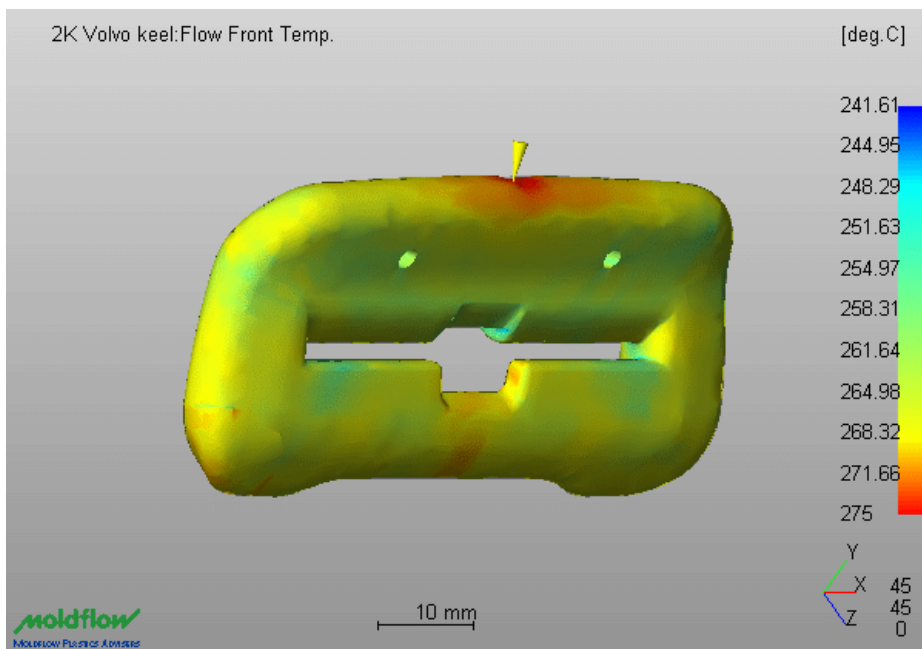
**Joonis 28. Sissepritsimise rõhk.**

Rõhu langusega on vastupidi (minimaalne detaili ülemises osas, maksimaalne alumises osas) – joonis 29. Näidatud on minimaalne vajalik rõhk, et sulam jõuaks selle punkti.



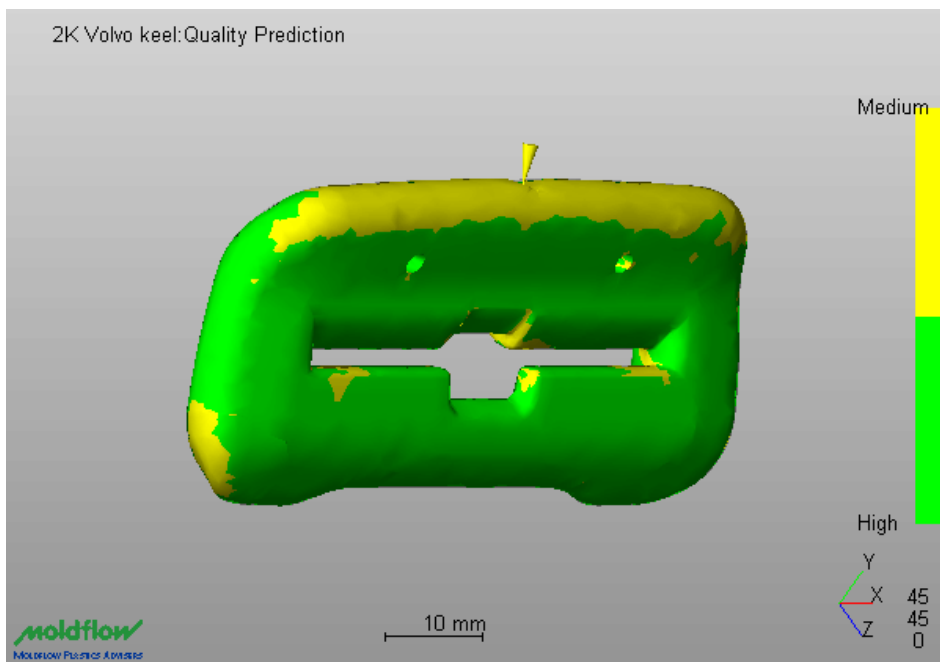
**Joonis 29. Rõhu langus.**

Joonisel 30 kujutatakse sulami temperatuuri detaili erinevates kohtades. Tulemus näitab sulami temperatuuri muutumist sissepritsimise ajal. Kohtades, kuhu materjalil on raskem pääseda, on temperatuur madalam. Materjal täidab need kohad juba mõningal määral jahtununa.



**Joonis 30. Sulami temperatuur detaili erinevates kohtades.**

Joonis 31 iseloomustab detaili kvaliteedi prognoosi. Rohelise värviga on märgitud kõrgema kvaliteediga kohad, kollase värviga – võimalikud probleemsed kohad.



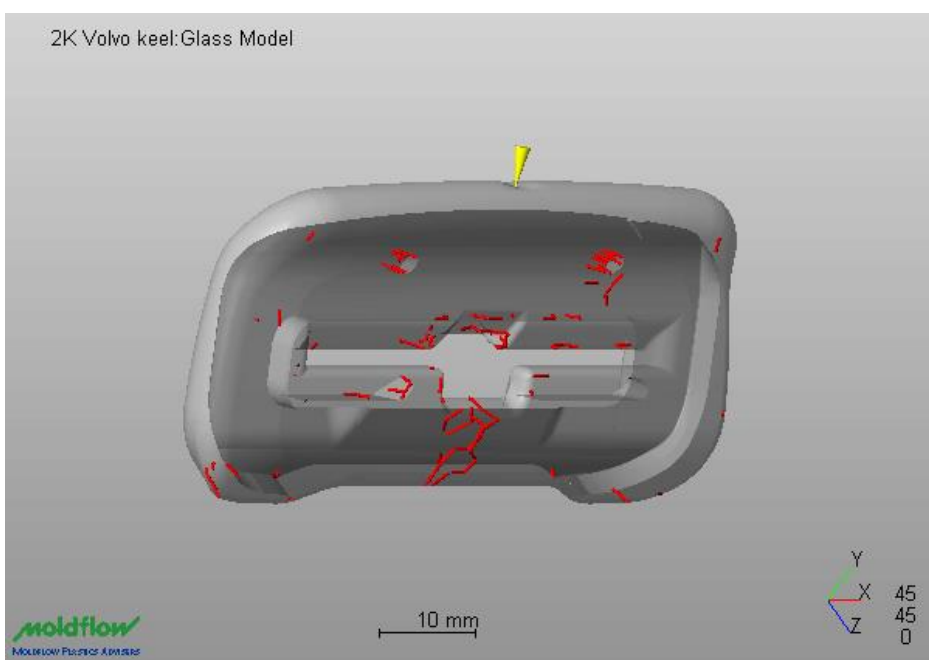
**Joonis 31. Kvaliteedi prognoos.**



Joonis 32 näitab liitekohti. Liited tekivad valuprotsessi ajal toimuva sulamite frontide ühinemise kohtades. Neis kohtades võib ilmuda defekte. Liitekohta, kus sulami vool lakkab kohe pärast liite tekkimist, nimetatakse „külmaks” keeviseks. Seda nimetatakse ka „otsaliiteks”. Niisuguste „külmade” liidete tekkimine rikub sageli detaili väljanägemist, vähendab vastupidavust ja muid valatud detaili eksploatatsiooni karakteristikuid.

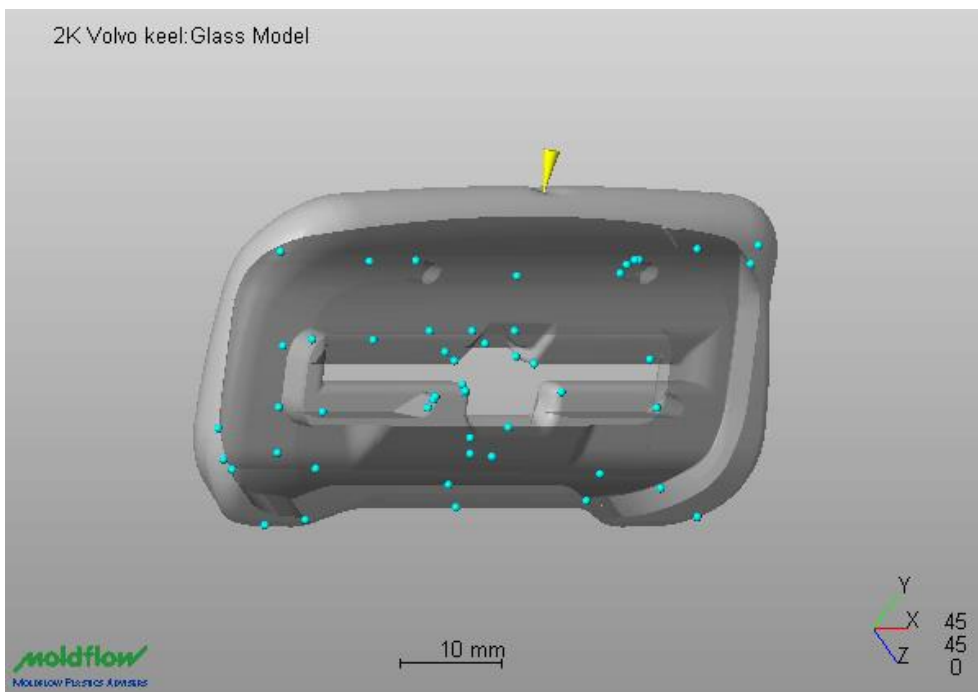
Probleemi saab lahendada mitmeti:

1. Vormi temperatuuri suurendamine pikendab polümeerse materjali jahtumise aega, parandab keevise väljanägemist ja tugevust.
2. Sulami temperatuur mõjub soodsalt keevise tugevusele.
3. Keevise kvaliteeti saab mõjutada ka sissepritse kiiruse ja pikemaajalise rõhu all hoidmisega.



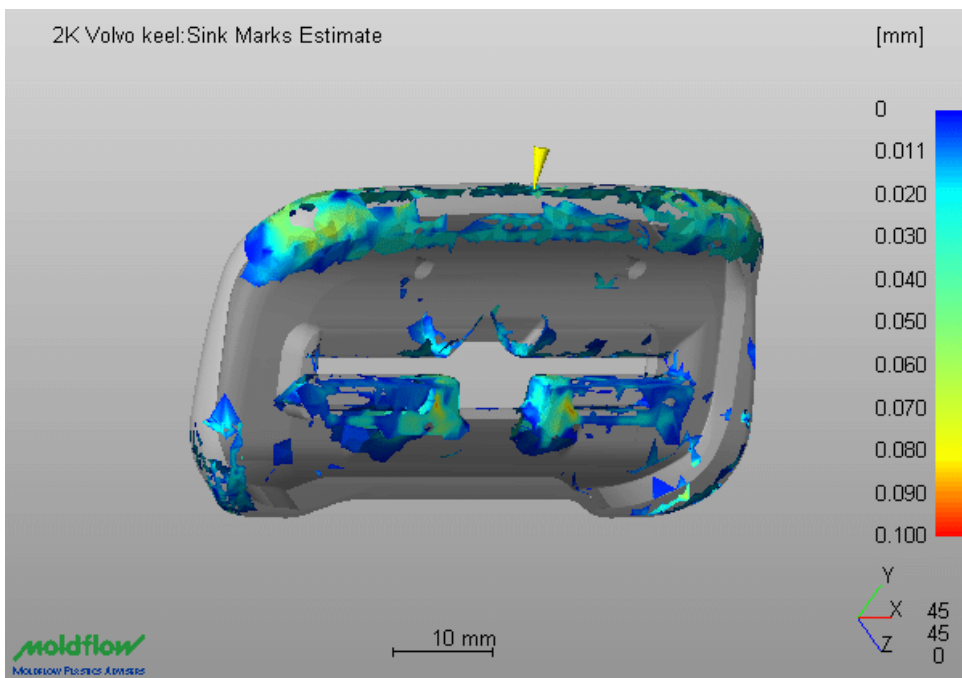
### Joonis 32. Liidete kohad.

Joonisel 33 on näidatud võimalikud õhutaskute tekkimise kohad. Nende tekkimise põhjus on selles, et sissepritsimise ajal ei jõua õhk väljuda ja jääb detaili sisse lõksu. Võimalik reguleerida sissepritsimise kiirusega.

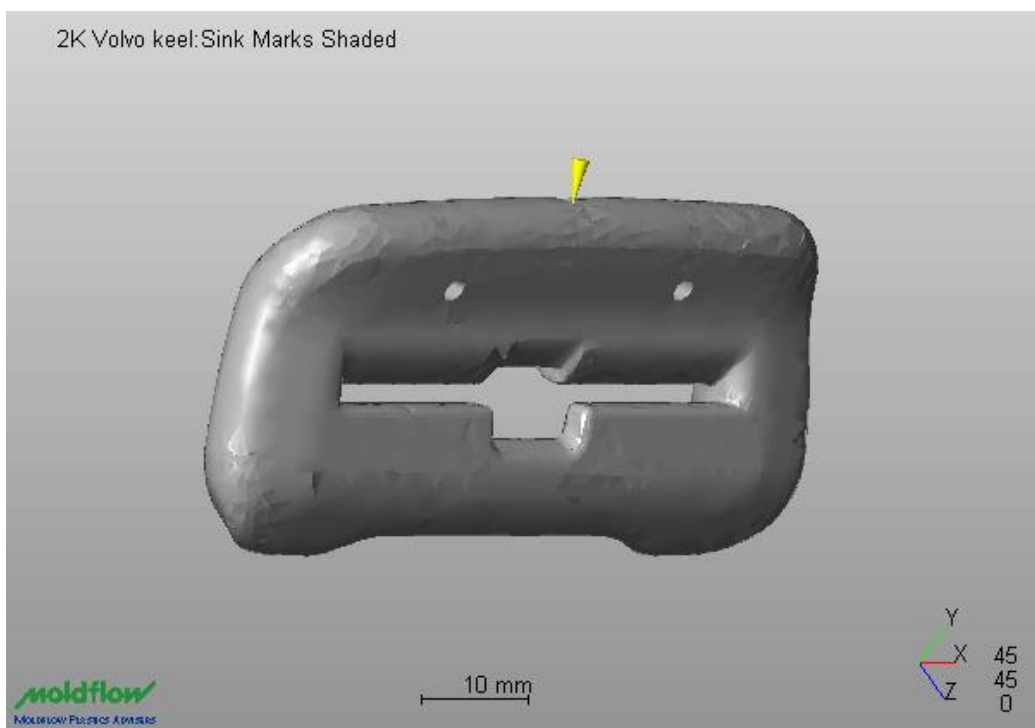


**Joonis 33. Õhutaskud.**

Joonistel 34 ja 35 on näidatud materjali kahanemine. See tekib materjali aeglase jahtumise korral. Mida aeglasemini materjal jahtub, seda enam see kahaneb. Tegemist on visuaalse e. esteetilise, mitte struktuuralse defektiga.



**Joonis 34. Kahanemise hinnang.**



### Joonis 35. Kahanemise hinnang.

**Üldine järeldus:** detaili analüüs Moldflow programmis ei toonud esile mingeid kriitilisi vigu ega olulisi möödalaskmisi. Esineb väikseid valearvestusi (õhutaskud ja liitekohad), kuid seda on võimalik vältida tehnoloogiliste parameetrite muutmisega. Detaili vormi suhtes pretensioone ei ole.

## 9. PEHME MATERJALI VALIK (VOLVO KEEL)

Pehme materjali valik on selle töö väga oluline etapp. Tuleb läbi viia põhjalik materjalide kokkusobivuse, keemilise stabiilsuse, kulumiskindluse ja erinevates keskkonnatingimustes kasutamise ning muudele erinõuetele vastavuse analüüs. Materjalide viskoosus ja kahanemine hangumisel peavad olema ligilähedased. Mida tugevam on materjalide omavaheline adhesioon, seda parema tulemuse uuringud annavad. Seega sõltub materjali õigest valikust kogu töö lõpptulemus.

Määrame kindlaks pehmele materjalile esitatavad peamised nõuded:

- Kõvadus Shore'i skaalal A45...60;
- Vedelas olekus aine hea adhesioon;
- Head töötlemisomadused ja eksploatatsioonilised näitajad;
- Vastuvõetav hind seeriatootmises.

Täiendavad nõuded:

- Materjalil peab olema väike hõõrdetegur ja väike kahanemiskoeffitsient jahtumisel;
- Kasutatavus temperatuuride vahemikus  $-40^{\circ}\text{C}$  -  $+110^{\circ}\text{C}$ ;
- Mittesüttivus
- Kulumis- ja kriimustustekindlus;
- Väike emissioon vastavuses autosalongis kasutatavatele komponentidele esitatavate nõuetega ( $\leq 10$  mg/kg).

Tellijal on ka lisanõudmisi detailile (värv, lõhn, puuetundlikkus).

Nagu eelpool öeldud, kasutatakse autotööstuses polüamiidi (PA) ja termoplastilise elastomeeri (TPE) kombinatsioone. Termoplastiline elastomeer – see on materjal, mis ühendab endas nii kummi kui plasti omadusi.

Meie põhimaterjal kuulub polüamiidide klassi (mark PA6 Bergamiid B65). Arukas oleks valida pehme materjal termoplastiliste elastomeeride (TPE) klassist. Teeme oma valiku just selle klassi materjalide seast.

**Tabel 9.1. Mõned materjali PA6 Bergamid B65 omadused <sup>[5]</sup>.**

Füüsikalised omadused		Kommentaariid
Tihedus	1,13 g/cm <sup>3</sup>	$\pm 0.03$ g/cm <sup>3</sup> ; DIN 53479
Voolavus	10 g/10 min	ISO 1133
Ühendi sulamisindeks (Melt Index of Compound)	8 g/10 min	cm <sup>3</sup> /10min; ISO 1133
Tuha sisaldus	30%	ISO 3451
Mehhaanilised omadused		Kommentaariid
Tõmbetugevus	150 MPa	ISO 527-2/5
Elastsuse moodul tõmbel	8,30 GPa	ISO 527-2/1
Suhteline pikenemine tõmbel	3%	ISO 527-2/5
Tehnoloogilised omadused		Kommentaariid

Sulamistemperatuur	223 °C	ISO 3146
Maksimaalne õhutemperatuur kasutamisel	110 °C 190 °C	Pidev: IEC 60216 Lühiajaline: IEC 60216
Temperatuuri hälve 0,46 MPa (66 psi)	220 °C	ISO 75-2/B
Temperatuuri hälve 1,8 MPa (264 psi)	210 °C	ISO 75-2/A
<b>Kirjeldus</b>		
Olek	Graanulid	
Materjali klass	Polüamiid	
Materjali tüüp	PA6	

Termoplastiliste elastomeeride seas tõusevad esile:

- Polüamiidne TPE (TPE-A);
- polüetüleenne TPE (TPE-A);
- polüstüroolne TPE (TPE-S);
- polüuretaanne TPE (TPE-U);
- vulkaniseeritud kautšuki baasil (TPE-V).

Sobiva materjali väljavalimiseks pöördusime abipalvega PolyOne Corporation poole. Esiteks, PolyOne Corporation on juhtiv spetsialiseeritud polümeermaterjalide, teenuste ja materjalide kasutamise lahenduste tarnija. Teiseks, materjal PA6 Bergamiid B65, mida kasutatakse Volvo turvavöö keelte valmistamiseks, tellitakse sellest firmast. Järelikult, neil on ettekujutus ka sellest, milline materjal tagab parima adhesiooni PA6 Bergamid B65-ga.

