



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

Ignotas Bieliūnas

**Pjovimo įrankių parinkimo įtakos kišenių apdirbimo savikainai
tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

lekt. dr. Danas Garuckas

PANEVĖŽYS, 2016

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

**Pjovimo įrankių parinkimo įtakos kišenių apdirbimo savikainai
tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Mechanikos inžinerija (621H30001)

Vadovas

(parašas) lek. dr. Danas Garuckas

(data)

Recenzentas

(parašas)

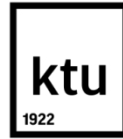
(data)

Projektą atliko

(parašas) Ignatas Bieliūnas

PANEVĖŽYS, 2016

Technologijos mokslų srities baigiamųjų
projektų rengimo ir gynimo metodinių
reikalavimų 3 priedas



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo

(Fakultetas)

Ignotas Bieliūnas

(Studento vardas, pavardė)

Mechanikos inžinerija 621H30001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Pjovimo įrankių parinkimo įtakos kišenių apdirbimo savikainai tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2016 m. Birželio 2 d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Ignoto Bieliūno**, baigiamasis projektas tema „Pjovimo įrankių parinkimo įtakos kišenių apdirbimo savikainai tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir 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)

Turinys:

Santrauka	4
Summary	5
ĮVADAS.....	6
1. SAVIKAINOS PROGNOZAVIMAS	8
1.1 Darbo našumas ir savikaina	8
1.2 Gaminio savikainos apskaičiavimas projektavimo etapų metu	10
1.3 Savikainos nustatymas programinės įrangos priemonėmis	12
1.3.1 Savikainos nustatymas Solidworks costing programine įranga	12
1.3.2 Savikainos nustatymas Costimator programine įranga	13
1.4 Tipinių elementų apdirbimo savikainos nustatymo tyrimai	14
1.5 Apdirbimo savikainos apskaičiavimo metodika	15
2. Tyrimo metodika	18
2.1. Tyrimo objektas	18
2.2 Savikainos tyrimo metodika	20
2.3. Pjovimo įrankiai kišenių apdirbimui	21
3. TYRIMO REZULTATAI.....	25
3.1 Įsigilinimo tyrimas.....	25
3.2 Apvalios kišenės mašininio laiko tyrimas	27
3.3 Stačiakampės kišenės mašininio laiko tyrimas.....	32
3.3 Fasoninės kišenės mašininio laiko tyrimas.....	34
4.1 Apvalios kišenės savikainos tyrimas	38
4.2 Stačiakampės kišenės savikainos tyrimas.....	43
4.3 Fasoninės kišenės savikainos tyrimas	45
Literatūros sarašas	55

Santrauka

Bieliūnas I., Pjovimo įrankių parinkimo įtakos kišenių apdirbimo savikainai tyrimas, Magistro baigiamasis projektas / Vadovas doc. dr. D. Garuckas, Kauno Technologijos Universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, Technologijų katedra, – Panevėžys: KTU PTVF, 2016 – 55 p.

Technologijos mokslai, H300 Mechanikos inžinerija.

Raktiniai žodžiai: kišenių apdirbimas, kišenių tipai, savikaina, kietlydinis, greitapjovis plienas.

Magistro baigiamajame darbe apžvelgiami gamybos kaštų prognozavimo metodai, analizuojami gamybos kaštus įtakojančios veiksniai. Darbe analizuojamas pagrindinis klausimas kaip sparčiai nustatyti kišenių apdirbimo įvairiose detalėse gamybos savikainą. Šiam klausimui išspręsti nagrinėjamos kelių tipų kišenės: apskritiminė, stačiakampė ir sudėtingo kontūro kišenė. Siekiant išsiaiškinti kišenių apdirbimo savikainą įtakojančius veiksnius: pjovimo įrankių kainas, mechaninio apdirbimo kaštų dedamąją, MasterCAM programa atliktas šių kišenių mechaninio apdirbimo technologijos modeliavimas skirtingoms ruošinių medžiagoms: plienui ir aliuminio lydiniui; naudojant skirtingo skersmens ir pjaunančiosios dalies medžiagos: greitapjovio plieno ir kietlydinio; pjovimo įrankius. Norint išsiaiškinti savikainos veiksnių kitimo dėsningumus, buvo nustatinėjama kišenių apdirbimo trukmė keičiant numatytos geometrijos kišenių charakteringus matmenis. Gauti mechaninio apdirbimo trukmės duomenys ir nustatytos kaštų dedamųjų priklausomybės nuo minėtų sąlygų leis prognozuoti nagrinėtos formos kišenių apdirbimo savikainą įvertinant kišenės formą, apdirbamą medžiagą, naudojamą pjovimo įrankį – jo skersmenį ir pjaunančiosios dalies medžiagą; įrankio kainą, staklinio laiko valandinį įkainį. Išspręstas pjovimo įrankių parinkimo įtakos kišenių apdirbimo savikainai klausimas leis racionaliai parinkti įrankius numatant tinkamą pjaunančiosios dalies medžiagą, jo skersmenį, kad užtikrinti minimalią kišenių apdirbimo savikainą.

Summary

Bieliūnas I., Investigation of Cutting Tools Selection Influence on Pocket Machining Cost, Master thesis / Head assoc. prof. D. Garuckas, Kaunas University of Technology, Panevėžys faculty of technologies and business, Department of Technologies, – Panevėžys: KTU PFTB, 2016 – 55 p.

Keywords: pocket procesing, types of pocket , cost,high speed steel .

Production cost forecast methods are overviewed in final paper for master's degree as well as factors influencing production cost. Main quest of analysis is to find out fastest way to calculate the prime cost of pocket production. There are several types of pockets: round, rectangular and complicated contour. In order to investigate the factors of pocket prime cost – cutting tool cost and mechanical processing cost – a simulation was introduced using MasterCam program for various materials: steel and aluminum – using different diameters of cutting tools made of fast cutting steel tungsten carbide. In order to ascertain prime cost fluctuations, processing time was being adjusted by changing the geometry of the pocket. Data received over mechanical treatment time and other expenses will allow to forecast the prime cost for pocket manufacturing taking into account tool type, tool cost, and hourly rate on machine. Proper tool choices will allow to calculate exact prime cost of the pocket manufacturing.

IVADAS

Lietuvoje nėra stambių mašinų gamybos įmonių, kurios užsiimtų gamyba nuo detalių pirminių ruošinių iki galutinio surinkto gaminio. Žinant galutinio gaminio rinkos kainą, kurią diktuoja konkurentai gaminantys analogiškus gaminius, galima apskaičiuoti gamybos savikainai tenkančių kaštų dalį. Nuostolingų detalių savikainos kaštus galima padengti pelningų detalių apdirbimo savikainos lėšomis – amortizuoti nuostolius. Lietuvos apdirbamoji pramonė dažniausiai užsiima atskirų detalių gamyba išorės (tiek Lietuvos, tiek užsienio šalių) užsakovams ir nelabai gali amortizuoti gamybos metu susidarancius nuostolius. Todėl Lietuvos įmonės apsiimdamos atlikti gamybinį užsakymą pagal pateikiamą konstruktorinę dokumentaciją, turi pakankamai operatyviai ir tiksliai prognozuoti apdirbimo savikainą, kad užsakymas neatitektų konkurentams ir įmonė nepatirtų nuostolių. Prognozuoti detalių gamybos savikainą nesudarius gamybos technologijos: numačius įrenginius, parinkus įrankius, apskaičiavus pjovimo režimus, apsisprendus dėl ruošinio gamybos būdo ir pan.; yra sudėtinga. Net patyrę technologai, kurie žino panašių detalių gamybos technologijas ir tokių detalių apdirbimo savikainas, ne visada sugeba įvertinti visus konkrečios detalės gamybos niuansus ir, remiantis savo patirtimi, sėkmingai nustatyti detalės apdirbimo savikainą. Siekiant palengvinti gamybos savikainos prognozavimo uždavinį tiek patyrusiems technologams, tiek jauniems specialistams, reikalinga ištirti įvairių veiksnių, įtakančių detalių apdirbimo kaštus, dėsningumus atskiriems tipiniams detalių elementams, pavyzdžiui, skylėms, kontūrams, fasoniniams elementams, kišenėms ir pan. įvairių tipų detalėse – velenuose, korpusuose, įvorėse ir kt. Šis magistro baigiamasis projektas numatytas plokščių detalių kelių tipų kišenių apdirbimo savikainos veiksnių nagrinėjimui keičiant apdirbamas medžiagas, pjovimo įrankius, kišenių matmenis, įrankių medžiagą.

Projekto tikslas: Ištirti pjovimo įrankių parinkimo įtaką trijų tipų kišenių apdirbimo savikainai, kai naudojami skirtingo skersmens įrankiai, dvi įrankių medžiagos ir keičiami apdirbamų kišenių matmenys.

Projekto uždaviniai:

1. Apžvelgti detalių apdirbimo savikainos nustatymo metodus. Išsiaiškinti veiksnius, kurie įtakoja apdirbimo savikainą ir yra aktualūs savikainos prognozavimui. Aptarti mechaninio apdirbimo savikainos dedamąsias.
2. Naudojant frezas, kurių skersmenys $\varnothing 5$, $\varnothing 10$, $\varnothing 15$, $\varnothing 20$ ir $\varnothing 25$ mm ir, kurių medžiagos: greitapjovis plienas ir kietlydinys, MasterCAM programoje sumodeliuoti trijų tipų kišenių mechaninį apdirbimą, kai apdirbamos detalės medžiagos yra: plienas ir aliuminio lydinys.
3. Nustatyti kišenių apdirbimui parinktų įrankių kaštų dedamosios kitimo dėsningumus.

4. Nustatyti kiekvieno tipo kišenės mechaninio apdirbimo trukmę atsižvelgiant į parinkto įrankio skersmenį ir medžiagą. Įvertinus staklinio laiko valandinį įkainį apskaičiuoti apdirbimo trukmės kaštus. Nustatyti apdirbimo kaštų kitimo dėsningumus nuo apdirbamos kišenės geometrinių parametrų kitimo, keičiantis pjovimo įrankio skersmeniui ir medžiagai bei apdirbamos detalės medžiagai.
5. Nustatyti suminių pjovimo įrankių ir apdirbimo trukmės kaštų kitimo priklausomybes skirtingų tipų kišenėms priklausomai nuo apdirbamos kišenės geometrinių parametrų kitimo, keičiantis pjovimo įrankio skersmeniui ir medžiagai bei apdirbamos detalės medžiagai.
6. Atlikti kaštų analizę. Analizės pagrindu pateikti pasiūlymus dėl įrankių medžiagos, skersmens parinkimo kišenių apdirbimui siekiant optimalaus našumo ir racionalios savikainos. Pateikti rekomendacijas kišenių apdirbimo savikainos prognozavimui.

Projekto aktualumas. Detalių apdirbimo savikainos mažinimas yra pagrindinis įmonės tikslas, nes nuo jos priklauso įmonės pelnas ir gebėjimas išsilaikyti konkurencinėje aplinkoje [1]. Tinkamas pjovimo įrankių matmenų ir medžiagų parinkimas leidžia pasiekti didesnę našumą, kas savo ruožtu leidžia sumažinti apdirbimo savikainą ir užtikrinti didesnę pelną. Taip pat, sumažinus savikainą galima 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:

Bieliūnas I., Garuckas D., Kišenių apdirbimo technologijos įtakos apdirbimo savikainai tyrimas. *SMD konferencijos „Technologijų ir verslo aktualijos 2016“ medžiaga*. Panevėžys, PTVF. – 2016,

1. SAVIKAINOS PROGNOZAVIMAS

Apdirbamosios pramonės įmonėms labai aktualus klausimas yra detalių apdirbimo savikainos prognozavimas. Tam reikia turėti technologinės patirties šioje srityje ir žinoti gamybos procesų veiksnius, kurie įtakoja apdirbimo savikainą. Taip pat, reikia žinoti ir suprasti įvairių gamybinių procesų veiksnių kitimo dėsningumus. Šio darbo tikslas išsiaiškinti gamybinių veiksnių įtaką kišenių apdirbimo savikainos kaštų dedamosioms. Norint panaudoti darbo rezultatus savikainos prognozavimui reikia apžvelgti savikainos nustatymo ir prognozavimo metodus bei nustatyti, kurie veiksniai turi būti įvertinti, kad galima būtų atlikti spartų kišenių apdirbimo savikainos prognozavimą.

1.1 Darbo našumas ir savikaina

Gamybos kaštai - tai įmonės produkcijos gamybai sunaudotų išteklių pinigine suma [1]. Produktų gamybos kaštai apima žaliavų, energijos, darbo užmokeščio išlaidas, įmonės įrengimų naudojimą, įmonės pastatų nuomą ir mokesčius, apšvietimą bei šildymą ir t.t. Žinodami gamybos kaštus galime nuspresti ar gaminti gaminį yra pelninga. Tai galime išsiaiškinti panaudojant sekancią formulę (1.1):

$$P = G - S; \quad (1.1)$$

čia: G – bendrosios pajamos, gautos už produkciją, parduotą didmeninėmis kainomis;
 S – produkcijos savikaina

Projektuojant technologinį procesą ir gaminant gaminį, siekiame kad gaminys atitiktų reikalavimus, būtų kokybiškas ir žinoma atitiktų nurodytus tikslumus. Kad gaminys būtų kuo pigesnis, o darbas spartesnis, reikia didinti darbo našumą ir mažinti detalės savikainą.

Darbo našumu vadinamas pagamintų gaminių kiekis per laiko vienetą(1.2).

$$N = \frac{Q}{T} \quad (1.2)$$

čia: N - darbo našumas;
 Q - pagaminta produkcija;
 T - laikas per kurį pagaminamas produkcija.

Darbo našumui didinti yra naudojamos įvairios priemonės, kurias galima suskirstyti į technologines, organizacines ir konstrukcines.

Technologinės priemonės darbo našumui didinti:
našesni, automatizuoti įrengimai ar įtaisai;
našesni darbo režimai;
našesnės kontrolės ir transportavimo priemonės.

Organizacinės priemonės darbo našumui didinti:
gamybos organizuotumo didinimas;
darbo drausmės didinimas;
darbo vietos aptarnavimo gerinimas;
darbuotojų iniciatyvos didinimo ir kitos priemonės.

Konstrukcinės priemonės darbo našumui didinti:
gaminio konstrukcijos technologiškumo gerinimas.

Kaip matome iš (1.1) formulės darbo našumą galime didinti mažinant gaminio gamybai skirtą laiką, jį panaudojant efektyviau. Todėl svarbu nustatyti atskirų operacijų optimalų gamybos laiką, ieškoti galimybių sumažinti to laiko dedamąsias dalis.

Savikaina – tai gaminio pagaminimo išlaidų visuma, kurią sudaro šios pagrindinės dedamosios dalys: [3]

1. pagrindinių medžiagų (ruošinio) kaina
2. pagalbinių medžiagų kaina
3. pagrindinių gamybos darbininkų darbo užmokestis su atskaitymais soc. draudimui
4. pagalbinių gamybos darbininkų darbo užmokestis su atskaitymais soc. draudimui
5. amortizaciniai atskaitymai nuo įrengimų balansinės vertės
6. amortizaciniai atskaitymai nuo technologinės įrangos balansinės vertės
7. išlaidos pjovimo įrankiams
8. išlaidos elektros energijai
9. išlaidos gamybinių plotų amortizacijai ir priežiūrai
10. išlaidos technologinių įrengimų remontui
11. technologinio proceso projektavimo savikaina
12. staklių valdymo programos ruošimo savikaina
13. nuostoliai susiję su technologiniu broku

Čia išvardintus kalkuliacinius straipsnius galime suskirstyti į tris dedamąsias dalis. Tada sutrumpinta savikainos išraiška atrodytu taip:

$$S = M + U + Pr; \quad (1.3)$$

čia: M – išlaidos medžiagoms;

U – išlaidos pagrindinių darbininkų darbo užmokesčiui;

Pr – pridėtinės cecho ir gamyklos išlaidos.

1.2 Gaminio savikainos apskaičiavimas projektavimo etapų metu

Gaminio savikainą dažnai tenka apskaičiuoti dar jo nepradėjus gaminti, projektavimo etapo metu. Gaminio savikainos tiksliai apskaičiuoti neįmanoma, todėl savikainos reikšmė būna apytikrė. Dažniausiai taikomas savikainos metodas, kai lyginama su esamu analogišku gaminiu. Gaminio konstravimo etapų metu gali būti taikomi skirtingi savikainos apskaičiavimo metodai [4].

1) Liginamųjų išlaidų metodas. Daugelis pramonės produkcijos gaminių tarpusavyje susiję pagal gamybos išlaidas, pavyzdžiui gamybos išlaidas priklausančias nuo jų masės, gabaritinių matmenų, galingumo ir kt.

Projektuojamo gaminio savikainą lyginame su analogiško gaminio išlaidomis. Pavyzdžiui, jei žinome analogo 1 kg masės savikainą, tai projektuojamo gaminio savikainą apskaičiuojame pagal formulę [4]:

$$S = S_{lg} \cdot \gamma \quad (1.4)$$

čia: S_{lg} – analogo parametro lyginamoji savikaina, €;

γ – projektuojamo gaminio parametro techninis koeficientas.

2) Agregatinis metodas. Šis metodas paremtas atskirų mazgų, detalių, agregatų savikaina. Jeigu tai yra žinoma apskaičiuojama pagal formulę [4]:

$$S = k \sum_{i=1}^n n_i \cdot S_i \quad (1.5)$$

čia: n_i – tam tikro agregato ar mazgų skaičius;

S_i – agregato ar mazgų savikaina;

k – koeficientas, įvertinantis surinkimo išlaidas.

3) Balų metodas. Pagal gaminio rodiklius parenkama balų sistema. Vienam rodikliui imami 2-3 balai. Po to nustatomas bendras balų skaičius, kuris dauginamas iš vieno balo reikšmės ir apskaičiuojamas bandymų metodu. Šiuo atveju staklių savikaina apskaičiuojama pagal formulę[4]:

$$S_{ny} = S[a_1(X_1) + a_2(X_2) + \dots + a_n(X_n)] \quad (1.6)$$

čia: S_{ny} – balų reikšmė, €;

X_1 – vertinamas parametras, atitinkamais vienetais;

a_1 - balų skaičius

4) Koreliacinis-regresinis metodas. Vienas iš labiausiai priimtinių sustambintos savikainos apskaičiavimo metodų – tai koreliacinis-regresinis metodas, kuris grindžiamas kiekybinių ryšių tarp gaminio savikainos ir jo eksplotavimo bei techninių rodiklių nustatymu. Priklausomybė tarp jų gali būti nustatyta porinės daugialypės koreliacijos metodu. Šis metodas taikomas tada, kai parinktas rodiklis yra kompleksinis. Kitais atvejais reikia naudoti daugialypę koreliaciją. Šis metodas rodo savikainos priklausomybę nuo kelių rodiklių[4].

Šiuo atveju regresijos lygybė turi tokią išraišką:

$$S = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n \quad (1.7)$$

tarpinis modelis bus:

$$S = a_0X_1a_1X_2a_2 \dots X_na_n \quad (1.8)$$

čia: X_1, X_2, X_n – argumento veiksniai;

a_0, a_1, a_2, a_n – regresinis lygybės koeficientas, rodantis argumentų veiksmių įtaką gaminio savikainai.

Daugialypės koreliacijos lygybė gali būti aiškinama kiekvieno argumento veiksmio įtaka gaminio savikainai.

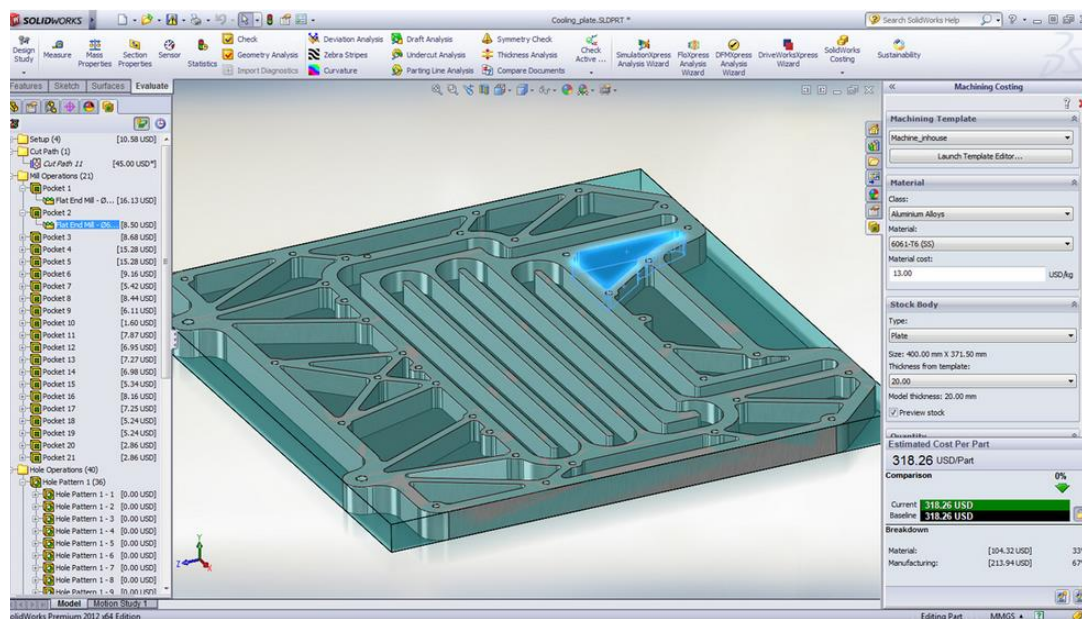
Minėti metodai gana tikslūs, todėl juos galima taikyti visų gaminio projektavimo stadijų metu.

1.3 Savikainos nustatymas programinės įrangos priemonėmis

Viena iš alternatyvų norint sužinoti gaminio savikainai yra programinės įrangos paketai. Jie leidžia greitai ir pakankamai tiksliai nustatyti savikainą. Tačiau taip pat turi ir trūkumų. Norint nustatyti savikainą programinės įranga yra būtinas gaminio modelis. Taip pat galimi kainų netikslumai dėl neatikimų tarp turimos gamybinės įrangos ir tos kurią naudoja kaip šabloną programinė įranga.

