

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Laurynas Rožokas**

**ĮDĖKLŲ ALKŪNINIŲ VELENŲ KARŠTAJAM ŠTAMPAVIMUI  
GAMYBOS TECHNOLOGIJOS TYRIMAS IR  
MODERNIZAVIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovė**

Doc. dr. Jolanta Baskutienė

**KAUNAS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**  
**GAMYBOS INŽINERIJOS KATEDRA**

TVIRTINU

Katedros vedėjas  
Doc. dr. Kazimieras Juzėnas

**ĮDĖKLŲ ALKŪNINIŲ VELENŲ KARŠTAJAM ŠTAMPAVIMUI**  
**GAMYBOS TECHNOLOGIJOS TYRIMAS IR**  
**MODERNIZAVIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Gamybos inžinerija (621H70004)

**Vadovė**

Doc. dr. Jolanta Baskutienė

**Recenzentas**

Doc. dr. Saulius Diliūnas

**Projektą atliko**

Laurynas Rožokas

**KAUNAS, 2016**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino

(Fakultetas)

Laurynas Rožokas

(Studento vardas, pavardė)

Gamybos inžinerija, 621H70004

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Įdėklų alkūninių velenų karštajam šampavimui gamybos technologijos tyrimas ir modernizavimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. Gruodžio 21 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Lauryno Rožoko** baigiamasis projektas tema „Įdėklų alkūninių velenų karštajam šampavimui gamybos technologijos tyrimas ir modernizavimas“ 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)

Rožokas, L. Įdėklų alkūninių velenų karštajam šampavimui gamybos technologijos tyrimas ir modernizavimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Jolanta Baskutienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, Gamybos inžinerijos katedra.

Kaunas, 2016. 64 psl.

## **SANTRAUKA**

Šiame baigiamajame projekte nagrinėjama įdėklų alkūninių velenų karštajam šampavimui gamyba ir jos modernizavimo galimybės. Atliktas rupiojo ir glotniojo frezavimo operacijų tyrimas. Nustatytos programos ir frezos, kuriomis atliekamas rupusis ir glotnasis įdėklų frezavimas, identifikuotos ilgiausiai trunkančios frezavimo programos ir jose naudojamos frezos. Pasiūlytas sprendimas rupiojo ir glotniojo frezavimo operacijose taikyti frezas su keičiamomis kietlydinio galvutėmis, greitintuvus ir termolaikiklius. Siekiant sutrumpinti įdėklų gamybos trukmę ir užtikrinti reikalaujamą galutinio gaminio kokybę, atliktas rupiojo ir glotniojo frezavimo programų koregavimas. Ilgiausiai trunkančiose operacijose naudojamos frezos pakeistos frezomis su keičiamomis kietlydinio galvutėmis. Apskaičiuoti frezavimo režimai. Glotniajam frezavimui pritaikyti greitintuvai. Rupiajam ir glotniajam frezavimui pritaikyti termolaikikliai. Pateiktas frezavimo operacijų laikų palyginimas prieš ir po modernizavimo.

Modernizavimo procese pritaikyti taupiosios gamybos principai. Suformuluotos ir pateiktos darbo išvados.



Rožokas, L. Analysis and modernization of the manufacturing technology of the crankshaft hot forging dies. Master final project / supervisor Assoc. Doc. Dr. Jolanta Baskutienė; Kaunas University of Technology, Faculty of mechanical engineering and design, department of manufacturing engineering.

Kaunas, 2016. 64 psl.

## **SUMMARY**

This final project analyses manufacturing of the crankshaft hot forging dies and possibilities of modernisation. An analysis of rough and smooth milling operations was made. The programmes and milling cutters, used for the rough and smooth milling of the hot forging dies, were identified. The longest-duration milling programmes and used milling cutters were identified. The solution was proposed to use milling cutters with hard alloy replaceable heads, high speed spindles and shrink-fit milling tool holders during the rough and smooth milling operations. Aiming to decrease the manufacturing duration of the hot-forging dies, while ensuring the required quality of the final product, the corrections have been made in the programmes of rough, as well as smooth milling. The milling cutters, used for the most long-lasting operations, were replaced by the hard-alloy replaceable head milling cutters. The cutting regimes were calculated. The high speed spindles have been introduced in smooth milling operations. Shrink-fit tool holders were used for the rough and clean milling. The comparison of the milling time of different operations before and after the modernisation is given.

The principles of Lean manufacturing have been used for modernisation. Conclusions of the project are formulated and presented.

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Tvirtinu:**

Gamybos inžinerijos  
katedros vedėjas

\_\_\_\_\_

*(parašas, data)*

\_\_\_\_\_

*(vardas, pavardė)*

**MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS  
Studijų programa GAMYBOS INŽINERIJA**

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra mokslinio tiriamojo ar taikomojo pobūdžio darbas (projektas), kuriam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo darbu studentas turi parodyti, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, yra įgijęs pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Baigiamuoju darbu bei jo gynimu studentas turi parodyti savo kūrybingumą, gebėjimą taikyti fundamentines mokslo žinias, socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansinių galimybių išmanymą, informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės įgūdžius, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo įgūdžius, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžius, gebėjimą tinkamai formuluoti išvadas.

1. Darbo tema: Įdėklų alkūninių velenų karštajam štapavimui gamybos technologijos tyrimas ir modernizavimas.

Patvirtinta 2015 m. gruodžio mėn. 11 d. dekanu įsakymu ST17-F11-15

2. Darbo tikslas: Ištirti ir modernizuoti įdėklų alkūninių velenų karštajam štapavimui gamybos technologiją.

3. Darbo struktūra: Įvadas, techninio lygio analizė, projektinė dalis, išvados, literatūros sąrašas, priedai.

4. Reikalavimai ir sąlygos: Ištirti įdėklų alkūninių velenų karštajam štapavimui gamybos technologiją ir pasiūlyti modernizavimo sprendimą, leidžiantį sutrumpinti įdėklų gamybos laiką. Galutinio gaminio kokybė turi atitikti keliamus reikalavimus. Gaminyje neleistini įtrūkimai ir kiti štapavimo defektai (pagal DK-107). Gaminio matmenys turi tenkinti šiuos techninius reikalavimus: prasislinkimas veleno ašies atžvilgiu skersine kryptimi – ne daugiau 0,7 mm; prasislinkimas išilgine kryptimi – ne daugiau 0,7 mm; pagrindinio kakliuko skersmuo  $\varnothing 46,5^{+1,5}_{-0,5}$  mm; švaistiklinio kakliuko skersmuo  $\varnothing 46,5^{+1,5}_{-0,5}$  mm; galinio flanšo skersmuo  $\varnothing 89,5^{+1,5}_{-0,5}$  mm; veleno pradžios kakliuko skersmuo  $\varnothing 36,5^{+1,5}_{-0,5}$  mm.

5. Darbo pateikimo terminas 2016 m. sausio mėn. 15 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis

Išduota studentui \_\_\_\_\_ Laurynei Rožokui

Užduotį gavau \_\_\_\_\_ Laurynas Rožokas

(studento vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_

(parašas, data)

Vadovė \_\_\_\_\_ Doc. Jolanta Baskutienė

(pareigos, vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_

(parašas, data)

## TURINYS

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS .....	6
ĮVADAS .....	8
1. TECHNINIO LYGIO ANALIZĖ.....	9
1.1. Alkūninių velenų karštojo šampavimo gamybos technologija.....	9
1.2. Įdėklų alkūninių velenų karštajam šampavimui gamybos technologija.....	16
1.2.1. Ruošinio atplovimas .....	17
1.2.2. Frezavimo operacija.....	18
1.2.3. Terminis apdirbimas .....	19
1.2.4. Poliravimas .....	19
1.2.5. Azotinimas .....	20
1.2.6. Oro išėjimo skylių formavimas elektroeroziniu būdu .....	20
2. PROJEKTINĖ DALIS.....	21
2.1. Įdėklų alkūninių velenų karštajam šampavimui gamybos technologijos tyrimas .....	21
2.2. Frezavimo operacijų tyrimas .....	23
2.2.1. Rupiojo frezavimo operacijos tyrimas .....	23
2.2.2. Glotniojo frezavimo operacijos tyrimas.....	31
2.3. Frezavimo programų koregavimas .....	39
2.3.1. Rupiojo frezavimo programų koregavimas .....	39
2.3.2. Glotniojo frezavimo programų koregavimas .....	41
2.4. Frezų su keičiamomis kietlydinio galvutėmis taikymas.....	43
2.5. Greitintuvų taikymas frezavimo operacijose .....	49
2.6. Termolaikiklių taikymas frezavimo operacijose .....	52
2.7. Sutrumpinti frezavimo operacijų laikai .....	57
2.8. Taupiosios gamybos principų taikymas .....	58
IŠVADOS.....	61
LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	62
PRIEDAI .....	64
1 priedas. Alkūninių velenų gamybos technologijos schema.....	65
2 priedas. Procesų tolerancijų ribos.....	66
3 priedas. 8 mm skersmens frezų galvučių ir kotelio parametrai .....	67
4 priedas. 10 mm skersmens frezos galvutės ir kotelio parametrai .....	68
5 priedas. Greitintuvo brėžinys.....	69
6 priedas. Įdėklo rupiojo frezavimo instrukcija operatoriams .....	70
7 priedas. Įdėklo glotniojo frezavimo instrukcija operatoriams .....	71
8 priedas. Frezavimo programų defektų registravimo dokumentas .....	72

## IVADAS

Nagrinėjama 1,2 litro kubatūros „Škoda“ automobilio varikliui skirtų alkūninių velenų karštojo šampavimo gamybos technologija, kurią sudaro 12 operacijų. Pirma operacija yra žaliavos gavimas, o galutinė – kalto alkūninio veleno mechaninis apdirbimas. Tačiau pagrindinė ir pati svarbiausia yra alkūninių velenų karštojo šampavimo operacija, kurioje šampavimui naudojamos 2 latakų įdėklų poros, t.y. rupaus ir švaraus šampavimo. Karštojo šampavimo operacijose naudojamų įdėklų gamyba trunka sąlyginai ilgą laiko tarpą, po tam tikro laiko įdėklus būtina keisti, nes jie sudyla. Dažniausiai šiuos įdėklus reikia keisti atkalus 6000 – 8000 vienetų velenų. Šampavimo įdėklų gamyba sudaro 70% viso velenų šampavimo gamybos laiko [1]. Konkurencijos rinkoje sąlygomis gamintojams ypatingai svarbi yra gamybos operacijų trukmė. Tad svarbiausias dalykas šampuojant velenus – galimai greičiau pagaminti šampavimo įrangą,

Šampavimo įdėklų gamybos technologija susideda iš septynių atskirų operacijų, nuosekliai vykdomų viena paskui kitą. Taigi, šio baigiamojo darbo tikslas, ištirti šią gamybos technologiją, atrasti vietas, kurias galima modernizuoti ir tokiu būdu sutrumpinti gamybos laiką, naudojant tuos pačius resursus ir užtikrinant reikalaujamą gaminio kokybę. Taupiosios gamybos (Lean) principai sėkmingai diegiami įvairiose šiuolaikinėse įmonėse. Visų nekuriančių vertės nuostolių eliminavimas, vizualinė kontrolė, gamybos procesų tobulinimas, tvarka darbo vietoje ir nuolatinis personalo tobulėjimas sudaro prielaidas gamybos modernizavimui. Šie taupiosios gamybos principai gali būti sėkmingai pritaikyti nagrinėjamai įdėklų gamybai modernizuoti.

Svarbiausia atliekant šampavimo įdėklų gamybos technologijos modernizavimą, išlaikyti nepakitusią galutinio gaminio kokybę, kad neatsirastų įtrūkimų ir kitų šampavimo defektų (pagal DK-107). Gaminio matmenys turi tenkinti šiuos techninius reikalavimus: prasislinkimas veleno ašies atžvilgiu skersine kryptimi – ne daugiau 0,7 mm; prasislinkimas išilgine kryptimi – ne daugiau 0,7 mm; pagrindinio kakliuko skersmuo  $\varnothing 46,5^{+1,5}_{-0,5}$  mm; švaistiklinio kakliuko skersmuo  $\varnothing 46,5^{+1,5}_{-0,5}$  mm; galinio flanšo skersmuo  $\varnothing 89,5^{+1,5}_{-0,5}$  mm; veleno pradžios kakliuko skersmuo  $\varnothing 36,5^{+1,5}_{-0,5}$  mm.

**Darbo tikslas:** Ištirti ir modernizuoti įdėklų alkūninių velenų karštajam šampavimui gamybą.

### **Uždaviniai:**

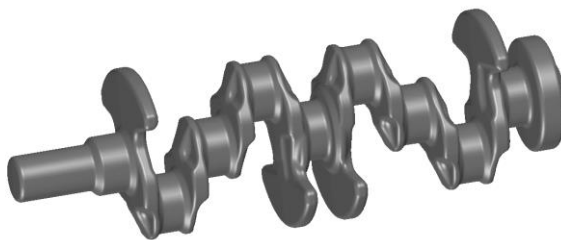
1. Atlikti įdėklų alkūninių velenų karštajam šampavimui gamybos technologijos tyrimą ir pasiūlyti modernizavimo sprendimus.
2. Atlikti rupiojo ir glotniojo frezavimo operacijų tyrimą.
3. Atlikti rupiojo ir glotniojo frezavimo programų koregavimą siekiant sutrumpinti įdėklų gamybos trukmę.
4. Ilgiausiai truncančioms frezavimo programoms taikyti frezas su keičiamomis kietlydinio galvutėmis.
5. Įdėklų gamyboje taikyti greitintuvus ir termolaikiklius.
6. Įdėklų gamyboje taikyti taupiosios gamybos (Lean) principus.

# 1. TECHNINIO LYGIO ANALIZĖ

Automobilio varikliui skirtų alkūninių velenų karštojo šampavimo gamyba yra sudėtingas procesas. Svarbiausia operacija yra alkūninių velenų karštojo šampavimo operacija, kurioje šampavimui naudojamos 2 latakų įdėklų poros, t.y. rupaus ir švaraus šampavimo. Šampavimo įdėklų gamyba sudaro 70% viso velenų šampavimo gamybos laiko [1], kadangi šie įdėklai keičiami kalus 6000 – 8000 vienetų velenų. Kad spėti laiku pagaminti įdėklus jie gaminami net 3 darbo pamainomis. Tad svarbiausias dalykas šampuojant velenus – galimai greičiau pagaminti šampavimo įrangą, nei kiti gamintojai, esantys konkurencijos rinkoje.

## 1.1. Alkūninių velenų karštojo šampavimo gamybos technologija

Šiame poskyryje trumpai apžvelgiama, kokios operacijos sudaro alkūninio veleno (1.1 pav.) gamybos technologiją („Škoda“ automobilio 1,2 litro kubatūros varikliui).



**1.1 pav.** „Škoda“ automobilio 1,2 litro kubatūros variklio alkūninio veleno 3D modelis

Alkūninių velenų karštojo šampavimo gamybos technologiją sudaro **12 operacijų**: žaliavos gavimas, ruošinių atpjovimas, indukcinis kaitinimas, nuodegų nuvalymas, karštasis šampavimas, išlajos apkirtimas, kontroliuojamas aušinimas, šratavimas, magnetinė įtrūkimų kontrolė, matmenų ir vizualinė kontrolė, nuvalymas, pakavimas ir mechaninis apdirbimas. Alkūninių velenų gamybos technologijos schema yra pateikta 1 priede. Paskutinė operacija, t.y. mechaninis apdirbimas, įmonėje nėra atliekamas, todėl pastaroji operacija į šią schemą nėra įtraukta. Toliau glaustai aprašomos visos veleno gamybos operacijos. Plačiau aptariama tik alkūninių velenų karštojo šampavimo operacija naudojant rupius ir švarius įdėklus.

**1. Žaliavos gavimas.** Pirmiausiai iš tiekėjų gaunama šampavimui reikalinga žaliava. Šampuojama medžiaga: TL – 1438 (38MnVS6), standartas EN 10267, profilio skersmuo  $\varnothing 78,5 \pm 0,4$  mm, strypo ilgis  $405 \pm 1$  mm.