PolyOne Corporation soovitas pehme materjali aluseks võtta materjali seeriast S KG, mis on välja töötatud spetsiaalselt polüamiididega (PA6/PA66)liitmiseks. Nende kinnituse kohaselt saavutab materjal OnFlex™-S KG suurepärase adhesiooni polüamiidsete polümeeridega.

OnFlex™-S KG võib kasutada kahekomponentseks survevaluks. OnFlex™-S KG tagab tugeva tehnoloogilise kontakti (hea töötlemise võimalus) ja hea hinna/kvaliteedi suhe, lai tugevuse spekter ja head mehhaanilised omadused.

PolyOne Corporation pakkus välja materjalid OnFlex™-S KG 50A-3S2017 и OnFlex™-S KG 60A-3S2018 (mille kõvadus Shore'i skaalal on vastavalt 50A ja 60A).

**Tabel 9.2. Mõningad materjali OnFlex™-S KG 50A-3S2017 omadused <sup>[5]</sup>.**

<b>Füüsikalised omadused</b>		<b>Kommentaariid</b>
Tihedus	1,13 g/sm <sup>3</sup>	ISO 1183
Ühendi sulamisindeks (Melt Index of Compound)	20 g/10 min	cm <sup>3</sup> /10min; ISO 1133
<b>Mehhaanilised omadused</b>		<b>Kommentaariid</b>
Kõvadus, Shore A	50	ISO 868
Tõmbetugevus	3,20 MPa	ISO 37
Tõmbepinge	1,70 MPa (koormusa 100%)	ISO 37
	2,60 MPa (koormus 300%)	ISO 37
Suhteline pikenemine tõmbel	330%	ISO 37
<b>Tehnoloogilised omadused</b>		
Töötlemis temperatuurid	200 - 260 °C	
Pressvormi temperatuur	30,0 – 50,0 °C	
Kuivatustemperatuur	100 °C	
Kuivamise aeg	2,00 h	
<b>Kirjeldus</b>		
Eriomadused	Üldotstarbeline Hea adhesioon	
Olek	Graanulid	
Materjali klass	TPE	
Materjali tüüp	TPE-S	
Hinnang sissepritsimisele	Mõõdukas	
Töötlemismeetod	Survevalu Mitmrkomponendiline survevalu	
Kasutusala	Autoasjandus Tarbeesemed Tööstus jne.	

**Tabel 9.3. Mõned materjali OnFlex™-S KG 60A-3S2018 omadused <sup>[5]</sup>.**

<b>Füüsikalised omadused</b>		<b>Kommentaariid</b>
Tihedus	1,13 g/sm <sup>3</sup>	ISO 1183
Ühendi sulamisindeks (Melt Index of Compound)	20 g/10 min	cm <sup>3</sup> /10min; ISO 1133
<b>Mehhaanilised omadused</b>		<b>Kommentaariid</b>
Tõmbetugevus	60	ISO 868
Tõmbepinge	3,50 MPa	ISO 37
Suhteline pikenemine tõmbel	2,20 MPa (koormus 100%)	ISO 37
Suhteline pikenemine tõmbel	290%	ISO 37
<b>Tehnoloogilised omadused</b>		
Töötlemis temperatuurid	200 - 260 °C	
Pressvormi temperatuur	30,0 – 50,0 °C	
Kuivatustemperatuur	100 °C	
Kuivamise aeg	2,00 h	
<b>Kirjeldus</b>		
Eriomadused	Üldotstarbeline Hea adhesioon	

Olek	Graanulid
Materjali klass	TPE
Materjali tüüp	TPE-S
Hinnang sissepritsimisele	Mõõdukas
Töötlemismeetod	Survevalu Mitmekomponentne survevalu
Kasutusala	Autoasjandus Tarbeesemed Tööstus jne.

Kui võrrelda põhimaterjali (PA6 Bergamid B65) ja pehme materjali (OnFlex™-S KG) töötlemise temperatuure, on need ligilähedased, mis on protsessi jaoks väga oluline. Samuti on materjalide tihedus ja viskoossus sarnased.

## 10. LIGIKAUDED PROTOTÜÜPIDE VALMISTAMISE KULUD

### Inseneritööd:

- Prototüüpide esialgsete mudelite projekteerimine;
- Koos PA6 Bergamid B65 kasutatava pehmeks materjaliks sobivate materjalide uurimine

Prototüüpide esialgsete mudelite projekteerimine: 30h, 60 EUR/h 1800 EUR

Sobiva materjali uurimine: 25 h, 60 EUR/h 1500 EUR

**Summaarne inseneritöö: 3300 EUR**

### Prototüüpide loomiseks vajalik sisseseade ja prototüübid:

- Prototüüpide loomiseks vajalik sisseseade
- 5 katseeksemplari valmistamine

Sisseseade rent: 3200 EUR

Prototüübid: 5 tk., 60 EUR/tk. 300 EUR

**Summaarne prototüüpide valmistamise kulud: 3500 EUR**

**Kiire prototüüpde valmistamise üldised kulud: 6800 EUR**

Kulutatav aeg: 8 töönädalat



## 11. VALMINUD PROTOTÜÜBID JA TULEMUSED (VOLVO KEEL)

Rahaliste vahendite kokkuhoidmise eesmärgil pidasime otstarbekaks kasutada kiire prototüüpimise meetodit (rapid prototype examples). Valuvormi prototüübi valmistamiseks pöördusime firma CMA Plastic Injection Moulding and Tooling poole. Valuvormi prototüüp valmistati 3D-printeri abil. Valmistati kahekomponentsete Volvo turvavöö keelte prototüübid.

Põhimaterjalina kasutati PA6 Bergamid B65, pehmema materjalina OnFlex™-S KG (50A-3S2017 ja 60A-3S2018).

Tulemused on esitatud joonistel 36, 37 ja 38.



**Joonis 36. Kahekomponentse Volvo turvavöö keele prototüüp.**



**Joonis 37. Kahekomponentse Volvo turvavöö keele prototüüp.**



**Joonis 38. Kahekomponentse Volvo turvavöö keele prototüüp.**

Nagu fotodel näha, ei andnud pehme materjali OnFlex™-S KG adhesioon soovitud tulemust. Paljudes põhimaterjali ja pehme materjali liikumiskohtades kontak puudub sootuks. Nagu näha joonisel 37, ei ole pehme materjal üldse adhesiivne. Teoreetiliselt peaks TPE-S materjalid olema head adhesiivid (nii difuusse kui keemilise adgesiooni puhul) polüamiidide (PA 6) jaoks. Sellest kõnelevad ka materjali tootja PolyOne praktilised uurimused.

On tõenäoline, et prototüüpide valmistamisel rikuti tootmistehnoloogiat. Kas ei olnud materjalid piisavalt hästi ette valmistatud ( kasutades materjali PA6 Bergamid B65, on ilmingimata vajalik eelnev kuivatamine).

### **Koreas toodetud kahekomponentne turvavöö keel.**

Kõva ja pehme materjali hea adhesioon on saavutatud Koreas toodetud turvavöö keelel. Põhimaterjalina kasutatakse siin polüamiidi PA66 (ST801), pehme materjalina TPU (ESTANE T370A).

On teada, et TPU'del ei teki polüamiididega keemilist adhesiooni (nii PA6 kui ka PA66). TPU ühineb hästi ABS/PC ja teiste akrüülsete polümeeridega.

Kõige tõenäolisem on, et korea tootja turvavöö keel on saavutanud nii hea adhesiooni mehhaanilise liitmise teel (seda kirjeldati eelpool, lk. 26) tänu põhimaterjali pinna ebatasasusele.



**Joonis 39. Koreas valmistatud turvavöö keel.**



**Joonis 40. Koreas valmistatud turvavöö keel**



**Joonis 41. Koreas valmistatud turvavöö keel.**

## 12. KAHEKOMPONENTSE TURVAVÖÖ KEELE (UUS DISAIN)

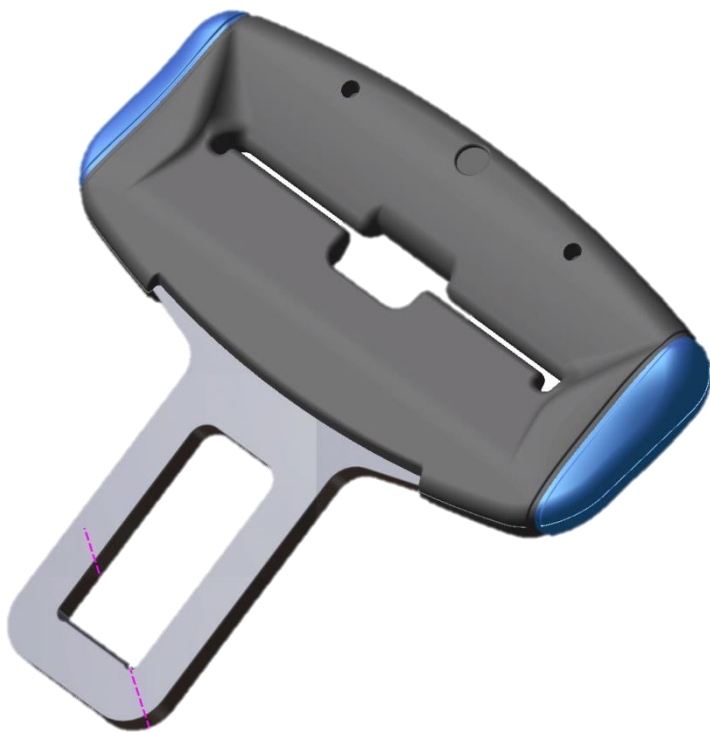
Pärast ebaõnnestunud katseid Volvo Car Corporation turvavöö keelte prototüüpide moderniseerimisel tekkis idee muuta keele disaini.

See võimaldab:

1. Kasutada keelt ka teistes projektides (kaasata teisi tellijaid).
2. Muuta keel ergonomilisemaks ja disain meeldivamaks.
3. Kasutada teist põhimaterjali, mis annab laiemad võimalused survevalu jaoks sobiva pehme komponendi leidmiseks.

Disiaini idee pakkus Volvo Car Corporation'ile huvi ja nad kiitsid idee heaks. Luku keel on veidi sirgem kui Volvo omal, seepärast anti disainile nimeks Flat (Lapik).

Joonistel 42 ja 43 (vaade eest ja tagant) on esitatud uudse disainiga kahekomponentne keel.



**Joonis 42. Uudse disainiga kahekomponentne keel (eestvaade).**



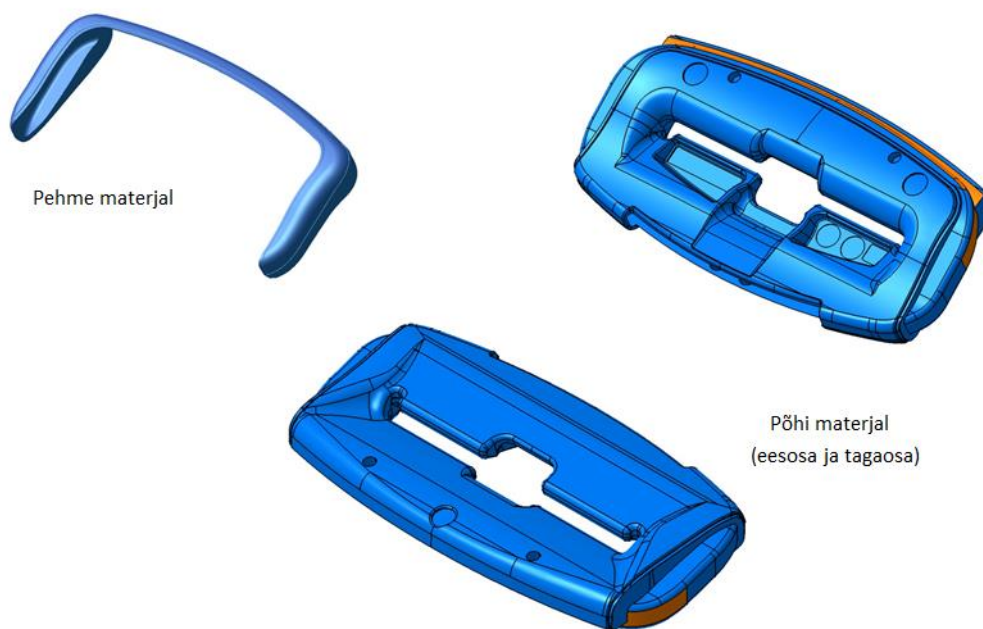
**Joonis 43. Uudse disainiga kahekomponentne keel (tagantvaade).**

Keele uudse disaini loomisest tuleks esile tõsta mõned olulised punktid:

1. Nii esi- kui tagumise pinna katmine pehme materjaliga.
2. Soonte vajalikkus ja nende mõõdud.
3. Pehme ja põhimaterjali paksus (mõõdud).

Pehme materjaliga kaetakse külgede servade esipool ja piki keele perimeetrit tagumine pool, nagu näha joonisel 44. Esipoole ülemises servas pehmet materjali ei ole, et vältida selle võimalikku kokkupuudet turvavöö rihmaga.



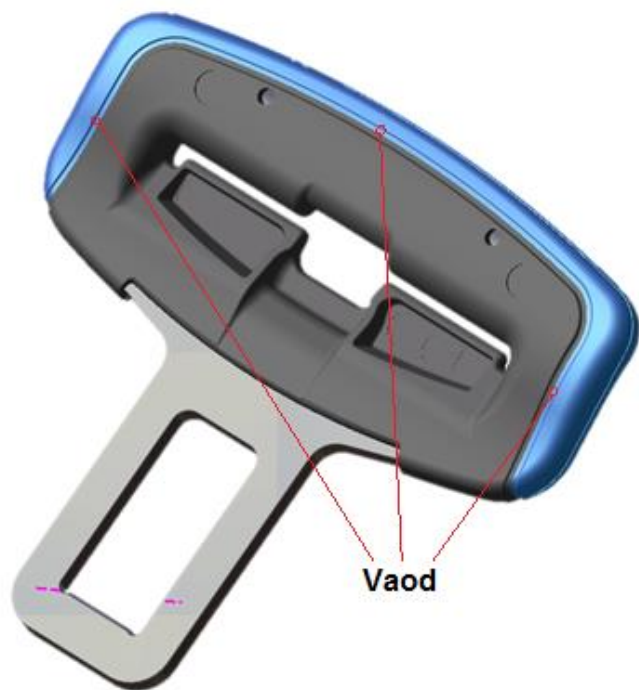


#### **Joonis 44. Pehme ja põhimaterjali jaotumine.**

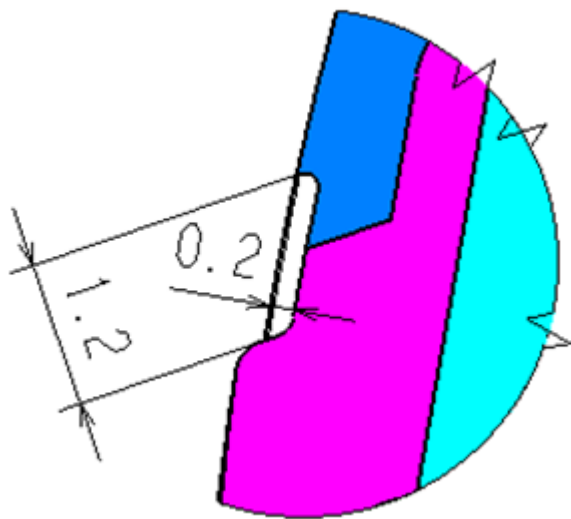
Kui pind jätta siledaks, tekivad kahe komponendi liitumiskohtades ebatasused, mis rikuvad detaili väljanägemist. Selle vältimiseks on niisugustesse liitekohtadesse projekteeritud „vaod” (joonis 45).

Kõik valamisest tekkinud ebatasused jäävad nendesse vagudesse mõõtudega 1,2 mm x 0,2 mm (joonis 46).

Vao sügavus peaks olema minimaalne, et pikemaajalise kasutamise käigus ei hakkaks sinna mustust kogunema.



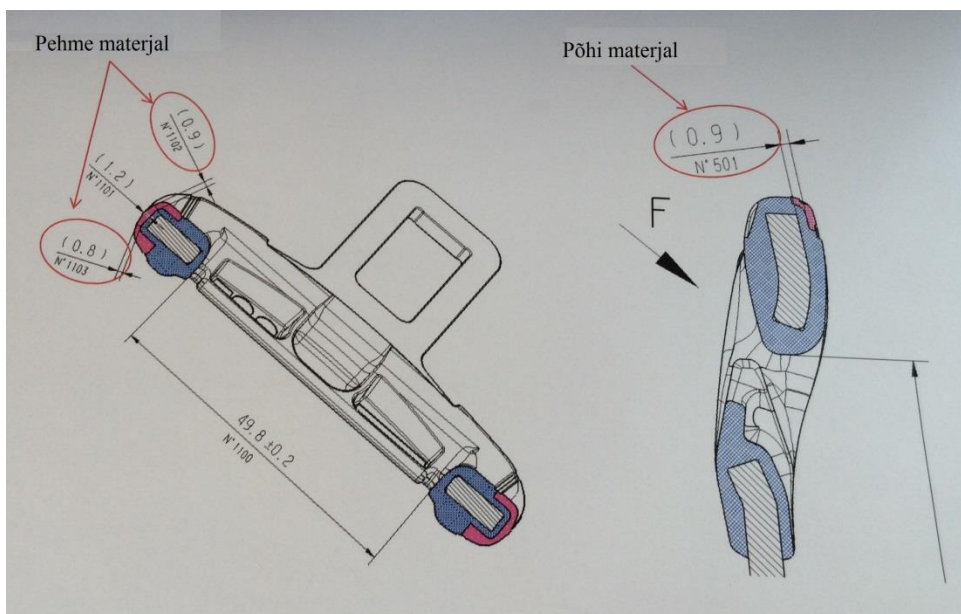
Joonis 45. Kahe komponendi liitumiskohad ja „vaod”.



Joonis 46. „Vagude” mõõdud».



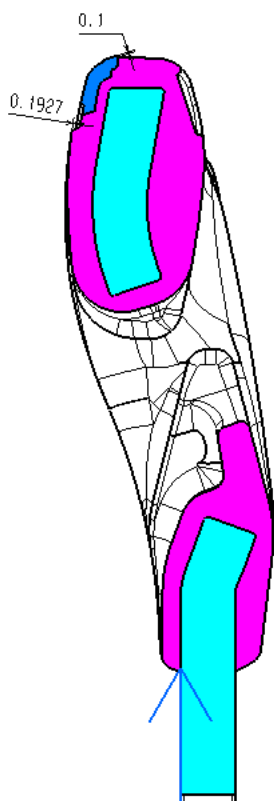
Tehnoloogilistest nõuetest lähtuvalt on põhimaterjali paksus minimaalselt 0,7 mm. Plastmassi valamisel jääb plastiku paksus ebäühtlaseks. Kui see valada õhemana kui 0,7 mm, võivad detailile jääda katmata kohad. Leiti kompromisne lahendus tehniliste nõuete ja tellija soovi vahel – valatud põhimaterjali paksuseks võeti 0,9 mm ja pehma materjali paksuseks 0,8 mm (joonis 47).



