



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

**Mantvydas Smetona**

**APDIRBIMO LAIKO PROGNOZAVIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS**  
**APDIRBANT GALINE FREZA**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

lekt. dr. Danas Garuckas

**PANEVĖŽYS, 2017**

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

**APDIRBIMO LAIKO PROGNOZAVIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS**  
**APDIRBANT GALINE FREZA**

Baigiamasis magistro projektas

**Mechanikos inžinerija (621H30001)**

**Vadovas**

(parašas) lekt. dr. Danas Garuckas  
(data)

**Recenzentas**

(parašas)  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Mantvydas Smetona  
(data)

**PANEVĖŽYS, 2017**



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto

(Fakultetas)

Mantvydas Smetona

(Studento vardas, pavardė)

Mechanikos inžinerija 621H30001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Apdirbimo laiko prognozavimo galimybių tyrimas apdirbant galine freza“

### AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2017 m. birželio 06 d.  
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano **Mantvydo Smetonos** baigiamasis projektas tema „Apdirbimo laiko prognozavimo galimybių tyrimas apdirbant galine freza“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

20..... ..

**BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS**

Išduota studentui:	<i>Mantvydui Smetonai</i>	Grupė	<i>PMM-5</i>
<b>1. Darbo tema:</b>			
Lietuvių kalba:	<i>Apdirbimo laiko prognozavimo galimybių tyrimas apdirbant galine freza</i>		
Anglų kalba:	<i>Investigation of Machining Time Forecasting Possibilities to Processing the Surfaces with Face Mill</i>		

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

<b>2. Darbo tikslas:</b>	<i>Ištirti mašininio laiko priklausomybes nuo apdirbamos medžiagos, naudojamų įrankių pjaunančios dalies medžiagos, įrankio skersmens, ruošinio matmenų.</i>
<b>3. Reikalavimai ir sąlygos:</b>	<i>Ruošinio medžiagos: duraliuminis ir plienas. Įrankių darbinės dalies medžiagos: greitapjovis plienas ir kietlydinys. Frezų skersmenys nuo 16 iki 32 mm. Ruošinio gabaritiniai matmenys keičiami diskretiškai (nemažiau 5 žingsnių). Tyrimams naudoti MasterCAM Mill programos modulį.</i>

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

*Įvadas. 1. Literatūros šaltinių apžvalgos skyrius. 2. Tyrimo metodikos ir sąlygų skyrius. 3. Tyrimo rezultatų skyrius. 4. Rezultatų analizės skyrius. Literatūros sąrašas. Priedai (jei reikalinga).*

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

<b>6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas</b>	<i>2017-05-31</i>
	<i>(data)</i>
Užduotį gavau:	<i>Mantvydas Smetona</i>
	<i>2017-02-06</i>
	<i>(data)</i>
Vadovas:	<i>doc. dr. Danas Garuckas</i>
	<i>2017-02-06</i>
	<i>(data)</i>

Smetona, Mantvydas. Apdirbimo laiko prognozavimo galimybių tyrimas apdirbant galine freza. Magistro baigiamasis projektas / vadovas lekt. dr. Danas Garuckas; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Technologijos mokslai, Mechanikos inžinerija (621H30001)

Reikšminiai žodžiai: galinis frezavimas, galinė freza, kietlydinis, mašininis laikas.

Panevėžys, 2017. 53 p.

## SANTRAUKA

Magistro baigiamajame darbe analizuojami stačiakampės plokštelės plokštumos galinio frezavimo gamybos laiką įtakojantys veiksniai. Darbe analizuojamas pagrindinis uždavinys - apdirbimo laiko priklausomybės nuo ruošinio medžiagos, gabaritinių matmenų, skirtingų skersmenų frezų ir įrankio pjaunančios dalies medžiagos. Siekiant išsiaiškinti ruošinių - plokštelių apdirbimo apdirbimo laiką įtakojančius veiksnius: pjovimo įrankių medžiaga ir skersmuo, ruošinio medžiaga, trajektorijos praėjimų skaičius, MasterCAM programa atliktas mechaninio apdirbimo technologijos modeliavimas skirtingoms ruošinių medžiagoms: plienui ir duraliuminio lydiniui; naudojant skirtingo skersmens pjovimo įrankius ir pjaunančiosios dalies medžiagos: greitapjovio plieno ir kietlydinio. Gauti mechaninio apdirbimo trukmės duomenys nuo minėtų sąlygų leis prognozuoti nagrinėjamos formos plokštelių apdirbimo savikainą įvertinant plokštelės geometrinius duomenis, apdirbamą medžiagą, naudojamą pjovimo įrankį – jo skersmenį ir pjaunančiosios dalies medžiagą, įrankio kainą, staklinio laiko valandinį įkainį.

Smetona, Mantvydas. Investigation of Machining Time Forecasting Possibilities to Processing the Surfaces with Face Mill. Master's thesis in / supervisor assoc. prof. Danas Garuckas. Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.

Technological Sciences, Mechanical Engineering (621H30001)

Key words: end milling, end milling cutters, carbide, machine time.

Panevėžys, 2017. 53 p.

## **SUMMARY**

Master's thesis analyzes the rectangular plate plane rear molding production time influencing factors. The study analyzes the main task - processing time dependent on the material, the overall size, diameters of the cutters the cutting part of the tool material. In order to determine finished products - wafer processing time and processing influencing factors: cutting the material and the diameter of the workpiece material, the number of path-pass MasterCam program performed machining simulation technology different workpiece materials: steel and duralumin alloy; using different diameter cutting tools, and the cutting of materials: high-speed steel and carbide. Get the machining time data from the said conditions allow to predict the shape in question wafer processing cost estimating plate geometry data in the material through cutting tools - the diameter and the cutting portion of the material of the tool cost bench time hourly rate.

# TURINYS

ĮVADAS .....	8
1. LITERATŪROS APŽVALGA .....	9
1.1. Frezavimo galine freza procesas .....	9
1.2. Apdirbimo laiko nustatymas .....	10
1.3. Apdirbimo savikainos apskaičiavimo metodika .....	12
1.4. Atliktų tyrimų apžvalga .....	12
2. TYRIMO METODIKA IR OBJEKTAS .....	15
2.1. Tyrimo objektas .....	15
2.2. Naudojami pjovimo įrankiai ir jų režimų nustatymas atliekant tyrimus.....	17
2.3. Apdirbimo laiko savikainos skaičiavimo metodika.....	21
3. TYRIMO REZULTATAI .....	22
3.1. Apdirbimo laiko priklausomybė nuo apdirbamos medžiagos, keičiant ruošinio ilgį .....	22
3.2. Apdirbimo laiko priklausomybė nuo įrankio medžiagos, keičiant ruošinio ilgį.....	27
3.3. Apdirbimo laiko priklausomybė nuo apdirbamos medžiagos, keičiant ruošinio plotį .....	30
3.4. Apdirbimo laiko priklausomybė nuo įrankio medžiagos, keičiant ruošinio plotį.....	35
3.5. Apdirbimo savikainos priklausomybė keičiant ruošinio ilgį .....	38
3.6. Apdirbimo savikainos priklausomybė keičiant ruošinio plotį .....	44
IŠVADOS .....	51
LITERATŪRA .....	53

## IVADAS

Gaminant bet kokius gaminius labai svarbus yra detalės pagaminimo laikas. Kad suprojektuotas detalės technologinis procesas būtų našus ir efektyvus, laiko sąnaudos turi būti kaip įmanoma mažesnės. Apdirbimo laiko norma reikalinga įvertinti reikiamam įrengimų skaičiui, jų apkrovimui, cechų bei barų gamybiniam pajėgumui, darbo užmokesčio rodikliams skaičiuoti. Projektuojant technologinį procesą, reikia nustatyti techniškai pagrįstą laiko normą (darbo apimties atlikimo laiką), kad procesas būtų našus ir efektyvus, laiko sąnaudos turi būti kaip įmanoma mažesnės [1].

**Tikslas** – nustatyti apdirbimo laiko priklausomybes nuo ruošinio medžiagos, matmenų, skirtingų skersmenų frezų ir įrankio pjaunančios dalies medžiagos.

### Uždaviniai:

1) Naudojant galines frezas (skersmenys  $\emptyset 16$ ,  $\emptyset 18$ ,  $\emptyset 20$ ,  $\emptyset 25$  ir  $\emptyset 32$ mm), kurių pjaunančios dalies medžiagos: greitapjovis plienas (HSS) ir kietlydinys (VHM), MasterCAM Mill programoje sumodeliuoti plokštumų mechaninį apdirbimą, kai apdirbamo ruošinio medžiaga yra: plienas ir aliuminio lydinys (duraliuminis).

2) Nustatyti ruošinio, plieno ir duraliuminio, mechaninio apdirbimo trukmę atsižvelgiant į parinkto įrankio skersmenį ir pjaunančios dalies medžiagą. Įvertinti apdirbimo kaštų kitimo dėsningumus nuo apdirbamos plokštumos geometrinių parametrų kitimo, keičiantis pjovimo įrankio skersmeniui ir pjaunančios dalies medžiagai bei apdirbamos detalės medžiagai.

3) Analizės pagrindu pateikti išvadas dėl įrankių skersmens ir pjaunančios dalies medžiagos parinkimo plokštumų apdirbimui siekiant optimalaus, našaus ir efektyvaus apdirbimo.

**Projekto aktualumas.** Detalės gamybos savikaina priklauso nuo apdirbimo laiko. Prognozuojant detalės gamybos savikainą yra sunku ją tiksliai nustatyti, nes reikia žinoti kiek užtruks detalės gamyba. Tam reikalinga sudaryti technologinį procesą (parinkti technologinius įrenginius, pjovimo įrankius, numatyti ruošinius ir pan.). Tinkamas pjovimo įrankių matmenų ir medžiagų parinkimas leidžia pasiekti didesnę našumą, kas savo ruožtu leidžia sumažinti apdirbimo savikainą ir užsakovui pasiūlyti konkurencingesnę apdirbimo paslaugų kainą, kuri garantuotų ilgalaikio bendradarbiavimo pagrindą.

**Projekto aprobavimas.** Magistro baigiamojo projekto pagrindu perskaitytas pranešimas studentų mokslinių darbų konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos 2016“ bei publikuotas straipsnis šios konferencijos leidinyje:

Smetona M., Garuckas D., Apdirbimo laiko prognozavimo apdirbant plokštumas galine freza ypatumai. SMD konferencijos „Technologijų ir verslo aktualijos 2017“ *medžiaga*. Panevėžys, PTVF – 2017.



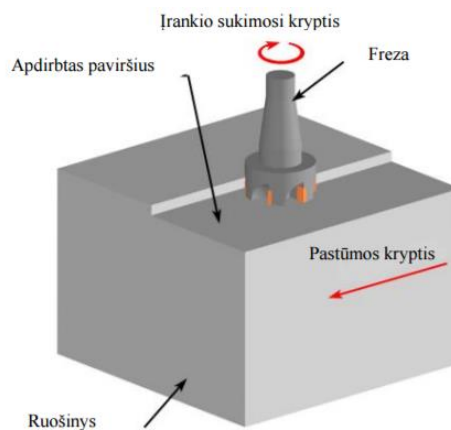
# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1. Frezavimo galine freza procesas.

Frezavimas vadinamas toks mechaninis medžiagų apdirbimas, kai darbo įrankis (freza) sukdamasis ir judėdamas detalės paviršiumi nupjauna nuo apdirbamojo paviršiaus nustatyto storio drožlę. Frezuojama daugiadančiu įrankiu, kurio keli dantys pjauna vienu metu. Tai yra dažniausiai pasitaikantis našus plokštumų apdirbimo būdas.

Frezuojamas ruošinys tvirtinamas įtaise, arba specialiomis priemonėmis tvirtinamas tiesiog prie staklių stalo. Dar ruošinys gali būti tvirtinamas spaustuvoose, griebtuvuose (pvz., jeigu ruošinys yra cilindro formos). Frezuojant jis gali judėti kartu su stalu arba stovėti vietoje. Frezos atskirų dantų pjovimo briaunos ne visą laiką liečia metalo paviršių, kaip tekimo staklėse, todėl mažiau įkaista. Tai leidžia padidinti frezavimo greitį.

Pagrindiniai galinio frezavimo privalumai, palyginus jį su cilindrinio frezavimu, yra šie: 1. esant galiniam frezavimui, kontakto tarp frezos ir apdirbamos detalės kampas yra didesnis, o tai reiškia, kad vienu metu dirba daugiau frezos dantukų. Todėl, vienam iš frezos dantukų įsipjaunant į detalę ir baigus pjauti, frezos apkrovimas praktiškai nepasikeičia; 2. Sklandžiam galinės frezos darbui taip pat turi įtakos tai, kad frezos dantukais nupjaunamo metalo sluoksnio skerspjūvis per visą pjovimo briaunos lietimosi su detale laiką beveik nesikeičia.

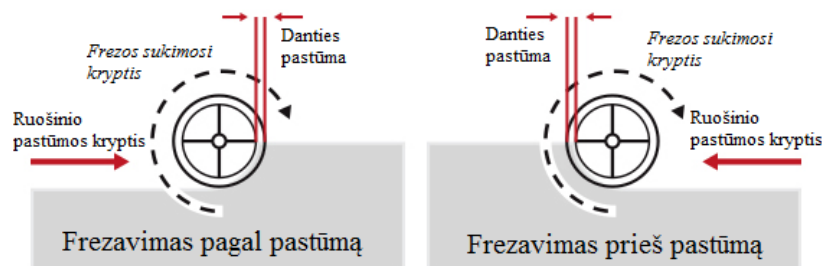


1 pav. Frezavimo proceso principinė schema [1]

Frezavimas galinėmis frezomis pagal pastūmos ir pjovimo judesio kryptį skirstomas į frezavimą prieš ir pagal pastūmą.

Frezuojant prieš pastūmą, frezos apskritiminio greičio kryptis yra priešinga ruošinio pastūmos kryptčiai. Frezuojant prieš pastūmą, pjovimas prasideda nuimant ploną drožlę ir baigiasi nuimant maksimalią drožlę.

Frezuojant pagal pastūmą, frezos apskritiminio greičio ir ruošinio pastūmos kryptys yra vienodos. Frezuojant pagal pastūmą, pjovimas prasideda nuimant maksimalią drožlę ir baigiasi nuimant minimalią drožlę. Todėl frezuojant pagal pastūmą, gaunama geresnė paviršiaus kokybė. Be to, frezuojant pagal pastūmą, padidėja įrankio patvarumo laikotarpis.



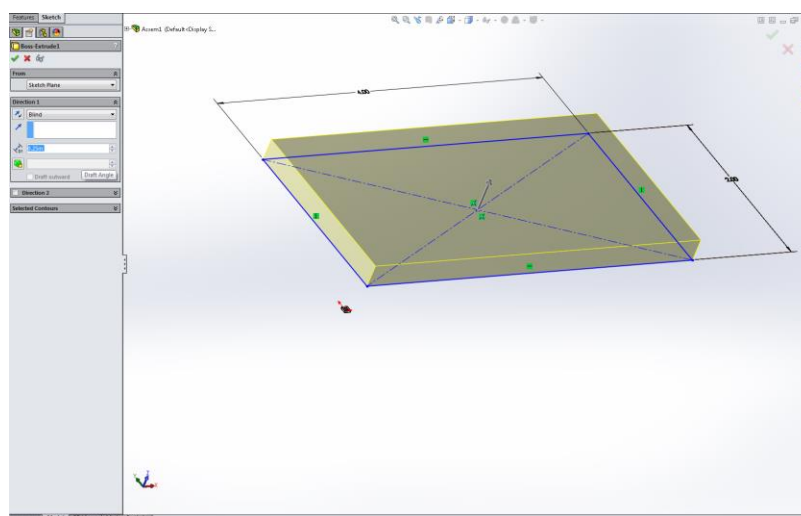
1 pav. Frezavimas prieš ir pagal pastūmą [2]

## 1.2. Apdirbimo laiko nustatymas.

Gaminant bet kokius gaminius labai svarbus yra detalės ar gaminio pagaminimo laikas. Kad suprojektuotas detalės technologinis procesas būtų našus ir efektyvus, laiko sąnaudos turi būti kaip įmanoma mažesnės. Tikrąjį detalės apdirbimo laiką galima nustatyti tik gamybos metu, tačiau ir jis kiekvienos partijos metu gali šiek tiek skirtis, dėl nenumatytų veiksnių: įrangos gedimo, darbuotojo veiksnių ir pan. Projektuojamo korpuso operacijų atlikimo laikas gali būti nustatytas analitiniu būdu, parenkant koeficientus iš žinynų ir standartų, tačiau ten nurodyti koeficientai yra su didele atsarga taigi laikas būtų gaunamas ilgesnis. Efektyviausias būdas nustatyti detalės operacijų trukmę būtų operacinės technologijos projektavimas CAM aplinkoje. [3]

### 1.2.1. 3D modelio projektavimas SolidWorks programine įranga

Šiuo būdu CAD programa (Solidworks) nubraižytas 3D (1.1 pav.).



2.1 pav. Nubraižytas ruošinys SolidWorks programine įranga

### 1.2.2. CNC valdymo programų sudarymo etapai MasterCAM sistemoje

MasterCAM – sukurta kompleksinė kompiuterizuoto mechaninio apdirbimo (CAM) sistema, skirta įrankio valdymo programų sudarymui CNC staklėms. Sistemos moduliai, skirti prizminio ir paviršinio frezavimo, rotacinio ir daugiapozicinio frezavimo, paprasto bei sudėtingo kelių ašių tekinimo staklių apdirbimo technologinių procesų valdymui. Darbo MasterCAM programa suskirstyti etapais:

1) *Detalės CAD modelio paleidimas MasterCAM sistemoje:*

Sukurtas modelis paleidžiamas MasterCAM sistemoje. Priklausomai nuo apdirbimo būdo programos nustatymuose parenkama koordinačių sistema.

2) *Detalės konstrukcinių elementų nuskaitymas:*

Sistemoje automatiškai aptinkami apdirbamos detalės konstrukciniai elementai (plokštumos, grioveliai, kiaurymės ir t.t).

3) *Apdirbamos detalės ruošinio nustatymas:*

Šiame etape nustatomas detalės ruošinys. Ruošinio parinkimo lange nurodoma ruošinio forma cilindrinė arba kvadratinė, bei užlaidų dydžiai. Taip pat apdirbimui galima naudoti ir sudėtingos formos ruošinius, kurių trimačiai modeliai gali būti sukuriami įvairiomis grafinio automatizuoto projektavimo (CAD) sistemomis, kaip ir apdirbamų detalių modeliai.

4) *Technologinio įrengimo nustatymas:*

Parenkamas įrengimas, kuriam bus generuojama mechaninio CNC programa.

5) *Pjovimo režimų nustatymas ir įrankio parinkimas technologiniam perėjimui:*

Nustatomi pjovimo režimų parametrai bei parenkamas įrankis technologiniam perėjimui.

6) *Įrankio judėjimo trajektorijos atvaizdavimas:*

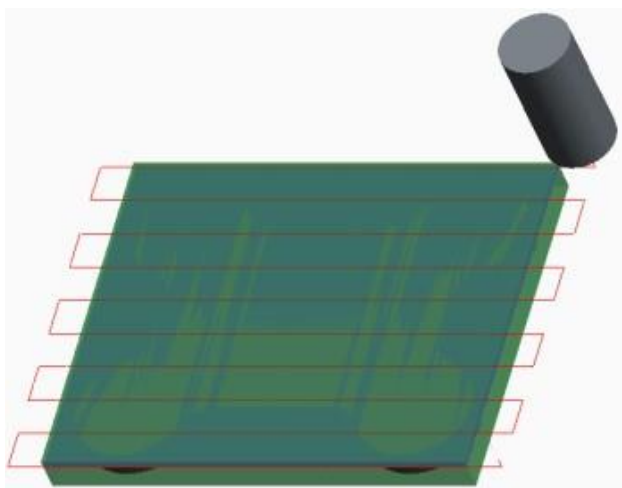
Atlikus visus aukščiau aprašytus ir kitus papildomus nustatymus, MasterCAM sistema atvaizduoja įrankio judėjimo trajektoriją. Sistema turi interaktyvią įrankio judėjimo trajektorijos simuliacijos funkciją (1.2 pav.).

7) *Detalės apdirbimo mašininis laikas:*

Nubraižytas 3D modelis atidaromas CAM terpėje, orientuojamas pagal staklių ašis, tuomet jam uždedamas ruošinys, tuomet atskiriems elementams priskiriamos technologinės pakopos, įrankiai, pjovimo režimai ir gaunamas detalės apdirbimo mašininis laikas.

8) *CNC programos kodų sugeneravimas:*

Galutinis detalės apdirbimo technologinio proceso sudarymo etapas MasterCAM sistemoje, tai CNC programos kodų sugeneravimas. Sugeneruoti CNC programos kodai išsaugomi teksto redagavimo programoje, kurie po to įrašomi į staklių valdiklių atmintinę. Įstačius ruošinį staklėse, bei suderinus ašis jis yra apdirbamas ir gaunama reikiama detalė.