**1.1 lentelė.** Plieno TL – 1438 cheminė sudėtis

Plieno TL - 1483 cheminė sudėtis, %:	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	N
	0,34	0,15	1,20	<0,025	0,020	<0,30	<0,08	0,08	0,01
	0,41	0,80	1,60		0,060			0,20	0,02

2. **Ruošinio atpjovimas.** Ruošinių atpjovimui naudojamos diskinės pjovimo staklės „Sisteco Tsune“ (1.2 pav) su mechanizuotu stelažu. Pjovimo disko skersmuo 360 mm, dantų skaičius 60. Pjovimo stakles aptarnauja vienas žmogus.



1.2 pav. Diskinės pjovimo staklės „Sisteco Tsune“

3. **Indukcinis kaitinimas.** Induktoriumi „Weingarten“ (1.3 pav., *kairėje*) ruošiniai įkaitinami iki  $1255 \div 1284$  °C temperatūros ir paruošiami kalimo procesui. Tinkamos temperatūros ruošiniai kalami, per šalti ir per karšti ruošiniai atmetami ir pakartotinai kaitinami. Perkaitinti ruošiniai, kurių temperatūra siekia daugiau nei 1295 °C, išmetami į metalo laužą.

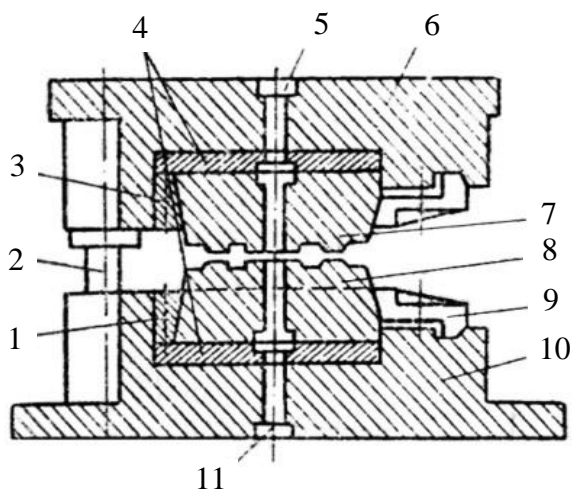
4. **Nuodegų nuvalymas.** Nuodegoms eliminuoti naudojamas apanglėjimo nuėmiklis „Weingarten“ (1.3 pav., *dešinėje*). Aukšto slėgio vandens smūgiu pašalinama anglių „žievelė“. Taip pagerinamas metalo „plaukimas“ bei tausojama įranga.



1.3 pav. Induktorius „Weingarten“ (*kairėje*) ir apanglėjimo nuėmiklis „Weingarten“ (*dešinėje*)

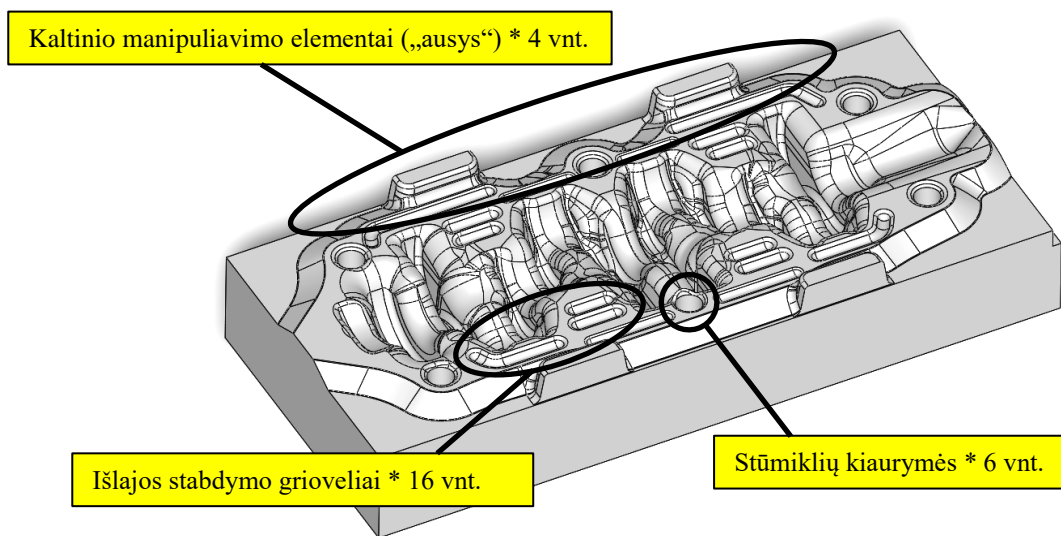
5. **Karštasis šampavimas.** Tai toks apdirbimo spaudimo būdu procesas, kai įkaitintas ruošinys plastiškai deformuojamas specialiu įrankiu, vadinamu *šampu* (1.4 pav.).

*Šampas* sudarytas iš viršutinės 6 ir apatinės plokštės 10, prie kurių tvirtinami latakų įdėklai 7 ir 8. Jie atremiami į atramas 1, 3, 4 ir prispaudžiami spaudikliais 9. Įdėklai šampe gali būti tvirtinami ir varžtais [2]. Abi šampo plokštės sujungiamos dviem arba trimis kreipiamosiomis kolonėlėmis 2, įpresuotomis į apatinę plokštę ir judančiomis viršutinės plokštės įvorėse. Atskiruose latakuose gali būti įtaisomi stūmikliai 5 ir 11, kad būtų lengviau išimti kaltinį iš latakų [3].



1.4 pav. Šampo sudedamosios dalys (pjūvis) [3]

Alkūninių velenų šampuose įtaisomos 2 latakų įdėklų poros. Pirmojo smūgio šampavimo latakas įtaisomas kairėje pusėje, antrojo – dešinėje. Pradedama šampuoti **rupiojo šampavimo latakė**, kuriame sudėti rupiojo šampavimo įdėklai (apatinis (1.5 pav.) ir viršutinis). Rupas viršutinis įdėklas yra apatinio įdėklo veidrodinis atspindys, o vietoje kaltinio manipuliavimo elementų („ausų“) (1.5 pav.) yra iššemos.

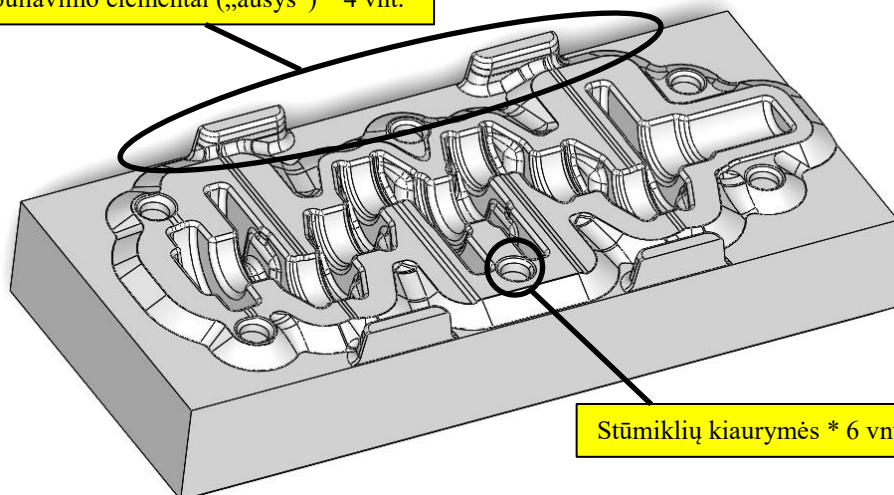


1.5 pav. Rupiojo šampavimo apatinis įdėklas



Toliau kaltinys perkeliamas į *švariojo šampavimo lataką*, kuriame sudėti švariojo šampavimo įdėklai (apatinis (1.6 pav.) ir viršutinis). Švarus viršutinis įdėklas yra apatinio įdėklo veidrodinis atspindys, o vietoje kaltinio manipuliavimo elementų („ausų“) (1.6 pav.) yra išėmos.

Kaltinio manipuliavimo elementai („ausys“) \* 4 vnt.



**1.6 pav.** Švariojo šampavimo apatinis įdėklas

Atlikus šampavimą, kaltinys iš rupaus ir švaraus apatinių įdėklų išstumiamas stūmikliais (1.4 pav., 5 ir 11) pro apatinių įdėklų stūmiklių kiaurymes (1.5 pav ir 1.6 pav.).

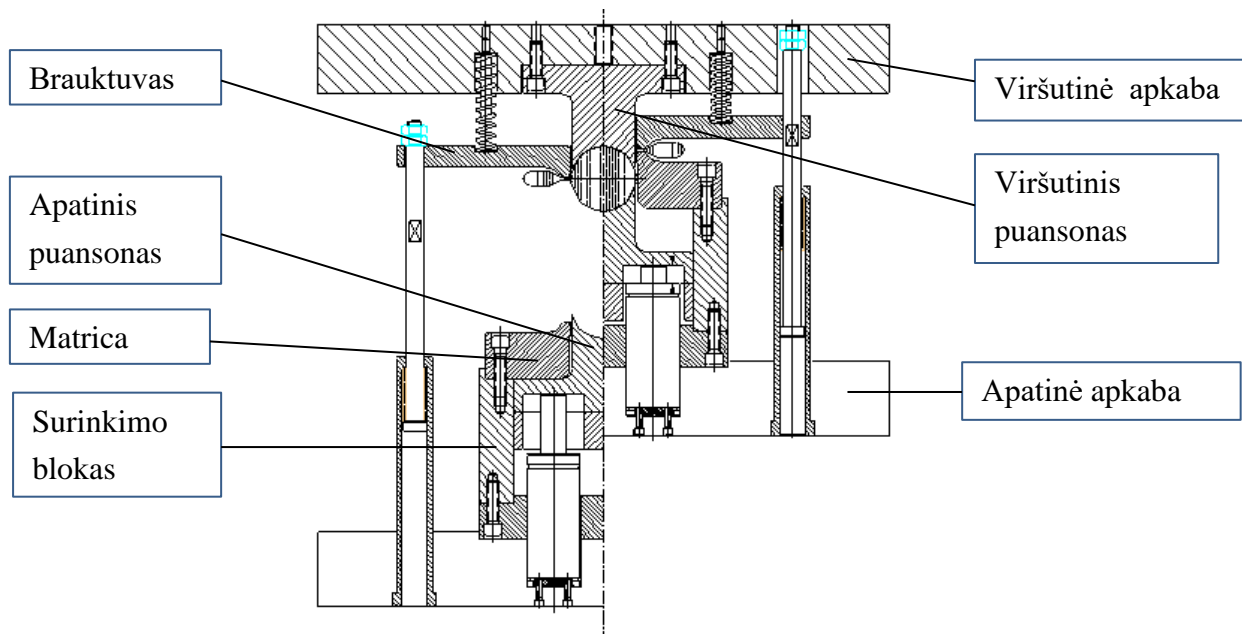
Alkūniniams velenams šampuoti naudojamas 5000 tonų galingumo sraigtinis karštojo šampavimo alkūninis presas „Weingarten“ (1.7 pav.). Kiekvienu etapu galima reguliuoti preso smūgio jėgą. Ruošiniams manipuluoti naudojamas „KUKA“ robotas. Robotas automatiškai perkelia ruošinį į rupiojo ir švariojo šampavimo latakus. Ruošinių pozicionavimas, įrangos tepimas, aušinimas ir šiukšlių išpūtimas vyksta automatiškai.



**1.7 pav.** Sraigtinis karštojo šampavimo alkūninis presas „Weingarten“



**6. Išlajos apkirtimas.** Po karštojo štapavimo operacijos vykdomas išlajos apkirtimas. Švaraus kaltinio išlaja apkertama pasitelkus matricą, brauktuvas ir viršutinį bei apatinį puansonus. Apkirtimo įrangos principinė schema pateikta 1.8 paveiksle.



**1.8 pav.** Apkirtimo įrangos principinė schema

Apkirtimas atliekamas 500 tonų galios ekscentrinu apkirtimo presu „Weingarten“ (1.9 pav.).



**1.9 pav.** Ekscentrinis apkirtimo presas „Weingarten“

Šios operacijos metu pašalinama apkirtimo išlaja ir automatiškai kalibruojama detalė. Alkūninio veleno masė po apkirtimo 10,4 kg (ruošinio masė 15,4 kg). Medžiagos panaudojimo koeficientas lygus  $k_m = m_{det.}/m_{ruoš.} = 10,4/15,4 = 0,68$ .

7. **Kontroliuojamas aušinimas.** Kontroliuojamas aušinimas vykdomas grandininio transporteriu „Weingarten“ (1.10 pav., *kairėje*). Ši operacija reikalinga išlaikyti gaminio mechaninėms savybėms, tokioms kaip kietumas, tamprumas bei atsparumas gniuždymui. Temperatūra konvejeriye yra lygi 400 °C. Po šios operacijos matuojamas veleno kietumas, kuris turi būti **255-300 HB**.

8. **Šratavimas.** Siekiant matyti paviršiaus defektus bei panaikinti apanglėjimo sluoksnį kiekviena detalė yra šratuojama. Dideliu spaudimu į veleną leidžiami smulkūs šratukai. Šratavimas vyksta įrenginiu „Wheelabrator“ (1.10 pav., *dešinėje*).



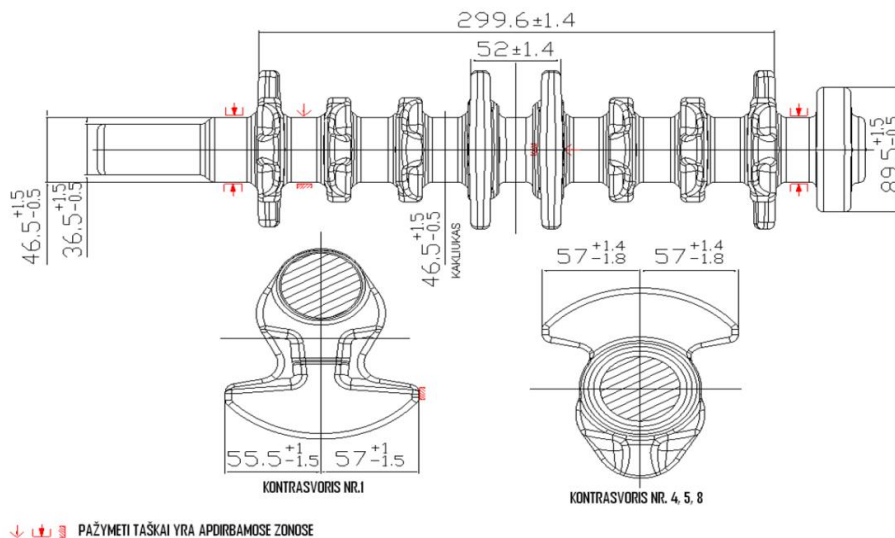
**1.10 pav.** Transporteris „Weingarten“ (*kairėje*) ir šratavimo įrenginys „Wheelabrator“ (*dešinėje*)

9. **Magnetinė įtrūkimų kontrolė.** Ši operacija vykdoma tam, kad nustatyti ar ant veleno neatsirado mikro įtrūkimų. Tikrinimo dažnis viena detalė per pamainą. Kiekviena detalė su defektu (įtrūkis, neužpildyta ar šiukšlės) identifikuojama ir išmetama į metalo laužą. Magnetinė įtrūkimų kontrolė atliekama „Magnaflux“ įrenginiu (1.11 pav.).



**1.11 pav.** Mikro įtrūkimų kontrolė „Magnaflux“ įrenginiu

**10. Matmenų ir vizualinė kontrolė.** Šios operacijos metu patikrinami pagrindiniai veleno matmenys ir kiti šampavimo defektai (pagal DK-107). Gaminio matmenys turi tenkinti techninius reikalavimus pateiktus 1.2 lentelėje. Kiekviena bloga detalė išmetama į metalo laužą.