**Joonis 47. Pehme ja põhimaterjali paksus.**

Tagumisel poole on põhimaterjali pind pehmest pinnast 0,2 mm kõrgem (joonis 48). See on tehtud selleks, et vältida esmast kontakti rihma ja pehme materjali vahel. Sel eesmärgil tegime „silla” 0,1 mm võrra madalamaks.) Joonis 49.

Section view A-A  
Scale: 5:1



**Joonis 48. Põhimaterjali pind on kõrgem kui pehme pind.**



**Joonis 49. Pehme materjali pind viidi 0,1 mm madalamale , et vältida rihma ja pehme pinna kokkupuudet.**

Põhimaterjaliks valisime polüpropeeni. Seda mitmel põhjusel:

- Materjal on end autotööstuses hästi tõestanud.
- On edukalt kasutatud ka teist tüüpi keelte juures.
- Kerge utiliseerida
- Madal omahind.
- Head mehhaanilised omadused.

Polüpropüleeni puudustest tuleb esile tõsta selle tundlikkust valguse suhtes. Valguse ja hapniku mõjul toimuvad polüpropüleenis lagunemisprotsessid, põhjustades läike kadumist, pragunemist, mehhaaniliste ja füüsikaliste omaduste halvenemist. Niisuguste reaktsioonide peatamiseks lisatakse polümeerseid materjale stabiliseerivaid spetsiaalseid lisandeid <sup>[6]</sup>.

Veel üks puudus – madal külmataluvus (rabadaks muutumise  $t = -5$  kuni  $-15$  °C), kuid sellegi puuduse aitavad likvideerida lisandid.

Polüpropüleeni mark Hostacom PPR 1042 HL21S.

PPR tähendab polüpropüleeni liiki (keskmise polüetüleeni sisaldusega polümeer). Materjalil on hea löögikindlus ja see on kasutatav madalatel temperatuuridel. Kulumiskindel. Keemiliselt stabiilne. Resistentne hapete, aluste, soolalahusete, mineraal- ja taimeõlide toimele ka kõrgetel temperatuuridel. Toatemperatuuril ei lahustu orgaanilistes lahustites. Madala niiskuse imamise võimega. Heade isoleerivate omadustega suures temperatuuride diapsoonis. Kergesti töödeldav.

**Tabel 12.1. Materjali Hostacom PPR 1042 HL21S mõningad omadused <sup>[7]</sup>.**

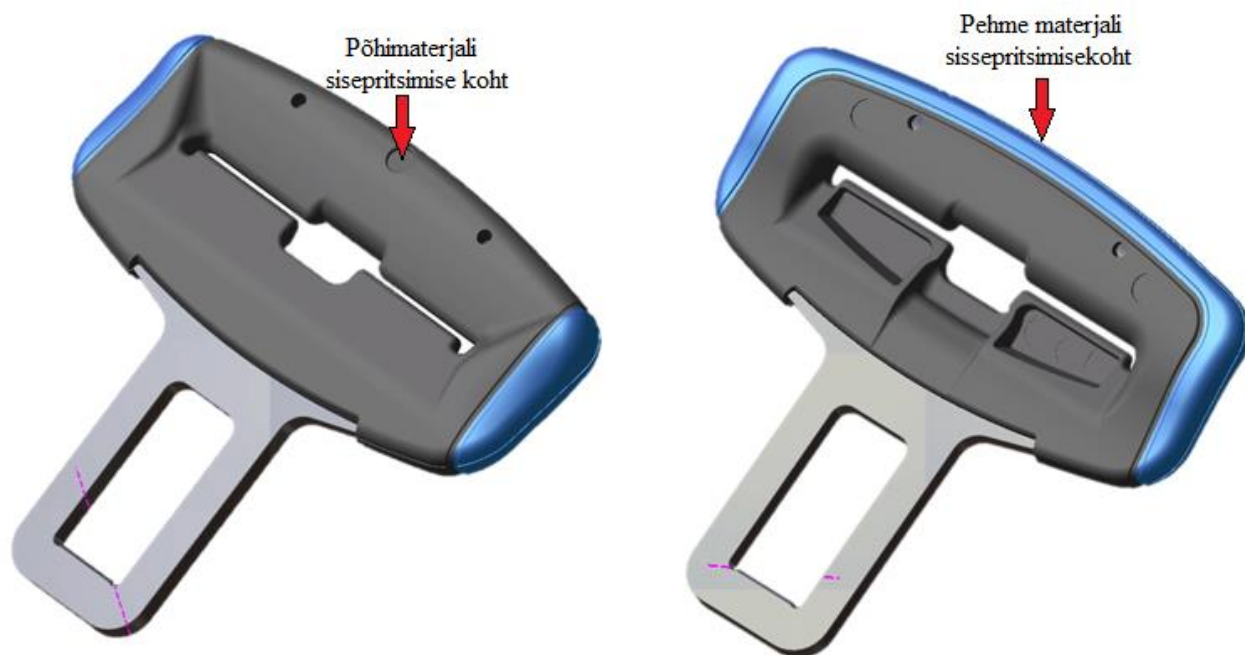
<b>Füüsikalised omadused</b>		<b>Kommentaariid</b>
Tihedus	0,900 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Voolavus	3,8 g/10 min	ISO 1133
Ühendi sulamisindeks (230°C/2.16 kg)	5,70 cm <sup>3</sup> /10 min	ISO 1133
<b>Mehhaanilised omadused</b>		<b>Kommentaariid</b>
Elastsuse moodul tõmbel	1,15 GPa	ISO 527-2
Tõmbetugevus	25,0 MPa	ISO 527-2/50
<b>Tehnoloogilised omadused</b>		
Töötlemis temperatuurid	180 - 240 °C	
Kahanemine	3,8%	
Pehmenemise temperatuur	76 °C	

## 13. MOLDFLOW ANALÜÜS (UUS DISAIN)

Nii nagu ennegi, huvitavad meid järgmised Moldflow analüüsid:

- valuvormi materjaliga täitmise aeg;
- valuvormi materjaliga täitmise tase;
- sissepritsimise rõhk;
- rõhu langus;
- sulami temperatuur detaili erinevates punktides;
- kvaliteedi prognoos;
- fusiooni võimalikud asukohad;
- õhutaskute tekkekohad;
- sileduse hindamine.

Aruande jaoks analüüsiti eraldi osa ainult põhimaterjaliga ja teine osa ka pehme materjaliga kaetud detaile.



**Joonis 50. Kahe komponendi sissepritsimise kohad.**

### 13.1 Uue kahekomponentse turvavöö keele analüüside aruanne (põhimaterjaliga kaetud osa)

Põhimaterjal: Hostacom PPH 1850

Selgitus: Moldflow programmi andmebaasis ei ole materjali Hostacom PPR 1042 HL21S. Sellepärast valiti analüüside tegemiseks teine materjal (analoogsete omadustega polüpropüleen).

Sissepritsimise maksimaalne surve: 100MPa

Pressvormi temperatuur: 40 °C

Sulami temperatuur: 255 °C

Mudeli vastavus: Mudel on tervikuna analüüsikõlblik

Sissepritsimise aeg: 0,55 sec

Sissepritsimise rõhk: 11,30 MPa

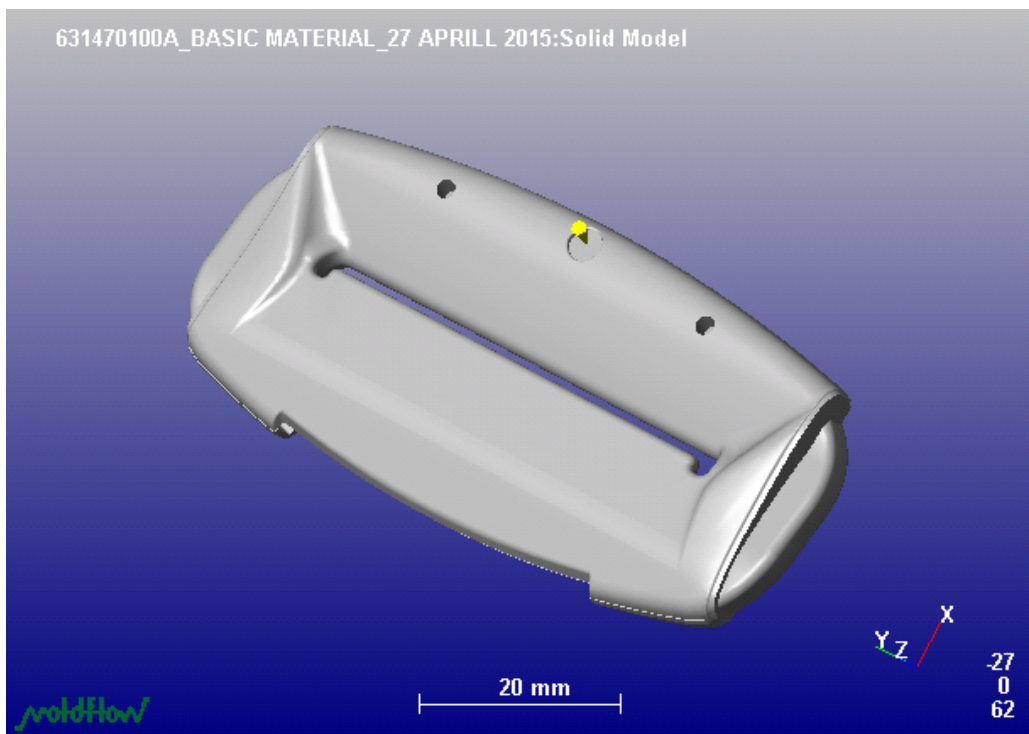
Sulamisjooned: Jah

Õhutaskud: Jah

Materjali maht: 7,85 sm<sup>3</sup>

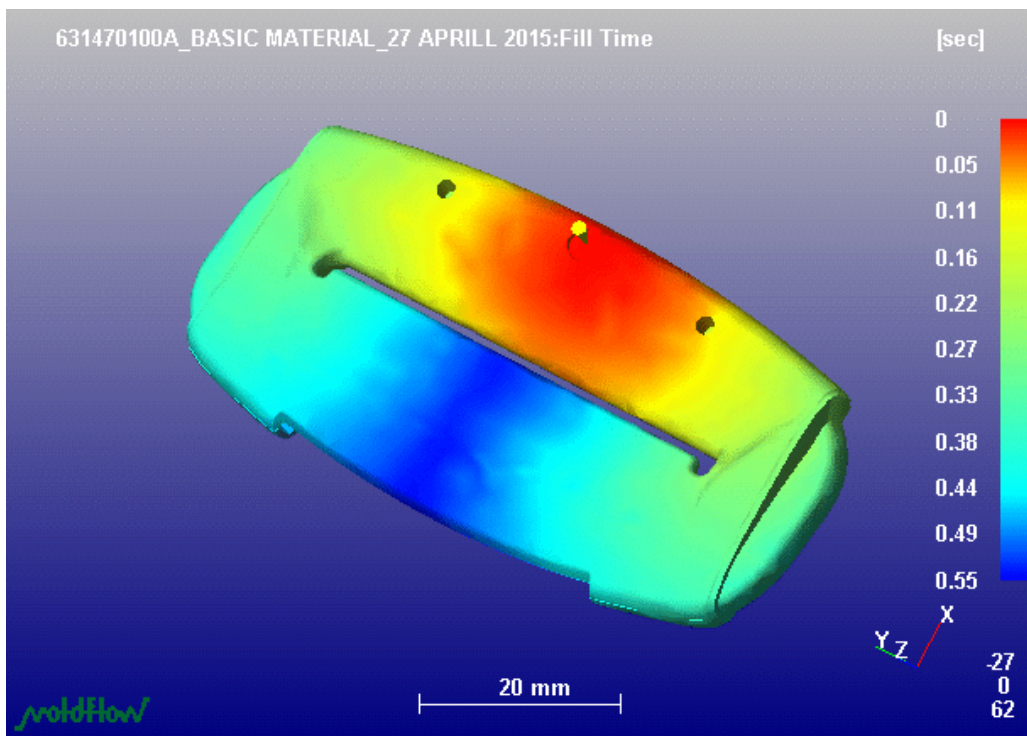
Tsükli pikkus: 19,31 sec

Graafiline analüüs on esitatud joonistel (Imporditud programmi CATIA 3D keskkonnast).



**Joonis 51. Detaili mudel.**

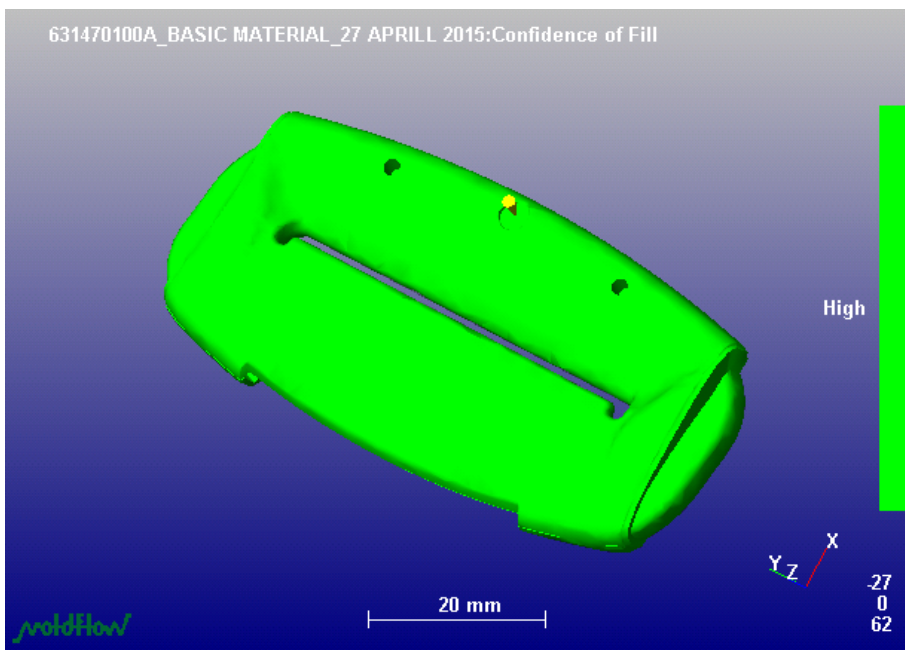
Vormi täitmiseks kuluva aja skaala on esitatud joonisel 52. Nagu näha, detaili alumine osa viimasena. Molflow Adviser'i keskkonnas on näha vormi täitumise protsessi animatsiooni kujul.



**Joonis 52. Valuvormi täitumise aeg – sulami sissepritsimisele kuluv aeg.**

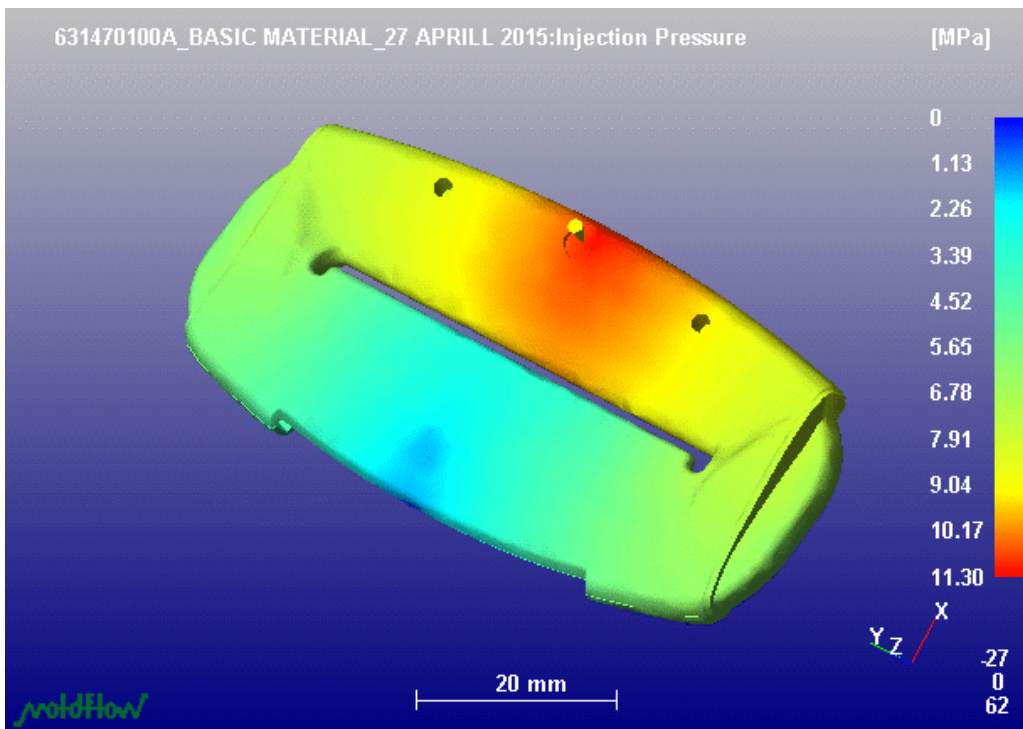
Kvaliteetse detaili saab juhul, kui sulam täidab vormi ühtlase kiirusega. Meie eksperimendis see nii toimuski (joonis 52).

Joonisel 53 esitatakse valuvormi sulamiga täitmise tase (roheline – kõrge). On arusaadav, et täidetud on kogu vorm, see tähendab, et tühimikke ei ole. See on hea näitaja. Oleneb temperatuurist ja survest.



**Joonis 53. Materjaliga täitumise nivoo.**

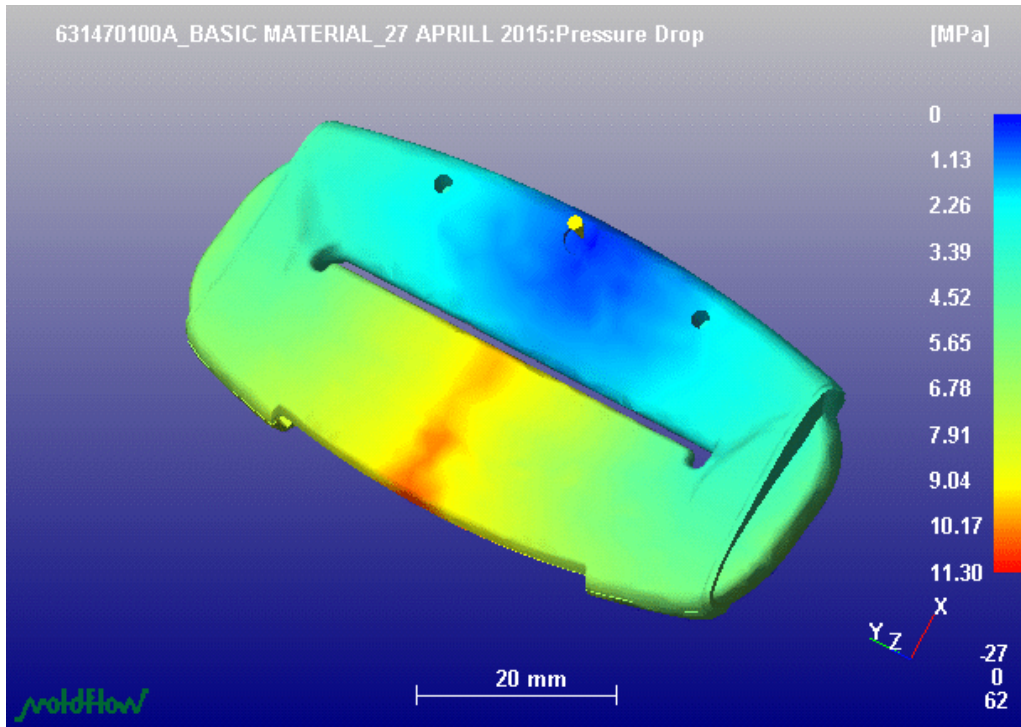
Joonisel 54 on esitatud sissepritsimise rõhk. Ülemises osas (sissepritsise koht) on rõhk maksimaalne, detaili alumises osa – minimaalne.