2.2 pav. Įrankio judėjimo trajektorijos

### 1.3. Apdirbimo savikainos apskaičiavimo metodika

	Tiesioginės sąnaudos tiesiogiai siejamos su konkrečiu gaminiu		Pridėtinės sąnaudos	
			Netiesiogiai susijusios su konkrečiu gaminiu	Priemoka procentais prie darbo užmokesčio
Sąnaudų tipai	Medžiagų sąnaudos	€ 80000	Amortizacija	$\frac{€220000 \cdot 100\%}{€120000} = 183\%$ Priemoka apvalinama iki 185%, taikoma kiekvienai darbo valandai siekiant padengti pridėtinę sąnaudas
	Darbo sąnaudos	€ 120000	Atlyginimai € 80000 Palūkanos € 40000 Kitos sąnaudos € 50000 Viso pridėtinės sąnaudos €220000	
Sąnaudų skaičiavimas	Darbo valandos= 10000val.		Užsakymo medžiagų sąnaudos €124,75	
	Darbo sąnaudos/val=€/val. 12,00		Darbo trukmė 5val.x€/val. 34,20	
Kaina už valandą=€/val. 12+185%=€/val.34,20 (atlyginimas už vadybos darbus=pelnas)		€171,00		
			Kaina be PVM €295,75	

2.3 pav. Suspaprastintas savikainos skaičiavimas [10]

### 1.4. Atliktų tyrimų apžvalga

Norėdami ištirti temos aktualumą, nagrinėsime jau atliktų darbų tyrimus, technologinių apdirbimo laikų skaičiavimo - prognozavimo tematika.

2013 m. A. Bargelis, A. Baltrušaitis, E. Dubinskas moksliniame straipsnyje [4] apžvelgiamas sukurtas proceso projektavimo ir gamybos laiko prognozavimo ankstyvoje gaminio stadijoje modelis. Gamybos laikas yra prognozuojamas pagal mechaninio apdirbimo operacijoms pašalinamą medžiagos tūrį ir pasiekiamas detalės kiekybines ir kokybines charakteristikas. Sukurtą modelį grindžia gamybos laiko prognozavimo metodologija, kuri remiasi gaminių ir juos sudarančių tipinių konstrukcinių elementų klasifikavimu pagal geometrinę formą. Tyrimai atlikti virtualioje aplinkoje; atliktas gamybos laiko prognozavimo matematinis formulavimas.

Straipsnyje apžvelgiami pasiūlymai, kurie padeda klasifikuoti gaminių konstrukcinius elementus (suklasifikuoti į dvi klases – sukinių ir prizmės formos) bei atsižvelgiant į pašalinamą atskirų konstrukcinių elementų medžiagos tūrį, nustatyti jų įtaką mechaninio apdirbimo trukmei.

2016 m. vienas iš pagrindinių I. Bieliūno baigiamojo magistrinio darbo uždavinių buvo nustatyti trijų tipų kišenių mechaninio apdirbimo trukmę remiantis į parinkto įrankio, pirštinės frezos, skersmenį ir medžiagą.

Nustatyti kišenių apdirbimo mašiniam laikui buvo naudojama konkrečia katalogu informacija apie pasirinktų pjovimo įrankių pjovimo režimus numatytoms medžiagoms apdirbti. Norint gauti tikslesnius rezultatus apdirbimo modeliavimas buvo atliktas naudojantis MasterCAM Mill programa, ir nustatomas mašininis laikas  $T_m$ .

Išnagrinėjas apskritiminės kišenės (plieno ir aliuminio lydinio) apdirbimo trukmės kitimą, priėjo prie išvadu, kad nors ir kišenės skersmuo didėja, ir yra apdirbamas plienas su kietlydinio (VHM) frezomis, tačiau frezų skersmens padidėjimas sutrumpina apdirbimo trukmę. Tas pats vyksta ir su greitapjovio plieno (HSS) frezomis. Pirštinės frezas iš kietlydinio (VHM) lyginant su greitapjovio plieno (HSS) frezomis, apdirbant plieną ir aliuminį, paspartina apskritiminių kišenių apdirbimą nuo 3 iki 3,9 karto.

2013 m. Darijus Baltramiejūnas savo baigiamajame magistro darbe [6] nagrinėja užsiduotų matmenų, išorinių kontūrų apdirbimą plokštės. Norėdamas nustatyti apdirbimo trukmės kaštų dedamųjų įtaką detalės gamybos savikainai, D. Baltramiejūnas kontūrų apdirbimui sudarė keletą alternatyvių mechaninio apdirbimo maršrutų, kurie padėjo nustatyti apdirbimo kaštų dedamąsias nuo apdirbimo laiko, ištirti frezavimo įrankių ir apdirbimo trukmės kaštų dedamųjų įtaką detalės gamybos savikainai.

Vienas iš pagrindinių darbo tikslų buvo išanalizuoti mechaninio apdirbimo trukmės kaštų priklausomybę nuo frezų skersmens, įrankių medžiagos, kontūro ilgio ir aukščio, įvertintą pagaminimo trukmę. Tyrime buvo apskaičiuotos suminės mašininio laiko reikšmės ir pjovimo įrankių kaštų dedamosios.

Norėdamas sužinoti trumpiausią mašininį laiką, D. Baltamiejūnas atliko mašininio laiko priklausomybės tyrimą nuo frezos skersmens. Rezultatai parodė, kad mažiausias mašininis laikas yra dirbant su 15 mm skersmens freza. Lyginant apdirbimo laiką pagal įrankių medžiagas – mažiausias mašininis laikas yra dirbant su VHM su TiAlN danga pagamintais įrankiais, o didžiausias yra dirbant su įrankiais pagamintais iš HSS Co be dangos. Taip pat, frezos skersmuo įtakoja apdirbimo kaštų dydį.

Savo baigiamajame magistro darbe Dovilė Tratulytė [5] analizuoja gamybos kaštus įtakojančius veiksnius, tiria apvalaus skerspjuvio skylių, apdirbamų gręžimu, ištekiniu, mašininio laiko priklausomybės nuo apdirbimo maršruto bei apžvelgia gamybos kaštų prognozavimo metodus.

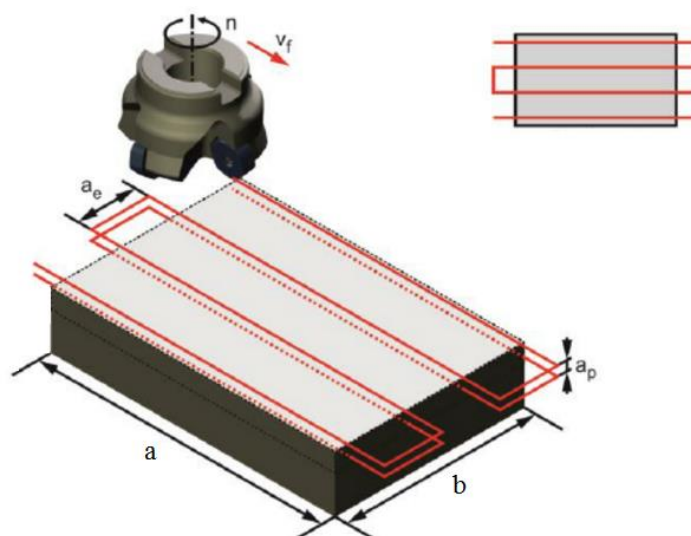
Darbe nagrinėjami trys kaštų prognozavimo metodai: kaštų prognozavimas įvertinant mašininį laiką ir suminius kaštus bei įvertinant pagaminimo trukmę. Pateikė prognozavimo metodų privalumus ir trūkumus, duotų matmenų ir techninių reikalavimų skylėms, sudarydama keletą alternatyvių apdirbimo maršrutų. Nustatė apdirbimo perėjimų mašininis laikus bei suminius skylės apdirbimo mašininis laikus. Naudodamasi skirtingomis mašininio laiko skaičiavimo metodikomis, palygino jo reikšmes kiekvienam apdirbimo maršrutui atskirai bei tarp atskirų maršrutų [5].

Remiantis jos tyrime gautais rezultatais, nustatyta, kad prognozuojant skylių apdirbimo savikainą, reikalinga atsižvelgti į skylių tikslumą, nes nuo to priklauso įrankių kiekis, turimų įrankių darbinės dalies medžiagą. Išanalizavus kaštus, kurie įtakoja apdirbimo savikainą, nustatyta, jog apdirbant kuo mažesnę skylę su greitapjoviu plieniu yra pigesnis variantas, bet apdirbant su kietlydiniu, apdirbimas gaunasi greitesnis. Apdirbant kietlydiniu, pjovimo įrankių kaina yra didesnė, nei greitapjovio plieno, bet apdirbimo laikas yra mažesnis, nei greitapjovio plieno, tad geriausia yra jog mažesnę skylę apdirbti - greitapjoviu plieniu, o apdirbant kietlydiniu VHM kaštai ženkliai išauga, ir yra brangesni.

## 2. TYRIMO METODIKA IR OBJEKTAS

### 2.1. Tyrimo objektas

Tyrimo objektas – frezavimo, stačiakampės plokštelės, galine freza pjovimo proceso apdirbimo laikas, nuo kurio priklauso gaminio savikaina.



2.1 pav. Tyrimo objektas – galinio frezavimo procesas [5]

Atliekant tyrimą pasirinktos ruošinio medžiagos:

1) *Aluminis ENAW-2017 (duraliuminis)* (AlCu4MgSi pagal LST EN 515), kurio cheminė sudėtis ir mechaninės savybės pateiktos atitinkamai 1 ir 2 lentelėse [6]. Grynasis aluminis minkštas, nestiprus ir labai plastiškas metalas. Po geležies lydinių aliuminio lydiniai yra dažniausiai naudojami metalai. Šis metalas labiausiai paplitęs gamtoje, tačiau jis randamas ne grynas, bet junginiuose, taigi jis neišvengiamai turi priemaišų. Dažniausiai pasitaikančios priemaišos yra Fe, Si, Cu, Mn, Zn, Cr, kurios didina aliuminio kietumą ir stiprumą, tačiau blogina kitas savybes, tokias kaip elektrinis laidumas, plastiškumas, atsparumas korozijai. Aliuminio lydiniai su priemaišomis pagerina jo technologines ir mechanines savybes (kuo mažiau priemaišų tuo aluminis sunkiau apdirbamas).

1 lentelė. Aliuminio ENAW-2017 cheminė sudėtis, %

Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn
91,5 – 95,5	Iki 0,1	3,5 – 4,5	Iki 0,7	0,4 – 0,8	0,4 - 1	0,2 – 0,8	Iki 0,15	Iki 0,25

2 lentelė. Aliuminio ENAW-2017 mechaninės savybės

Klasė	R <sub>m</sub> , MPa	S <sub>p</sub> , MPa	A, %	Kietumas pagal Brinelį, HB
2017	225	145	12	45

čia:  $R_m$  – medžiagos stipris;

$S_p$  – takumo riba

A - santykinis išstijimas.

2) **Plienas 41Cr4 LST EN 10083-3:2006 (1.7035)**, kurio cheminė sudėtis ir mechaninės savybės pateiktos atitinkamai 3 ir 4 lentelėse [7]. Pramoniniame pliene be pagrindinių komponentų geležies ir anglies, visuomet būna priemaišų. Nuolatinės priemaišos pliene būna žalingos ir naudingos. Žalingos priemaišos yra sierra, fosforas bei ištirpusios dujos (deguonis, azotas, vandenilis). Naudingos - silicis ir manganas. Didėjant anglies kiekiui iki 0,5 % gerėja plieno apdorojimas pjovimu. Toliau didėjant anglies kiekiui, apdorojimas pjovimu blogėja dėl padidėjusio plieno kietumo. [8]

**3 lentelė.** Plieno 41 Cr 4 LST EN 10083-3: 2006 cheminė sudėtis (%)

C	Si	Mn	S	P	Cr
0,38-0,45	Iki 0,40	0,6-0,9	iki 0,035	iki 0,025	0,09-1,2

**4 lentelė.** Plieno 41 Cr 4 LST EN 10083-3: 2006 mechaninės savybės

Klasė	$R_m$ , MPa	$S_p$ , MPa	A, %	Kietumas pagal Brinelį, HB
1.7035	800-950	560	14	207

Tyrimė analizuojama stačiakampė plokštelė (2.1 pav.), vienu atveju keičiamas jos ilgio matmuo nuo 150mm iki 220mm, o plotis pastovus – 100mm ; kitu atveju plokštelės plotis – nuo 100 mm iki 170 mm, o ilgis pastovus 150mm. Frezuojamo plokštelės paviršiaus gylis bus pastovus ir lygus  $h = 5$  mm. 5 ir 6 lentelėse pateikiami frezuojamo ploto ir tūrio parametrai.

**5 lentelė.** Stačiakampės plokštelės frezuojamo ploto ir išmetamo tūrio suvestinė, keičiant ilgį

		Gabaritiniai matmenys , mm							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		100x15	100x16	100x17	100x18	100x19	100x20	100x21	100x22
Plotas	mm	15000	16000	17000	18000	19000	20000	21000	22000
Išmetamas tūris	mm <sup>3</sup>	75000	80000	85000	90000	95000	100000	105000	110000

**6 lentelė.** Stačiakampės plokštelės frezuojamo ploto ir išmetamo tūrio suvestinė, keičiant plotį

		Gabaritiniai matmenys , mm							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		100x15	110x15	120x15	130x15	140x15	150x15	160x15	170x15
Plotas	mm	15000	16500	18000	19500	21000	22500	24000	25500
Išmetamas tūris	mm <sup>3</sup>	75000	82500	90000	97500	105000	112500	120000	127500



## 2.2. Naudojami pjovimo įrankiai ir jų režimų nustatymas atliekant tyrimus

Metalo pjovimo įrankiai turi būti kieti, atsparūs dilimui ir šilumos poveikiui. Kartais jie turi būti pakankami stiprūs bei tšūs. Pjovimo įrankiai gaminami iš metalinių ir nemetalinių medžiagų [8]. Šiame darbe naudojamos frezos su pjaunančios dalies medžiagomis:

**1) Greitapjovis plienas – HSS (High Speed Steel).** Šis plienas skirtas gaminti pjovimo įrankiams dirbantiems intensyviais pjovimo režimais (didelis pjovimo greitis, didelė pastūma, kieti metalai). Įrankių kietumas yra iki 64-65 HRC. Tokiems įrankiams ypatingą reikšmę įgyja šiluminis atsparumas. Šiluminiam atsparumui padidinti greitapjoviai plienai gausiai legiruojami W, Mo, Co, Cr, V. Labiausiai šiluminį atsparumą didina volframas, molibdenas ir kobaltas.

Vertingiausi greitapjoviai plienai, legiruoti ~ 18 % W. Tačiau volframas labai brangus ir deficitinis legiruojantis elementas. Todėl pastaruoju metu jis iš dalies keičiamas molibdenu (1 % Mo = 1,5-1,6 % W). Dabartiniu metu apie 80 % visų greitapjovių plienų sudaro plienai, legiruoti ~ 6 % W ir ~ 5 % Mo.

**2) Kietlydinis – VHM (Very Hard Metal).** Tai metalo keraminės medžiagos, pagamintos sukepinant aukštoje temperatūroje ir labai dideliame slėgyje karbidų (volframo, titano, tantalio) miltelius. Iš jo gaminamos įvairios formos ir matmenų standartinės plokštelės ir smulkūs vientisiniai įrankiai (grąžtai, frezos, ir kt.) Kietlydinio įrankiai yra labai kieti (74-76 HRC) ir atsparūs dilimui, galima pjauti dideliu greičiu netgi grūdintą plieną, nemetalus (porcelianą, keramiką ir kt.) [9].

Priklausomai nuo to, kokią frezą naudosime, kokią medžiagą apdirbsime, parenkami pjovimo režimai, kurie staklėms su programiniu valdymu ir esant aušinimui, yra gerokai didesni, negu dirbant universaliomis staklėmis. Anksčiau pjovimo režimai būdavo parenkami iš žinytų ar skaičiuojami analitiškai, dabartiniai įrankių gamintojai paprastai pateikia maksimalius leidžiamus pjovimo režimus jų gaminamiems įrankiams, o šie sukonkretinami pagal norimą gauti rezultatą ir staklių technines galimybes.

Atliekamos apdirbimo operacijos, frezavimas galine freza, bus nustatoma pasinaudojus MasterCAM Mill modeliavimo programa. Technologinių operacijų pjovimo įrankiai ir režimai parinkti pagal Hoffmann Group įrankių katalogą [10]. Pjovimo greitis  $v_f$  ir pastūma  $f_z$  parinkti iš katalogo, o apsisukimai  $n$  ir minutinė pastūma apskaičiuota pagal tam tikras literatūroje nurodytas formules. Režimai surašyti į suvestines lenteles (7 - 10 lent.).

Įrankio apsisukimų skaičius nustatomas iš formulės:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}; \quad (2.1)$$

čia  $n$  – suklio sukimosi dažnis, aps/min;  $v$  – pjovimo greitis, m/min;  $\pi$  – skaičius,  $\approx 3,14$ ;  $D$  – frezos skersmuo, mm.

Įrankio minutinė pastūma apskaičiuojama iš formulės:

$$s = f_z \cdot z \cdot n; \quad (2.2)$$

Čia  $s$  – minutinė pastūma, mm/min;  $f_z$  – pastūma vienam dančiui, mm/dant.;  $z$  – frezos pjaunančių dantų skaičius;  $n$  – suklio sukimosi dažnis, aps/min.

**7 lentelė.** Pjovimo režimai plienui 41Cr4 LST EN 10083-3:2006 su VHM plokštelėmis

d, mm	z, vnt	$v_f$ , mm/min	n, aps.	$f_z$ , mm/z	$s_m$ , mm/min
16	2	340	6768	0,2	2707
18	2	340	6016	0,2	2406
20	3	340	5414	0,2	3248
25	4	340	4331	0,2	3465
32	5	340	3384	0,2	3384

**8 lentelė.** Pjovimo režimai duraliuminiui ENAW-2017 su VHM plokštelėmis

d, mm	z, vnt	$v_f$ , mm/min	n, aps.	$f_z$ , mm/z	$s_m$ , mm/min
16	2	600	11943	0,2	4777
18	2	600	10616	0,2	4246
20	3	600	9554	0,2	5733
25	4	600	7643	0,2	6115
32	5	600	5971	0,2	5971

**9 lentelė.** Pjovimo režimai plienui 41Cr4 LST EN 10083-3:2006 su HSS plokštelėmis

d, mm	z, vnt	$v_f$ , mm/min	n, aps.	$f_z$ , mm/z	$s_m$ , mm/min
16	2	190	3782	0,2	1513
18	2	190	3362	0,2	1345
20	3	190	3025	0,2	1815
25	4	190	2420	0,2	1936
32	5	190	1891	0,2	1891

**10 lentelė.** Pjovimo režimai duraliuminiui ENAW-2017 su HSS plokštelėmis

d, mm	z, vnt	$v_f$ , mm/min	n, aps.	$f_z$ , mm/z	$s_m$ , mm/min
16	2	280	5573	0,2	2229
18	2	280	4954	0,2	1982
20	3	280	4459	0,2	2675
25	4	280	3567	0,2	2854
32	5	280	2787	0,2	2787

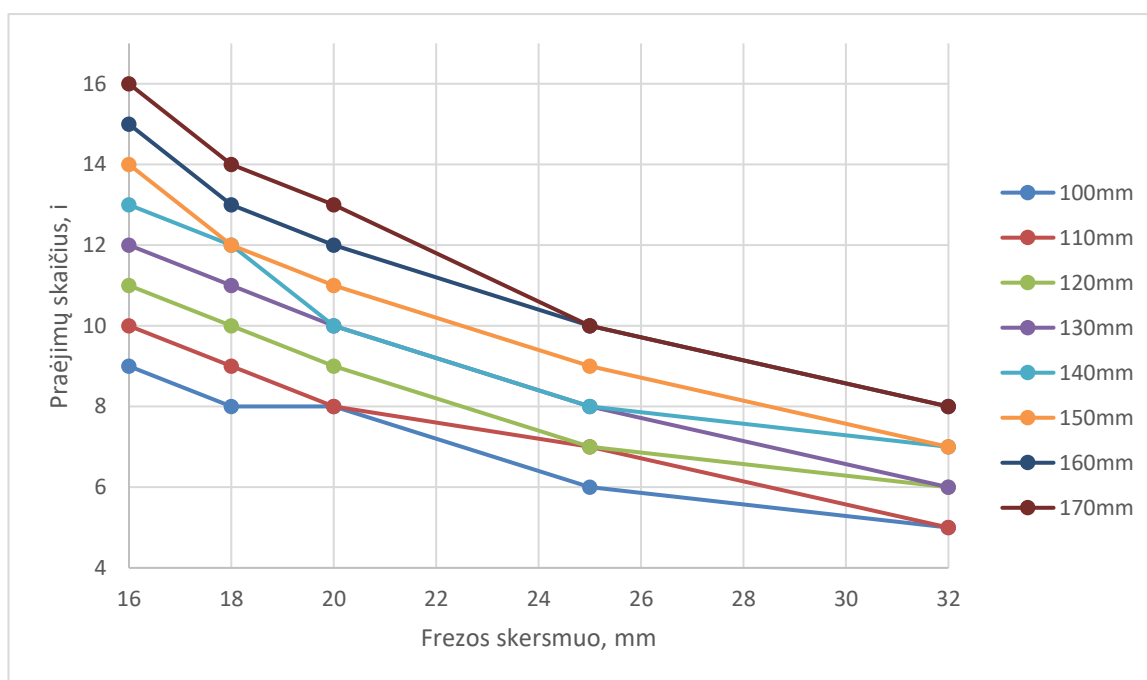
čia  $d$  – frezos skersmuo, mm;  $z$  – frezos dantų skaičius,  $v_c$  – pjovimo greitis, mm/min;  $n$  – apsisukimų skaičius;  $f_z$  – pastūma dančiui, mm/dančiui;  $s_m$  – minutinė pastūma, mm/min.