**1.12 pav.** Tikrinami veleno matmenys

**1.2 lentelė.** Veleno kokybės kontrolės techniniai reikalavimai

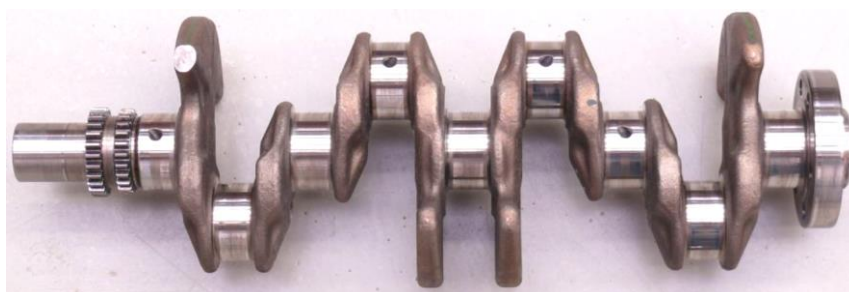
Proceso kontrolė		Operacija		
		Matmenų ir vizualinė kontrolė		
Nr.	Kontroliuojama charakteristika	Vertė	Tolerancija	Tikrinimo dažnis
1.	Neišformavimas	Pagal DK-107		Viena detalė per valandą
2.	Prasislinkimas veleno ašies atžvilgiu skersine kryptimi	Ne daugiau 0,7 mm		Viena detalė per valandą
3.	Prasislinkimas veleno ašies atžvilgiu išilgine kryptimi	Ne daugiau 0,7 mm		Viena detalė per valandą
4.	Pagrindinio kakliuko skersmuo (1.12 pav.)	Ø 46,5	+1,5 - 0,5	Viena detalė per dvi valandas
5.	Švaistiklinio kakliuko skersmuo (1.12 pav.)	Ø 46,5	+1,5 - 0,5	Viena detalė per dvi valandas
6.	Galinio flanšo skersmuo (1.12 pav.)	Ø 89,5	+1,5 -0,5	Viena detalė per dvi valandas
7.	Veleno pradžios kakliuko skersmuo (1.12 pav.)	Ø 36,5	+1,5 -0,5	Viena detalė per dvi valandas
8.	Kontrasvorių Nr. 4, 5, 8 ilgis (1.12 pav.)	57	+1,4 -1,8	Viena detalė per pamainą
9.	Kontrasvorio Nr. 1 (apatinio) ilgis (1.12 pav.)	57	+1 -1,5	Viena detalė per pamainą
10.	Kontrasvorio Nr. 1 (viršutinio) ilgis (1.12 pav.)	55,5	+1 -1,5	Viena detalė per pamainą

**11. Nuvalymas ir pakavimas.** Alkūninių velenų ruošiniai nuvalomi ir pakuojami į dėžes (1.13 pav.). Pirmiausiai į dėžę įtiesiamas nepraleidžiantis drėgmės popierius, po to įdedamas antikorozinis maišas, o tada į dėžę sudedami patikrinti alkūniniai velenai. Į vieną dėžę eilėmis tvarkingai sudedama 100 velenų, kurių bendra masė lygi 1040 kg. Masė kartu su dėže lygi 1168 kg.



**1.13 pav.** Tvarkingai sudėti patikrinti velenai

**12. Mechaninis apdirbimas.** Kaltas alkūninis velenas apdirbamas mechaniškai. Tekinami pagrindiniai ir švaistikliniai kakliukai, flanšas ir galinė veleno dalis. Vėliau išgręžiamos aušinimo skylės ir atliekamas veleno balansavimas.



**1.14 pav.** Mechaniškai apdirbtas alkūninis velenas

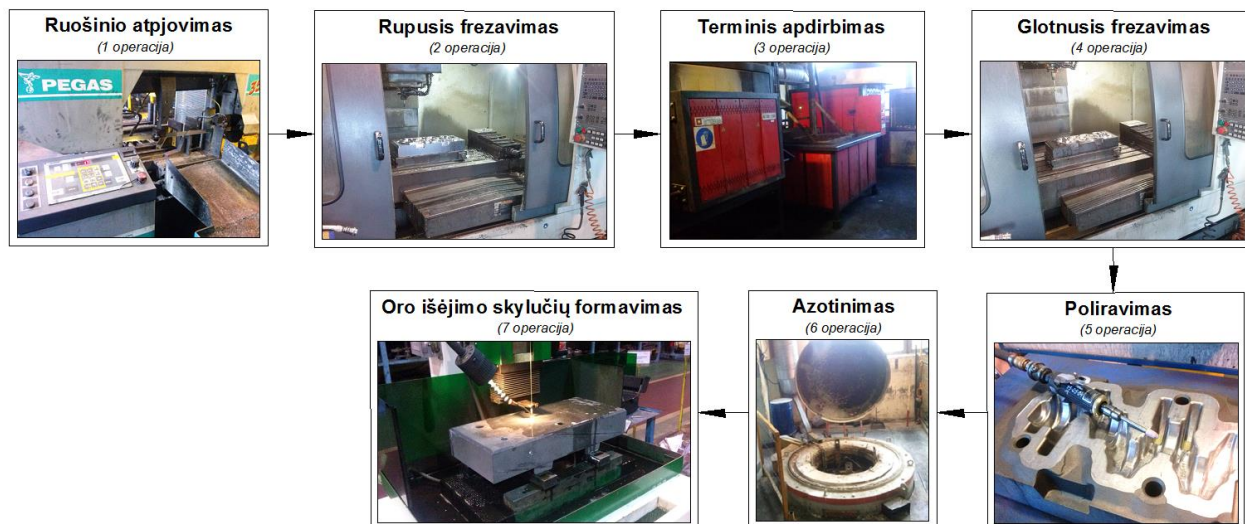
## **1.2. Įdėklų alkūninių velenų karštajam šampavimui gamybos technologija**

Karštasis šampavimas yra pagrindinė ir svarbiausia alkūninių velenų karštojo šampavimo gamybos technologijos operacija (1 priedas, 5 operacija). Alkūninių velenų šampuose įtaisomos 2 lataų įdėklų poros (rupaus ir švaraus šampavimo). Šampavimo įrangos gamyba sudaro 70% viso velenų šampavimo gamybos laiko [1].

Šiame poskyryje nagrinėjama alkūninių velenų gamybos technologijos 5-ojoje operacijoje (1 priedas, 5 operacija) naudojamų karštojo šampavimo įdėklų (1.5 pav. ir 1.6 pav.) gamyba.



Įdėklų alkūninių velenų karštajam štapavimui gamyba susideda iš **7 atskirų operacijų**, nuosekliai vykdomų viena paskui kitą (1.15 pav.). Pirmosios operacijos metu metalas supjaustomas tam tikro ilgio ruošiniais, toliau ruošinys frezuojamas, po frezavimo atliekamas terminis apdirbimas (grūdinimas ir atleidimas). Toliau grūdintas ir atleistas ruošinys vėl frezuojamas, po frezavimo gaminys poliruojamas, tada atliekamas azotinimas. Paskutinėje operacijoje elektroerozijos būdu suformuojamos oro išėjimo skylutės, per kurias išeina štapavimo metu susikaupęs oras.



**1.15 pav.** Įdėklų alkūninių velenų karštajam štapavimui gamybos technologija

Sekančiuose skyreliuose trumpai apžvelgiama šios technologijos kiekviena operacija.

### **1.2.1. Ruošinio atpjovimas**

Ruošinių atpjovimui naudojamos automatinės juostinės pjovimo staklės „Pegas Gonda“ (1.16 pav.). Staklių masė 1350 kg, galia 4,0 kW, maitinimas – trifazė įtampa. Pjovimo juostos ilgis 4520 mm, plotis 34 mm, storis 1,1 mm ir dantų plotis 2/3. Prieš atliekant pjovimo darbus, būtina užsidėti apsauginius akinius bei mėvėti apsaugines pirštines. Atpjautas stačiakampio formos ruošinys turi būti 555 mm ilgio, 245 mm pločio ir 114 mm aukščio.



**1.16 pav.** Juostinės pjovimo staklės „Pegas Gonda“

### 1.2.2. Frezavimo operacija

Frezavimui atlikti naudojamas universalus programinio valdymo apdirbimo centras „YCM 148B“ (1.17 pav.), skirtas mažoms ir vidutinių dydžių detalėms apdirbti serijinėje gamyboje naudojant automatiškai keičiamus pjovimo įrankius. Apdirbimui naudojamos įvairios pirštinės spindulinės ir sferinės frezos [4].

Apdirbimo centras gali apdirbti detales iš trijų pusių greitaėge nuoseklaus reguliavimo suklio galvute, sukančia įrankį nuo 80 iki 5800 aps/min. Staklių galia yra 5,5/7,4 kW, o sukimo momentas yra lygus 35 Nm.



**1.17 pav.** Universalus programinio valdymo apdirbimo centras „YCM 148B“

Įrankiai staklėse greitai keičiami pneumatiniiais užspaudimo įtaisais. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu (emulsija), taikant vidinio ir išorinio aušinimo būdus, taip pat galima dirbti ir nenaudojant aušinimo skysčio. Staklės valdomos pagal tris koordinates (x, y ir z) valdikliu „Heidenhain“. Staklės prijungtos prie kompiuterio naudojant RS232 sąsają. Labai sudėtingų detalių apdirbimo programos ruošiamos naudojant kompiuterines sistemas ir programinę įrangą „PowerMILL“. Tai supaprastina sudėtingų detalių gamybos programavimą.

### 1.2.3. Terminis apdirbimas

Įdėklas krosnyje (1.18 pav., 1) **kaitinamas** iki 1030 °C temperatūros, išlaikomas apie 8 valandas ir ataušinimas aušinimo vonioje su polimerais (1.18 pav., 2), kurių koncentracija 7,5 %, o vonios temperatūra 70 °C. Vonioje plienas vėsta apie 10 – 15 minučių, kol polimerų temperatūra pasiekia 80 °C ir pradeda kristi.

Toliau atleidimo pečiuje (1.18 pav., 3) atliekamas **pirmasis atleidimas**, kurio metu plienas kaitinamas iki 500 °C, o pasiekus šią temperatūrą iškart išimamas iš pečiaus ir apie 7 valandas aušinamas ore, kol temperatūra nukrenta iki ~ 150 °C. Po pirmojo atleidimo plieno kietumas gaunamas 55 ÷ 56 HRC.

Nukritus įdėklo temperatūrai atleidimo krosnyje (1.18 pav., 3) atliekamas **antrasis leidimas**, kurio metu plienas kaitinamas iki 620 °C, o pasiekus šią temperatūrą išimamas iš krosnies ir apie 9 valandas aušinamas ore, kol temperatūra nukrenta iki ~ 30 °C. Po antrojo atleidimo plieno kietumas gaunamas 45 ÷ 47 HRC. Atleidimo metu įdėklui suteikiamas maksimalus smūginis tūsumas ir taip pat išsaugomas kiek galima didesnis kietumas bei stiprumas [3].



**1.18 pav.** Terminio apdirbimo linija: 1 – kaitinimo krosnis; 2 – aušinimo vonia; 3 – atleidimo krosnis

### 1.2.4. Poliravimas

Poliravimas atliekamas po terminio apdirbimo. Alkūninio veleno šampavimo įdėklai poliruojami tam, kad sulyginti metalo paviršių ir išvalyti vietas, kurios liko neišfrezuotos glotniojo frezavimo metu. Poliravimas atliekamas poliravimo mašinėlė „Rodcraft“ (1.19 pav.).



**1.19 pav.** Poliravimo mašinėlė „Rodcraft“



### ***1.2.5. Azotinimas***

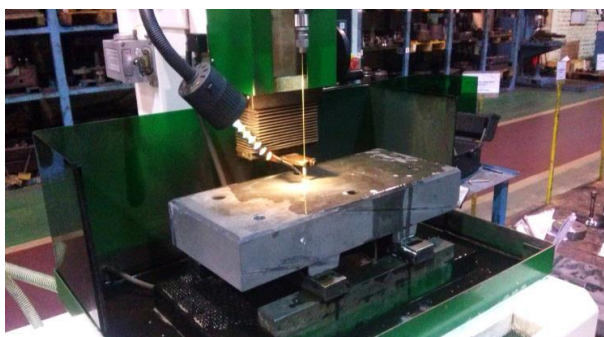
Šio proceso metu alkūninių velenų šampavimo įdėklų paviršiniai sluoksniai įsotinami kalio druskomis, laikant gaminį 6 valandas azotavimo vonioje, 550 – 580°C temperatūroje. Gaunamas bendras įsotinto kalio druskomis sluoksnio gylis lygus 0,2...0,3 mm, kuris priklauso nuo proceso trukmės. Įdėklo paviršiuje susidaro 7 – 15 μm storio nitridai, kurie ženkliai padidina atsparumą dilimui, kuris atsiranda karštojo šampavimo metu. Azotavimo metu nepažeidžiamas ankstesnis terminis gerinimas [5]. Azotavimas atliekamas azotavimo vonioje „Proycotecme“ (1.20 pav.).



**1.20 pav.** Azotavimo vonia „Proycotecme“

### ***1.2.6. Oro išėjimo skylučių formavimas elektroerozijos būdu***

Šampavimo įdėklų oro skylučių formavimas atliekamas elektroerozijos staklėmis „Novotec“. Kiekviename įdėkle nustatytose vietose formuojamos penkios 1,5 mm skersmens oro išėjimo skylutės (1.21 pav.). Skylučių formavimui naudojami variniai 1,5 mm skersmens elektrodai.



**1.21 pav.** Elektroerozijos būdu įdėkle formuojamos oro išėjimo skylutės

Atlikus alkūninių velenų karštojo šampavimo įdėklų gamybos technologijos apžvalgą, projektinėje dalyje pateikiamas šios technologijos tyrimas.



## 2. PROJEKTINĖ DALIS

Alkūninių velenų karštojo šampavimo gamybos technologiją sudaro 12 operacijų (schema pateikta 1 priede). Pagrindinė ir pati svarbiausia operacija yra karštasis šampavimas (5 operacija). Alkūninių velenų šampuose įtaisomos 2 lataųų įdėklų poros (rupaus ir švaraus šampavimo). Šiuos įdėklus dažniausiai reikia keisti, kalus 6000 – 8000 vienetų velenų, tai karštojo šampavimo operacijos komponentas, kuris dažniausiai dyla. Šampavimo įdėklų gamyba sudaro 70% velenų šampavimo gamybos laiko [1]. Tad svarbiausias dalykas šampuojant velenus, laiku turėti pagamintą šampavimo įrangą (rupaus ir švaraus šampavimo įdėklų poros).

### 2.1. Įdėklų alkūninių velenų karštajam šampavimui gamybos technologijos tyrimas

Šio darbo tikslas yra sutrumpinti ir modernizuoti daug laiko trunkančias gamybos operacijas, siejamas su įdėklų alkūninių velenų karštajam šampavimui gamybos paspartinimu.

Šampavimo įdėklų gamyba susideda iš 7 atskirų operacijų, nuosekliai vykdomų viena paskui kitą (1.15 pav.). Atliekamas prieš tai minėtų operacijų tyrimas. Nustatomos operacijos daugiausiai laiko trunkančios ir kuriuos apdirbimo laikus įmanoma sutrumpinti.

Pirma operacija – *atpjaunamas ruošinys*. Atpjautas stačiakampio formos ruošinys turi būti 555 mm ilgio, 245 mm pločio ir 114 mm aukščio. Atpjauti vieną alkūninio veleno karštojo šampavimo įdėklo ruošinį užtrunka **0,8 valandos**. Ši operacija trunka sąlyginai neilgai, tad laiką trumpinti netikslinga.

Kita operacija – termiškai neapdirbto metalo frezavimas. Atliekamas įdėklo *rupusis frezavimas*, kuris užtrunka ~ **7 valandas**. Jį galima bandyti trumpinti, kadangi mechaninį įdėklo rupųų apdirbimą atlieka 10 programų, naudojamos 7 frezos.

Toliau vykdomas *terminis apdirbimas*, metalas įkaitinamas iki 1030°C temperatūros, išlaikomas apie 8 valandas ir ataušinamas aušinimo vonioje. Ataušus įdėklui, atliekamas pirmasis atleidimas, kurio metu plienas kaitinamas iki 500 °C, o pasiekus šią temperatūrą iškart išimamas iš krosnies ir apie 7 valandas aušinamas ore. Tada atliekamas antrasis atleidimas, kurio metu plienas kaitinamas iki 620 °C, o pasiekus šią temperatūrą išimamas iš pečiaus ir apie 9 valandas aušinamas ore. Po antrojo atleidimo plieno kietumas gaunamas 45 ÷ 47 HRC. Vieno įdėklo grūdinimas su dviem atleidimais užtrunka ~ **36 valandas**. Šios operacijos trukmę netikslinga trumpinti.

Toliau įdėklas vėl frezuojamas. Atliekamas *glotnasis frezavimas*, kuris užtrunka ~ **19 valandų**. Ją galima bandyti trumpinti taip pat, kaip ir termiškai neapdirbto metalo frezavimo operaciją, nes mechaninį įdėklo glotnųų apdirbimą atlieka 9 programos naudojamos 4 frezos.