**Joonis 54. Sissepritsimise rõhk.**

Rõhu langusega on otse vastupidi (minimaalne langus on detaili ülemises osas, maksimaalne alumises. Joonis 55 näitab sulami selle kohani toimetamiseks vajalikku rõhku.

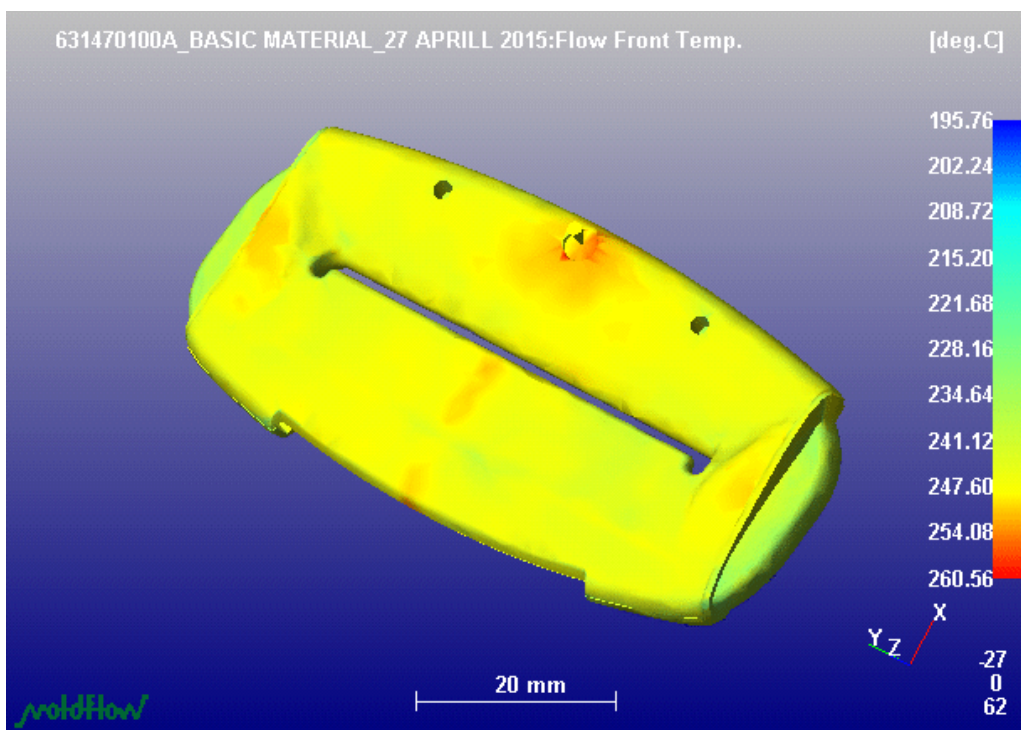




**Joonis 55. Rõhkude erinevus.**

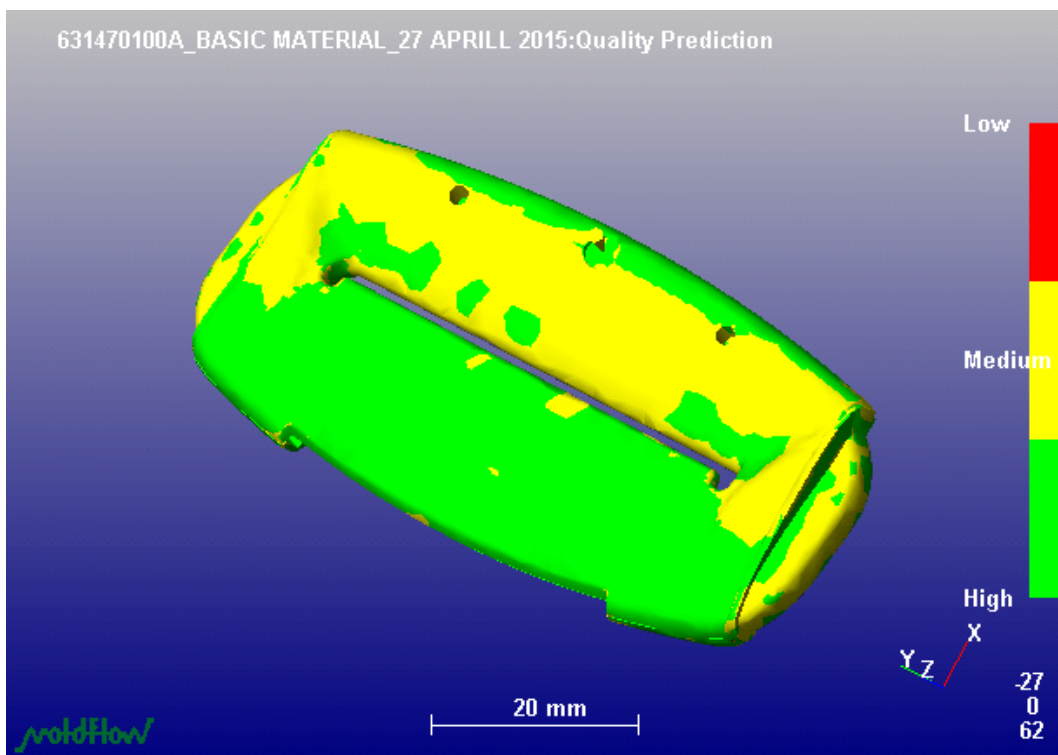
Joonisel 56 on kujutatud sula materjali temperatuur detaili erinevates kohtades. Tulemus näitab sulami temperatuuri muutumist sissepritsimise jooksul. Kohtades, kuhu materjalil on raskem pääseda, on temperatuur madalam. Neid kohti täites on materjal juba jahtunud.





**Joonis 56. Sula materjali temperatuur detaili erinevates kohtades.**

Joonis 57 iseloomustab detaili kvaliteedi prognoosi. Rohelise värviga märgitud kohad on kõrge kvaliteediga, kollased – võimalike kvaliteediprobleemidega.

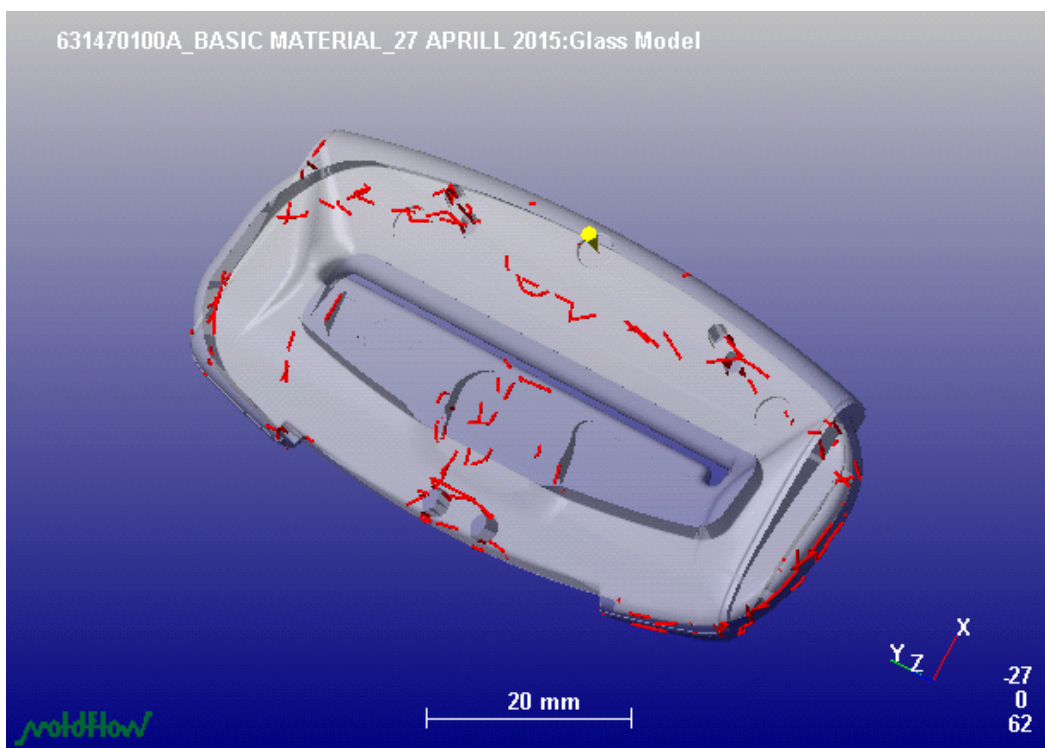


**Joonis 57. Kvaliteedi prognoos.**

Joonis 58 näitab erinevate materjalide kokkusulamise kohti. Keevised tekivad survevalu vormi täitmise protsessis. Neis kohtades võib ilmned defekte. Liitekohta, kus sulami vool lakkab kohe pärast liite tekkimist, nimetatakse „külmaks” keeviseks (cold weld). Seda nimetatakse ka „otsaliiteks” (weld line). Niisuguste „külmade” liidete tekkimine rikub sageli detaili väljanägemist, vähendab vastupidavust ja muid valatud detaili eksploatatsiooni karakteristikuid.

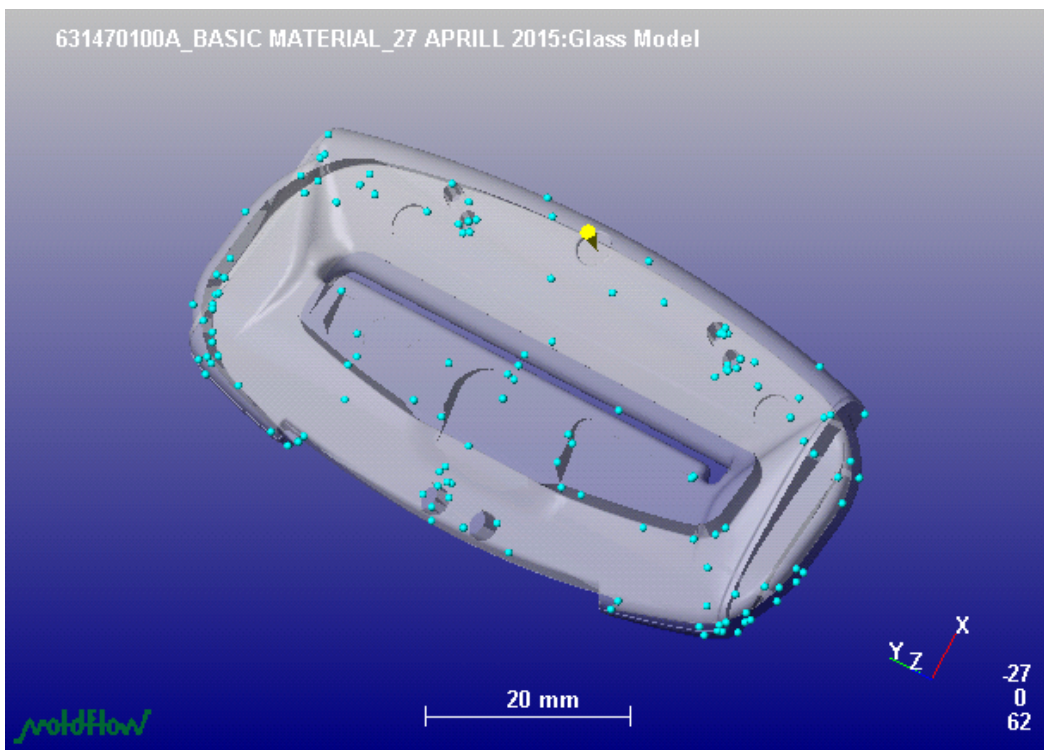
Probleemi saab lahendada mitmeti:

1. Vormi temperatuuri suurendamine pikendab polümeerse materjali jahtumise aega, parandab keevise väljanägemist ja tugevust.
2. Sulami temperatuur mõjub soodsalt keevise tugevusele.
3. Keevise kvaliteeti saab mõjutada ka sissepritse kiiruse ja pikemaajalise rõhuga.



**Joonis 58. „Külmade” keeviste tekkekohad.**

Joonisel 59 on näidatud võimalikud õhutaskute tekkimise kohad. Nende tekkimise põhjus on selles, et sissepritsimise ajal ei jõua õhk väljuda ja jääb detaili sisse lõksu. Võimalik reguleerida sissepritsimise kiirusega.

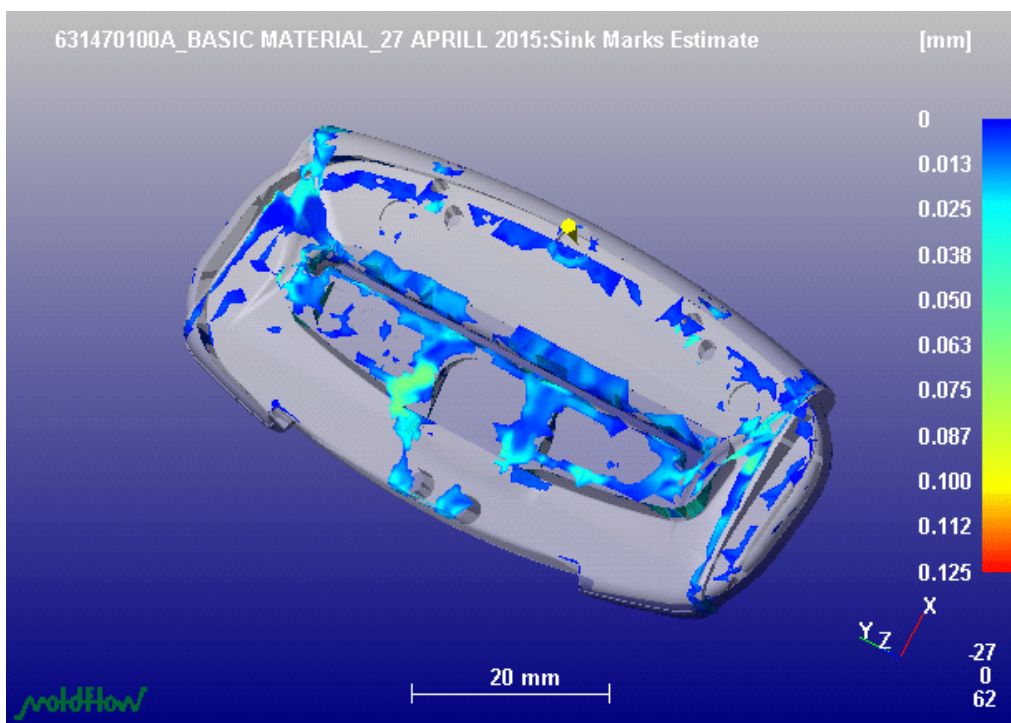


### Joonis 59. Õhutaskud.

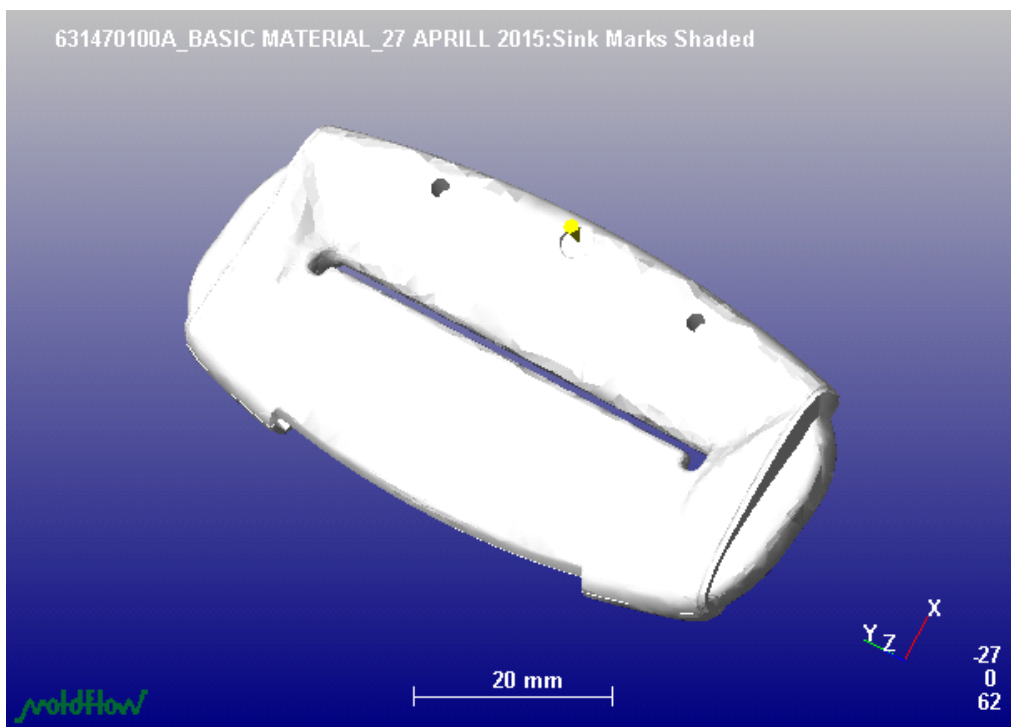
Nendest vabanemiseks on mitu võimalust:

1. Valuvormi projekteerimisel nähakse ette õhu väljumise avad.
2. Alandada valamise rõhku (töö käigus)
3. Vähendada sissepritsimise kiirust (töö käigus).

Joonistel 60 ja 61 on näidatud materjali kahanemine. See tekib materjali aeglase jahtumise korral. Mida aeglasemini materjal jahtub, seda enam pind kahaneb. Kahanemine on visuaalne e. esteetiline, mitte strukturealne defekt.



**Joonis 60. Kahanemise hinnang.**



**Joonis 61. Kahanemise hinnang.**

### 13.2 Uue kahekomponentse turvavöö luku analüüsi (pehmematerjaliga kaetud osa).

Pehme materjal: Hostacom PPH 1850

Selgitus: Moldflow programmi andmebaasis puudub materjal Karilen. Seetõttu valiti analüüsiks teine sarnaste omadustega materjal.

Sissepritsimise maksimaalne rõhk: 100 MPa

Pressvormi temperatuur: 40 °C

Sulami temperatuur: 255 °C

Mudeli vastavus: Mudel on tervikuna analüüsikõlblik.