Praėjimų skaičius „i“ nustatomas įvertinant trajektorijų žingsnį, kuris bus 0,7 paimtos frezos skersmens.

$$i = \frac{b}{0,7 \cdot D}; \quad (2.3)$$

**11 lentelė.** Frezų praėjimų praėjimų skaičius, pagal ruošinio plotį

		Frezos skersmuo, mm				
		Ø16	Ø18	Ø20	Ø25	Ø30
Ruošinio plotis, mm	100	9	8	8	6	5
	110	10	9	8	7	5
	120	11	10	9	7	6
	130	12	11	10	8	6
	140	13	12	10	8	7
	150	14	12	11	9	7
	160	15	13	12	10	8
	170	16	14	13	10	8



2.2 pav. Nustatytas praėjimų skaičius „i“ įvertinus plokštelės plotį

Iš grafiko galime matyti, kad nors ir didėja frezos skersmuo, tačiau apdirbamų paviršių praėjimų skaičius vienais atvejais sutampa didesnių frezų su mažesnių. Naudojant mažesnes frezas, praėjimų skaičiui didžiausia įtaką turi apdirbamo paviršiaus plotas. Naudojant didesnes frezas, didžiausią įtaką praėjimų skaičiui turi frezos skersmuo.

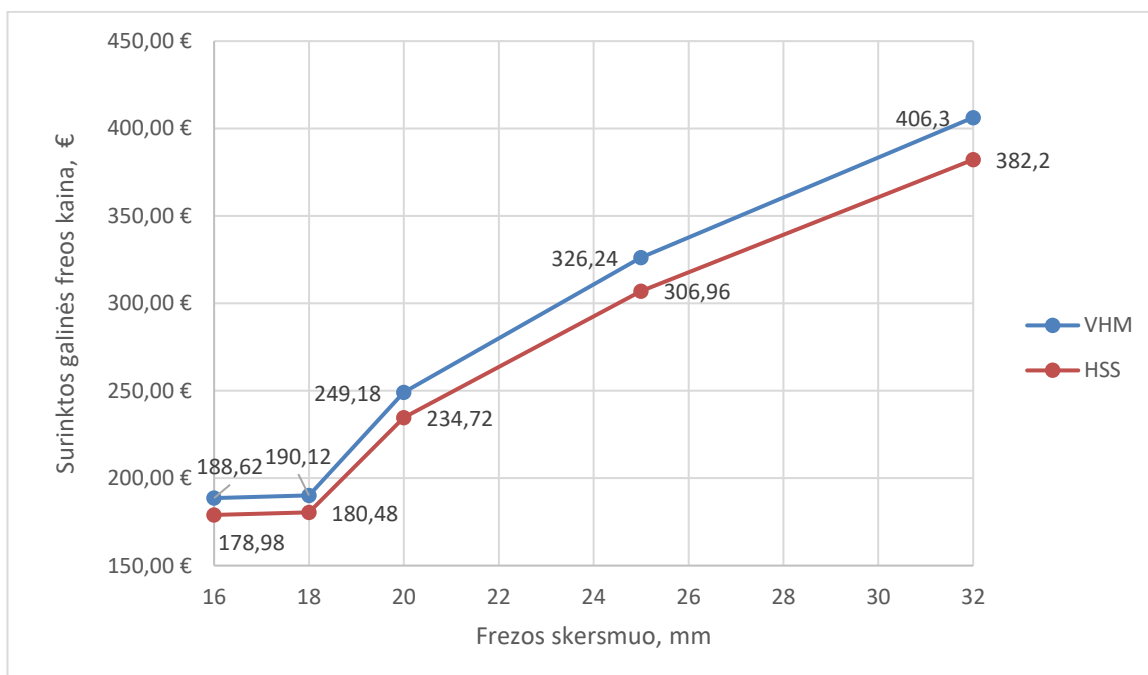
Greitapjovio plieno (HSS) ir kietlydinio (VHM) galinių frezų ir keičiamų plokštelių kainos pateiktos – 12 lentelėje.

**12 lentelė.** Pjovimo įrankių – galinių frezų kainų suvestinė

Diametras / dantų skaičius	Galinės freza (215560) kaina	Keičiama ploštelė (APMT 133504 TR UNI) kietlydinio / greitapjovio plieno*	Pilnai surinktos galinės frezos su keičiamomis ploštelėmis kaina
Ø16/2	164,50 €	12,06 € / 7,24 €	188,62 € / 178,98 €
Ø18/2	166,00 €		190,12 € / 180,48 €
Ø20/3	213,00 €		249,18 € / 234,72 €
Ø25/4	278,00 €		326,24 € / 306,96 €
Ø32/5	346,00 €		406,3 € / 382,2 €

\*greitapjovio plieno ploštelių kaina parinkta 0,6 nuo kietlydinio ploštelės kainos

Pjovimo įrankių kaina turės įtakos detalės apdirbimo savikainai. Kaip matyti iš 12 lentelės didėjant frezos skersmeniui, jos kaina didėja. Vaizdiškam įrankio kainos priklausomybės nuo skersmens atvaizdavimui sudaromas 2.3 paveikslas. Šis paveikslas leis vizualiai lengviau nustatyti ir palyginti įrankių kaštų dedamosios kitimo priklausomybę gautuose tyrimo rezultatuose.



2.3 pav. Įrankių kainų kitimo priklausomybė nuo pjovimo įrankio skersmens ir pjaunamosios dalies medžiagos

Iš kainų kitimo grafiko (2.3 pav.) matyti, kad įrankių kainos didėja keičiantis frezos skersmeniui. Kol skersmenys nėra dideli ir pjovimo briaunų skaičius vienodas (Ø16mm ir Ø18mm) kainos skirtumas nesiekia 1%, tačiau didesnių skersmenų atveju (virš Ø20mm) įrankių kainų

skirtumai tampa ženklūs tarp frezų ir siekia iki 24 proc. Didžiausia įtaką kainai daro didėjantis pjaunančios dalies plokštelių skaičius.

### 2.3. Apdirbimo laiko savikainos skaičiavimo metodika

Mechaninio apdirbimo kaštai  $K_{MA}$  vertinami pagal formulę [11]:

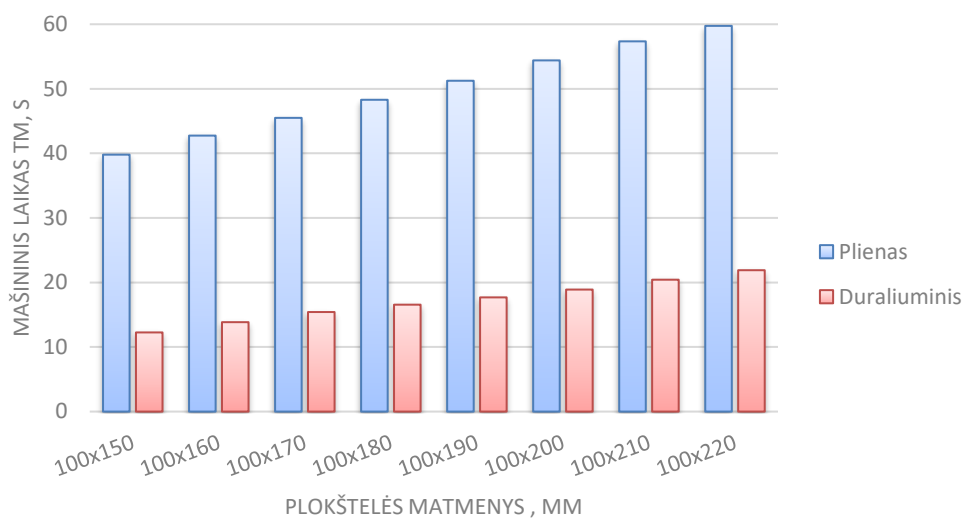
$$K_{MA} = K_m + K_{Tm} + K_{Pl}; \quad (2.4)$$

$$K_{Tm} = \frac{T_m \cdot C_{val}}{60}; \quad (2.5)$$

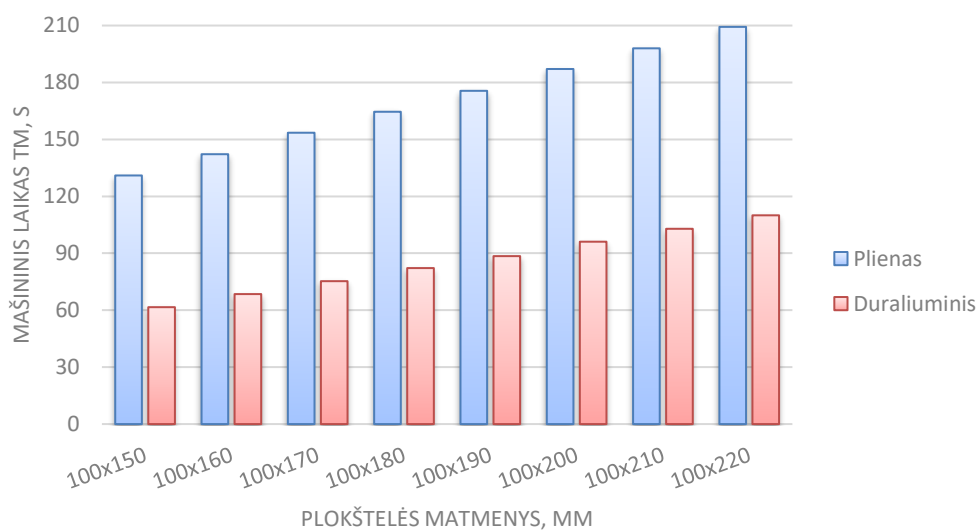
čia:  $K_M$  – ruošinių medžiagų kaštai, šio tiriamojo darbo atveju  $K_M = 0$ ;  $K_{Tm}$  – mechaninio apdirbimo trukmės kaštai įvertinti atsižvelgiant į pasirinktą valandinį programinio valdymo staklių įkainį, kai valanda yra įvertinta  $C_{val} = 50$  €/val.  $K_{Pl}$  – mechaninio apdirbimo kaštų dedamoji priklausanti nuo dirbančių įrankių susidėvėjimo, kuri bus skaičiuojama įvertinant frezos galvos ilgaamžiškumą, atsiperkamumą ir keičiamų frezos plokštelių darbinį laiką ir jų kainą. Šiame tyrime priimu, kad frezos galvos atsiperkamumą 10% nuo vieno ruošinio apdirbimo, o viena frezos plokštelė (pjaunančioji briauna) dirba 10 norminių minučių.  $T_m$  – apdirbimo mašinis laikas, kuris bus nustatomas MasterCAM Mill programa.

### 3. TYRIMO REZULTATAI

#### 3.1. Apdirbimo laiko priklausomybė nuo apdirbamos medžiagos, keičiant ruošinio ilgį



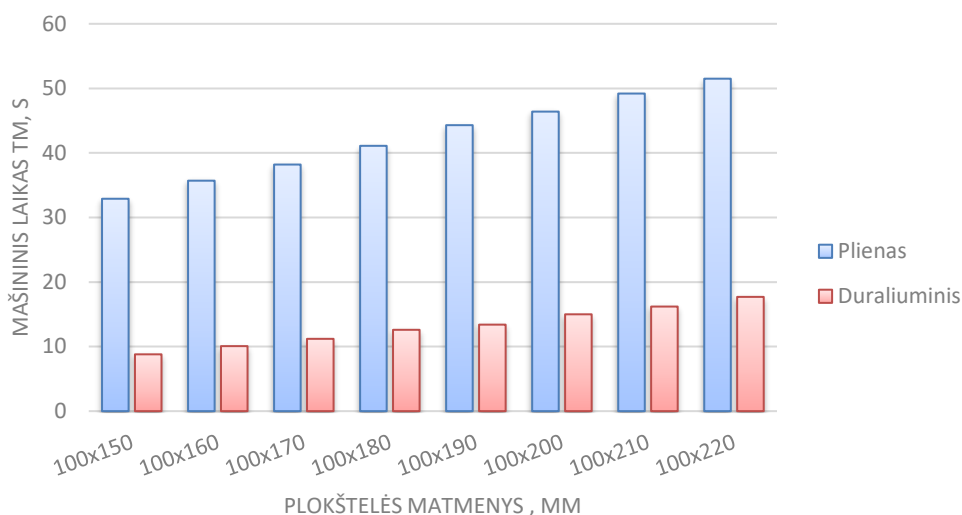
3.1 pav. Ø16mm frezos su VHM plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies



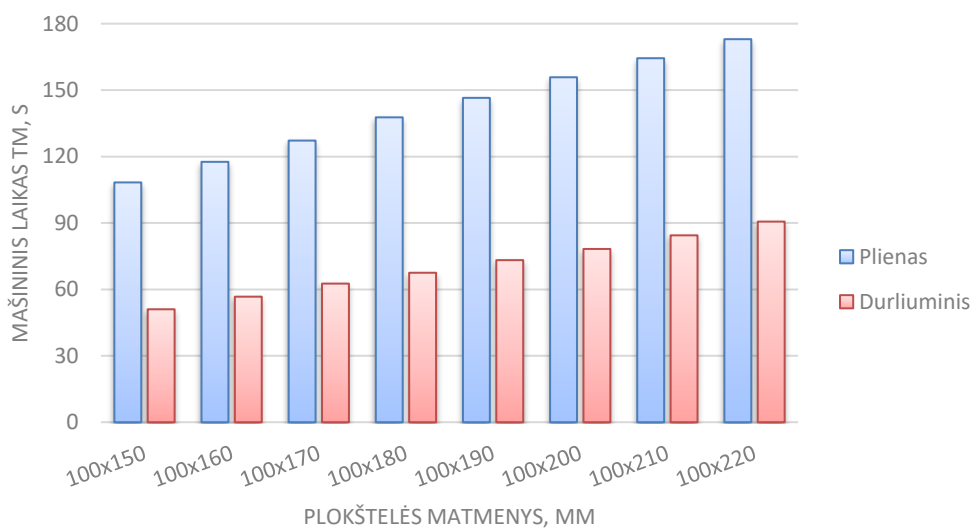
3.2 pav. Ø16mm frezos su HSS plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies

Apdirbant stačiakampę plokštelę su Ø16mm freza VHM plokštelėmis (3.1 pav.) matome jog visais atvejais duraliuminį apdirbsime greičiau nei plieną dėl didesnių pjovimo režimų. Duraliuminės stačiakampės plokštelės paviršių nufrezuosime apie 3 kartus greičiau nei plieninės. Apdirbimo trukmė, tarp mažiausio ir didžiausio apdirbamo paviršiaus, plieno padidėja apie 1,5 kartus, o duraliuminės 1,8, nors pats plokštelės ilgis pakito 1,5.

Apdirbant stačiakampę plokštelę su  $\varnothing 16\text{mm}$  freza su HSS plokštelėmis (3.2 pav.) matyti, kad aliuminį apdirbsime greičiau. Duraliuminės stačiakampės plokštelės paviršių nufrezuosime apie 2 kartus greičiau nei plieninės. Plieno ir duraliuminio apdirbimo trukmė, tarp mažiausio ir didžiausio apdirbamo paviršiaus, padidėja apie 1,6 kartus. Mašininis laikas kinta tiesiškai.



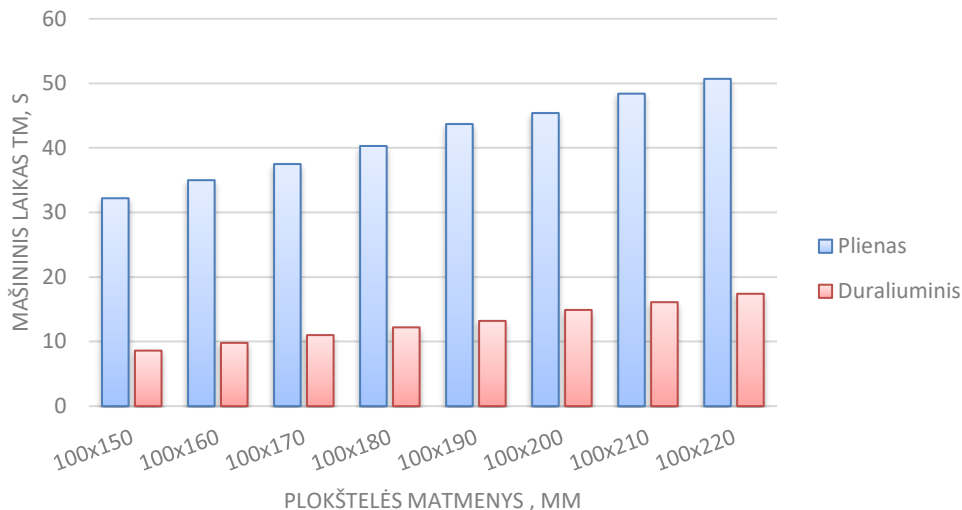
3.3 pav.  $\varnothing 18\text{mm}$  frezos su VHM plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies



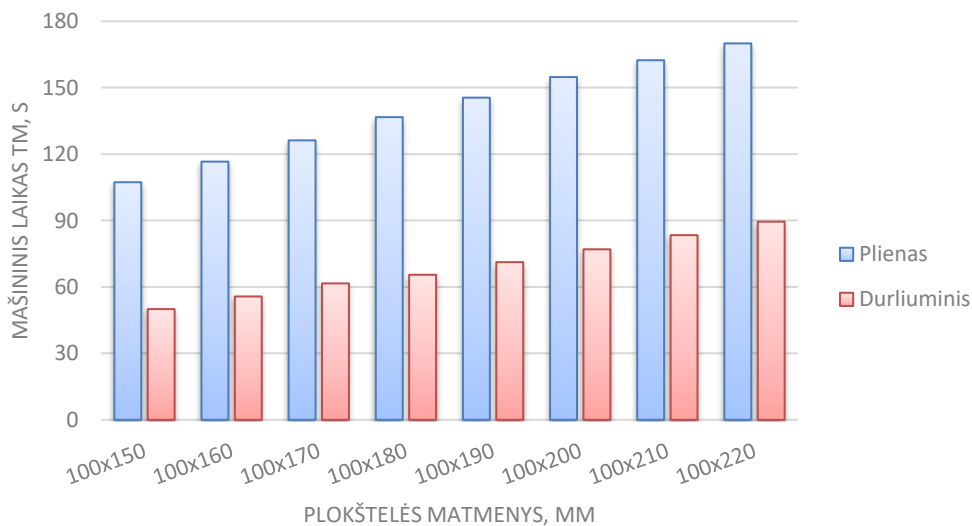
3.4 pav.  $\varnothing 18\text{mm}$  frezos su HSS plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies

Apdirbant stačiakampę plokštelę su  $\varnothing 18\text{mm}$  freza VHM plokštelėmis (3.3 pav.) bet kokiu atveju matome kad aliuminį apdirbsime greičiau nei plieną. Apdirbimo laiko skirtumai tarp didžiausios ir mažiausios plokštelės: plieno 1,6 karto, duraliuminio 2 kartai. Mažiausia aliuminio plokštelę nufrezuosime 3,7 kartų greičiau nei plieno, o didžiausia 2,9 kartų.

Apdirbant stačiakampę plokštelę su  $\varnothing 18\text{mm}$  freza su HSS plokštelėmis (3.4 pav.) mažiausia duraliuminio plokštelę nufrezuosime 2 kartų greičiau nei plieno, o didžiausia 1,9 kartų. Plieno ir duraliuminio apdirbimo trukmė, tarp mažiausio ir didžiausio apdirbamo paviršiaus, padidėja apie 1,6 kartus, duraliuminio 1,8.



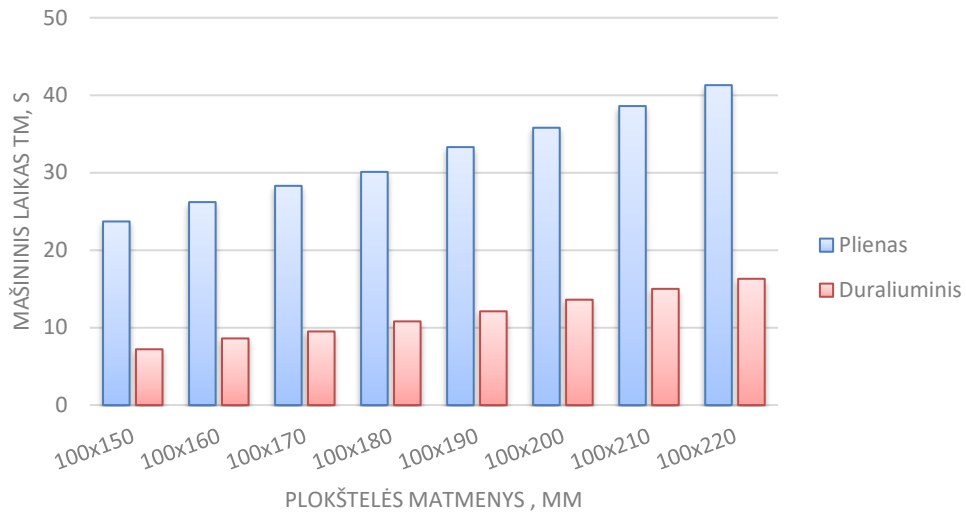
3.5 pav.  $\varnothing 20\text{mm}$  frezos su VHM plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies



3.6 pav.  $\varnothing 20\text{mm}$  frezos su HSS plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies

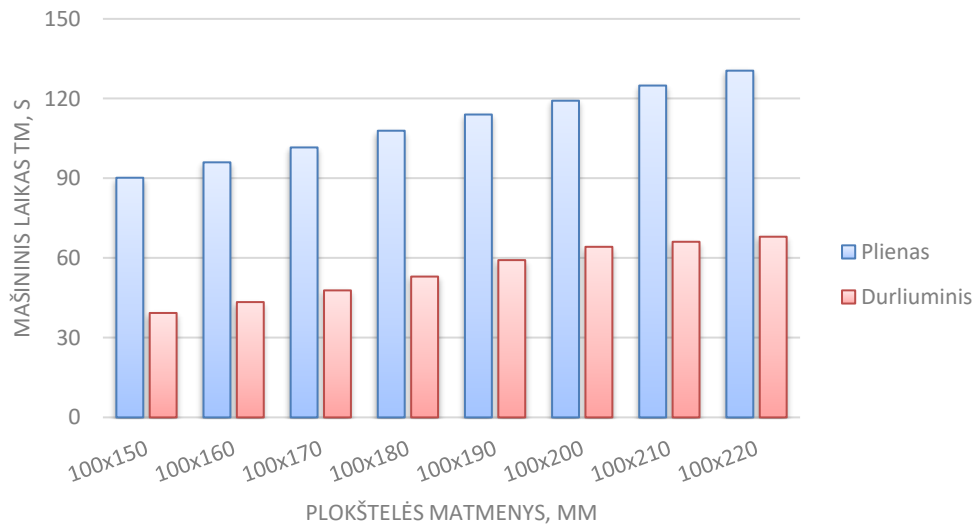
Apdirbant stačiakampę plokštelę su  $\varnothing 20\text{mm}$  freza su VHM ir HSS plokštelėmis (3.5-3.6 pav.) beveik nėra skirtumo nuo  $\varnothing 18\text{mm}$  frezos su VHM ir HSS plokštelėmis, galime daryti prielaidą -nepasikeitė praėjimų skaičius „i“ (3.4 pav.), todėl laiko sąnaudos beveik nesumažėjo.