Po glotniojo frezavimo yra atliekamas *poliravimas*. Alkūninio veleno šampavimo įdėklai poliruojami tam, kad sulygtinti metalo paviršių ir išvalyti vietas, kurių neišfrezavo frezos. Įdėklas poliruojamas **1,4 valandos**. Įdėklas poliruojamas sąlyginai neilgai, tad laiką trumpinti šioje operacijoje netikslinga.

Kad pagerinti atsparumą karštojo šampavimo metu esančiam dilimui, įdėklai po poliravimo *azotinami* azotinimo vonioje „Proycotecme“ (1.20 pav.). Šio proceso metu alkūninių velenų šampavimo įdėklų paviršiniai sluoksniai įsotinami kalio druskomis, laikant gaminį **6 valandas** azotinimo vonioje, 550 – 580°C temperatūroje. Šioje operacijoje laiko sutrumpinti nepavyks, kadangi įdėklus laikant vonioje trumpiau negu 6 valandas, įdėklų paviršiniai sluoksniai mažiau įsisotins kalio druskomis ir greičiau sudils šampavimo metu.

Paskutinė šampavimo įdėklų gamybos operacija – *oro išėjimo skylučių formavimas* staklėmis „Novotec“. Kiekviename įdėkle nustatytoje vietoje formuojamos penkios 1,5 mm skersmens oro išėjimo skylutės (1.21 pav.). Vienam įdėklui suformuoti skylutes užtrunka **1,3 valandos**. Skylių formavimas užtrunka sąlyginai neilgai, tad laiką trumpinti šioje operacijoje netikslinga.

Atlikus tyrimą ir atsižvelgus į tai, kurios karštojo šampavimo įdėklų gamybos operacijos užtrunka daugiausiai laiko ir kurių apdirbimo laiką įmanoma sutrumpinti, nuspręsta ištirti ir modernizuoti rupiojo ir glotniojo *frezavimo operacijas* (2.1 pav.).



**2.1 pav.** Šampavimo įdėklų gamybos technologija su operacijų laikais

## 2.2. Frezavimo operacijų tyrimas

Štampavimo įdėklų frezavimui atlikti naudojamas universalus programinio valdymo apdirbimo centras „YCM 148B“ (1.17 pav.). Apdirbimo centras gali apdirbti detales greitaeigiu nuoseklaus reguliavimo suklio galvute, sukančią įrankį nuo 80 iki 5800 aps/min. Apdirbimui naudojamos įvairios pirštinės spindulinės ir sferinės frezos. Įrankis gali būti aušinamas aušinimo skysčiu (emulsija), taikant vidinio ir išorinio aušinimo būdus.

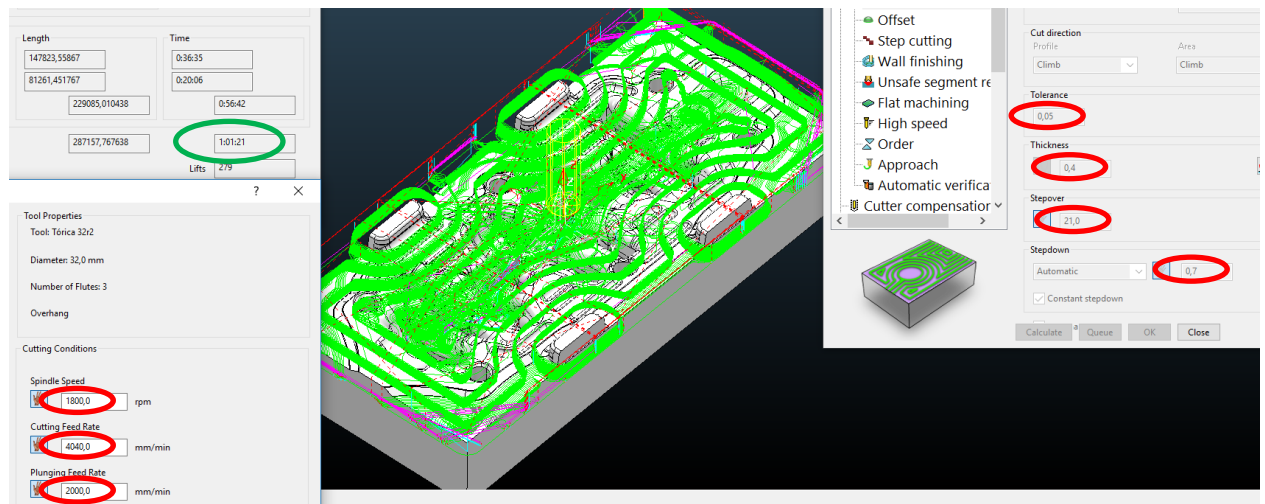
Veleno įdėklų apdirbimo programos ruošiamos naudojant programinę įrangą „PowerMILL“, tai labai supaprastina įdėklų gamybos programų kūrimą. Tolesniuose skyreliuose bus tiriamos **rupiojo frezavimo** (2.1 pav., 2 operacija) ir **glotniojo frezavimo** (2.1 pav., 4 operacija) operacijos. Rupiojo frezavimo metu atliekamas įdėklo rupusis apdirbimas paliekant 0,4 mm užlaidą glotniajam apdirbimui, kad neatsirastų nereikalingų nudegimų terminio apdirbimo metu. Apdirbus termiškai atliekama ketvirtoji įdėklo operacija – glotnasis frezavimas. Šiuo atveju nepalieka jokia užlaida.

### 2.2.1. Rupiojo frezavimo operacijos tyrimas

Pirma operacija štampavimo įdėklų gamyboje, metalo supjaustymas į tam tikro ilgio ruošinius. Toliau metalas frezuojamas (atliekamas **rupusis frezavimas** prieš terminį apdirbimą).

Kad išfrezuoti erdvinius paviršius, rašomos tam tikros apdirbimo programos. Naudojant programinę įrangą „PowerMILL“ [6] sudarytos rupiojo ir glotniojo apdirbimo programos. Toliau tiriamos termiškai neapdirbto metalo rupių ir švarių įdėklų frezavimo programos.

**Rupiojo frezavimo programa** (pirma) (2.2 pav.) skirta rupiam apatiniam įdėklui, kaip ir visos tolimesnės programos. Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **32 mm** skersmens greitaeigiu pirštine spinduline freza su daugiabriaunėmis keičiamomis plokštelėmis. Atliekant rupųjį apdirbimą, paliekama 0,4 mm užlaidą (U) glotniajam apdirbimui. Frezos įgilinimas į šoninį paviršių yra lygus 21 mm (ae). Pjovimo gylis z ašimi 0,7 mm (ap). Paviršiaus formos tolerancija frezuojant 0,05 mm (tol.), kaip ir visų tolesnių rupiojo apdirbimo programų. Suklio greitis 1800 aps/min (S), darbinė pastūma 4040 mm/min (F), gilinimosi – 2000 mm/min. Gilinimosi pastūma dvigubai mažesnė nei darbinė, kadangi freza gilinasi į metalą tik 2° kampu, tokiu pat kampu gilinasi ir visos kitos frezos. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant vidinio (per įrankį) ir išorinio aušinimo būdus. Programos vykdymo laikas **1,03h** (t).

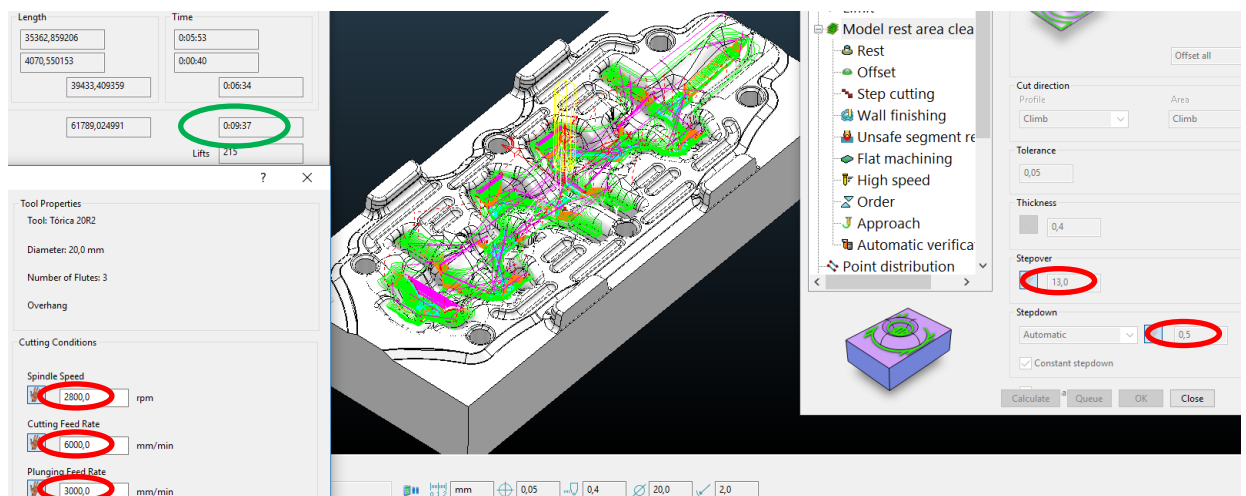


**2.2 pav.** Rupiojo frezavimo programos ekrano vaizdas, parinkti parametrai ir frezavimo laikas

RV, ŠA ir ŠV įdėklų rupiojo apdirbimo *pirmą* programų laikai: RV – **0,60h**, ŠA – **1,09h**, ŠV – **0,83h**. Viršutiniai įdėklai frezuojami trumpiau, negu apatiniai (1.5 pav. ir 1.6 pav.), kadangi apatiniuose yra kaltinio manipuliavimo elementai („ausys“), dėl kurių įdėklai yra 14,5 milimetrų aukštesni, tad pirma freza ilgiau frezuoja.

**Formuojančio paviršiaus rupiojo frezavimo programa (antra)** pavaizduota 2.3 paveiksle. Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **20 mm** skersmens greitaeigė pirštine spinduline freza su daugiabriaunėmis keičiamomis plokštelėmis. Frezos įgilinimas į šoninį paviršių yra lygus 13 mm. Pjovimo gylis z ašimi 0,5 mm. Suklio greitis 2800 aps/min, darbinė pastūma 6000 mm/min, gilinimosi – 3000 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant vidinio ir išorinio aušinimo būdus. Programos vykdymo laikas **0,16h**.

RV, ŠA ir ŠV įdėklų rupiojo apdirbimo *antrą* programų laikai: RV – **0,22h**, ŠA – **0,18h**, ŠV – **0,25h**.



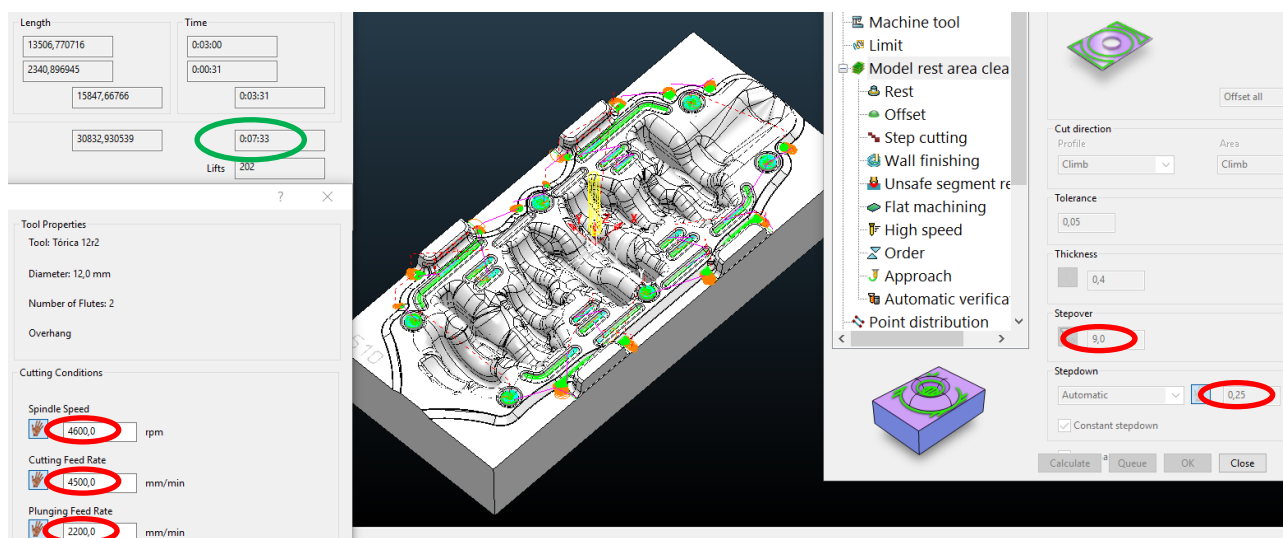
**2.3 pav.** Formuojančio paviršiaus rupiojo frezavimo programos ekrano vaizdas, parinkti parametrai ir frezavimo laikas

**Formuojančio paviršiaus rupiojo frezavimo programa (trečia).** Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **12 mm** skersmens pirštine spinduline vientisa freza. Frezos įgilinimas į šoninį paviršių yra lygus 9 mm. Pjovimo gylis z ašimi 0,25 mm. Suklio greitis 4600 aps/min, darbinė pastūma 4500 mm/min, gilinimosi – 2200 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **0,49h**.

RV, ŠA ir ŠV įdėklų rupiojo apdirbimo *trečių* programų laikai: RV – **0,51h**, ŠA – **0,63h**, ŠV – **0,62h**.

**Neformuojančio paviršiaus rupiojo frezavimo programa (ketvirta)** pavaizduota 2.4 paveiksle. Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **12 mm** skersmens pirštine spinduline vientisa freza. Frezos įgilinimas į šoninį paviršių yra lygus 9 mm. Pjovimo gylis z ašimi 0,25 mm. Suklio greitis 4600 aps/min, darbinė pastūma 4500 mm/min, gilinimosi – 2200 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **0,13h**.

RV, ŠA ir ŠV įdėklų rupiojo apdirbimo *ketvirtų* programų laikai: RV – **0,26h**, ŠA – **0,34h**, ŠV – **0,37h**.



**2.4 pav.** Neformuojančio paviršiaus rupiojo frezavimo programos ekrano vaizdas, parinkti parametrai ir frezavimo laikas

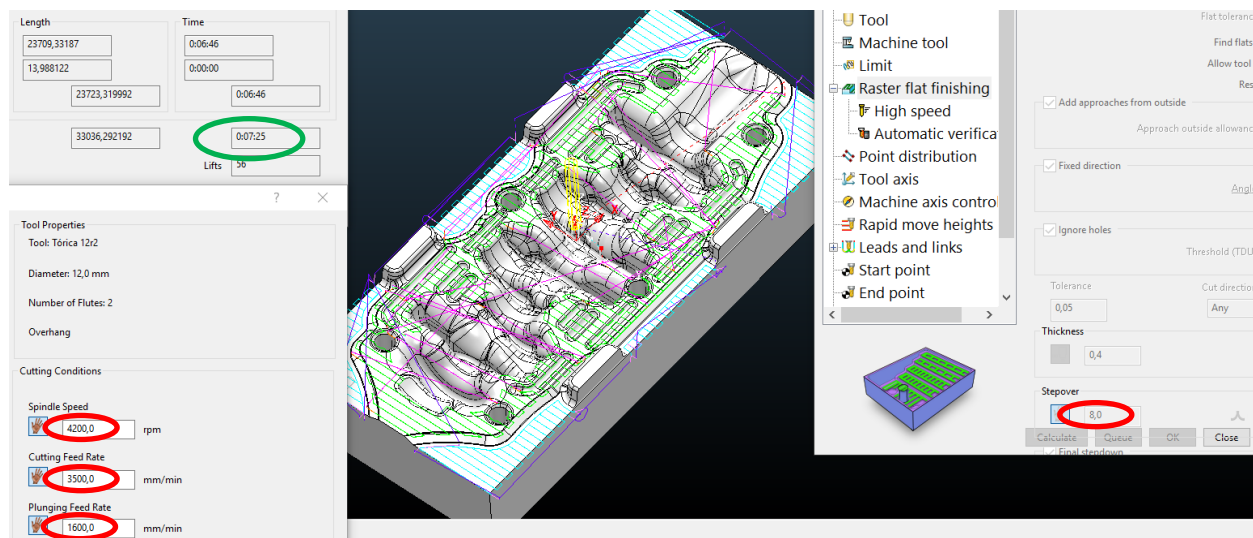
**Plokštumų frezavimo programa (penkta)** pavaizduota 2.5 paveiksle. Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **12 mm** skersmens pirštine spinduline vientisa freza. Frezos įgilinimas į šoninį paviršių yra lygus 8 mm. Suklio greitis 4200 aps/min, darbinė pastūma 3500 mm/min, gilinimosi – 1600 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **0,12h**.

