



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

**Gytis Raginskas**

**MOBILAUS ROBOTO TRIJŲ LAISVĖS LAIPSNŲ SUDVEJINTO  
MANIPULIATORIAUS PROJEKTAVIMAS IR TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**  
Doc. dr. A. Česnulevičius

**PANEVĖŽYS, 2017**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**  
**TECHNOLOGIJŲ KATEDRA**

**TVIRTINU**  
Katedros vedėjas  
(parašas) Doc. dr. Arūnas Tautkus  
(data)

**MOBILAUS ROBOTO TRIJŲ LAISVĖS LAIPSNŲ SUDVEJINTO**  
**MANIPULATORIAUS PROJEKTAVIMAS IR TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
**MECHANIKOS INŽINERIJA (kodas 621H30001)**

**Vadovas**  
(parašas) Doc. dr. A. Česnulevičius  
(data)

**Recenzentas**  
(parašas) Doc. dr.  
(data)

**Projektą atliko**  
(parašas) Gytis Raginskas  
(data)

**PANEVĖŽYS, 2017**



Raginskas, G. Mobilaus roboto trijų laisvės laipsnių sudvejinto manipulatoriaus projektavimas ir tyrimas. Magistratūros baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. A. Česnulevičius; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, technologijų katedra. Panevėžys, 2017. 55 psl.

## **SANTRAUKA**

Magistro baigiamajame darbe yra modeliuojamas sudvejintas trijų laisvės laipsnių mobilaus roboto manipulatorius. Pirmame skyriuje apžvelgiu mobilius robotus, jų panaudojimą, manipulatoriaus konstrukciją, kinematinį porų tipus, trijų laisvės laipsnių manipulatorius ir jų darbo zonas, servo pavaras. Antrame skyriuje tiriu savo projektuojamo manipulatoriaus darbo zoną. Trečiame skyriuje tiriu manipulatoriaus dinamines charakteristikas, parenku servo pavaras. Ketvirtame skyriuje atlieku stipruminius manipulatoriaus tyrimus.

*Raginskas G.* Design and Research of 3-DOF Duplex Manipulator for Mobile Robot, Master final work / Head. doc. dr. A. Česnulevičius. Kaunas Technology University, Panevėžys, Department of Technologies. Panevėžys: KTU PI, 2017. 55 pages.

## **SUMMARY**

The design of 3 DOF duplex manipulator for mobile robot. The first section covers mobile robots, their use leads to the device, the types of kinematic pairs, three degrees of freedom manipulator and their work areas, servo drives. In the second chapter I explore their projected manipulator workspace. In the third chapter I explore the dynamic characteristics of the manipulator, I select the servo drives. The fourth chapter I calculate strength of robot manipulator.

20..... ..

## BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Raginskui Gyčiui Grupė PMM-5  
**1. Darbo tema:**  
Lietuvių kalba: Mobilaus roboto trijų laisvės laipsnių sudvejinto manipulatoriaus projektavimas ir tyrimas  
Anglų kalba: Design and Research of 3-DOF Manipulator for Mobile Robot

Patvirtinta 2017 m. kovo mėn. 30 d. dekanu potvarkiu Nr. V25-13-8

**2. Darbo tikslas:** Suprojektuoti ir ištirti trijų laisvės laipsnių sudvejintą mobilaus roboto manipulatorių.

**3. Reikalavimai ir sąlygos:** Manipulatorius turi turėti dvi trijų laisvės laipsnių "rankas". Manipulatoriaus darbo zona - erdvinė. Manipulatorius turi gebėti paimti objektą, kurio matmenys 150x150x150 mm.

**4. Projekto struktūra.** Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BP pobūdį.

Literatūros analizė. Manipulatoriaus struktūrinė sintezė. Manipulatoriaus stipruminiai skaičiavimai. Manipulatoriaus kinematinė analizė. Manipulatoriaus jėginė analizė. Išvados.

**5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.**

**6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas**

2017-06-06

(data)

Užduotį gavau: Gytis Raginskas  
(studento vardas, pavardė, parašas)

2017-02-01

(data)

Vadovas: doc. dr. Aurimas Česnulevičius  
(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

2017-02-01

(data)

## Turiny

ĮVADAS.....	8
1. LITERATŪROS APŽVALGA .....	9
1.1 Mobilūs robotai .....	9
1.2 Kinematinės poros.....	10
1.3 Robotų manipulatoriai.....	11
1.4 Robotų manipulatoriai turintys tris laisvės laipsnius .....	13
1.5 Darbo zona .....	16
1.6 Servo pavaros .....	17
2. DARBO ZONOS TYRIMAS.....	19
3. MANIPULATORIAUS DINAMINIŲ CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS IR SERVO PAVARŲ PARINKIMAS .....	30
3.1 Manipulatoriaus pirmos grandies dinaminis tyrimas, kai manipulatorius ištiestas.....	30
3.2 Manipulatoriaus pirmos grandies dinaminis tyrimas, kai manipulatorius sulenktas kampu.....	36
3.3 Manipulatoriaus antrosios grandies dinaminis tyrimas .....	39
3.4 Manipulatoriaus trečiosios grandies dinaminis tyrimas .....	41
3.5 Servo pavarų parinkimas .....	43
4. MANIPULATORIAUS STIPRUMINIAI TYRIMAI .....	47
IŠVADOS .....	54
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	55
PRIEDAI .....	56

## ĮVADAS

Robotų istorija turi savo kilmę senoviniame pasaulyje. Šiuolaikinė sąvoka išvystyta pramoninės revoliucijos pradžioje, kuri atsižvelgė į naudojamą sudėtingos mechanikos ir elektros. Tai sukūrė galimybes valdyti mašinas su mažais kompaktiškais varikliais. 20-ojo šimtmečio pradžioje buvo išvystytas humanoidinės mašinos supratimas. Šiandien jau yra surūšiuoti robotai pagal savo gebėjimus artimus žmogaus mintims ir judėjimui. Pirmas šiuolaikinių robotų panaudojimas buvo gamyklose, kaip pramoniniai robotai – tai paprastos pastovios mašinos, gebančios pramonines užduotis, kurios leido gamybą be žmogaus pagalbos reikalingumo. Skaitmenine forma kontroliuoti pramoniniai robotai ir robotai, naudojantys dirbtinį intelektą, buvo pastatyti nuo 1960-ųjų [1]. Mobilūs robotai – tai robotai, kurie turi važiuoklę ar kojas, dėl kurių robotas gali važiuoti ar kitaip judėti iš vieno taško į kitą. Mobilūs robotai, kaip ir pramoniniai robotai, turi lankstomas rankas ir griebtuvus.

Robotų rankos ir griebtuvai yra labai svarbios roboto dalys, jomis robotas gali atlikti įvairias užduotis, pvz. Paimti kokį nors daiktą, atidaryti duris ar atlikti įvairiausias darbus.

Šiame darbe nagrinėjami robotų manipulatoriai, jų laisvės laipsnių skaičius, manipuliatorių darbo zona, projektuojamas sudvejintas manipulatorius mobiliam robotui, tiriamos manipulatoriaus charakteristikos, parenkamos servo pavaros.

### **Darbo tikslas:**

Suprojektuoti ir ištirti mobilaus roboto trijų laisvės laipsnių sudvejintą manipuliatorių.

### **Darbo uždaviniai:**

1. Literatūros analizė.
2. Manipulatoriaus darbo zonos tyrimas.
3. Manipulatoriaus stipruminė analizė su SolidWorks programa.
4. Manipulatoriaus dinaminė charakteristikų tyrimas.
5. Pavarų manipuliatoriui parinkimas.

**Darbo metodai:** literatūros analizė, tyrimas SolidWorks programa.



# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1 Mobilūs robotai

Robotas – tai mechaninis įrenginys, kuris gali atlikti įvairias fizines užduotis. Robotas dažniausiai valdomas kompiuterio, bet gali būti valdomas ir žmogaus.

Mobilus robotas – tai robotas turintis važiuoklę su automatiškai valdomomis pavaromis. Važiuoklė gali būti ratinė, vikšrinė arba žingsniuojanti [2]. Mobilaus roboto manipuliatorių konstrukcija, jų laisvės laipsnių skaičius priklauso nuo roboto paskirties. Robotų ir jų manipuliatorių taikymo pavyzdžiai:

- Kariniai robotai. Šie robotai gali kovoto mūšio lauke, pvz. robotas „Fiodoras“ [3], eksperimentiniais tikslais kuriamas robotas, kuris mokomas šaudyti dviem ginklais. Šio roboto manipulatoriai yra tokie patys kaip ir žmogaus rankos, turi penkis pirštus, taip pat jis yra ne tik karinei pramonei skirtas robotas, bet gali būti naudojamas gelbėjimo tikslais ir skridimui i kosmosą.
- Policijos robotai. Šie robotai gali dalyvauti įvairiose operacijose, pvz. bombų išminavimas, žmonių gelbėjimas ar net vietoj policijos pareigūnų dalyvavimas susišaudyme. „Remotec Andros F5“ robotas bombų išminuotojas, kuris nukovė ginkluotą nusikaltėlį [4].
- Medicinos robotai. Medicinoje naudojamų robotų sritys: slauga, chirurgija, diagnostika, gydymo parinkimas. „IBM Watsonas“ medicinos robotas, kuris geba analizuoti, priimti ir apdoroti informaciją, remdamasis moksliniais faktais ir įrodymais. Šis robotas supranta žmonių kalbą ir gali atsakyti į klausimus, remdamasis savo turima informacija ir moksliniais tyrimais [5].
- Žemės ūkio robotai. Žemės ūkyje naudojami robotai labai plačiai, jie gali prižiūrėti augalus, nuimti derlių ir t.t. Pvz. paprikų derlių nuimantis robotas „CROPS“. Jis vietoj žmogaus skina paprikas [6].
- Namams skirti robotai. Dažniausia namas skirti robotai būna: dulkių siurbliai robotai, langų plovimo robotai, gyvūnų priežiūros robotai ir t.t. [7].

Mobilių robotų manipulatoriai gali būti nuo vieno laisvės laipsnio iki šešių laisvės laipsnių ar net daugiau, tai priklauso nuo jo panaudojimo srities ir reikalingų atlikti judesių. Griebtuvai mobilių robotų gali būti labai įvairūs nuo paprasčiausių susispaudžiančių griebtuvų iki žmogaus

pirštus atitinkančių griebtuvų. Sekančiame skyriuje panagrinėsi roboto manipuliatorių kinematinį porų tipus.

## 1.2 Kinematinės poros

Kinematinė pora – tai judamasis dviejų grandžių sujungimas. Jas galima suskirstyti į dvi grupes:


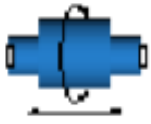
- Aukštesnės kinematinės poros
- Žemesnės kinematinės poros.




Aukštesnių kinematinį porų elementai liečia vienas kitą tam tikrame taške ar linijoje. Reliatyvus aukštesnių kinematinį porų elementų judėjimas yra palyginti sudėtingas. Daugybė aukštesnių kinematinį porų paprastai gali būti pakeistos žemesnių kinematinį porų kombinacijomis. Taško kontakto pavyzdžiai gali būti surasti rutuliniuose guoliuose ir sraigtniuose krumpliaračiuose.

Žemesnių pavarų elementai liečia vienas kitą per tvirtą paviršiaus sritį. Yra penkios žemesnės kinematinės poros: sukimosi (R), prizminė (T), cilindrinė (C), plokštuminė (E), ir sferinė (S), žiūrėti lentelėje (1.1 lentelė) [8].

1.1 lentelė

Kinematinį porų tipai

Kinematinės poros pavadinimas	Paveikslėlis	Apibūdinimas
Sukimosi (R)		Sukimasis viena ašimi
Cilindrinis (C)		Sukimasis viena ašimi ir tiesiaiegis judesys ta pačia ašimi

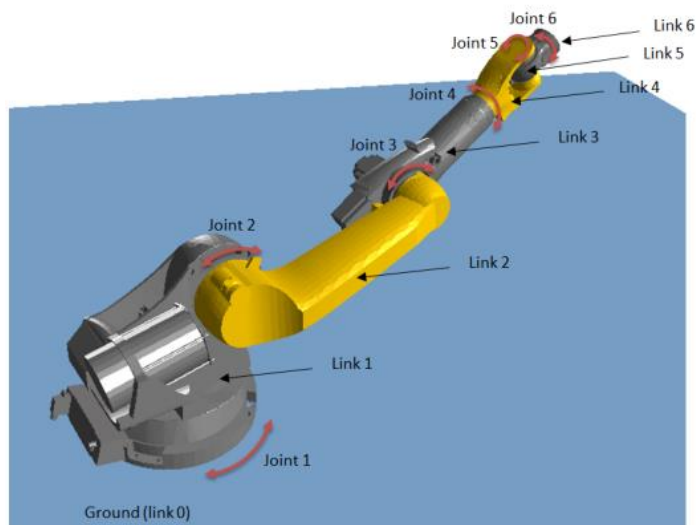
Prizminis (T)		Tiesiaieigis judesys viena ašimi
Sferinis (S)		Sukimasis trimis ašimis apie sujungimo centrą
Plokštuminis (E)		Reliatyvus judėjimas plokštumoje ir sukimasis apie centrinę ašį

Manipuliuojamose dažniausia naudojama sukimosi (R) kinematinė pora ir prizminė (T) kinematinė pora. Robotų manipuliatorius apžvelgsime sekančioje temoje.

### 1.3 Robotų manipulatoriai

Roboto manipuliatorius yra elektronikos pagalba kontroliuojamas mechanizmas, sudedamas iš daug dalių, kuris įvykdo užduotis, bendraudamas su savo aplinka. Jie paprastai vadinami robotų rankomis. Roboto manipulatoriai panaudoti pramoniniame gamybiniame sektoriuje ir daug kur specializuoti.

Manipulatoriai yra sudaryti iš kelių tiesiaieigio ar kampinio poslinkio kinematinė porų "Joint". Kinematinės poros surištos grandimis "Link" (1.1 Pav.) [9].



1.1 pav. Roboto manipulatorius [9]

Bendra roboto manipulatoriaus struktūra:

a) Roboto manipulatoriaus grandys gaminamos tik pirmiausia jų stiprumą paskaičiavus analitiškai arba jų stiprumą patikrinus tam skirta programa (pvz. SolidWorks).

b) Manipulatoriaus grandims judėti reikalingos įvairios pavaros. Jos gali būti elektrinės, hidraulinės ar pneumatinės. Šių pavarų galingumas ir tipas skaičiuojamas analitiškai arba parenkamas patikrinus tam skirta programa (pvz. Solidworks motion).

c) Kinematinės poros sujungia manipulatoriaus grandis į vieną bendrą manipulatorių. Šios kinematinės poros parenkamos pagal norimą manipulatoriaus grandžių judėjimą. Kinematinė porų stiprumas paskaičiuojamas analitiškai arba patikrinamas tam skirta programa.

d) Jutikliai reikalingi roboto manipulatoriaus darbui, pvz. pamatyti ir paimti objektą. Jutikliai pagal funkciją manipulatoriaus sistemoje gali būti klasifikuojami:

- Vidiniai jutikliai pateikia informaciją apie mechaninę manipulatoriaus konfigūraciją (tokią kaip greičio ir padėties informacija);

- Išoriniai jutikliai pateikia informaciją apie roboto aplinką (tokią kaip atstumas nuo kliūties, susidūrimo jėga...),

e) Valdymo blokas atlieka tuo pačiu metu tris skirtingus vaidmenis:

- Informacijos apdorojimo vaidmenį, kuris susideda iš rinkimo ir apdirbimo informacijos, pateiktos jutiklių;

- Sprendimo priėmimo vaidmuo, kuris susideda iš manipulatoriaus geometrinio judėjimo planavimo, prasidedančios nuo užduoties apibrėžimo pateiktos žmogaus operatoriaus ir nuo sistemos padėties ir jos aplinkos, perduotos jutiklių;

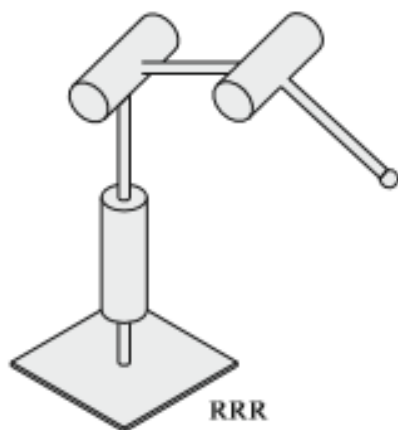
- Komunikacijos vaidmuo, kuris organizuoja informacijos srautų valdymą tarp valdymo bloko, manipulatoriaus ir jo aplinkos.

Dažniausiai robotų manipulatoriai turi nuo 3 iki 6 laisvės laipsnių. Sekančioje temoje plačiau apžvelgsime robotų manipulatorius turinčius tris laisvės laipsnius.

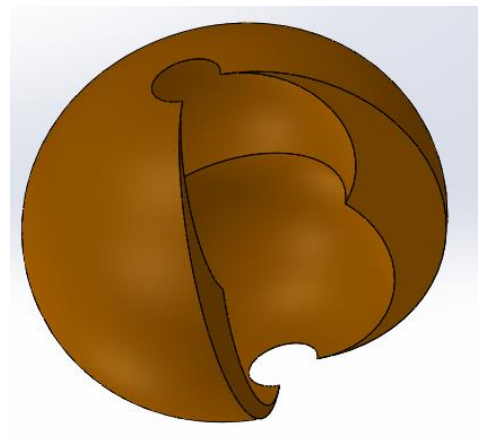
### 1.4 Robotų manipulatoriai turintys tris laisvės laipsnius

Šioje temoje plačiau panagrinėsime ir aptarsime trijų laisvės laipsnių robotų manipulatorius. Kaip minėjau anksčiau, dažniausiai naudojamos kinematinės poros robotų manipulatoriams yra sukamoji kinematinė pora (R) ir prizminė kinematinė pora (T). Robotų manipulatoriuose dviejų gretimų kinematinė porų ašys yra lygiagrečios arba statmenos. Dažniausiai naudojamos penkios manipuliatorių konstrukcijos: antropomorfinė, sferinė, SCARA, cilindrinė, ir Dekarto [10].

Antropomorfinis manipulatorius (1.2 pav) turi visas tris sukamojo tipo kinematinės poras (RRR). Tarp manipuliatorių, tai primena didesnės apimties žmogaus ranką. Antra jungties ašis yra statmena pirmai, o trečiosios jungties ašis yra lygiagreti antrai. Antropomorfinio manipulatoriaus darbo zona, apimdama visus taškus, kuriuos gali pasiekti roboto galinis taškas, turi sferinę formą.



a)

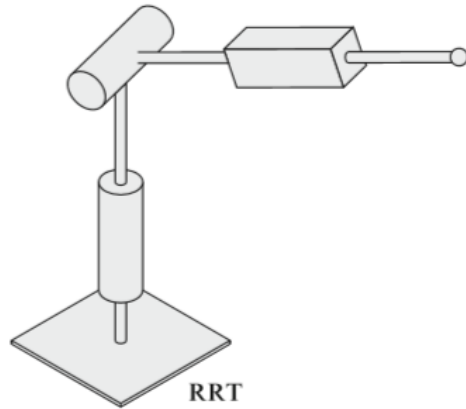


b)

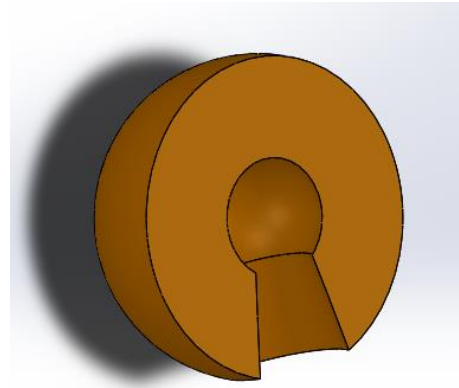
1.2 pav. a) Antropomorfinis manipulatorius [10]; b) antropomorfinio manipulatoriaus darbo zona

Sferinis manipulatorius (1.3 pav.) turi dvi sukamąsias kinematinės poras ir vieną prizminę kinematinę porą (RRT). Antros jungties ašis yra statmena pirmai, o trečios jungties ašis yra

statmena antrai. Manipulioriaus darbo zona yra sferinės formos kaip ir antropomorfinio manipulioriaus.



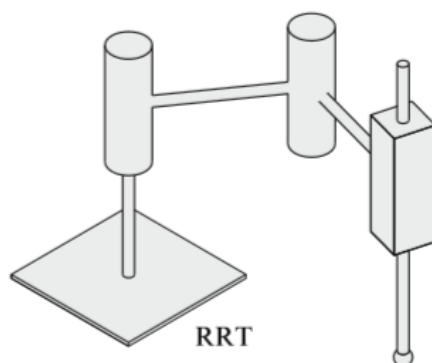
a)



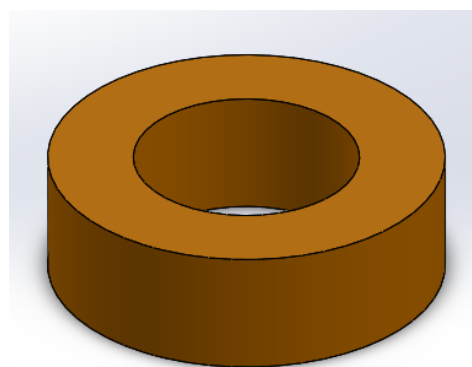
b)

1.3 pav. a) Sferinis manipuliorius [10]; b) Sferinio manipulioriaus darbo zona

SCARA (Selective Compliant Articulated Robot for Assembly) manipuliorius turi dvi jungtis sukamąsias ir viena prizminę (RRT) (1.4 pav.). Visos trijų jungčių ašys yra lygiagrečios. SCARA manipulioriaus darbo zona yra cilindrinės formos.