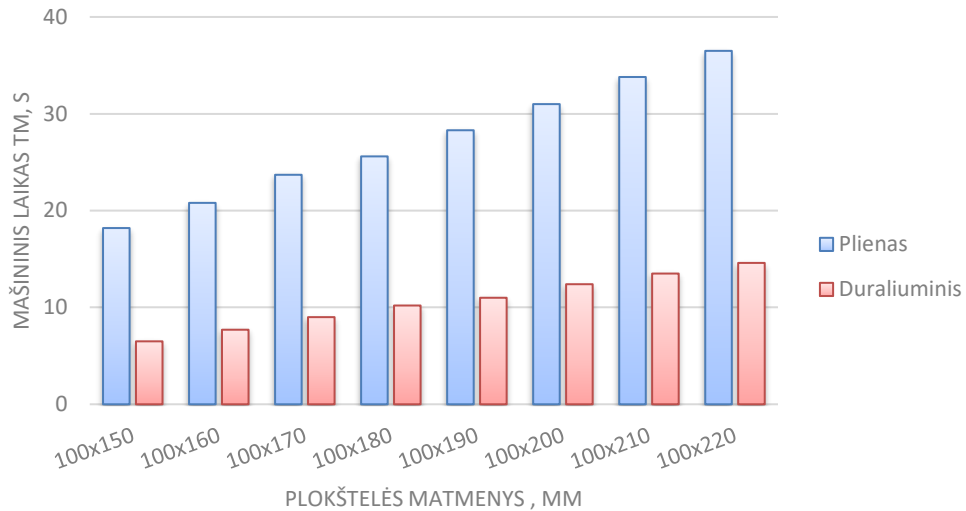
3.7 pav. Ø25mm frezos su VHM plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies

Apdirbant stačiakampę plokštelę su Ø25mm freza VHM plokštelėmis (3.7 pav.) apdirbimo laiko skirtumai tarp didžiausios ir mažiausios plokštelės: plieno 1,8 kartų; duraliuminio 2,3 kartai. Mažiausia duraliuminio plokštelę nufrezuosime 3,3 kartų greičiau nei plieno, o didžiausia 2,5 kartų.

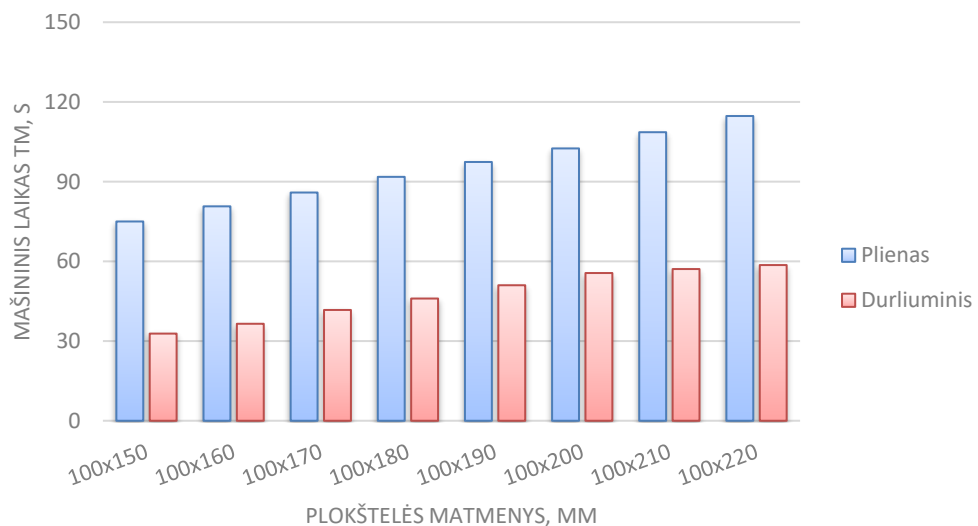


3.8 pav. Ø25mm frezos su HSS plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies

Apdirbant stačiakampę plokštelę su Ø25mm freza su HSS plokštelėmis (3.8 pav.) mažiausia duraliuminio plokštelę nufrezuosime 2,3 kartų greičiau nei plieno, o didžiausia 1,9 kartų. Plieno apdirbimo trukmė, tarp mažiausio ir didžiausio apdirbamo paviršiaus, padidėja apie 1,5 karto, duraliuminio 1,7.



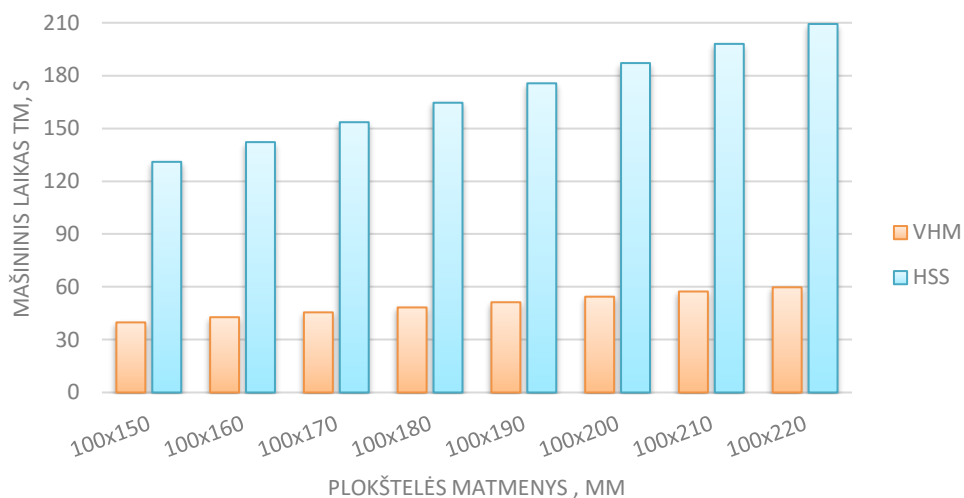
3.9 pav. Ø32mm frezos su VHM plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies



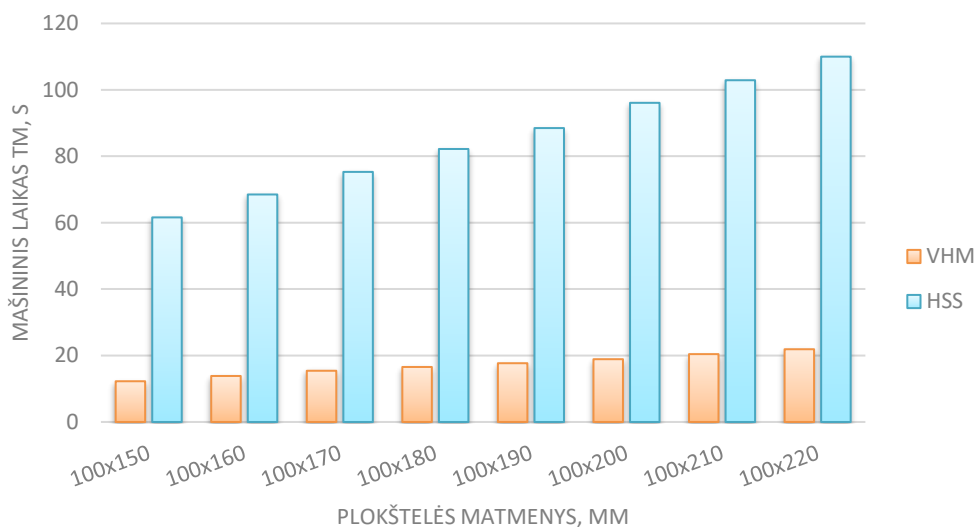
3.10 pav. Ø32mm frezos su HSS plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies

Iš 3.9-3.10 paveikslų matyti, kad stačiakampės plokštelės apdirbimo mašininis laikas trumpiausias dirbant su VHM pjaunančios dalies galinėmis frezomis. Apdirbant plienines stačiakampes plokšteles su Ø32mm freza VHM plokštelėmis mašininis laikas svyruoja nuo 18 sekundžių mažiausiai plokštelei iki 37 sekundžių didžiausiai. Atitinkamai Ø32mm freza su HSS plokštelėmis laikas svyruoja nuo 75 iki 115 sekundžių. Taigi skirtumas svyruoja 3 – 4 kartus. Duraliuminio atveju šis skirtumas svyruoja tarp 4 – 5 kartų.

### 3.2. Apdirbimo laiko priklausomybė nuo įrankio medžiagos, keičiant ruošinio ilgį

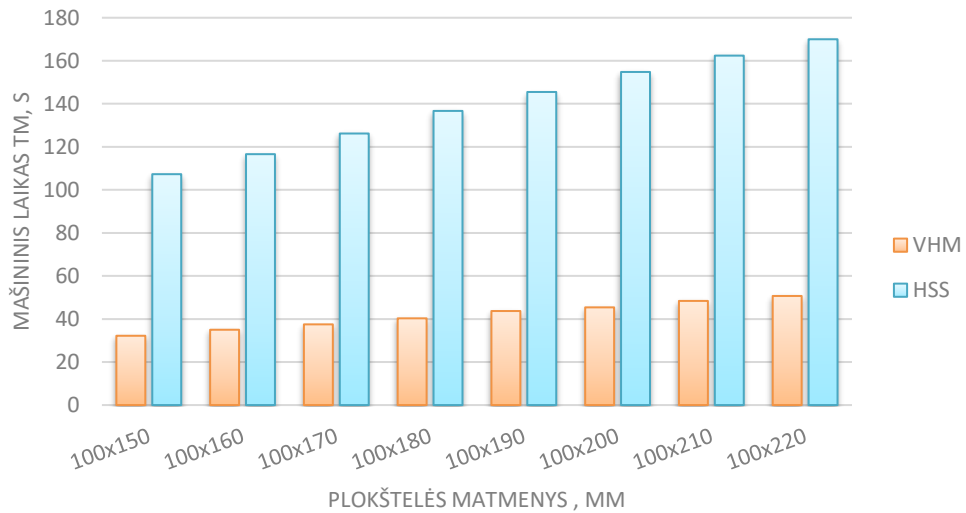


3.11 pav. Ø16mm frezos mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo įrankio pjaunančios dalies medžiagos, apdirbant plieną

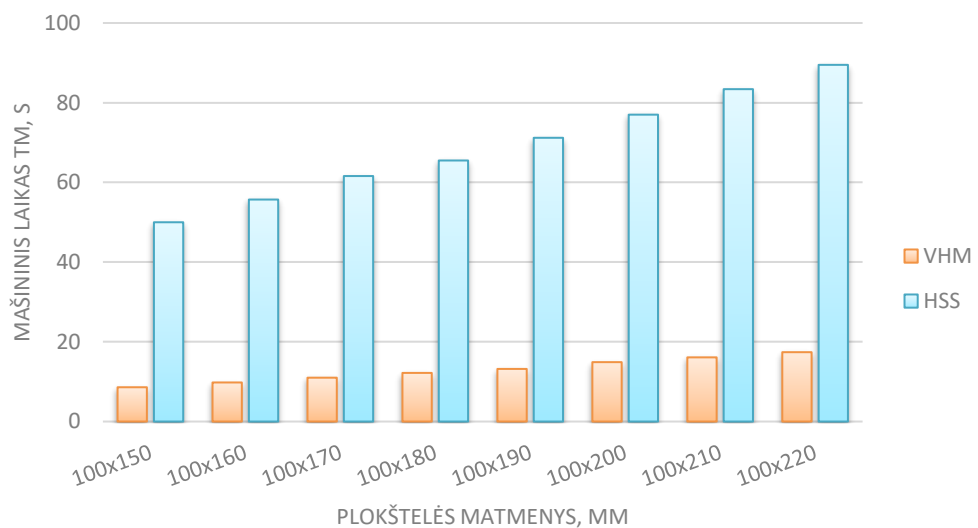


3.12 pav. Ø16mm frezos mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo įrankio pjaunančios dalies medžiagos, apdirbant duraliuminį

Apdirbdami plokštelę su Ø16mm frezomis iš grafiko (3.11 pav. ir 3.12 pav.) matome, jog nepriklausomai nuo apdirbamos plokštelės gabaritų visais atvejais su VHM darbine dalimi Ø16mm freza plokščius paviršius apdirbsime greičiau nei su HSS darbinės dalies Ø16mm freza. Apdirbant plieną mašininis laikas trumpesnis apie 3,5 kartus, o apdirbant duraliuminį apie 5 kartų.

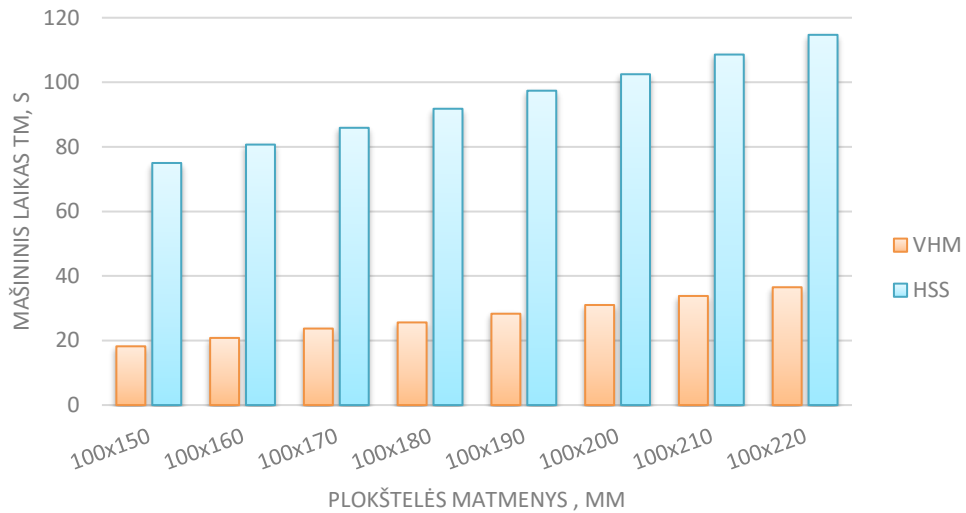


3.13 pav. Ø20mm frezos mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo įrankio pjaunančios dalies medžiagos, apdirbant plieną

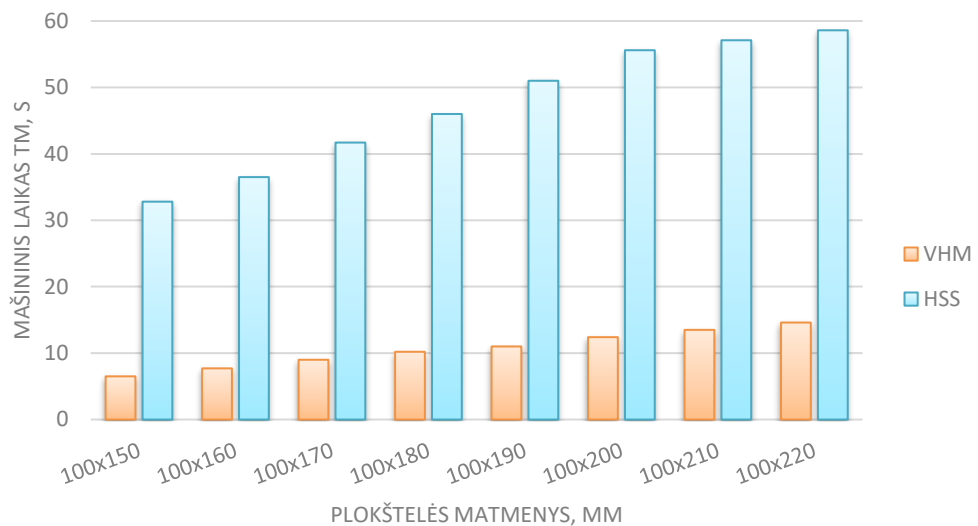


3.14 pav. Ø20mm frezos mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo įrankio pjaunančios dalies medžiagos, apdirbant duraliuminį

Apdirbant plokštelę Ø20mm frezomis iš grafiko (3.13 pav. ir 3.14 pav.) matyti, kad nepriklausomai nuo apdirbamos plokštelės gabaritų visais atvejais VHM darbinės dalies įrankis yra našesnis. Apdirbant plieną su VHM plokštelėmis Ø20mm galine freza mašininis laikas trumpesnis apie 3 kartus nei HSS, o duraliuminį apie 5 kartus.



3.15 pav. Ø32mm frezos mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo įrankio pjaunančios dalies medžiagos, apdirbant plieną

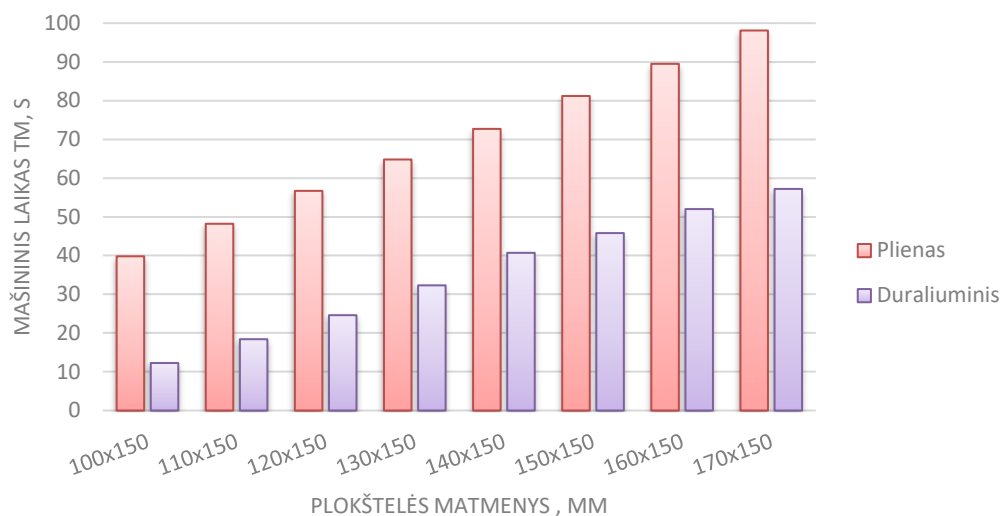


3.16 pav. Ø32mm frezos mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo įrankio pjaunančios dalies medžiagos, apdirbant duraliuminį

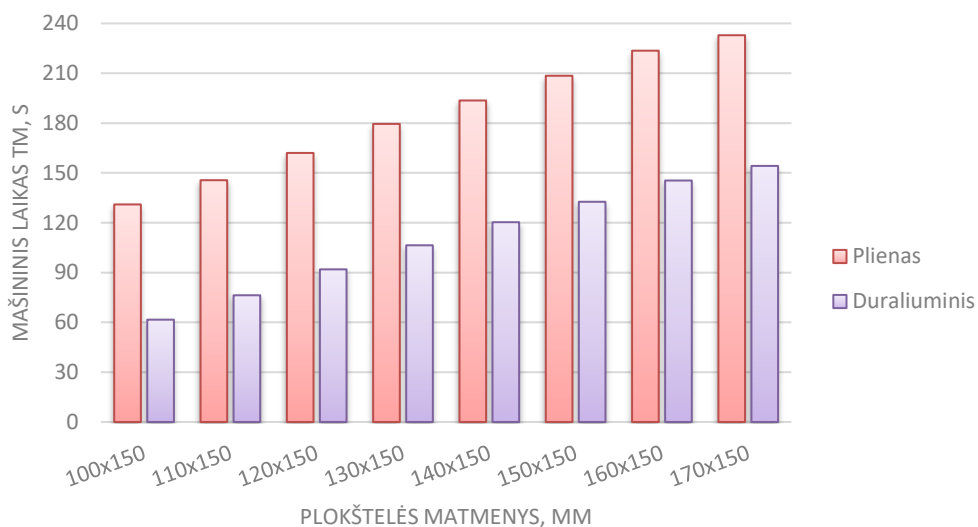
Apdirbdami plokštelę su Ø32mm frezomis iš grafiko (3.15 pav. ir 3.16 pav.) matyti, kad kaip ir ankščiau nagrinėtais atvejais, nepriklausomai nuo apdirbamos plokštelės gabaritų visais atvejais VHM darbinės dalies įrankis yra našesnis. Apdirbant plieną VHM darbine dalimi mašininis laikas trumpesnis apie 3 – 4 kartus nei HSS, o duraliuminį išauga iki 5 kartų.