RV, ŠA ir ŠV įdėklų *penktų* programų laikai: RV – **0,12h**, ŠA – **0,13h**, ŠV – **0,15h**.

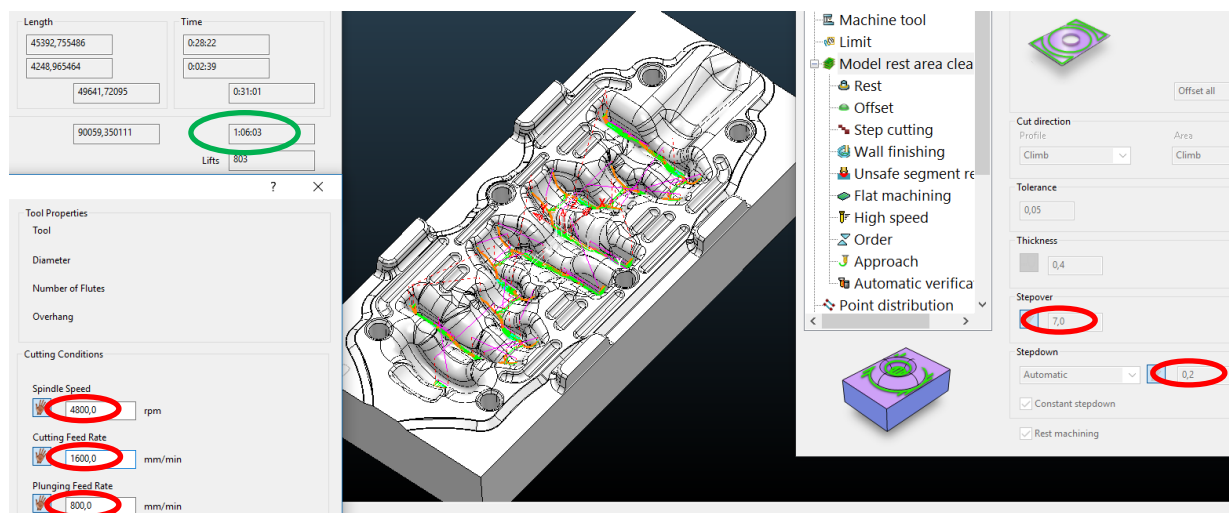


**Formuojančio paviršiaus rupiojo frezavimo programa (šešta)** pavaizduota 2.6 paveiksle. Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **10 mm** skersmens pirštine spinduline vientisa freza. Frezos įgilinimas į šoninį paviršių yra lygus 7 mm. Pjovimo gylis z ašimi 0,20 mm. Suklio greitis 4800 aps/min, darbinė pastūma 1600 mm/min, gilinimosi – 800 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **1,10h**.

RV, ŠA ir ŠV įdėklų *šeštų* programų laikai: RV – **1,17h**, ŠA – **1,34h**, ŠV – **1,33h**.



**2.5 pav.** Plokštumų frezavimo programos ekrano vaizdas, parinkti parametrai ir frezavimo laikas



**2.6 pav.** Formuojančio paviršiaus frezavimo programa, parinkti parametrai ir frezavimo laikas

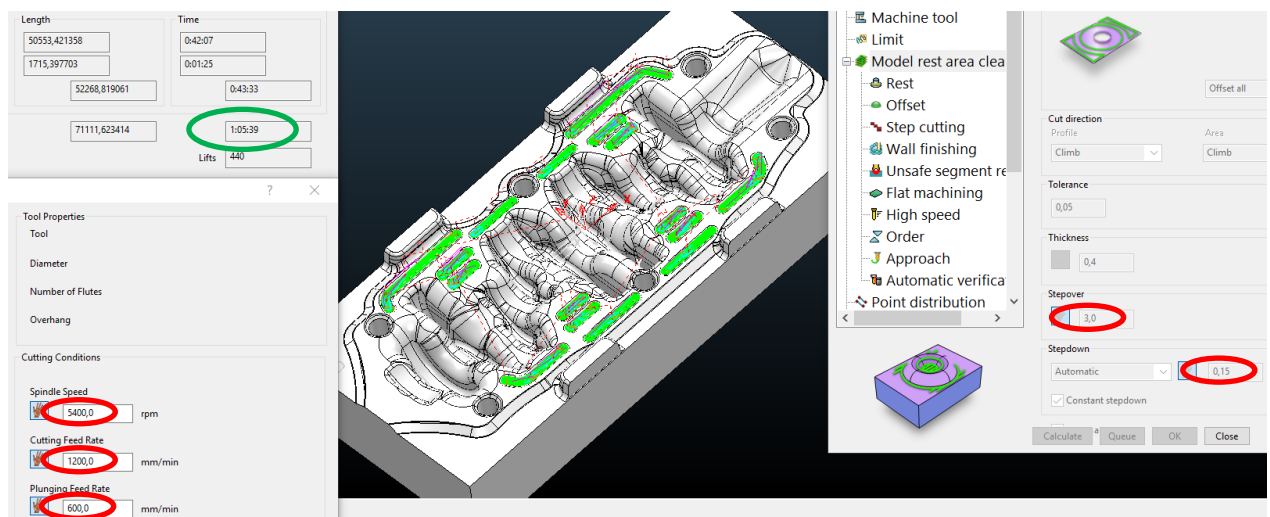
**Formuojančio paviršiaus rupiojo frezavimo programa (septinta).** Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **8 mm** skersmens pirštine spinduline vientisa freza. Frezos įgilinimas į šoninį paviršių yra lygus 5 mm. Pjovimo gylis z ašimi 0,15 mm. Suklio greitis 5400 aps/min, darbinė pastūma 1400 mm/min, gilinimosi – 700 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **0,58h**.

RV, ŠA ir ŠV įdėklų rupiojo apdirbimo *septintų* programų laikai: RV – **0,52h**, ŠA – **0,81h**, ŠV – **0,82h**.

**Formuojančio paviršiaus rupiojo frezavimo programa (aštunta).** Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **6 mm** skersmens pirštine sferine vientisa freza. Frezos įgilinimas į šoninį paviršių yra lygus 2 mm. Pjovimo gylis z ašimi 0,08 mm. Suklio greitis 5800 aps/min, darbinė pastūma 900 mm/min, gilinimosi – 450 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **0,90h**.

RV, ŠA ir ŠV įdėklų rupiojo apdirbimo *aštuntų* programų laikai: RV – **0,95h**, ŠA – **0,66h**, ŠV – **0,63h**.

**Išlajos stabdymo griovelių rupiojo frezavimo programa (devinta)** pavaizduota 2.7 paveiksle. Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **8 mm** skersmens pirštine sferine vientisa freza. Frezos įgilinimas į šoninį paviršių yra lygus 3 mm. Pjovimo gylis z ašimi 0,15 mm. Suklio greitis 5400 aps/min, darbinė pastūma 1200 mm/min, gilinimosi – 600 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **1,09h**.

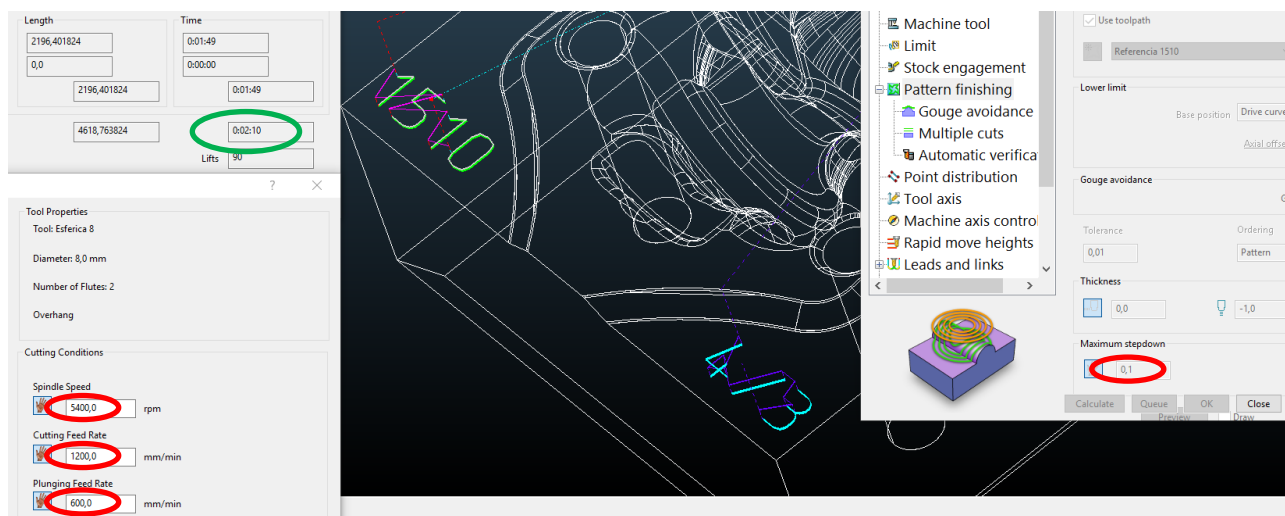


**2.7 pav.** Išlajos stabdymo griovelių frezavimo programos ekrano vaizdas, parinkti parametrai ir frezavimo laikas

Išlajos stabdymo grioveliai yra tik rupiuose įdėkluose (RA (1.5 pav.) ir RV), taigi švariose frezavimo programų stabdymo grioveliams nėra. RV įdėklo *devintos* programos laikas **0,96h**.

**Įdėklo ženklinimo frezavimo programa (dešimta)** pavaizduota 2.8 paveiksle. Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **8 mm** skersmens pirštine sferine vientisa freza. Frezos pjovimo gylis z ašimi 0,1 mm. Suklio greitis 5400 aps/min, darbinė pastūma 1200 mm/min, gilinimosi – 600 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **0,04h**.

RV, ŠA ir ŠV įdėklų rupiojo apdirbimo *dešimtų* programų laikai: RV – **0,04h**, ŠA – **0,03h**, ŠV – **0,04h**.



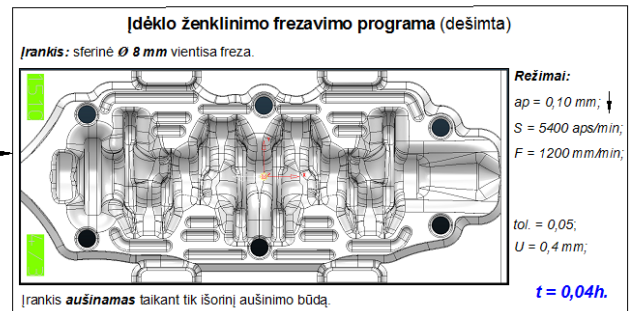
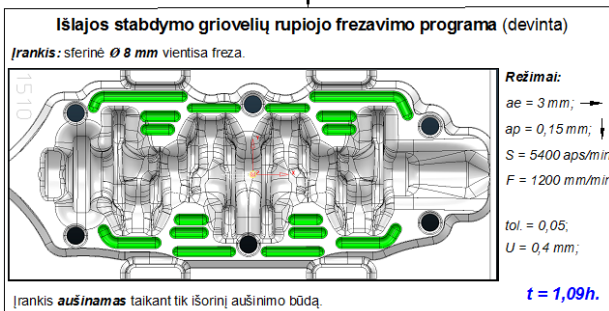
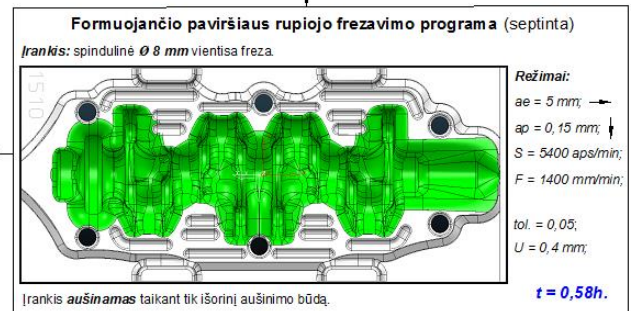
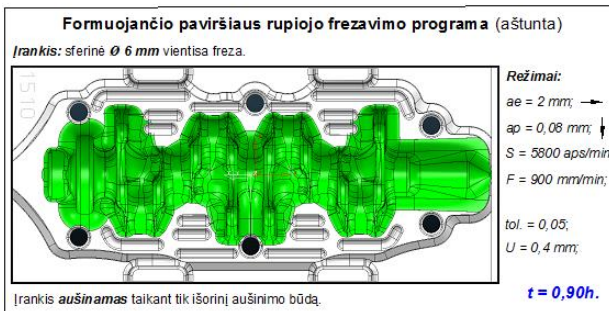
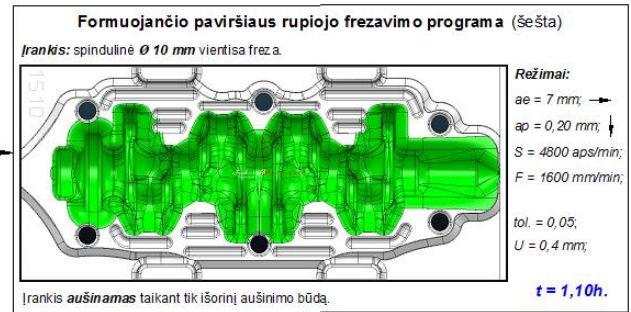
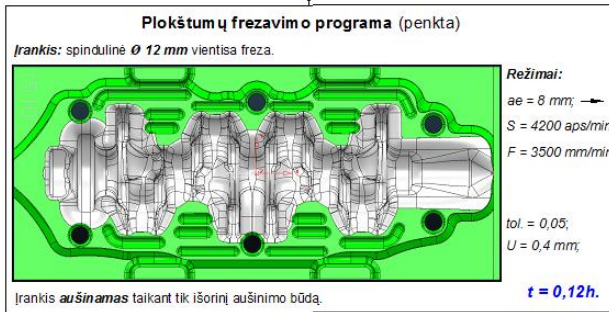
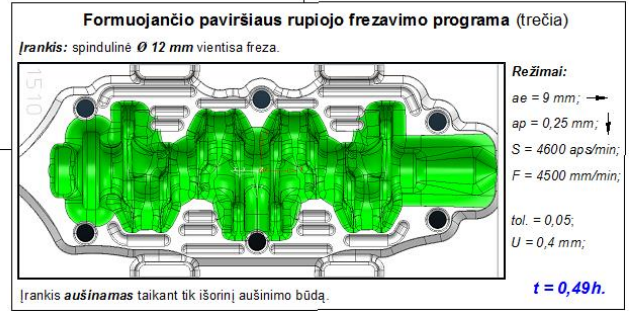
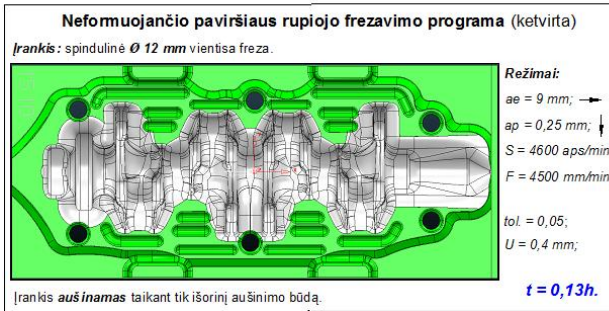
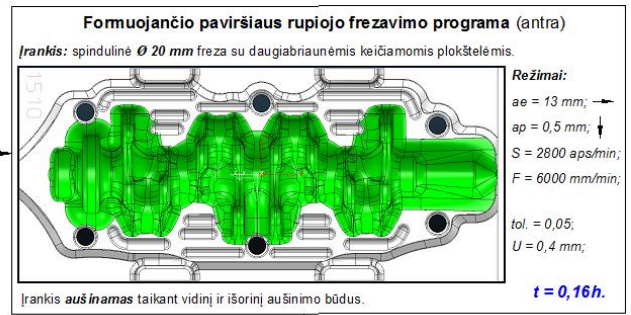
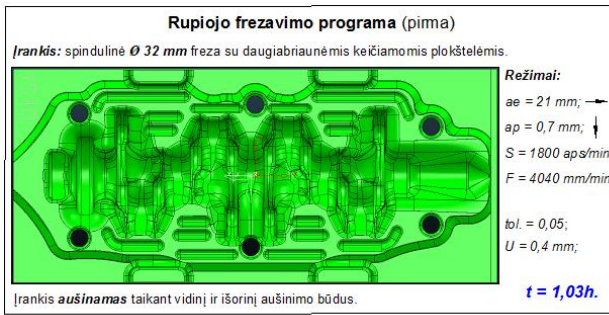
**2.8 pav.** Įdėklo ženklinimo frezavimo programos ekrano vaizdas, parinkti parametrai ir frezavimo laikas

Visos termiškai neapdirbto metalo frezavimo programos RA įdėklui pavaizduotos 2.9 paveiksle. Kiekvienos programos frezuojamos vietos pažymėtos **žalia spalva**. Schemoje pateikti kiekvienoje programoje naudojami įrankiai, jų tipai, režimai (įgilinimas į šoninį paviršių (ae), pjovimo gylis z ašimi (ap), suklio greitis (S), darbinė pastūma (F)), paviršiaus formos tolerancijos (tol.) ir rupiojo apdirbimo užlaidos (U) glotniajam apdirbimui. Taip pat pateikti programų vykdymo laikai (t).