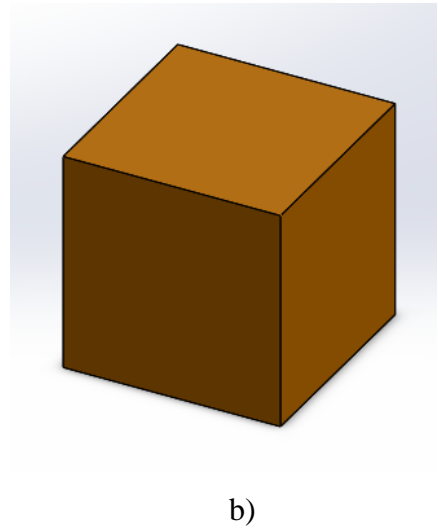
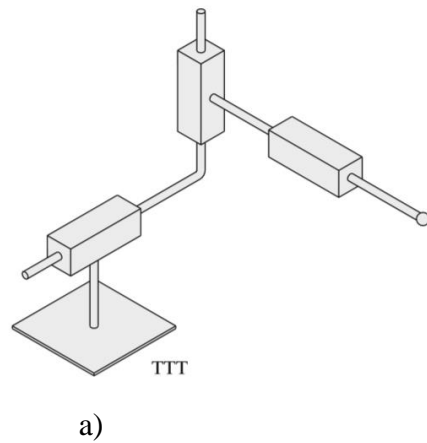
a)



b)

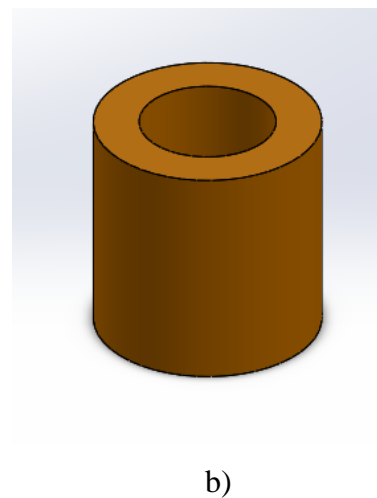
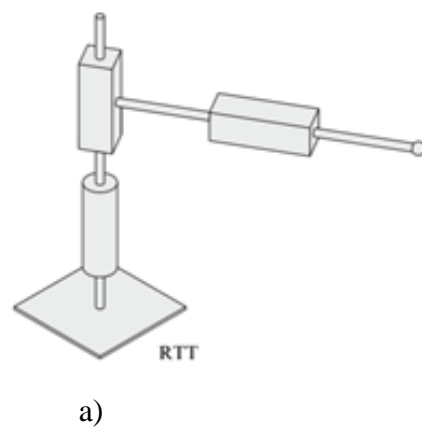
1.4 pav. a) SCARA manipuliorius [10]; b) SCARA manipulioriaus darbo zona

Dekarto manipulatorius (1.5 pav.) turi visas tris prizmines kinematinės poras (TTT). Visos kinematinės ašys yra statmenos viena kitai. Dekarto manipulatoriai yra žinomi dėl aukšto tikslumo. Dekarto manipulatoriaus darbo zona yra prizmė.



1.5 pav. a) Dekarto manipulatorius [10]; b) Dekarto manipulatoriaus darbo zona

Cilindrinis manipulatorius (1.6 pav.) turi vieną sukamąją kinematinę porą ir dvi prizmines kinematinės poras. Pirmos kinematinės poros ašis yra lygiagreti antros kinematinės poros ašiai, o trečios kinematinės poros ašis yra statmenai antrai. Cilindrinio manipulatoriaus darbo zona yra cilindras.



1.6 pav. a) Cilindrinis manipulatorius [10]; b) Cilindrinio manipulatoriaus darbo zona

Apibendrinus visus penkis manipuliatorių tipus, galime teigti, kad visų trijų laisvės laipsnių manipuliatorių darbo zona yra erdviųjų kūnų formos, pvz.: cilindro formos, sferos formos ir pan. Sekančiame skyriuje trumpai aptarsime darbo zoną ir jos braižymą.

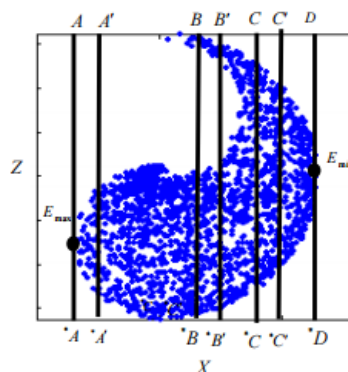
## 1.5 Darbo zona

Manipulatoriaus darbo zona yra apibrėžiama kaip didelis kiekis taškų, kurie gali būti pasiekiami manipulatoriaus griebtuvo. Analizuodami darbo zonos charakteristiką ir formą, sužinome manipulatoriaus naudingumą ir jo kinematinę struktūrą. Literatūroje pateikiamus darbo zonos tyrimo metodus galime suskirstyti į:

- Analitiniai metodai
- Skaitmeniniai metodai

Analitiniai metodai nustato uždara darbo zonos ribinių paviršių formos apibūdinimą, bet šitie metodai yra paprastai sudėtingi netiesinių formulių ir matricų inversijos, apimančios manipulatoriaus kinematiką. Dažniausiai analitiniais metodais galima apskaičiuoti darbo zoną tik specifiniams manipulatoriams. Pavyzdžiui, kai kuriais metodais galime rasti darbo zoną tik tų manipuliatorių, kurie sudaryti iš sukimosi kinematinė porų. Skaitmeniniai metodai yra palyginti paprasti ir lankstūs. Tačiau, jie dažniausiai nustato apytikrius ribinius paviršius ir juos pavaizduoja grafiškai [11].

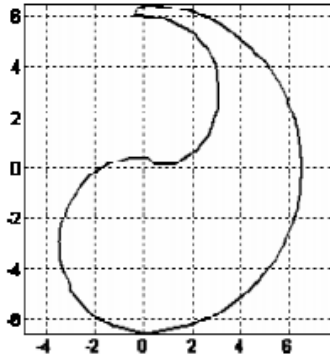
Vienas iš paprastesnių darbo zonos radimo metodų yra Monte Carlo metodas. Juo randame dviejų laisvės laipsnių darbo zoną (pvz. vaizdas iš viršaus). Plokštuminį darbo zonos vaizdą sudaro tiesės ir lankai. Sukamasis judesys brėžia lanką, o tiesę brėžia linijinis judesys (prizminės kinematinės poros judesys). Monte Carlo metodas yra paprastas tuo, kad įvedus į kompiuterio programą sukamojo judėjimo posūkių kampus, slenkamojo judėjimo atstumą ir grandžių ilgius, kompiuteris randa daug taškų, priklauso manipulatoriaus judėjimo sričiai (1.7 pav.) [12].





1.7 pav. Monte Carlo taškai[12]

Nubrėžiame kreives apie šiuos taškus ir gauname manipulatoriaus darbo zoną (1.8 pav.).



1.8 pav. Manipulatoriaus darbo zona[12]

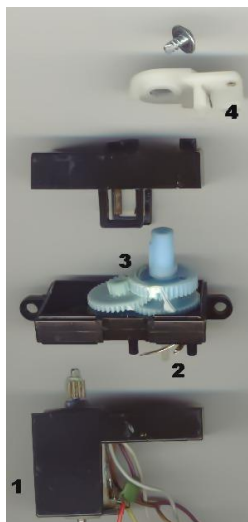
Taigi turėdami manipulatoriaus darbo zoną, turime valdyti (judinti) ir patį manipuliatorių, todėl sekančioje aptarsime pavaras reikalingas manipulatoriaus valdymui.

## 1.6 Servo pavaros

Servo pavara yra rotacinė ar linijinė pavara, kuri atsižvelgia į tikslią kampinės ar linijinės padėties, greičio ir pagreičio kontrolę. Pati paprasčiausia servo pavara sudaryta iš (1.9 pav.):

- 1) Elektros pavara
- 2) Potenciometras
- 3) Reduktorius
- 4) Vykduojantis mechanizmas

Servo pavarą sudaro: jutikliai (greičio, pozicijos) ir valdymo blokas, kuris priima signalus iš jutiklių bei operatoriaus. Servo pavarą galima laikyti automatizuota valdymo sistema, gebančia autonomiškai palaikyti reikiamus parametrus, esant kintantiems išoriniams poveikiams ir trikdžiams [13].



1.9 pav. Servo pavara[13]

Servo pavarų rūšys:

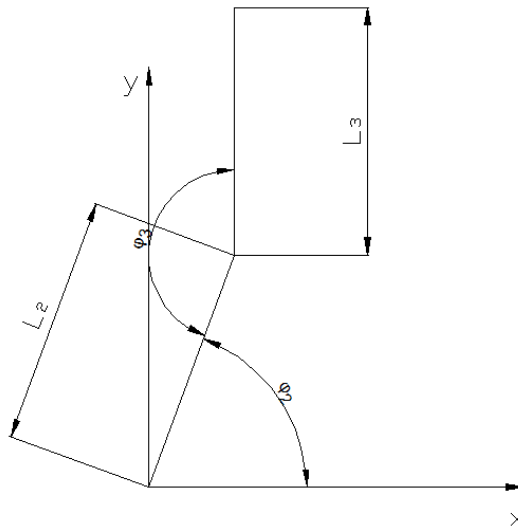
- a) Pagal judėjimą gali būti:
    - Sukamojo judėjimo
    - Slenkamojo judėjimo
  - b) Pagal veikimo principą:
    - Elektromechaninis (sukamajam arba slenkamajam judėjimui naudojamas elektros variklis ir reduktorius)
      - Elektrohidromechaninis (sukamajam arba slenkamajam judėjimui naudojama hidraulinė pavara, kurią valdo elektros pavara)
  - c) Pagal grįžtamojo ryšio sistemą:
    - Nulinė servo sistema (servo pavara veikia ir vykdo nustatytą užduotį pastoviai, kai yra veikiamas pastovaus išorinio poveikio)
      - Pirminė servo sistema (servo pavara veikia ir vykdo nustatytą užduotį, kai visi trukdžiai kompensuojami, esant greičio pokyčio kontrolei)
      - Antrinė servo sistema (servo pavara veikia ir vykdo nustatytą užduotį, kai visi trukdžiai kompensuojami, esant greičio ir pagreičio pokyčių kontrolei)
- Savo projektuojamam sudvejintam manipuliatoriui naudosis tokio tipo servo pavaras. Bus reikalingos šešios servo pavaros, kiek vienam manipuliatoriui po tris.

## 2. DARBO ZONOS TYRIMAS

Šiame darbe bus tiriamas ir projektuojamas mobilaus roboto sudvejintas manipulatorius, t.y. robotas turės du manipulatorius, kurie dirbs kaip vienas. Galime šiuos manipulatorius vadinti veidrodiniais arba kairys ir dešinys manipulatoriai. Kiek vienas manipulatorius turės tris laisvės laipsnius. Manipuliatorių kinematinės poros bus sukamosios (R). Kiekvienas manipulatorius bus Antropomorfinis (RRR). Kaip jau žinome, antropomorfinio manipulatoriaus darbo zona turi sferinį paviršių, tačiau svarbiausia rasti darbo zonos pjūvį, t.y. šiuo atveju rasime manipulatoriaus darbo zoną iš viršaus (plokščias vaizdas iš viršaus).

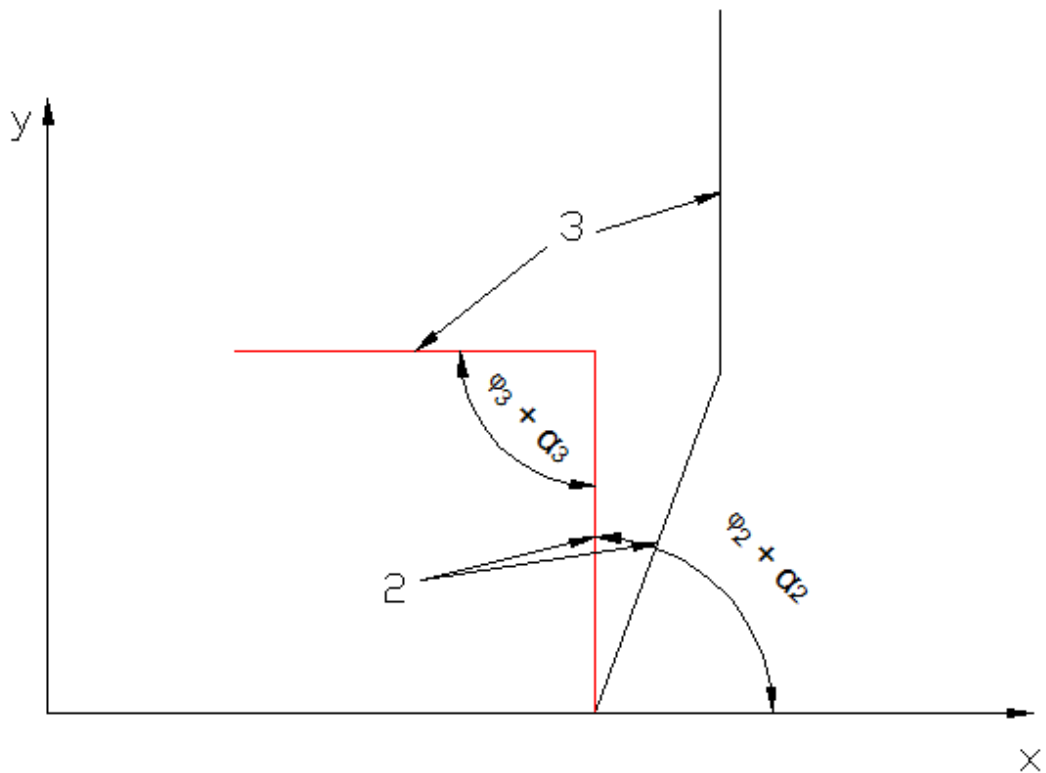
Darbo zoną nustatysime panaudodami grafinį metodą [11], kuriame pavaizduosime dviejų laisvės laipsnių darbo zoną (vaizdas iš viršaus). Šiame metode reikės atlikti tokius veiksmus:

1) Nubrėžeme dvi tieses  $L_2$  ir  $L_3$ , kurių kampai atitinkamai  $\varphi_2$  ir  $\varphi_3$  (šios tiesės atitinka manipulatoriaus grandis) (2.1 pav.).



2.1 Pav. Dvi manipulatoriaus grandys

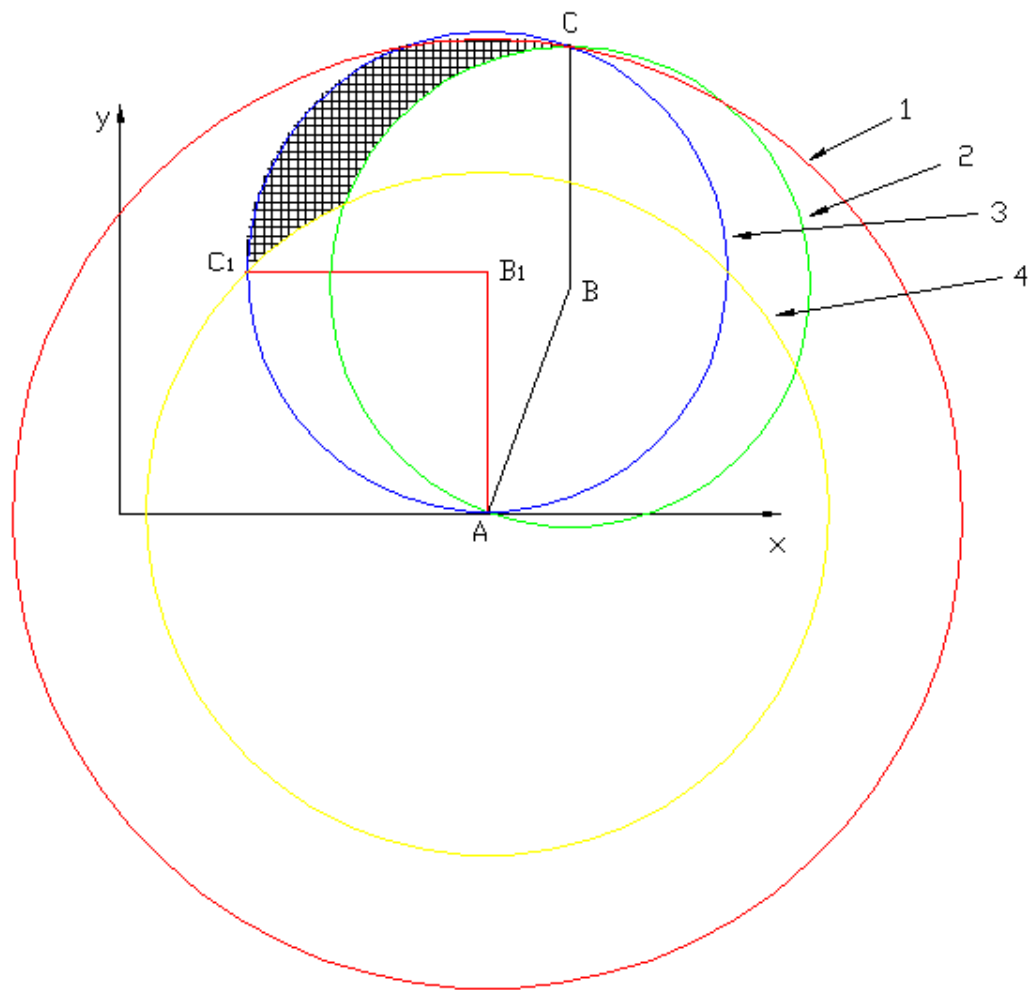
2) Pasukame abi grandis kampu  $\varphi_2 + \alpha_2$  ir  $\varphi_3 + \alpha_3$  iki užsiduotos galinės padėties (2.2 pav). Posūkių kampai atitinka manipulatoriaus posūkių kampus.



2.2 Pav. Manipulatoriaus grandys pasuktos kampu

- 3) Nubrėžiame keturis apskritimus (2.3 pav.):
- apskritimo 1 spindulys yra  $AC$ , o centras yra taške  $A$
  - apskritimo 2 spindulys yra  $BC$ , o centras yra taške  $B$
  - apskritimo 3 spindulys yra  $B_1C_1$ , o centras yra taške  $B_1$
  - apskritimo 4 spindulys yra  $AC_1$ , o centras yra taške  $A$

Visi apskritimai parodo manipulatoriaus sukimasį, jeigu posūkių kampai būtų nuo  $0^0$  iki  $360^0$ . Kadangi yra dvi grandys ir keturi apskritimai, tai sukimasis vyksta kiek vienai grandžiai po du kartus, t.y. pirmą kartą sukame manipuliatorių ( $AC$ ) iš taško  $A$ , kai manipulatorius ( $AC$ ) yra pradinėje padėtyje, antrą kartą sukame manipuliatorių ( $AC_1$ ) iš taško  $A$ , kai manipulatorius ( $AC_1$ ) yra galinėje padėtyje. Šiuos veiksmus kartojame su antra manipulatoriaus grandimi, t.y. pirmą kartą sukame manipuliatorių ( $BC$ ) iš taško  $B$ , kai manipulatorius ( $AC$ ) yra pradinėje padėtyje, antrą kartą sukame manipuliatorių ( $B_1C_1$ ) iš taško  $B_1$ , kai manipulatorius ( $AC_1$ ) yra galinėje padėtyje. Manipuliatorių bent du apskritimai turi kirstis taške  $C$  ir bent du apskritimai turi kirstis taške  $C_1$ .