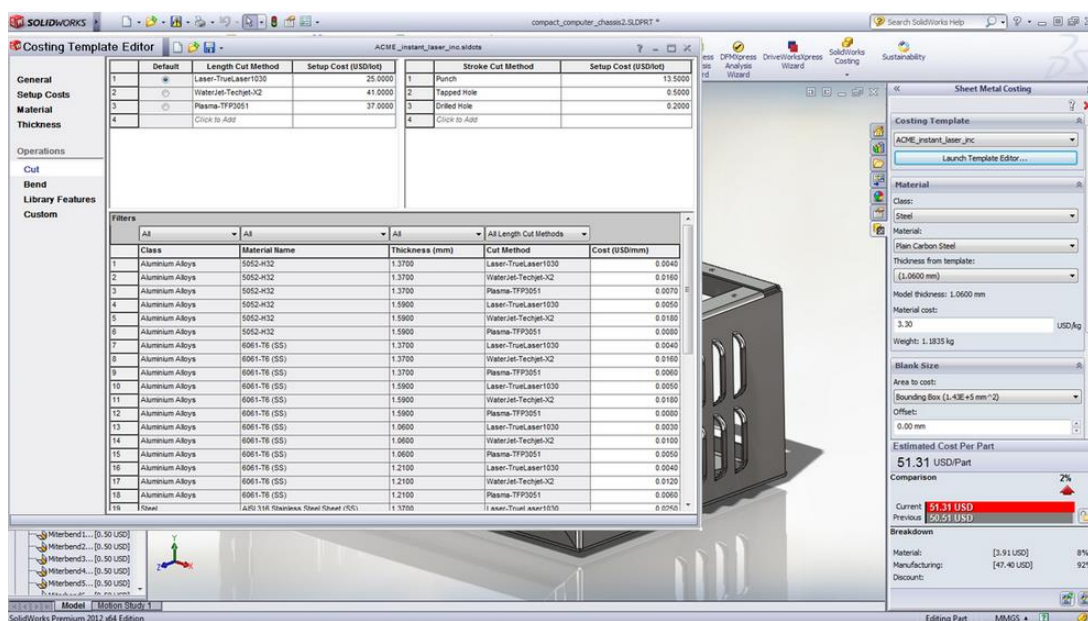
1.3.1 Savikainos nustatymas Solidworks costing programine įranga

SOLIDWORKS automatiniai sąnaudų vertinimo įrankiai yra visiškai integruoti su 3D CAD, kurie leidžia dizaineriams ir inžinieriams nuolat stebėti gaminio dizainą ir gamybos kaštus [8]. Taip išvengiama nenumatytos kainos išaugimo. Gamintojai taip pat gali įvertinti gamybos sąnaudas medžiagoms ir mechaniniam detalių apdirbimui su automatinio atnaujinimu kaskart kai dizainas pasikeitė. Taip pat šis paketas įvertina ir standartinių gaminių kainas.



1 pav. Sąnaudų apskaičiavimo skirtukai [8]

Kaip matome 1 paveiksle, sąnaudų apskaičiavimo skirtukai leis greitai pakeisti gaminio medžiagą, ruošinio gabaritinius matmenis, įrengimus su kuriais pageidaujame apdirbti gaminį, vienetų skaičių ar kitus parametrus ir stebėti kaip keičiasi kaina.



2 pav. Tiekėjų biblioteka [8]

Šio paketo pagalba galime susidaryti savo tiekėjų biblioteką (2 pav.). Joje susirašyti reikiama informaciją apie gamintojus, turimą staklyną, atliktus darbus bei jų kainą. Tai leidžia pasirinkti tinkamiausią gamintoją pagal savo poreikius.

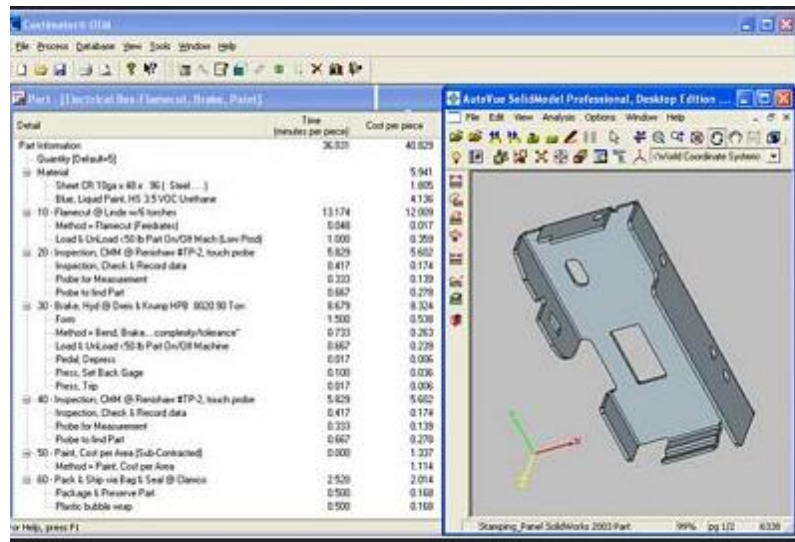
1.3.2 Savikainos nustatymas Costimator programine įranga

Costimator paketas paremtas daugiau nei 300 skirtingų gamybos proceso modelių, įskaitant visus formų apdirbimo, suvirinimo, plastiko gamybos, elektronikos, surinkimo ir kt. [9]

Programinėje įrangoje yra šimtai iš anksto nustatytų ir pramonės patvirtintų išlaidų modelių, kurie padeda greitai įvertinti ir tiksliai apskaičiuoti gaminio savikainą skirtinguose gamybos fazėse. Šių išlaidų modeliai gali būti lengvai pakeista arba sudaromi naujai, norint geriau atitikti individualius reikalavimus, bet kokiam užsakovui.

Nustatyti savikaina Costimator paketo pagalba nėra sunku. Viskas nustatoma penkiais pagrindiniais žingsniais:

- 1 žingsnis: Įvedame gaminio parametrus.
- 2 žingsnis: Pasirenkame reikiamą gaminių kiekį.
- 3 žingsnis: Pasirenkame gaminio medžiagą.
- 4 žingsnis: Pasirenkame reikiamą technologinę įrangą (frezavimas, pjovimas lazeriu ar kt.)
- 5 žingsnis: Pridedame dalis kiekvienai operacijai



3 pav. Costimator paketo darbalaukis [9]

Costimator nėra racionali programinė įranga, nes ja negalime kurti naujo modelio ar keisti geometrinių parametrų. Iš to seka, kad negalima stebėti kaip keičiasi gaminio savikaina keičiantis jo geometrijai. Taip pat šis paketas neturi standartinės įrangos bibliotekos, todėl norint sukalkuliuoti bendrą savikaina šios informacijos reikės ieškoti atskirai.

1.4 Tipinių elementų apdirbimo savikainos nustatymo tyrimai

Siekiant sukurti detalių savikainos prognozavimo priemonę, KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakultete magistrantai atlieka tipinių detalių elementų apdirbimo modeliavimo ir savikainos nustatymo tyrimus.

Baigiamajame magistro darbe [5] Dovilė Tratulytė tiria apvalaus skerspjūvio skylių, apdirbamų gręžimu, ištekiniu, mašininio laiko priklausomybės nuo apdirbimo maršruto, apžvelgia gamybos kaštų prognozavimo metodus, analizuoja gamybos kaštus įtakojančius veiksnius. Išanalizavo tris kaštų prognozavimo metodus: kaštų prognozavimas įvertinant mašininį laiką ir suminius kaštus, įvertinant pagaminimo trukmę, aptarė jų privalumus ir trūkumus, duotų matmenų ir techninių reikalavimų skylėms, sudarytė keletą alternatyvių apdirbimo maršrutų. Nustatė apdirbimo perėjimų mašininis laikus, bei suminius skylės apdirbimo mašininis laikus. Pasitelkusi skirtingas mašininio laiko skaičiavimo metodikas, palygino jo reikšmes kiekvienam apdirbimo maršrutui atskirai ir jo reikšmes 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 medžiaga. Išanalizavus kaštus, kurie įtakoja apdirbimo savikainą, nustatyta, jog

apdirbant kuo mažesnę skylę su greitapjoviu plieniu yra pigesnis variantas, bet apdirbant su kietlydiniu, pagal apdirbimo laiką, apdirbimas gaunasi greitesnis, bet brangesnis. 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 žymiai ženkliai išauga, ir yra brangesni.

Darijus Baltramiejūnas savo baigiamajame magistro darbe [6] tiria užsiduotų matmenų, išorinių kontūrų apdirbimas plokštes. Kontūrų apdirbimui sudarė keletą alternatyvių mechaninio apdirbimo maršrutų ir nustatė apdirbimo kaštų dedamosias nuo apdirbimo laiko, ištyrė frezavimo įrankių ir apdirbimo trukmės kaštų dedamųjų įtaką detalės gamybos savikainai.

Kontūrų apdirbimui pasirinko skirtingų skersmenų frezas, kurių skersmenys keičiami nuo 5 mm iki 25 mm, o pjovimo įrankius pasirinko pagamintus iš kietlydinio (VHM) ir greitapjovio plieno (HSS).

Kontūro ilgis bei aukštis (gylis) buvo keičiamas netiesiškai, didinamas ekvidistanciniu žingsniu.

Darbe išanalizuoti mechaninio apdirbimo trukmės kaštų priklausomybė nuo frezų skersmens, įrankių medžiagos, kontūro ilgio ir aukščio, įvertinta pagaminimo trukmė. Apskaičiuotos suminės mašininio laiko reikšmės ir pjovimo įrankių kaštų dedamosios tiriamiesiems atvejams.

Atlikęs mašininio laiko priklausomybės tyrimą nuo frezos skersmens nustatė, kad mažiausias mašininis laikas dirbant su 15 mm skersmens freza. Lyginant apdirbimo laiką pagal įrankių medžiagas – mažiausias mašininis laikas dirbant su VHM su TiAlN danga pagamintais įrankiais. Didžiausias kontūrų apdirbimo mašininis laikas dirbant su įrankiais pagamintais iš HSS Co be dangos. Taip pat pastebėjo, kad apdirbimo kaštai priklauso nuo frezos skersmens. Didėjant frezos skersmeniui mechaninio apdirbimo trukmės kaštai, pjovimo įrankių kaštai didėja [6].

1.5 Apdirbimo savikainos apskaičiavimo metodika

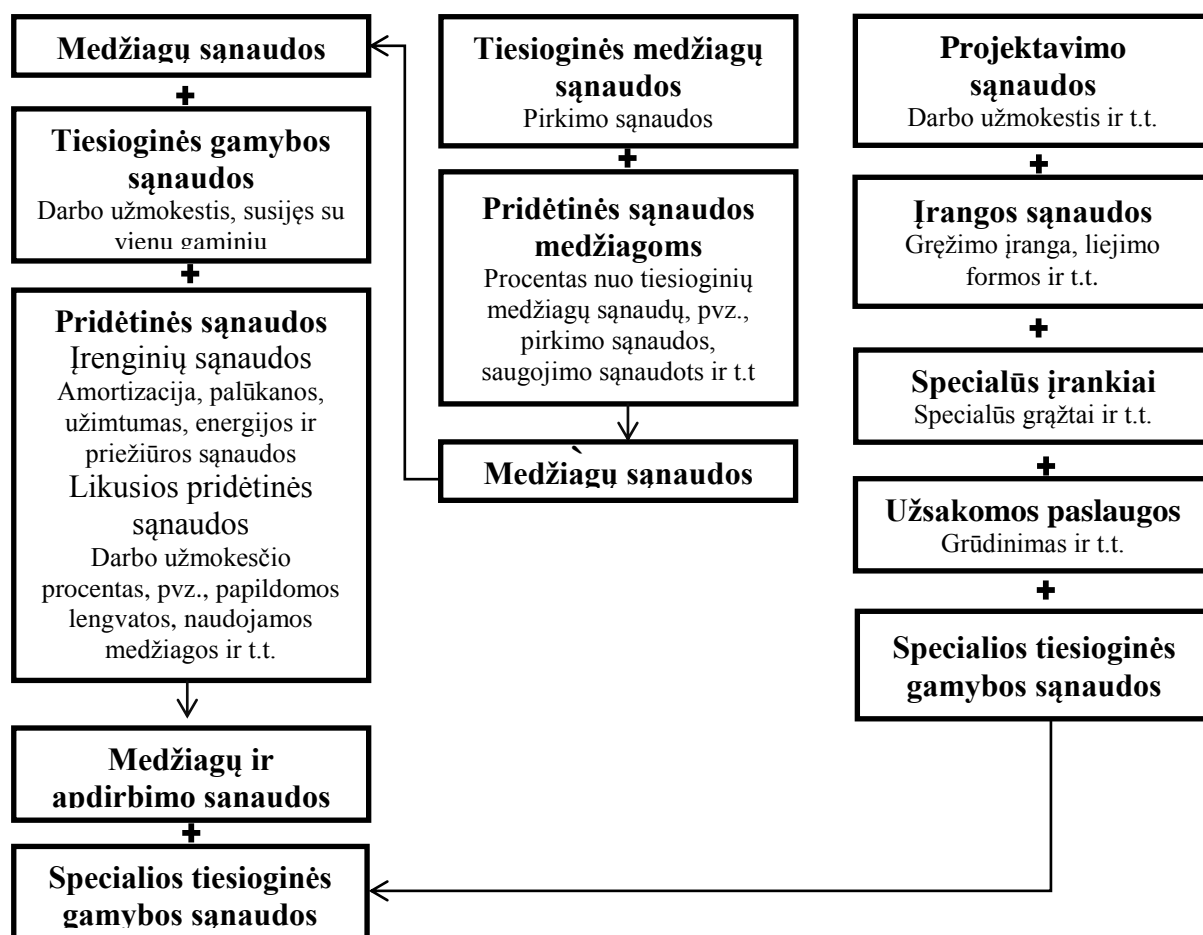
Bendruoju atveju detalių apdirbimo savikaina yra skaičiuojama įvertinant įvairius išlaidų straipsnius. Naujausia savikainos skaičiavimo metodika išleista lietuvių kalba pateikta Mechanikos inžinieriaus žinyne [7].

Paprastasis skaičiavimas

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

4 pav. Suspaprastintas savikainos skaičiavimas[7].

Išplėstinis skaičiavimas





5 pav. Išplėstinis savikainos skaičiavimas[7].

Pavyzdys:

	Kaina
Tiesioginės medžiagų sąnaudos	12250€
Pridėtinės medžiagų sąnaudos	61,25€
Darbo užmokestis 10val. x 15€/val	150€
Įrengimų sąnaudos 8val. x 30€/val	240€
Pridėtinės sąnaudos 200% nuo gamybos darbo užmokesčio	300€
Specialūs įrankiai	125€
Gamybos sąnaudos	2101,25€
Vadybos ir pardavimo pridėtinės sąnaudos 12% nuo gamybos sąnaudų	252,15€
Savikaina	2353,4€
Pelnas 10% nuo savikainos	235,34€

Pirminė pardavimo kaina	2588,74€
Komisiniai 5% nuo pardavimo kainos	136,25€
Pardavimo kaina be PVM	2724,99€

6 pav. Išplėstinio savikainos skaičiavimo pavyzdys[7].

Ši metodika leidžia nustatyti detalių gamybos savikainą, tačiau neleidžia prognozuoti detalės savikainos prieš sudarant technologiją ir neatlikus paties užsakymo. Pagal šią metodiką reikia tiksliai žinoti detalių gamybos programą, medžiagą naudojamus įrenginius ir įrankius, darbuotojų kvalifikaciją ir t. t.

Gaminio savikainos prognozavimo projektavimo etapų metu metodas (tiksliau keturi metodai) tinka gaminiui, tačiau nelabai tinka detalės apdirbimo savikainai nustatyti. Savikainos prognozavimas programine įranga *Solidworks Costing* arba *Costimator* leidžia prognozuoti detalės savikainą detalės projektavimo stadijoje. Šio metodo „trūkumas“, kad reikia turėti šia programinę įrangą ir trimatį detalės modelį. Jei detalės geometrija pateikta tik konstruktorinėje dokumentacijoje, tai šis metodas nėra tinkamas. Apdirbimo savikainos metodika leidžia tiesiogiai apskaičiuoti detalių apdirbimo savikainą pagal visus savikainos straipsnius, tačiau jos negalima taikyti prognozavimui.

Šis baigiamasis projektas yra praktiškai tęstinis darbas ankstesnių darbų, kuriuos atliko aukščiau paminėti magistrantai (D. Tratulytė, D. Baltramiejūnas), kurie nagrinėjos skylių apdirbimo technologijos ir kontūrų apdirbimo technologijos gamybinių veiksnių įtaką detalių apdirbimo savikainai. Šis darbas ir paminėtieji darbai bus apjungti į vieną priemonę, kuris bus taikoma apdirbimo savikainos prognozavimui.

Šio baigiamojo projekto rezultatus būtų buvę gerai palyginti su programinės įrangos *Solidworks Costing* ir *Costimator* rezultatais apdirbant pasirinktų tipų kišenes. Tačiau neturint šios programinės įrangos tokios galimybės nebuvo.

Taigi, nustatant ir analizuojant kišenių apdirbimo savikainą bei pjovimo įrankių parinkimo įtaką apdirbimo savikainai bus taikoma analogiška metodika, ir nustatinėjami bei nagrinėjami analogiški rezultatai kaip prieš tai atliktų magistrinių darbų.

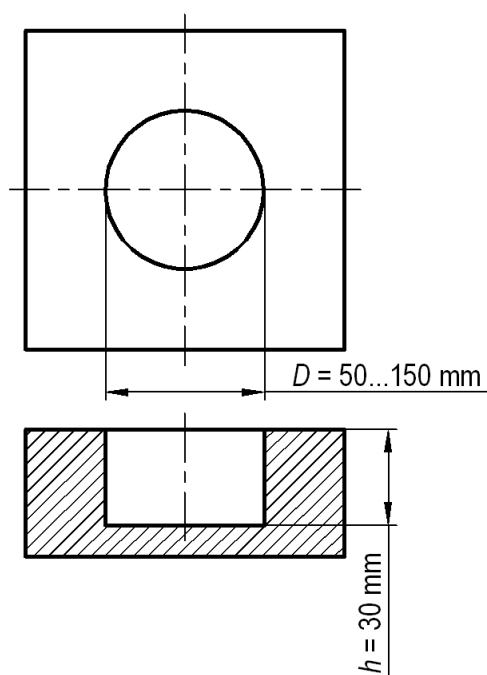
2. Tyrimo metodika

2.1. Tyrimo objektas

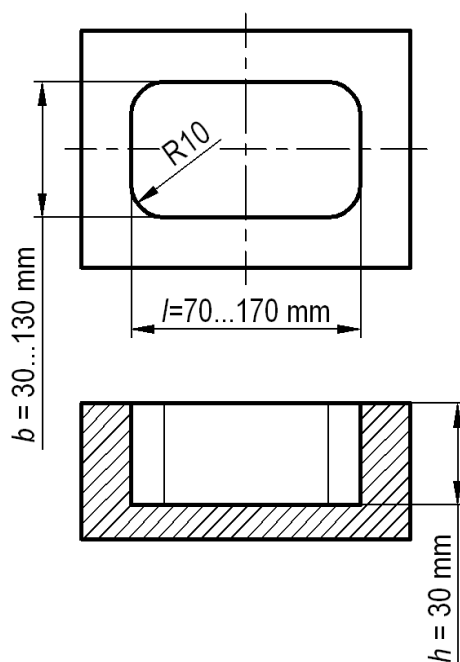
Tyrimo objektas – įvairių kišenių (2.1 – 2.3 pav.) plokštėje, kurios medžiaga – konstrukcinis plienas 40 GOST 1050-88 arba aliuminis A5 GOST 1521, apdirbimo savikaina.

Apdirbimo technologija kuriama *MasterCAM Mill* programa naudojant šiuolaikinius pjovimo įrankius, kurių darbinė dalis sudaryta iš greitapjovio plieno (žym. HSS) ir kietlydinio (žym. VHM). Įrankių skersmenys diskretiškai kinta nuo 5 mm iki 25mm kas 5 mm. Atliekant tyrimą, pjovimo režimai pasirinkti pagal gamintojo rekomendacijas [2].

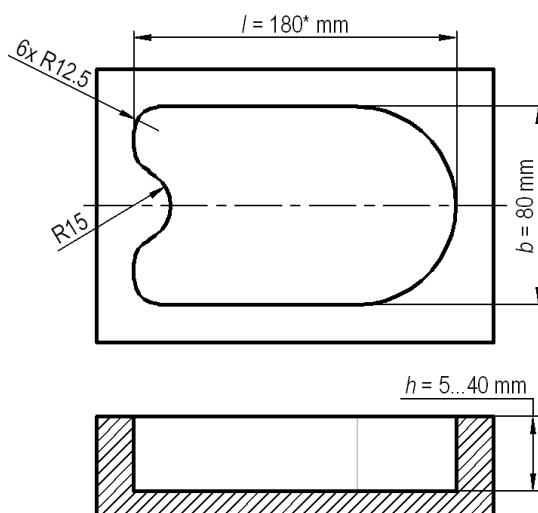
Tyrimė analizuojamos trijų tipų kišenes: apskrita (2.1 pav.), stačiakampė su užapvalintais kampais (2.2 pav.) bei fasoninė kišenė (2.3 pav.). Apskrita kišenės skersmuo keičiamas nuo 50 mm iki 150 mm. Kišenės gylis bus pastovus ir lygus $h = 30$ mm. Savikainos įvertinimui bus nustatomas apdirbimo mašininis laikas su visais naudojamais įrankiais. Stačiakampe kišenei su užapvalintais kampais (2.2 pav.), keičiami jos kraštinių matmenys: vienos – nuo 70 mm iki 170 mm ir kitos kraštinės – nuo 30 mm iki 130 mm. Nagrinėjant fasoninės kišenės (2.3 pav.) apdirbimo mašininio laiko kitimą, jos gabaritiniai matmenys bus nekintami, o kis tik jos gylis nuo 5 mm iki 40 mm.



2.1 pav. Apskrita kišenė



2.2 pav. Stačiakampė kišenė



2.3 pav. Fasoninė kišenė

2.2 Savikainos tyrimo metodika

Kišenių apdirbimo mašininiam laikui nustatyti bus pasiremta katalogais, kuriuose pateikta konkreti informacija apie pasirinktų pjovimo įrankių pjovimo režimus numatytoms medžiagoms apdirbti [2]. Apdirbimo modeliavimas bus atliekamas *MasterCAM Mill* programa. Šia programa bus nustatomas mašininis laikas T_m . *MasterCAM* programoje bus suvesti naudojamų frezų kataloge nurodyti pjovimo režimai: pjovimo gylis t , pastūma s_m , pjovimo greitis v .

Mechaninio apdirbimo kaštai K_{MA} vertinami pagal formulę [3]:

$$K_{MA} = K_M + K_{T_m} + K_{PI}; \quad (2.1)$$

$$K_{T_m} = \frac{T_m C_{val}}{60}; \quad (2.2)$$

čia: K_M – ruošinių medžiagų kaštai, šio tyrimo atveju $K_M = 0$; K_{T_m} – mechaninio apdirbimo trukmės kaštai įvertinti atsižvelgiant į pasirinktą valandinį programinio valdymo staklių įkainį, kai valanda yra įvertinta $C_{val} = 25$ €/val. Valandinis įkainis pasirinktas atsižvelgiant į dabar rinkoje taikomus įkainius. K_{PI} – mechaninio apdirbimo kaštų dedamoji priklausanti nuo dirbančių įrankių susidėvėjimo, kuri bus skaičiuojama pagal darbinį frezos laiką ir jos kainą. Šiame tyrime priimame, kad vienas frezos dantis (pjaunančioji briauna) dirba 15 norminių minučių.

2.3. Pjovimo įrankiai kišenių apdirbimui

Kišenių apdirbimo technologijai sudaryti numatomos frezos su darbine dalimi iš tradicinių ir populiariausių įrankinių medžiagų:

- 1) Greitapjovis plienas – HSS (High Speed Steel):
- 2) Kietlydinis – VHM (Very Hart Metal)

Toliau kalbant apie greitapjovį plieną, bus naudojamas trumpinys HSS, o apie kietlydinį VHM. Įrankių skersmenys tiek HSS, tiek VHM keisis nuo mažiausios 5mm frezos, iki didžiausios 25mm. Įrankių skersmenys didės kas 5mm.

Pjovimo įrankiai ir jų režimai bus renkami iš Hoffmann Group įrankių katalogo (www.hoffmann-goup.com) [2]. Pjovimo greitis v_c ir pastūma dančiui f_z paimti tiesiai iš katalogo, o apsisukimai n ir minutinė pastūma apskaičiuota pagal formules (2.3) ir (2.4) [2]. Režimai surašyti į suvestines lenteles (1 - 2 lent.).