To paties gabarito plieno plokštelę, naudojant galine freza su VHM plokštelėmis apdirbsime 3 – 4 kartus greičiau nei naudodami HSS plokšteles, duraliuminį – 5 kartus.

### 3.3. Apdirbimo laiko priklausomybė nuo apdirbamos medžiagos, keičiant ruošinio plotį



3.17 pav. Ø16mm frezos su VHM plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies

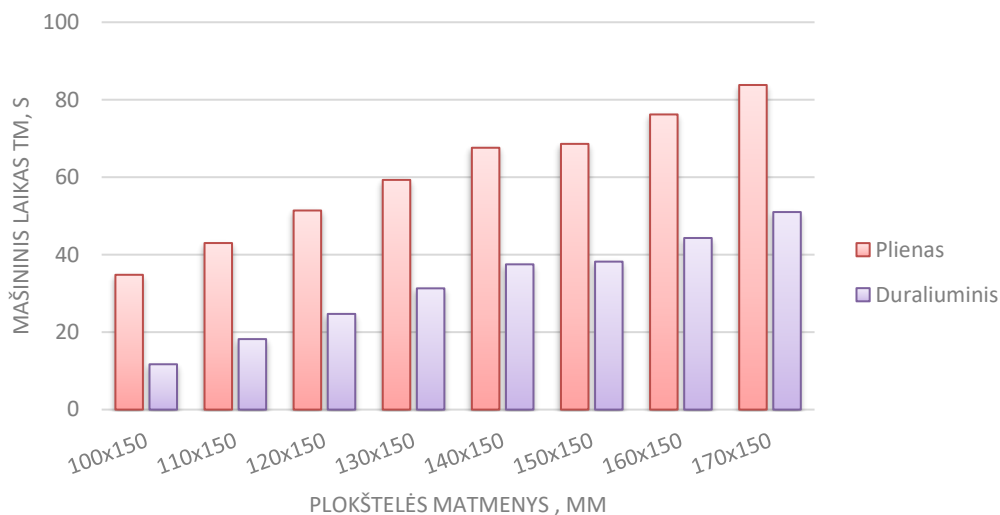


3.18 pav. Ø16mm frezos su HSS plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies

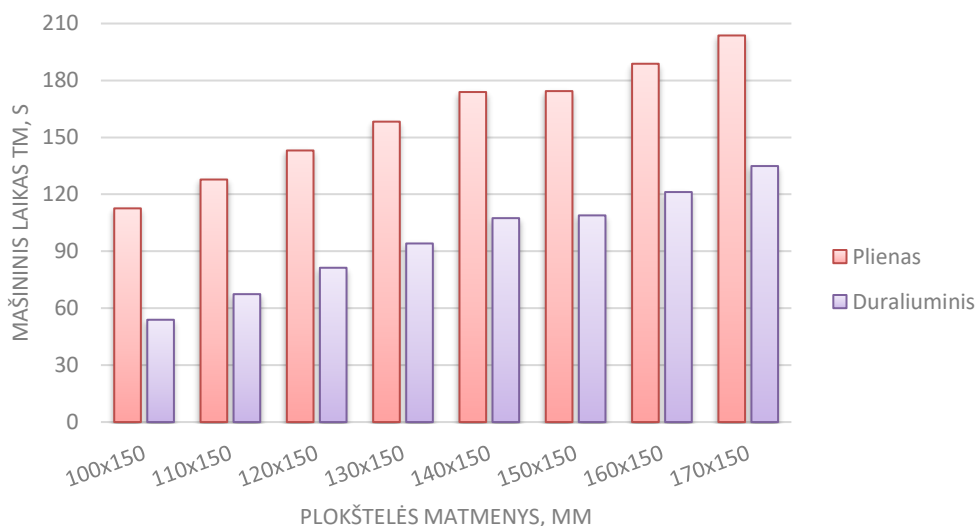
Apdirbant stačiakampę plokštelę su Ø16mm freza VHM plokštelėmis (3.17 pav.) dėl didesnių pjovimo režimų visais atvejais duraliuminį apdirbsime greičiau nei plieną. Duraliuminės stačiakampės plokštelės paviršių nufrezuosime apie 1,5 – 3,3 kartus greičiau nei plieninės. Apdirbimo trukmė, tarp mažiausio ir didžiausio apdirbamo paviršiaus, plieno padidėja apie 2,5 kartus, o duraliuminės 4,7, nors pats plokštelės plotis pakito 1,7. Didžiausią laiko dalį užima galinės frezos

praėjimų skaičius. Frezuojant Ø16mm freza praėjimų skaičius kinta (9...16) kiekvieną kartą keičiant plokštelės plotį (100...170mm).

Apdirbant stačiakampę plokštelę su Ø16mm freza HSS plokštelėmis (3.18 pav.) taip pat matome kad duraliuminį apdirbsime greičiau nei plieną. Apdirbimo laiko skirtumai tarp didžiausios ir mažiausios plokštelės: plieno 1,8 karto; duraliuminio 2,5 kartai. Mažiausia aliuminio plokštelę nufrezuosime 2,1 kartų greičiau nei plieno, o didžiausia 1,5 kartų.



3.19 pav. Ø18mm frezos su VHM plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies

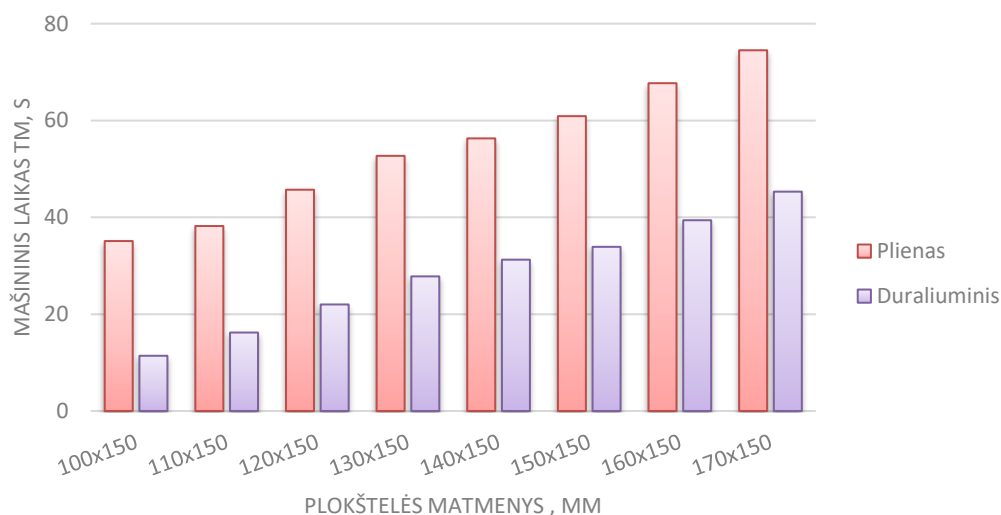


3.20 pav. Ø18mm frezos su HSS plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies

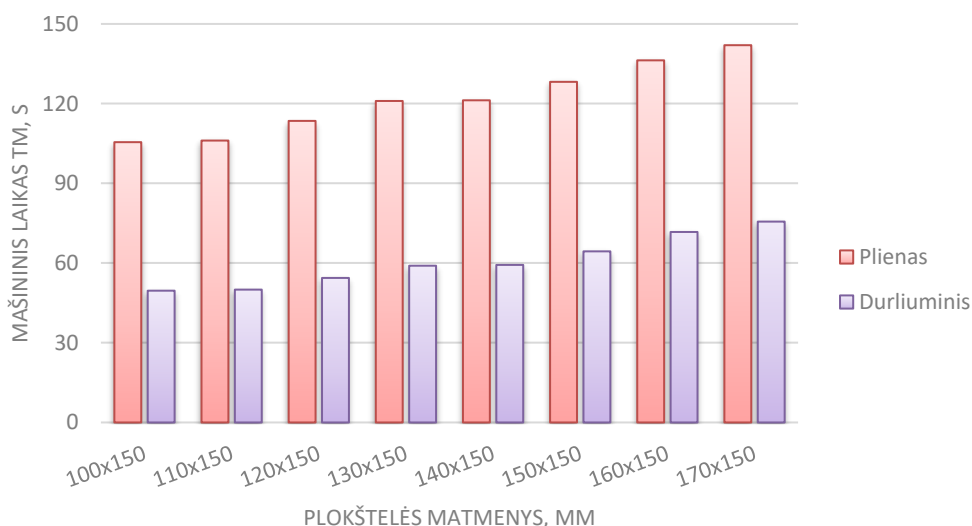
Apdirbant stačiakampę plokštelę su Ø18mm freza VHM plokštelėmis (3.19 pav.) aliuminis apdirbamas greičiausiai. 140x150 ir 150x150 plokštelių apdirbimo laikai yra beveik tolygūs, nors

plokštelės plotis pasikeitė, bet praėjimų skaičius liko vienodas abiem variantams, 150x150 laiko sąnaudos paaugo dėl didesnio frezuojamo tūrio. Apdirbimo laiko skirtumai tarp didžiausios ir mažiausios plokštelės: plieno 2,4 karto; duraliuminio 4,4 kartai. Mažiausia aliuminio plokštelę nufrezuosime 3 kartų greičiau nei plieno, o didžiausia 1,6 kartų.

Apdirbant stačiakampę plokštelę su Ø18mm freza su HSS plokštelėmis (3.4 pav.) mažiausia duraliuminio plokštelę nufrezuosime 2 kartų greičiau nei plieno, o didžiausia 1,5 kartų. Plieno apdirbimo trukmė, tarp mažiausio ir didžiausio apdirbamo paviršiaus, padidėja apie 1,8 kartus, duraliuminio 2,5.



3.21 pav. Ø20mm frezos su VHM plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies

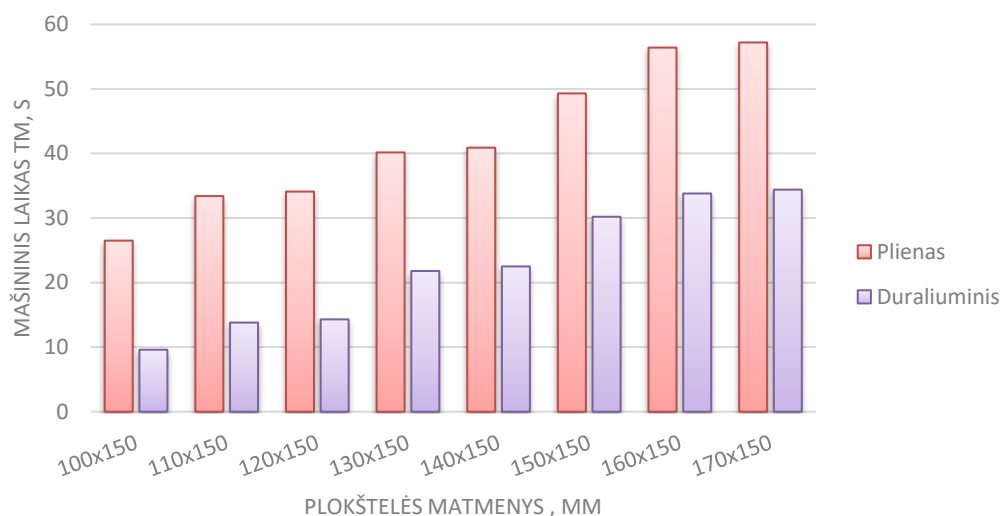


3.22 pav. Ø20mm frezos su HSS plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies

Apdirbant stačiakampę plokštelę su Ø20mm freza su VHM ir HSS plokštelėmis (3.21-3.22 pav.) mažiausios plokštelės apdirbimo laikas tolygus kaip apdirbant Ø18mm freza su VHM ir HSS

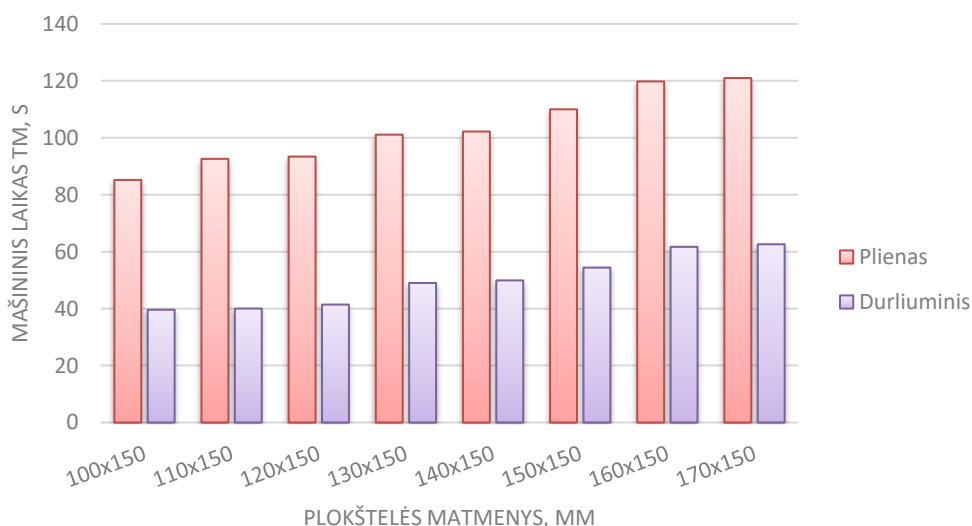


plokštelėmis. Mašinis laikas beveik nesiskiria apdirbant 130x150 ir 140x150, šių plokštelių apdirbimo praėjimų skaičius sutampa, 140x150 plokštelės padidėjo išmetamas tūris.



3.23 pav. Ø25mm frezos su VHM plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies

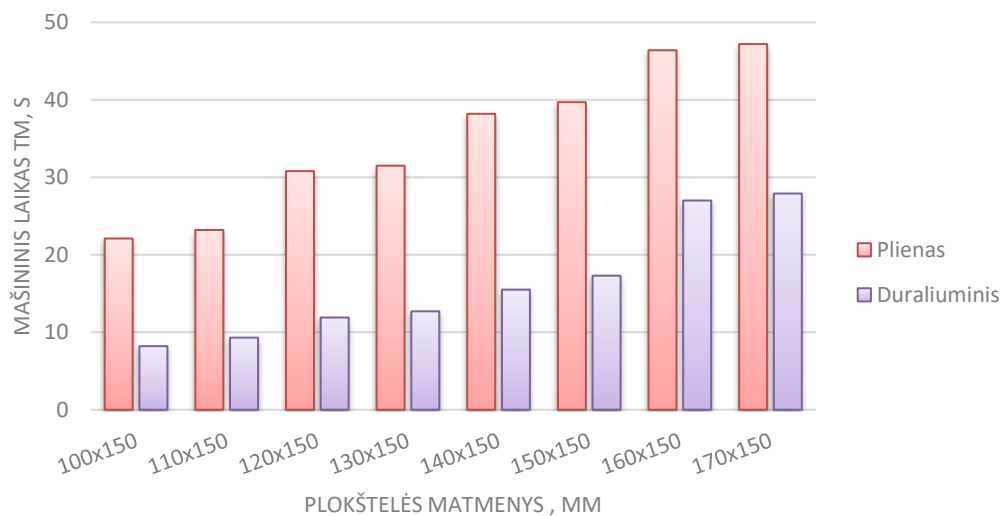
Apdirbant stačiakampę plokštelę su Ø25mm freza VHM plokštelėmis (3.23 pav.) apdirbimo laiko skirtumai tarp didžiausios ir mažiausios plokštelės: plieno 2,2 kartų; duraliuminio 3,6 kartai. Mažiausia duraliuminio plokštelę nufrezuosime 2,8 kartų greičiau nei plieno, o didžiausia 1,6 kartų.



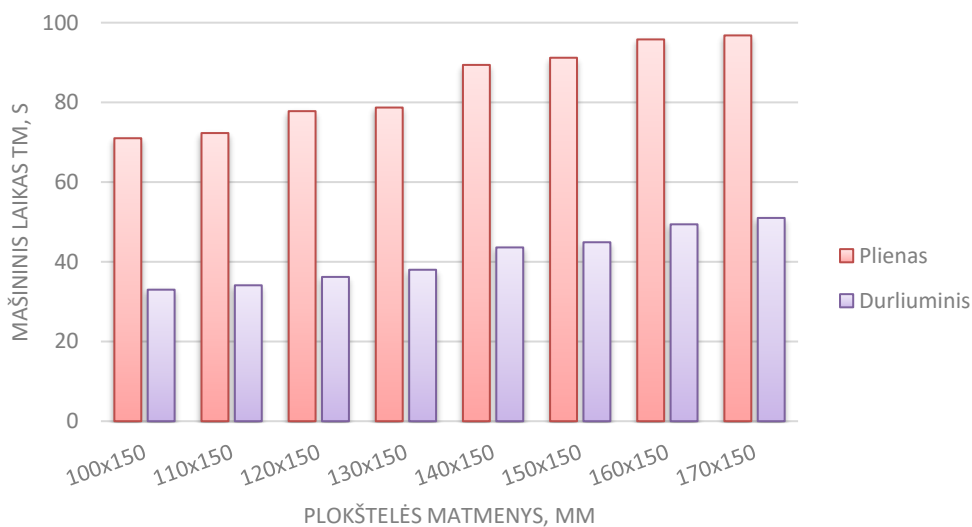
3.24 pav. Ø25mm frezos su HSS plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies

Apdirbant stačiakampę plokštelę su Ø25mm freza su HSS plokštelėmis (3.24 pav.) mažiausia duraliuminio plokštelę nufrezuosime 2,2 kartų greičiau nei plieno, o didžiausia 1,9 kartų.

Plieno apdirbimo trukmė, tarp mažiausio ir didžiausio apdirbamo paviršiaus, padidėja apie 1,4 karto, duraliuminio 1,6.



3.25 pav. Ø32mm frezos su VHM plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies



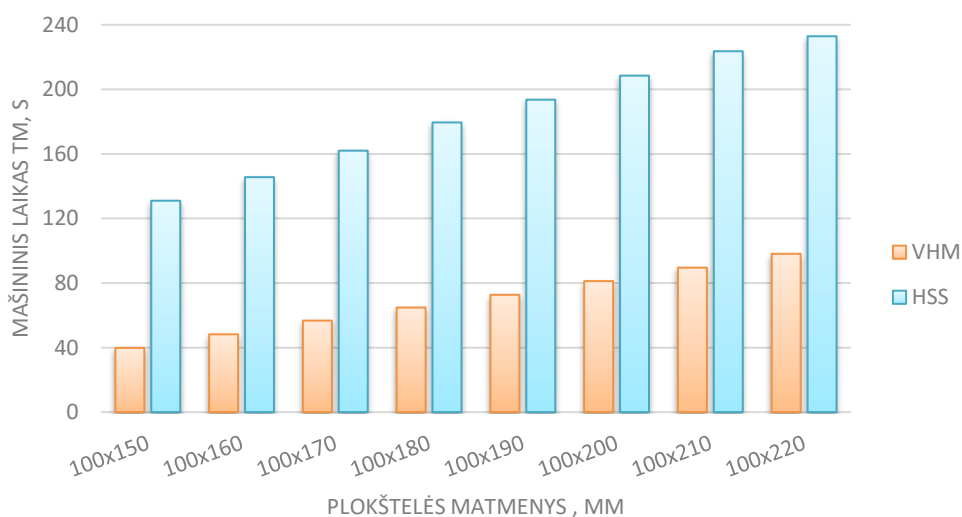
3.26 pav. Ø32mm frezos su HSS plokštelėmis mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo metalo rūšies

Iš 3.25-3.26 paveikslų matyti, kad stačiakampės plokštelės mašininį laiką susigrupavimas tiek apdirbant su VHM, tiek HSS. Didėjant įrankiui, mažesnę įtaką apdirbimo laikui turi ruošinio gabaritai. 3.25-3.26 paveiksluose 100mm ir 110mm, 120mm ir 130mm, 140mm ir 150mm, 160mm ir 170mm matmenys apsidirba tolygiai, dėl vienodų praėjimų skaičiaus, nedideli laiko skirtumai jaučiami tik dėl padidėjusio frezuojamo tūrio. Trumpiausias apdirbimo laikas dirbant su VHM

pjaunančios dalies galinėmis frezomis. Apdirbant plienines stačiakampes plokšteles su Ø32mm freza VHM plokštelėmis mašininis laikas svyruoja nuo 22 sekundžių mažiausiai plokštelei iki 47 sekundžių didžiausiai. Atitinkamai Ø32mm freza su HSS plokštelėmis laikas svyruoja nuo 71 iki 97 sekundžių. Taigi skirtumas svyruoja 1,5 – 2 kartus. Duraliuminio atveju šis skirtumas svyruoja tarp 1,5 – 3,5 kartų.