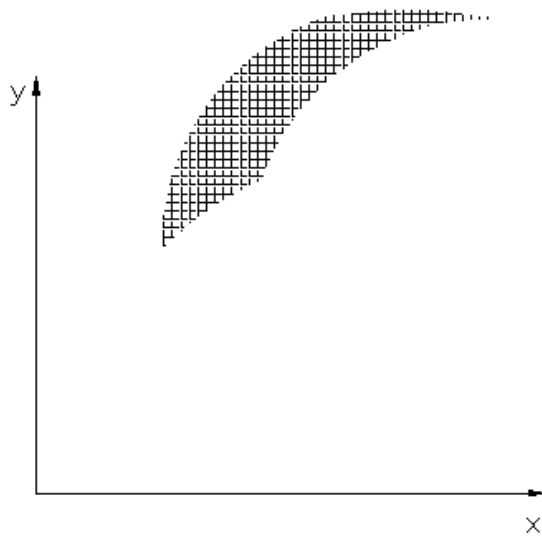


2.3 Pav. Apskritimai reikalingi rasti manipulatoriaus darbo zoną

4) Langeliais pažymime plotą, kurio kiekviena kraštinė yra skirtingo apskritimo ir to ploto du kampai yra taškuose C ir C<sub>1</sub> (2.3 pav.), t.y.:

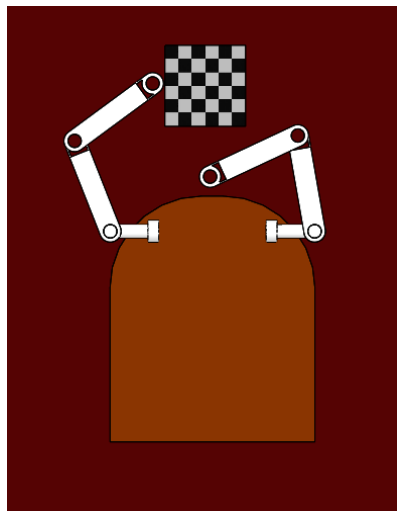
- iš taško A nubrėžto raudono apskritimo linija yra viršutinė šio ploto linija;
- iš taško A nubrėžto geltono apskritimo linija yra apatinė šio ploto linija;
- iš taško B<sub>1</sub> nubrėžto mėlyno apskritimo linija yra kairioji šio ploto linija;
- iš taško B nubrėžto žalio apskritimo linija yra dešinioji šio ploto linija.

5) Langeliais pažymėtas plotas yra manipulatoriaus darbo zona (2.4 pav.).



2.4 Pav. Manipulatoriaus darbo zona

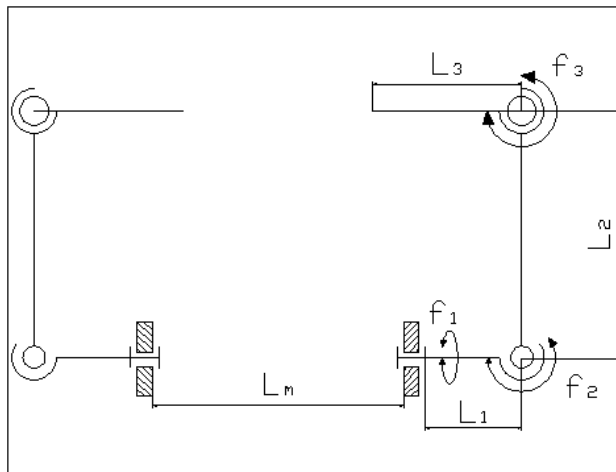
Šituo grafiniu tyrimu būdu pasinaudosiu tirdamas penkis darbo zonos variantus, kuriuose grandžių ilgiai bus vienodi, o keisis atstumas tarp manipuliatorių, posūkių kampai ir manipuliatorių padėtis roboto priekio atžvilgiu. Posūkių kampai bus keičiami taip, kad manipulatoriai sulenkti didžiausiu kampu priartėtų prie mobilaus roboto korpuso ir pakeltu objektą kurio didžiausi matmenys būtų 150mm x 150mm x 150mm (2.5 pav.).



2.5 pav. Mobilus robotas su manipulatoriais ir dėžute

Mobilaus roboto kairės pusės ir dešinės pusės manipulatoriai yra vienodi, t.y. jų konstrukcija, masė, planuojamos panaudoti servo pavaros, keliamoji galia. Posūkių kampas pirmos grandies kairiame ir dešiniame manipuliatoriuje vienodas, antros ir trečios grandžių posūkių kampas

priešingas, t.y. abi grandys vienu metu juda į roboto centrinę ašį arba nuo jos. Grandys, posūkių kampai ir atstumas tarp kairės ir dešinės manipuliatorių parodytas kinematinėje schemoje (2.6 pav.).



2.6 pav. Mobilaus roboto sudvejinto manipulatoriaus kinematinė schema

Visų penkių darbo zonų grandžių ilgiai, posūkių kampai pateikti lentelėje (2.1 Lentelė).

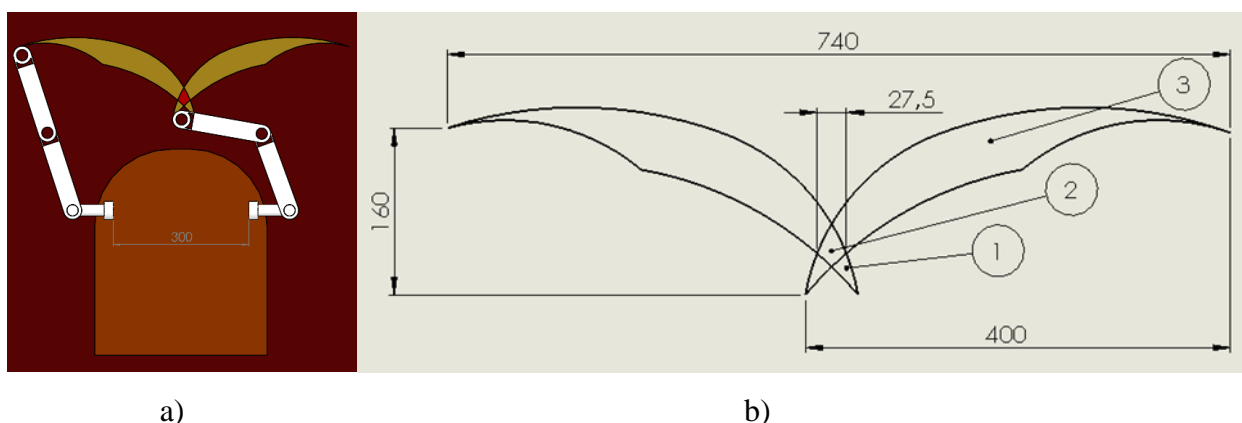
2.1 Lentelė

Grandžių ilgiai ir posūkių kampai

		Penki darbo zonos tyrimo variantai				
		1	2	3	4	5
Grandžių ilgiai	$L_1$	70 mm	70 mm	70 mm	70 mm	70 mm
	$L_2$	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm
	$L_3$	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm
Atstumas tarp manipuliatorių	$L_m$	300 mm	250 mm	200 mm	150 mm	100 mm

Posūkių kampai (laipsniais)	$\varphi_1$	nuo – 35 iki 70	nuo – 35 iki 70	nuo – 35 iki 70	nuo – 35 iki 70	nuo – 35 iki 70
	$\varphi_2$	nuo 70 iki 110	nuo 75 iki 120	nuo 80 iki 120	nuo 85 iki 120	nuo 90 iki 120
	$\varphi_3$	nuo 0 iki 60	nuo 0 iki 90	nuo 0 iki 105	nuo 0 iki 120	nuo 0 iki 130

*Darbo zona Nr. 1.*



2.7 pav. a) Pirmą darbo zoną su robotu; b) Pirmos darbo zonos matmenys

Paveiksle ( 2.7 pav. a ) pavaizduotas robotas su manipuliatoriumi ir pirmą darbo zoną. Atstumas tarp manipuliatorių yra 300 mm. Visa manipuliatoriaus darbo zona yra geltonos spalvos ir jos viduryje susikertantis abiejų manipuliatorių plotas – raudonos spalvos. Vienas manipuliatorius yra ištiestas, kitas sulenktas. Ištiestas manipuliatorius yra pradinėje padėtyje, o pavaizduotas sulenktas manipuliatorius yra galinėje padėtyje.

Paveiksle ( 2.7 pav. b ) pavaizduota tik darbo zona su matmenimis. Visas darbo zonos ilgis yra 740 mm, plotis 160 mm. Numeriais pažymėtos darbo zonos:

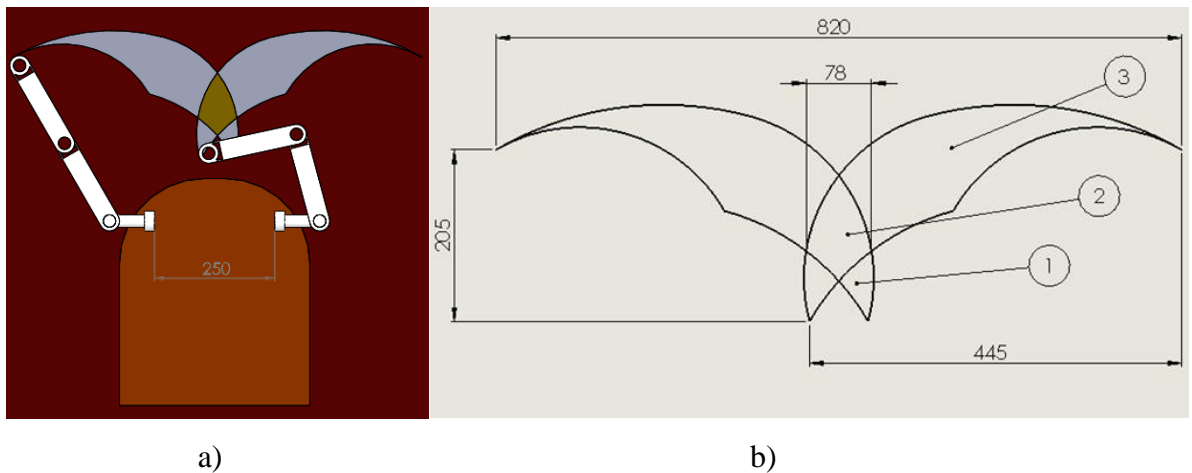
- Pirmu numeriu pažymėta darbo zonos vieta yra plotas, šitą plotą pavadinkime „ausytė“, kur manipuliatoriai prasilenkia vienas su kitu, jos plotas yra 356 mm<sup>2</sup>.



- Antru numeriu pažymėta darbo zonos vietą yra manipuliatorių bendra darbo zona. Šitos darbo zonos plotas yra  $582 \text{ mm}^2$ .
- Trečiu numeriu pažymėta darbo zona yra vieno manipulatoriaus darbo zona, nuo pradinio taško iki abiejų darbo zonų susikirtimo. Šitos darbo zonos plotas yra  $13030 \text{ mm}^2$ .

Pirmo tyrimo atveju, visas darbo zonos plotas yra  $27354 \text{ mm}^2 \approx 0,027 \text{ m}^2$ .

*Darbo zona Nr. 2.*



2.8 pav. a) Antra darbo zona su robotu; b) Antros darbo zonos matmenys

Paveiksle ( 2.8 pav. a ) pavaizduotas robotas su manipulatoriumi ir antra darbo zona. Atstumas tarp manipuliatorių yra 250 mm. Visa manipulatoriaus darbo zona yra pilkos spalvos ir jos viduryje susikertantis abiejų manipuliatorių plotas – geltonos spalvos. Vienas manipulatorius yra ištiestas, kitas sulenktas. Ištiestas manipulatorius yra pradinėje padėtyje, o pavaizduotas sulenktas manipulatorius yra galinėje padėtyje.

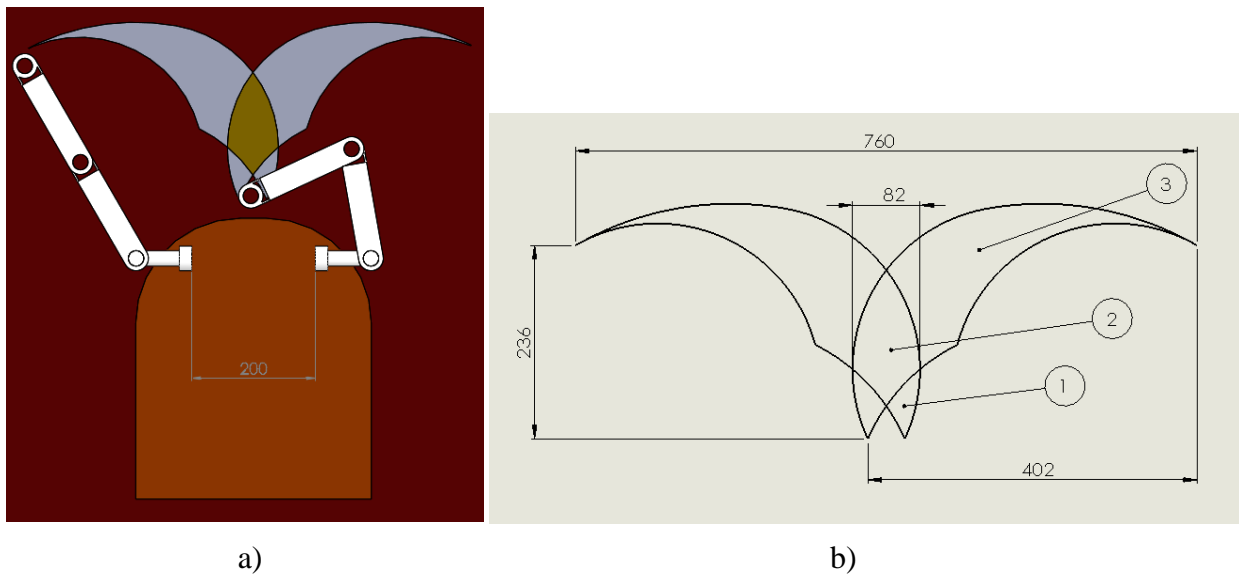
Paveiksle ( 2.8 pav. b ) pavaizduota tik darbo zona su matmenimis. Visas darbo zonos ilgis yra 820 mm, plotis 205 mm. Antru atveju darbo zona yra ilgesnė, nes posūkio kampas  $\varphi_2$  kinta iki  $120^\circ$ , o ne iki  $110^\circ$ , kaip buvo pirmu atveju. Numeriais pažymėtos darbo zonos:

- Pirmu numeriu pažymėta darbo zonos vieta yra ausytė, kur manipulatoriai prasilenkia vienas su kitu, jos plotas yra  $1800 \text{ mm}^2$ .
- Antru numeriu pažymėta darbo zonos vietą yra manipuliatorių bendra darbo zona. Šitos darbo zonos plotas yra  $5650 \text{ mm}^2$ .

- Trečiu numeriu pažymėta darbo zona yra vieno manipulatoriaus darbo zona, nuo pradinio taško iki abiejų darbo zonų susikirtimo. Šitos darbo zonos plotas yra  $23960 \text{ mm}^2$ .

Antro tyrimo atveju, visas darbo zonos plotas yra  $57170 \text{ mm}^2 \approx 0,057 \text{ m}^2$ .

*Darbo zona Nr. 3.*



2.9 pav. a) Trečia darbo zona su robotu; b) Trečios darbo zonos matmenys

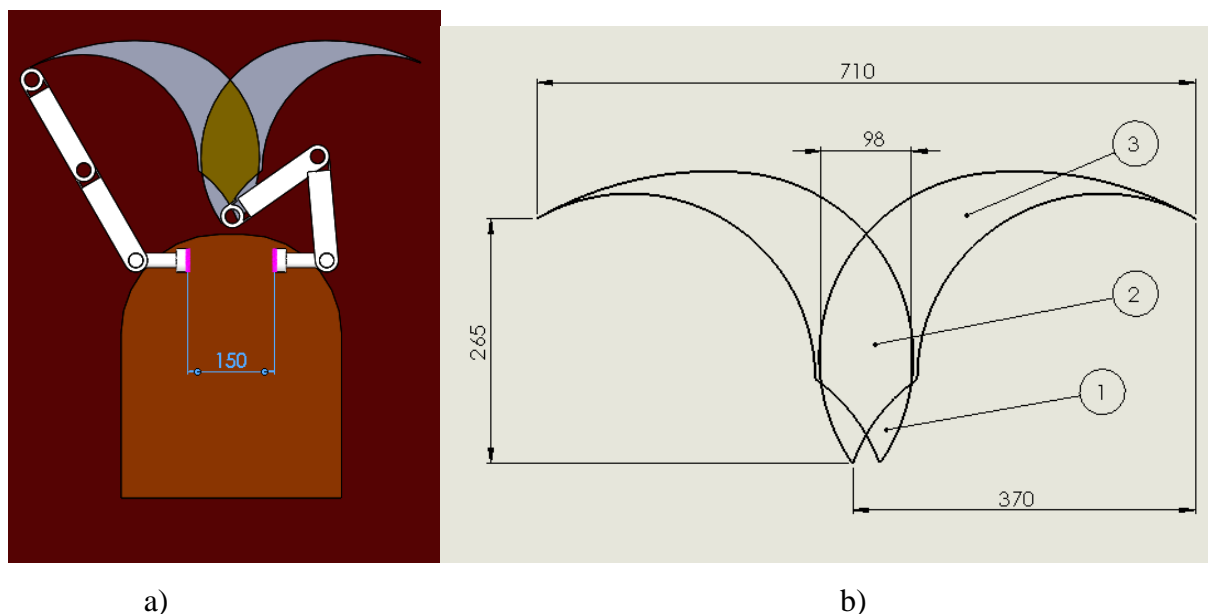
Paveiksle ( 2.9 pav. a ) pavaizduotas robotas su manipuliatoriumi ir trečia darbo zona. Atstumas tarp manipuliatorių yra 200 mm. Visa manipulatoriaus darbo zona yra pilkos spalvos ir jos viduryje susikertantis abiejų manipuliatorių plotas – geltonos spalvos. Vienas manipulatorius yra ištiestas, kitas sulenktas. Ištiestas manipulatorius yra pradinėje padėtyje, o pavaizduotas sulenktas manipulatorius yra galinėje padėtyje.

Paveiksle ( 2.9 pav. b ) pavaizduota tik darbo zona su matmenimis. Visas darbo zonos ilgis yra 760 mm, plotis 236 mm. Numeriais pažymėtos darbo zonos:

- Pirmu numeriu pažymėta darbo zonos vieta yra ausytė, kur manipulatoriai prasilenkia vienas su kitu, jos plotas yra  $1662 \text{ mm}^2$ .
- Antru numeriu pažymėta darbo zonos vietą yra manipuliatorių bendra darbo zona. Šitos darbo zonos plotas yra  $8485 \text{ mm}^2$ .
- Trečiu numeriu pažymėta darbo zona yra vieno manipulatoriaus darbo zona, nuo pradinio taško iki abiejų darbo zonų susikirtimo. Šitos darbo zonos plotas yra  $21490 \text{ mm}^2$ .

Trečio tyrimo atveju, visas darbo zonos plotas yra  $54789 \text{ mm}^2 \approx 0,055 \text{ m}^2$ .

#### Darbo zona Nr. 4.



2.10 pav. a) Ketvirta darbo zona su robotu; b) Ketvirtos darbo zonos matmenys

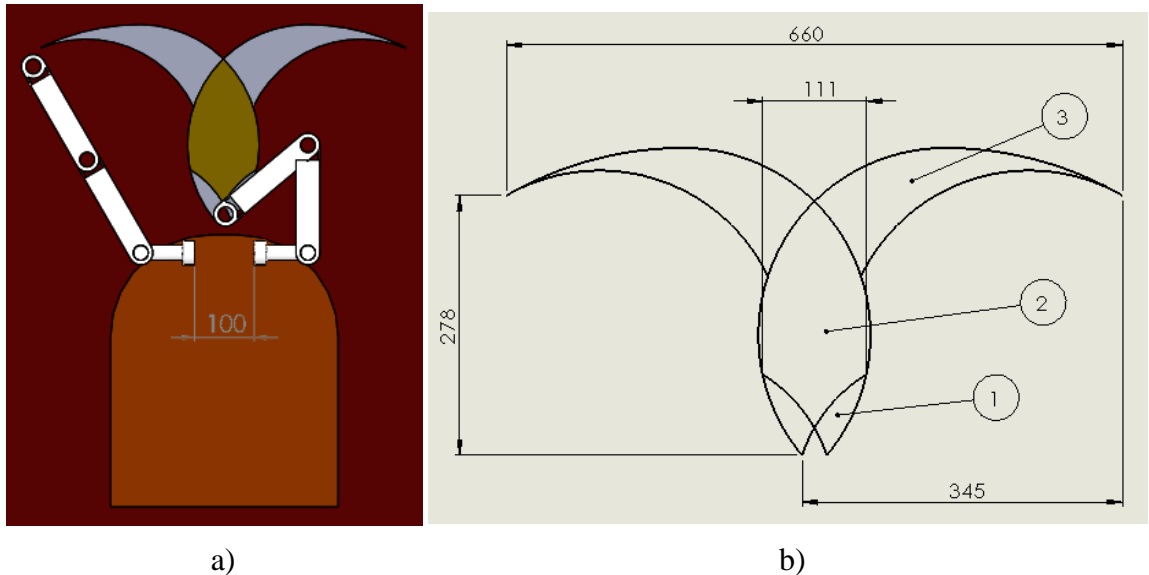
Paveiksle ( 2.10 pav. a ) pavaizduotas robotas su manipulatoriumi ir ketvirta darbo zona. Atstumas tarp manipuliatorių yra 150 mm. Visa manipulatoriaus darbo zona yra pilkos spalvos ir jos viduryje susikertantis abiejų manipuliatorių plotas – geltonos spalvos. Vienas manipuliatorius yra ištiestas, kitas sulenktas. Ištiestas manipuliatorius yra pradinėje padėtyje, o pavaizduotas sulenktas manipuliatorius yra galinėje padėtyje.