Rupių šampavimo įdėklų rupųjį apdirbimą atlieka **10 frezavimo programų**, o švarių – **9**, kadangi juose nėra programos išlajos stabdymo grioveliams frezuoti. Rupiajam apdirbimui atlikti naudojamos **7 frezos** standartiniuose **BT50 kūgiuose** (2.10 pav.).

Rupiajame apdirbime naudojamos **32** ir **20 mm** skersmens pirštinės frezos su daugiabriaunėmis keičiamomis plokštelėmis (2.11 pav., *kairėje*), o **12**, **10**, **8** ir **6 mm** skersmens frezos yra vientisos (2.11 pav., *dešinėje*).





2.9 pav. Termiškai neapdirbto metalo frezavimo programų vaizdai



**2.10 pav.** Rupiujam apdirbimui naudojamos frezos standartiniuose įrankių laikikliuose



**2.11 pav.** Pirštinės frezos su keičiamomis plokštelėmis (*kairėje*) ir vientisos (*dešinėje*)

Atlikus rupiojo frezavimo operacijos tyrimą (2.1 pav., 2 operacija), galima nustatyti rupių ir švarių įdėklų rupiojo apdirbimo laikus.

Sudėjus rupiojo apdirbimo programų laikus gaunama:

- RA įdėklas –  $1,03 + 0,16 + 0,49 + 0,13 + 0,12 + 1,10 + 0,58 + 0,90 + 1,09 + 0,04 = 5,64\text{h}$ .
- RV įdėklas –  $0,60 + 0,22 + 0,51 + 0,26 + 0,12 + 1,17 + 0,52 + 0,95 + 0,96 + 0,04 = 5,35\text{h}$ .
- ŠA įdėklas –  $1,09 + 0,18 + 0,63 + 0,34 + 0,13 + 1,34 + 0,81 + 0,66 + 0,03 = 5,28\text{h}$ .
- ŠV įdėklas –  $0,83 + 0,25 + 0,62 + 0,37 + 0,15 + 1,33 + 0,82 + 0,63 + 0,04 = 5,04\text{h}$ .

Praktiniu būdu nustatyta, kad paklaida tarp teorinio frezavimo laiko ir realaus ~9%. Kiekviename metalo bloke 22 mm skersmens grąžtu gręžiamos 6 stūmiklių kiaurymės (1.5 pav. ir 1.6 pav.). Pastaroji operacija trunka **0,12h**. Taip pat prie bendro laiko pridedamas bloko viršutinės plokštumos lyginimas ir kontūro frezavimas, kurie atliekami **63 mm** skersmens plokšteline freza. Šis apdirbimas trunka **1,24h**. Įdėklų rupiojo apdirbimo laikai pateikti 2.1 lentelėje.



2.1 lentelė. Įdėklų rupiojo apdirbimo laikai

Įdėklas	Programų laikas, h	Paklaida (9%), h	Kiaurymių gręžimas, h	Plokštumos ir kontūro frezavimas, h	Bendras apdirbimo laikas Σ, h
RA	5,64	0,51	0,12	1,24	7,51
RV	5,35	0,48			7,19
ŠA	5,28	0,47			7,11
ŠV	5,04	0,46			6,86

### 2.2.2. Glotniojo frezavimo operacijos tyrimas

Atlikus metalo rupųjį mechaninį apdirbimą, toliau atliekamas terminis apdirbimas. Po grūdinimo gaunamas kietumas 45 ÷ 47 HRC (prieš grūdinimą – 300 HB). Po terminio apdirbimo įdėklas vėl frezuojamas, atliekamas glotnasis apdirbimas. Dar kartą frezuoti įdėklą po terminio apdirbimo reikia dėl metalo deformavimosi, kurį sąlyginai sunku kontroliuoti ir kuris atsiranda grūdinimo metu.

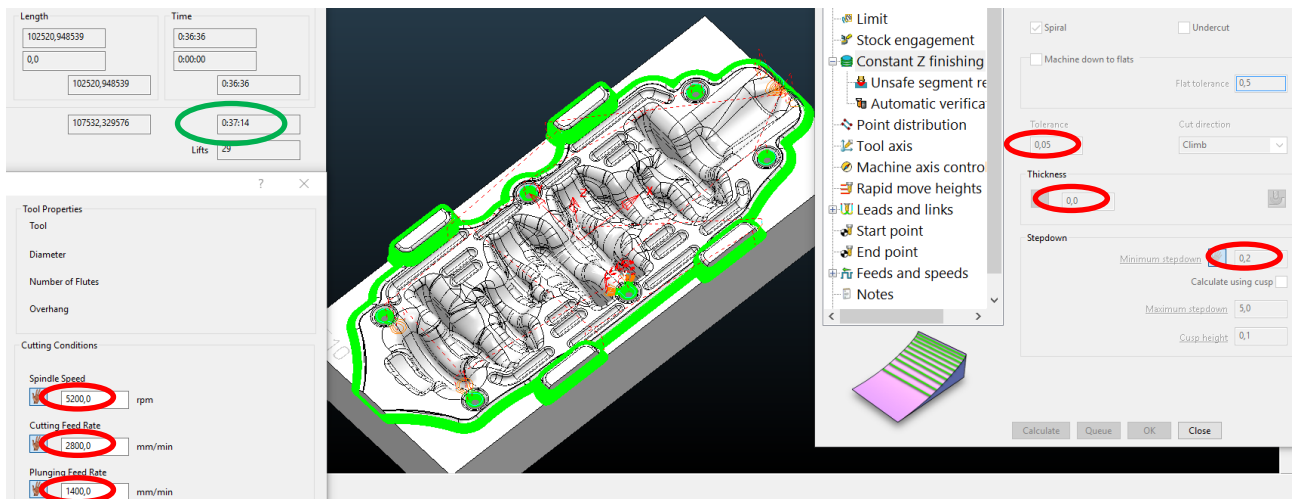
Toliau tiriamos termiškai apdirbto metalo *glotniojo apdirbimo* frezavimo programos (rupių ir švarių įdėklų).

*Neformuojančio paviršiaus glotniojo frezavimo programa (pirma)* (2.12 pav.) skirta rupiam apatiniam įdėklui, kaip ir visos tolimesnės programos. Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **12 mm** skersmens pirštine spinduline vientisa freza. Naudojant šią frezą nepaliekama jokia užlaida, priešingai nei rupiajame apdirbime (buvo palikta 0,4 mm užlaida). Frezos pjovimo gylis z ašimi 0,20 mm. Paviršiaus formos tolerancija frezuojant 0,05 mm. Suklio greitis 5200 aps/min, darbinė pastūma 2800 mm/min, gilinimosi – 1400 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **0,62h**.

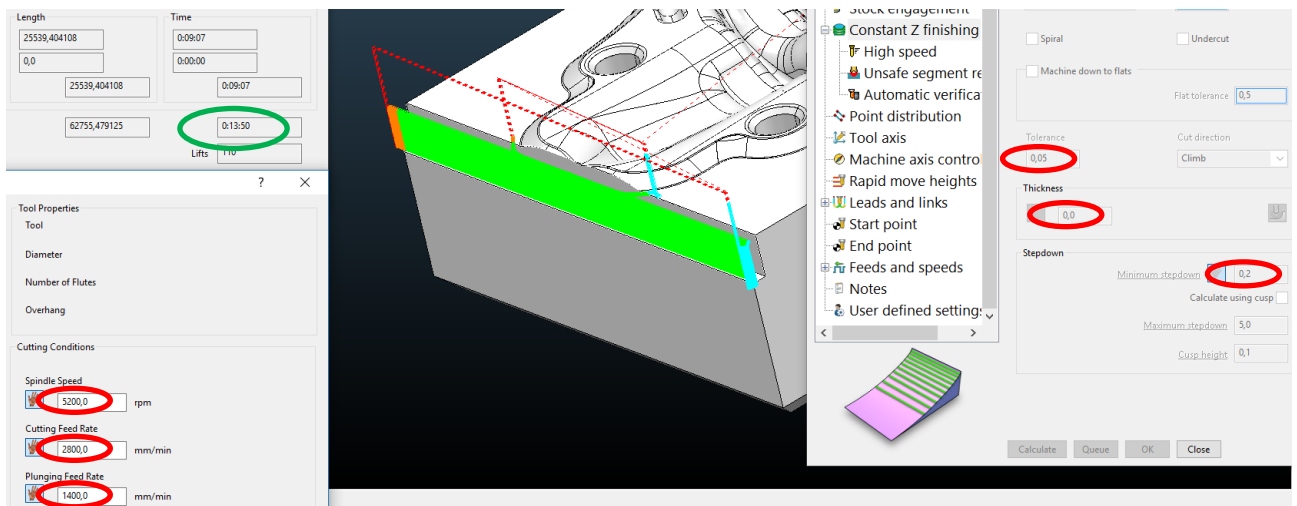
RV, ŠA ir ŠV įdėklų glotniojo apdirbimo *pirmų* programų laikai: RV – **0,24h**, ŠA – **0,95h**, ŠV – **0,57h**.

*Laipto glotniojo frezavimo programa (antra)* pavaizduota 2.13 paveiksle. Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **12 mm** skersmens pirštine spinduline vientisa freza. Naudojant šią frezą nepaliekama jokia užlaida. Frezos pjovimo gylis z ašimi 0,20 mm. Paviršiaus formos tolerancija frezuojant 0,05 mm. Suklio greitis 5200 aps/min, darbinė pastūma 2800 mm/min, gilinimosi – 1400 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **0,23h**.

RV, ŠA ir ŠV įdėklų glotniojo apdirbimo *antrų* programų laikai: RV – **0,22h**, ŠA – **0,19h**, ŠV – **0,14h**.



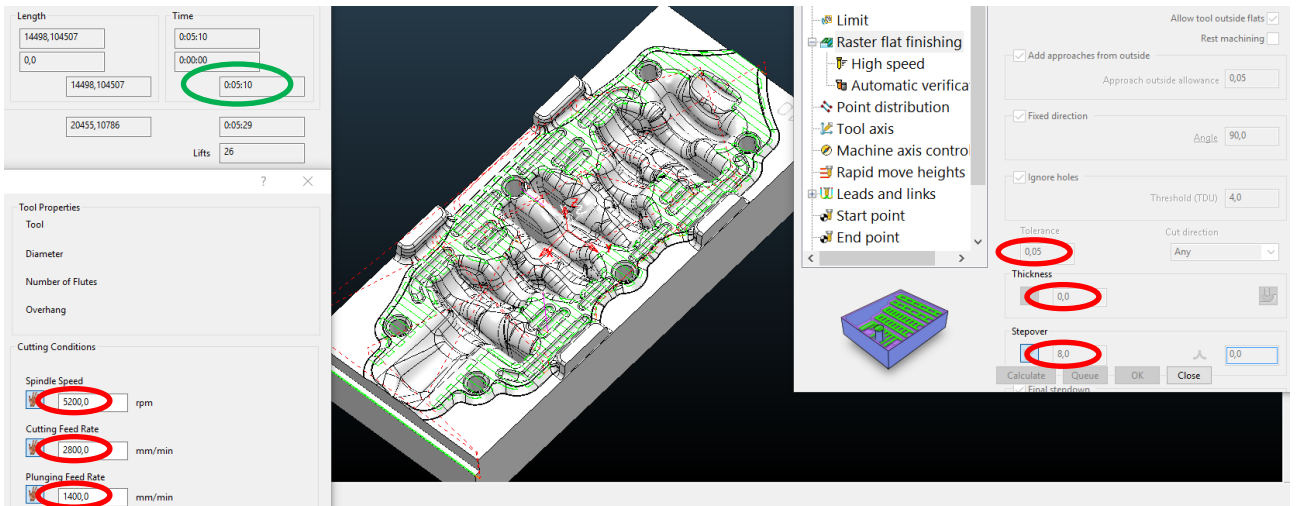
2.12 pav. Neformuojančio paviršiaus glotniojo frezavimo programos ekrano vaizdas, parinkti parametrai ir frezavimo laikas



2.13 pav. Laipto glotniojo frezavimo programos ekrano vaizdas, parinkti parametrai ir frezavimo laikas

*Plokštumų glotniojo frezavimo programa (trečia)* pavaizduota 2.14 paveiksle. Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **12 mm** skersmens pirštine spinduline vientisa freza. Naudojant šią frezą nepaliekama jokia užlaida. Frezos įgilinimas į šoninį paviršių yra lygus 8 mm. Paviršiaus formos tolerancija frezuojant 0,05 mm. Suklio greitis 5200 aps/min, darbinė pastūma 2800 mm/min, gilinimosi – 1400 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **0,09h**.

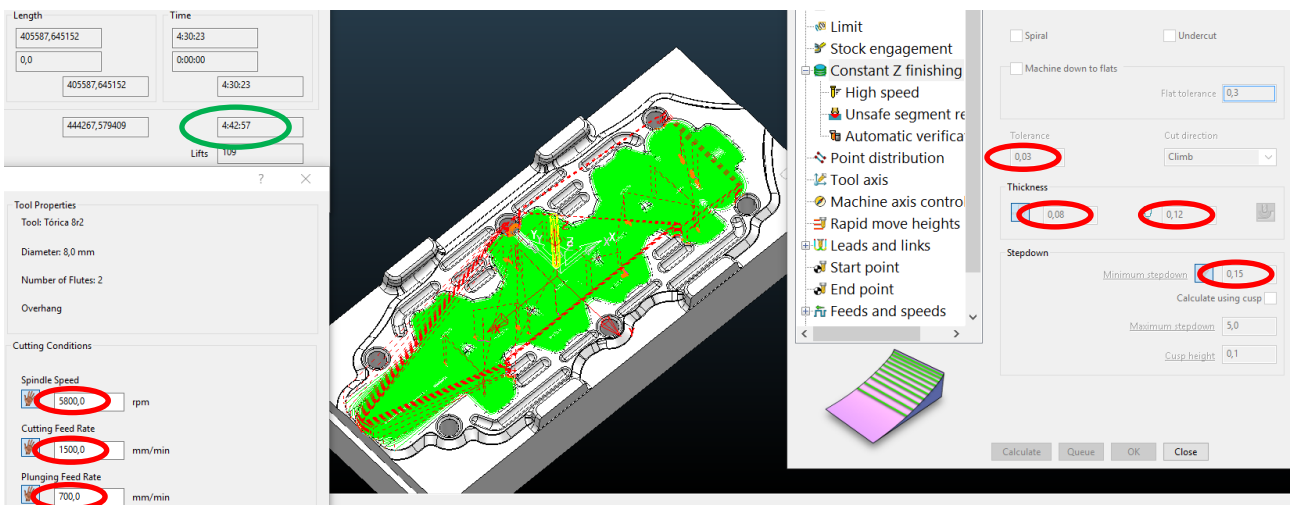
RV, ŠA ir ŠV įdėklų glotniojo apdirbimo *trečių* programų laikai: RV – **0,11h**, ŠA – **0,12h**, ŠV – **0,12h**.