Įrankio apsisukimų skaičius nustatomas iš formulės:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d} \quad (2.3)$$

čia: v_c – pjovimo greitis;

d – frezos skersmuo.

Įrankio minutinė pastūma apskaičiuojama iš formulės:

$$f_m = f_z \cdot z \cdot n \quad (2.4)$$

čia: f_m – minutinė pastūma;

f_z – pastūma dančiui;

z – frezos dantų skaičius;

n – apsisukimai.

Apskaičiuoti pjovimo režimai naudojami modeliuojant kišenių apdirbimą *MasterCAM Mill* programoje, jų reikšmės suvedant atitinkamame pjovimo režimų aprašymo lange.

2.1 lentelė

Pjovimo režimų suvestinė apdirbant aliuminio ruošinį

Režimai d, mm	HSS				VHM			
	V_c	n	f_z	f_m	V_c	n	f_z	f_m
	mm/min	aps.	mm/z	mm/min	mm/min	aps.	mm/z	mm/min
5	138	8789,8	0,008	281,2736	280	17834	0,02	1426,72
10	138	4394,9	0,019	334,0124	280	8917,1	0,05	1783,42
15	138	2929,3	0,033	386,6676	280	5944,8	0,06	1426,752
20	138	2197,4	0,038	334,0048	280	4458,6	0,1	1783,44
25	138	1757,9	0,038	267,2008	280	3566,9	0,1	1426,76

2.2 lentelė

Pjovimo režimų suvestinė apdirbant plieno ruošinį

Režimai d, mm	HSS				VHM			
	V_c	n	f_z	f_m	V_c	n	f_z	f_m
	mm/min	aps.	mm/z	mm/min	mm/min	aps.	mm/z	mm/min
5	64	4076	0,008	130,432	100	6369	0,02	509,52
10	64	2038	0,019	154,888	100	3184	0,05	636,8
15	64	1359	0,033	179,388	100	2123	0,06	509,52
20	64	1019	0,038	154,888	100	1592	0,1	636,8
25	64	815	0,038	123,88	100	1274	0,1	509,6

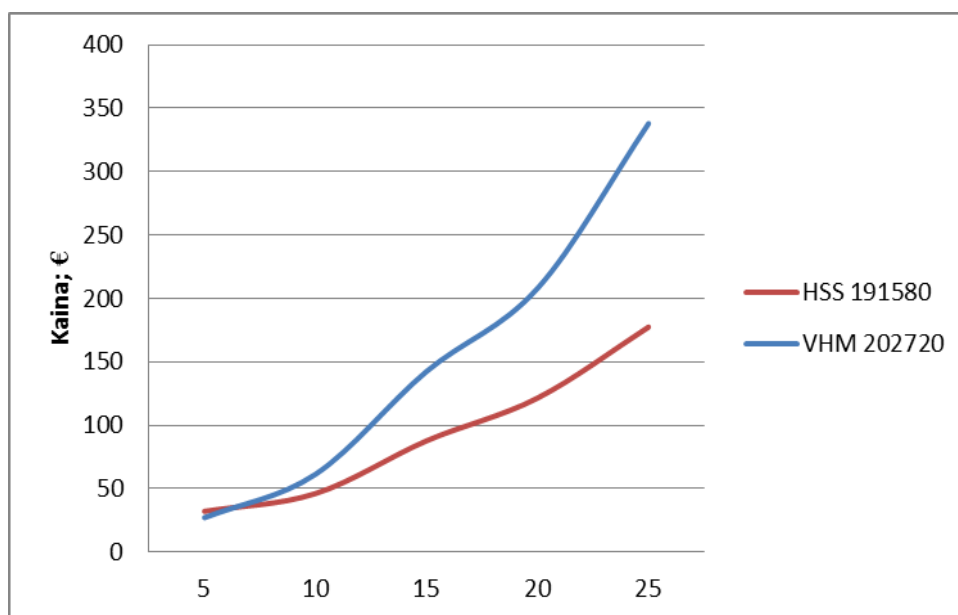
Greitapjovio plieno (HSS) ir kietlydinio (VHM) pirštinių frezų kainos pateiktos – 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė

Pjovimo įrankių – pirštinių frezų kainų suvestinė

Kaina; € d, mm	HSS 191580	VHM 202720
5	32,20€	27,20€
10	46,20€	61,40€
15	87,80 €	142,50€
20	121,50€	208,- €
25	177,50€	338,- €

Pjovimo įrankių kaina turės įtakos detalės apdirbimo savikainai. Kaip matyti iš 2.3 lentelės didėjant frezos skersmeniui, jos kaina didėja. Vaizdžiam įrankio kainos priklausomybės nuo skersmens atvaizdavimui sudaromas 2.4 paveikslas. Šis paveikslas leis vizualiai lengviau nustatyti ir palyginti įrankių kaštų dedamosios kitimo priklausomybę gautuose tyrimo rezultatuose.



2.4 pav. Įrankių kainų kitimo priklausomybė nuo pjovimo įrankio skersmens ir medžiagos

Iš kainų kitimo grafiko (2.4 pav.) matyti, kad įrankių kainos didėja ir keičiasi beveik tiesiškai. Kol skersmenys nėra dideli (iki 10 mm) skirtumas tarp greitapjovio plieno ir kietlydinio frezų kainų nėra toks didelis ir sudaro iki 25 proc. nuo 10 mm skersmens kietlydinio frezos, tačiau didesnių skersmenų atveju (virš 15 mm) įrankių kainų skirtumas tampa ženklus ir siekia iki 48 proc. nuo kietlydinio 25 mm skersmens frezos. Taip pat, galima pastebėti, kad VHM įrankiai visais atvejais yra brangesni, išskyrus, kai skersmuo yra 5 mm. Tuo atveju VHM freza yra netgi šiek tiek pigesnė.

2.4 lentelė

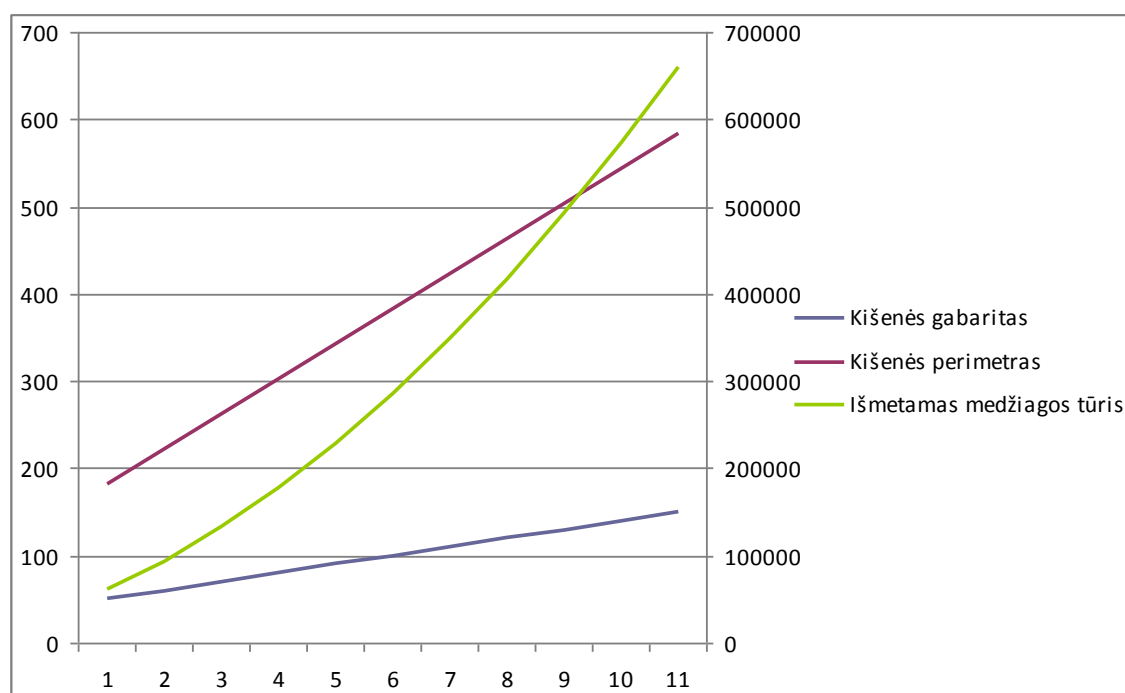
Kišenių geometrinių variantų požymių suvestinė lentelė

Kišinės tipas	Požymis	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Apskritiminė	Skersmuo	mm	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
	Perimetras	mm	157	188,4	219,8	251,2	282,6	314	345,4	376,8	408,2	439,6	471
	Įšmetamas tūris	mm ³	58875	84780	115395	150720	190755	235500	284955	339120	397995	461580	529875
Stačiakampė	Vidut. gabaritas	mm	30x70	40x80	50x90	60x100	70x110	80x120	90x130	100x140	110x150	120x160	130x170
	Perimetras	mm	182,8	222,8	262,8	302,8	342,8	382,8	422,8	462,8	502,8	542,8	582,8
	Įšmetamas tūris	mm ³	60420	93420	132420	177420	228420	285420	348420	417420	492420	573420	660420
Fasoninė	Gylis	mm	5	10	15	20	25	30	35	40			
	Perimetras	mm	482.64										
	Įšmetamas tūris	mm ³	65505	131010	196515	262020	327525	393030	458535	524040			

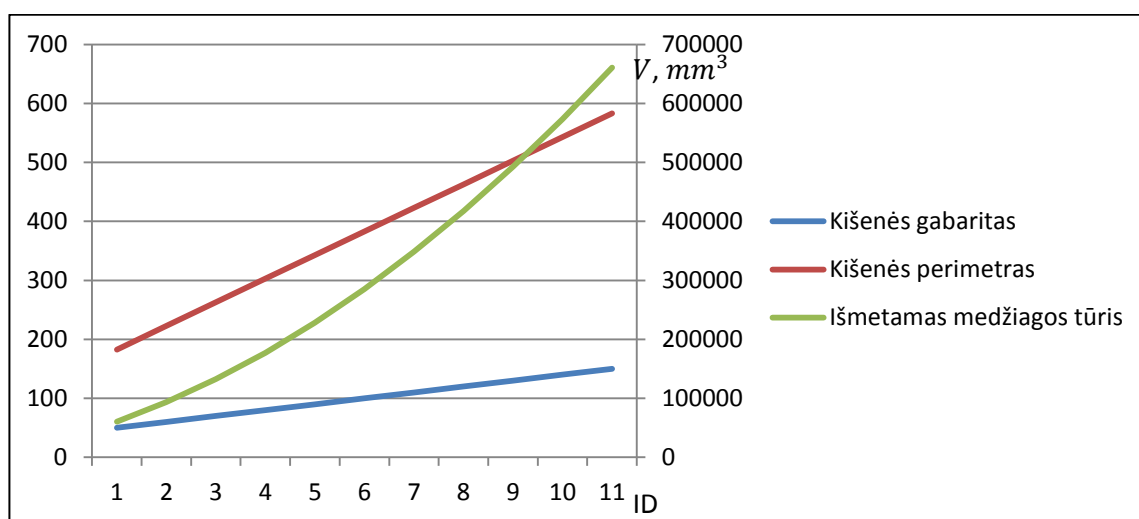
Analizuojant gautus įrankių ir apdirbimo trukmės kaštus sudėtinga palyginti skirtingų kišenių tipų kaštus, nes skiriasi įrankių trajektorijų ilgiai, pačių kišenių geometriniai matmenys ir pan. Norint rezultatus patogiai atvaizduoti tame pačiame grafike įvedamas parametras *ID*, kuris nusako kišinės tipo tam tikrą geometrijos variantą. Kai *ID* = 1, apskritiminės kišinės geometrinis

matmuo – skersmuo yra 50 mm, stačiakampės kišenės gabaritai 30x70 mm ir, kurio vidutinis geometrinis matmuo yra 50 mm (apskaičiuojama $(30+70)/2=50$) ir, kuris atitinka apskritiminės kišenės skersmenį. Įvedus ID parametą grafikų abscisių ašyje išvengiama nepatogumo rašant arba kišenės gabaritinius matmenis, pavyzdžiui, 30x70 mm, 40x80 mm, 50x90 mm ir t. t., arba nepatogių perimetro reikšmių, pavyzdžiui, 157 mm, 188,4 mm, 219,8 mm ir t. t., ir pan.

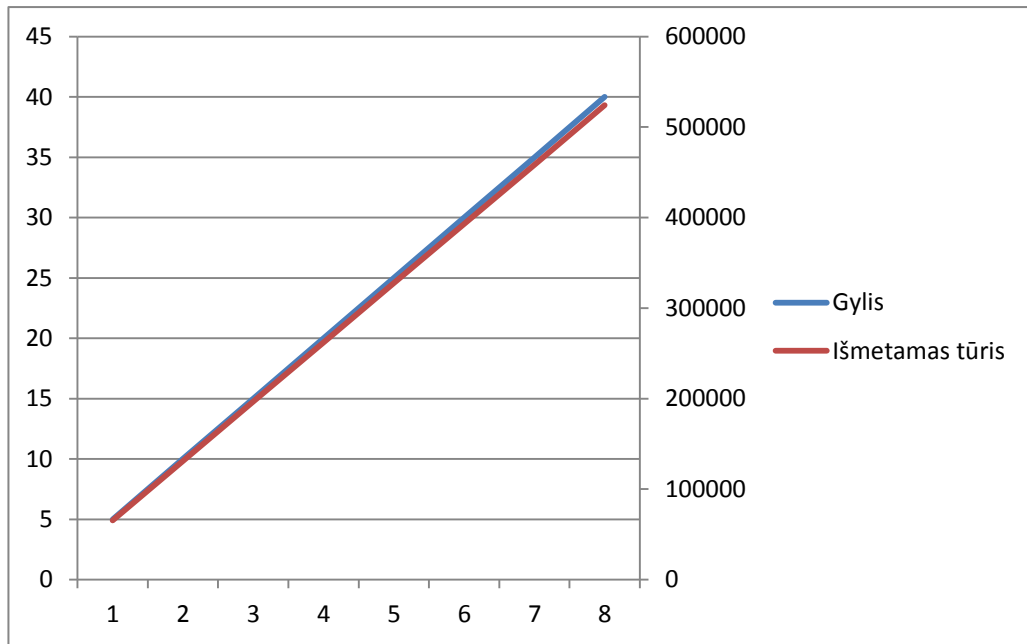
Vertinant kaštų dedamųjų priklausomybes ir norint pamatyti kažkurio geometrinio požymio įtaką kaštų dedamosioms, pateikiami geometrinių požymių (2.4 lentelė) priklausomybių nuo parametro ID – kišenės geometrinio varianto, grafikai: apskritiminei kišenei (2.5 pav.), stačiakampei kišenei (2.6 pav.) ir fasoninei kišenei (2.7 pav.).



2.5 pav. Apskritiminės kišenės geometrinių požymių priklausomybės



2.6 pav. Stačiakampės kišenės geometrinių požymių priklausomybės



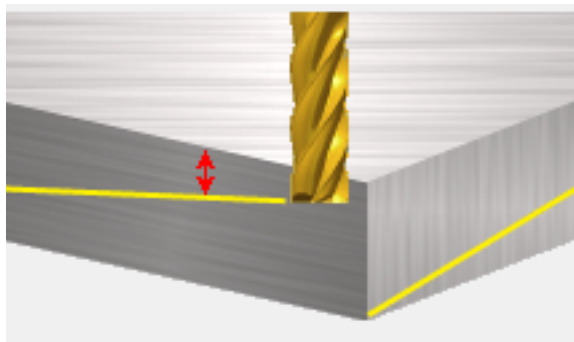
2.7 pav. Fasoninės kišenės geometrinių požymių priklausomybės

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1 Įsigilinimo tyrimas

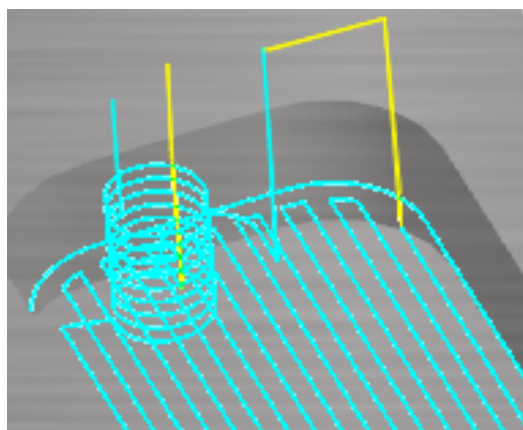
Norint išsiaiškinti tinkamiausia apdirbimo būda, svarbu žinoti kaip tinkamai pradėti detalės apdirbimą, tai yra, kokį įvažiavimą ir išvažiavimą į metalą pasirinkti. Šiuo atveju išnagrinėsime tris įsigilinimo būdus: rampą, statmeną ir spyruoklinį įsigilinimus.

Įsigilinimas rampa - freza pradeda dirbti įsigilindama nustatytu kampu ar atstumu per kurį turi pasiekti reikiamą gylį. Pavyzdys pavaizduotas 3.1 paveikslėlyje.



3.1 pav. Įsigilinimas rampa

Įsigilinimas spyruokle – freza pradeda gilintis nuo detalės paviršiaus sukdamasi nustatytu skersmeniu ir gyliu vienam apsisukimui, kol pasiekia užsiduotą apdirbimo gylį (3.2 pav.).



3.2 pav. Spyruolinis įsigilinimas

Statmenas įsigilinimas – tai įsigilinimo tipas kai freza gilinasi į medžiagą statmenai (kaip gražtas) vienu sykiu be atsitraukinėjimo, kol pasiekia reikiamą gylį.

Kaip matome iš 4,5 ir 6 lentelės, mašininiam laikui mažiausią įtaką turi statmenas įsigilinimas. Didžiausią įtaką mašininiam laikui turi įsigilinimas rampa. Atskirais atvejais lyginant su statmenu įsigilinimu mašininis laikas išauga net iki 10 kartų. Sekančiuose tyrimo etapuose naudosime statmeną įsigilinimą.

Frezos skersmuo	Kišenės skersmuo	T_m (statmenas)	T_m (spyruoklė)	T_m (rampa)
5 mm	10 mm	10 s	40 s	89 s
15 mm	30 mm	10 s	40 s	78 s
25 mm	50 mm	13 s	44 s	82 s

4lent. Įsigilinimo įtaka mašininiam laikui, kai kišenės skersmuo 2 kartus didesnis už frezos diametrą

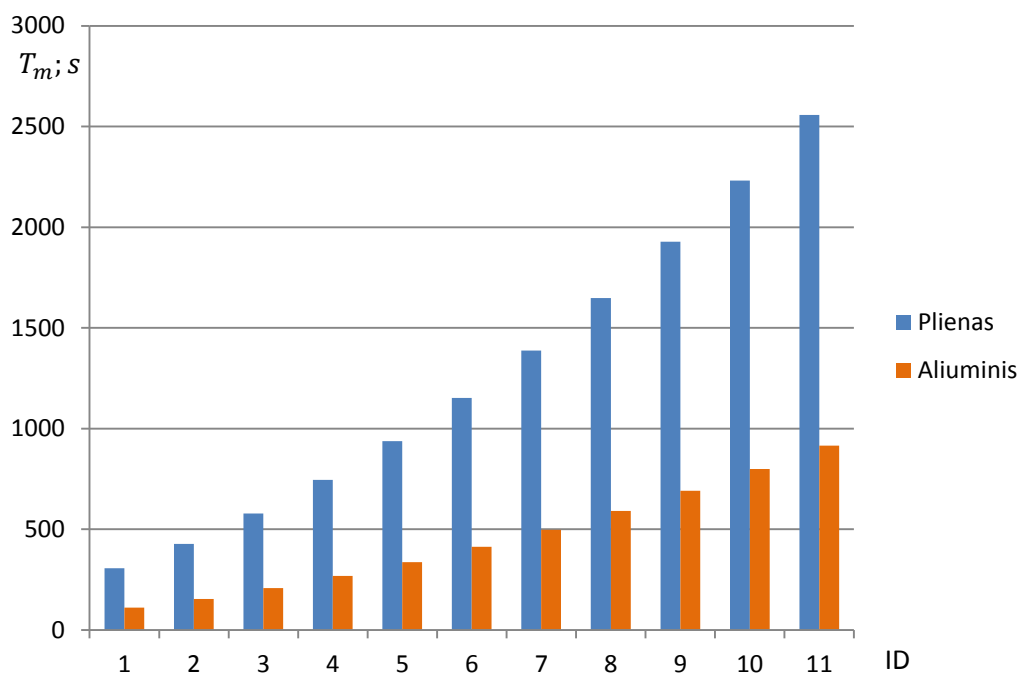
Frezos skersmuo	Kišenės skersmuo	T_m (statmenas)	T_m (spyruoklė)	T_m (rampa)
5 mm	15 mm	22 s	61 s	101 s
15 mm	45 mm	22 s	53 s	90 s
25 mm	75 mm	26 s	59 s	96 s

5lent. Įsigilinimo įtaka mašininiam laikui, kai kišenės skersmuo 3 kartus didesnis už frezos diametrą

Frezos skersmuo	Kišenės skersmuo	T_m (statmenas)	T_m (spyruoklė)	T_m (rampa)
5 mm	20 mm	29 s	71 s	109 s
15 mm	60 mm	28 s	60 s	98 s
25 mm	100 mm	46 s	79 s	116 s

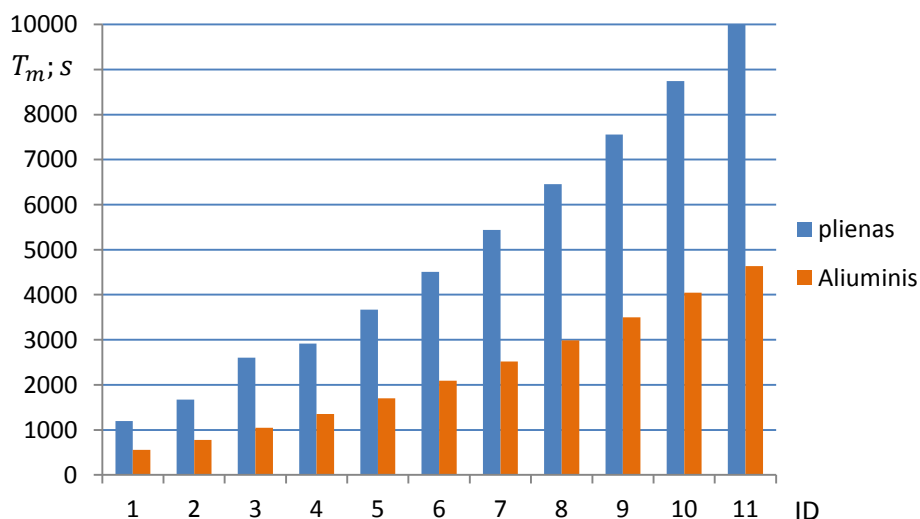
6lent. Įsigilinimo įtaka mašininiam laikui, kai kišenės skersmuo 4 kartus didesnis už frezos skersmenį

3.2 Apvalios kišenės mašininio laiko tyrimas



3.3 pav. VHM 5mm frezos mašininio laiko priklausomybė nuo metalo rūšies

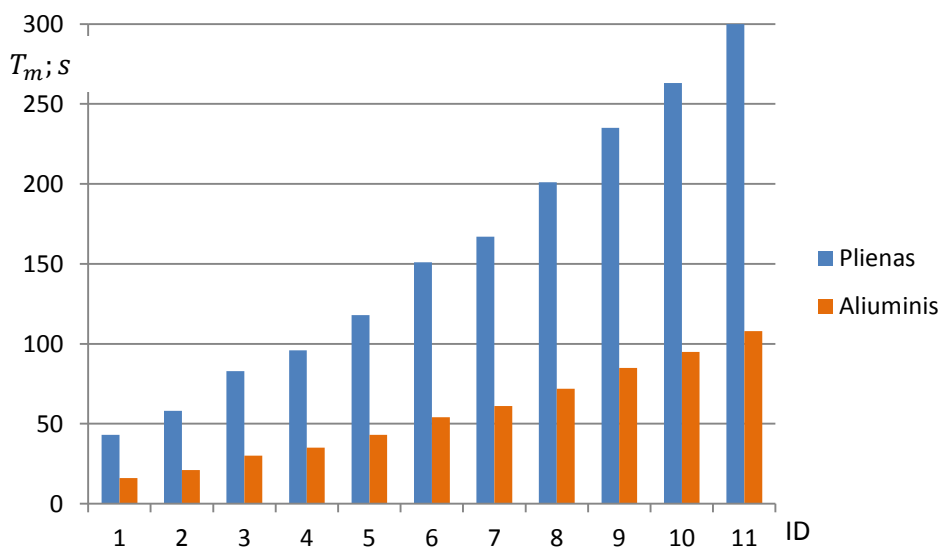
Apdirbant apvalią kišenę VHM 5 mm freza (3.3 pav.) matome jog visais atvejais aliuminį apdirbsime greičiau nei plieną dėl didesnių pjovimo režimų. Kišenę aliuminyje pagaminsime apie 3 kartus greičiau nei pliene. Apdirbimo trukmė tarp didžiausios ir mažiausios kišenės padidėja daugiau kaip 8 kartus, nors skersmuo pakito tik 3 kartus.