Paveiksle ( 2.10 pav. b ) pavaizduota tik darbo zona su matmenimis. Visas darbo zonos ilgis yra 710 mm, plotis 265 mm. Numeriais pažymėtos darbo zonos:

- Pirmu numeriu pažymėta darbo zonos vieta yra ausytė, kur manipuliatoriai prasilenkia vienas su kitu, jos plotas yra  $1665 \text{ mm}^2$ .
- Antru numeriu pažymėta darbo zonos vietą yra manipuliatorių bendra darbo zona. Šitos darbo zonos plotas yra  $14400 \text{ mm}^2$ .
- Trečiu numeriu pažymėta darbo zona yra vieno manipulatoriaus darbo zona, nuo pradinio taško iki abiejų darbo zonų susikirtimo. Šitos darbo zonos plotas yra  $16920 \text{ mm}^2$ .

Ketvirto tyrimo atveju, visas darbo zonos plotas yra  $51570 \text{ mm}^2 \approx 0,052 \text{ m}^2$ .

*Darbo zona Nr. 5.*



2.11 pav. a) Penkta darbo zona su robotu; b) Penktos darbo zonos matmenys

Paveiksle ( 2.11 pav. a ) pavaizduotas robotas su manipulatoriumi ir penkta darbo zona. Atstumas tarp manipuliatorių yra 100 mm. Visa manipulatoriaus darbo zona yra pilkos spalvos ir jos viduryje susikertantis abiejų manipuliatorių plotas – geltonos spalvos. Vienas manipuliatorius yra ištiestas, kitas sulenktas. Ištiestas manipuliatorius yra pradinėje padėtyje, o pavaizduotas sulenktas manipuliatorius yra galinėje padėtyje.

Paveiksle ( 2.11 pav. b ) pavaizduota tik darbo zona su matmenimis. Visas darbo zonos ilgis yra 660 mm, plotis 278 mm. Numeriais pažymėtos darbo zonos:

- Pirmu numeriu pažymėta darbo zonos vieta yra ausytė, kur manipuliatoriai prasilenkia vienas su kitu, jos plotas yra 1814 mm<sup>2</sup>.
- Antru numeriu pažymėta darbo zonos vietą yra manipuliatorių bendra darbo zona. Šitos darbo zonos plotas yra 19400 mm<sup>2</sup>.
- Trečiu numeriu pažymėta darbo zona yra vieno manipulatoriaus darbo zona, nuo pradinio taško iki abiejų darbo zonų susikirtimo. Šitos darbo zonos plotas yra 12260 mm<sup>2</sup>.

Penkto tyrimo atveju, visas darbo zonos plotas yra 47548 mm<sup>2</sup>  $\approx$  0,048 m<sup>2</sup>.

Palyginimui sukeliame visų darbo zonų plotus į vieną lentelę (2.2 lentelė)

2.2 lentelė

Penkių darbo zonų plotų lentelė

Darbo zonos tyrimo Nr.	„Ausytės“ plotas, mm <sup>2</sup>	Manipuliatorių susikirtimo plotas, mm <sup>2</sup>	Vieno manipulatoriaus darbo zonos plotas iki susikirtimo, mm <sup>2</sup>	Visos darbo zonos plotas, mm <sup>2</sup>
1	356	582	13030	27354
2	1800	5650	23960	57170
3	1662	8485	21490	54789
4	1665	14400	16920	51570
5	1814	19400	12260	47548

Iš lentelės (2.2 lentelė) galime teigti:

- „Ausytės“ ploto dydį labiausiai įtakoja manipulatoriaus posūkio kampai, o ne atstumas tarp manipuliatorių.
- Manipulatoriaus susikirtimo ploto dydį įtakoja ir manipuliatorių posūkių kampai ir atstumas tarp manipuliatorių. Kaip matome mažėjant atstumui tarp manipuliatorių, abiejų manipuliatorių susikirtimo plotas didėja.
- Didėjant abiejų manipuliatorių susikirtimo plotui, mažėja vieno manipulatoriaus darbo zonos plotas iki susikirtimo.
- Visa manipulatoriaus darbo zona taip pat priklauso nuo posūkio kampų ir priklauso nuo atstumo tarp manipuliatorių.

Apibendrinus visą darbo zonų tyrimą galima teigti, kad mobilaus roboto sudvejinto manipulatoriaus darbo zoną įtakoja ne tik manipuliatorių posūkių kampai, bet ir atstumas tarp pačių manipuliatorių. Pasirenkant tinkamiausią darbo zoną turime atsižvelgti į keliamus manipuliatoriui reikalavimus, t.y. pakelti dėžutę, kurios matmenys 150 mm x 150 mm x 150mm. Tokią dėžutę galėsime suimti su manipuliatoriais visose penkiose darbo zonose.

Nubraižius manipulatoriaus darbo zonas reikia pasirinkti servo pavaras manipuliatoriui valdyti. Servo pavaroms pasirinkti atliksiu dinaminis manipulatoriaus tyrimus sekančiame skyriuje.

### 3. MANIPULATORIAUS DINAMINIŲ CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS IR SERVO PAVARŲ PARINKIMAS

Šiame skyriuje SolidWorks programa tirsime manipulatoriaus dinamines charakteristikas, t.y. išsiaiškinsime, kokie reikalingi sukimo momentai manipuliatorių sukoti per visus šarnyrus. Grafikai bus gaunami SolidWorks programa, panaudojus „motion“ funkcijas.

Manipulatoriaus dinaminėms charakteristikoms tirti pasirinksiame vieną manipulatoriaus ranką (kita ranka tokia pati) ir tris skirtingas medžiagas, kad skirtųsi manipulatoriaus masė. Tirdami manipuliatorių, įvertinsime grandžių savąjį svorį ir pridėsime papildomą jėgą manipulatoriaus gale, kurią keisime nuo 0N iki 20N. Laikas per kurį manipulatorius pakeliamas nuo  $-30^{\circ}$  iki  $70^{\circ}$  yra 3 sekundės (3.1 pav.). Manipulatoriaus parametrai surašyti lentelėje (3.1 Lentelė). Šiuose tyrimuose trintis nebus vertinama.

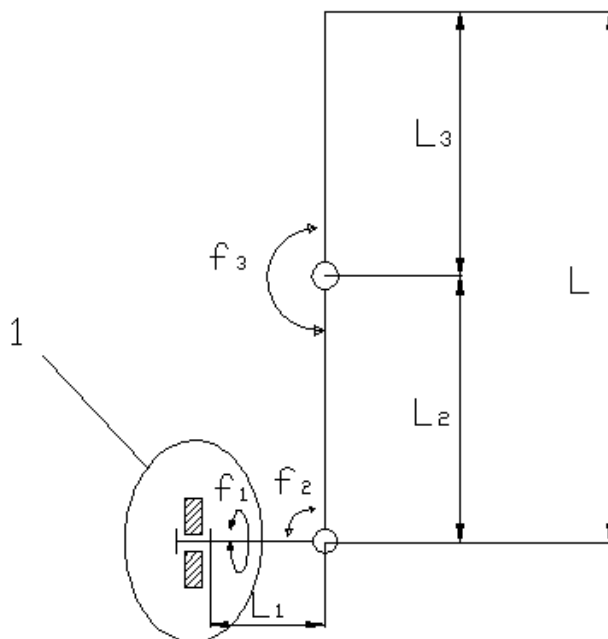
3.1 Lentelė

Manipulatoriaus parametrai

Medžiaga, iš kurios pagamintas manipulatorius	Plastikas ABS	Aliuminis 6061	Nerūdijantis plienas AISI 304
Manipulatoriaus masė	0,342 kg	0,863 kg	2,558kg
Ištiesto manipulatoriaus ilgis (L)	400 mm	400 mm	400 mm
Sulenкто kampu manipulatoriaus ilgis (L)	346 mm	346 mm	346 mm

#### 3.1 Manipulatoriaus pirmos grandies dinaminis tyrimas, kai manipulatorius ištiestas

Pirmiausia tirsime manipulatoriaus pirmąją grandį, manipulatorius ištiestas (3.1 pav.).

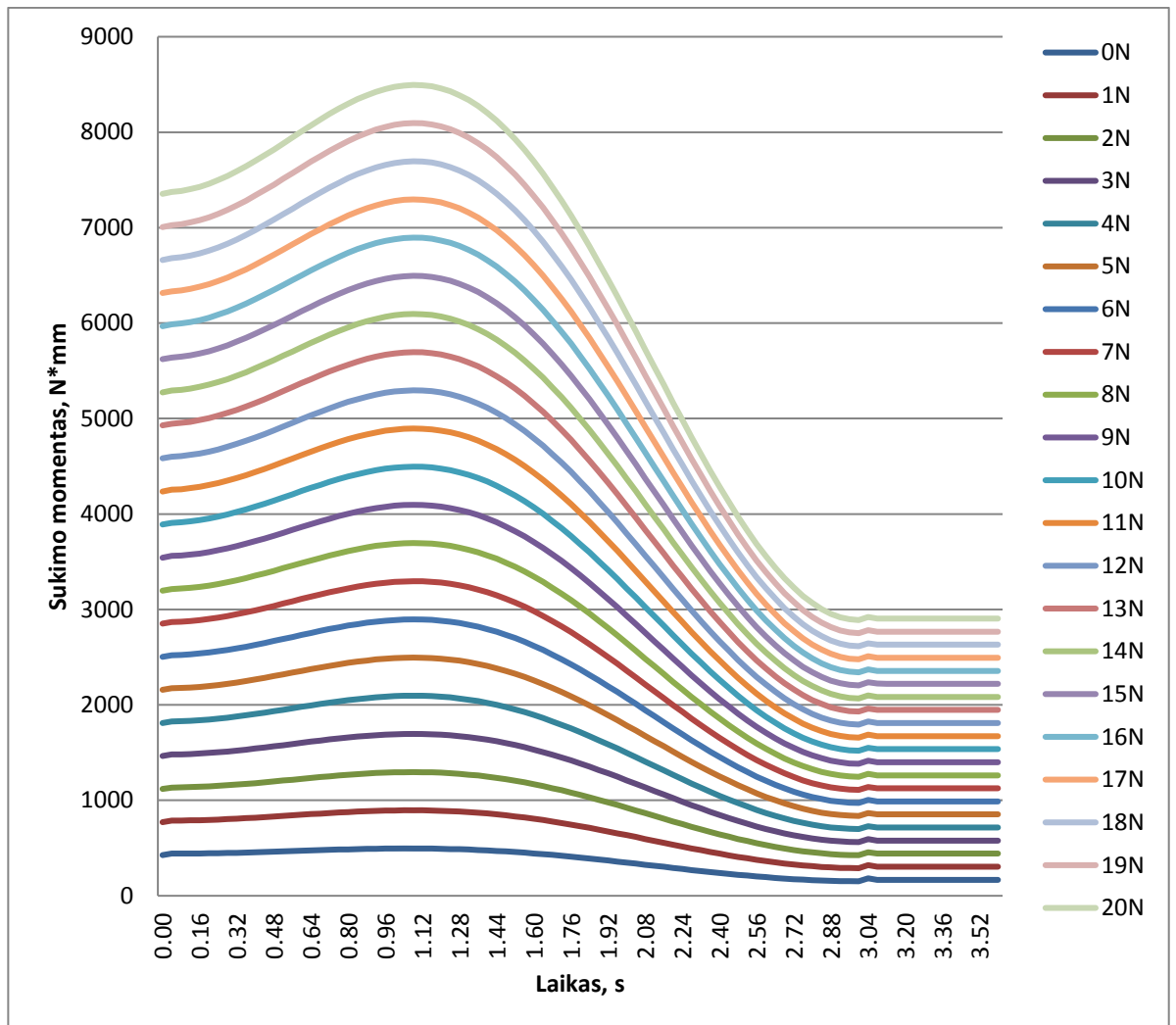


3.1 pav. Manipulatorius ištiestas

Pirmoji grandis paveiksliuke (3.1 pav.) pažymėta skaičiumi 1. Jos sukimosi kampas yra nuo  $-30^{\circ}$  iki  $70^{\circ}$ , t.y. horizontalioje pozicijoje manipulatoriaus pirmos grandies kampas yra  $0^{\circ}$ , ji nusileidžia žemyn  $30^{\circ}$  kampu ir pakyla aukštyn, horizontalios pozicijos atžvilgiu,  $70^{\circ}$  kampu. Visas pirmos grandies sukamasis judėjimas yra  $100^{\circ}$ .

1. Manipulatorius pagamintas iš plastiko ABS, jo masė  $0,342\text{kg}$ .

Nubraižome grafiką, kurio vertikalioje ašyje atidedame elektros variklio sukimo momentą  $N \cdot \text{mm}$ , o horizontalioje ašyje atidedame laiką, s. Šis atidėtas laikas yra manipulatoriaus pakylimo laikas nuo pradinės padėties iki galinės padėties.



3.2 pav. Sukimo momentas reikalingas pakelti ištiesą manipuliatorių, plastikas ABS

Iš grafiko (3.2 pav.) gauname tokius rezultatus:

1) Grafiko kreivės pirmiausia kyla aukštyn, po to leidžiasi žemyn, taip yra todėl, kad pradžioje manipulatorius yra  $-30^{\circ}$  horizonto atžvilgiu, kylant aukštyn, sukimo momentas, reikalingas pakelti manipuliatorių didėja, kai pasiekiami horizontali manipulatoriaus pozicija, gaunamas didžiausias sukimo momentas, po to kylant toliau aukštyn manipuliatoriui, sukimo momentas mažėja, nes didėja kampas nuo horizontalios padėties. Didžiausias sukimo momentas yra laiko momentu 1,08s.

2) Laiko momentu 3s yra nedidelis sukimo momento šuolis, kuris atsiranda dėl to, kad manipulatorius nuo  $-30^{\circ}$  iki  $70^{\circ}$  kampo keliamas tris sekundes, o po to sustoja ir laiko objektą iškeltą.

3) Manipuliatoriui pakelti aukštyn, kai pridėtos papildomos jėgos nėra ( $F = 0N$ ), reikia sukimo momento, kuris lygus  $495,63 \text{ N*mm} \approx 496 \text{ N*mm}$



4) Manipuliatoriui pakelti aukštyn, kai pridėta jėga yra 1N, reikia sukimo momento, kuris lygus  $895,62 \text{ N}\cdot\text{mm} \approx 896 \text{ N}\cdot\text{mm}$ .

5) Palyginame sukimo momentą  $M$ , kai  $F = 0\text{N}$  ir  $F = 1\text{N}$ .  $M_0(F = 0\text{N}) < M_1(F = 1\text{N})$ . Skirtumas tarp jų gaunamas pagal formulę (1):

$$M_{s1} = M_1 - M_0 ; \quad (1)$$

$M_{s1}$  – Sukimo momentų skirtumas;

$M_1$  – sukimo momentas, kai pridėta jėga 1N;

$M_0$  – pradinis sukimo momentas, t.y. sukimo momentas, kai pridėta jėga 0N;

$$M_{s1} = 896 \text{ N}\cdot\text{mm} - 496 \text{ N}\cdot\text{mm} = 400 \text{ N}\cdot\text{mm};$$

6) Iš rezultato Nr. 6, matome, kad skirtumas tarp sukimo momentų yra lygus manipulatoriaus ilgiui, todėl galime teigti, kad padidinus pridedamą jėga 1N, sukimo momentas, reikalingas pakelti manipuliatorių padidės  $400 \text{ N}\cdot\text{mm}$ . Patikriname:

$$M_2(F = 2\text{N}) = M_1 + 400 \text{ N}\cdot\text{mm};$$

$$M_2(F = 2\text{N}) = 896 \text{ N}\cdot\text{mm} + 400 \text{ N}\cdot\text{mm} = 1296 \text{ N}\cdot\text{mm};$$

Gauname, ka sukimo momentas reikalingas pakelti manipuliatorių, kai pridėta jėga 2 N yra lygus  $1296 \text{ N}\cdot\text{mm}$ , grafike sukimo momentas yra  $1295,61 \text{ N}\cdot\text{mm}$ .

Skirtumas tarp sukimo momento grafike ir paskaičiuoto analitiškai yra:

$$1296 \text{ N}\cdot\text{mm} - 1295,61 \text{ N}\cdot\text{mm} = 0,39 \text{ N}\cdot\text{mm};$$

Šis skirtumas atsiranda dėl apvalinimo ir sudaro mažiau nei 0,1% sukimo momento reikšmės, todėl galime jo nevertinti.

7) Iš rezultato Nr. 7, galime teigti, kad sukimo momenta manipulatoriaus pirmai grandžiai, pagaminto iš plastiko ABS, kurio masė yra 0,342 kg, galime paskaičiuoti pagal formulę:

$$M_i = M_0 + F * L; \quad (2)$$

$F$  – pridėta papildoma jėga manipulatoriaus gale

Patikriname:

a) Pridėta jėga  $F = 9\text{N}$

$$M_9 = 496 + 9 * 400 = 4096 \text{ N}\cdot\text{mm};$$

Grafike, kai pridėta jėga 9N, sukimo momentas lygus  $4095,52 \text{ N}\cdot\text{mm}$ .

b) Pridėta jėga  $F = 15\text{N}$

$$M_{15} = 496 + 15 * 400 = 6496 \text{ N}\cdot\text{mm};$$

Grafike, kai pridėta jėga 15N, sukimo momentas lygus  $6495,44 \text{ N}\cdot\text{mm}$ .

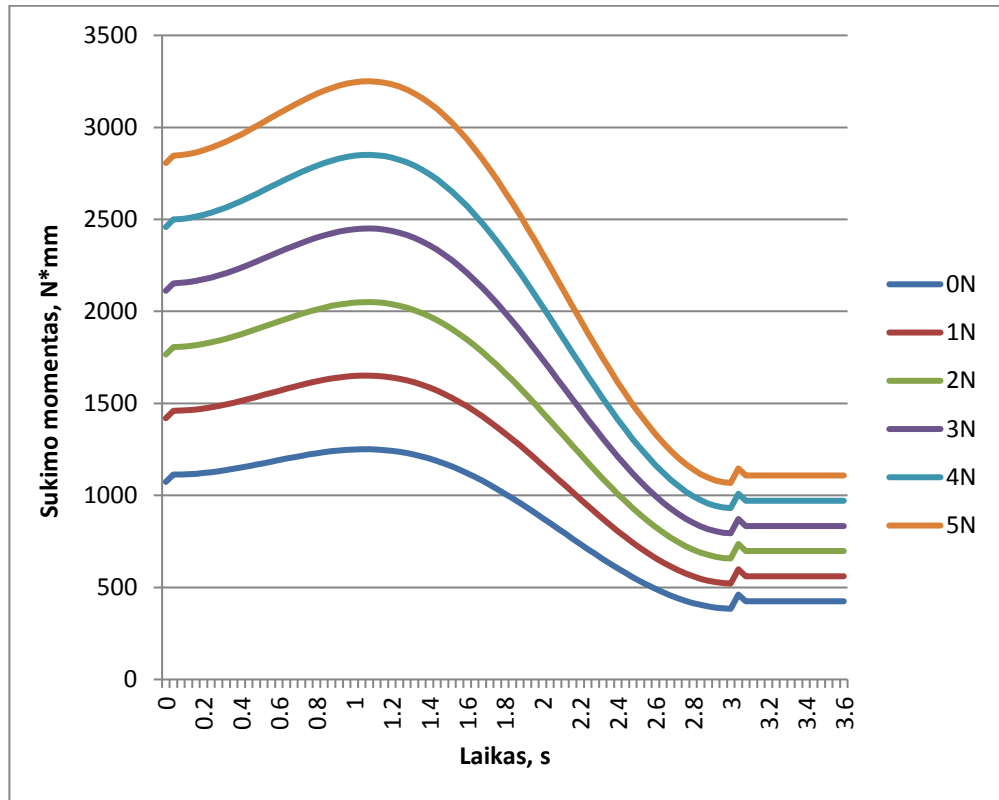
c) Pridėta jėga  $F = 20\text{N}$

$$M_{20} = 496 + 20 * 400 = 8496 \text{ N}\cdot\text{mm};$$

Grafike, kai pridėta jėga 20N, sukimo momentas lygus  $8495,39 \text{ N}\cdot\text{mm}$ .

2. Manipulatorius pagamintas iš aliuminio 6061, jo masė 0,863 kg.

Nubraižome grafiką, kurio vertikaliame stulpelyje atidedame elektros variklio sukimo momentą  $N \cdot mm$ , o horizontalioje eilutėje atidedame laiką s. Šiame grafike keisime pridėtą jėgą nuo 0N iki 5N.



3.3 pav. Sukimo momentas reikalingas pakelti ištiestą manipuliatorių, aliuminis 6061

Iš grafiko (3.3 pav.) gauname tokius rezultatus:

1) Didžiausias sukimo momentas yra laiko momentu 1,08s. Šiuo laiko momentu manipulatorius yra horizontalioje padėtyje.

2) Laiko momentu 3s yra nedidelis sukimo momento šuolis, kuris atsiranda dėl to, kad manipulatorius nuo  $-30^{\circ}$  iki  $70^{\circ}$  kampo keliamas tris sekundes, o po to sustoja ir laiko objektą iškeltą.