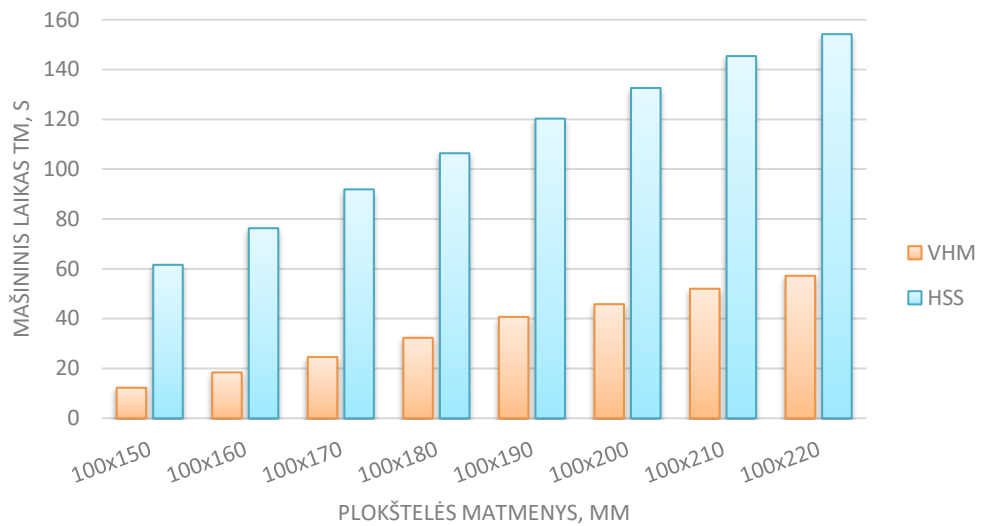
Išanalizavus mašininio laiko priklausomybės nuo apdirbamos medžiagos grafikus (3.1 pav. – 3.10 pav. ir 3.17 pav. – 3.26 pav. ), galime teikti kad visais atvejais duraliuminį apdirbsime greičiau nei plieną, nepriklausomai nuo frezos pjaunančios dalies medžiagos. Tai įvyksta dėl galimybės aliuminį apdirbti didesniais pjovimo režimais. Didėjant frezos skersmeniui mašininis laikas mažėja.

### 3.4. Apdirbimo laiko priklausomybė nuo įrankio medžiagos, keičiant ruošinio plotį

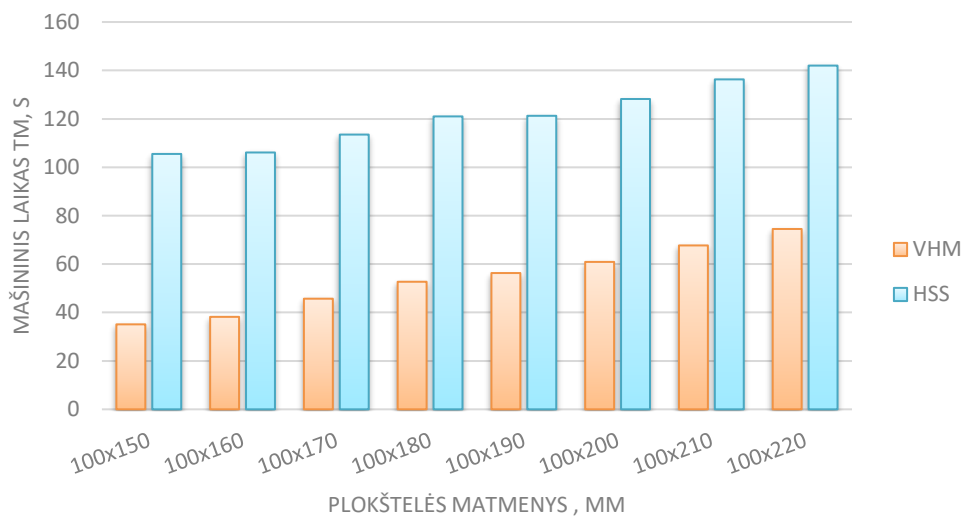


3.27 pav. Ø16mm frezos mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo įrankio pjaunančios dalies medžiagos, apdirbant plieną

Apdirbdami plokštelę su Ø16mm frezomis iš grafiko (3.27 pav. ir 3.28 pav.) matome, jog nepriklausomai nuo apdirbamos plokštelės gabaritų visais atvejais su VHM darbine dalimi Ø16mm freza plokščius paviršius apdirbsime greičiau nei su HSS darbinės dalies Ø16mm freza. Apdirbant plieną mašininis laikas trumpesnis apie 2,5 kartus, o apdirbant duraliuminį taip pat apie 2,5 kartų.

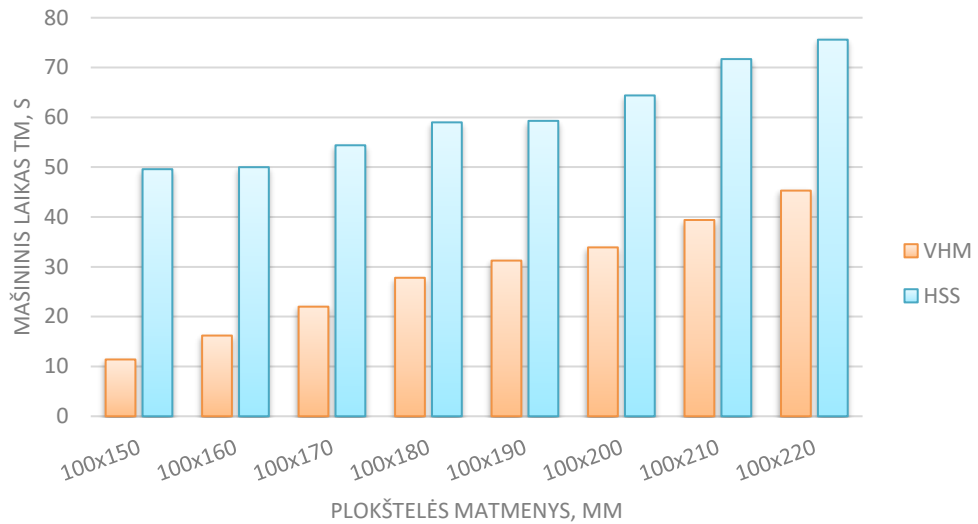


3.28 pav. Ø16mm frezos mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo įrankio pjaunančios dalies medžiagos, apdirbant duraliuminį

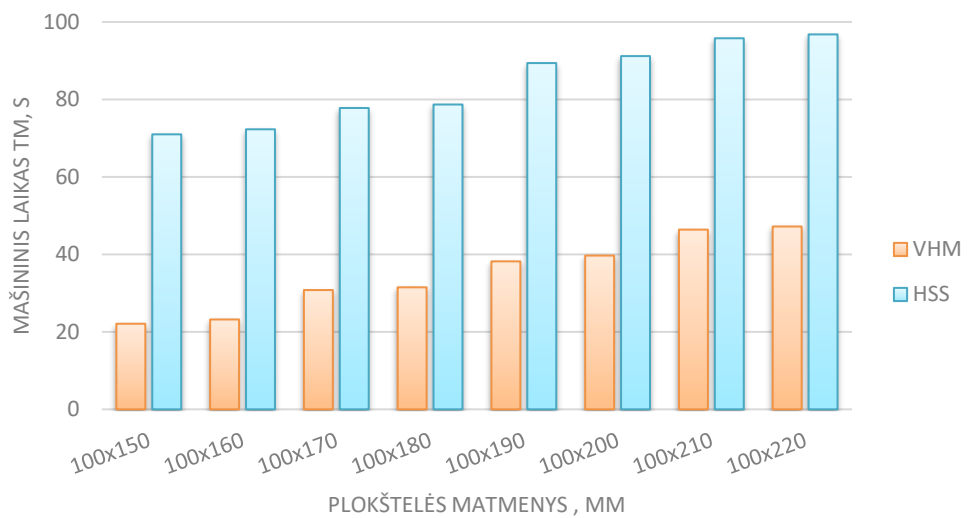


3.29 pav. Ø20mm frezos mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo įrankio pjaunančios dalies medžiagos, apdirbant plieną

Apdirbant plokštelę Ø20mm frezomis iš grafiko (3.29 pav. ir 3.30 pav.) matyti, kad nepriklausomai nuo apdirbamos plokštelės gabaritų visais atvejais VHM įrankis yra našesnis. Apdirbant plieną su VHM plokštelėmis galine freza mašininis laikas trumpesnis apie 2 kartus nei HSS, o duraliuminį apie 2 - 4 kartą.

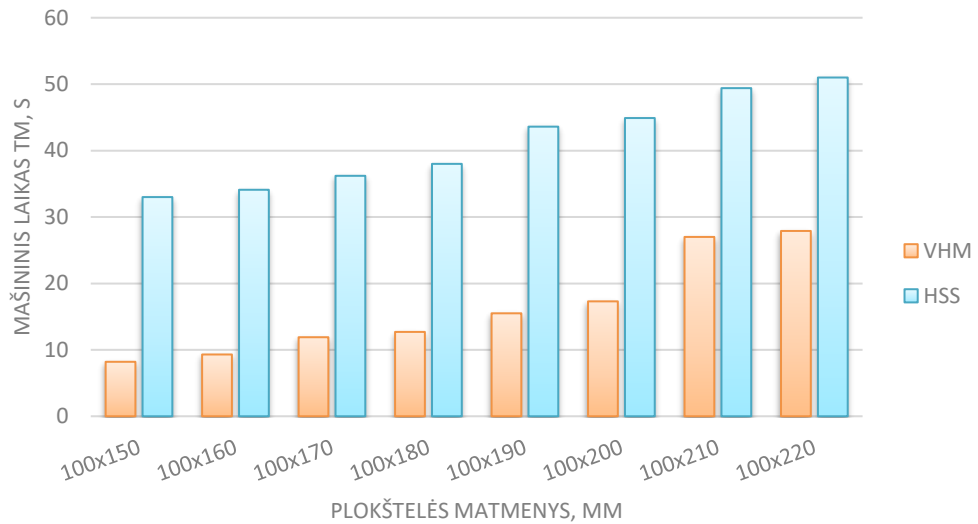


3.30 pav. Ø20mm frezos mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo įrankio pjaunančios dalies medžiagos, apdirbant duraliuminį



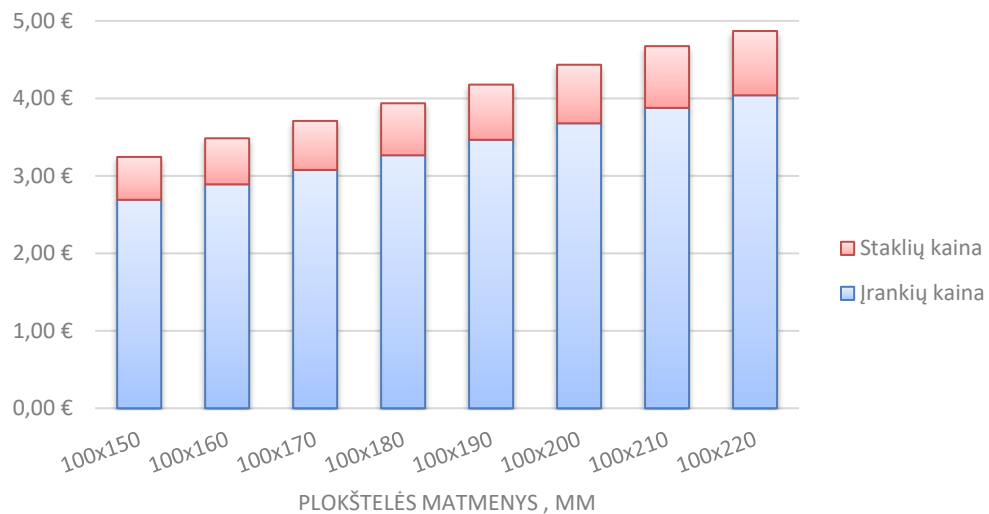
3.31 pav. Ø32mm frezos mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo įrankio pjaunančios dalies medžiagos, apdirbant plieną

Apdirbdami plokštelę Ø32mm frezomis iš grafiko (3.31 pav. ir 3.32 pav.) matyti, kad kaip ir ankščiau nagrinėtais atvejais, nepriklausomai nuo apdirbamos plokštelės gabaritų visais atvejais VHM įrankis yra našesnis. Apdirbant plieną VHM freza mašininis laikas trumpesnis apie 2 – 3 kartus nei HSS, o duraliuminiui 2 – 4 kartus.



3.32 pav. Ø32mm frezos mašininio laiko  $T_m$  priklausomybės nuo įrankio pjaunančios dalies medžiagos, apdirbant duraliuminį

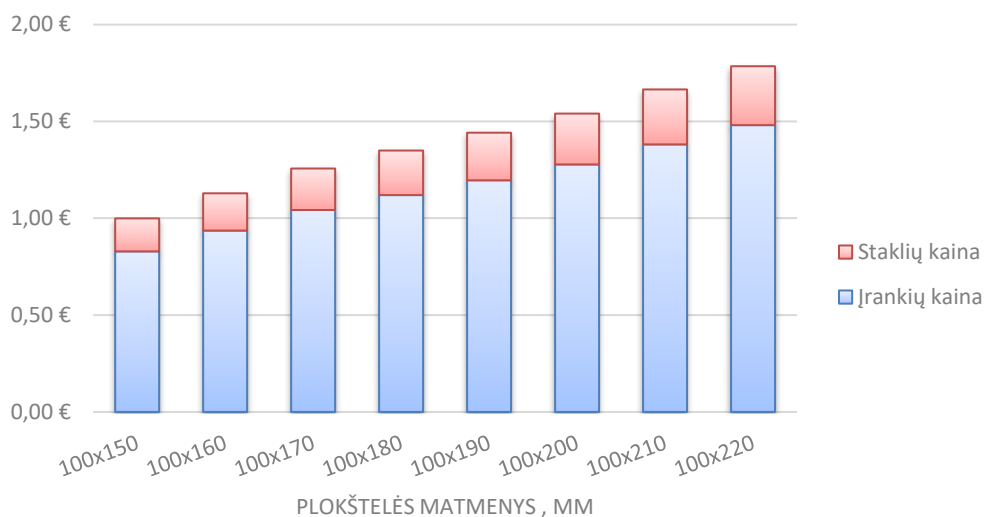
### 3.5. Apdirbimo savikainos priklausomybė keičiant ruošinio ilgį



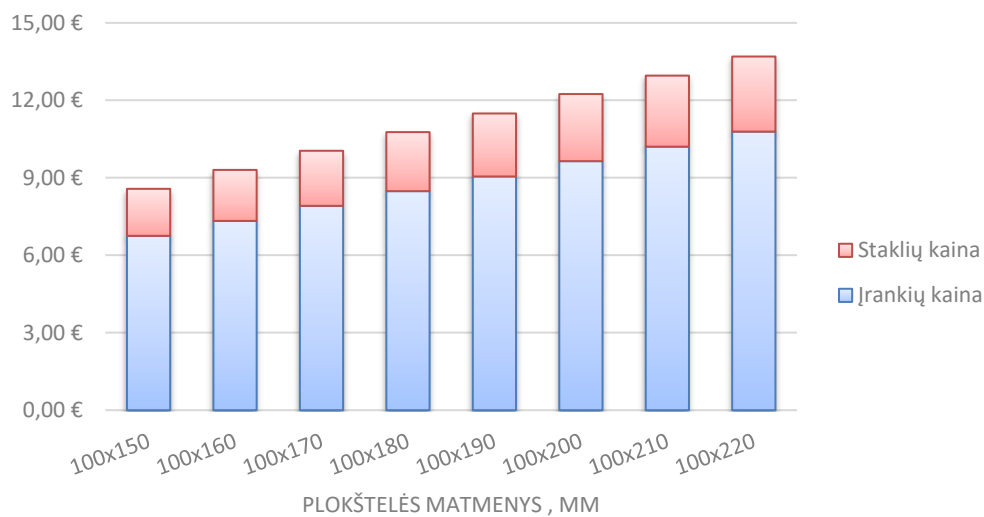
3.33 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø16mm frezos su VHM plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant plieną

Gaminio savikaina sudaryta iš dviejų pagrindinių dalių: staklinė kaina ir naudojamo įrankio kaina. Kaip matyti 3.33 paveiksle apdirbant stačiakampę plieninę plokštelę Ø16mm galine freza su VHM keičiamomis plokštelėmis, staklinė kaina kinta nuo 0,6 € (plokštelės ilgis 150 mm) iki 0,8 € (plokštelės ilgis 220 mm). Atitinkamai kinta įrankio kaina nuo 2,7 € iki 4 €. Bendra plokštelės apdirbimo savikaina svyruoja nuo 3,2 € iki 4,9 €.

Gaminio savikaina apdirbant tas pačias plokšteles su HSS keičiamomis plokštelėmis Ø16mm galine (3.35 pav.), lyginant su VHM keičiamomis plokštelėmis (3.33 pav.) padidėja apie 3 kartus.

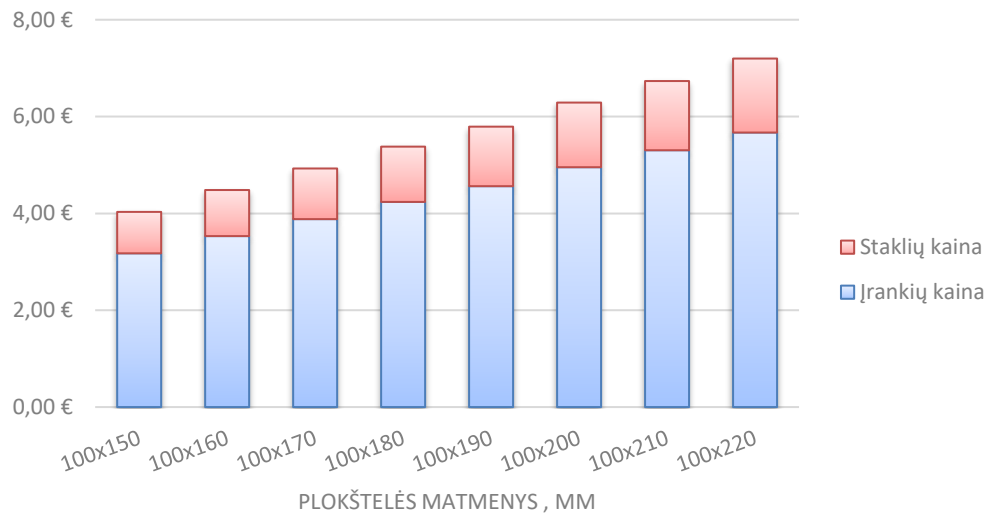


3.34 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø16mm frezos su VHM plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį

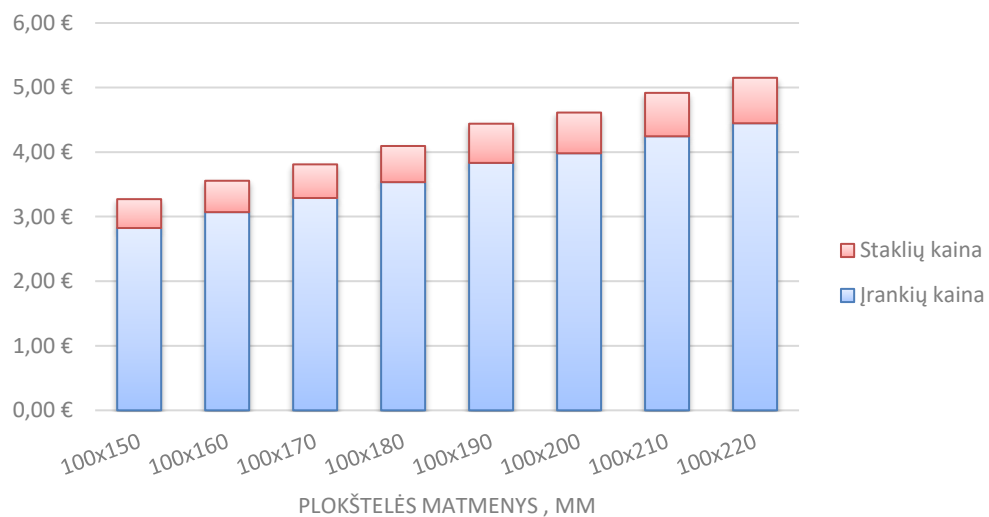


3.35 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø16mm frezos su HSS plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant plieną

Apdirbant duraliuminį naudojant tokias pat frezas (3.34 pav. ir 3.36 pav.) kaip ir ankščiau aptartame variante dedamųjų santykis yra 4. Tačiau bendra savikaina apdirbant HSS frezomis sumažėja apie 2 kartus, o VHM frezomis – apie 3 kartus.