Sissepritsimise kestvus: 0,38 sec

Sissepritsimise rõhk: 32,91 MPa

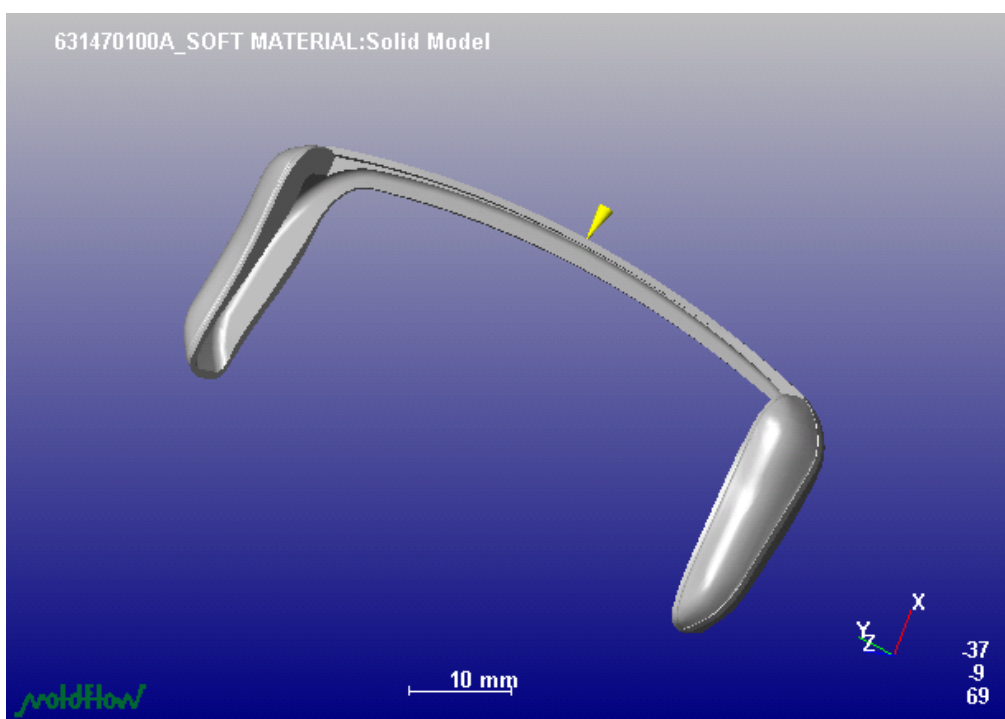
Keevised: Jah

Õhutaskud: Jah

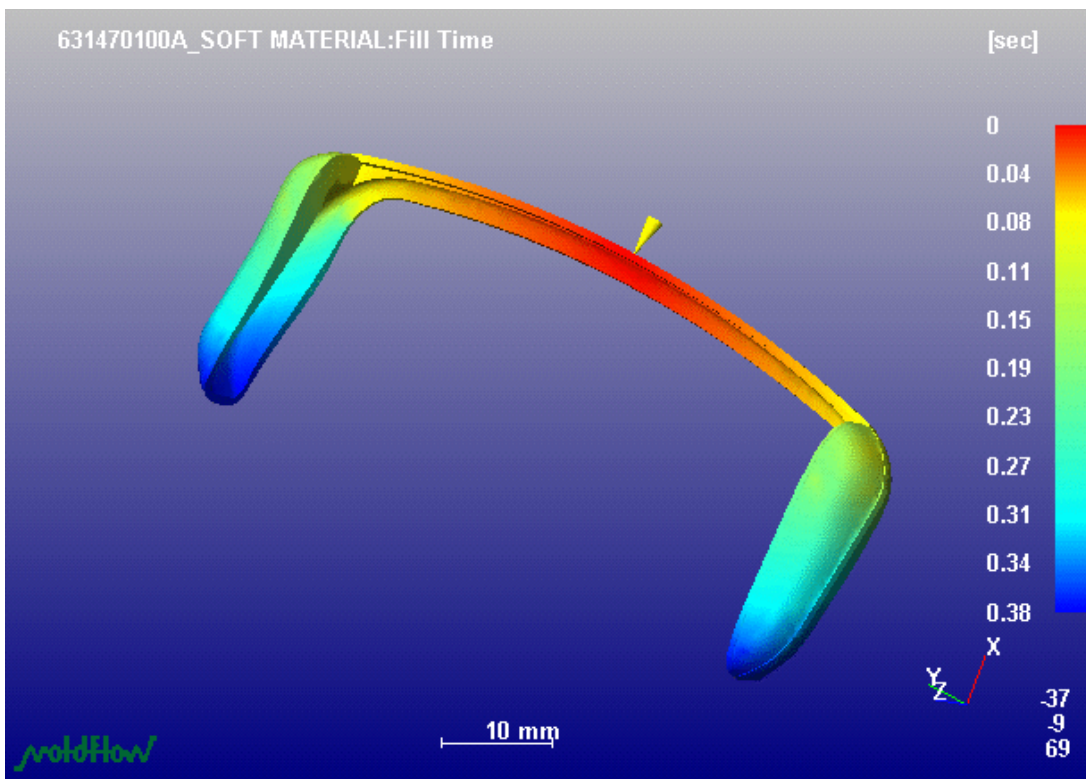
Materjali maht: 1,02 sm<sup>3</sup>

Tsükli pikkus: 21,25 sec

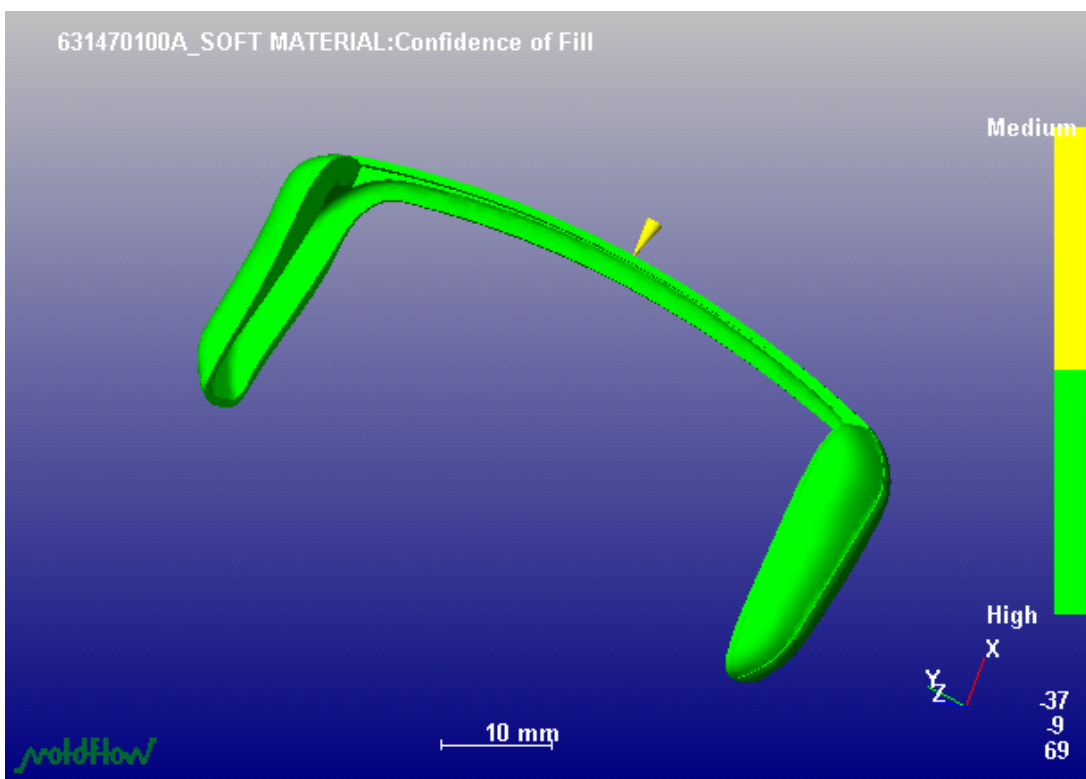
Graafiline analüüs on esitatud joonistel:



**Joonis 62. Detaili mudel.**

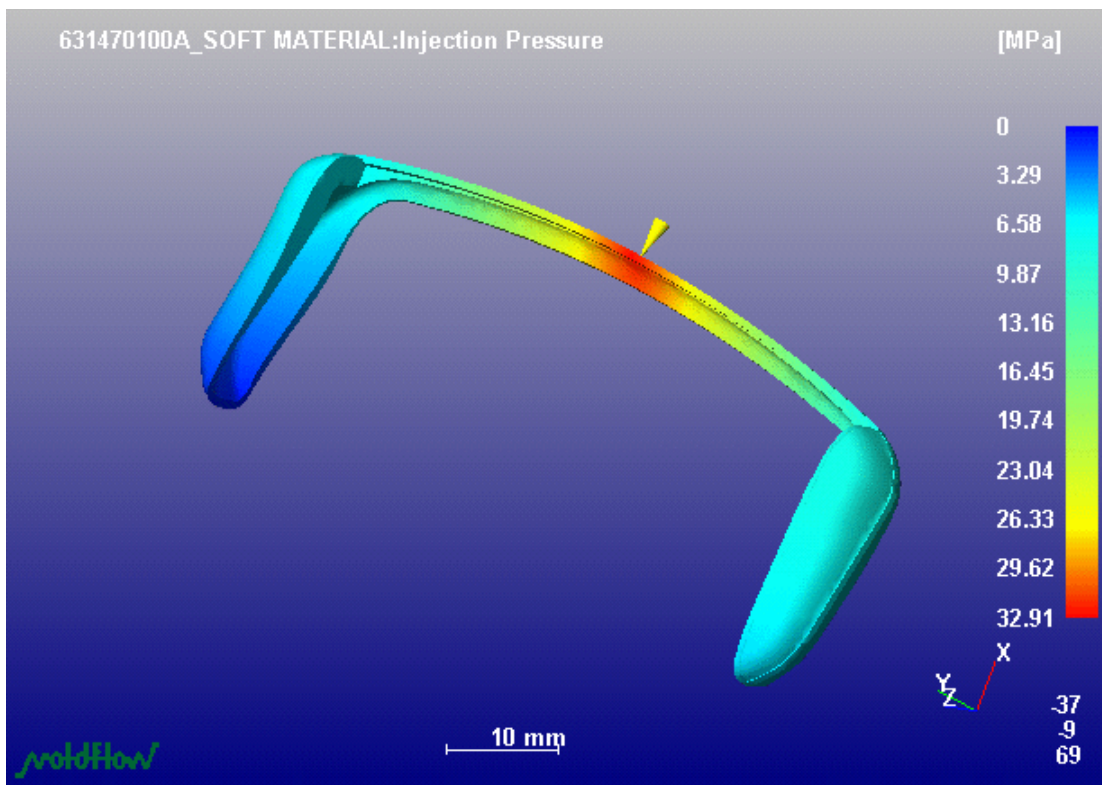


**Joonis 63. Vormi sulamiga täitmise aeg – sissepritsimise aeg.**

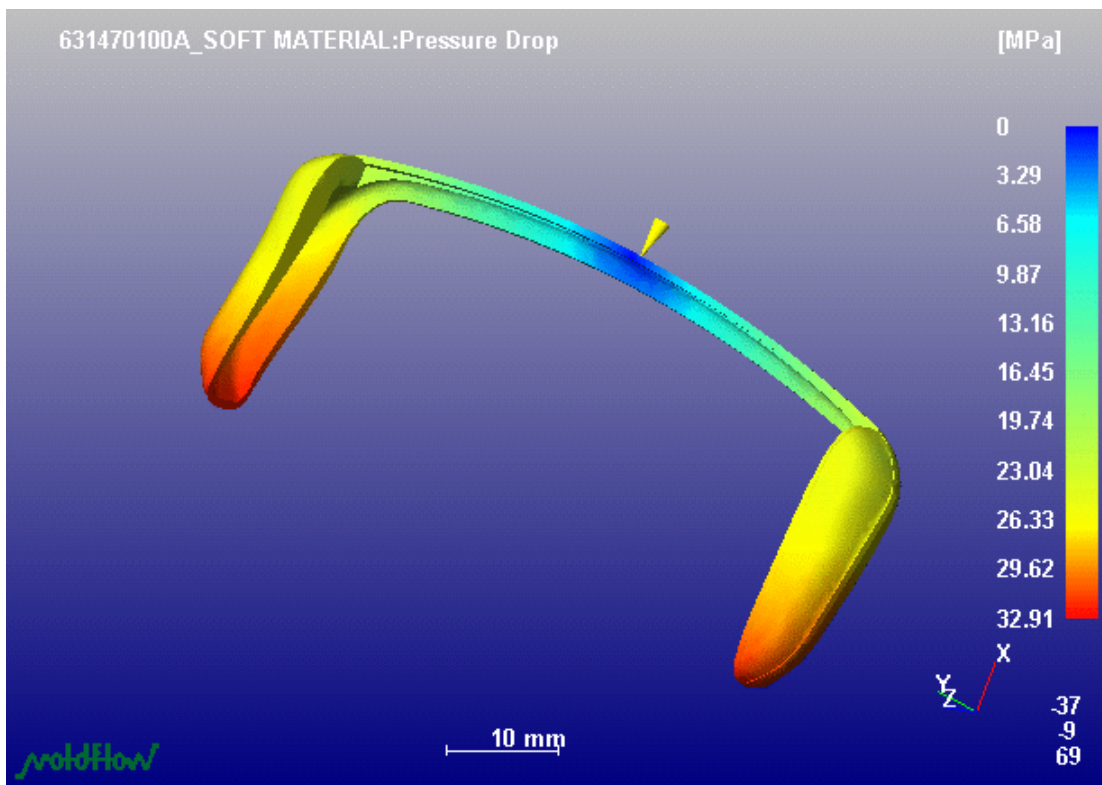


**Joonis 64. Vormi sulamiga täitmise nivoo.**

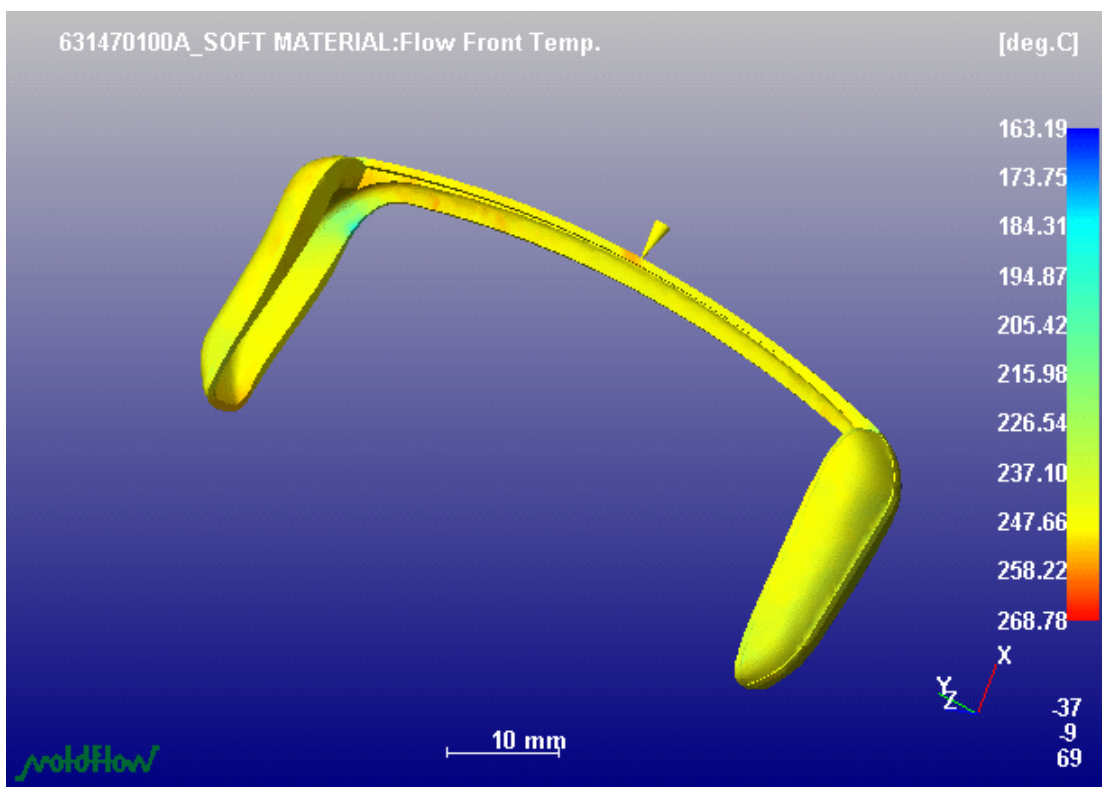




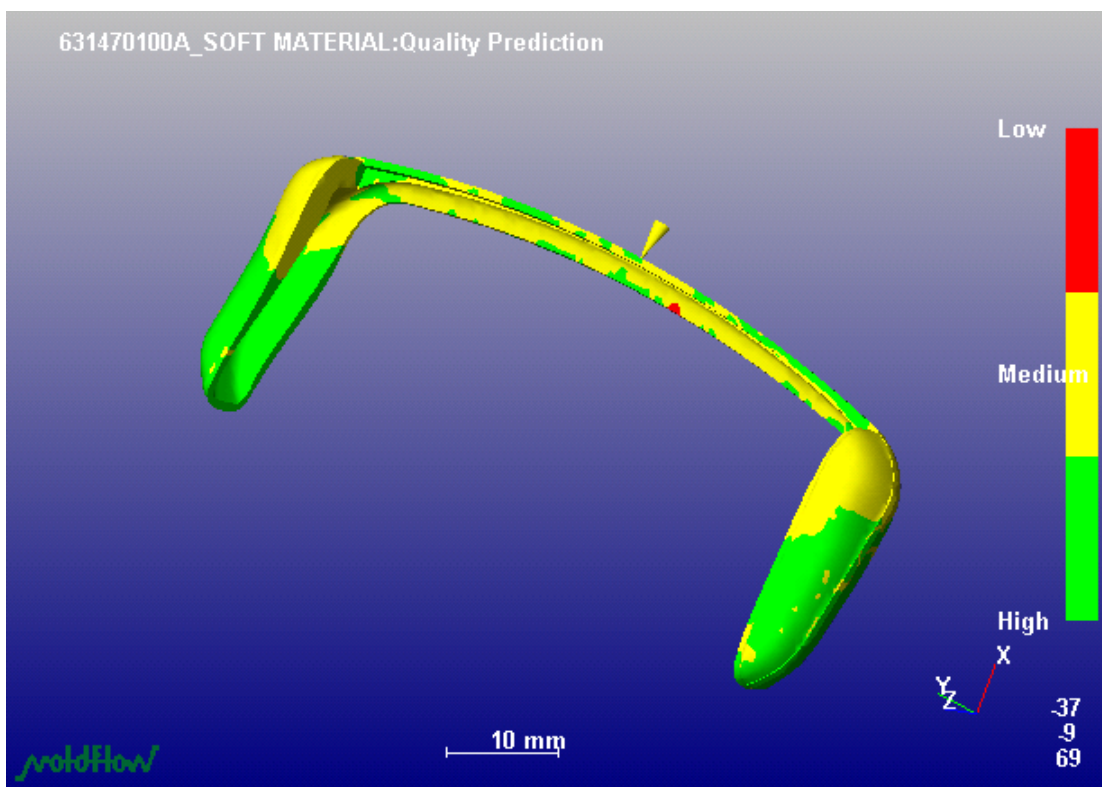
Joonis 65. Sissepritsimise rõhk.



Joonis 66. Rõhkude vahe.