3) Manipuliatoriui pakelti aukštyn, kai pridėtos papildomos jėgos nėra ( $F = 0N$ ), reikia sukimo momento, kuris lygus 1251  $N \cdot mm$ .

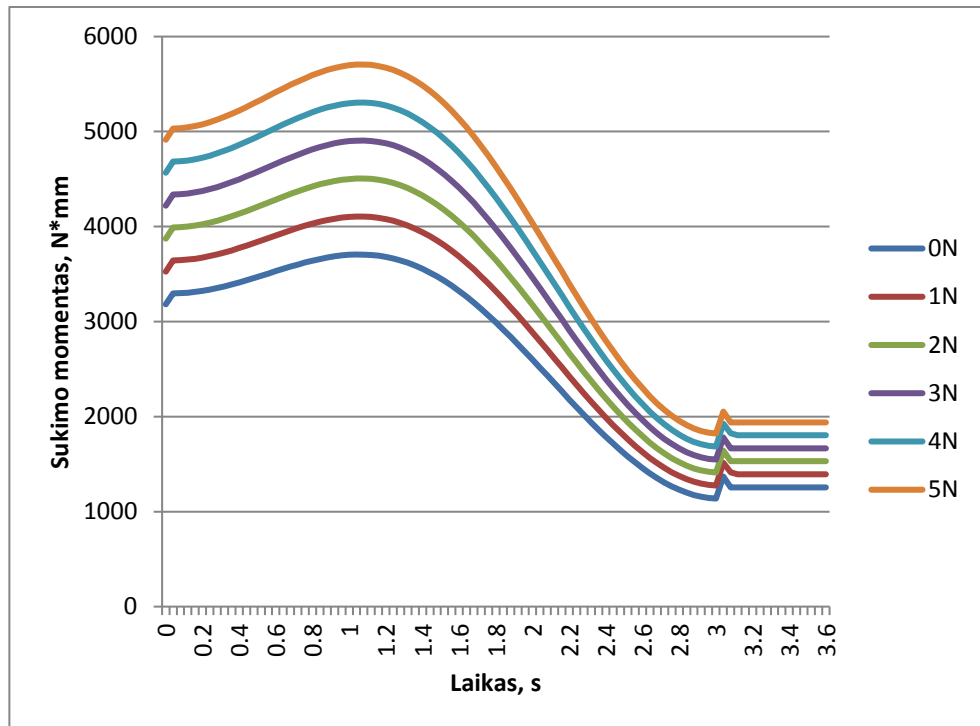
4) Manipuliatoriui pakelti aukštyn, kai pridėta jėga yra 1N, reikia sukimo momento, kuris lygus 1651  $N \cdot mm$ .

5) Patikriname ar šiuo atveju galioja formulė (2):

$$M_1 = 1251 + 1 \cdot 400 = 1651 \text{ N} \cdot \text{mm};$$

3. Manipulatorius pagamintas iš nerūdijančio plieno AISI 304, jo masė 2,558 kg.

Nubraižome grafiką, kurio vertikaliame stulpelyje atidedame elektros variklio sukimo momentą  $N \cdot mm$ , o horizontalioje eilutėje atidedame laiką s. Šiame grafike keisime pridėtą jėgą nuo 0N iki 5N.



3.4 pav. Sukimo momentas reikalingas pakelti ištiestą manipuliatorių, nerūdijantis plienas AISI 304

Iš grafiko (3.4 pav.) gauname tokius rezultatus:

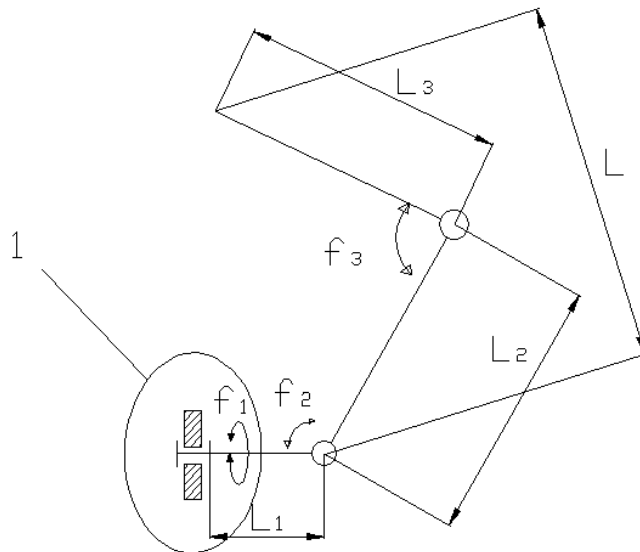
- 1) Didžiausias sukimo momentas yra laiko momentu 1,08s. Šiuo laiko momentu manipulatorius yra horizontalioje padėtyje.
- 2) Laiko momentu 3s yra nedidelis sukimo momento šuolis, kuris atsiranda dėl to, kad manipulatorius nuo  $-30^{\circ}$  iki  $70^{\circ}$  kampo keliamas tris sekundes, o po to sustoja ir laiko objektą iškeltą.
- 3) Manipuliatoriui pakelti aukštyn, kai pridėtos papildomos jėgos nėra ( $F = 0N$ ), reikia sukimo momento, kuris lygus  $3706 N \cdot mm$ .
- 4) Manipuliatoriui pakelti aukštyn, kai pridėta jėga yra 1N, reikia sukimo momento, kuris lygus  $4106 N \cdot mm$ .
- 5) Patikriname ar šiuo atveju galioja formulė (2):  

$$M_1 = 3706 + 1 \cdot 400 = 4106 N \cdot mm;$$

4. Apibendriname pirmus tris grafikus:
- Didžiausias sukimo momentas reikalingas horizontalioje padėtyje.
  - Sukimo momentas, kai pridėta jėga lygi 0N ir manipulatoriaus ilgis konstanta, priklauso tik nuo manipulatoriaus masės.
  - Paskaičiuoti sukimo momentą šitiems trimis atvejais galime pagal formulę (2).

### 3.2 Manipulatoriaus pirmos grandies dinaminis tyrimas, kai manipulatorius sulenktas kampu

Manipuliatorių sulenksime kampu, taip, kad jo ilgis būtų 346 mm (3.5 pav.). Ilgis 346mm yra pasirinktas taip, kad manipulatorius, pagal pirmą darbo zonos grafinį vaizdavimą galėtų paimti dėžutę, kurios matmenys yra 150mm x 150mm x 150mm.

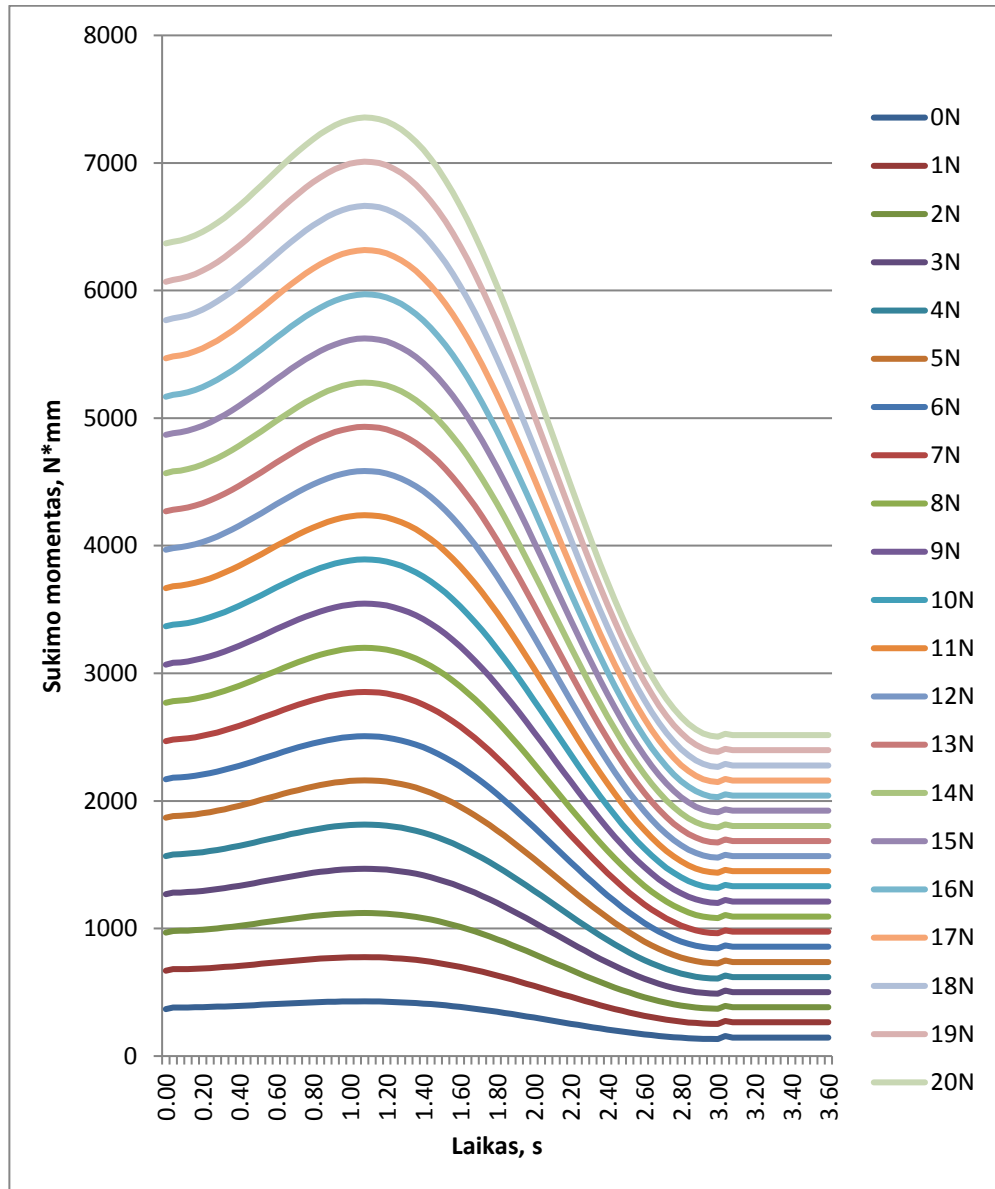


3.5 pav. Manipulatorius sulenktas kampu

Manipulatorius sulenktas kampu, kaip ir ištiestas, sukasi nuo  $-30^{\circ}$  iki  $70^{\circ}$  horizonto atžvilgiu. Sulenkto kampu manipulatoriaus masė ir grandžių ilgiai nesikeičia, keičiasi tik ilgis pažymėtas raide  $L$  (3.5 pav.).

1. Manipulatorius pagamintas iš plastiko ABS, jo masė 0,342kg

Kaip ir ištiesto manipulatoriaus atveju, tirsime sukimo momentą, kai pridėta jėga nuo 0N iki 20N. Nubraižome grafiką, kurio vertikaliame stulpelyje atidedame elektros variklio sukimo momentą  $N \cdot mm$ , o horizontalioje eilutėje atidedame laiką  $s$ .



3.6 pav. Sukimo momentas reikalingas pakelti sulenktą kampu manipuliatorių, plastikas ABS

Iš grafiko (3.6 pav.) matome, kad kreivės analogiškos ištiesto manipulatoriaus kreivėms, skiriasi tik  $M_0$  sukimo momentas, kuris priklauso nuo manipulatoriaus masės ir peties ilgio  $L$ . Iš grafiko gauname tokius rezultatus:

- 1) Sukimo momentas  $M_0$ , kai pridėta jėga lygi 0 N, yra 429  $N \cdot mm$ .
- 2) Sukimo momentas  $M_1$ , kai pridėta jėga lygi 1 N, yra 775  $N \cdot mm$ .
- 3) Skirtumas tarp sukimo momento  $M_1$  ir sukimo momento  $M_0$  yra lygus:

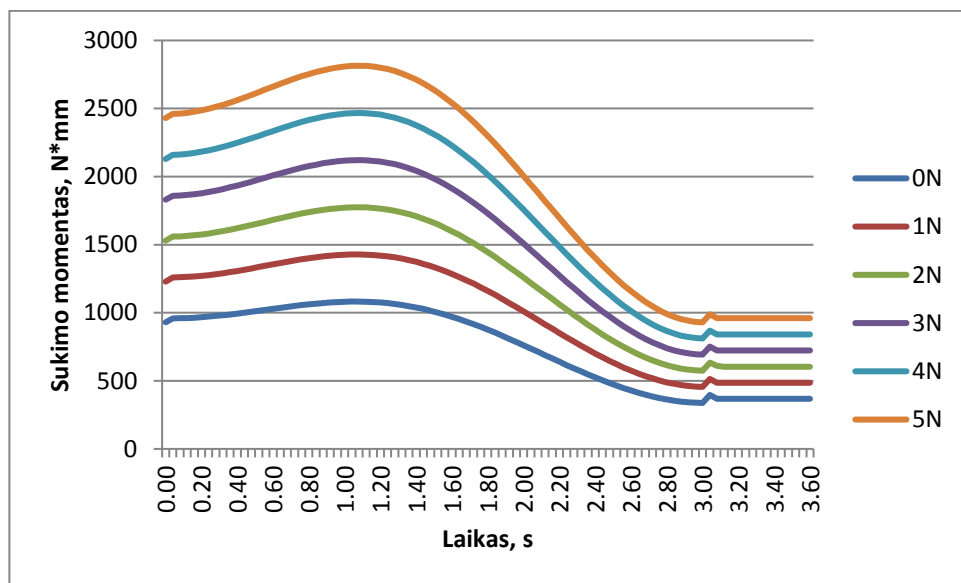
$$775 \text{ N*mm} - 429 \text{ N*mm} = 346 \text{ N*mm};$$

4) Iš rezultato Nr.3 galime teigti, kad šiuo atveju irgi galioja formulė:

$$M_i = M_0 + F * L; \quad (2)$$

2. Manipulatorius pagamintas iš aliuminio 6061, jo masė 0,863 kg.

Manipulatoriaus gale pridedamos jėgos nuo 0 N iki 5 N. Nubraižome grafiką, kurio vertikaliame stulpelyje atidedame elektros variklio sukimo momentą N\*mm, o horizontalioje eilutėje atidedame laiką s.



3.7 pav. Sukimo momentas reikalingas pakelti sulenktą kampu manipuliatorių, aliuminis 6061

Iš grafiko (3.7 pav.) gaunami tokie rezultatai:

1) Sukimo momentas  $M_0$ , kai pridėta jėga lygi 0 N, yra 1082 N\*mm.

2) Sukimo momentas  $M_1$ , kai pridėta jėga lygi 1 N, yra 1428 N\*mm.

3) Skirtumas tarp sukimo momento  $M_1$  ir sukimo momento  $M_0$  yra lygus:

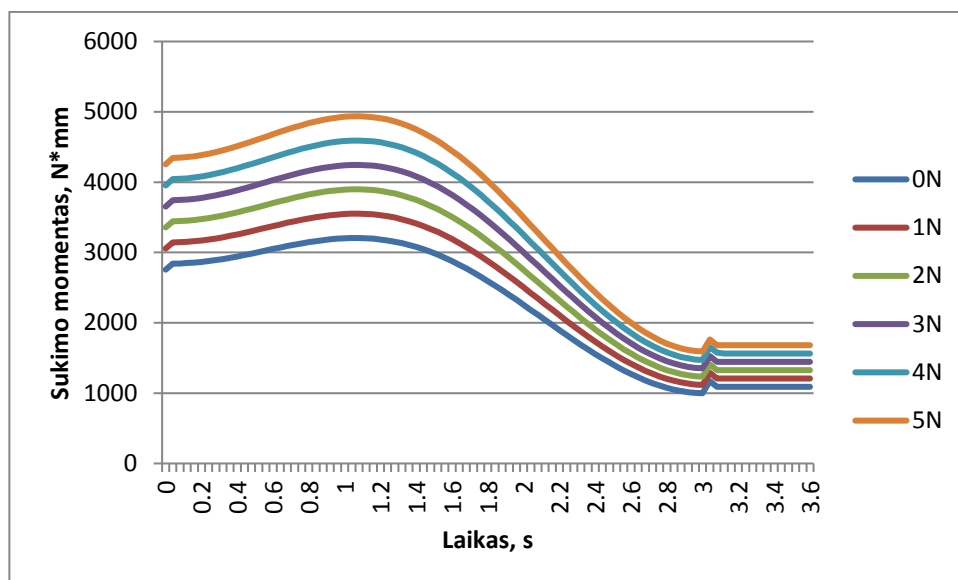
$$1428 \text{ N*mm} - 1082 \text{ N*mm} = 346 \text{ N*mm};$$

5) Iš rezultato Nr.3 galime teigti, kad šiuo atveju irgi galioja formulė:

$$M_i = M_0 + F * L; \quad (2)$$

3. Manipulatorius pagamintas iš nerūdijančio plieno AISI 304, jo masė 2,558 kg.

Manipulatoriaus gale pridedamos jėgos nuo 0 N iki 5 N. Nubraižome grafiką, kurio vertikaliame stulpelyje atidedame elektros variklio sukimo momentą N\*mm, o horizontalioje eilutėje atidedame laiką s.



3.8 pav. Sukimo momentas reikalingas pakelti sulenktą kampu manipuliatorių, nerūdijantis plienas AISI 304

Iš grafiko (3.8 pav.) gaunami tokie rezultatai:

- 1) Sukimo momentas  $M_0$ , kai pridėta jėga lygi 0 N, yra 3205 N\*mm.
- 2) Sukimo momentas  $M_1$ , kai pridėta jėga lygi 1 N, yra 3552 N\*mm.
- 3) Skirtumas tarp sukimo momento  $M_1$  ir sukimo momento  $M_0$  yra lygus:  
3552 N\*mm – 3205 N\*mm = 347 N\*mm;

Gauname, kad skirtumas yra ne 346 N\*mm, o 347 N\*mm. 1 N skirtumas atsiranda dėl skaičių apvalinimo.

- 4) Patikriname skirtumą tarp sukimo momento  $M_1$  ir sukimo momento  $M_2$  ( $M_2 = 3898$  N\*mm):

$$3898 \text{ N*mm} - 3552 \text{ N*mm} = 346 \text{ N*mm};$$

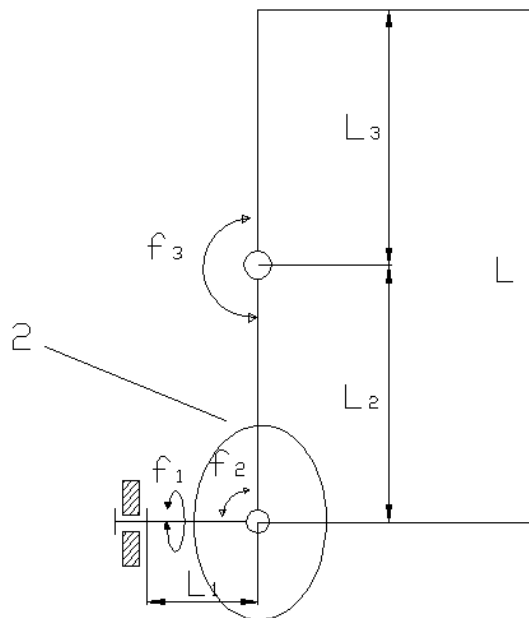
- 5) Iš rezultatų Nr.3 ir Nr.4 galime teigti, kad šiuo atveju irgi galioja formulė:

$$M_i = M_0 + F * L; \quad (2)$$

### 3.3 Manipulioriaus antrosios grandies dinaminis tyrimas

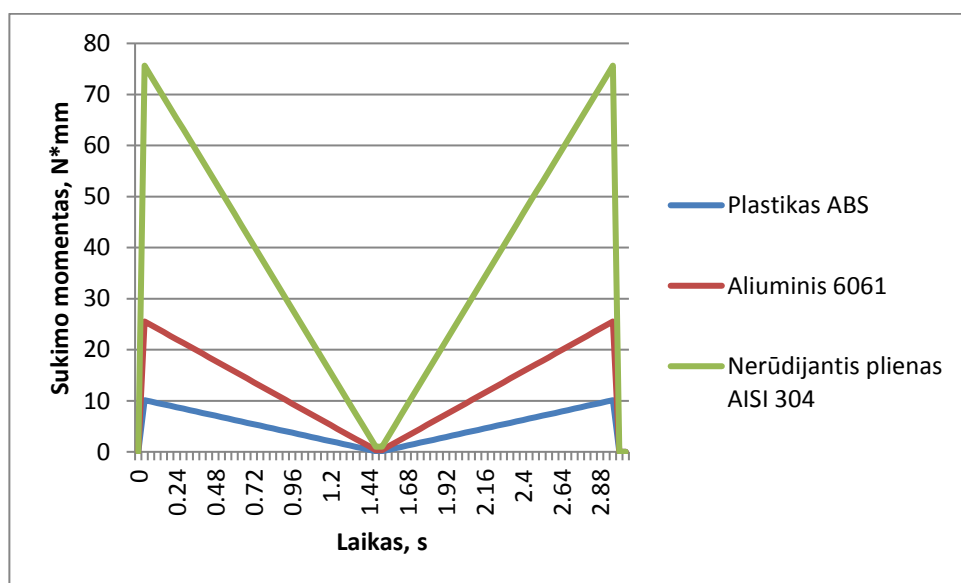
Paėjusiuose skyriuose sužinojome, kad didžiausias sukimo momentas manipuliatoriui pakelti yra horizontalioje padėtyje, todėl antros grandies dinaminį tyrimą atliksime, kai manipuliatorius yra šioje padėtyje. Antra grandis pažymėta numeriu 2 (3.9 pav.). Posūkio kampas  $\varphi_2 = 60^\circ$ , t.y. nuo  $60^\circ$  iki  $120^\circ$ . Kampą  $60^\circ$  pasirinkome tam, kad sukimosi greitis būtų  $20^\circ/1s$ . Papildomos jėgos

pridedamos nebus, nes jėga yra statmena šios grandies sukimuisi ir neįtakoja elektros variklio sukimo momento.