2.14 pav. Plokštumų glotniojo frezavimo programos ekrano vaizdas, parinkti parametrai ir frezavimo laikas

*Viso formuojančio paviršiaus glotniojo frezavimo programa (ketvirta)* pavaizduota 2.15 paveiksle. Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **8 mm** skersmens pirštine spinduline vientisa freza. Naudojant šią frežą, paliekamos užlaidos: 0,08 mm nuo šoninio paviršiaus ir 0,12 mm į gylį z ašimi. Užlaida palikta siekiant tausoti įrankį. Šios frezos paliktą užlaidą pašalins kitos frezos. Frezos pjovimo gylis z ašimi 0,15 mm. Paviršiaus formos tolerancija frezuojant 0,03 mm. Suklio greitis 5800 aps/min, darbinė pastūma 1500 mm/min, gilinimosi – 700 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **4,72h**.

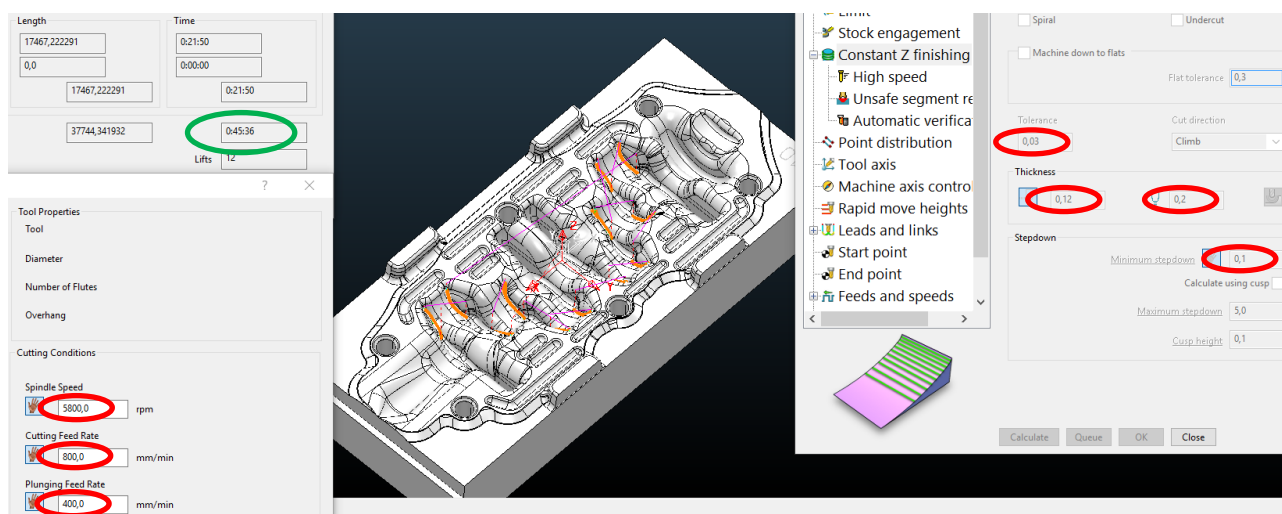
RV, ŠA ir ŠV įdėklų glotniojo apdirbimo *ketvirtų* programų laikai: RV – **4,86h**, ŠA – **4,83h**, ŠV – **4,82h**.



2.15 pav. Viso formuojančio paviršiaus glotniojo frezavimo programos ekrano vaizdas, parinkti parametrai ir frezavimo laikas

**Formuojančio paviršiaus glotniojo frezavimo programa (penkta)** pavaizduota 2.16 paveiksle. Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **6 mm** skersmens pirštine sferine vientisa freza. Naudojant šią frezą, paliekamos užlaidos: 0,12 mm nuo šoninio paviršiaus ir 0,20 mm į gylį z ašimi. Užlaida palikta siekiant tausoti įrankį. Šios frezos paliktą užlaidą pašalins kitos frezos. Frezos pjovimo gylis z ašimi 0,10 mm. Paviršiaus formos tolerancija frezuojant 0,03 mm. Suklio greitis 5800 aps/min, darbinė pastūma 800 mm/min, gilinimosi – 400 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **0,76h**.

RV, ŠA ir ŠV įdėklų glotniojo apdirbimo *penktų* programų laikai: RV – **0,71h**, ŠA – **0,84h**, ŠV – **0,82h**.



**2.16 pav.** Formuojančio paviršiaus glotniojo frezavimo programos ekrano vaizdas, parinkti parametrai ir frezavimo laikas

**Viso formuojančio paviršiaus glotniojo frezavimo programa (šešta).** Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **8 mm** skersmens pirštine sferine vientisa freza. Naudojant šią frezą, paliekama užlaida 0,08 mm į gylį z ašimi. Užlaida palikta siekiant tausoti įrankį. Šios frezos paliktą užlaidą pašalins kitos frezos, kurios frezuos formuojančio paviršiaus dugną. Frezos pjovimo gylis z ašimi 0,15 mm. Paviršiaus formos tolerancija frezuojant 0,01 mm. Tolerancija didinama, kadangi formuojantis paviršius frezuojamas be užlaidos nuo šoninio paviršiaus, palikta užlaida tik 0,08 mm į gylį z ašimi. Suklio greitis 5800 aps/min, darbinė pastūma 1200 mm/min, gilinimosi – 600 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **6,02h**.

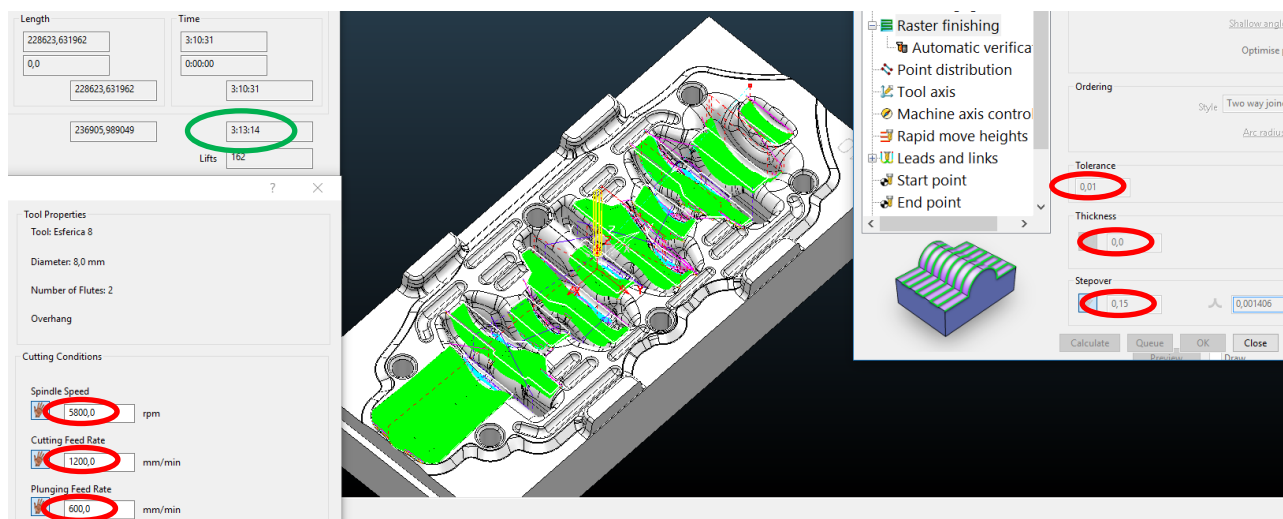
RV, ŠA ir ŠV įdėklų glotniojo apdirbimo *šeštų* programų laikai: RV – **6,15h**, ŠA – **6,10h**, ŠV – **6,19h**.

**Formuojančio paviršiaus glotniojo frezavimo programa (septinta).** Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **6 mm** skersmens pirštine sferine vientisa freza. Naudojant šią frezą nepaliekama jokia užlaida. Frezos pjovimo gylis  $z$  ašimi 0,08 mm. Paviršiaus formos tolerancija frezuojant 0,01 mm. Suklio greitis 5800 aps/min, darbinė pastūma 800 mm/min, gilinimosi – 400 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **1,30h**.

RV, ŠA ir ŠV įdėklų glotniojo apdirbimo *septintų* programų laikai: RV – **1,21h**, ŠA – **1,62h**, ŠV – **1,54h**.

**Formuojančio paviršiaus kakliukų ir dugno glotniojo frezavimo programa (aštunta)** pavaizduota 2.17 paveiksle. Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **8 mm** skersmens pirštine sferine vientisa freza. Naudojant šią frezą nepaliekama jokia užlaida. Frezos įgilinimas į šoninį paviršių yra lygus 0,15 mm. Paviršiaus formos tolerancija frezuojant 0,01 mm. Suklio greitis 5800 aps/min, darbinė pastūma 1200 mm/min, gilinimosi – 600 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **3,22h**.

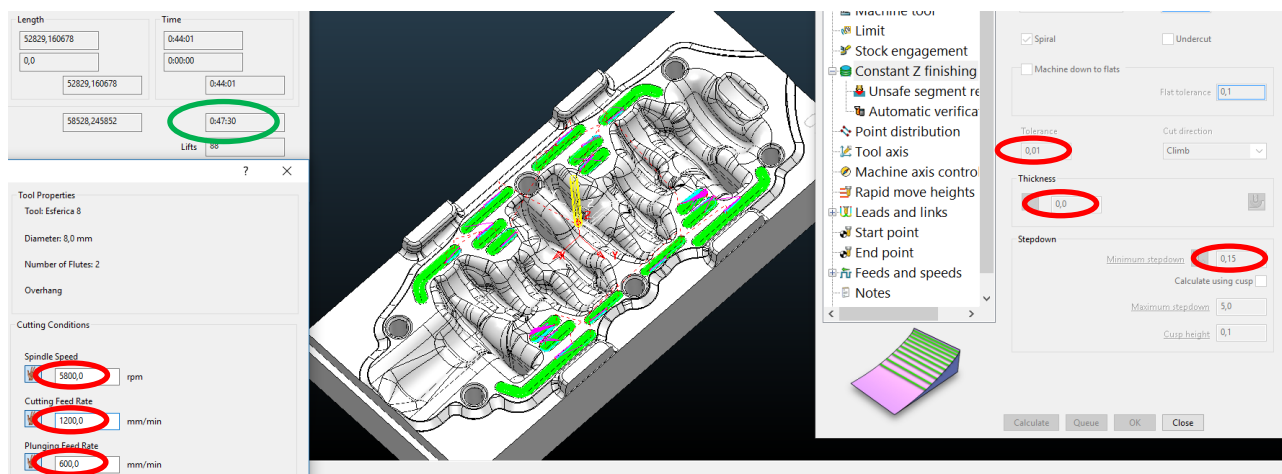
RV, ŠA ir ŠV įdėklų glotniojo apdirbimo *aštuntų* programų laikai: RV – **2,94h**, ŠA – **2,63h**, ŠV – **2,56h**.



**2.17 pav.** Formuojančio paviršiaus kakliukų ir dugno glotniojo frezavimo programos ekrano vaizdas, parinkti parametrai ir frezavimo laikas

**Išlajos stabdymo griovelių glotniojo frezavimo programa (devinta)** pavaizduota 2.18 paveiksle. Pasitelkus šią programą atliekamas frezavimas **8 mm** skersmens pirštine sferine vientisa freza. Naudojant šią frezą nepaliekama jokia užlaida. Frezos pjovimo gylis  $z$  ašimi 0,15 mm. Paviršiaus formos tolerancija frezuojant 0,01 mm. Suklio greitis 5800 aps/min, darbinė pastūma 1200 mm/min, gilinimosi – 600 mm/min. Įrankis aušinamas aušinimo skysčiu taikant tik išorinį aušinimo būdą. Programos vykdymo laikas **0,79h**.

Išlajos stabdymo grioveliai yra tik rupiuose įdėkluose, taigi švariuose frezavimo programų stabdymo grioveliams nėra. RV įdėklo glotniojo apdirbimo *devintos* programos laikas **0,65h**.



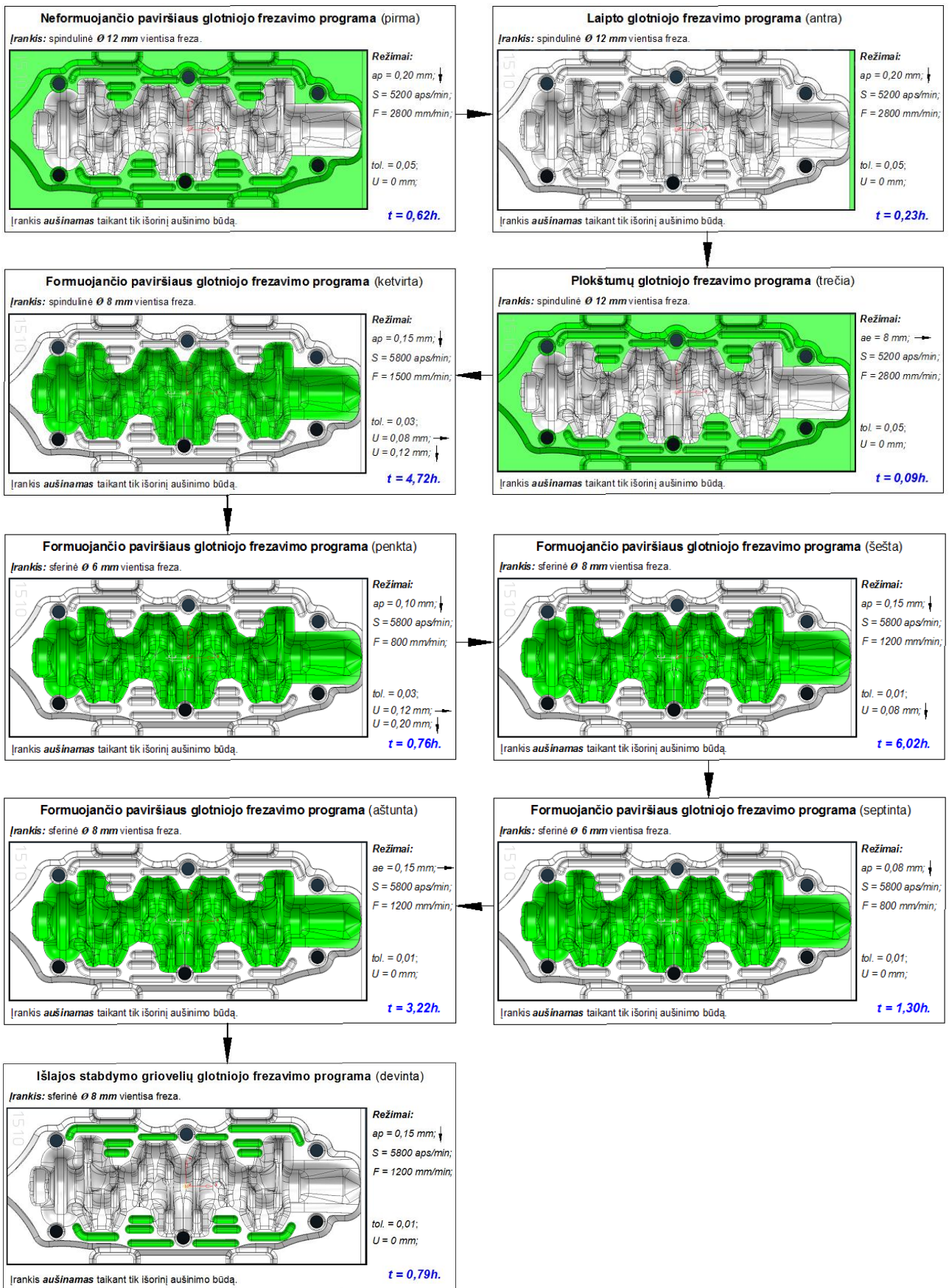
**2.18 pav.** Išlajos stabdymo griovelių frezavimo programos ekrano vaizdas, parinkti parametrai ir frezavimo laikas

Visos termišškai apdirbto metalo frezavimo programos RA įdėklui pavaizduotos 2.19 paveiksle. Kiekvienos programos frezuojamos vietos pažymėtos **žalia spalva**. Schemoje pateikti kiekvienoje programoje naudojami įrankiai, jų tipai, režimai (įgilinimas į šoninių paviršių (ae), pjovimo gylis z ašimi (ap), suklio greitis (S), darbinė pastūma (F)), Paviršiaus formos tolerancija (tol.) ir paliktos užlaidos (U) tolimesnėms frezoms. Taip pat pateikti programų vykdymo laikai (t).

Rupių štapavimo įdėklų glotnųjį apdirbimą atlieka **9 frezavimo programos**, o švarių – **8**, kadangi juose nėra programos išlajos stabdymo grioveliams frezuoti. Glotniajam apdirbimui atlikti naudojamos **4 frezos** standartiniuose **BT50 kūgiuose** (2.20 pav.).