3.4 pav. HSS 5mm frezos mašininio laiko priklausomybė nuo metalo rūšies

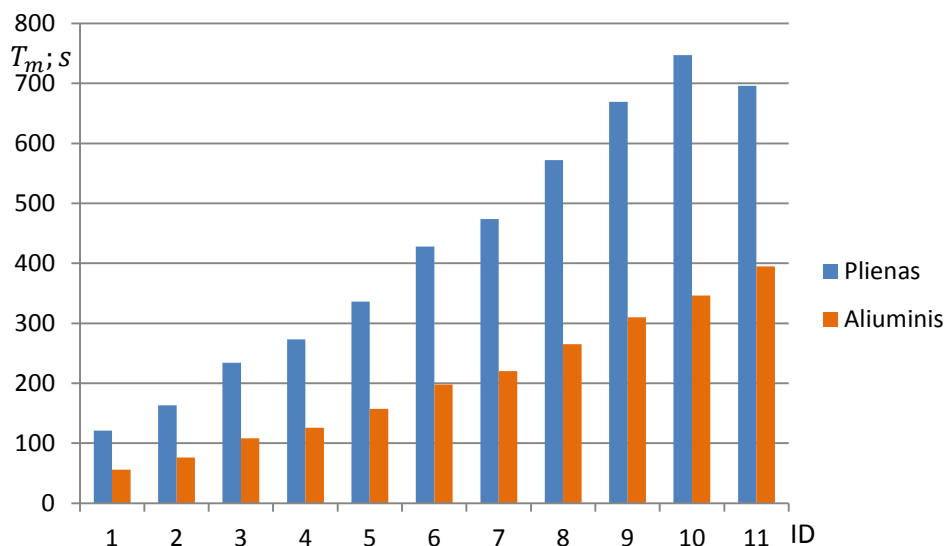
Apdirbant apvalią kišenę HSS 5 mm freza (3.4 pav.) matyti, kad aliuminį apdirbsime greičiau. Kišenę aliuminyje pagaminsime apie 2 kartus greičiau nei pliene. Apdirbimo trukmė tarp

didžiausios ir mažiausios kišenės padidėja daugiau kaip 8 kartus. Mašininis laikas kinta beveik tiesiškai.



3.5 pav. VHM 15mm frezos mašininio laiko priklausomybė nuo metalo rūšies

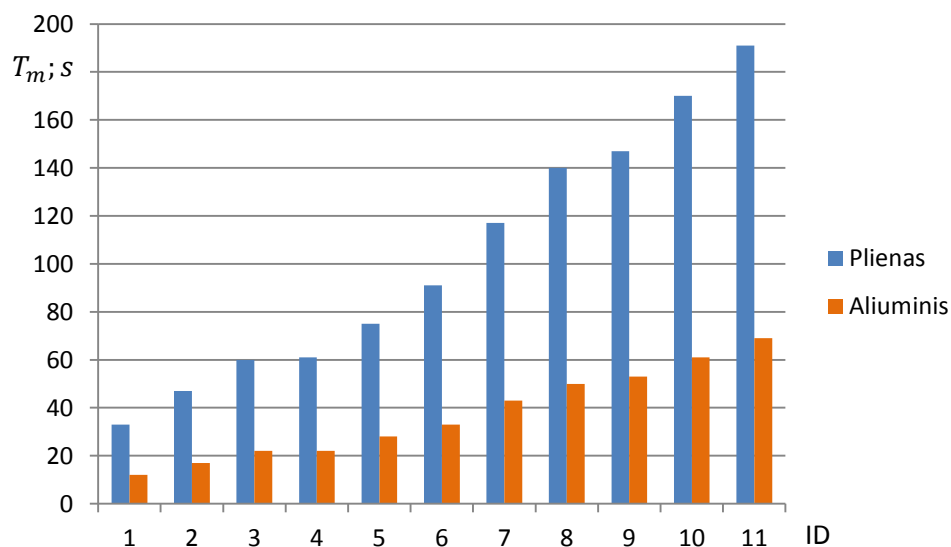
Apdirbant apvalią kišenę VHM 15 mm freza (3.5 pav.) matyti, kad, nepriklausomai nuo kišenės skermens aliuminį apdirbsime greičiau nei plieną. Mažiausią 50 mm skermens kišenę aliuminyje pagaminsime 2,5 karto greičiau nei pliene, o didžiausia atitinkamai 3 kartus.. Nepriklausomai nuo medžiagos mašininio laiko skirtumas tarp didžiausios ir mažiausios kišenės padidėja iki 7 kartų.



3.6 pav. HSS 15mm frezos mašininio laiko priklausomybė nuo metalo rūšies

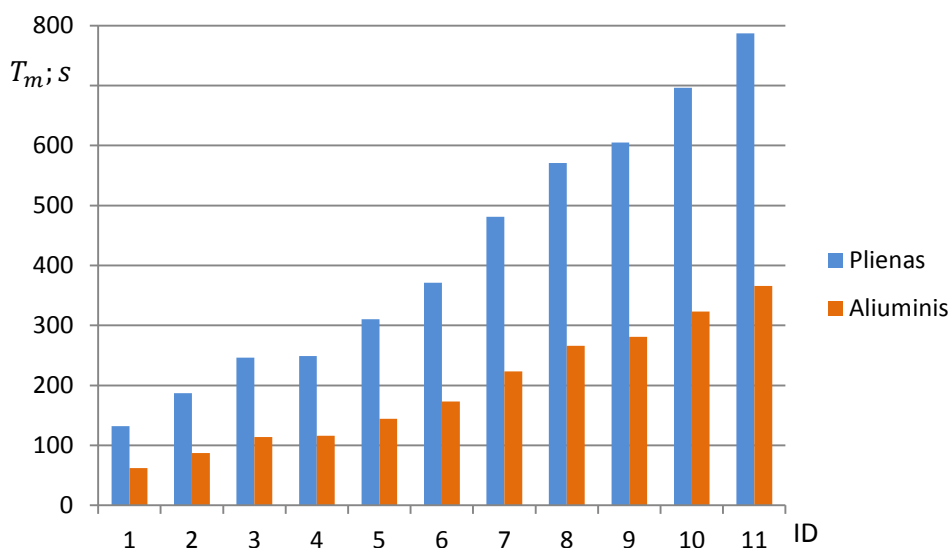
Apdirbant apvalią kišenę HSS 15 mm freza (3.6 pav.) matyti, kad didžiausias mašininis laikas yra kai kišenės skersmuo 140 mm ir apdirbamas plieną, todėl mašininis laikas šiuo atveju

kinta ne tiesiškai. Mažiausią 50 mm skersmens kišenę aliuminyje pagaminsime 2 kartus greičiau nei pliene, o didžiausia atitinkamai 1,7 karto..



3.7 pav. VHM 25mm frezos mašininio laiko priklausomybė nuo metalo rūšies

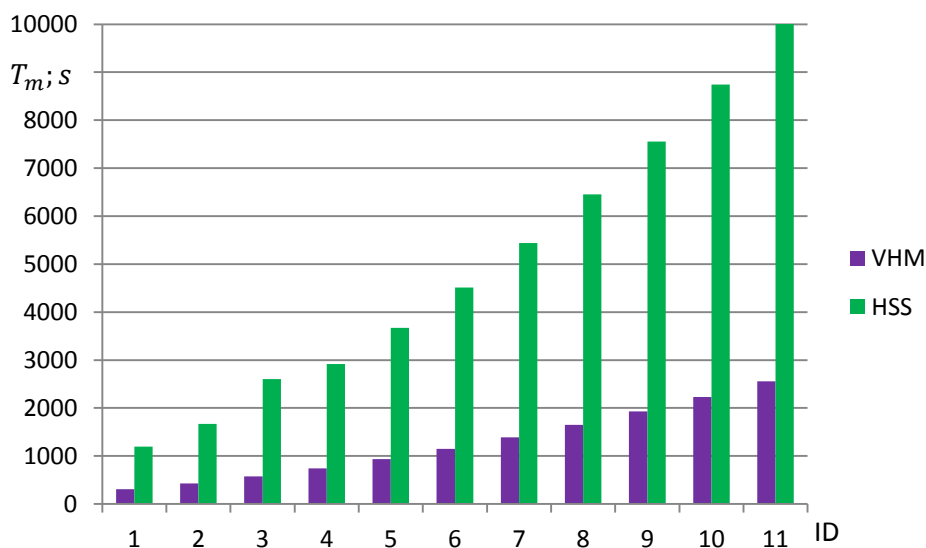
Šiuo atveju (3.7 pav.) matyti, kad dirbant VHM 25 mm skersmens freza mašininis laikas kinta netiesiškai, o apdirbimo laikas didesnės kišenės kartais tampa lygiai toks pat kaip ir mažesnės. Tai matosi grafike kai apdirbame aliuminį, o jos ID yra 3-4 (atitinkamai kišenės skersmuo 70 mm ir 80mm). Tai įvyksta dėl vienodo frezos perėjimų skaičiaus ir sutampančių žingsnių.



3.8 pav. HSS 25mm frezos mašininio laiko priklausomybė nuo metalo rūšies

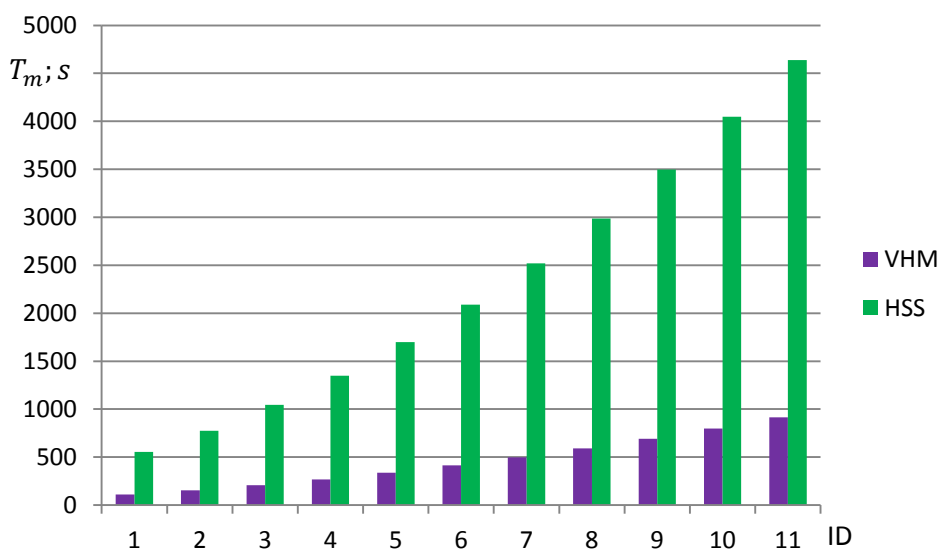
Šiuo atveju (3.8 pav.) matome, kad dirbant HSS 25 mm skersmens freza mašininis laikas kinta netiesiškai, o apdirbimo laikas (kaip ir 3.7 pav.) didesnės kišenės kartais tampa lygiai toks pat kaip ir mažesnės

Išanalizavus mašininio laiko priklausomybės nuo apdirbamos medžiagos grafikus (3.3 pav. – 3.8 pav.) , galime teikti kad visais atvejais aliuminį apdirbsime greičiau nei plieną, nepriklausomai nuo frezos medžiagos. Tai įvyksta dėl galimybės aliuminį apdirbti didesniais pjovimo režimais. Didėjant frezos skersmeniui mašininis laikas mažėja.



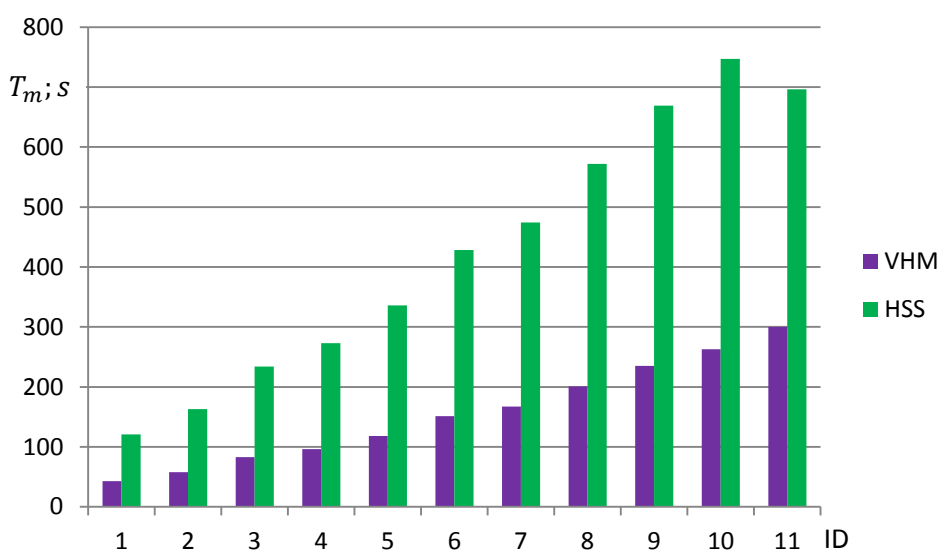
3.9 pav. 5mm frezų mašininis laikas apdirbant plieną

Apdirbdami kišenę 5 mm frezomis iš grafiko (3.9 pav. ir 3.10 pav.) matome, jog nepriklausomai nuo apdirbamos kišenės skermens visais atvejais VHM 5 mm freza kišenės apdirbsime greičiau nei HSS 5 mm freza. Apdirbant plieną mašininis laikas trumpesnis apie 4 kartus, o apdirbant aliuminį išauga net iki 5 kartų. Mašininio laiko skirtumas tarp didžiausios ir mažiausios kišenės apdirbant plieną padidėja net 8 kartais.

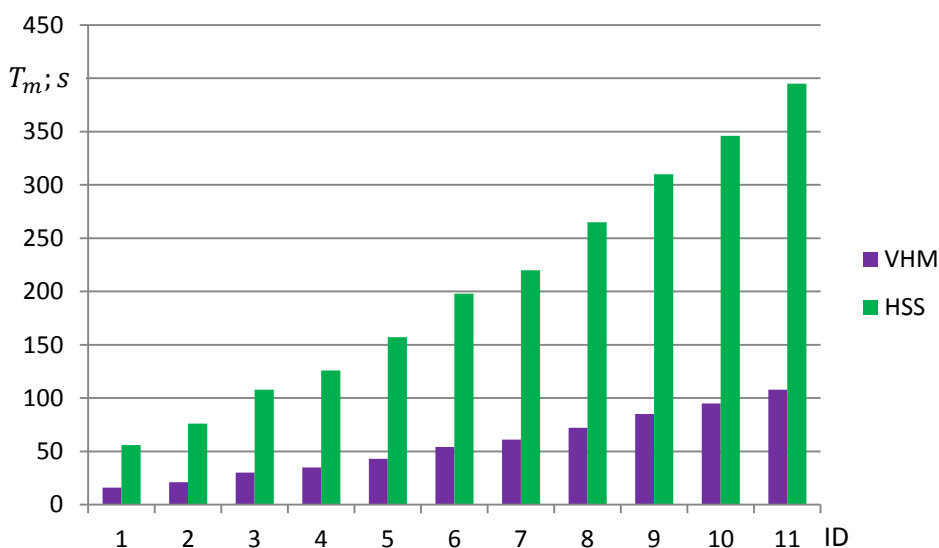


3.10 pav. 5mm frezų mašininis laikas apdirbant aliuminį

Apdirbant kišenę 15 mm frezomis iš grafiko (3.11 pav. ir 3.12 pav.) matyti, kad nepriklausomai nuo apdirbamos kišenės skermens visais atvejais VHM įrankis yra našesnis. Apdirbant plieną VHM freza mašininis laikas trumpesnis apie 3 kartus nei HSS, tačiau kai kišenės skersmuo yra 150 mm skirtumas tarp VHM ir HSS yra tik 2,2 karto. VHM freza apdirbant tą pačią medžiagą skirtumas tarp didžiausios ir mažiausios kišenės yra 7 kartai, o HSS - apie 6 kartus. To paties skermens aliumininę kišenę VHM freza pagaminsime 3 kartais greičiau nei plieninę, o HSS 2 kartais greičiau.



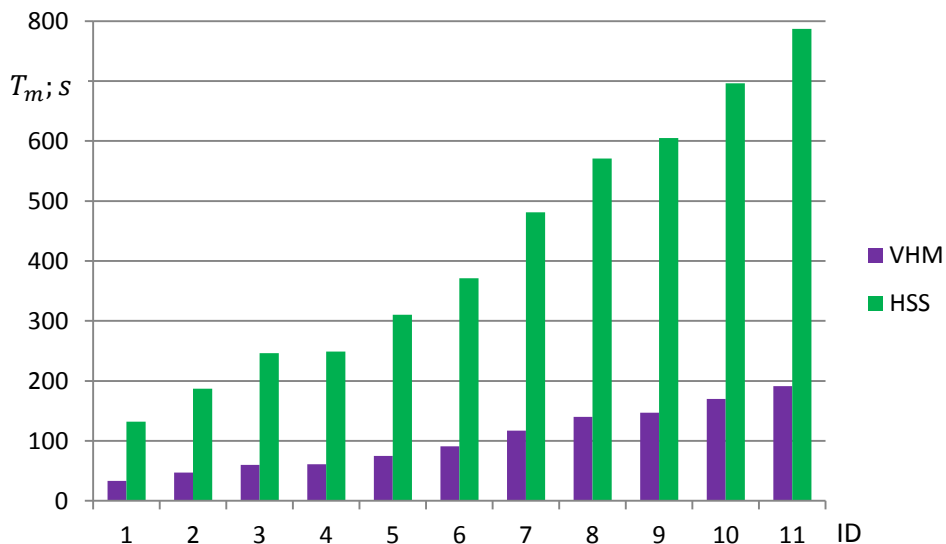
3.11 pav. 15mm frezų mašininis laikas apdirbant plieną



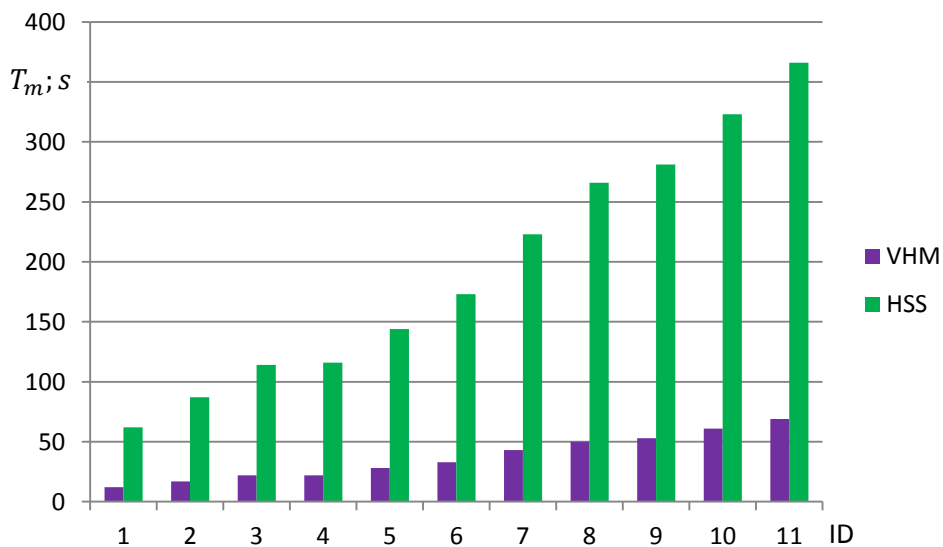
3.12 pav. 15mm frezų mašininis laikas apdirbant aliuminį

Apdirbdami kišenę 25 mm frezomis iš grafiko (3.13 pav. ir 3.14 pav.) matyti, kad kaip ir ankščiau nagrinėtais atvejais, nepriklausomai nuo apdirbamos kišenės skermens visais atvejais VHM įrankis yra našesnis. Apdirbant plieną VHM freza mašininis laikas trumpesnis apie 4 kartus nei

HSS, o aliuminį išauga net 5 kartus. VHM freza apdirbant tą pačią medžiagą skirtumas tarp didžiausios ir mažiausios kišenės mašininis laikas svyruoja 6 - 7 kartus, o HSS - apie 6 kartus. To paties skersmens aliumininę kišenę naudojant VHM freza pagaminsime 5 kartus greičiau nei naudodami HSS frezą, plieninę – 4 kartus.