3.9 pav. Kinematinė schema, kurioje pažymėta antra grandis

Grafike nubraižysime tris kreives, po vieną sukimo momento kreivę kiekvienam manipuliatoriui pagamintam iš skirtingos medžiagos.



3.10 pav. Sukimo momentas reikalingas pasukti kampu antrą manipuliatoriaus grandį



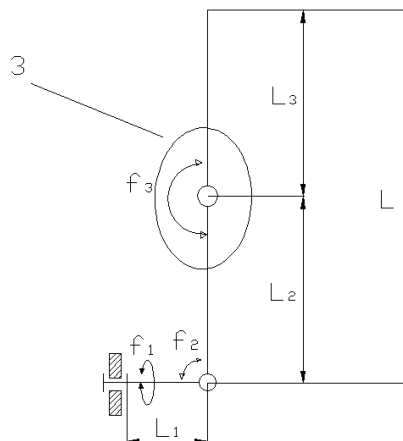
Iš grafiko (3.10 pav.) gaunami tokie rezultatai:

- 1) Sukimo momentas, pasukti manipuliatorių, pagamintą iš plastiko ABS,  $60^0$  kampu per 3 sekundes, yra lygus  $10 \text{ N}\cdot\text{mm}$ .
- 2) Sukimo momentas, pasukti manipuliatorių, pagamintą iš aliuminio 6061,  $60^0$  kampu per 3 sekundes, yra lygus  $26 \text{ N}\cdot\text{mm}$ .
- 3) Sukimo momentas, pasukti manipuliatorių, pagamintą iš nerūdijančio plieno AISI 304,  $60^0$  kampu per 3 sekundes, yra lygus  $76 \text{ N}\cdot\text{mm}$ .
- 4) Sukimo momentas manipuliatoriui pagamintam iš plastiko yra reikalingas 2,55 karto mažesnis, negu sukimo momentas manipuliatoriui pagamintam iš aliuminio, taip pat ir jų masės skiriasi 2,55 karto.
- 5) Sukimo momentas manipuliatoriui pagamintam iš plastiko yra reikalingas 7,55 karto mažesnis, negu sukimo momentas manipuliatoriui pagamintam iš nerūdijančio plieno, taip pat ir jų masės skiriasi 7,55 karto.

Iš šių rezultatų galime teigti, kad padidinus manipulatoriaus masę, padidės ir sukimo momentas reikalingas pasukti manipuliatorių.

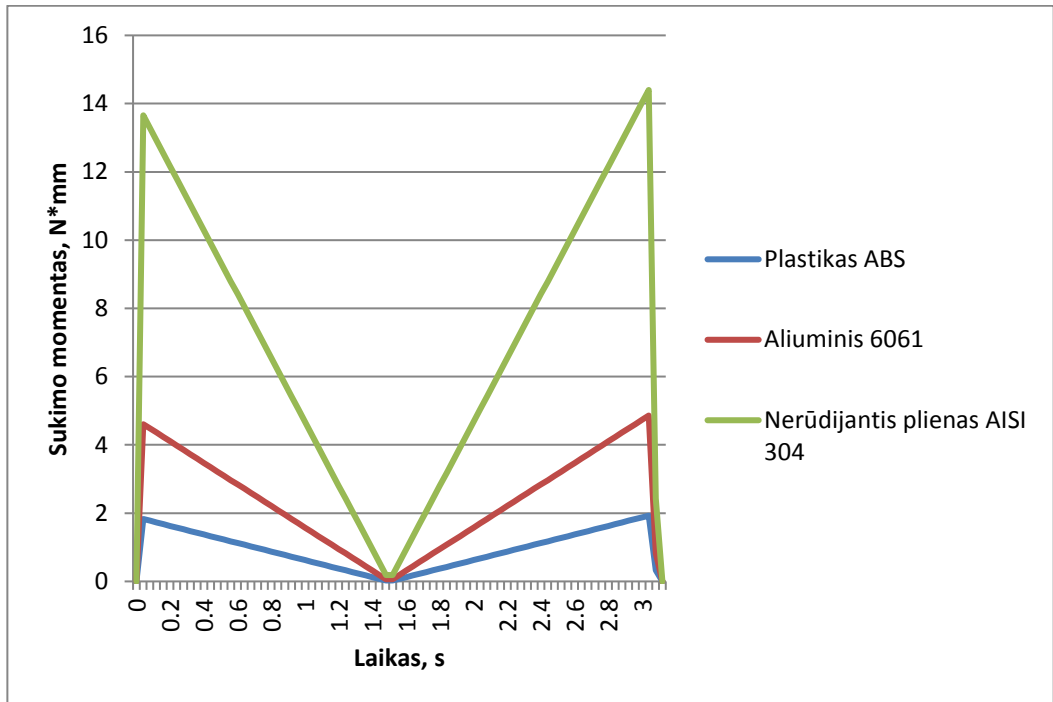
### 3.4 Manipulatoriaus trečiosios grandies dinaminis tyrimas

Trečia grandis pažymėta numeriu 3 (3.11 pav.). Posūkio kampas  $\varphi_3 = 90^0$ , t.y. nuo  $0^0$  iki  $90^0$ . Kampą  $90^0$  pasirinkome tam, kad sukimosi greitis būtų  $30^0/1\text{s}$ . Papildomos jėgos pridedamos nebus, nes jėga yra statmena šios grandies sukimuisi ir neįtakoja elektros variklio sukimo momento.



3.11 pav. Kinematinė schema, kurioje pažymėta trečia grandis

Grafike nubraižysime tris kreives, po vieną sukimo momento kreivę kiekvienam manipuliatoriui pagamintam iš skirtingos medžiagos.



3.12 pav. Sukimo momentas reikalingas pasukti kampu trečią manipulatoriaus grandį

Iš grafiko (3.12 pav.) gaunami tokie rezultatai:

- 1) Sukimo momentas, pasukti manipuliatorių, pagamintą iš plastiko ABS,  $90^0$  kampu per 3 sekundes, yra lygus  $2 \text{ N*mm}$ .
- 2) Sukimo momentas, pasukti manipuliatorių, pagamintą iš aliuminio 6061,  $90^0$  kampu per 3 sekundes, yra lygus  $5 \text{ N*mm}$ .
- 3) Sukimo momentas, pasukti manipuliatorių, pagamintą iš nerūdijančio plieno AISI 304,  $90^0$  kampu per 3 sekundes, yra lygus  $15 \text{ N*mm}$ .
- 4) Sukimo momentas manipuliatoriui pagamintam iš plastiko yra reikalingas 2,55 karto mažesnis, negu sukimo momentas manipuliatoriui pagamintam iš aliuminio, taip pat ir jų masės skiriasi 2,55 karto.
- 5) Sukimo momentas manipuliatoriui pagamintam iš plastiko yra reikalingas 7,55 karto mažesnis, negu sukimo momentas manipuliatoriui pagamintam iš nerūdijančio plieno, taip pat ir jų masės skiriasi 7,55 karto.

Iš šių rezultatų galime teigti, kad:

- padidinus manipulatoriaus masę, padidės ir sukimo momentas reikalingas pasukti manipuliatorių.
- Manipulatoriaus antros ir trečios grandžių grafikai skiriasi tik sukimo momentu, t.y. antros grandies elektros variklis turi turėti didesnę sukimo momentą, nei trečios grandies.

### 3.5 Servo pavarų parinkimas

Manipuliatoriui judėti reikalingi elektros varikliai. Elektros varikliai būna įvairių dydžių, galingumų. Mano tiriamam manipuliatoriui naudosime servo pavaras.

Pirmiausia, kad galėtume pasirinkti servo pavarą turime užsiduoti reikalavimus, kuriuos ši servo pavara turi atitikti, arba pasirenkame servo pavarą, o tada patikriname ar ji mums tinka pagal savo parametrus. Servo pavaros, kurias naudosiu savo tiriamam manipuliatoriui: HobbyKing HK15338 ir TowerPro MG945R.

Pirmai manipulatoriaus grandžiai naudosime servo pavarą HobbyKing HK15338 (3.13 pav.).



3.13 pav. HobbyKing HK15338 servo pavara [14]

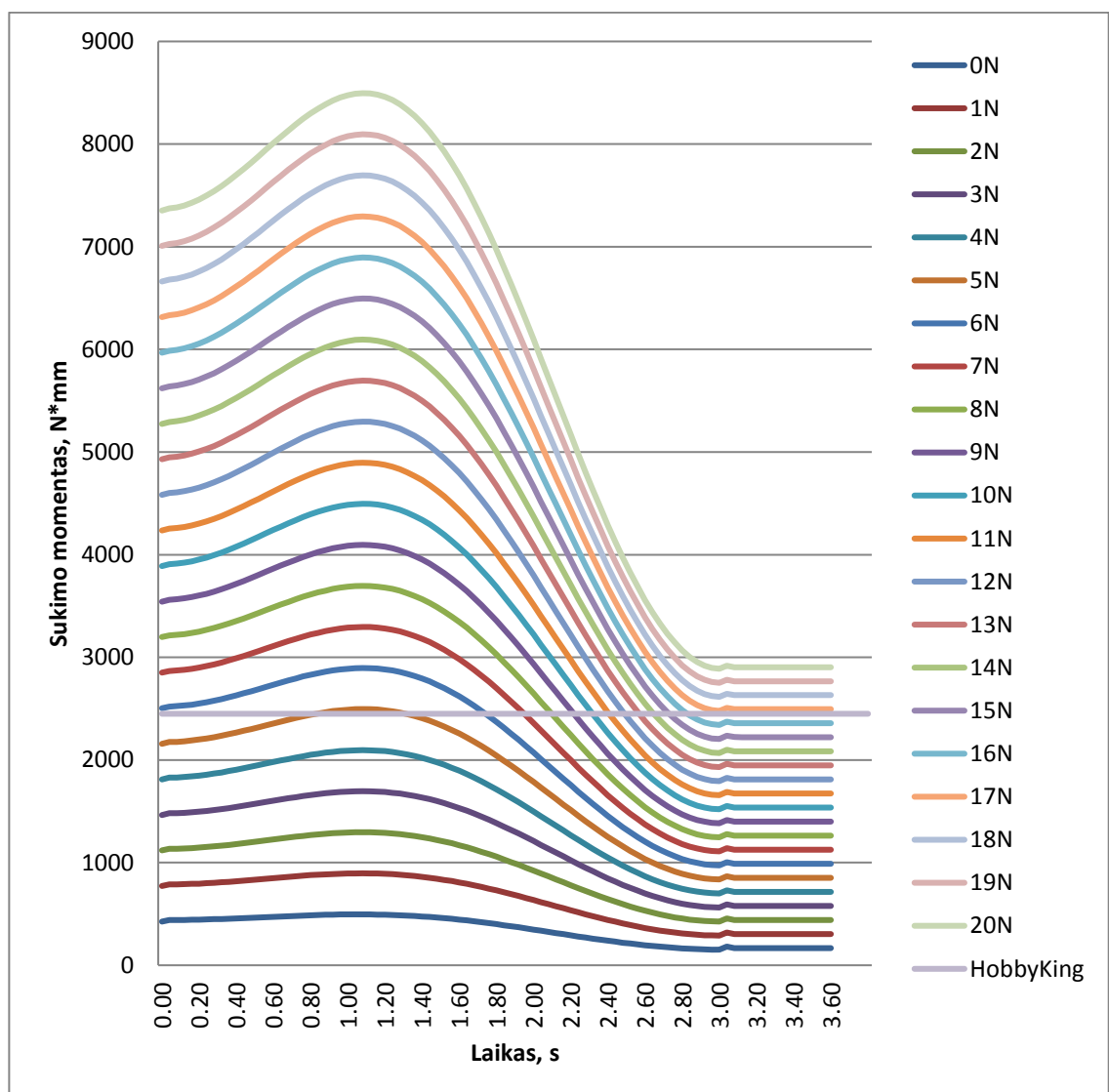
HobbyKing servo pavaros parametrai surašyti lentelėje (3.2 lentelėje)

3.2 Lentelė

Servo pavaros HobbyKing HK15338 parametrai [14]

Maitinimo įtampa (V)	4,8 – 6
Sukimo momentas (N*mm)	2450
Greitis	60 <sup>0</sup> per 0,2s
Masė (kg)	0,175
Sukimosi kampas	180 <sup>0</sup>

Kaip matome iš lentelės, didžiausias servo pavaros sukimo momentas yra 2450 N\*mm. Norėdami patikrinti ar servo pavara HobbyKing pakels mūsų manipuliatorių, viename iš grafikų nubrėškime servo pavaros sukimo momentą. Pasirinksime grafiką „Sukimo momentas reikalingas pakelti ištiestą manipuliatorių, plastikas ABS“. Renkamės šitą grafiką, nes manipuliatoriui pagamintam iš plastiko reikia mažiausio pradinio sukimo momento  $M_0$  ir norėdami sužinoti ar servo pavara galės pakelti manipuliatorių be apkrovos, renkamės ištiestą manipuliatorių. Nubrėžiame grafiką „Sukimo momentas reikalingas pakelti manipuliatorių ir servo pavaros HobbyKing sukimo momentas, plastikas ABS“ (3.14 pav.).



3.14 pav. Sukimo momentas reikalingas pakelti manipuliatorių ir servo pavaros HobbyKing sukimo momentas, plastikas ABS

Iš grafiko (3.14 pav.) matome:

- 1) Servo pavara HobbyKing galės pakelti ištiestą manipuliatorių.
- 2) Didžiausia jėga, kuria galima apkrauti ištiestą manipuliatorių yra 4,5 N.
- 3) Sukimo momentas, kai manipuliatorius apkrautas 4,5 N jėga, yra 2296 N\*mm.

Manipulioriaus antrai ir trečiai grandžiai bus naudojama servo pavara TowerPro MG945R (3.15 pav.), jos parametrai nurodyti lentelėje (3.3 Lentelė).



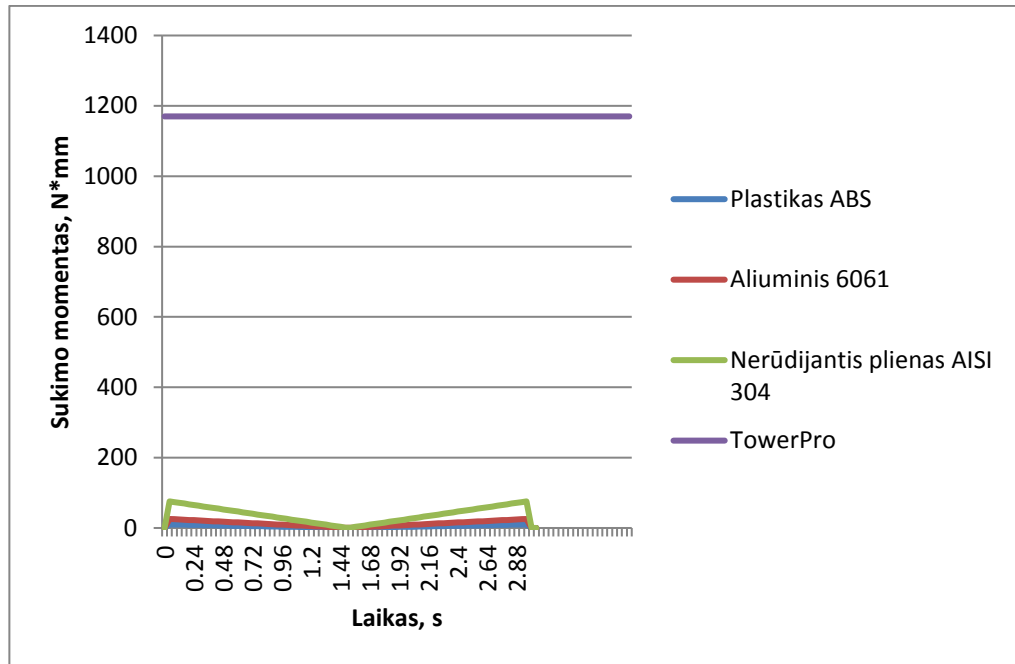
3.15 pav. Servo pavara TowerPro MG945R [15]

3.3 Lentelė

Servo pavaros TowerPro MG945R parametrai [15]

Maitinimo įtampa (V)	4,8 – 6
Sukimo momentas (N*mm)	1170
Greitis	60 <sup>0</sup> per 0,2s
Masė (kg)	0,055
Sukimosi kampas	180 <sup>0</sup>

Norėdami patikrinti ar servo pavara TowerPro pasuks kampu antrą grandį nubraižome šios servo pavaros sukimo momento kreivę grafike „Sukimo momentas reikalingas pasukti kampu antrą manipulatoriaus grandį“.



3.16 pav. Sukimo momentas reikalingas pasukti kampu antrą manipulatoriaus grandį ir servo pavaros TowerPro sukimo momentas

Iš grafiko (3.16 pav.) matome:

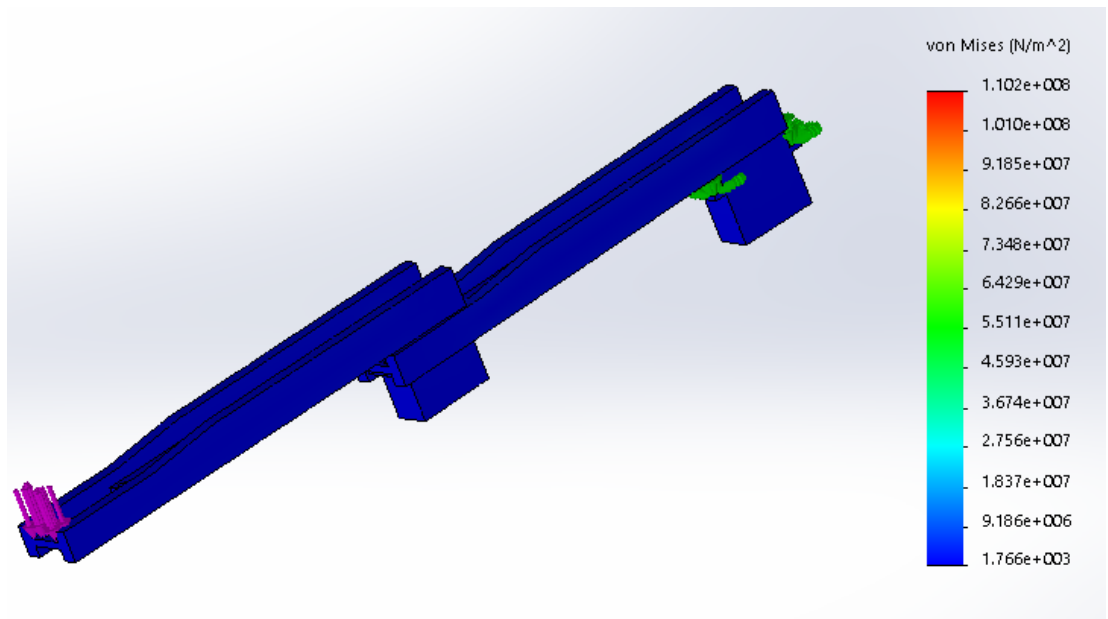
- 1) Servo pavaros sukimo momentas daug kartų didesnis už reikalingus sukimo momentus pasukti manipuliatorių.
- 2) Servo pavarą TowerPro galime panaudoti ir trečiai grandžiai pasukti, nes jau žinome iš praėjusio skyriaus, trečiai grandžiai pasukti kampu, sukimo momentas reikalingas mažesnis nei antrai grandžiai.

Pagal atliktus servo pavarų patikrinimus, galime teigti:

- Panaudoje servo pavarą HobbyKing pirmai grandžiai, pilnai ištiesus manipuliatorių, jį galėsime apkrauti didžiausia jėga 4,5 N.
- Antrai ir trečiai grandžiai galėsime panaudoti servo pavaras TowerPro.