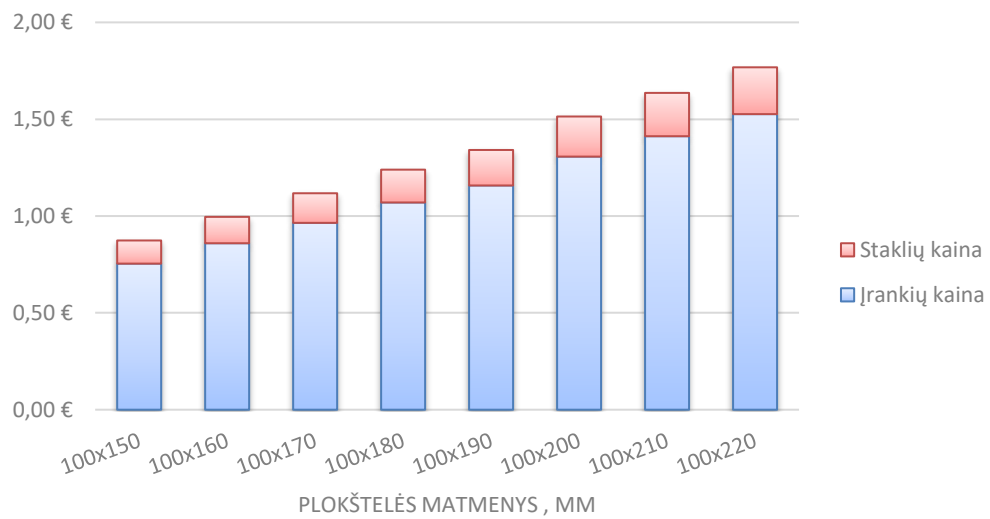
3.36 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø16mm frezos su HSS plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį



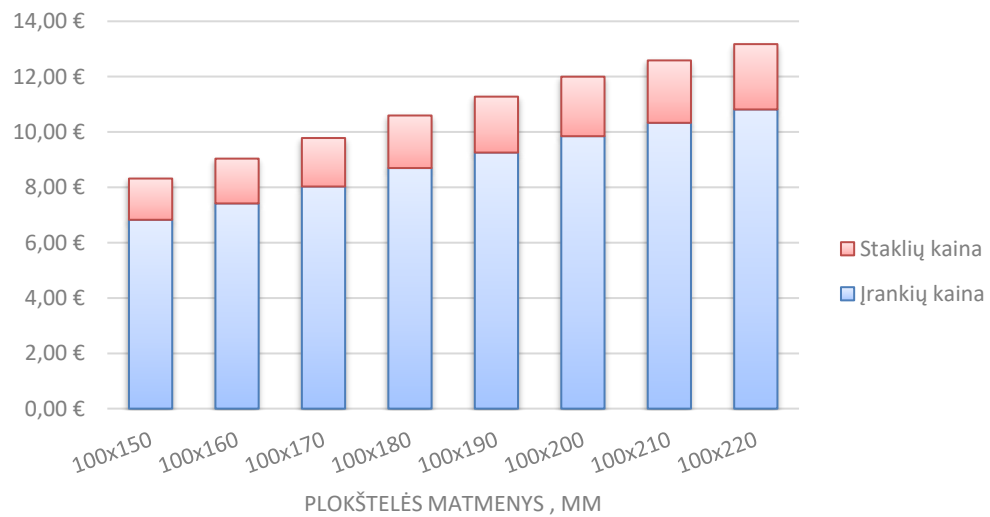
3.37 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø20mm frezos su VHM plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant plieną

3.37 - 3.40 paveiksluose galima pastebėti, kad apdirbant stačiakampes plokšteles savikainos didžiąją dalį sudaro įrankio kaina. Taip pat kaip ir prieš tai nagrinėtuose variantuose, pigiausiai stačiakampes plokštelės apdirbamos jeigu jos yra aliuminyje ir gamyba vyksta su VHM frezomis. Su Ø20mm galine freza su VHM keičiamomis plokštelėmis (3.37 pav.) plienas apdirbamas iki 3 kartų pigiau nei HSS plokštelėmis (3.39 pav.). Ta pati situacija ir apdirbant aliuminį (3.38 - 3.40 pav.).

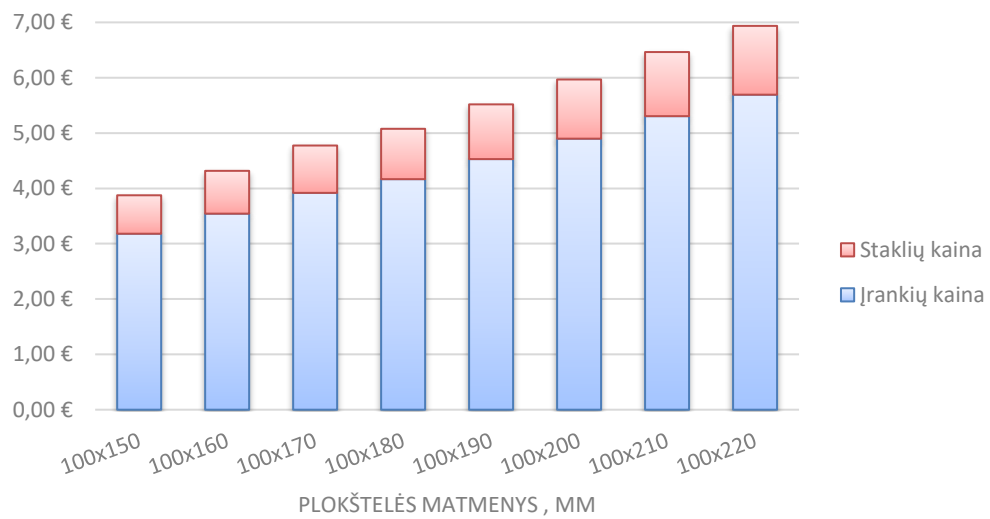




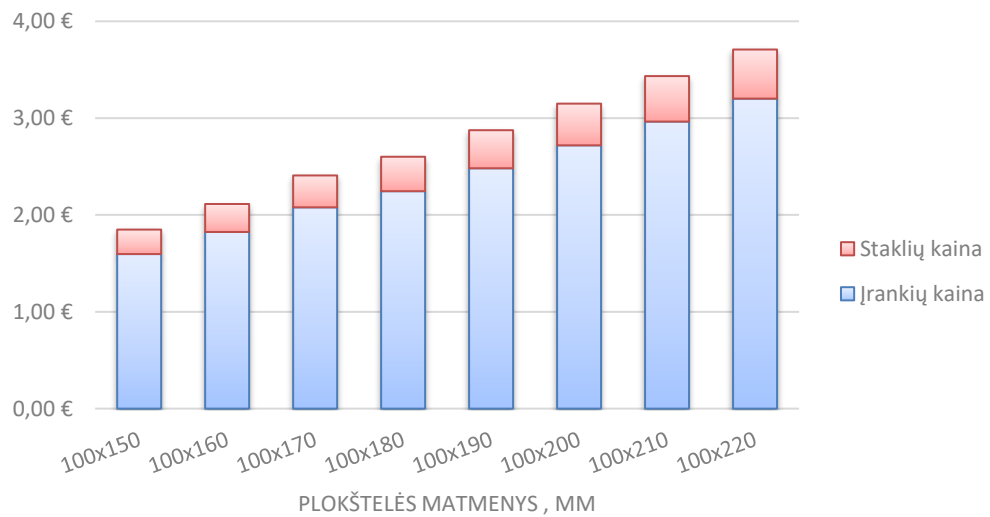
3.38 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø20mm frezos su VHM plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį



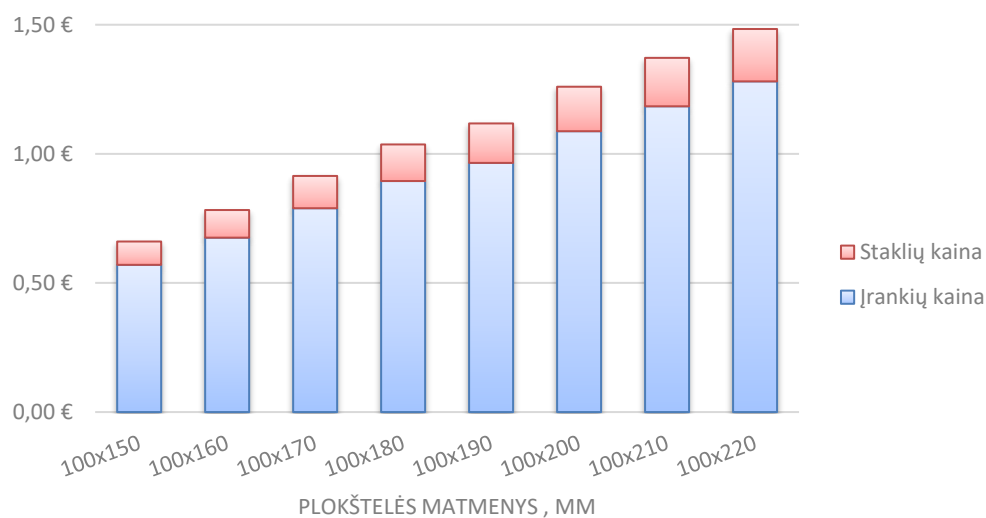
3.39 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø20mm frezos su HSS plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant plieną



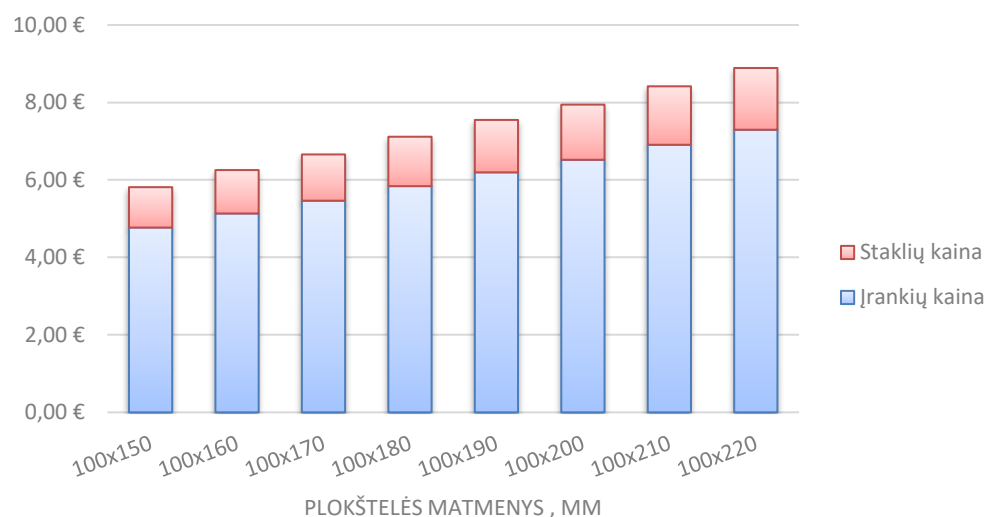
3.40 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø20mm frezos su HSS plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį



3.41 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø32mm frezos su VHM plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant plieną

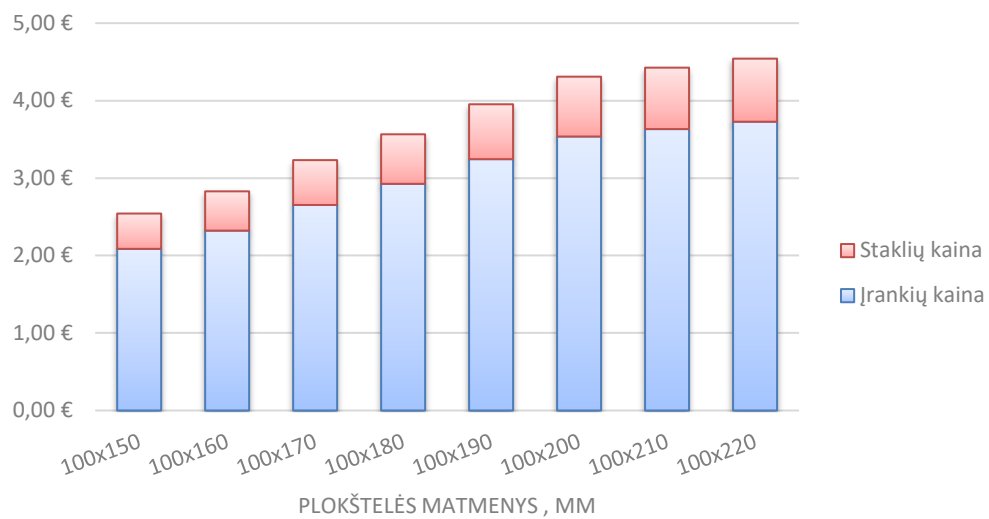


3.42 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø32mm frezos su VHM plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį



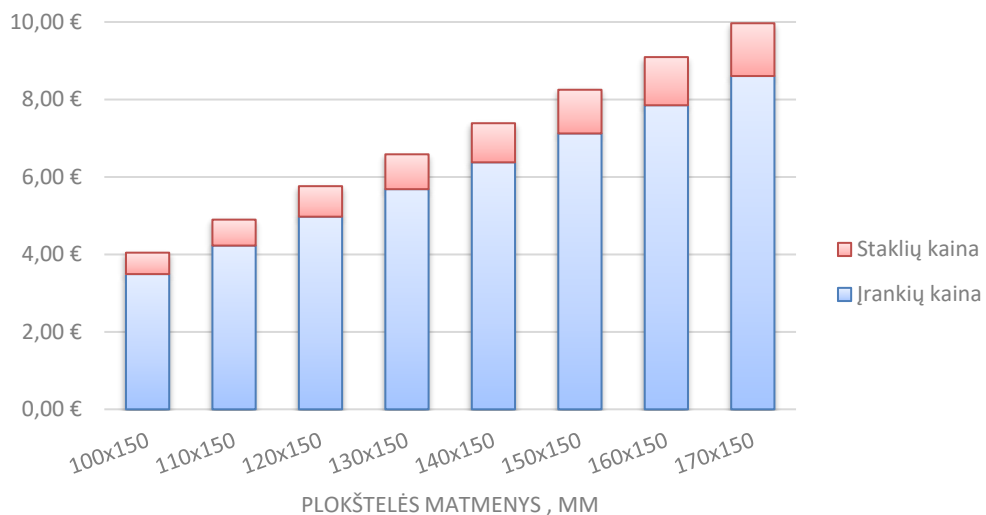
3.43 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø32mm frezos su HSS plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant plieną

Apdirbant stačiakampes plokšteles su Ø32mm galinėmis frezomis, didžiąją dalį savikainos sudaro įrankio kainos dedamosios (3.41 pav. – 3.44 pav.). Su VHM pjaunančiomis plokštelėmis plieną apdirbti yra apie brangiau nei aliuminį. Duraliumininės plokštelės apdirbimo kaina pasirinktiems ruošiniams su VHM darbine dalimi kainuoja nuo 0,7€ iki 1,4€ (3.42 pav.), o plieną nuo 1,8 € iki 3,7 € (3.41 pav.). Tuo tarpu HSS 5 mm freza aliuminyje kainuoja nuo 2,5 € iki 4,5 € (3.44 pav.), o pliene nuo 5,8 € iki 8,9 € (3.43 pav.).

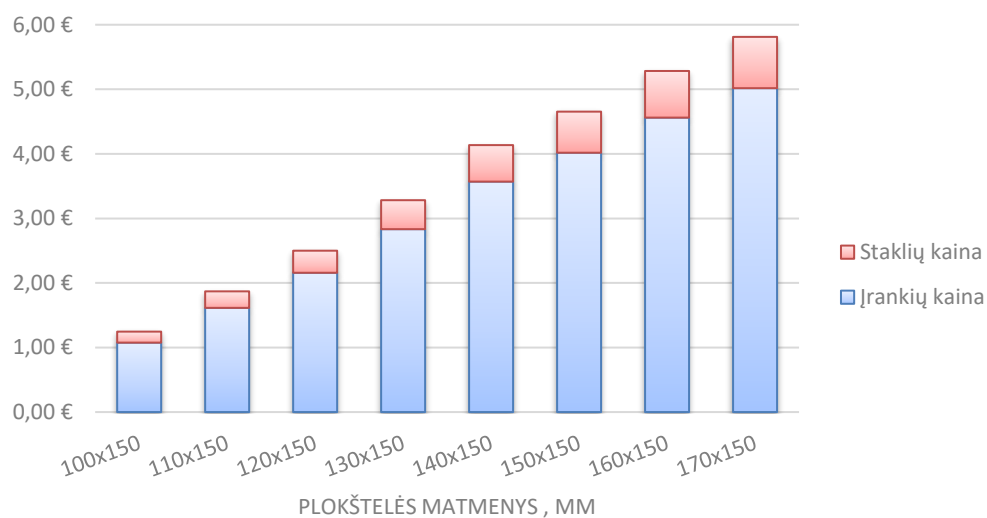


3.44 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø32mm frezos su HSS plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį

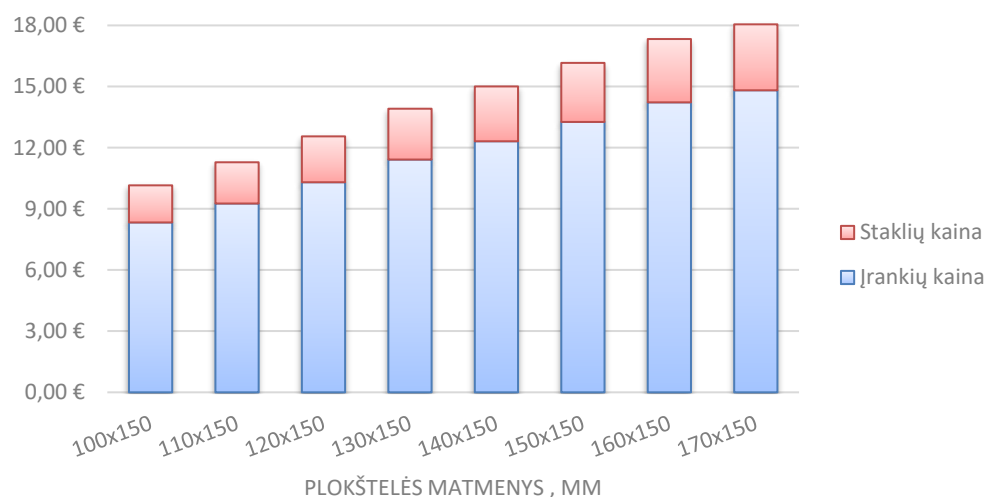
### 3.6. Apdirbimo savikainos priklausomybė keičiant ruošinio plotį



3.45 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø16mm frezos su VHM plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant plieną

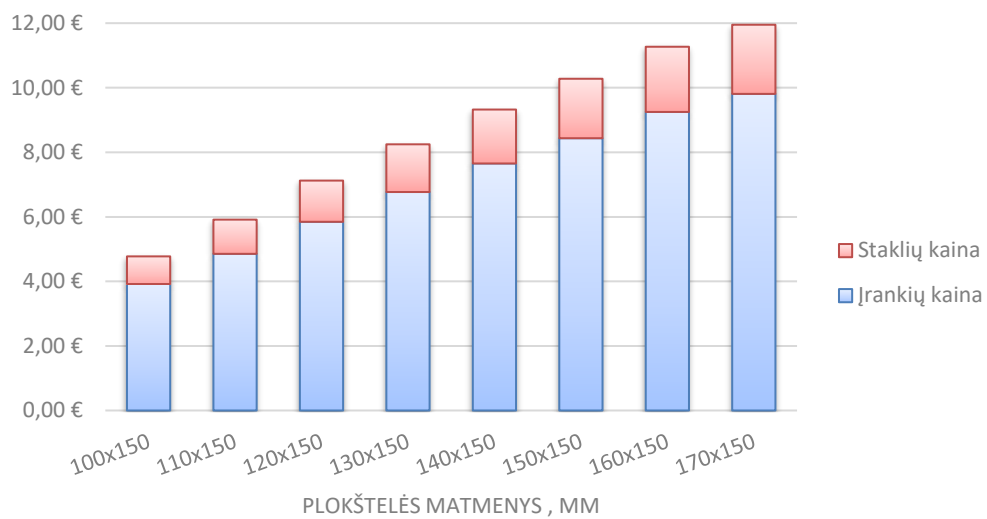


3.46 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø16mm frezos su VHM plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį

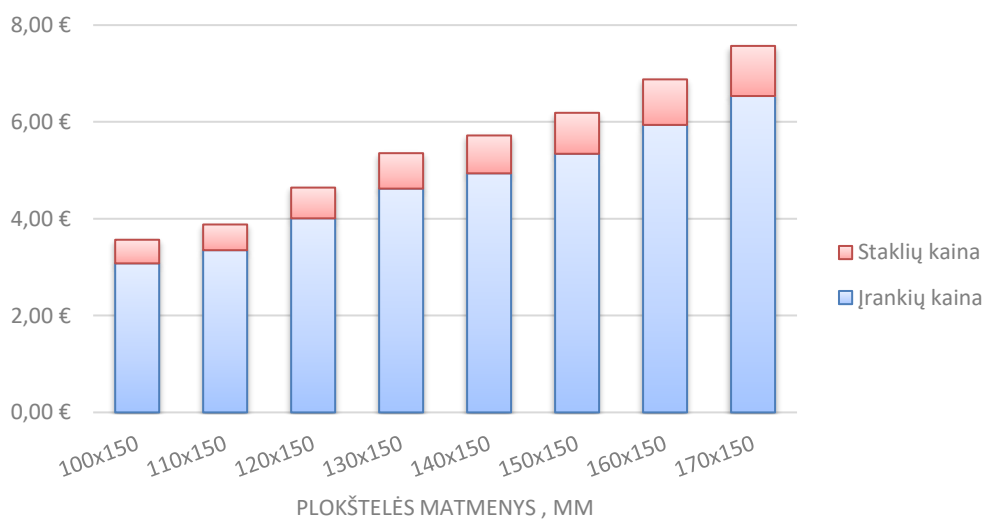


3.47 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø16mm frezos su HSS plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant plieną

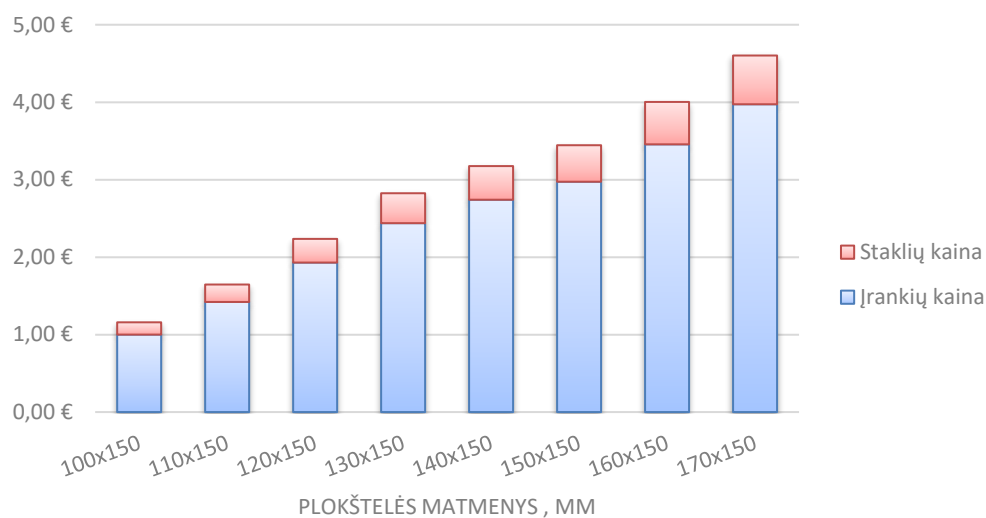
Apdirbant plokščias plokšteles Ø16mm frezomis staklinės kainos ir įrankio kainos dedamosios skiriasi apie 4,5 kartus (3.45 pav. – 3.48 pav.). Ø16mm galine freza su VHM keičiamomis plokštelėmis tą pačią plieninę plokštelę apdirbti yra apie 5,6 kartus brangiau nei aliuminį. Aliumininės plokštelės apdirbimo kaina pasirinktiems ruošiniams su Ø16mm galine freza VHM keičiamomis plokštelėmis kainuoja nuo 1,3 € iki 5,8 € (3.46 pav.), o plieno nuo 4 € iki 10 € (3.45 pav.). Tuo tarpu HSS plokštelėmis aliuminyje kainuoja nuo 4,7 € iki 12 € (3.48 pav.), o pliene nuo 10,2 € iki 18 € (3.47 pav.).