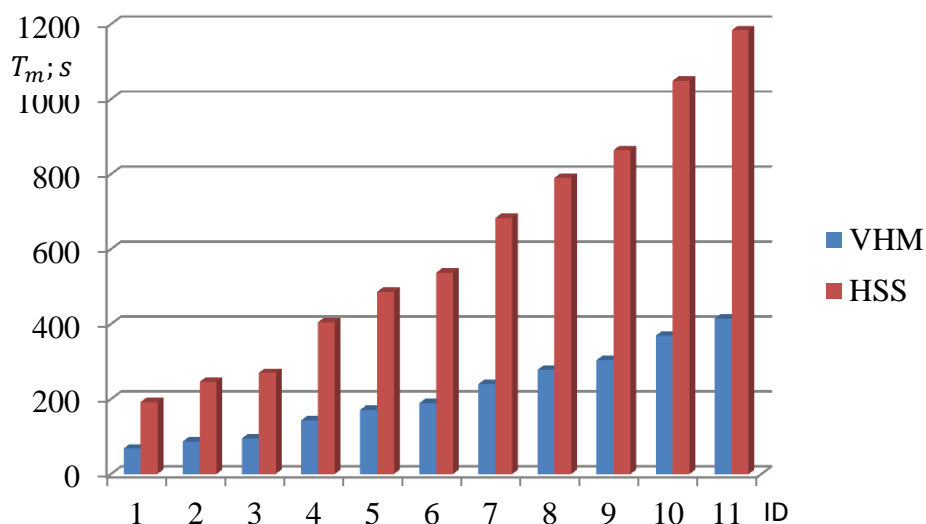


3.13 pav. 25mm frezų mašininis laikas apdirbant plieną



3.14 pav. 25 mm frezų mašininis laikas apdirbant aliuminį

3.3 Stačiakampės kišenės mašininio laiko tyrimas



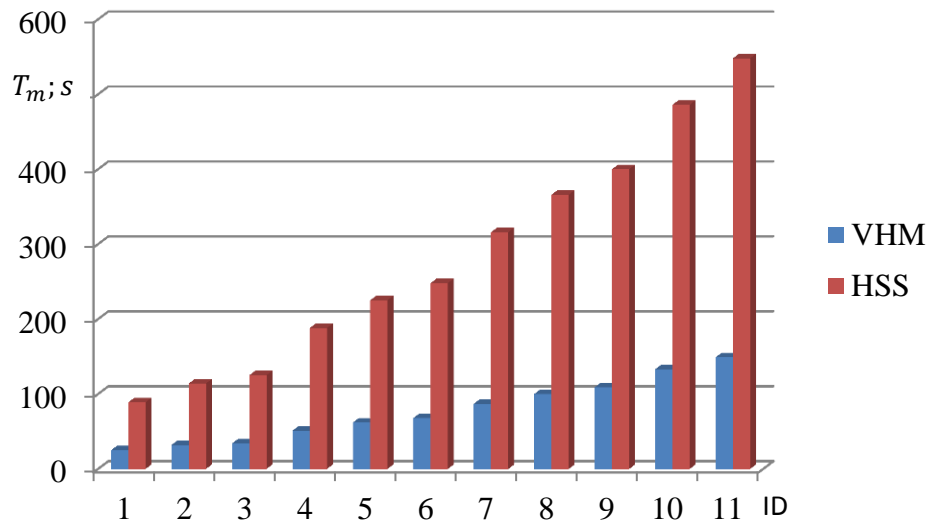
3.15 pav. Stačiakampės kišenės mašininio laiko priklausomybė nuo frezos medžiagos apdirbant 15 mm skersmens freza plieną

Iš 3.15 paveikslo matyti, kad stačiakampės kišenės, kaip ir apvalios, mašininis laikas trumpiausias dirbant su VHM frezomis. Apdirbant plienines stačiakampes kišenes su VHM 15 mm skersmens frezomis mašininis laikas svyruoja nuo 50 sekundžių mažiausiai kišeniai iki 400 sekundžių didžiausiai. Atitinkamai HSS 15 mm skersmens frezomis laikas svyruoja nuo 190 iki 1180 sekundžių. Taigi skirtumas svyruoja 3 – 4 kartus.

3.16 paveiklas parodo kad aliumininę kišenę VHM freza apdirbsime iki 3 kartų greičiau, o HSS freza - 2– 3 kartus.

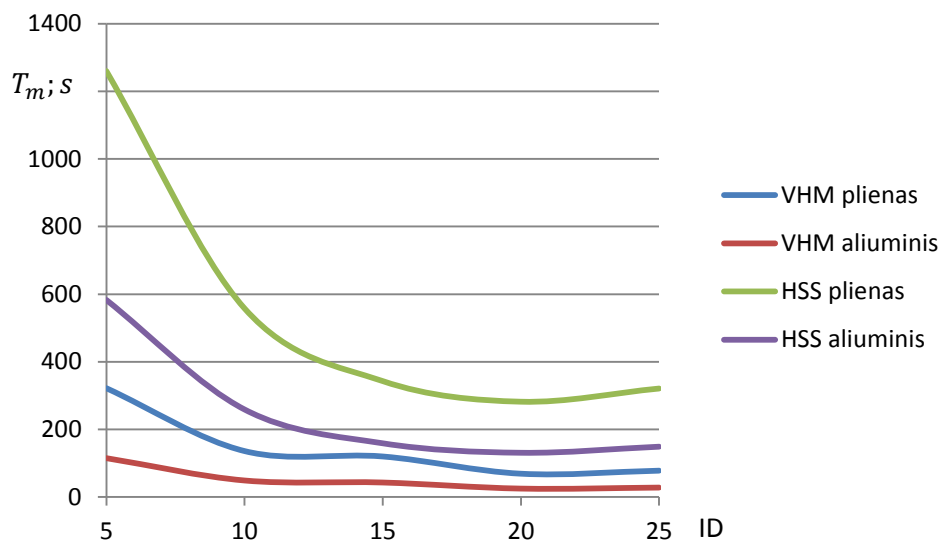
Palyginus stačiakampės (3.15 pav.- 3.16 pav.) ir apvalios (3.11 pav. ir 3.12 pav.) kišenės grafikus apdirbant 15 mm skersmens frezomis matyti, kad mašininiai laikai pagal kišenės ID yra labai panašūs. Tam įtakos turi labai panašūs išmetamos medžiagos tūriai. Todėl galima teigti kad mašininis laikas yra tiesiogiai susijęs su išmetamos medžiagos tūriu.

Dėl didelio duomenų srauto ir atrastų sąsajų panašumų su apvalia kišene, stačiakampės kišenės mašininio laiko priklausomybės nuo apdirbamo metalo rūšies, įrankio skersmens ir medžiagos nebebus nagrinėjami.



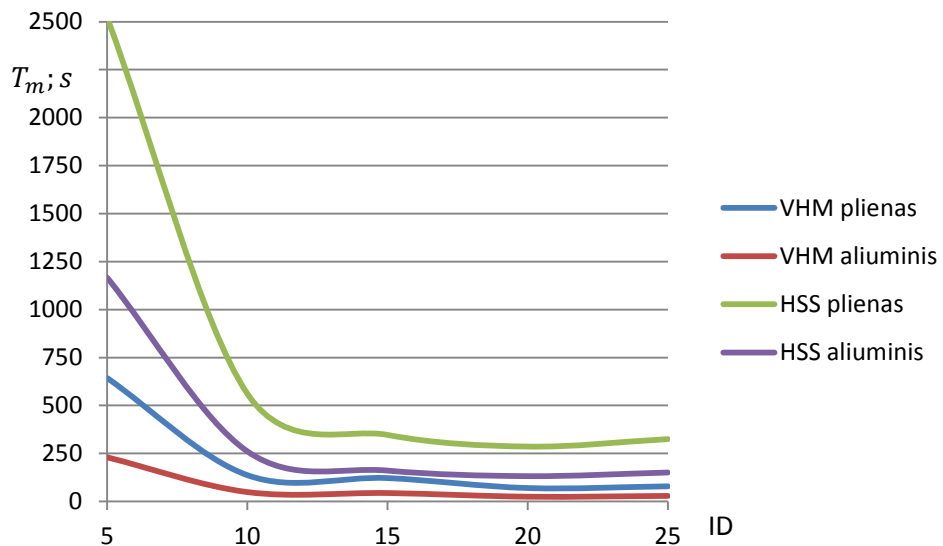
3.16 pav. Stačiakampės kišenės mašininio laiko priklausomybė nuo frezos medžiagos apdirbant 15 mm skersmens freza aliuminį

3.3 Fasoninės kišenės mašininio laiko tyrimas

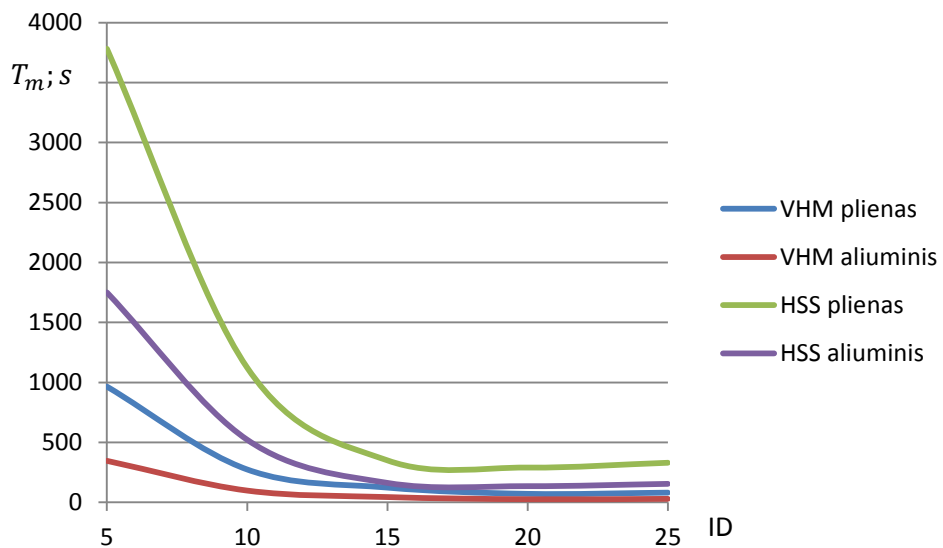


3.17 pav. Fasoninės kišenės mašininis laikas kai gylis 5 mm

Iš paveikslų 3.17 – 3.24 matyti, kad mažiausias mašininis laikas, nepaisant kokio gylio yra fasoninė kišenė, gaunamas apdirbant 20 mm ar 25 mm skersmens frezomis. Didžiausias mašininis laikas apdirbant fasoninę kišenę, kaip ir visais kitais atvejais gaunamas apdirbinėjant 5 mm skersmens frezomis.

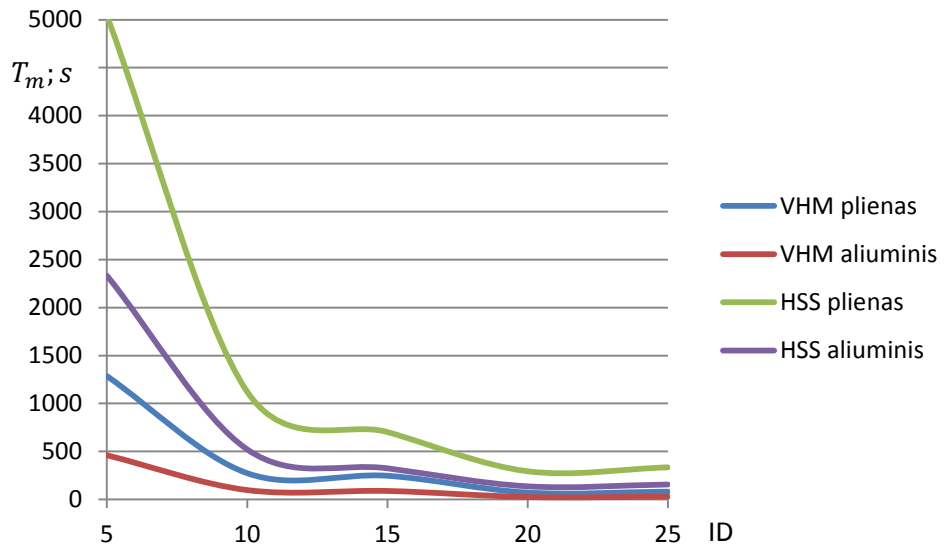


3.18 pav. Fasoninės kišenės mašininis laikas kai gylis 10 mm

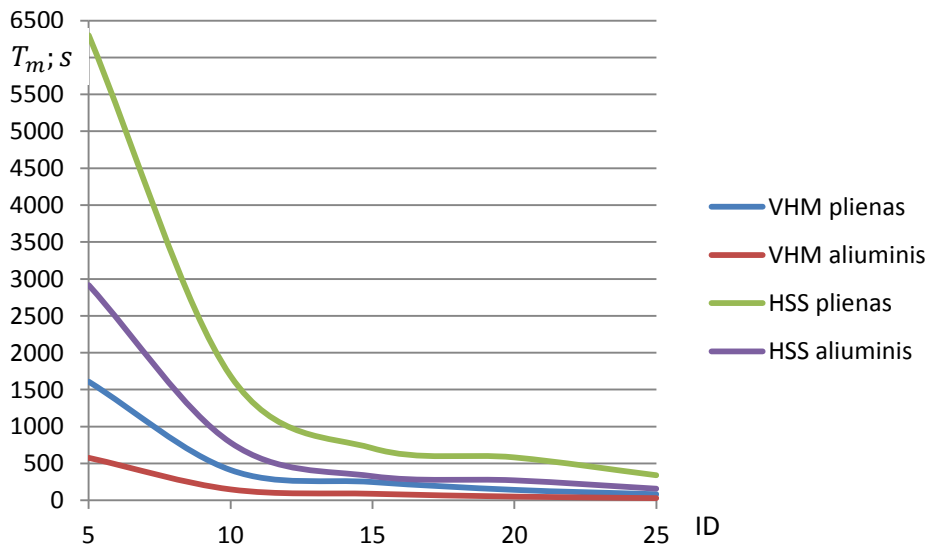


3.19 pav. Fasoninės kišenės mašininis laikas kai gylis 15 mm

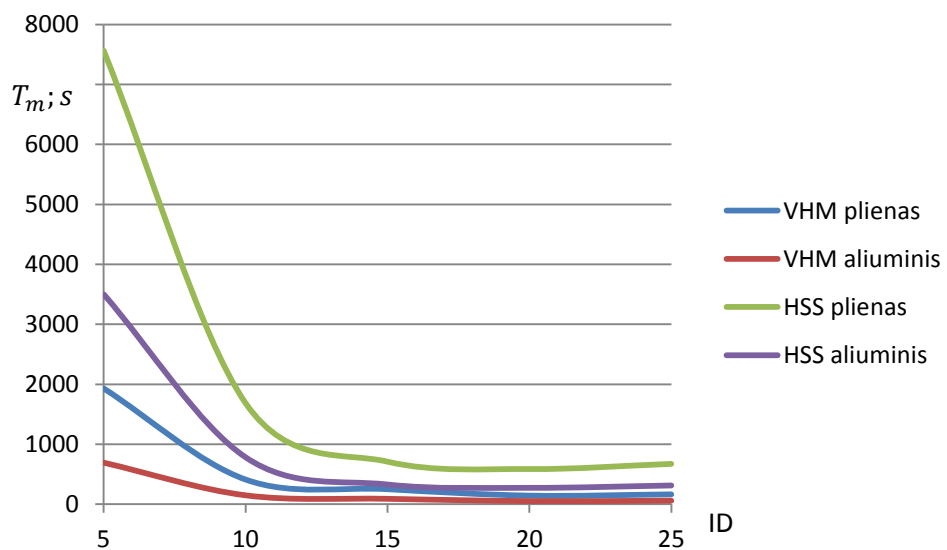
3.18 ir 3.20 paveiksle matyti, kad apdirbant fasoninę kišenę aliuminyje su VHM frezomis, mašininis laikas beveik tiesiškai vienodas, išskyrus apdirbimą 5mm freza.



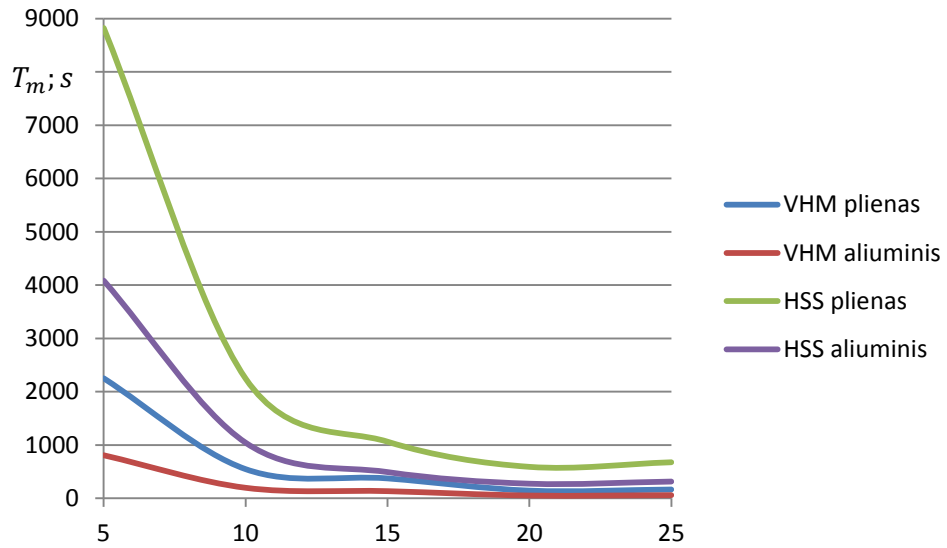
3.20 pav. Fasoninės kišenės mašininis laikas kai gylis 20 mm



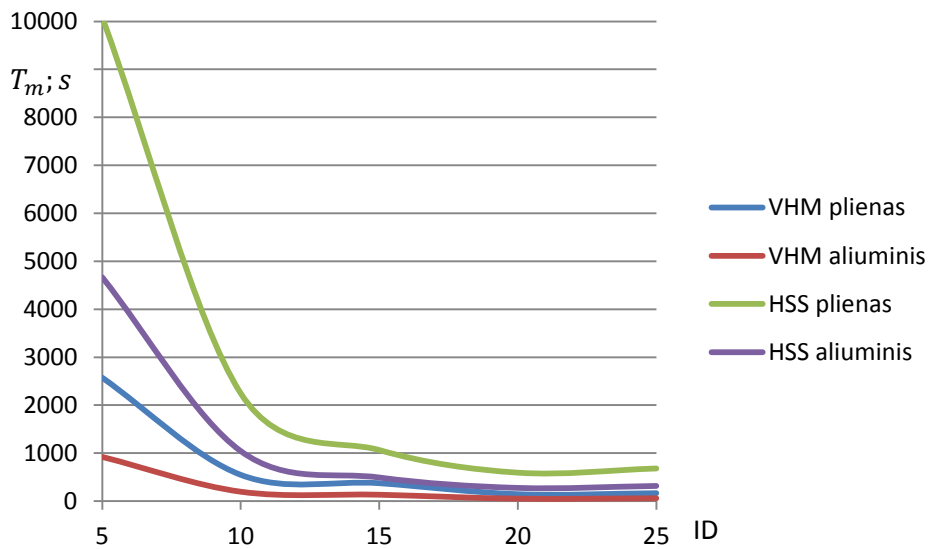
3.21 pav. Fasoninės kišenės mašininis laikas kai gylis 25 mm



3.22 pav. Fasoninės kišenės mašininis laikas kai gylis 30 mm



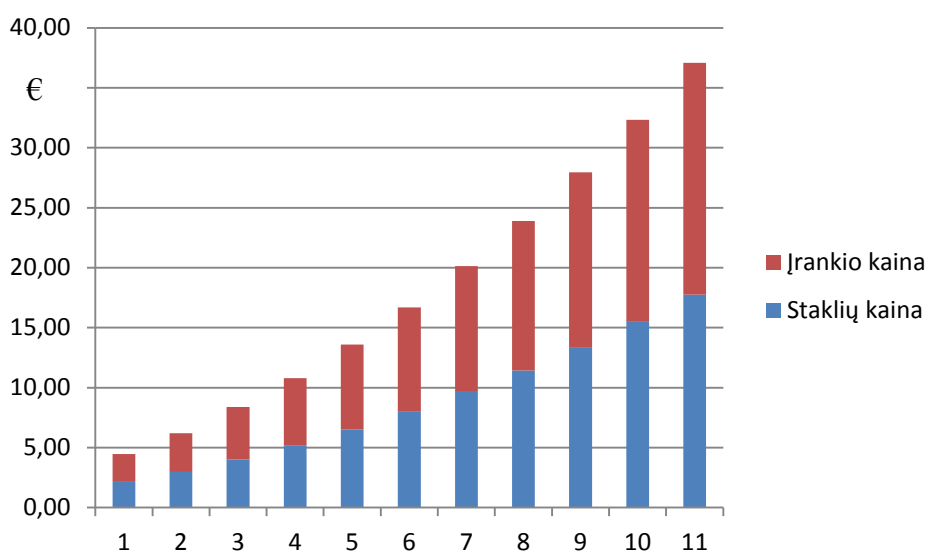
3.23 pav. Fasoninės kišenės mašininis laikas kai gylis 35 mm



3.24 pav. Fasoninės kišenės mašininis laikas kai gylis 40 mm

3.24 paveiksle matosi, kad apdirbinėjant 40 mm gylio plieninę fasoninę kišenę HSS frezomis, skirtumas tarp 5mm ir 20 skersmens frezų siekia daugiau kaip 12 kartų. Taip pat tai matyti 3.21 paveiksle.

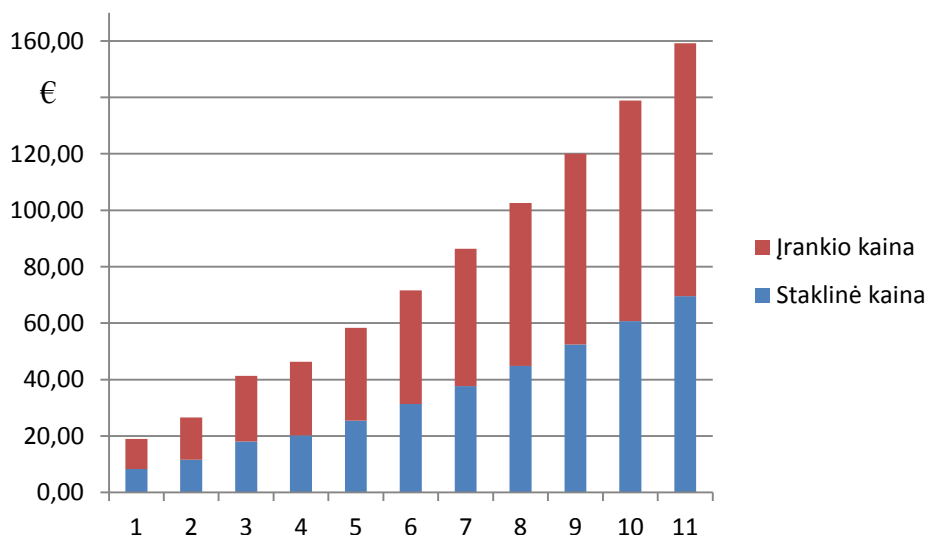
4.1 Apvalios kišenės savikainos tyrimas



4.1 pav. Apvalių kišenių, apdirbimų VHM 5 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant plieną

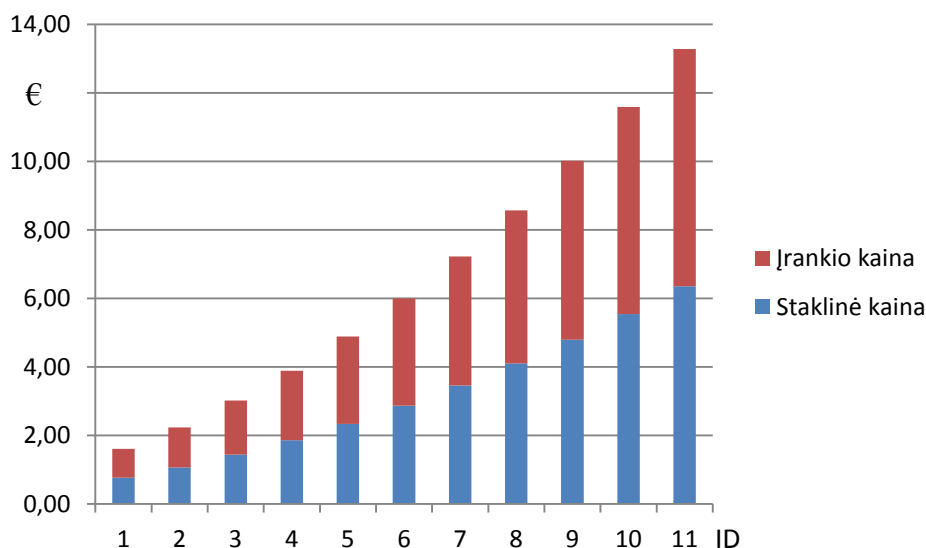
Gaminio savikainą sudaro dvi pagrindinės dalys, tai staklinė kaina ir naudojamo įrankio kaina. Kaip matyti 4.1 paveiksle apdirbant apvalę kišenę esančią pliene VHM 5 mm skersmens freza, nepriklausomai nuo kišenės gabaritinių matmenų šios dedamosios yra beveik lygios. Staklinė kaina kinta nuo 2 € (kišenės skersmuo 50 mm) iki 17,5 € (kišenės skersmuo 150 mm). Atitinkamai kišenės skersmeniui įrankio kaina kinta nuo 2,3 € iki 19 €. Bendra kišenės apdirbimo kaina svyruoja nuo 4,5 € iki 37 €.