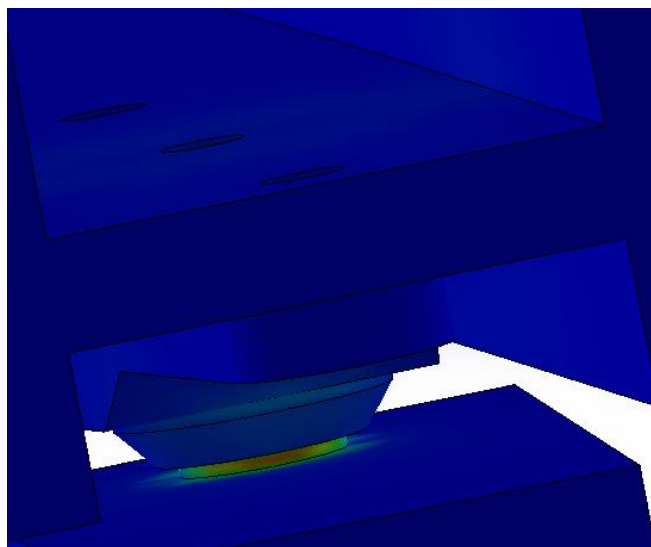
#### 4. MANIPULIATORIAUS STIPRUMINIAI TYRIMAI

Atlikę darbo zonos, servo pavarų tyrimus sužinojome, kad manipuliatoriui pagamintam iš plastiko reikia mažiausiai galingų servo pavarų, nes plastiko masė yra mažiausia. Manipuliatorių gaminame iš plastiko ABS, kurio masė 0,29kg. Manipuliatorių apkrauname 5N jėga, kad sužinotume ar manipulatorius atlaikys apkrovą ir kokios silpniausios konstrukcijos detalės. Paveiksle (4.1 pav.) pavaizduoti manipuliatoriaus konstrukcijos įtempimai.



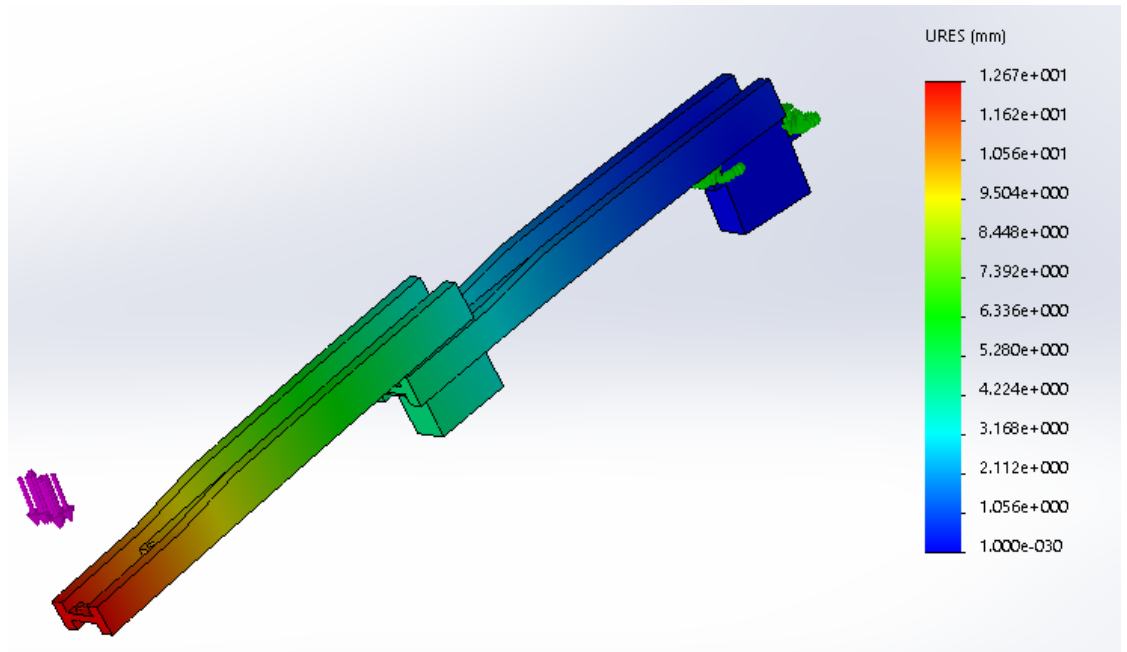
4.1 pav. Įtempimai manipuliatoriuje iš plastiko ABS

Iš paveikslo (4.1 pav.) matome, kad viso manipuliatoriaus įtempimai yra nedideli.



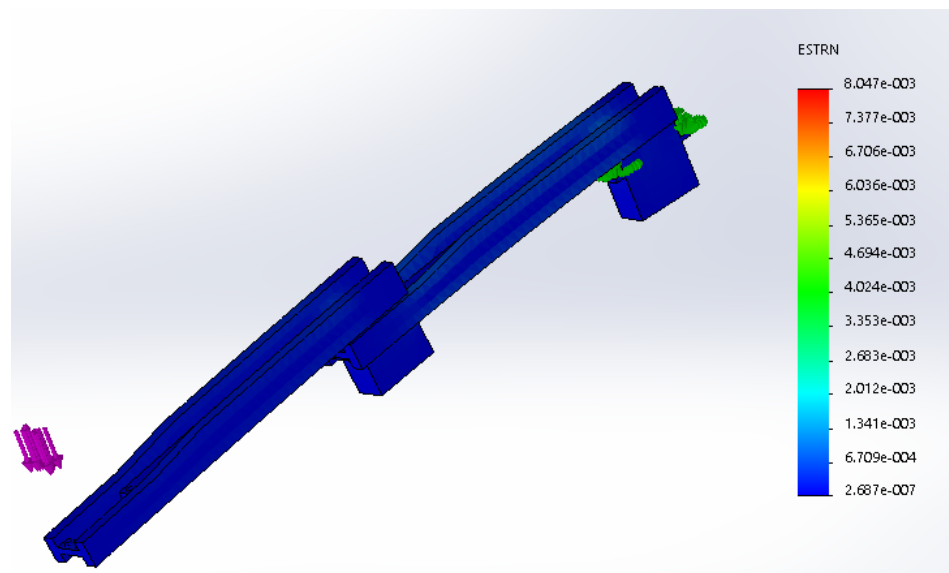
4.2 pav. Įtempimai servo pavaros ašyje

Matome iš paveikslo (4.2), kad didžiausi įtempimai yra servo pavaros ašyje. Taigi manipulatoriaus silpniausia vieta ir yra servo pavarą.



4.3 pav. Deformacijos manipuliatoriuje iš plastiko ABS

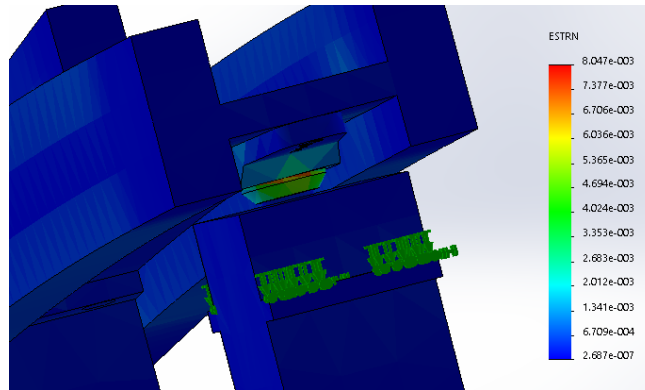
Iš paveikslo (4.3 pav.) matome, kad manipulatoriaus galinė pozicija įlinksta 12,67mm, kai pridėta jėga 5 N.



4.4 pav. Stiprumo pasiskirstymas, plastikas ABS

Kaip matome iš paveikslo (4.4 pav.) manipulatoriaus grandžių stiprumo užtenka atlaikyti pridėtą galę 5 N jėgą.

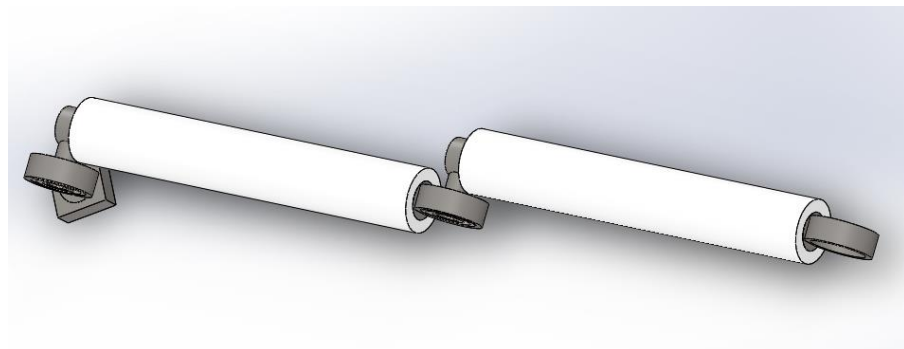




4.5 pav. Silpniausia manipulatoriaus vieta

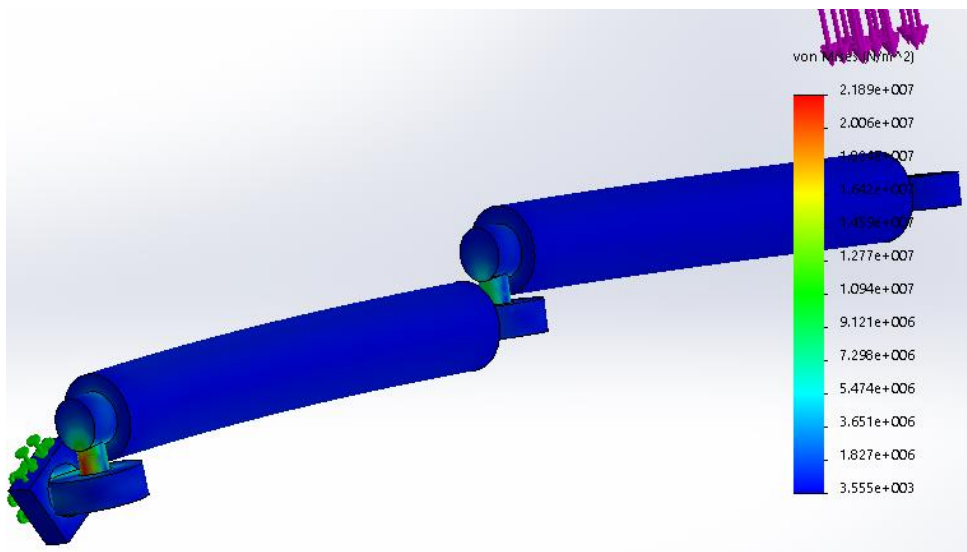
Taigi silpniausia šios konstrukcijos vieta yra servo pavara (4.5 pav.). Konstrukcija reikia pakeisti taip, kad servo pavara nelaikytu viso manipulatoriaus, o būtų sukimo momentą perduodanti manipulatoriaus detalė.

Manipulatoriaus konstrukciją pakeičiame taip, kad nebūtu trinties tarp manipulatoriaus grandžių. Trintis beveik lygi nuliui guoliuose, taigi panaudojame guolius. Konstrukcijai su guoliais panaudosime nerūdijančio plieno detalių ir plastiko ABS detalių (4.6 pav.).



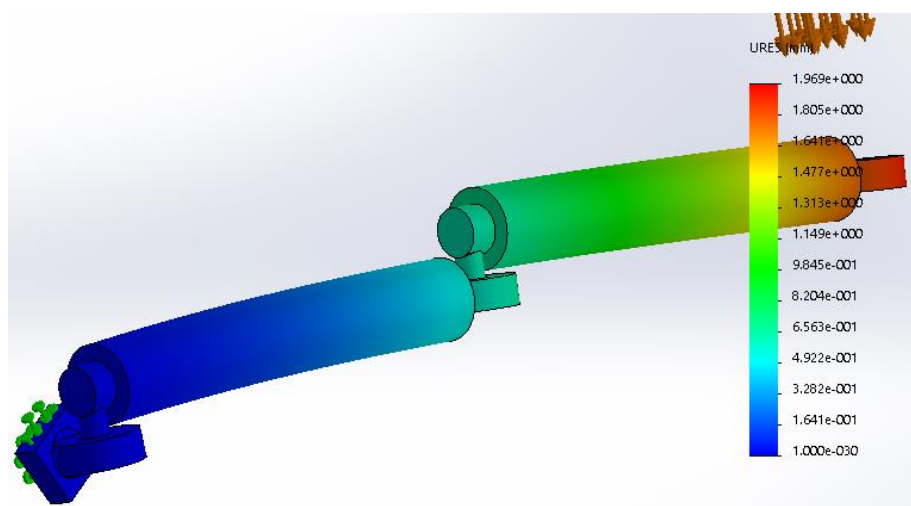
4.6 pav. Manipulatorius pagamintas iš plastiko ABS ir nerūdijančio plieno AISI 304

Paveiksle (4.5 pav.) balta spalva pavaizduotos manipulatoriaus konstrukcijos dalys iš plastiko ABS, pilka spalva pavaizduotos konstrukcijos dalys iš nerūdijančio plieno AISI 304. Plastikinio vamzdžio išorinis skersmuo 30 mm, o vamzdžio sienelės storis 6 mm. Manipulatoriaus masė 0,5 kg. Atliekame stipruminį tyrimą pridėdami 5N jėgą manipulatoriaus gale.



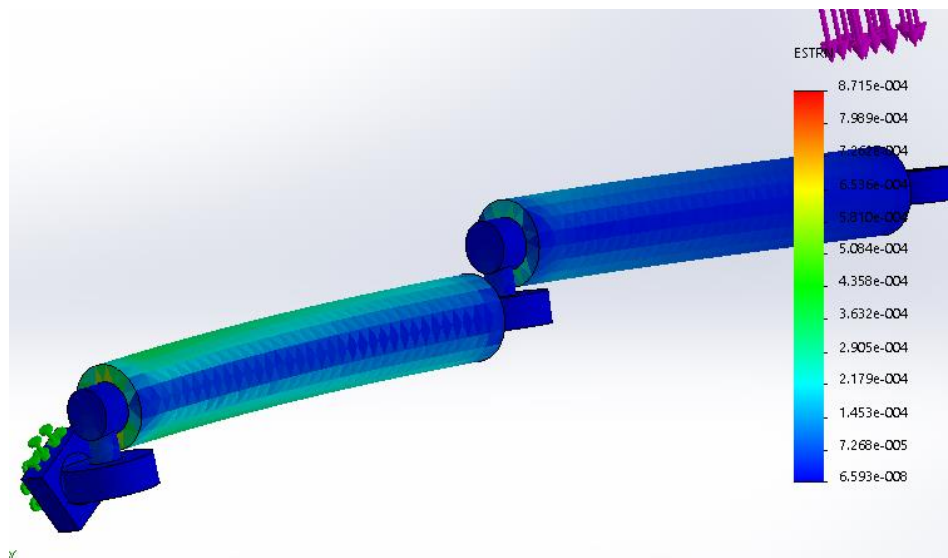
4.7 pav. Įtempimai

Iš paveikslo (4.7 pav.) matome, kad didžiausi įtempimai yra detalėse, kurios jungia guolius su plastikiniu vamzdžiu. Šitos detalės pagamintos iš nerūdijančio plieno AISI 304. Nerūdijančio plieno leistinieji įtempimai yra  $2,068 \cdot 10^8$  N/m<sup>2</sup>. Detalėje šiuo atveju yra  $2,189 \cdot 10^7$  N/m<sup>2</sup> įtempimai, o tai reiškia, kad esami įtempimai yra beveik 10 kartų mažesni už leistinuosius.



4.8 pav. Deformacijos

Iš paveikslo (4.8 pav.) matome, kad manipulatoriaus galinė pozicija pasikeičia 1,969 mm  $\approx$  2 mm, kai pridėta jėga 5 N.

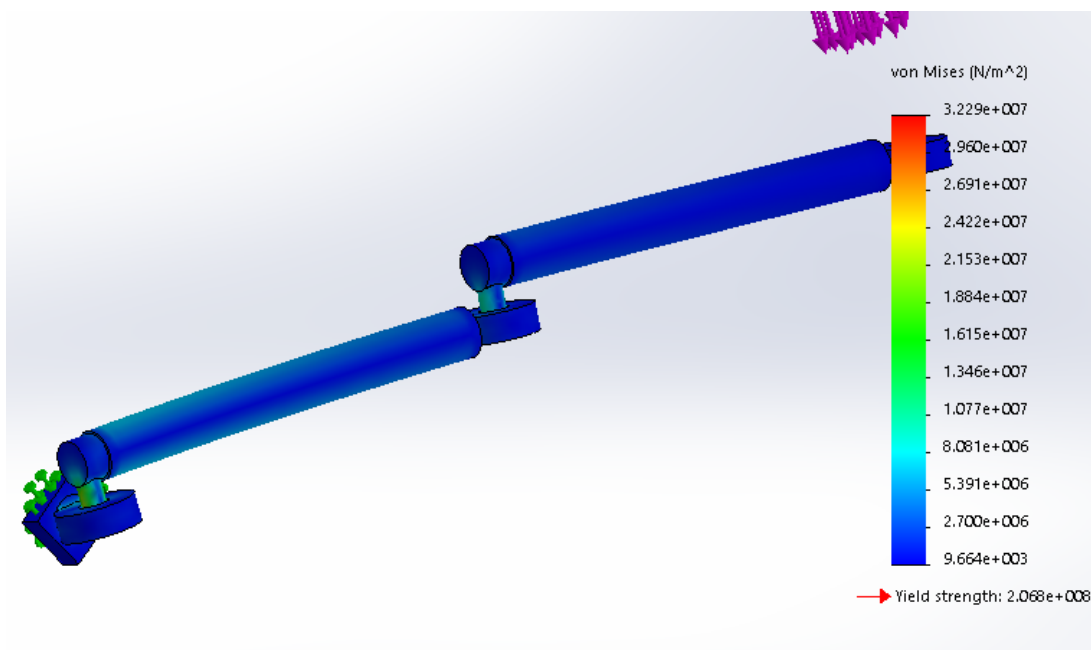


4.9 pav. Stiprumas

Iš paveikslo (4.9 pav.) matome, kad silpniausia konstrukcijos vieta yra vamzdžiai pagaminti iš plastiko ABS.

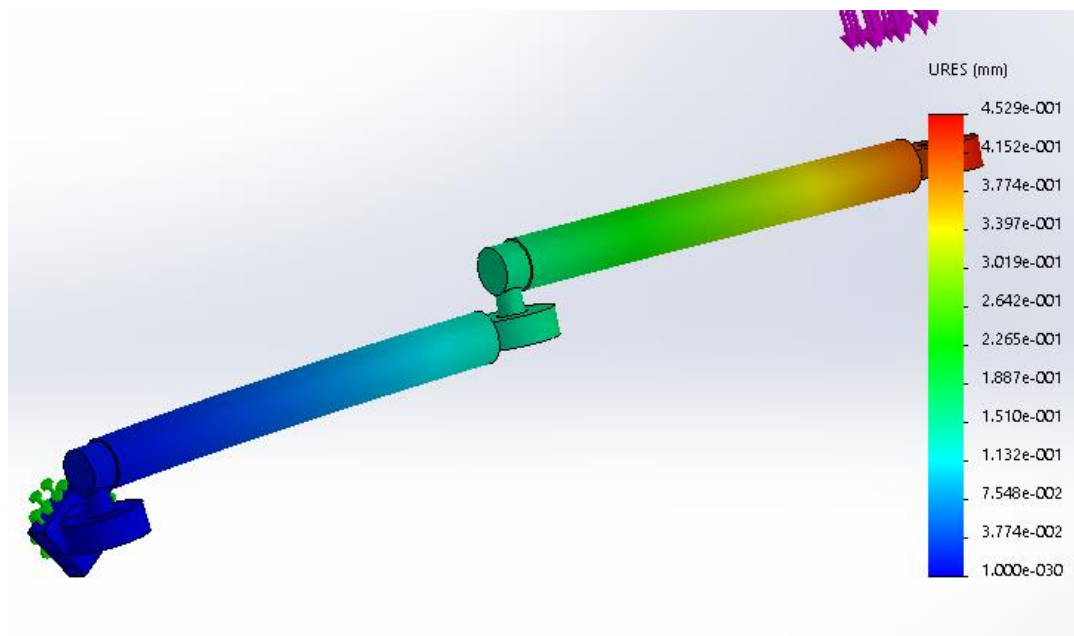
Plastikinius vamzdžius keičiame vamzdžiai pagamintais iš nerūdijančio plieno. Nerūdijančio plieno vamzdžių išorinis skersmuo yra 20 mm, sienelės storis yra 1 mm. Panaudojus tokius vamzdžius, manipulatoriaus masė nepasikeičia ir yra 0,5 kg.

Patikriname manipulatoriaus, pagaminto iš nerūdijančio plieno AISI 304, stiprumą.