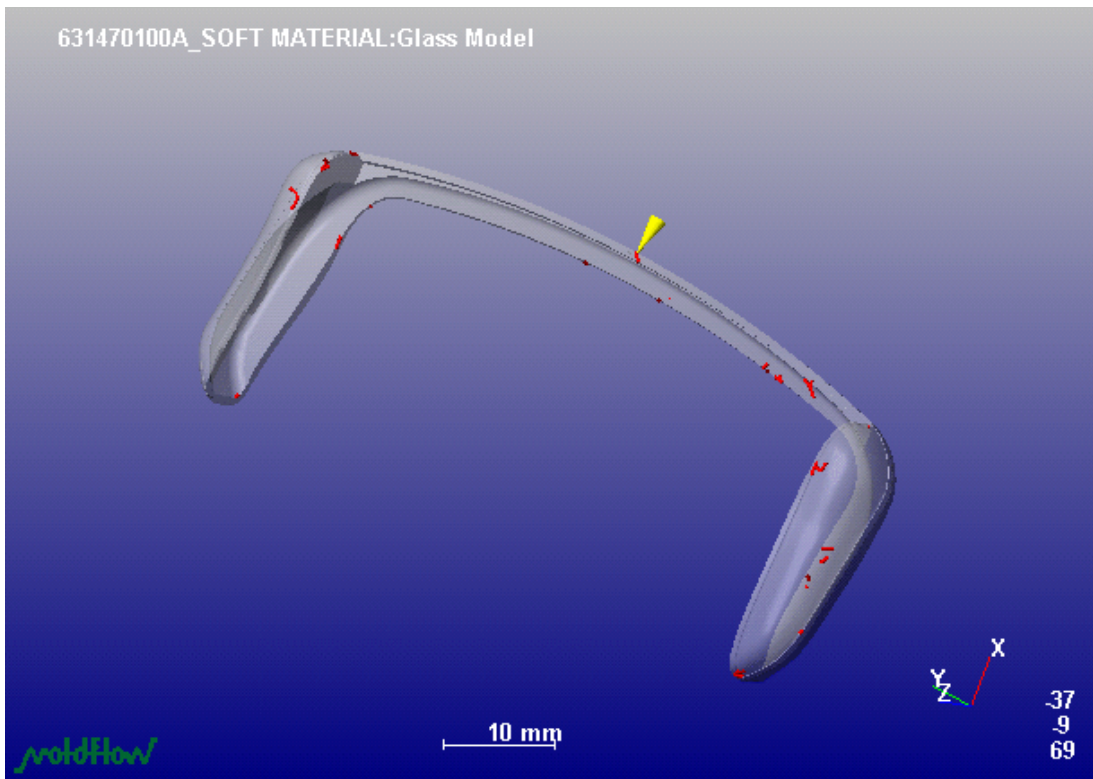


Joonis 67. Sulami temperatuur detaili erinevates kohtades.

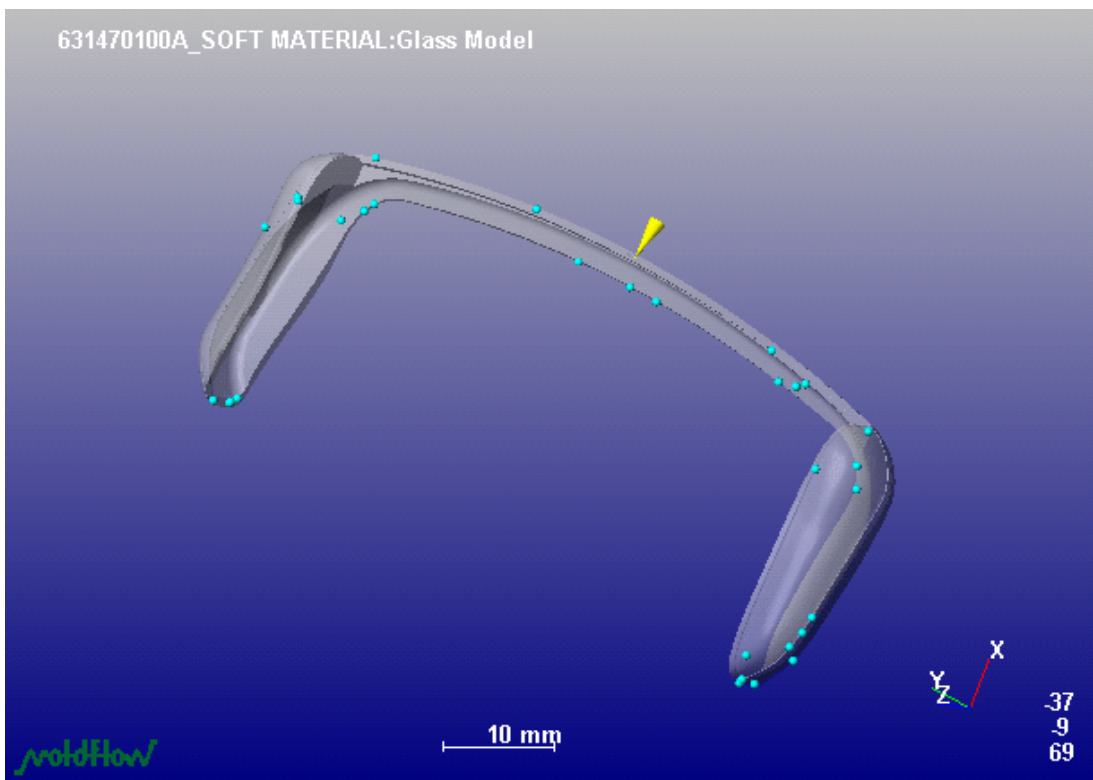


Joonis 68. Kvaliteedi prognoos.

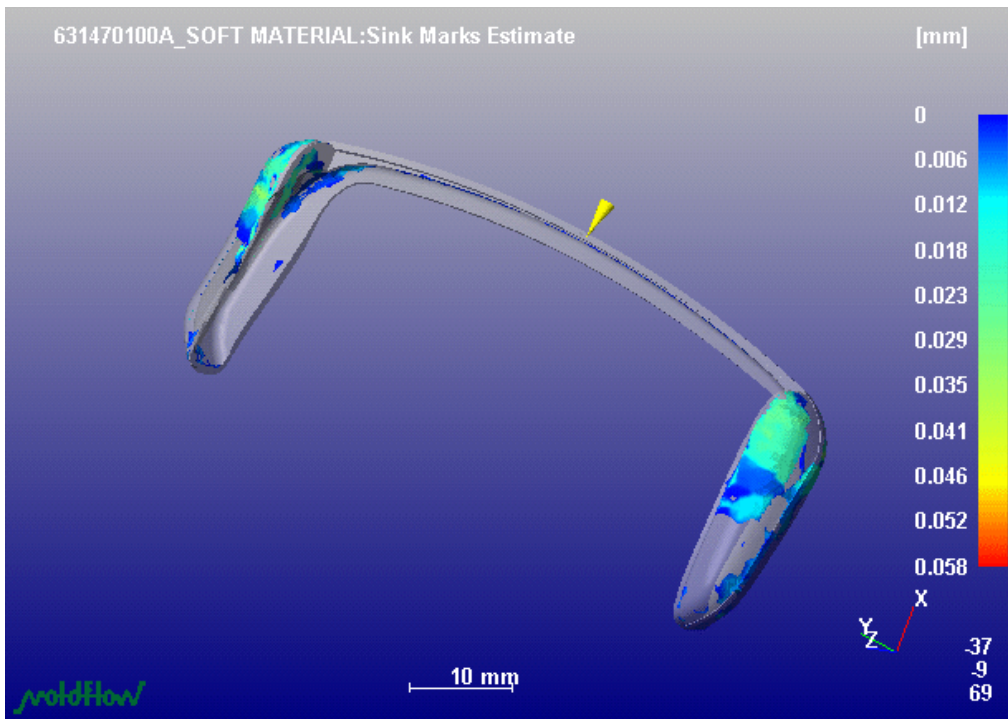




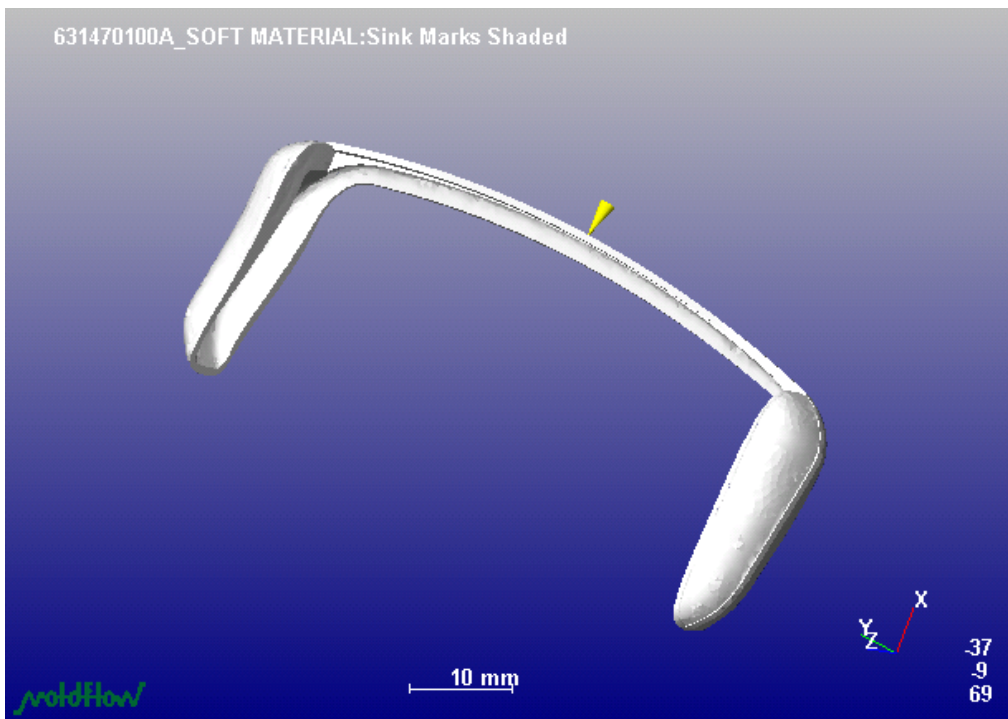
**Joonis 69. Keeviste esinemise kohad.**



**Joonis 70. Õhutaskud.**



**Joonis 71. Kiprumise hinnang.**



**Joonis 72. Kiprumise hinnang.**

### **13.3. Üldine kokkuvõte**

Moldflow analüüs ei selgitanud välja mingeid kriitilisi vigu ega tõsiseid möödalaskmisi. On väikesi arvutuslikke ebatäpsusi (õhutaskud ja keevised), kuid selle saab likvideerida muutes tehnoloogilisi parameetreid. Detaili kuju suhtes mingeid pretensioone ei olnud.

## 14. PEHME MATERJALI VALIK (UUS DISAIN)

Uue kahekomponentse turvavöö luku pehme materjali valikul tuleb silmas pidada järgmisi nõudeid:

- Tugevus Shore'i skaalal A65 - 75;
- Hea adhesioon voolava materjaliga;
- Head töötlemis- ja ekspluatatsiooniomadused;
- Seeriatootmiseks vastuvõetav hind.

Tellijal (Volvo Car Corporation) soovi kohaselt muudeti nõudeid materjali tugevusele – sobib jäigem materjal. Kõik muud parameetrid jäid endisteks.

Täiendavad nõudmised:

- Materjalil peab olema väike hõõrdekoefitsient ja väike kokkutõmbuvus.
- Temperatuurilävi (-40<sup>0</sup> - +110<sup>0</sup>);
- Tulekindlus;
- Kriimustamiskindlus;
- Väike emissioon vastavalt nõuetele, mida esitatakse autosalongis kasutatavate materjalidele. (</= 10 mg/kg).

Tellijal on nõudmisi ka materjali esteetilisele küljele – värv, lõhn, puuetundlikkus.

Loomulikult, esikohal on adhesioon põhimaterjaliga.

Põhimaterjaliks on polüpropüleen PPR 1042 HL21S.

Märkus:

Polüpropüleenil on hea adhesioon EVA-ga, modifitseeritud TPE-S ja TPE-V materjalidega.

Nõrk adhesioon on polüpropüleenil ABS, ASA, CA, PC, PE, PS, plastifitseeritud PVC, SAN, modifitseeritud LSR-ga.

Polüpropüleenil puudub adhesioon PA6, PA6,6, PMMA, POM, modifitseeritud PPO, TPE-A, TPE-E, TPE-U-ga.

Kasutatud lühendid:

EVA - etüleeniviinüülakopoolümeer; TPE-S - polüstüreeni termoplastilisest elastomeer; TPE-V – vulkaniseeritud kautšukil põhinev termoplastiline elastomeer; ABS - stüreeni ja butadieeni akrüloniitriil; CA - tselluloosi polüaketaat; PC – polükarbonaat; PE – polüetüleen; PS – polüstürool; PVC – polüvinüülkloriid; SAN - stüreeni ja akrüloniitriili kopoolümeer; LSR – silokoonkautšuk; PA6 – polüamiid; PA 6.6 – polüamiid; PMMA – polümetüülmetakrülaad; POM –

polüoksümetüleen; PPO – olüfenüülenoksiid; TPE-A - polüamiidi termoplastiline elastomeer; TPE-E – polüetüleeni termoplastiline elastomeer; TPE-U – polüüretaani termoplastiline elastomeer.

Järelikult selleks, et saavutada head tulemust (head adhesiooni), tuleb valida materjal EVA, TPE-S või TPE-V grupist.

Valikus peatusime saksa firma MCT materjalil Karilen (TPE-S). Otsustati teha näidiseksemplar tugevusega 65A ja 75A Shore'i skaala järgi.

**Tabel 14.1. Materjali Karilen 65A-H 202 mõned omadused.**

<b>Füüsikalised omadused</b>		<b>Kommentaariid</b>
Tihedus	0,98 g/sm <sup>3</sup>	ISO 1183 DIN 53479
Voolavus	5 g/10 min	ISO 1133
<b>Mehhaanilised omadused</b>		<b>Kommentaariid.</b>
Tugevus, Shore A	65	ISO 868 DIN 53505
Venimispinge 100%	2,5 N/mm <sup>2</sup>	ISO 37 DIN 53504
Venimispinge 300%	3,2 N/mm <sup>2</sup>	ISO 37 DIN 53504
Venimispinge 500%	4,5 N/mm <sup>2</sup>	ISO 37 DIN 53504
Kriitiline (purunemise) venimispinge	600%	ISO 37 DIN 53504
Põrkuvus (rebound)	40%	ISO 4662 DIN 53512
<b>Tehnoloogilised omadused</b>		<b>Kommentaariid</b>
Töötlemis temperatuurid	200 - 240 °C	
Pressvormi temperatuur	30 – 60 °C	
Sissepritsimise rõhk	400 – 600 bar	
Sissepritsimise kiirus	Võimalikult kõrge	
Rõhu ajaline kestvus	Võimalikult lühike	
<b>Kirjeldus</b>		
Olek	Graanulid	
Materjalik grupp	TPE	
Materjali tüüp	TPE-S	

**Tabel 14.2. Materjali Karilen 75A-H 202 mõned omadused.**

<b>Füüsikalised omadused</b>		<b>Kommentaariid</b>
Tihedus	0,98 g/sm <sup>3</sup>	ISO 1183 DIN 53479
<b>Mehhaanilised omadused</b>		<b>Kommentaariid</b>
Tugevus, Shore A	75	ISO 868 DIN 53505

Venimispinge 100%	3 N/mm <sup>2</sup>	ISO 37 DIN 53504
Venimispinge 300%	4,2 N/mm <sup>2</sup>	ISO 37 DIN 53504
Venimispinge 500%	5,5 N/mm <sup>2</sup>	ISO 37 DIN 53504
Kriitiline (purunemise) venimispinge	550%	ISO 37 DIN 53504
Põrkuvus (rebound)	40%	ISO 4662 DIN 53512
<b>Tehnoloogilised omadused</b>		<b>Kommentaariid</b>
Töötlemis temperatuurid	200 - 240 °C	
Pressvormi temperatuur	30 – 60 °C	
Sissepritsimise rõhk	400 – 600 bar	
Sissepritsimise kiirus	Võimalikult kõrge	
Rõhu ajaline kestvus	Võimalikult lühike	
<b>Kirjeldus</b>		
Olek	Graanulid	
Materjalik grupp	TPE	
Materjali tüüp	TPE-S	

Hea adhesiooni saavutamiseks peavad materjalid olema sarnaste omadustega. Põhinäitajaks on sulamistemperatuur. Väljavalitud materjalide sulamistemperatuur on samas suurusjärgus.

## 15. VALMISTATUD PROTOTÜÜBID JA TULEMUSED (UUS DISAIN)

Prototüübi vormi valmistamiseks pöördusime firma CMA poole. Firma CMA abiga valmistati 3D printeril vorm ja selles kahekomponentsed uue disainiga turvavöö luku keele prototüübid <sup>[8]</sup>.

Põhimaterjaliks on Hostacom PPR 1042 HL21S, pehmeks materjaliks Karilen (65A-H 202 ja 75A-H 202).

Tulemused on näha allpool olevatel joonistel.



**Joonis 73. Kahekomponentse moderniseeritud disainiga keele prototüübid.**



**Joonis 74. Kahekomponentse moderniseeritud disainiga keele prototüübid.**



**Joonis 75. Kahekomponentse moderniseeritud disainiga keele prototüübid.**





#### **Joonis 76. Kahekomponentse moderniseeritud disainiga keele prototüübid.**

Nagu fotodelt näha, andis pehme materjal Karilen hea adhesiooni (nii 65A kui ka 75A tugevusega materjali kasutamisel). Adhesioon oli ühtlane põhimaterjaliga ühinemisel kogu perimeetri ulatuses.

Adhesiooni kvaliteeti kontrolliti nii, et keel kinnitati pehme osa kaudu ja seejärel rakendati mõningast venitusjõudu. Mitte mingisugust pehme materjali lahti rebenemist ei täheldatud. Teoreetilised järeldused langesid praktiliste katsetustega kokku – polüpropüleeni ja TPE-S vahel saavutati hea adhesioon.

Tellijä (Volvo Car Corporation) on huvitatud prototüüpidest tugevusega 75A. Neile anti katsekemprid, millega nad omapoolsed katesetused läbi viisid.

Katsetused seisnesid järgmises – detaile hoiti temperatuuril 80 °C ja õhuniiskuses 50% 1000 tundi. Katse lõppedes selgus, et põhimaterjali ja pehme materjali keevisekohad muutusid valkjaks.

Selleks, et niisugust nähtust vältida, lisasime pehmesse materjali stabilisaatorit, mis vähendab selle füüsikaliste ja keemiliste omaduste muutumist. See vähendas tugevust kuni 73A. Edasistel katsetustel enam seda probleemi ei esinenud.

## 16. KATSETUSED JA TESTID

Turvavöö keel peab vastama standardite, tehniliste tingimuste, reeglite, instruktsioonide ja normide nõuetele. Sellepärast viiakse läbi terve rida katsetusi ja teste. Ülalpool on nendest juba räägitud. Peamiste katsetuste ja testide loetelu oleks järgmine:

- Tõmbetugevuse testimine;
- temperatuurikindlus;
- tulekindlus;
- korrosioonikindlus;
- vastupidavus UV kiirguse toimele.