Gaminio savikaina apdirbant tas pačias kišenes su HSS 5 mm freza (4.2 pav.), lyginant su VHM 5 mm freza išauga apie 4 kartus. Įrankio kainos dedamoji už staklinės kainos dedamąją yra apie 1,3 karto didesnė. Savikainos skirtumas tarp didžiausios ir mažiausios kišenės yra apie 9 kartus, kai VHM frezos (4.1 pav.) – 8 kartai.

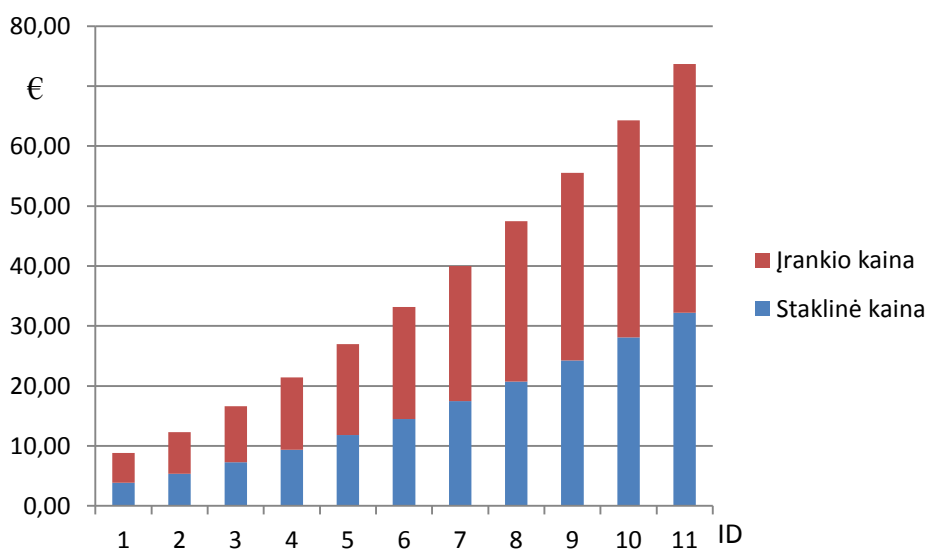


4.2 pav. Apvalių kišenių, apdirbimų HSS 5 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant plieną

Apdirbant aliuminį naudojant tokias pat frezas (4.3 pav. ir 4.4 pav.) kaip ir anksčiau aptartame variante dedamųjų santykis išlieka tas pats. Tačiau bendra savikaina apdirbant HSS frezomis sumažėja šiek tiek daugiau nei 2 kartus, o VHM frezomis – apie 2,5 karto.

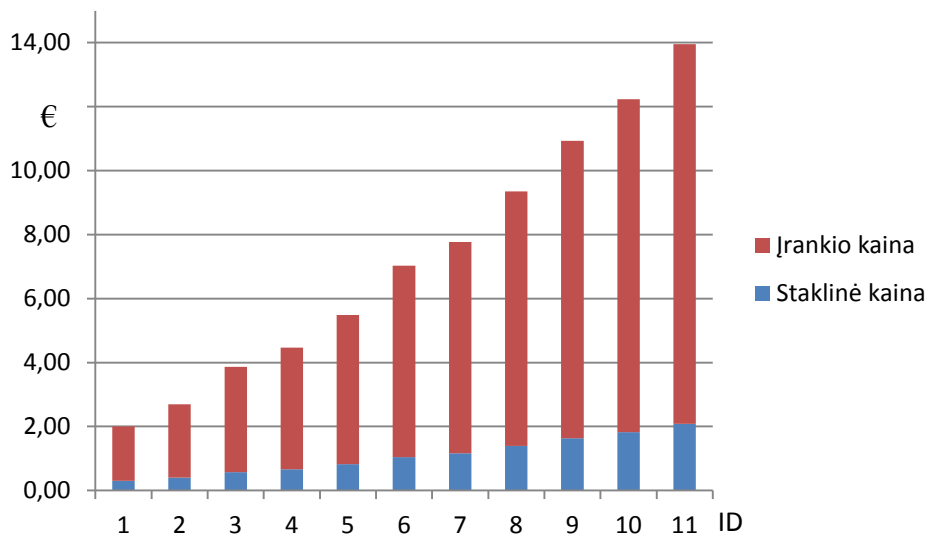


4.3 pav. Apvalių kišenių, apdirbimų VHM 5 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį



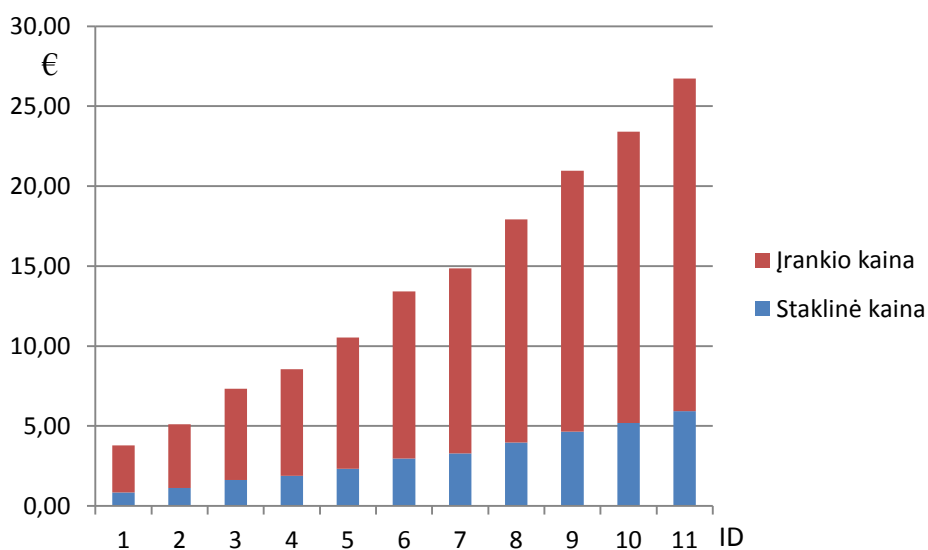
4.4 pav. Apvalių kišenių, apdirbimų HSS 5 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį

Savikainos dedamosios su 15 mm skersmens frezomis neišlieka tokios pačios kaip prieš tai nagrinėtuose variantuose su 5 mm frezomis. VHM freza apdirbant plieną (4.5 pav.) įrankio kaina yra 6 kartus didesnė nei staklinė kaina. Lyginant didžiausios ir mažiausios kišenės bendrą savikainą kainos skirtumas – 7 kartai.



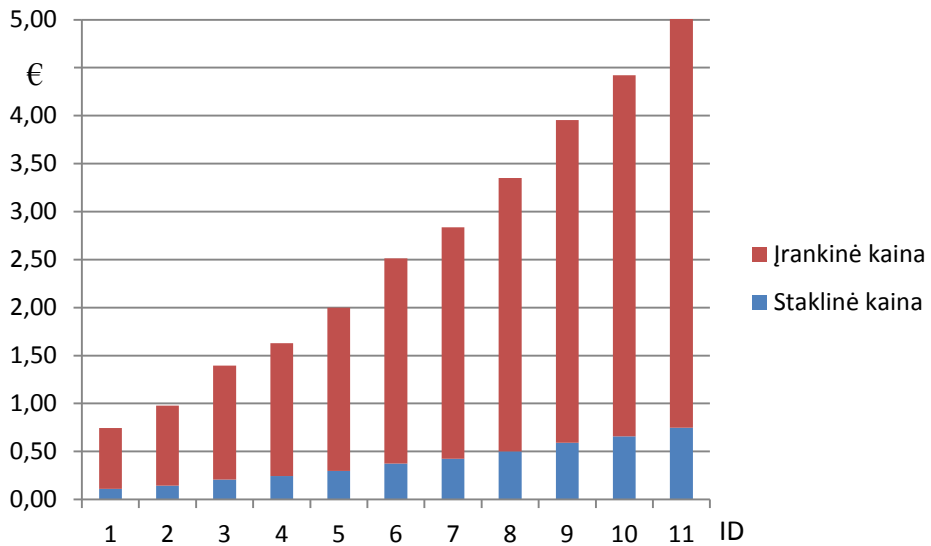
4.5 pav. Apvalių kišenių, apdirbimų VHM 15 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant plieną

HSS freza apdirbant plieną (4.6 pav.) įrankio kainos santykis su stakline kaina svyruoja tarp 4 – 6 kartų. Lyginant didžiausios ir mažiausios kišenės bendrą savikainą kainos skirtumas siekia beveik 7 kartus, tačiau lyginant su to paties skersmens VHM freza bendra savikaina išauga 2 kartus.

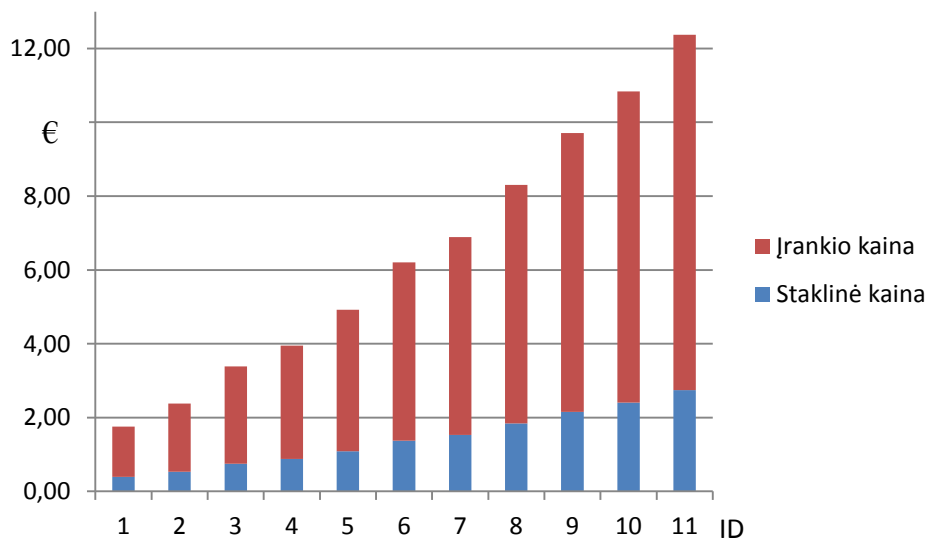


4.6 pav. Apvalių kišenių, apdirbimų HSS 15 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant plieną

Lyginant VHM ir HSS 15 mm skersmens frezas apdirbant aliuminį (4.7 pav. ir 4.8 pav.), VHM freza yra apie 2,5 karto pigesnė. Santykis bendros kainos dedamųjų apdirbant aliuminį VHM 15 mm skersmens freza (33 pav.) yra 1/6, o HSS (34 pav.) – 1/3,5.

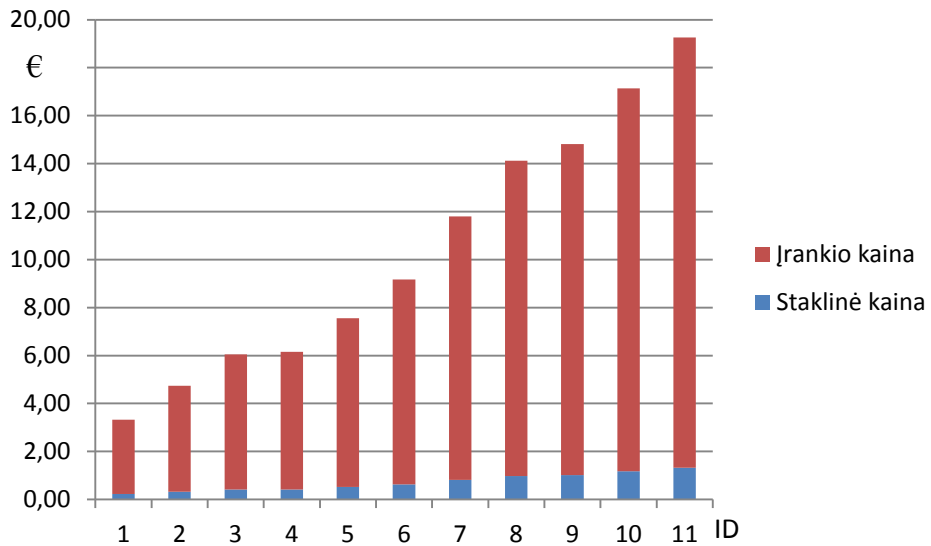


4.7 pav. Apvalių kišenių, apdirbimų VHM 15 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį



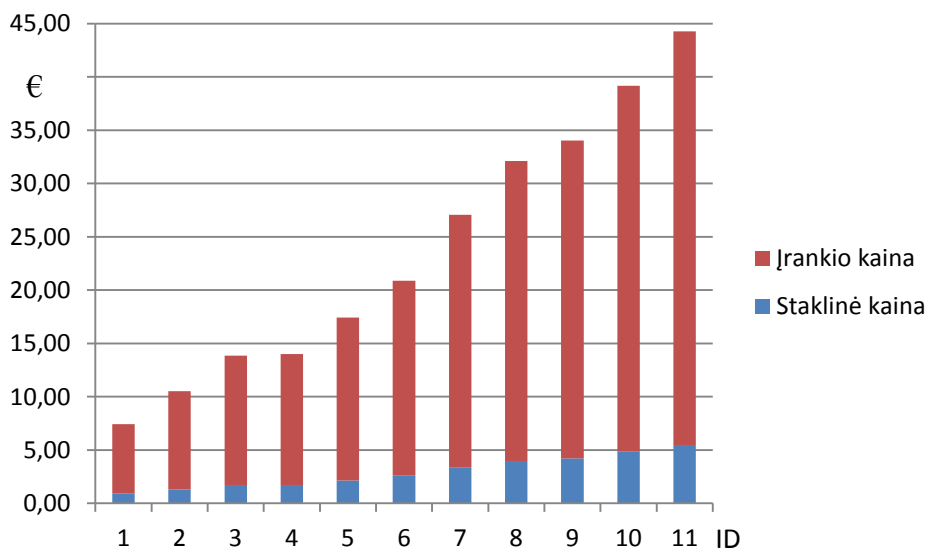
4.8 pav. Apvalių kišenių, apdirbimų HSS 15 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį

4.9 paveiksle pavaizduotas VHM 25 mm frezos savikainos dedamosios apdirbant plieną. Iš jo matome, kad įrankio kaina yra didesnė apie 13 -14 kartų už įrankio kainą. Bendra kaina svyruoja nuo 3,5 € mažiausios kišenės savikaina iki 19 € didžiausios kišenės.

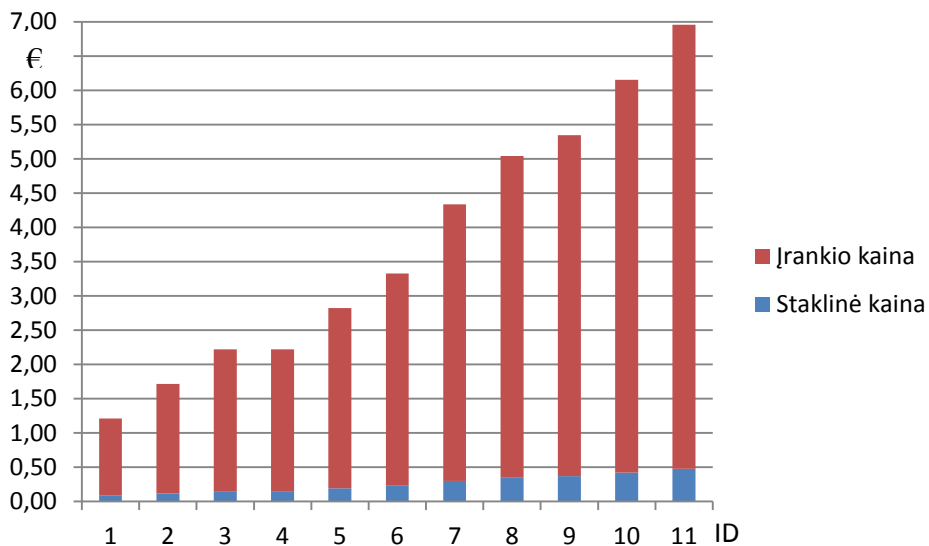


4.9 pav. Apvalių kišenių, apdirbimų VHM 25 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant plieną

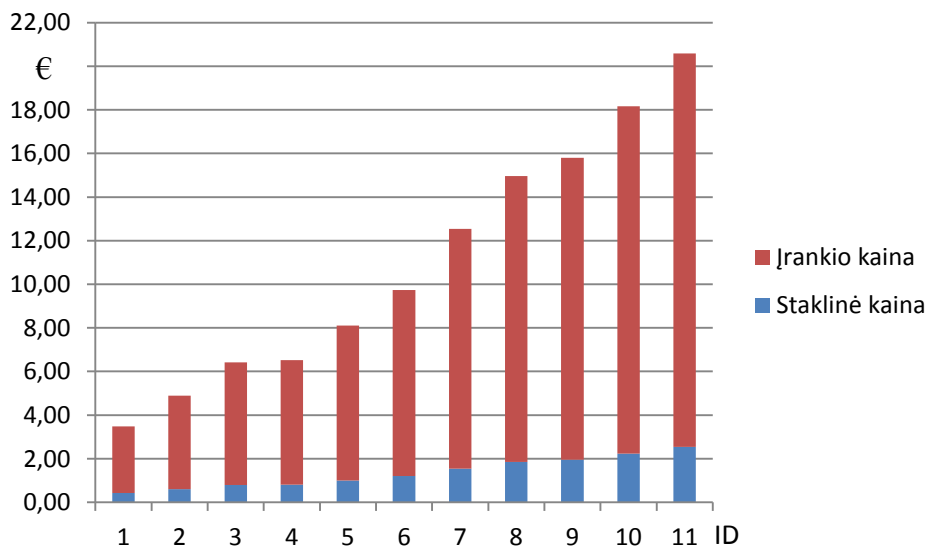
Apdirbant kišenę HSS 25 mm skersmens freza kuri yra pliene (4.10 pav.), matome kad įrankio kaina yra apie 6,5 karto didesnė už staklinę kainą. Taip pat galime pastebėti jog detalės bendra savikaina, kai kišenės skersmuo yra 70 mm ir 80 mm (atitinkamai ID 3 ir 4) yra vienoda (taip pat tai atsispindi ir 4.9 pav.). Tai įvyksta dėl vienodo perėjimo skaičiaus ir tos pačios perėjimo trajektorijos. Čia bendra savikaina svyruoja nuo 7,5 € iki 44 €.



4.10 pav. Apvalių kišenių, apdirbimų HSS 25 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant plieną



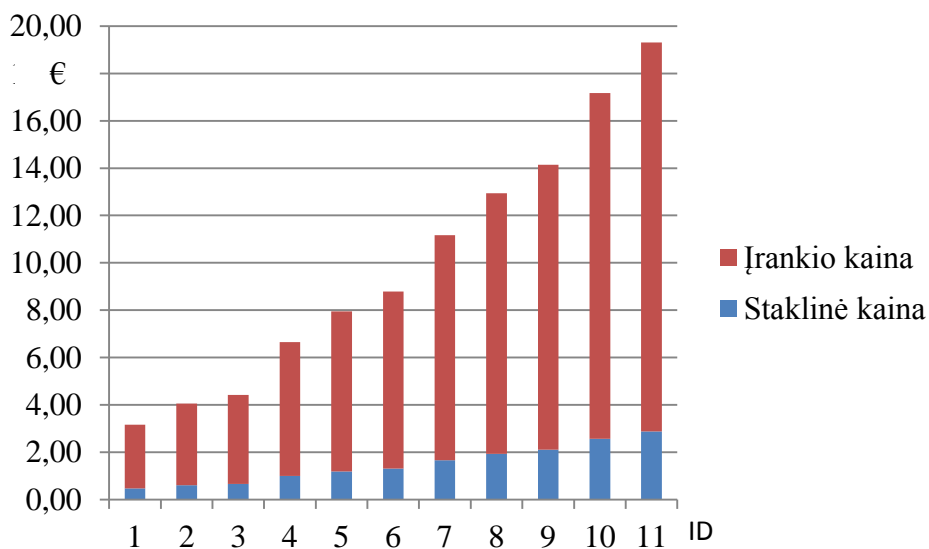
4.11 pav. Apvalių kišenių, apdirbimų VHM 25 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį



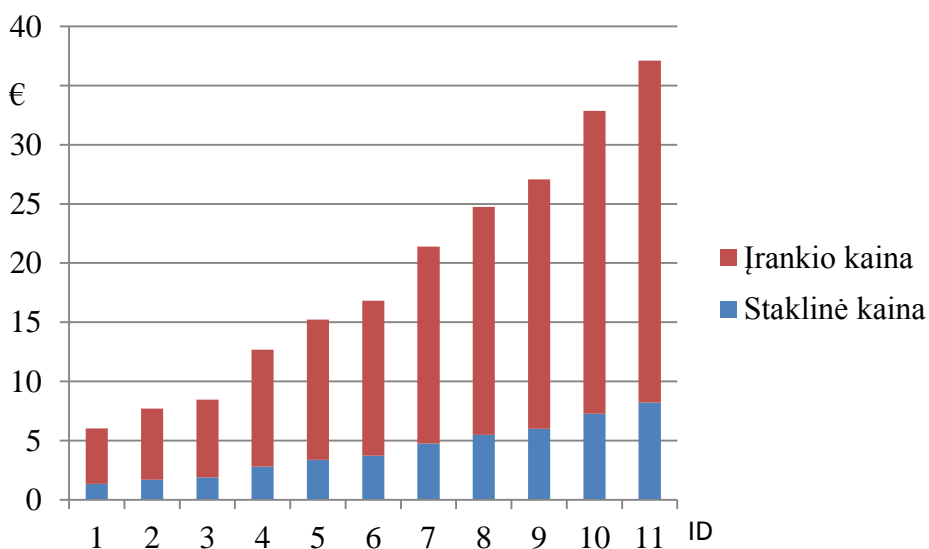
4.12 pav. Apvalių kišenių, apdirbimų HSS 25 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį

4.2 Stačiakampės kišenės savikainos tyrimas

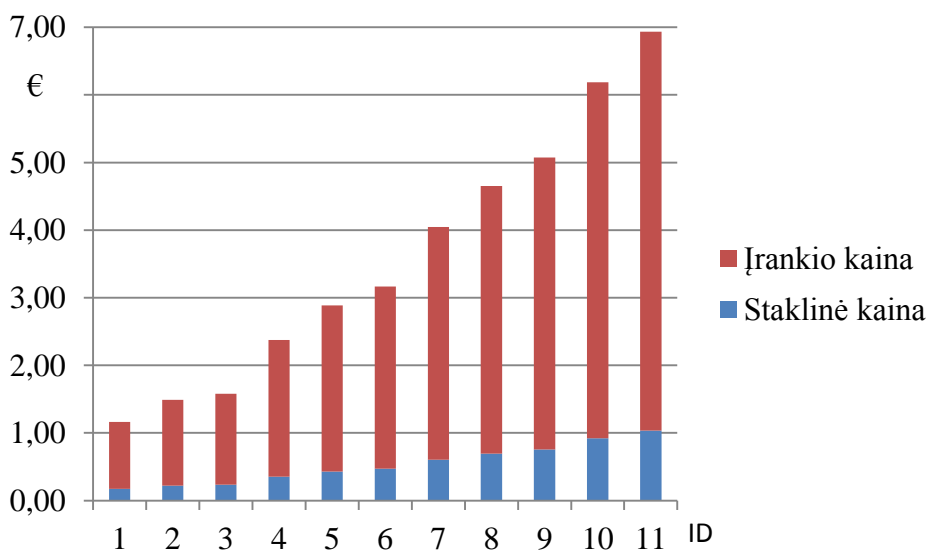
4.13- 4.16 paveiksluose galima pastebėti, kad apdirbant stačiakampes kišenes savikainos didžiąją dalį sudaro staklinė kaina. Taip pat kaip ir prieš tai nagrinėtuose variantuose, pigiausiai kišenės apdirbamos jeigu jos yra aliuminyje ir gamyba vyksta su VHM frezomis. Su VHM 15 mm skersmens freza (4.13 pav.) plienas apdirbamas iki 2 kartų pigiau nei HSS 15 mm skersmens (4.14 pav.). Ta pati situacija ir apdirbant aliuminį. VHM 15 mm freza (4.15 pav.) apdirbant kišenę savikaina 2 kartus mažesnė nei HSS 15 mm freza (4.16 pav.).