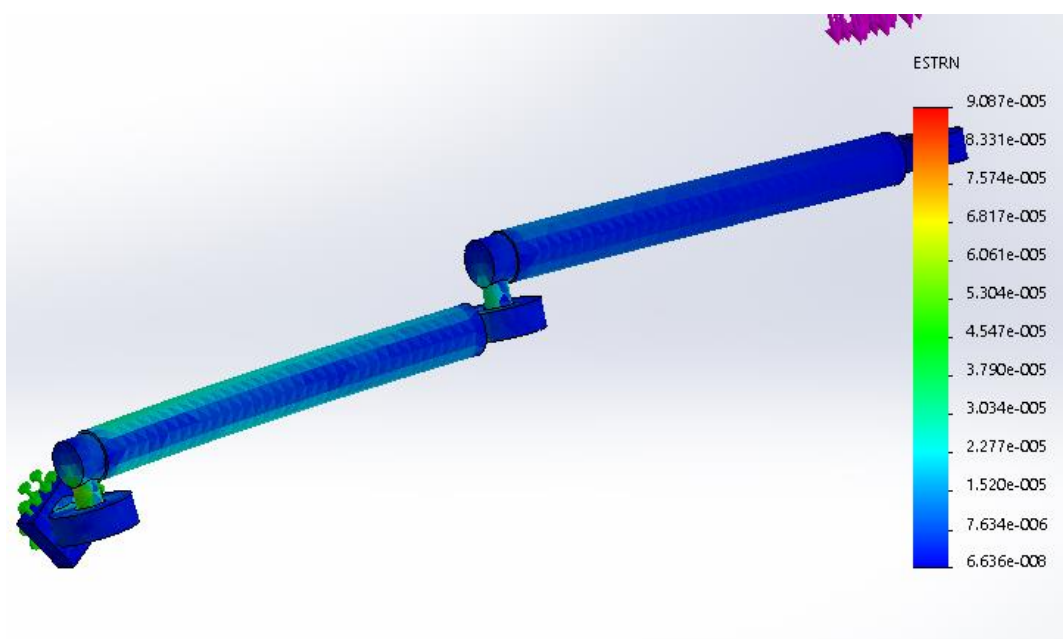
4.10pav. Įtempimai nerūdijantis plienas AISI 304

Iš paveikslo (4.10 pav.) matome, kad didžiausi įtempimai yra toje pačioje detalėje, kaip ir manipuliatoriuje pagamintame iš plastiko ABS ir iš nerūdijančio plieno AISI 304. Įtempimai yra  $3,229 \text{ N/m}^2$ , o tai yra 6 kartus mažiau, nei leistinieji įtempimai nerūdijančiam plienui AISI 304.



4.11pav. Deformacijos nerūdijantis plienas AISI 304

Iš paveikslo (4.11 pav.) matome, kad manipulatoriaus galinė pozicija pasikeičia  $0,4529 \text{ mm} \approx 0,5 \text{ mm}$ , kai pridėta jėga  $5 \text{ N}$ .



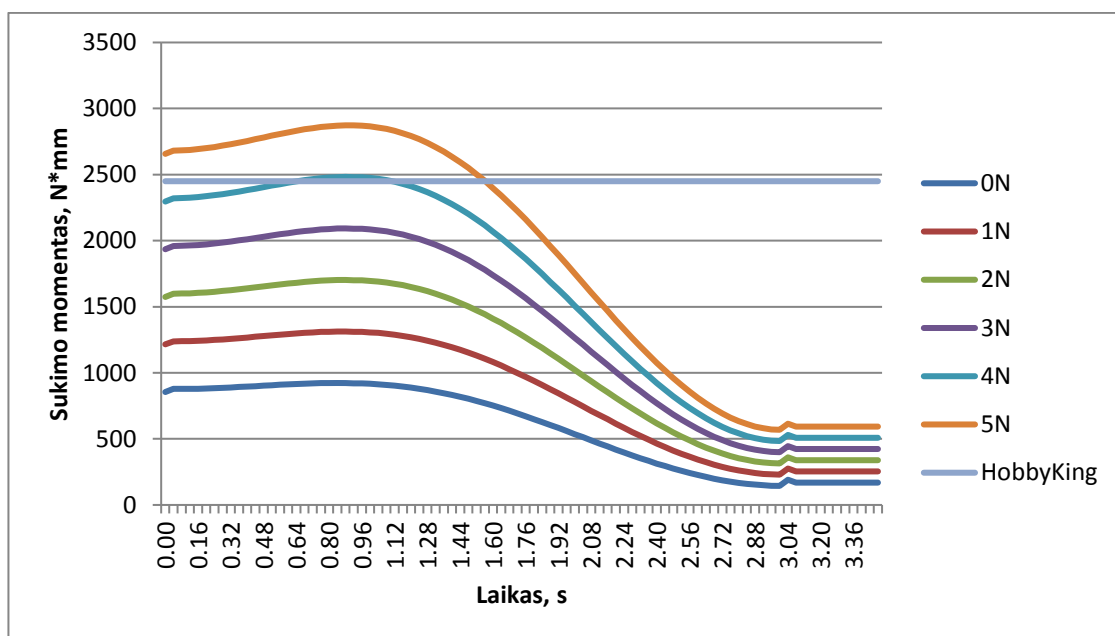
4.12pav. Ekvivalentinis stiprumas

Iš paveikslo (4.12 pav.) matome, kad silpniausia konstrukcijos detalė yra jungianti guolius su nerūdijančio plieno vamzdžiu.

Atlikus šiuos tyrimus galime teigti:

- 1) Servo pavaros yra silpniausia manipulatoriaus konstrukcijos dalis, todėl jas galima naudoti tik kaip sukimo momentą perduodančias manipulatoriaus detales, o ne kaip laikančias manipulatoriaus detales.
- 2) Panaudoję guolius sustipriname manipulatoriaus konstrukciją, bet tuo pačiu ją pasunkiname.
- 3) Nerūdijantis plienas yra stipresnis už plastika, todėl galime gauti tokia pat manipulatoriaus masę panaudoję ir plastiką ir nerūdijantį plieną, tik manipulatoriuje pagamintame iš nerūdijančio plieno bus mažesnės deformacijos.

Ištyrę manipulatoriaus konstrukciją, dar kartą atliekame pirmosios grandies servo pavaros tyrimą, nes turime patikrinti ar manipuliatorių pakels aukštyn ir jeigu jį pakels, kokia didžiausia jėga galėsime pridėti manipulatoriaus gale.



4.13pav. Sukimo momentas reikalingas pakelti manipuliatorių

Iš grafiko (4.13 pav.) matome, kad galėsime pakelti manipuliatorių, kurio masė yra 0,5 kg, jis pagamintas iš nerūdijančio plieno AISI 304 ir papildomai galėsime pridėti 3 N jėgą ištiestam manipuliatoriui.

Antrai ir trečiai manipulatoriaus grandžių servo pavaroms nebeatliksiu sukimo momentų patikrinimo, nes panaudojus guolius, trinčių šarnyruose nėra, o iš praėjusio tyrimo žinome, kad manipulatoriaus grandis servo pavara pasuks, net jeigu manipulatoriaus masė bus 2 kg.

## IŠVADOS

1. Atlikus mokslinės literatūros analizę sužinota apie mobilių robotų panaudojimo sritis, manipuliatorių kinematinės poras, trijų laisvės laipsnių manipuliatorių tipus ir jų darbo zonas, darbo zonos tyrimo metodus, servo pavaras.
2. Ištyrus penkis skirtingus manipulatoriaus darbo zonos variantus, kuriuose keičiami posūkių kampai, atstumas tarp manipuliatorių, gauta, kad visi penki darbo zonos variantai atitinka užsiduotus reikalavimus, pakelti dėžutę 150 mm x 150 mm x 150 mm.
3. Ištyrus manipulatoriaus dinamines charakteristikas, gauti sukimo momentų grafikai, kuriuose matyti reikalingas sukimo momentas servo pavaroms, kad būtų galima valdyti manipuliatorių. Turimos servo pavaros HobbyKing ir TowerPro tinkamos manipuliatoriui valdyti.
4. Atlikus stipruminę manipulatoriaus analizę, sužinota, kad plastikas ABS netinkamas tokiai manipulatoriaus konstrukcija ir manipulatoriaus grandžių negalime tvirtinti ant servo pavarų, nes servo pavaros yra silpniausia manipulatoriaus konstrukcijos detalė. Konstrukcijoje reikia panaudoti guolius. Manipuliorius pagamintas iš nerūdijančio plieno AISI 304 yra stipresnis, nei manipuliorius pagamintas iš plastiko ABS, ir jo deformacijos yra mažesnės.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_robots](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_robots) [Žiūrėta 2016-06-15]
2. B. Bakšys, A. Fedaravičius „Robotų technika“, Technologija, Kaunas 2005. Psl 250 – 271.
3. <http://www.technologijos.lt/n/technologijos/elektronika/S-61123/straipsnis/Rusiskas-terminatorius-Stai-kaip-rusai-treniruoja-robotu-kosmonauta-Video> [Žiūrėta 2017-05-17].
4. <http://www.technologijos.lt/n/technologijos/elektronika/S-55845/straipsnis/Stai-taip-atrodo-pirmasis-Robotas-Policininkas--robotas-Dalase-nukoves-saudziusiji-i-pareigunas> [Žiūrėta 2017-05-17].
5. <http://www.vlmedicina.lt/lt/medicinos-robotai-ateitis-jau-siandien> [Žiūrėta 2017-05-17].
6. <http://robotika.lt/paprikas-skinantis-robotas-video/> [Žiūrėta 2017-05-17].
7. <http://www.egepe.com/> [Žiūrėta 2017-05-17].
8. P. Duysinx .An introduction to robotics. University of Li`ege. 2004, p.1-65
9. [https://www.maplesoft.com/content/EngineeringFundamentals/13/Maple\\_Document\\_13/Position,%20Orientation%20and%20Coordinate%20Transformations.pdf](https://www.maplesoft.com/content/EngineeringFundamentals/13/Maple_Document_13/Position,%20Orientation%20and%20Coordinate%20Transformations.pdf) [Žiūrėta 2016-06-15]
10. T. Bajd. Robotics. Springer Netherlands.2010, p. 1-44
11. David G. Alciatore. Determining manipulator workspace boundaries using the Monte Carlo method and leats squares segmentation. Departamen of Mechanical Engineering. Colorado. p 1-2
12. D. Perel. Generation of manipulator workspace boundary geometry using the Monte Carlo method and interactive computer graphics. 1988, p. 299 – 305.
13. <https://lt.wikipedia.org/wiki/Servomechanizmai> [žiūrėta 2017-04-30]
14. [https://hobbyking.com/en\\_us/hobbykingtm-hk15338-giant-digital-servo-mg-25kg-0-21sec-175g.html?\\_\\_store=en\\_us](https://hobbyking.com/en_us/hobbykingtm-hk15338-giant-digital-servo-mg-25kg-0-21sec-175g.html?__store=en_us) [žiūrėta 2017-03-17]
15. <http://www.servodatabase.com/servo/towerpro/mg945r> [žiūrėta 2017-03-17]

## **PRIEDAI**



1

2

3

4

A

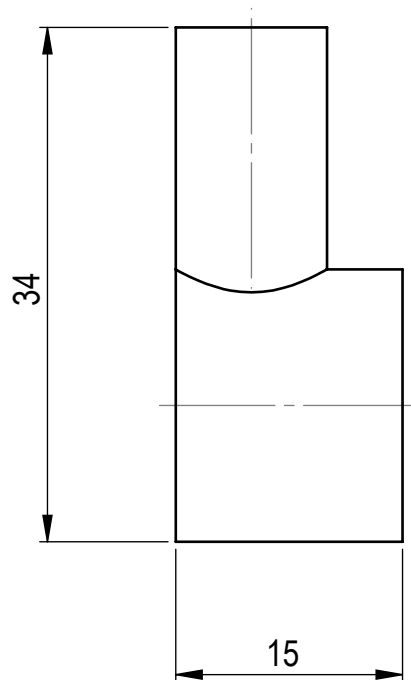
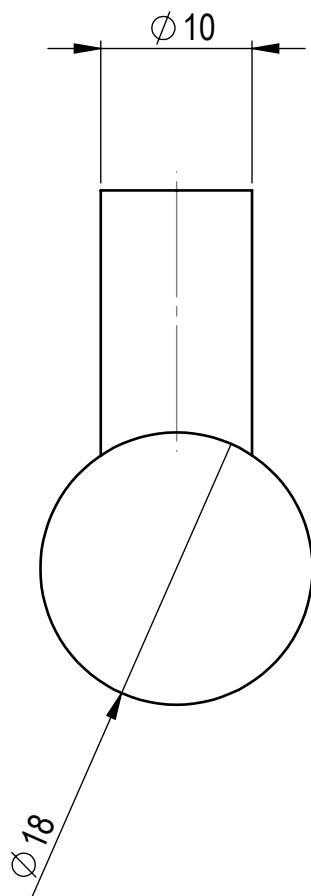
B

C

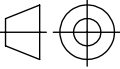
D

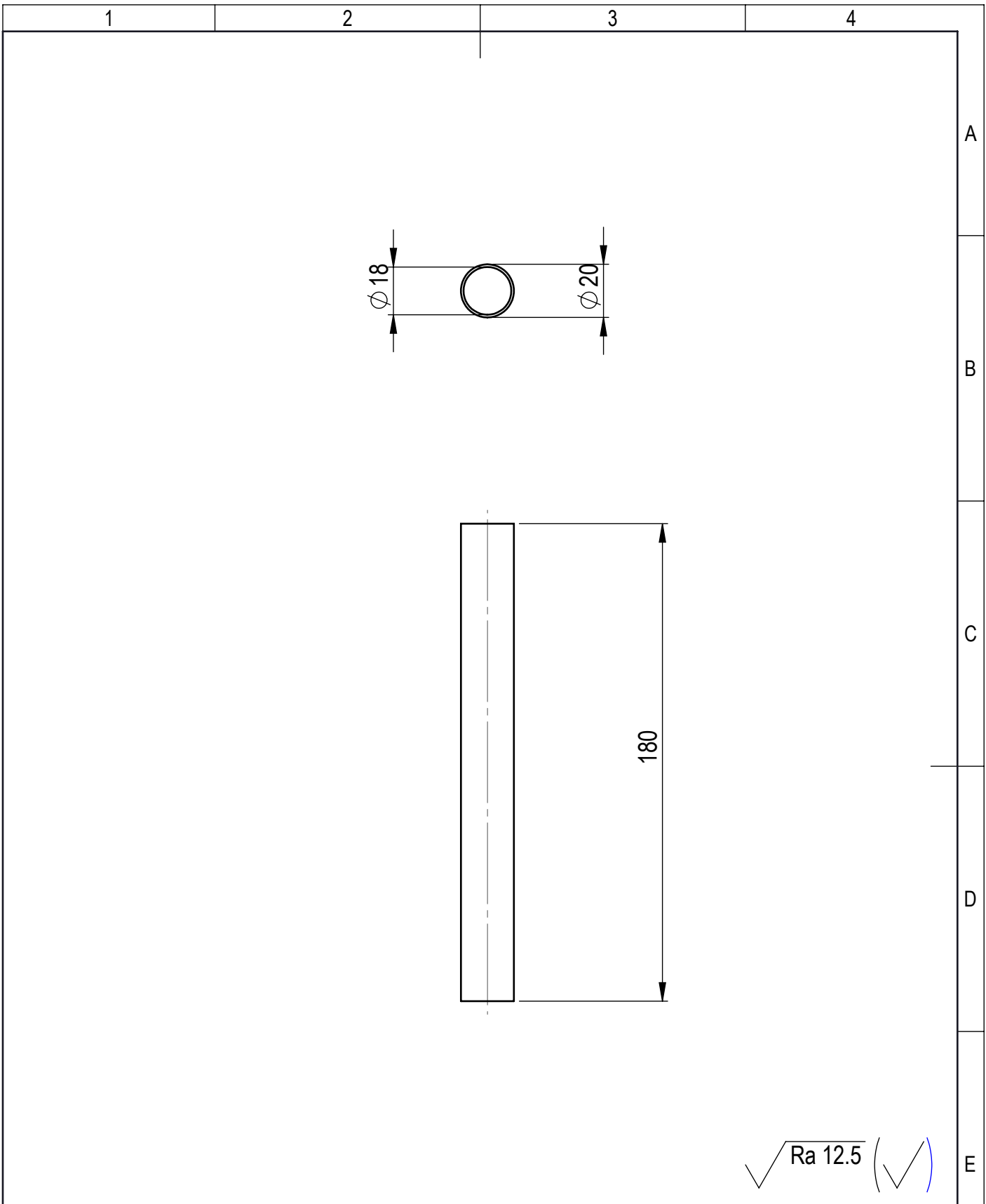
E

F



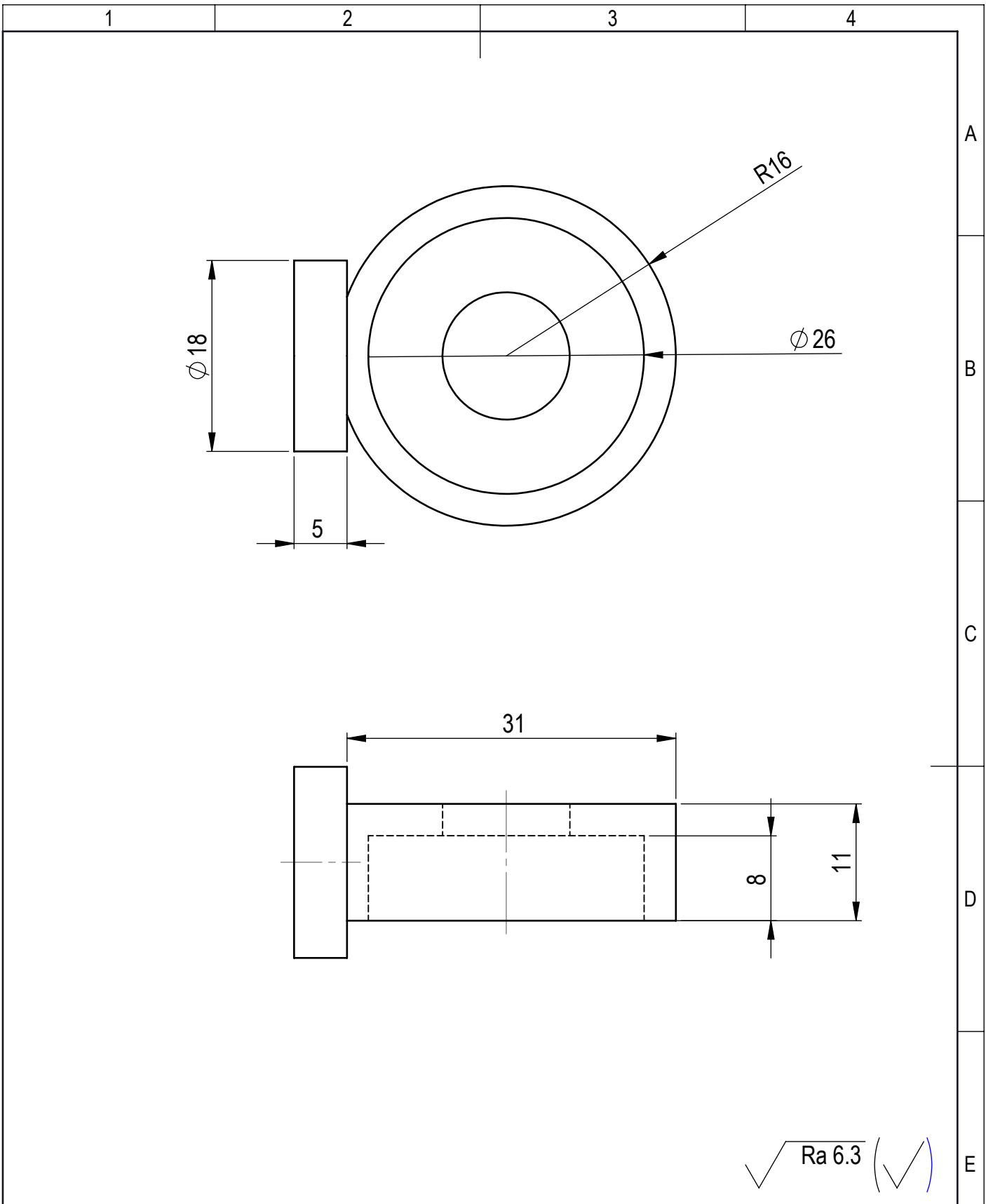
$\sqrt{\text{Ra 6.3}}$  ( $\checkmark$ )

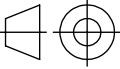
Nenurodyti matmenų ir formos nuokrypiai pagal LST EN 22768-mK				Masė 0,086 kg		Zona	Poz.
	Mastelis	Ruošė	G. Raginskas		Laikiklis		
	2:1	Tikrino					
2017	Stadija	N.kontr.					
	A4	Tvirtino					
Byla					Lapų	Lapas	
Kaup.	KTU PMM - 5						
Inv.Nr.							



$\sqrt{Ra\ 12.5}$  (✓)

Nenurodyti matmenų ir formos nuokrypiai pagal LST EN 22768-mK				Masė 0,086 kg		Zona	Poz.
	Mastelis	Ruošė	G. Raginskas		Vamzdelis		
	1:2	Tikrino					
2017	Stadija	A4	N.kontr.				
			Tvirtino				
Byla					Lapų		Lapas
Kaup.	KTU PMM - 5						
Inv.Nr.							



Nenurodyti matmenų ir formos nuokrypiai pagal LST EN 22768-mK				Masė 0,086 kg		Zona	Poz.
	Mastelis	Ruošė	G. Raginskas		Guoliavietė		
	2:1	Tikrino					
2017	Stadija	N.kontr.					
	A4	Tvirtino					
Byla		KTU PMM - 5				Lapų	Lapas
Kaup.							
Inv.Nr.							