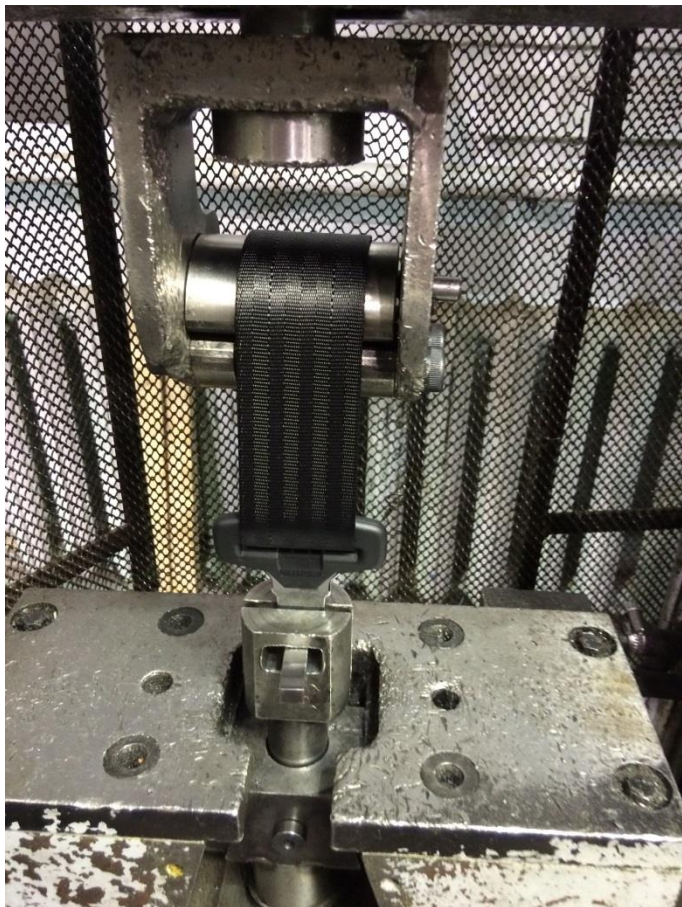
### 16.1. Tõmbetugevuse testimine

Katseeksemplaride tõmbetugevuse testimine staatilise koormusega on üks olulisemaid turvavöö katsetusi. See test viiakse läbi katsetusinventari abil (joonis 77), kus testitavat toodet venitatakse ja mõõdetakse tekitatud koormust (tõmbejõudu).



Joonis 77. Tõmbejõu mõõtmise seade.

Katsetuse viidi läbi järgmiselt: turvavöö keel pigistati mõlemast otsast mehhaaniliste haaratsite vahele ja alustati selle järk-järgulist venitamist (joonis 78). Teratud parameetrite saavutamise järel alustati vastupidise protsessiga. Esimesel etapil metall venib, seejärel omandab jälle endise kuju.



**Joonis 78. Näidise kinnitamine mehhanismi külge.**

Varem või hiljem saabub moment, et pärast venitamist ja kokkutõmbumist ei suuda detail enam oma esialgset kuju taastada. Sel puhul öeldakse, et on saavutatud elastsuse piir, ehk rakendatud jõudude mõju kutsus esile materjali ülepinge.

Metalli ülepinge tekkimise momenti on üpris raske fikseerida, seepärast jätkatakse katsetusi. Kui jõudu veel mõne ühiku võrra suurendada, hakkab metall venima ka ilma mehhaanilise mõjutamiseta. Näidis venib seni, kuni ei toimu kokkutõmbumist ja lõpuks detail puruneb (joonis 79). Detail puruneb kõige väiksema ristlõike pindalaga kohast.



**Joonis 79. Detail pärast katsetuse lõppu.**

Katsetusi korrati viie detailiga. Koormuse aste fikseeritakse skaalal liikuva osuti abil (joonis 80). Näidud võetakse katsetusel kasutatavates ühikutes kgf.



**Joonis 80. Liikuva osutiga mõõteskaala.**

Mõõteühikute kgf teisendamiseks mõõteühikutesse daN on olemas tabel 16.1.



**Tabel 16.1. Mõõteühikute kgf teisendamine mõõteühikuteks daN.**

<b>Tõmbemasina näit</b>	<b>Tegelik jõud</b>	<b>Laiendmõõte-määramatus</b>	<b>Tõmbemasina näit</b>	<b>Tegelik jõud</b>	<b>Laiendmõõte-määramatus</b>
kgf	daN	daN	kgf	daN	daN
0,0	0,0	6,0	1850,0	1779,0	9,0
100,0	98,0	6,0	1900,0	1828,0	9,0
200,0	196,0	6,0	1950,0	1877,0	9,0
250,0	245,0	6,0	2000,0	1926,0	9,0
300,0	293,0	6,0	2050,0	1974,0	9,0
350,0	342,0	6,0	2100,0	2023,0	8,0
400,0	391,0	6,0	2150,0	2072,0	8,0
450,0	440,0	6,0	2200,0	2121,0	8,0
500,0	489,0	6,0	2250,0	2169,0	8,0
550,0	536,0	6,0	2300,0	2218,0	8,0
600,0	583,0	6,0	2350,0	2267,0	7,0
650,0	631,0	6,0	2400,0	2316,0	7,0
700,0	678,0	6,0	2450,0	2365,0	7,0
750,0	725,0	6,0	2500,0	2413,0	7,0
800,0	772,0	6,0	2550,0	2461,0	7,0
850,0	820,0	6,0	2600,0	2509,0	7,0
900,0	867,0	6,0	2650,0	2557,0	7,0
950,0	914,0	6,0	2700,0	2606,0	7,0
1000,0	961,0	6,0	2750,0	2654,0	7,0
1050,0	1009,0	6,0	2800,0	2702,0	7,0
1100,0	1056,0	6,0	2850,0	2750,0	7,0
1150,0	1104,0	7,0	2900,0	2798,0	7,0
1200,0	1151,0	7,0	2950,0	2846,0	7,0
1250,0	1198,0	7,0	3000,0	2894,0	7,0
1300,0	1246,0	8,0	3050,0	2943,0	7,0
1350,0	1293,0	8,0	3100,0	2992,0	7,0
1400,0	1340,0	8,0	3150,0	3041,0	8,0
1450,0	1388,0	9,0	3200,0	3089,0	8,0
1500,0	1435,0	9,0	3250,0	3138,0	8,0
1550,0	1484,0	9,0	3300,0	3187,0	9,0
1600,0	1533,0	9,0	3350,0	3236,0	9,0
1650,0	1582,0	9,0	3400,0	3285,0	9,0
1700,0	1631,0	9,0	3450,0	3334,0	10,0
1750,0	1680,0	9,0	3500,0	3382,0	10,0
1800,0	1730,0	9,0			

Prototüüpide tõmbetugevuse katsetuste tulemused on esitatud tabelis 16.2.

**Tabel 16.2. Viie näidiseksmplari tõmbetugevuse katsetuste tulemused.**

Nr.	Skaala näit, kgf	Näit, daN	Näit, kN
1	2900	2798	27,98
2	2850	2750	27,50
3	2950	2846	28,46
4	2850	2750	27,50
5	2800	2702	27,02

Vastavalt nõuetele peavad näidised vastu pidama tõmbejõule 20 kN. Kõik katseeksplariid läbisid selle testi edukalt.

### 16.2. Temperatuurikindlus

Testitavaid prototüüpe hoiti nii madalas kui kõrges temperatuuris. Näidised paigutatakse spetsiaalsetesse kambritesse, kus neid hoitakse kõrgel temperatuuril (+90 °C 24 tunni vältel). Seejärel hoitakse detaile madalal temperatuuril (-40 °C 24 tunni vältel). Iga katsetuste tsükli järel kontrollitakse detailide pindade seisukorda.

Meie katseeksplariid läbisid katsetused nii madalal kui kõrgel temperatuuril. Põhimaterjal polüpropüleen on termiliselt stabiilne (hakkab pehmemaks muutuma alles temperatuuril +140 °C). Ainus puudus on see, et ta hakkab rabedaks muutuma juba temperatuurivahemikus -15 kuni - 5°C. Kuid meie kasutasime lisanditega materjali Hostacom PPR 1042 HL21S, mille omadused selles osas on tunduvalt paremad. Kontrollimisel ei leitud detailide pindadelt mitte mingeid defekte.

### 16.3. Tulekindlus

Tulekindlust kontrollitakse kambris FMVSS 302 (joonis 81). Selle katsetuse läbiviimine võimaldab kindlaks määrata materjali tulekindlust.



**Joonis 81. Põlemiskamber FMVSS 302 <sup>[9]</sup>.**

Kamber koeneb roostevabast terasest valmistatud korpusest, milles paiknevad testitavate detailide hoidikud ja tulekoll. Kambri ukseks on tulekindlast klaasist aken, mis võimaldab jälgida katsetuse kulgemist.

Näidised paigutatakse kambrisse (kahte U-kujulisse hoidikusse), kus neid põletatakse tuleleegis ilma hapniku juurdepääsuta. Kamber on varustatud temperatuurianduritega, mis reageerivad pinna temperatuuri tõusule.

Katsetused näitasid, et näidiseksplaride materjal vastab standardi ISO 3795 (autosalongis kasutatavate materjalide tulekindluse normid) nõuetele <sup>[9]</sup>.

#### 16.4. Korrosioonikindlus

Testitakse detaili pindade galvaniseeritud kattekihti kasutades soolaudu8 meetodit (ISO 9227 - NSS). Turvavöö lukusti kaitsekihiga katmiseks kasutatakse kroomi. Soolauduga testimine on odav, kiire, hästi standardiseeritud ja korduvate katsete tulemused on piisavalt ligilähedased.

Testimise seade koosneb hermeetilisest kambrist, kuhu läbi düüsi pihustatakse soolalahus (NaCl). Testi tulemusei väljendatakse NSS –s (neutral salt spray) ilma korrosiooni tekke tunnusteta veedetud tundides.

Meie näidiste tulemused – 50 tundi NSS-i keskkonnas vastavad ISO 9227 <sup>[10]</sup>.

#### 16.5. UV-kiirguse taluvus

Testitakse värvi vastupidavust ja vananemist kunstliku valguse ja kõrge temperatuuri keskkonnas (ISO 105-A02) <sup>[11]</sup>. Võrdlus toimub üheksaastmelise skaala abil.

**Tabel 16.3. Halli skaala kolorimeetriline karakteristika.**

Värvi püsivuse hinne	Värvi erinevuse indeksi väärtus CIELab ühikutes	Lubatud hälve CIELab ühikutes	Värvi püsivuse hinne	Värvi erinevuse indeksi väärtus CIELab ühikutes	Lubatud hälve CIELab ühikutes
5	0	±0,2	(2-3)	4,8	±0,5
(4-5)	0,8	±0,2	2	6,8	±0,6
4	1,7	±0,3	(1-2)	9,6	±0,7
(3-4)	2,5	±0,35	1	13,6	±1,0
3	3,4	±0,4			

Meie näidiste tulemused – vahehinne 4 ja 5 vahel. See tähendab, et muutused värvis ei ole märkimisväärsed.

Lisaks eeltoodule oli tellija esitanud nõudmisi toote reljeefi osas. Nõuti, et toote pinda oleks meeldiv käega katsuda. Polüpropüleenist tooted on selles osas saanud hea hinnangu osalisteks. Ilmselt

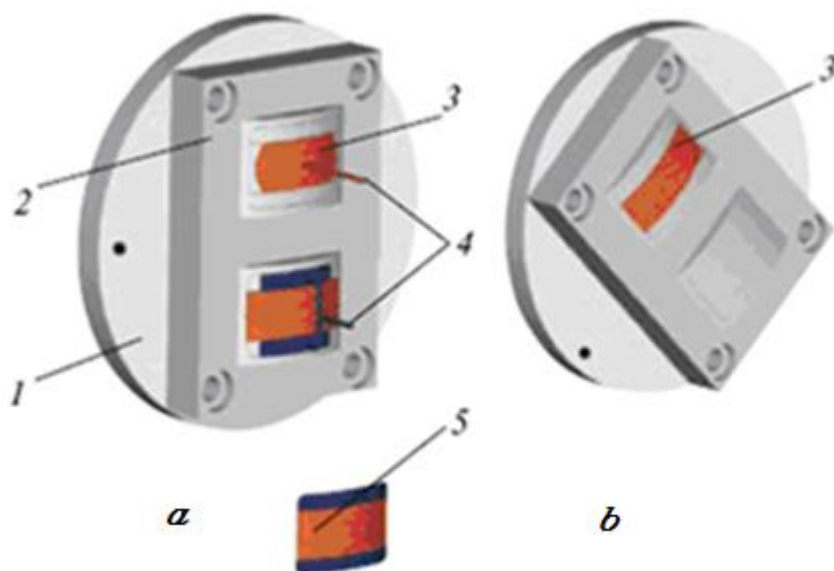
sellepärast ongi suurem osa auto salongist valmistatud sellest materjalist. Lisaks on polüpropüleenil ka hüpoallergeensed omadused (praktiliselt allergiat mitte tekitav materjal).



## 17. PRESS-VORMIDE KOMPLEKT

Käesolevaks ajaks on välja töötatud ja tööstuslikes mastaapides edukalt kasutusel mitu survevalu meetodit erineva otstarbega mitmekomponentsete toodete valmistamiseks. Kõigi nende meetodite rakendamine eeldab spetsiaalselt selleks otstarbeks konstrueeritud ühe või enama sissepritsimiskohaga survevalu sisseade olemasolu. Iga niisugune masin sulatab ja pritsib vorm ühe komponendi, näiteks eri värvi või marki termoplaste jne.

Sagelikasutatavaks mirmekomponentse survevalu variandiks on tooriku ümberpööramisega tehnoloogia. Pärast seda, kui toorik on valatud, pöörab elektriline või hüdrauliline servomehhanism maatriksit 180° (või 120°, kui kasutatakse 3 komponenti) uue sissepritsimise jaoks (joonis 82). See on kõige kiirem ja enamkasutatav variant, sest ühe tsükliga saab valmistada kaks või isegi kolm detaili.



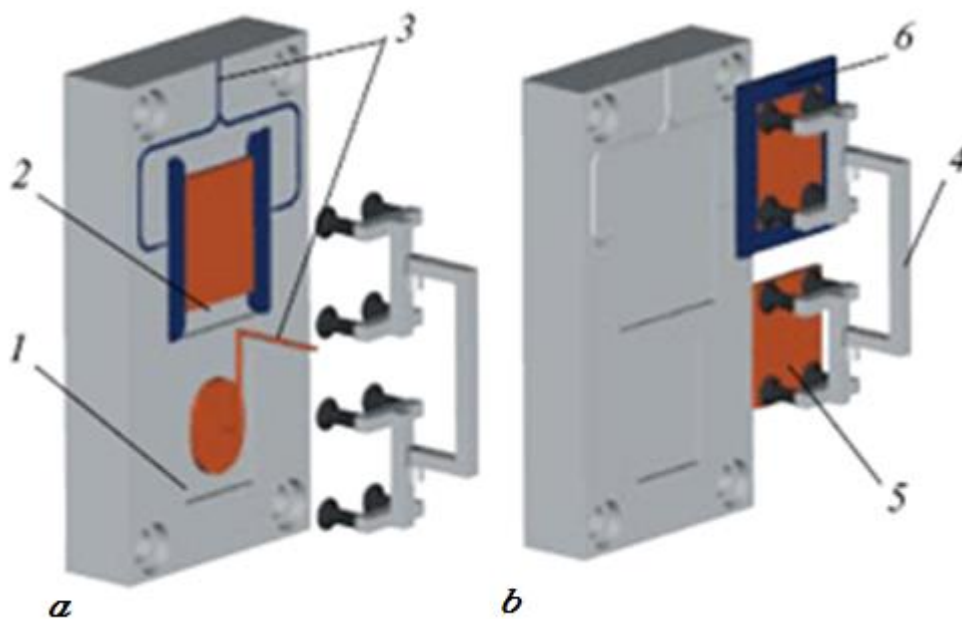
**Joonis 82. Kahekomponentse detaili survevalu skeem, kus vorm on asetatud pöördpink: a – esimene positsioon; b – pööre teise positsiooni; 1 – pöördpink; 2 – survevorm; 3 – toorik; 4 – sissepritsimine avad; 5 – valmis kahekomponentne detail.**

Meie detaili jaoks see variant ei sobi, sest pehme materjal peab paiknema detaili mõlemal poolel (nii eesmisel kui tagumisel). Vormi pooled on pöördpingis identsed, liikumatul alusplaadil – erinevad. Meie detaili jaoks on vaja kahte erinevat vormide komplekti.

Selleks sobib detaili siirdamisega tehnoloogia. Eelnevalt ühes pinda kujundavas vormis ettevalmistatud detail tõstetakse käsitsi või roboti abil sama vormi teise pinda kujundavasse osasse või teise TPA (termoplastiautomaadi)vormi.

Siirdetehnoloogia kasutamisel valatakse esimesena toorik, mis hiljem toimetatakse edasi teise vormi, kus toimub teise materjali valu (joonis 83). Kuid selle tehnoloogia puuduseks on lisaoperatsioonide vajadus detaili teise survevalu vormi paigutamisel. Sellele vaatamata on võimalik

tooriku paigutamist ja teise vormi ümberpaigutamist optimeerida komplekssete juhitud robot- või automaatseadmete kasutamisega <sup>[12]</sup>.



**Joonis 83. Ühes valuvormis, kahekomponentse detaili pööramisega toimuva survevalu skeem: a – kahe komponendi üheaegne valamine vormiõõntesse; b – tooriku siirdamine vormiõõns ja valmis detaili eemaldamine; 1, 2 – valuvormi õõned; 3 – sissepritsimise koht; 4 – robot; 5 – toorik; 6 – valmis detail.**

## 18. TPA VALIK JA VORMIÕÕNTE SÜSTEEM <sup>[13]</sup>

Termoplastiautomaate (TPA) iseloomustatakse järgmiste nominaalsete parameetrite abil:

- Sissepritsimise maht  $V_s$ ,  $\text{cm}^3$ ;
- Sissepritsimise rõhk  $P_s$ ,  $\text{N/cm}^2$ ;
- Sulgemisjõud  $F_s$ , t;
- Plastifitseerumise tootlikkus  $G_s$ ,  $\text{kg/t}$ ;
- Sissepritse mahuline kiirus  $Q_s$ ,  $\text{cm}^3/\text{s}$ ;
- Kasutuskiirus, mida iseloomustavad vormi vähim sulgumise kiirus  $t_s$  ja vähim avanemise kiirus  $t_a$ , s.

TPA valik on lahutamatult seotud valuvormide projekteerimise protsessiga ja esmajärjekorras – nende õõnsustesüsteemi valikuga (õõnsuste arv  $n$ ). Siinkohal on võimalikud kaks erinevat küsimusele lähenemist, mida võiks väljendada „vorm  $\rightarrow$  TPA” ja „TPA  $\rightarrow$  vorm”:

1. Variant „vorm  $\rightarrow$  TPA” eeldab valuvormide eelnevat projekteerimist ja optimaalse õõnsuste hulga  $n_0$  väljaarvestamist, näiteks lähtudes minimaalsete kulutustega aastasest detailide väljalaske programmist ( $N$ , detaili/aastas). Seejärel valitakse TPA, mille tehnilised ja geomeetrilised näitajad sobivad projekteeritud vormi jaoks. Niisugune lahendus on õigustatud uute tootmise juurutamisel ja kui on võimalused vajaliku TPA ostmiseks. Samuti juhul, kui ettevõttes on piisavalt mitmekülgne TPA valik, mis kindlustab küllaldase valikuvõimaluse.
2. Variant „TPA  $\rightarrow$  vorm” juhul, kui õõnsuste hulk  $n$  määratakse ettevõttes olemasoleva sisseseade järgi. Seda varianti esineb praktikas sagedamini.

Tuntud on optimaalse õõnsuste hulga  $n_0$  lihtsustatud väljendamine lähtuvalt detaili tootmise madalaimast omahinnast, kui mitte arvestada materjali omahinnaga:

$$n_0 = \sqrt{\frac{C_t \cdot N}{0,45 \cdot C_v}}, \quad (18.1)$$

kus:

$N$  – toote väljalaskmise valmis programm ( $N = 4000000$  toodet/aastas)

$C_t$  – toote formeerimise ühe tsükli omahind;

$C_v$  – ühe õõnsusega vormi omahind.

Väärtuste  $C_t$  ja  $C_v$  arvutamine ei ole lihtne. Tavaliselt toimub see kehtivatest normatiividest ja konkreetsest tootmisest lähtudes:

Meie näite puhul:  $C_t \sim 0,5$  EUR;  $C_v \sim 1000000$  EUR.