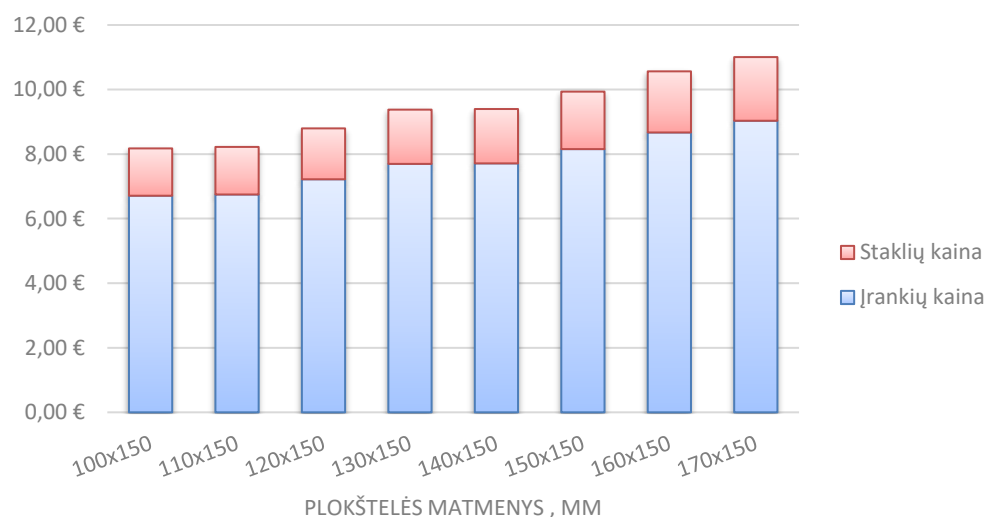
3.48 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø16mm frezos su HSS plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį



3.49 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø20mm frezos su VHM plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant plieną

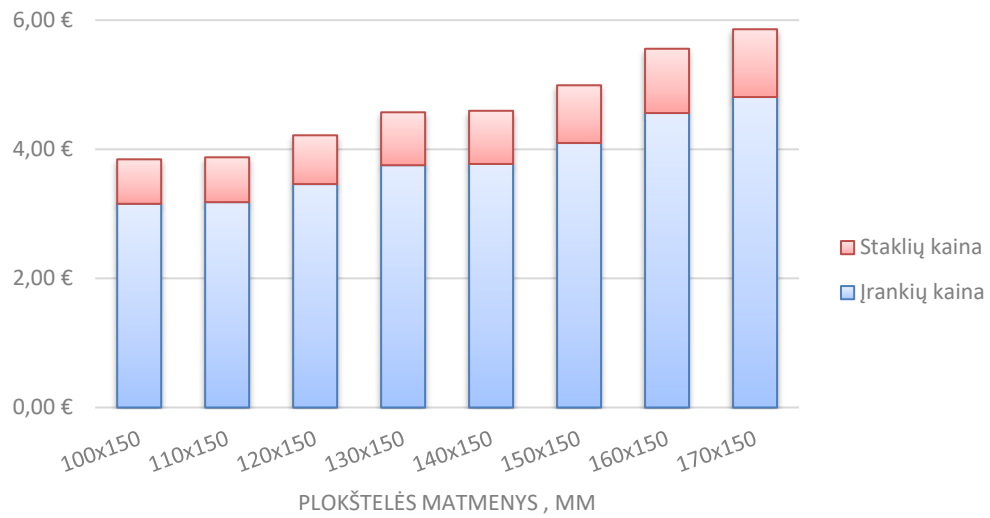


3.50 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø20mm frezos su VHM plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį

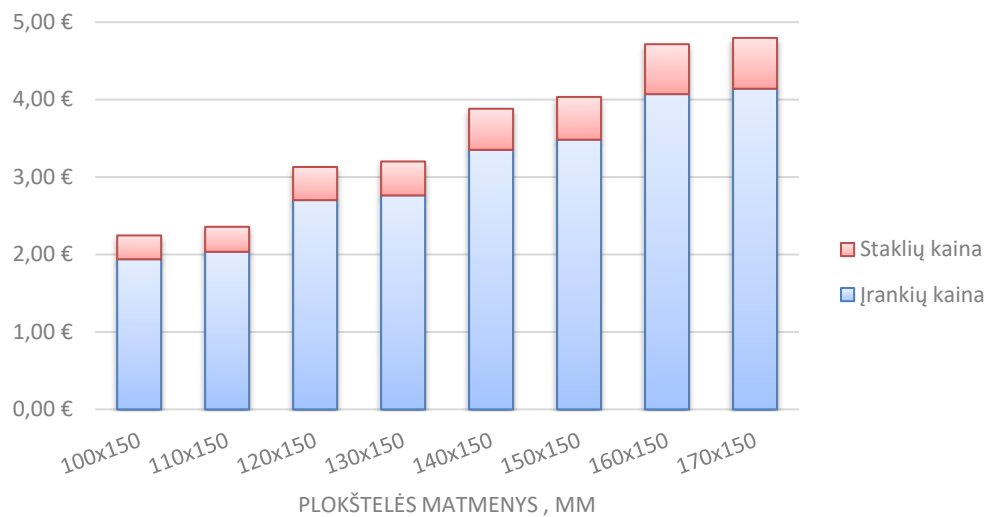


3.51 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø20mm frezos su HSS plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant plieną

Apdirbant stačiakampes plokšteles su Ø20mm galinėmis frezomis staklinės kainos ir įrankio kainos dedamosios skiriasi apie 4,5 karto (3.49 pav. – 3.52 pav.). Ø20mm freza su VHM plokštelėmis VHM tokių pačių gabaritų ruošinį pliene apdirbti yra apie 1,7 brangiau nei duraliuminį. Duraliuminės plokštelės apdirbimo kaina su VHM pjaunančiąją dalimi kainuoja nuo 2,6 € iki 4,6 € (3.50 pav.), o plieną nuo 3,6 € iki 7,6 € (3.49 pav.). Tuo tarpu su HSS keičiamomis plokštelėmis aliuminyje kainuoja nuo 3,9 € iki 5,9 € (3.52 pav.), o pliene nuo 8,2 € iki 11 € (3.51 pav.).

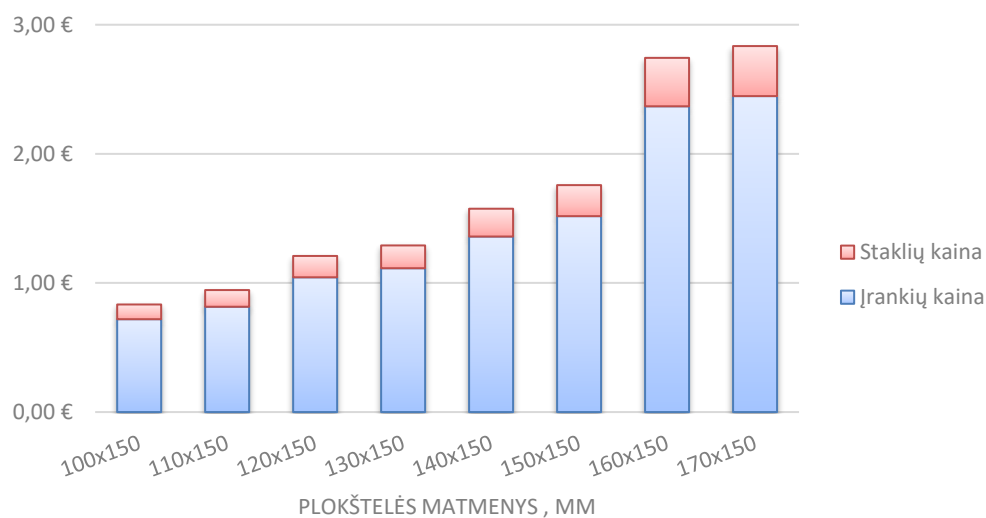


3.52 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø20mm frezos su HSS plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį

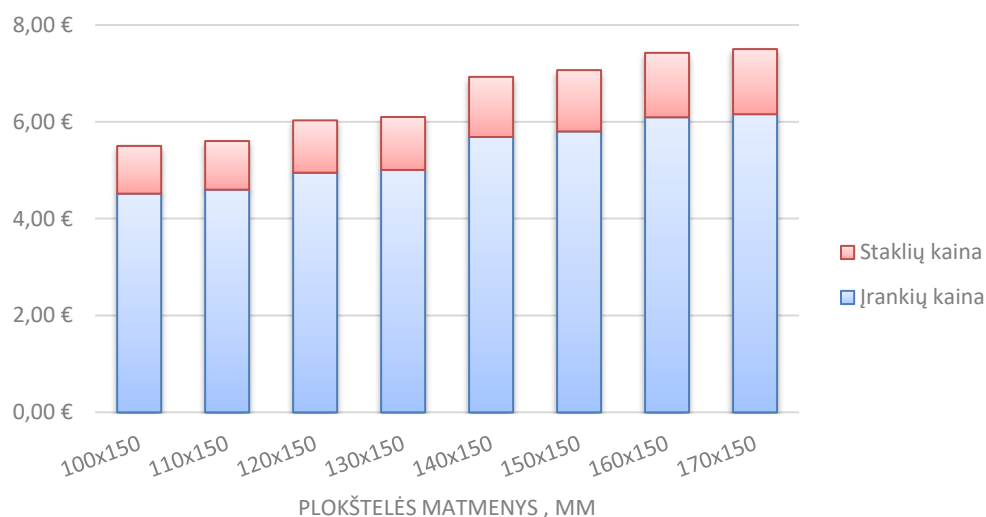


3.53 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø32mm frezos su VHM plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant plieną



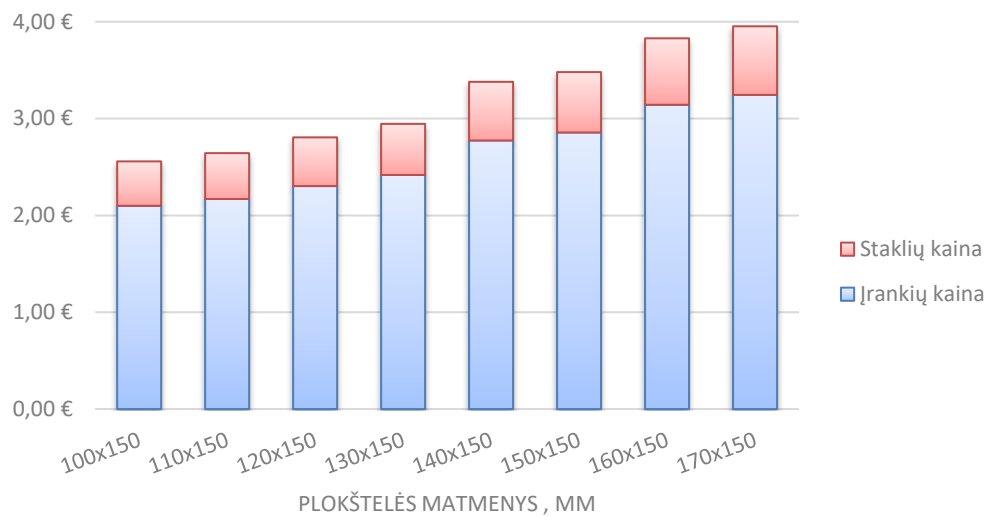


3.54 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø32mm frezos su VHM plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį



3.55 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø32mm frezos su HSS plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant plieną

Apdirbant stačiakampes plokšteles Ø32mm frezomis staklinės kainos ir įrankio kainos dedamosios skiriasi apie 5 kartus (3.53 pav. – 3.56 pav.). Ø32mm freza su VHM plokštelėmis VHM tokių pačių gabaritų ruošinį pliene apdirbti yra apie 2,8 brangiau nei aliuminį. Duraliuminės plokštelės apdirbimo kaina su VHM pjaunančiąją dalimi kainuoja nuo 0,8 € iki 2,8 € (3.54 pav.), o plieną nuo 2,2 € iki 4,8 € (3.53 pav.). Tuo tarpu su HSS pjaunančiąją dalimi duraliuminėje kainuoja nuo 2,6 € iki 4 € (3.56 pav.), o pliene nuo 5,6 € iki 7,5 €. Matyti kad skirtingo pločio plokšteles su tomis pačiomis frezomis galima pagaminti už tą pačią kainą. Tai įvyksta dėl to kad su ta pačia freza galima dirbti skirtinguose pločiuose vienu praėjimu.



3.56 pav. Apdirbamos stačiakampės plokštelės, Ø32mm frezos su HSS plokštelėmis, savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį

## IŠVADOS

1. Nagrinėjant stačiakampės plokštelės apdirbimo mašininio laiko kitimą, kai plokštelės ilgis keičiasi 150 iki 220 mm ir yra apdirbamas plienas galine freza su greitapjovio plieno plokštelėmis (HSS), frezų skersmens padidėjimas nuo  $\varnothing 16$  iki  $\varnothing 32$  mm sutrumpina apdirbimo trukmę nuo 1,6 kartų (150 mm ilgis) iki 1,9 (220 mm ilgis). Kai yra apdirbamas duraliuminis galine freza su greitapjovio plieno (HSS) plokštelėmis, frezų skersmens padidėjimas nuo  $\varnothing 16$  iki  $\varnothing 32$  mm sutrumpina apdirbimo nuo 1,8 kartų (150 mm ilgis) iki 1,9 karto (220 mm ilgis).
2. Nagrinėjant stačiakampės plokštelės apdirbimo mašininio laiko kitimą, kai plokštelės ilgis keičiasi 150 iki 220 mm ir yra apdirbamas plienas galine freza su kietlydinio plokštelėmis (VHM), frezų skersmens padidėjimas nuo  $\varnothing 16$  iki  $\varnothing 32$  mm sutrumpina apdirbimo trukmę nuo 1,5 kartų (150 mm ilgis) iki 2 (220 mm ilgis). Kai yra apdirbamas duraliuminis galine freza su kietlydinio (VHM) plokštelėmis, frezų skersmens padidėjimas nuo  $\varnothing 16$  iki  $\varnothing 32$  mm sutrumpina apdirbimo nuo 1,8 kartų (150 mm ilgis) iki 2,3 karto (220 mm ilgis).
3. Nagrinėjant stačiakampės plokštelės apdirbimo mašininio laiko kitimą, kai plokštelės plotis keičiasi 100 iki 170 mm ir yra apdirbamas plienas galine freza su greitapjovio plieno plokštelėmis (HSS), frezų skersmens padidėjimas nuo  $\varnothing 16$  iki  $\varnothing 32$  mm sutrumpina apdirbimo trukmę nuo 1,9 kartų (100 mm plotis) iki 2,4 (170 mm plotis). Kai yra apdirbamas duraliuminis galine freza su greitapjovio plieno (HSS) plokštelėmis, frezų skersmens padidėjimas nuo  $\varnothing 16$  iki  $\varnothing 32$  mm sutrumpina apdirbimo nuo 1,9 kartų (100 mm plotis) iki 3 karto (170 mm plotis).
4. Nagrinėjant stačiakampės plokštelės apdirbimo mašininio laiko kitimą, kai plokštelės ilgis keičiasi 100 iki 170 mm ir yra apdirbamas plienas galine freza su kietlydinio plokštelėmis (VHM), frezų skersmens padidėjimas nuo  $\varnothing 16$  iki  $\varnothing 32$  mm sutrumpina apdirbimo trukmę nuo 1,8 kartų (100 mm plotis) iki 2,1 (170 mm plotis). Kai yra apdirbamas duraliuminis galine freza su kietlydinio (VHM) plokštelėmis, frezų skersmens padidėjimas nuo  $\varnothing 16$  iki  $\varnothing 32$  mm sutrumpina apdirbimo nuo 1,5 kartų (100 mm plotis) iki 2 karto (170 mm plotis). Didėjant frezos skersmeniui – mažėja apdirbimo trukmė.
5. Atlikus stačiakampių plokštelių apdirbimo technologijos tyrimus nuo naudojamų įrankių skersmenų, gabaritinių matmenų, nustatyta, kad apdirbimo trukmė ir gamybos kaštai, našumas ir efektyvumas priklauso nuo įrankių medžiagos, pjovimo režimų, įrankio skersmens. Mažiausiai našus apdirbimas yra apdirbimas greitapjovio plieno HSS įrankiais, našiausi – įrankiai iš kietlydinio VHM.

6. Naudojant našesnius įrankius – kietlydinio plokšteles galinėms frezoms (VHM) lyginant su greitapjovio plieno (HSS) plokštelėmis, galima pagreitinti stačiakampių plokštelių apdirbimą nuo 3 iki 5 kartų apdirbant plieną ir apie nuo 3,5 iki 5 kartų kartus apdirbant duraliuminį.
7. Apdirbimo kaštai priklauso nuo frezos skersmens. Didėjant frezos skersmeniui, tiek apdirbimo kaštai, tiek mechaninio apdirbimo kaštai mažėja. Išanalizavus mechaninio apdirbimo kaštų sudėtį matyti, kad didžiausią detalės savikainos dalį sudaro pjovimo įrankių dedamoji. Apdirbimas naudojant mažiausio  $\varnothing 16$  mm arba didžiausio  $\varnothing 32$  mm skersmens frezas su VHM pjovimo plokštelėmis, nepaisant apdirbamo metalo, yra pats pigiausias.

## LITERATŪRA

1. Prieiga per internetą: <http://www.custompartnet.com/wu/milling> [žiūrėta 2017.05.14]
2. Prieiga per internetą: <http://www.pdsspindel.de/en/application-data/speed-feeds> [žiūrėta 2017.05.14]
3. Marcinkevičius, A.H. ; Mokšins, V. ; Jurevičius, M. 2010. *Šiuolaikiniai skaitmeninio valdymo apdirbimo centrai ir jų programavimas. II dalis. Programavimas*. Vilnius: Technika. 596p.
4. Prieiga per internetą: <http://www.mechanika.ktu.lt/index.php/Mech/article/view/3620> [žiūrėta 2017.05.14]
5. Prieiga per internetą: <[https://www.researchgate.net/figure/276378153\\_fig3\\_Figure-4-Face-milling-process-parameters-used-in-the-model](https://www.researchgate.net/figure/276378153_fig3_Figure-4-Face-milling-process-parameters-used-in-the-model)> [žiūrėta 2017-04-02].
6. Prieiga per internetą: <[http://www.steelnumber.com/en/steel\\_alloy\\_composition\\_eu.php?name\\_id=1035](http://www.steelnumber.com/en/steel_alloy_composition_eu.php?name_id=1035)> [žiūrėta 2017-04-04].
7. Prieiga per internetą: <[http://www.steelnumber.com/en/steel\\_composition\\_eu.php?name\\_id=331](http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=331)> [žiūrėta 2017-04-04].
8. Valiulis, A.V.; Bendikas, J. ; Juodelis, V. 2004. *Metaltyros pagrindai*. Vilnius: Technika. 158p.
9. Bražėnas, A.; Jūrėnas, V. 1992. *Metalo pjovimo įrankiai: metodinė medžiaga*. Kaunas: Technologija. 162p.
10. Prieiga per internetą: < [https://landingpages.hoffmann-group.com/ecat/index.html?country=eng\\_LT\\_LTE/catalogs/&catalog=band1#page\\_1](https://landingpages.hoffmann-group.com/ecat/index.html?country=eng_LT_LTE/catalogs/&catalog=band1#page_1) > [žiūrėta 2017-03-27].
11. Bražiūnas, A. J. 2004. *Mašinų gamybos technologijos pagrindai*. Kaunas: Technologija. 195p.