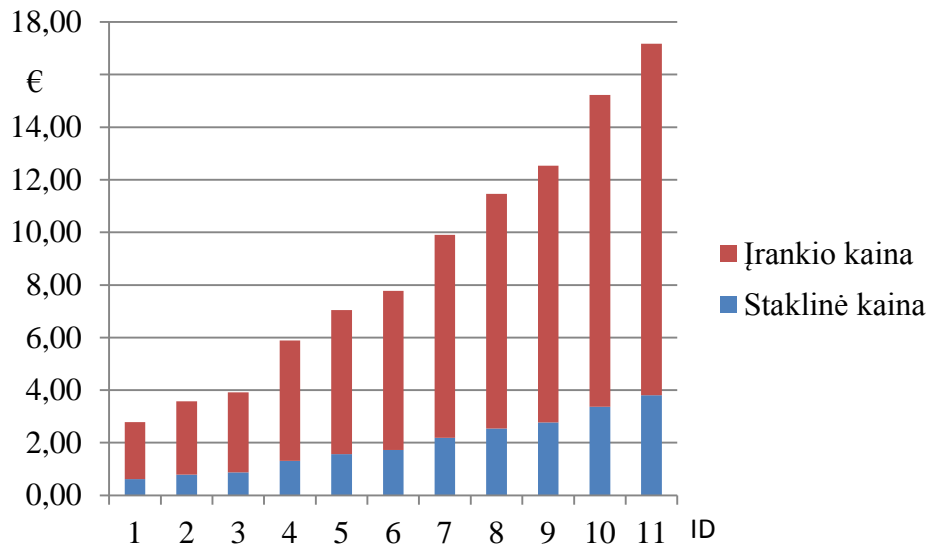
4.13 pav. Gaminio savikaina apdirbant VHM 15 mm skersmens freza plieną



4.14 pav. Gaminio savikaina apdirbant HSS 15 mm skersmens freza plieną

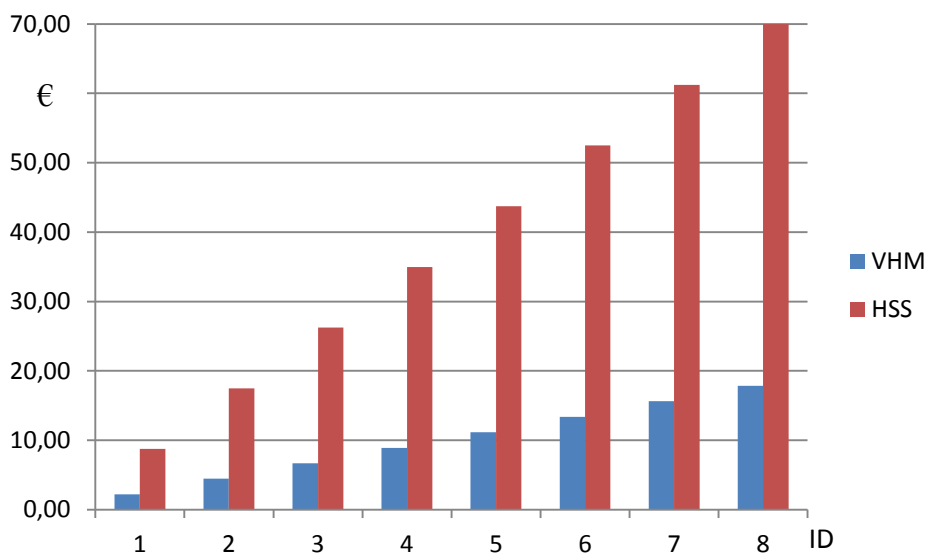


4.15 pav. Gaminio savikaina apdirbant VHM 15 mm skersmens freza aliuminį



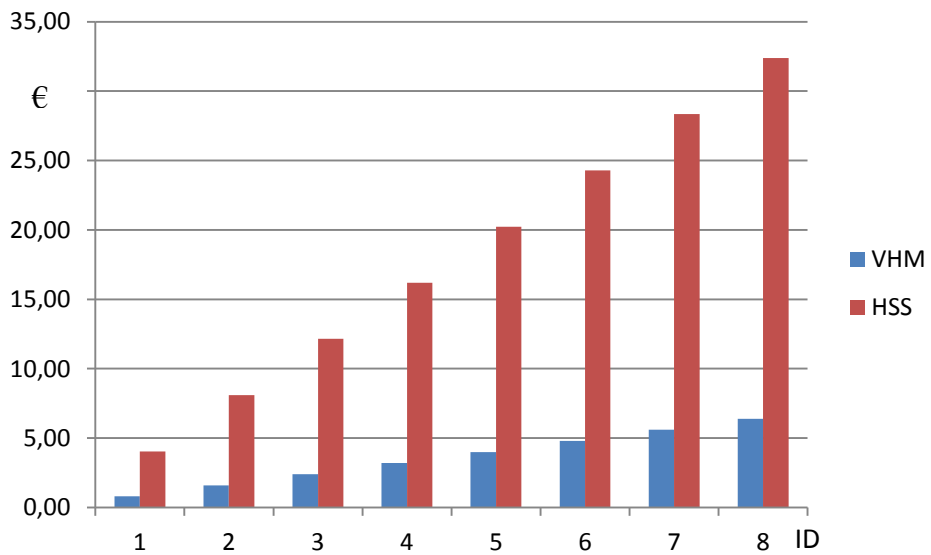
4.16 pav. Gaminio savikaina apdirbant HSS 15 mm skersmens freza aliuminį

4.3 Fasoninės kišenės savikainos tyrimas

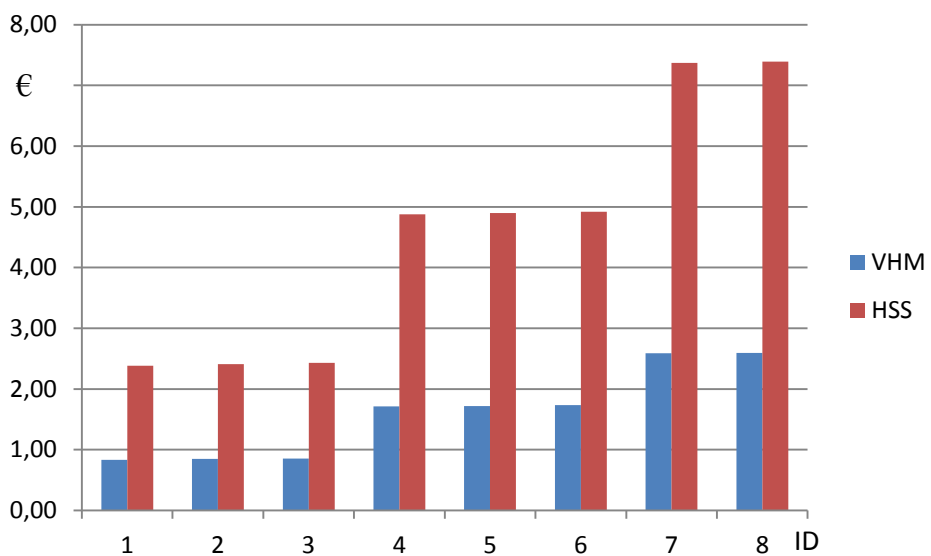


4.17 pav. Fasoninės kišenės staklinė kaina, kai frezos skersmuo 5 mm, o apdirbama medžiaga - plienas

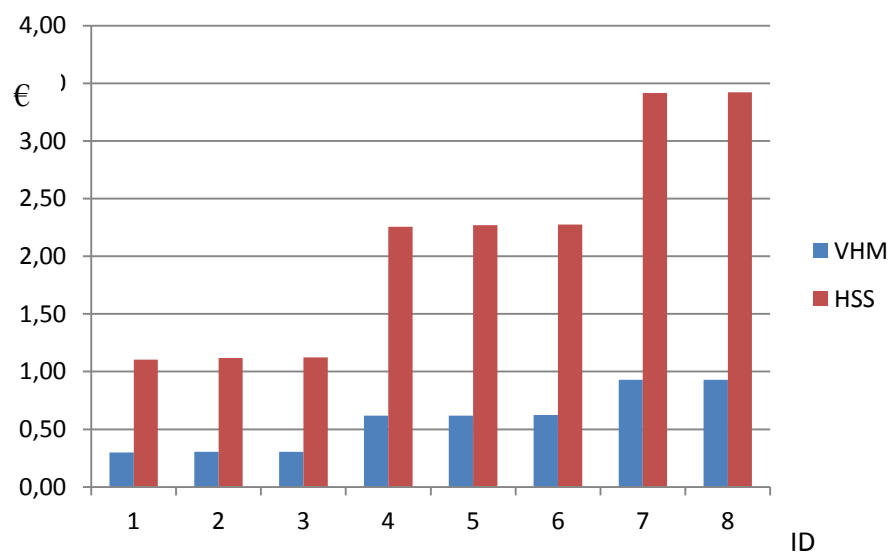
Apžvelgus 4.17 – 4.22 paveikslus, galima pastebėti, kad visais atvejais VHM frezomis apdirbant fasonines kišenes staklinė kaina 3 – 4 kartais mažesnė nei dirbant su HSS frezomis. Taip pat matyti, kad apdirbant kišenes 15 mm skersmens frezomis (4.19 pav. ir 4.2 pav.), kai jų gylis 5, 10, 15 mm staklinė kaina yra pastovi, dėl to kad 15 mm freza vienu ėjumu gali kabinti metalą tiek 5mm, tiek 10 mm ar 15 mm gyliu. Tas pats vyksta ir dirbant 25 mm skersmens frezomis (4.21 pav. – 4.22pav.).



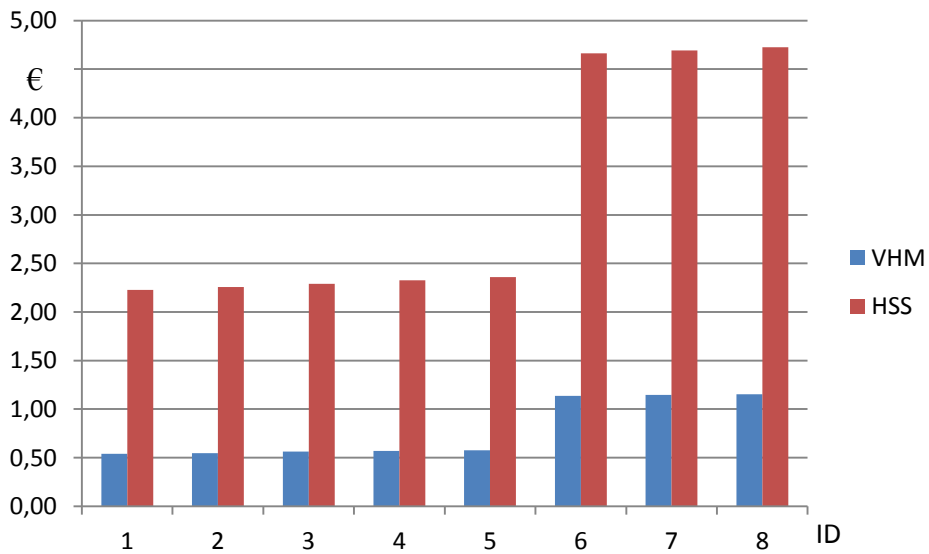
4.18 pav. Fasoninės kišenės staklinė kaina, kai frezos skersmuo 5 mm, o apdirbama medžiaga - aliuminis



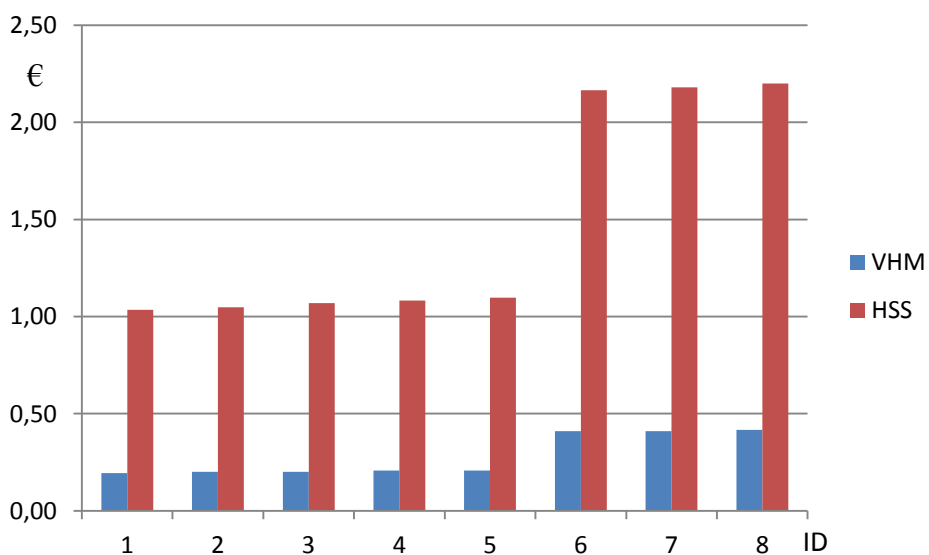
4.19 pav. Fasoninės kišenės staklinė kaina, kai frezos skersmuo 15 mm, o apdirbama medžiaga – plienas



4.20 pav. Fasoninės kišenės staklinė kaina, kai frezos skersmuo 15 mm, o apdirbama medžiaga – aliuminis

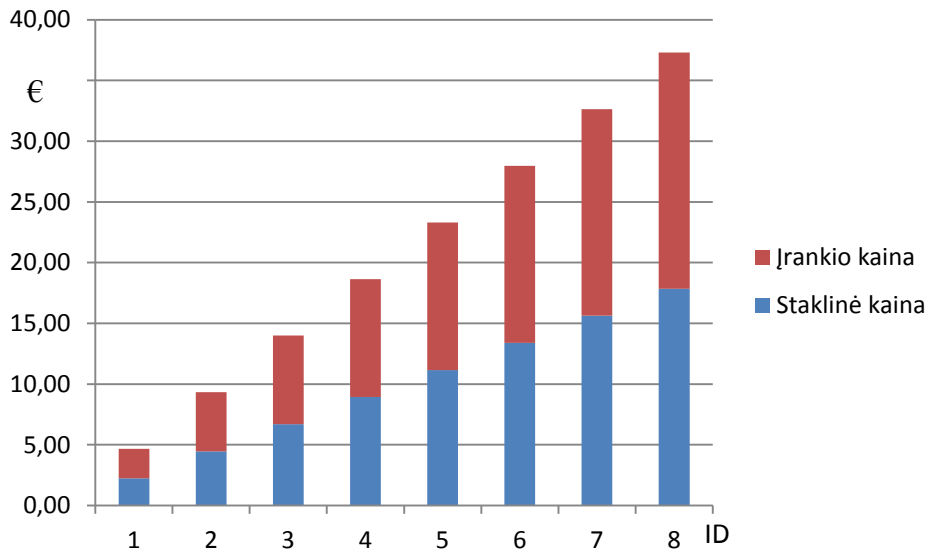


4.21 pav. Fasoninės kišenės staklinė kaina, kai frezos skersmuo 25 mm, o apdirbama medžiaga – plienas

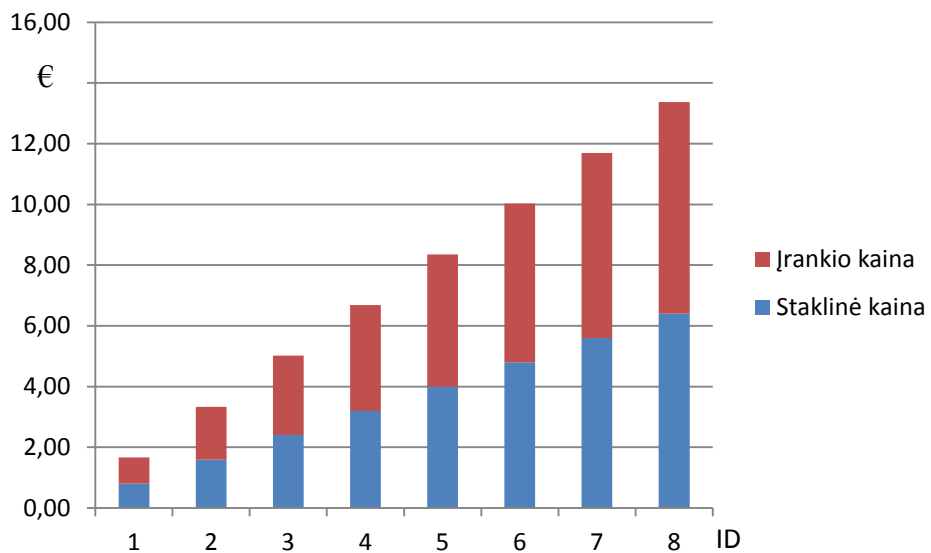


4.22 pav. Fasoninės kišenės staklinė kaina, kai frezos skersmuo 25 mm, o apdirbama medžiaga – aliuminis

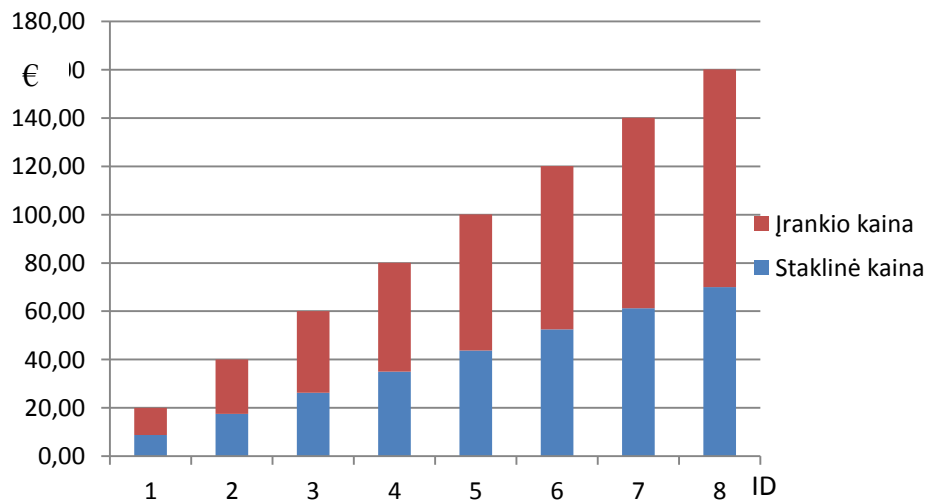
Apdirbant fasonines kišenes 5 mm frezomis staklinės kainos ir įrankio kainos dedamosios yra labia panašios (4.23 pav. – 4.26 pav.). VHM 5 mm skersmens freza plieną apdirbti yra apie 3 brangiau nei aliuminį. Aliumininės kišenės apdirbimo kaina pasirinktoms kišenėms VHM 5mm freza kainuoja nuo 1,7€ iki 16,5€ (4.24 pav.), o plieną nuo 4.6 € iki 37 € (4.23 pav.). Tuo tarpu HSS 5 mm freza aliuminyje kainuoja nuo 9 € iki 74 € (4.26 pav.), o pliene nuo 20 € iki 160 €.