Seega:

$$n_0 = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 4000000}{0,45 \cdot 1000000}} = 2,11 \text{ tk}$$

Niisiis, üldine valu maht  $V_0$  optimaalse vormipeade hulga puhul on:

$$V_0 = \frac{n_0 \cdot V_1 \cdot k_1}{k_2}, \quad (18.2)$$

kus:

$V_1$  – ühe detaili maht (ilma armatuurita),  $\text{cm}^3$ ;

$k_1$  – koefitsient, mis arvestab valusüsteemi mahtu ühe detaili mahu suhtes (külmkanaliline süsteem – tabel 18.1);

$k_2$  – TPA kasutuse koefitsient, mis arvestab TPA, sulatatud ja tahke materjali mahtude erinevust ( amorfsetel ainetel  $k_2 = 0,8-0,9$ ; poolkristallilistel  $k_2 = 0,7-0,8$ ).

**Tabel 18.1. Koefitsiendi  $k_1$  väärtused sõltuvalt valatava detaili mahust  $V_1$**

$V_1, \text{cm}^3$	$k_1$
<0,5	1,5
0,5-2	1,3
2-10	1,2
10-20	1,1
20-30	1,05
30-50	1,03
50-250	1,02
250-500	1,01
>500	1,005

Meie valitud põhimaterjaliks on polüpropüleen. Polüpropüleeni struktuur on poolkristalliline. Siit järeldub, et  $k_2 = 0,7 - 0,8$ . Võtame väärtuseks  $k_2 = 0,7$ .

Ühe detaili maht koosneb põhimaterjali mahust ja pehme materjali mahust. Tulemuseks saame:

$$V_0 = 7,85 + 1,02 = 8,87 \text{ cm}^3$$

Tabelist 7 leiame, et  $k_1 = 1,2$ .

Sel juhul:

$$V_0 = \frac{2,11 \cdot 8,87 \cdot 1,2}{0,7} = 32,08 \text{ cm}^3$$

Edasi arvutatakse vajalik surve  $F_0$  TPA pindade liitmiseks (ehk teisisõnu – valuvormi sulgemiseks kasutatav surve) järgneva valemi põhjal:

$$F_0 = k_3 \cdot k_4 \cdot n_0 \cdot S \cdot P, \quad (18.3)$$

kus:

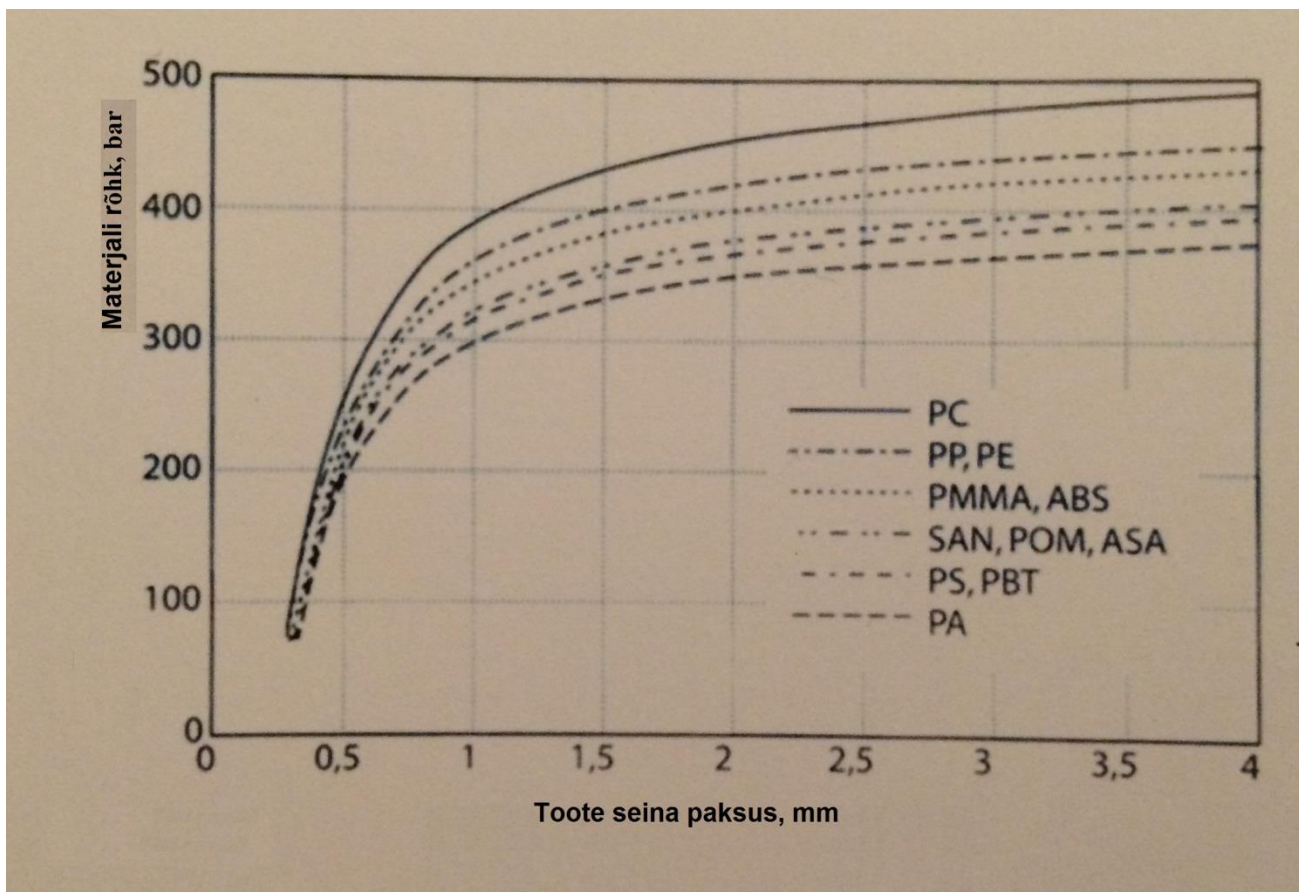
$P$  – sula materjali surve vormiõõntes,  $\text{N}/\text{cm}^2$ ;

$S$  – detaili projektsioonipind vormiõõne pinnale,  $\text{cm}^2$ ;

$k_3 \sim 1,1$  – koefitsient, mis arvestab valusüsteemi plaanilist pinda;

$k_4 \sim 1,11-1,25$  – koefitsient, mis arvestab 80-90% nominaalset TPA pindade liitumissurvet  $F_s$ .  
Meie variandis on selleks  $k_4 = 1,2$ .

Sulami rõhk oleneb materjalist ja toote pindade paksusest. Suhted on esitatud joonisel 84.



**Joonis 84. Sulami rõhu sõltuvus detaili pindade paksusest.**

Põhimaterjaliks on polüpropüleen, materjali pinna paksus ligikaudu 4 mm. Graafikust selgub, et sulamile peab rakenduma rõhk  $P = 450 \text{ bar} = 4500 \text{ N}/\text{cm}^2$ .

Detaili pinna projektsioon  $S$  moodustub põhimaterjali pinna projektsioonist ja pehme materjali pinna projektsioonist. Tulemuseks saame:

$$S = 35,53 + 5,79 = 41,32 \text{ cm}^2$$

Seega:

$$F_0 = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 2,11 \cdot 41,32 \cdot 4500 = 51788kg \approx 52 \text{ t}$$

Saime tulemuseks, et vormi sulgemise surve peab olema 52 tonni. Järelikult tuleb valida TPA, millel vormi sulgemise surve on (koos varuga) piisavalt suur. Sobivaks vormi sulgemise surve suuruseks on:  $F_s = 60$  tonni.

TPA vormiõõnte  $n_F$  tinglik sulgemissurve  $F_s$  võrdub:

$$n_F = \frac{F_s}{k_3 \cdot k_4 \cdot P \cdot S} = \frac{600000}{1,1 \cdot 1,2 \cdot 4500 \cdot 41,32} = 2,44 \approx 2 \text{ tk}$$

**Järeldus:** Antud toote jaoks tuleb valida TPA vormi sulgemissurvega  $F_s = 60$  tonni, ja vormi optimaalne õõnsuste arv on 2.

## 19. TOOTE TEEKONNAKAART

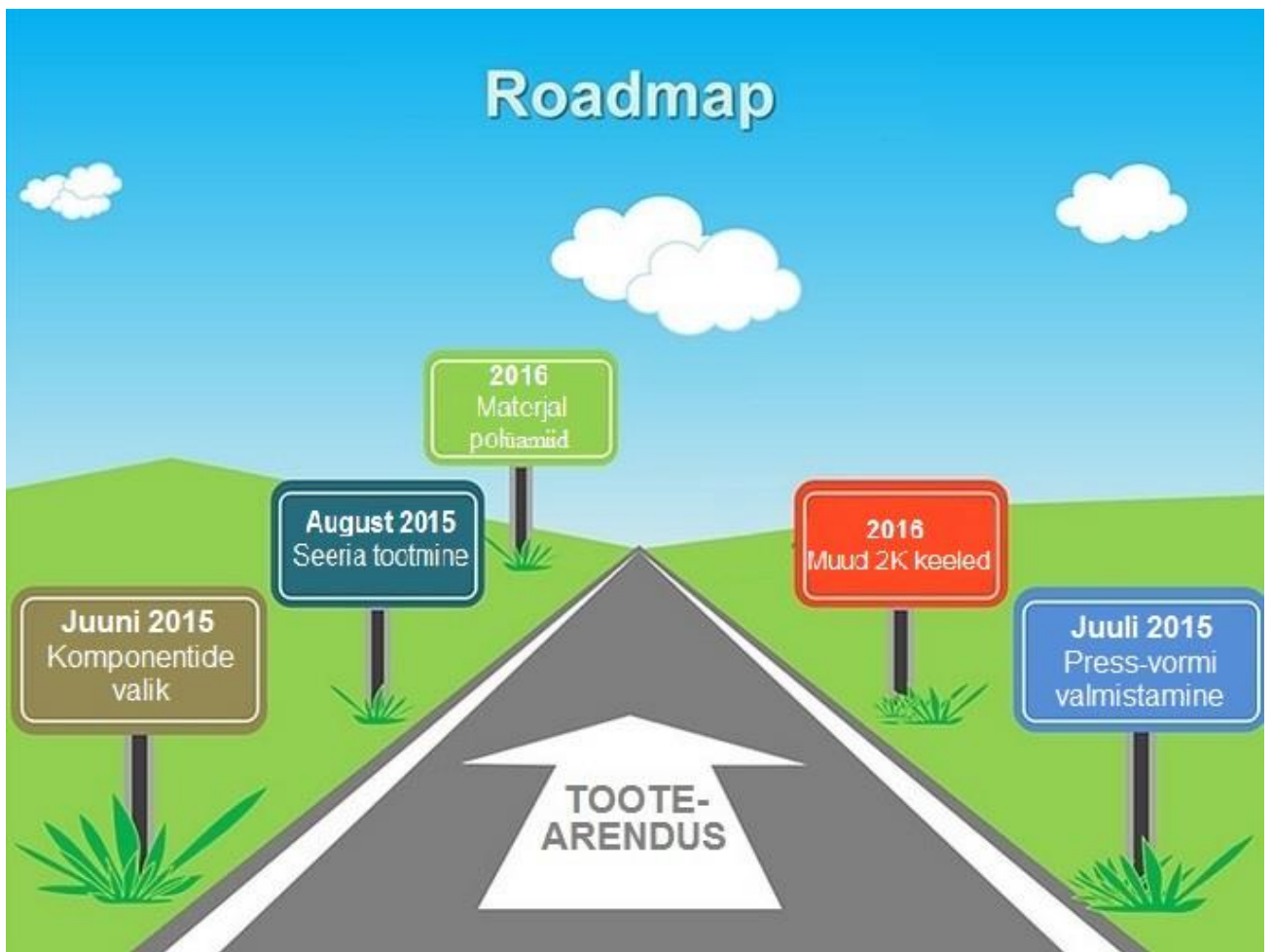
Toote tehnoloogiline teekonnakaart (Technology Roadmap) – mingi toote valmistamise lühiajaline või pikemaajaline plaan.

Joonisel 85 on esitatud kahekomponentse keele tootearendulugu.



**Joonis 85. Kahekomponentse keele tootearendulugu.**

Joonisel 86 on esitatud projekti edasise arengu kava ja kahekomponentse keele tootmise perspektiivid.



**Joonis 86. Projekti edasise arengu plaan.**

Lähitulevikus on plaanis valida turvavöö jaoks optimaalsed komponendid. Siia kuuluvad rihm, lukk, inertsruul e.sissetõmbeseadis, rihma eelpinguti.

Oleme edukalt loonud kahekomponentse turvavöö keele prototüübi. Järgmine samm – pressvormide projekteerimine ja valmistamine. Selle ala üheks juhtivaks ettevõtteks on BOSCH Formenbau GmbH. Pärast seda, kui need kaks sammu on astunud, võime alustada keelte seeriaviisilise tootmisega.

Tulevikus (aastal 2016) on plaanis vahetada kahekomponentse turvavöö keele põhimaterjal polüpropüleen välja polüamiidi vastu. Valdav osa tellijaist eelistavad põhimaterjalina polüamiidi. Seda sellepärast, et polüamiidi omadused on teiste materjalidega võrreldes paremad. Tähendab, et see on toote (kahekomponentne luku keel) arenemise edasine suund.

Esitame polüpropüleenide ja polüamiidide lühikese võrdluse. Polüamiididel on polüpropüleenide ees mitmeid eeliseid. Polüamiidid on tugevamad, nende tihedus varieerub piirides 1,01 – 1,234 g/cm<sup>3</sup>. Polüpropüleenide tihedus aga 0,90 - 0,91 g/cm<sup>3</sup>. Polüamiidid on kulumiskindlamad (eriti vastupidavad mehhaaniliste vigastuste suhtes on PA6). Suured erinevused on polüamiidide ja polüpropüleenide kuumuskindluses. Polüamiidide püsiv töötemperatuur on palju kõrgem. Nad suudavad lühiajaliselt



taluda ligikaudu 170 - 180 °C kuumust. Neil on hea jäikus ja nad taluvad suurt staatilist koormust, neid on mehhaaniliselt hea töödelda. Pikk on ekspluatatsioonitsükkel (kokkuhoid kuni 21%).

Polüamiidi puuduseks on suur niiskuseimavus (kuid materjal ei kaota pärast kuivamist esialgseid omadusi) <sup>[14]</sup>.

Kuid idee iseenesest on juba piisavalt innovaatiline ja aktuaalne. On plaanis seda edasi arendada ja võtta see tehnoloogia veel laiemalt kasutusele (teiste keelte valmistamisel).

## VIITED JA KASUTATUD KIRJANDUS

1. E-artikkel: Kucherjavenko, A., Kabishev, V. (2012). Ohutusrihmad. Elu hind? – Auto@Mail.ru  
[WWW] [https://auto.mail.ru/article/37076-remni\\_bezopasnosti\\_pochem\\_zhizn/](https://auto.mail.ru/article/37076-remni_bezopasnosti_pochem_zhizn/) (03.03.2015)
2. Patent: Moskalik, M., Van Rooyen, P., Griffin G. (2003). Seat belt latch plate and method of making same. – US Patent & Trademark Office.
3. Malloy, R. A. Plastic Part Design for Injection Molding – An Introduction, Hanser Publishers, Munich, 1994.
4. Kendall, K. (1994). Adhesion: Molecules and Mechanics. – *Science*, 263 (5154), 1720-1725.
5. Materjalide informatsiooni resurss (Material Information Resource)  
[WWW] <http://www.matweb.com/> (12.04.2015)
6. Karian, H. G. Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites, MarcelDekker Inc, NewYork (2003).
7. Plastmaterjalide andmebaas (Plastics Database)  
[WWW] <http://www2.ulprospector.com/> (15.04.2015)
8. Plastic Injection Moulding and Tooling. CMA company  
[WWW] [http://www.plastic-cma.com/index\\_en.html](http://www.plastic-cma.com/index_en.html) (21.04.2015)
9. Road vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry – Determination of burning behaviour of interior materials. (1989). Second edition. ISO 3795 : 1989 (E).
10. Corrosion tests in artificial atmospheres – Salt spray tests. (2006). Second edition. ISO 9227 : 2006 (E).
11. Tests for colour fastness. (1993). ISO 105-A02.
12. Osswald, T., Turng, T., Gramann, P. Injection Molding Handbook, Hanser Publishers, Munich, 2001.
13. Panteleev, A., Shevtsov, J., Gorjatshov, I. Plastitöötuse seadmete projekteerimise juhend. Masinaehitus, 400 lk., 1986.
14. Palmer, R. Encyclopedia of Polymer Science and Technology, 2001.

## KOKKUVÕTTE

Töö eesmärgiks oli leida probleemi lahendus (kõlisev heli auto salongis sõidu ajal). Võimaliku lahenduste hulgast kõige sobivam variant on kahekomponentse ohutusrihma keele kasutamine.

Uurimine seisneb järgmisest etappidest:

- olemasoleva keele modifitseerimine;
- uue disaini analüüs MoldFlow programmis;
- materjali valik;
- prototüüpide valmistamine;
- katsetused ja testid.

Uued disainid oli tehtud CATIA 3D keskkonnas. Moldflow analüüs ei selgitanud välja mingeid kriitilisi vigu ega tõsiseid möödalaskmisi.

Materjali valik on oluline punkt. Oli vaja läbi viia põhjalik materjalide kokkusobivuse, keemilise stabiilsuse analüüs. Mida tugevam on materjalide omavaheline adhesioon, seda parema tulemuse uuringud annavad. Seega sõltub materjali õigest valikust kogu töö lõpptulemus.

Valuvormi prototüübi valmistamiseks pöördusime firma CMA Plastic Injection Moulding and Tooling poole. Valuvormi prototüüp valmistati 3D-printeri abil.

Ohutusrihma keel peab vastama standardite, tehniliste tingimuste, reeglite, instruktsioonide ja normide nõuetele. Sellepärast viiakse läbi terve rida katsetusi ja teste. Peamiste katsetuste ja testide loetelu on järgmine:

- Tõmbetugevuse testimine;
- temperatuurikindlus;
- tulekindlus;
- korrosioonikindlus;
- vastupidavus UV kiirguse toimele.

Kui rääkida selle projekti edasise arengust, siis ta näeb välja niimodi: press-vormide valmistamine, ohutusrihma teiste komponentide valik, seeria tootmine.

## SUMMARY

The purpose of this Master`s thesis was to solve a problem of a rattling noise inside a car while driving. Seatbelt tongue with plastic double moulding is the best option among the possible solutions.

The study consists of the following steps:

- modification of existing seatbelt tongue;
- analysis of the new design using the program MoldFlow;
- material selection;
- prototyping;
- tests.

New designs have been made in 3D environment CATIA. MoldFlow analysis revealed no critical mistakes and errors.

Material selection is important point. It was necessary to find appropriate materials and analyze the chemical stability of materials. The stronger is adhesion between the materials, the better are results of research. The final result depends on the material selection.

Company CMA Plastic Injection Moulding and Tooling produced a prototype mold. This was done using 3D printer.

Seatbelt must comply with standarts, technical specifications, rules, regulations and norms. This is carried out a number of tests. The list of the main tests is next:

- breaking load test;
- heat resistance;
- flammability;
- resistance to corrosion;
- UV resistance.

The further development of this project is as follows: mold manufacturing, selection of other seatbelt components, serial production.