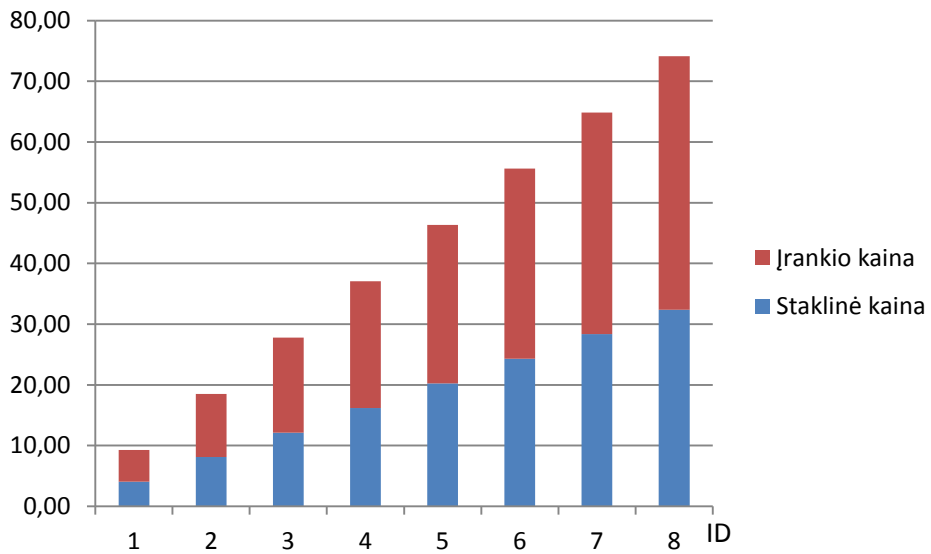
4.23 pav. Fasoninių kišenių, apdirbimų VHM 5 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant plieną



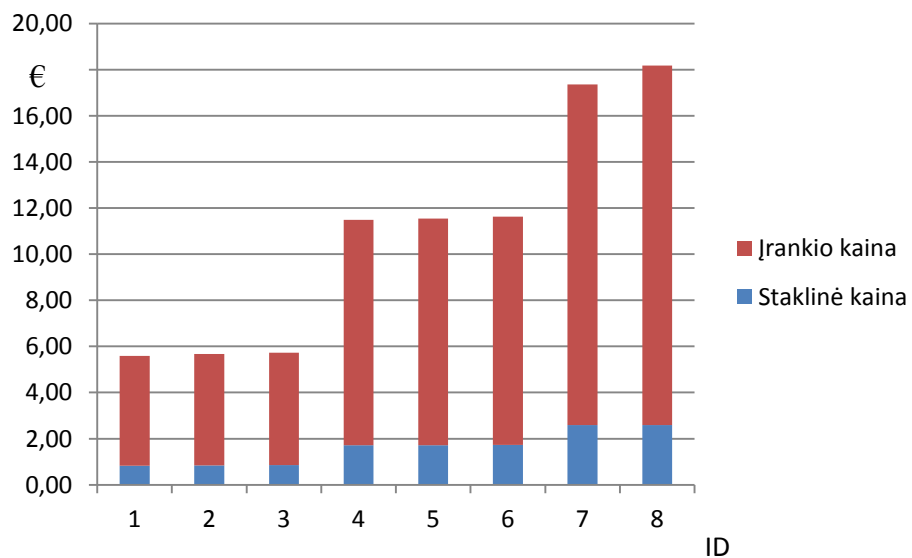
4.24 pav. Fasoninių kišenių, apdirbimų VHM 5 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį



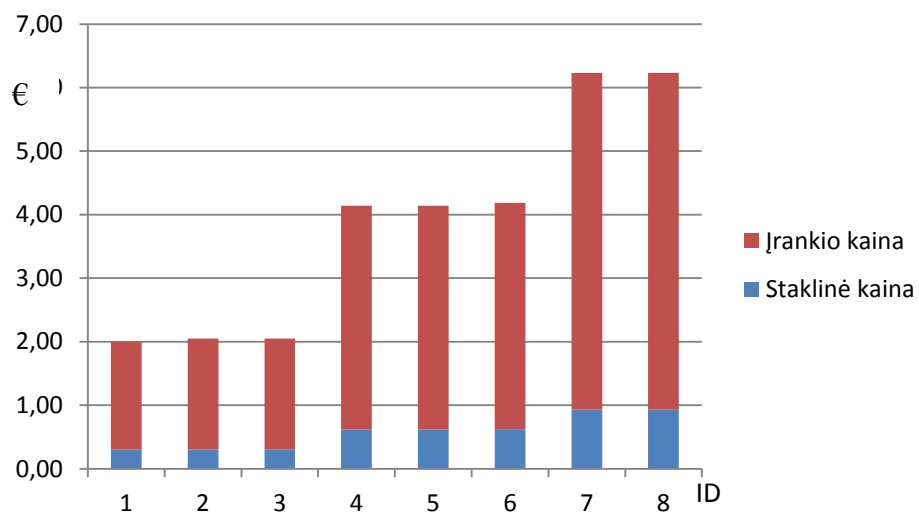
4.25 pav. Fasoninių kišenių, apdirbimų HSS 5 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant plieną



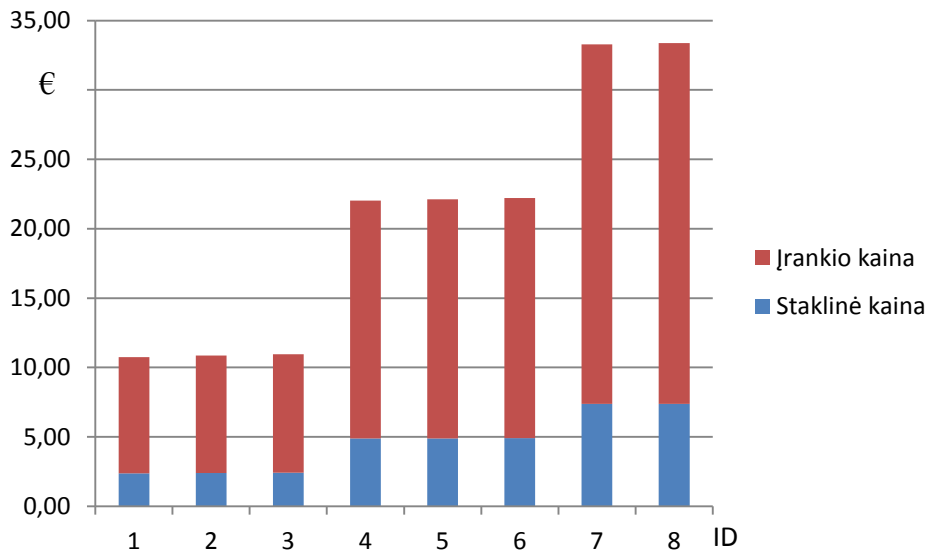
4.26 pav. Fasoninių kišenių, apdirbimų HSS 5 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį



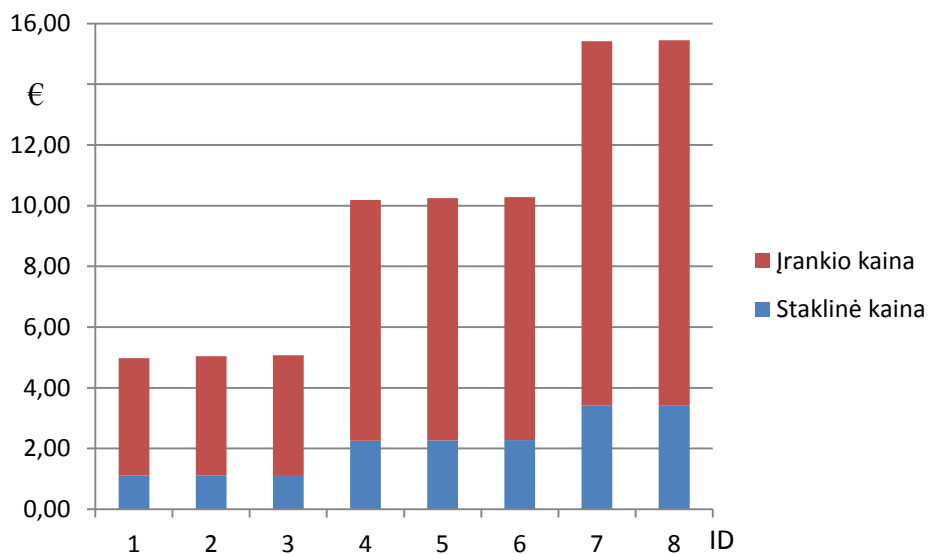
4.27 pav. Fasoninių kišenių, apdirbimų VHM 15 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant plieną



4.28 pav. Fasoninių kišenių, apdirbimų VHM 15 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį

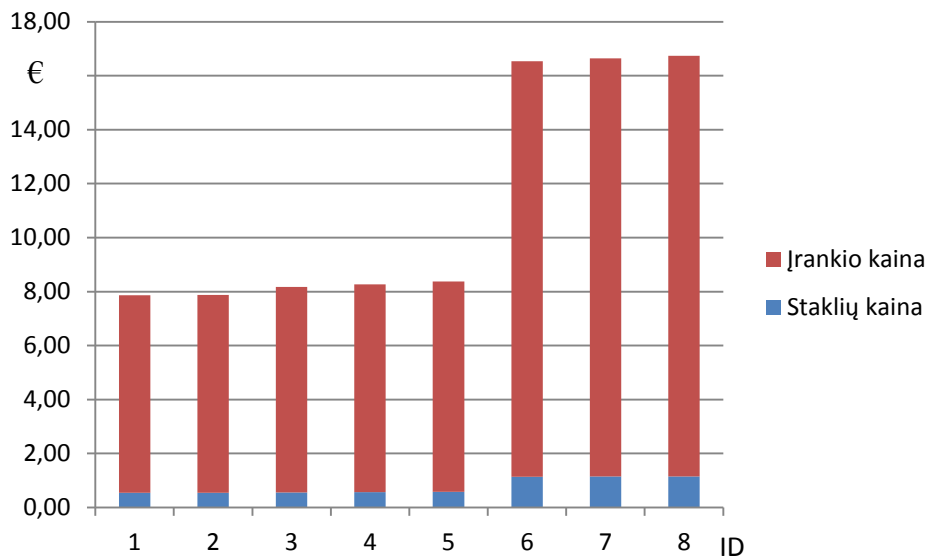


4.29 pav. Fasoninių kišenių, apdirbimų HSS 15 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant plieną

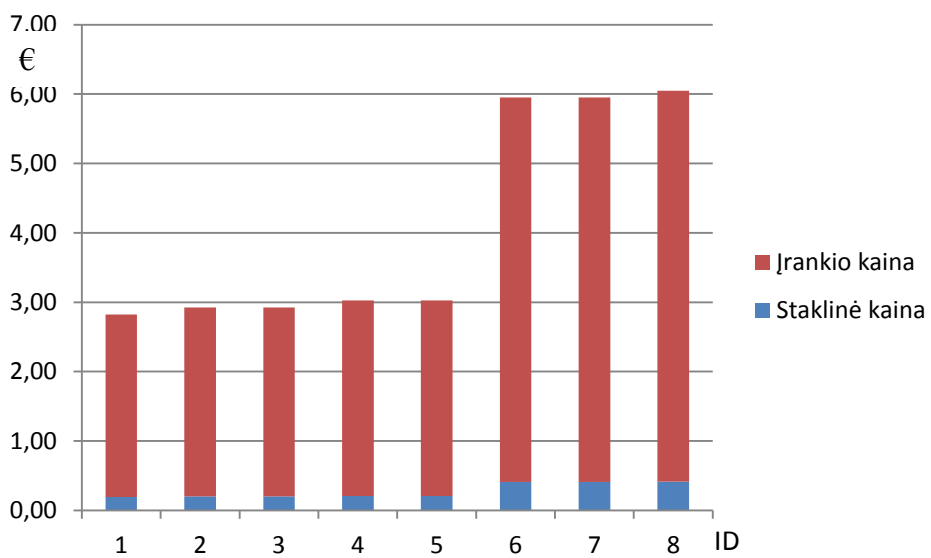


4.30 pav. Fasoninių kišenių, apdirbimų HSS 15 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį

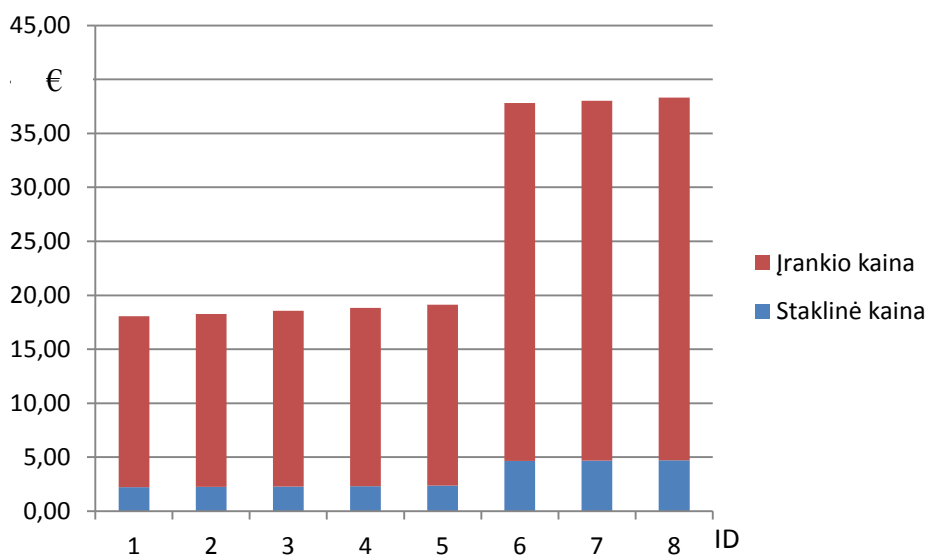
Apdirbant fasonines kišenes 15 mm frezomis staklinės kainos ir įrankio kainos dedamosios skiriasi apie 3 – 4 kartus (4.27 pav. – 4.30 pav.). VHM 15 mm skersmens freza to patie gylio kišenę pliene apdirbti yra apie 3 brangiau nei aliuminį. Aliumininės kišenės apdirbimo kaina pasirinktoms kišenėms VHM 15 mm freza kainuoja nuo 2 € iki 6 € (4.28 pav.), o plieną nuo 5,5 € iki 17 € (4.27 pav.). Tuo tarpu HSS 15 mm freza aliuminyje kainuoja nuo 5 € iki 15,5 € (4.30 pav.), o pliene nuo 11 € iki 33 €. Matyti kad skirtingo gylio kišenes su tomis pačiomis frezomis galima pagaminti už tą pačią kainą. Tai įvyksta dėl to kad su ta pačia freza galima dirbti skirtinguose gyliuose vienu praėjimu.



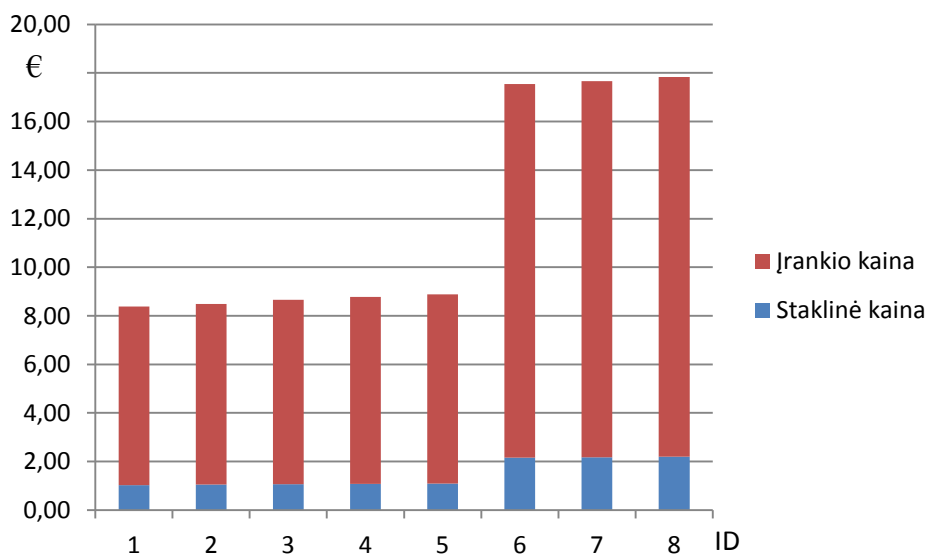
4.31 pav. Fasoninių kišenių, apdirbimų VHM 25 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant plieną



4.32 pav. Fasoninių kišenių, apdirbimų VHM 25 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį



4.33 pav. Fasoninių kišenių, apdirbimų HSS 25 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant plieną



4.34 pav. Fasoninių kišenių, apdirbimų HSS 25 mm freza savikainos dedamosios, apdirbant aliuminį

Apdirbant fasonines kišenes 25 mm frezomis staklinės kainos ir įrankio kainos dedamosios skiriasi apie 7 kartus (4.31 pav. – 4.34 pav.). VHM 25 mm skersmens freza to patie gylio kišenę pliene apdirbti yra apie 2 - 3 kartus brangiau nei aliuminį. Aliumininės kišenės apdirbimo kaina pasirinktoms kišenėms VHM 25 mm freza kainuoja nuo 2.8 € iki 6 € (4.32 pav.), o plieno nuo 8 € iki 17 € (4.31 pav.). Tuo tarpu HSS 15 mm freza aliuminyje kainuoja nuo 8 € iki 18 € (4.34 pav.), o pliene nuo 18 € iki 37 € (4.33 pav.).

IŠVADOS

1. Apdirbimo trukmės kaštai tiesiogiai skaičiuojasi nuo apdirbimo trukmės ją dauginant iš staklių valandinio įkainio. Nagrinėjant apskritiminės kišenės apdirbimo trukmės kitimą, kai kišenės skersmuo keičiasi nuo $\varnothing 50$ iki $\varnothing 150$ mm ir yra apdirbamas plienas su kietlydinio (VHM) frezomis, frezų skersmens padidėjimas nuo 5 iki 25 mm sutrumpina apdirbimo trukmę nuo 11 kartų ($\varnothing 50$ mm kišenei) iki 12 kartų ($\varnothing 150$ mm kišenei). Kai yra apdirbamas aliuminis su kietlydinio (VHM) frezomis, frezų skersmens padidėjimas nuo 5 iki 25 mm sutrumpina apdirbimo nuo 10 kartų ($\varnothing 50$ mm kišenei) iki 13 kartų ($\varnothing 150$ mm kišenei).
2. Nagrinėjant apskritiminės kišenės apdirbimo trukmės kitimą, kai kišenės skersmuo keičiasi nuo $\varnothing 50$ iki $\varnothing 150$ mm ir yra apdirbamas plienas su greitapjovio plieno (HSS) frezomis, frezų skersmens padidėjimas nuo 5 iki 25 mm sutrumpina apdirbimo trukmę nuo 7 kartų ($\varnothing 50$ mm kišenei) iki 13 kartų ($\varnothing 150$ mm kišenei). Kai yra apdirbamas aliuminis su greitapjovio plieno (HSS) frezomis, frezų skersmens padidėjimas nuo 5 iki 25 mm sutrumpina apdirbimo nuo 10 kartų ($\varnothing 50$ mm kišenei) iki 12,5 karto ($\varnothing 150$ mm kišenei). Analogiškai ir pasikeistų apdirbimo trukmės kaštai.
3. Padidinus frezos skersmenį nuo 5 mm iki 25 mm – frezos skersmuo padidėja 5 kartus. Apdirbant apskritiminę kišenę toks taikytinos frezos skersmens padidėjimas apdirbimo trukmę ir atitinkamai apdirbimo trukmės kaštus sumažina vidutiniškai nuo 10 iki 12 kartų. Mažo skersmens frezų panaudojimas 10 kartų didesnio skersmens kišenės apdirbimui, savaime suprantama, nėra racionalus sprendimas. Didelio skersmens frezos leidžia sumažinti apdirbimo trukmę, tačiau išauga įrankių kaštų dedamoji be to kietlydinio pirštinių frezų atveju vientisinės frezos, kurios gaminamos serijiniu būdu, būna tik iki 25 mm skersmens. Didesnių skersmenų frezų atveju bus naudojamos frezos su daugiabriaunėmis keičiamomis plokštelėmis. Taigi, apskritimėms kišenėms, kurių skersmenys varijuoja nuo 50 iki 150 mm, o gylis neviršija pirštinių frezų galimos darbinės dalies ilgio, racionalu naudoti vidutinio skersmens pirštines frezas, t. y. 15 mm skersmens frezas.
4. Nagrinėjant apskritiminės kišenės apdirbimo trukmės kitimą, kai kišenės skersmuo keičiasi nuo $\varnothing 50$ iki $\varnothing 150$ mm ir yra apdirbamas plienas su $\varnothing 5$ mm skersmens pirštine freza, naudojant kietlydinio (VHM) frezą apdirbimo trukmė trumpesnė nuo 3,1 karto mažiausios kišenės atveju (50 mm skersmuo) iki 3,9 karto didžiausios kišenės atveju (150 mm skersmuo) lyginant su greitapjovio plieno (HSS) freza. Kai yra apdirbamas plienas su $\varnothing 25$ mm skersmens pirštine freza, naudojant kietlydinio (VHM) frezą apdirbimo trukmė trumpesnė nuo 4,7 karto mažiausios kišenės atveju (50 mm skersmuo) iki 3,9 karto didžiausios kišenės atveju (150 mm skersmuo) lyginant su greitapjovio plieno (HSS) freza.
5. Nagrinėjant apskritiminės kišenės apdirbimo trukmės kitimą, kai kišenės skersmuo keičiasi nuo $\varnothing 50$ iki $\varnothing 150$ mm ir yra apdirbamas aliuminis su $\varnothing 5$ mm skersmens pirštine freza, naudojant kietlydinio (VHM) frezą apdirbimo trukmė trumpesnė nuo 5 kartų mažiausios kišenės atveju (50 mm skersmuo) iki 5,2 karto didžiausios kišenės atveju (150 mm skersmuo) lyginant su greitapjovio plieno (HSS) freza. Kai yra apdirbamas aliuminis su $\varnothing 25$ mm skersmens pirštine freza, naudojant kietlydinio (VHM) frezą apdirbimo trukmė trumpesnė nuo 5 kartų mažiausios kišenės atveju (50 mm skersmuo) iki 5,4 karto didžiausios kišenės atveju (150 mm skersmuo) lyginant su greitapjovio plieno (HSS) freza.
6. Naudojant našesnius įrankius – pirštines frezas iš kietlydinio (VHM) lyginant su greitapjovio plieno (HSS) frezomis, galima paspartinti apskritiminių kišenių apdirbimą nuo 3 iki 3,9 karto apdirbant plieną ir apie kartus apdirbant aliuminį.
7. Apdirbant stačiakampes kišenes, kurių vidurinis gabaritinis matmuo kinta analogiškai apskritiminių kišenių skersmeniui. Stebimos analogiškos apdirbimo trukmės ir, atitinkamai,

apdirbimo trukmės kaštų tendencijos. Skirtumas atsiranda dėl stačiakampės kišenės kampų suapvalinimo spindulių. Jei kampų užapvalinimo spinduliai yra mažesni negu pirštinės frezos spindulys, todėl tenka naudoti papildomai mažesnio skersmens pirštines frezas, o tai automatiškai ilgina tokių stačiakampių kišenių apdirbimą ir didina apdirbimo trukmės kaštus, nors įrankių kaštų dedamoji kinta nežymiai.

8. Atlikus kišenių apdirbimo technologijos tyrimus nuo naudojamų įrankių skersmenų, bei kišenių 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.
9. Iš atliktos analizės nustatyta, kad mažų skersmenų (5 mm) frezas naudoti galima, tačiau neefektyvu, ir tik jei reikalauja geometrija. Be to, kuo mažesnis frezos skersmuo, tuo mažesnis yra pjovimo gylis pagal kontūro aukštį. Didelio skersmens frezomis našiau apdirbami didesnio aukščio kontūrai, kadangi jos gali pjauti didesniu gyliu. Taip pat norint pasiekti jų efektyvumą reikalingos didžiulės apsukos kurios siekia net 20000aps/min, o tam reikalingos labai modernios staklės.
10. 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 20 mm ar 25 mm skersmens VHM frezas, nepaisant apdirbamo metalo yra pats pigiausias. Tik labai retais atvejais naudojant VHM 15 mm frezas apdirbimas yra pigesnis už anksčiau minėtas.

Literatūros sarašas

1. **Andrijauskienė A.** Įmonių ekonomika. – Alvyra Andrijauskienė, 2004. – 212 p. ISBN 9955-567-51-1.
2. Hoffmann Group įrankių katalogas. Prieiga per internetą: < http://landingpages.hoffmann-group.com/bk/ONLINE_all_Languages/html5/?catName=BD1&lang=lt_LT > [žiūrėta 2016-02-05].
3. **Antanas Juozas Bražiūnas** Mašinų gamybos technologijos pagrindai 2004 193p-195p.
4. **Bronislavas Martinkus, Skaidrė Žičkienė, Vytautas Žilinskas** Įmonės ekonomika 200 150p.-159p.
5. **Tratulytė D., Garuckas D.** Apvalaus skerspjuvio skylių apdirbimo technologijos įtakos tyrimas apdirbimo savikainai // Technologijos mokslai šiandien ir rytoj - 2011. Studentų mokslinių darbų konferencijos. – Kaunas: Technologija, 2011. – 244 p. ISBN 978-609-02-0265-4.
6. **Baltramiejūnas D., Garuckas D.**
7. **Fischer U., Gomeringer R., ir kiti** Mechanokos inžinieriaus žinynas 2014. 294p. ISBN 978-609-02-1076-5
8. Prieiga per internetą: <http://www.solidsmack.com/cad-design-news/solidworks-2012-features-and-tools-to-speed-the-design-workflow/> [žiūrėta 2016-03-05]
9. Prieiga per internetą: <https://www.mtisystems.com/Cost-Estimating-Software.html> [žiūrėta 2016-02-15]