Glotniajame apdirbime naudojamos **12, 8 ir 6 mm** skersmens pirštinės vientisos frezos (2.21 pav.).





2.19 pav. Termiškai apdirbto metalo frezavimo programų vaizdai



**2.20 pav.** Glotniajam apdirbimui naudojamos frezos standartiniuose įrankių laikikliuose



**2.21 pav.** Glotniajame apdirbime naudojamos pirštinės vientisos frezos

Atlikus glotniojo frezavimo operacijos tyrimą (2.1 pav., 4 operacija). Galima nustatyti rupių ir švirių įdėklų glotniojo apdirbimo laikus.

Sudėjus glotniojo apdirbimo programų laikus gaunama:

- RA įdėklas –  $0,62 + 0,23 + 0,09 + 4,72 + 0,76 + 6,02 + 1,30 + 3,22 + 0,79 = 17,75\text{h}$ .
- RV įdėklas –  $0,24 + 0,22 + 0,11 + 4,86 + 0,71 + 6,15 + 1,21 + 2,94 + 0,65 = 17,09\text{h}$ .
- ŠA įdėklas –  $0,95 + 0,19 + 0,12 + 4,83 + 0,84 + 6,10 + 1,62 + 2,63 = 17,28\text{h}$ .
- ŠV įdėklas –  $0,57 + 0,14 + 0,12 + 4,82 + 0,82 + 6,19 + 1,54 + 2,56 = 16,76\text{h}$ .

Pridėjus paklaidą tarp teorinio frezavimo laiko ir realaus, kuri yra ~ 9%, gauti įdėklų glotniojo apdirbimo laikai pateikti 2.2 lentelėje.

**2.2 lentelė. Įdėklų glotniojo apdirbimo laikai**

Įdėklas	Programų laikas, h	Paklaida (9%), h	Bendras apdirbimo laikas Σ, h
RA	17,75	1,60	19,35
RV	17,09	1,54	18,63
ŠA	17,28	1,56	18,84
ŠV	16,76	1,51	18,27

Tada bendri įdėklų frezavimo laikai (2.1 pav., 2 ir 4 operacijos), atmetus kitas jų gamybos operacijas, pateikti 2.3 lentelėje:

**2.3 lentelė. Bendri įdėklų frezavimo laikai**

Įdėklas	Rupiojo apdirbimo laikas, h	Glotniojo apdirbimo laikas, h	Bendras apdirbimo laikas Σ, h
RA	7,51	19,35	26,86
RV	7,19	18,63	25,82
ŠA	7,11	18,84	25,95
ŠV	6,86	18,27	25,13

### 2.3. Frezavimo programų koregavimas

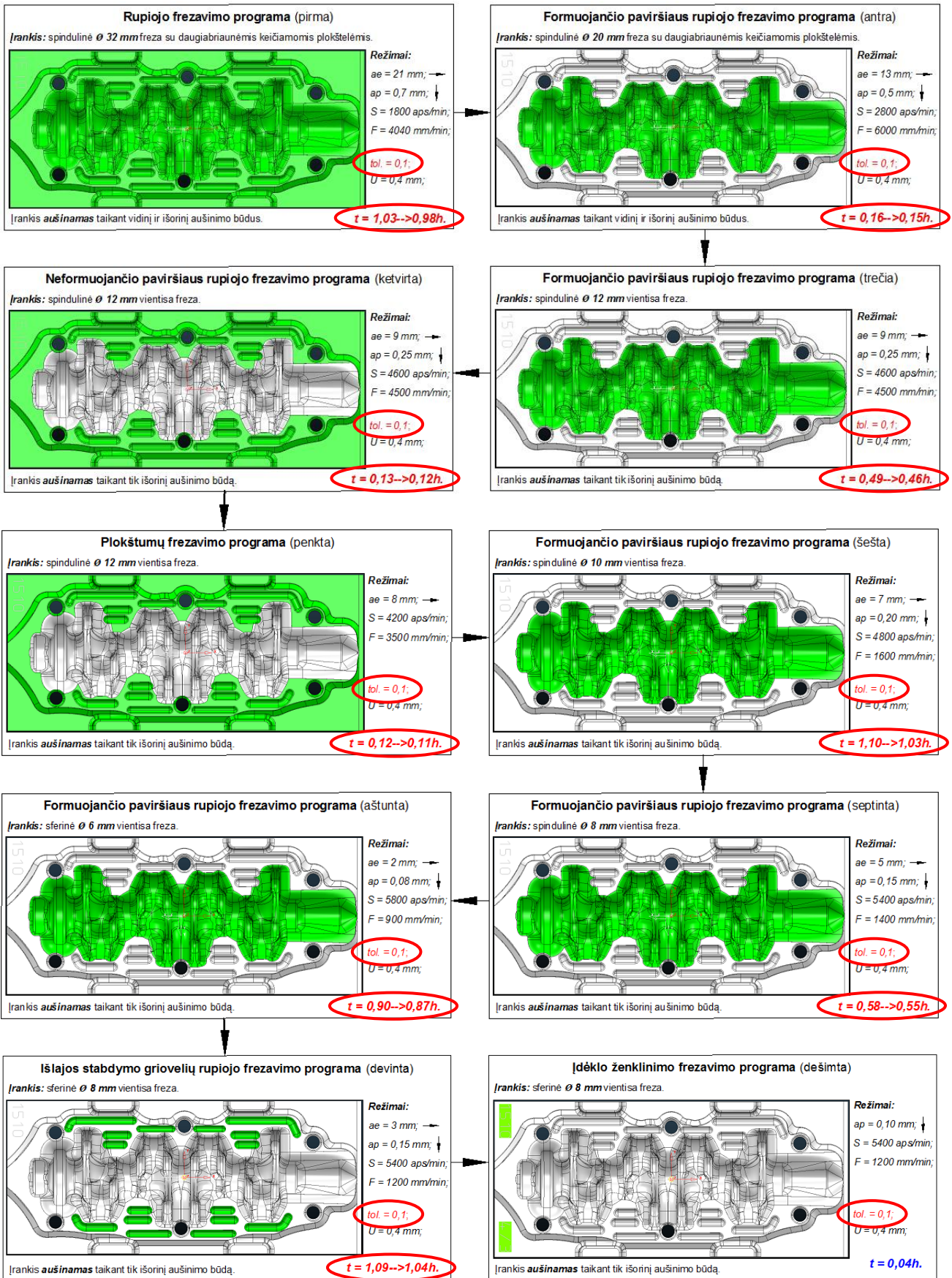
#### 2.3.1. Rupiojo frezavimo programų koregavimas

Prieš štapavimo įdėklų terminį apdirbimą (2.1 pav., 3 operacija) atliekamas rupusis frezavimas (2.1 pav., 2 operacija), kurio metu visos frezos palieka 0,4 mm užlaidą glotniajam frezavimui (2.1 pav., 4 operacija). Grūdinimo ir atleidimo metu nudega ~ 0,2 mm metalo nuo šoninio paviršiaus ir tiek pat į gylį z ašimi. Po terminio apdirbimo lieka ~ 0,2 mm užlaida glotniajam frezavimui. Tada galima daryti išvadą, kad rupiajam frezavimui prieš terminį apdirbimą frezavimo tikslumo užtenka 0,1 mm.

Tuomet perskaičiuojamos visos *rupiojo apdirbimo* programos padidinus paviršiaus formos toleranciją iki 0,1 (buvo 0,05), kuri dar telpa į frezavimo proceso tolerancijų ribas (2 priedas). Tokiu būdu sutrumpinamas pačių programų eilučių skaičius ir programų vykdymo laikai. Pakeistos paviršiaus formos tolerancijos (tol.) ir programų vykdymo laikai (t) 2.22 paveiksle pažymėti **raudona spalva**.

Padidinus paviršiaus formos toleranciją, sutaupytas laikas lygus **0,29h**, o galutinio gaminio kokybė nepakito (1.2 lentelė).

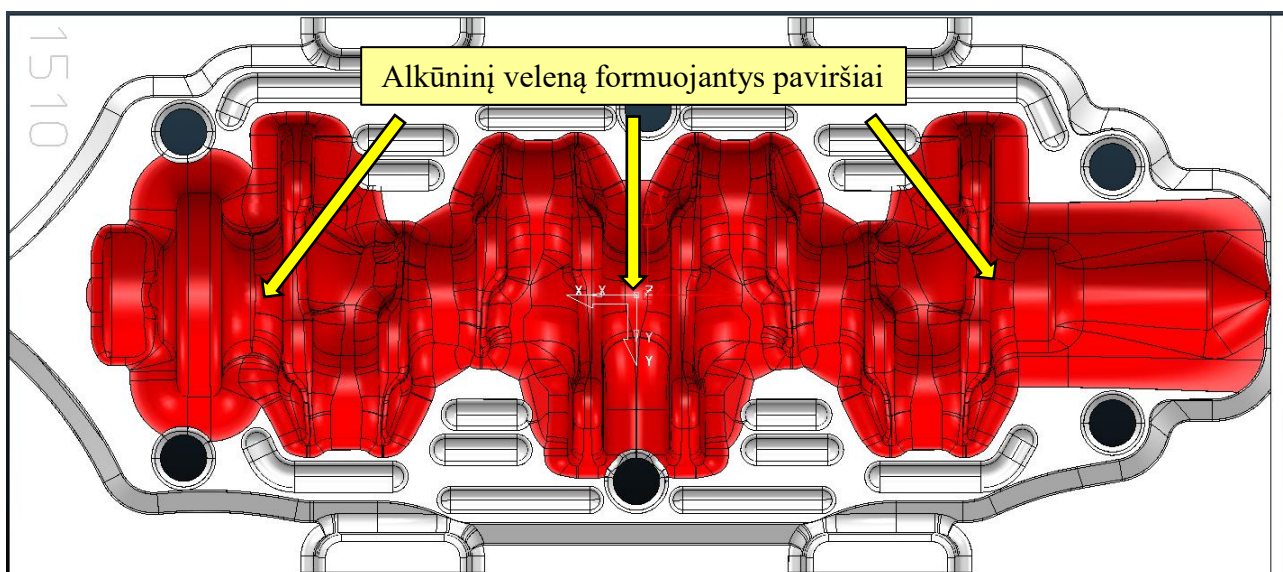




2.22 pav. Termiškai neapdirbto metalo frezavimo programų laikai padidinus toleranciją

### 2.3.2. Glotniojo frezavimo programų koregavimas

Alkūninių velenų karštojo šampavimo metu svarbiausia vieta yra veleną formuojantys paviršiai (2.23 pav.), kurie šampavimo metu formuoja kaltinio formą. Frezuojant įdėklus šiose vietose būtina gauti reikiamą tikslų matmenį, taigi programos, frezuojančios šią vietą, nėra koreguojamos. Likusius paviršius frezuojančias programas galima koreguoti, o kai kurias net pašalinti.



2.23 pav. Alkūninių velenų šampavimo metu veleną formuojantys paviršiai

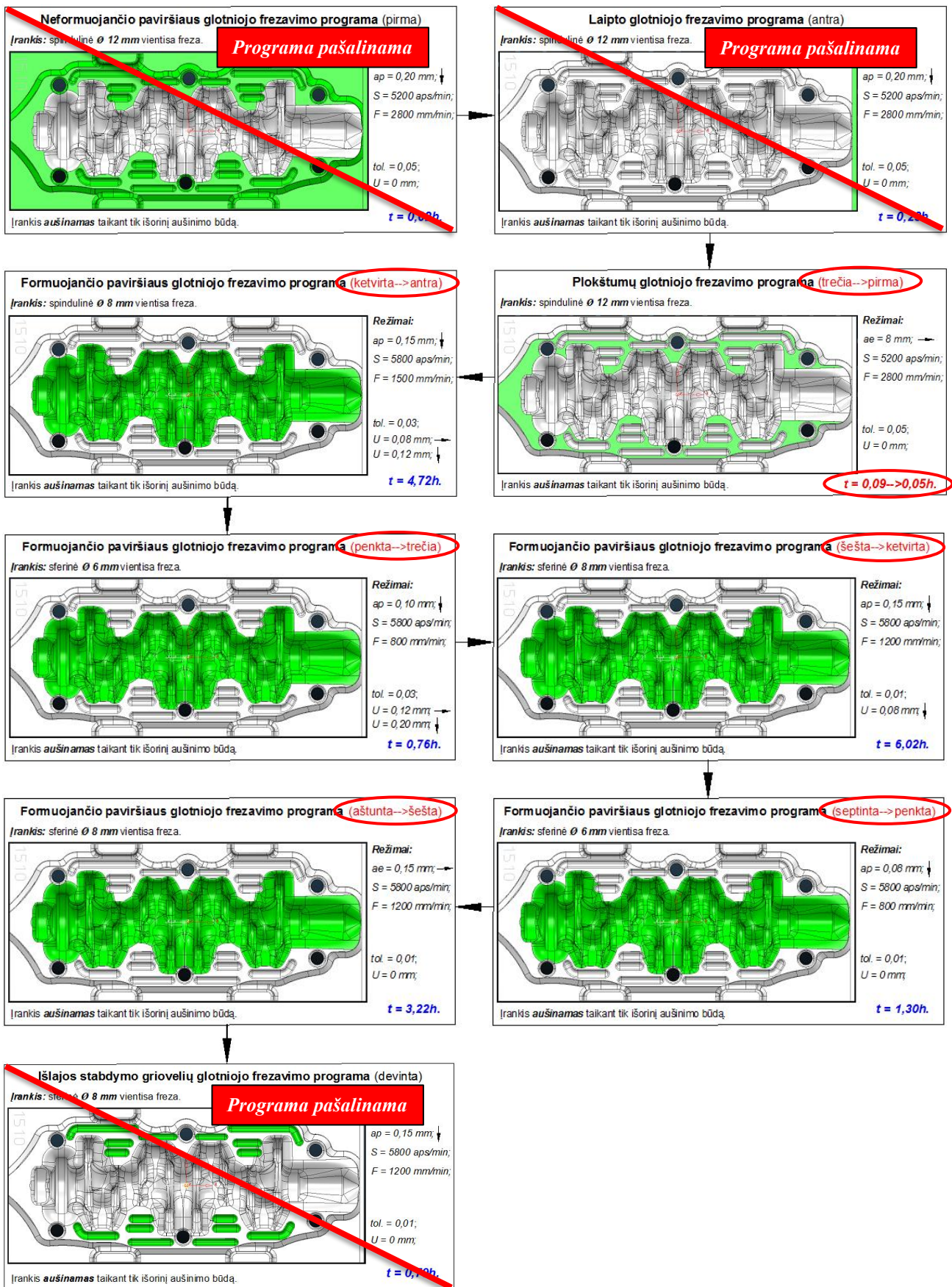
Koreguojamos *glotniojo apdirbimo* programos, kurios po terminio apdirbimo frezuoja dar kartą tas pačias vietas, kurias jau frezavimo rupiojo frezavimo programos su 0,4 mm užlaida glotniajam apdirbimui.

Pašalinamos glotniojo frezavimo **pirma** ir **antra** programos, kurios frezavimo neformuojantį paviršių ir įdėklo laiptą naudojant 12 mm skersmens spindulinę vientisą frežą. Toliau koreguojama **trečia** programa, paliekamos tik tos frezavimo trajektorijos, kurios frezuoja plokštumą, kuria slysta išlaja. Taip pat pašalinama **devinta** programa, kuri apdirbinėjo išlajos stabdymo griovelius naudojant 8 mm skersmens spindulinę vientisą frežą.

Kaip po koregavimo pasikeitė glotniojo apdirbimo programos parodyta 2.24 paveiksle (pažymėta **raudona spalva**).

Pašalinus pirmą, antrą ir devintą programas, taip pat koregavus trečią, sutaupyta laikas lygus **1,68h**, o galutinio gaminio kokybė nepakito (1.2 lentelė).





2.24 pav. Termiškai apdirbto metalo frezavimo programų pasikeitimai po koregavimo



## 2.4. Frezų su keičiamomis kietlydinio galvutėmis taikymas

Siekiant paspartinti ir modernizuoti alkūninių velenų karštojo štapavimo įdėklų gamybą, ilgiausiomis frezavimo programoms, pritaikomos frezos su keičiamomis kietlydinio galvutėmis. Tikimasi, kad su naujomis frezomis darbas vyks greičiau ir sklandžiau.

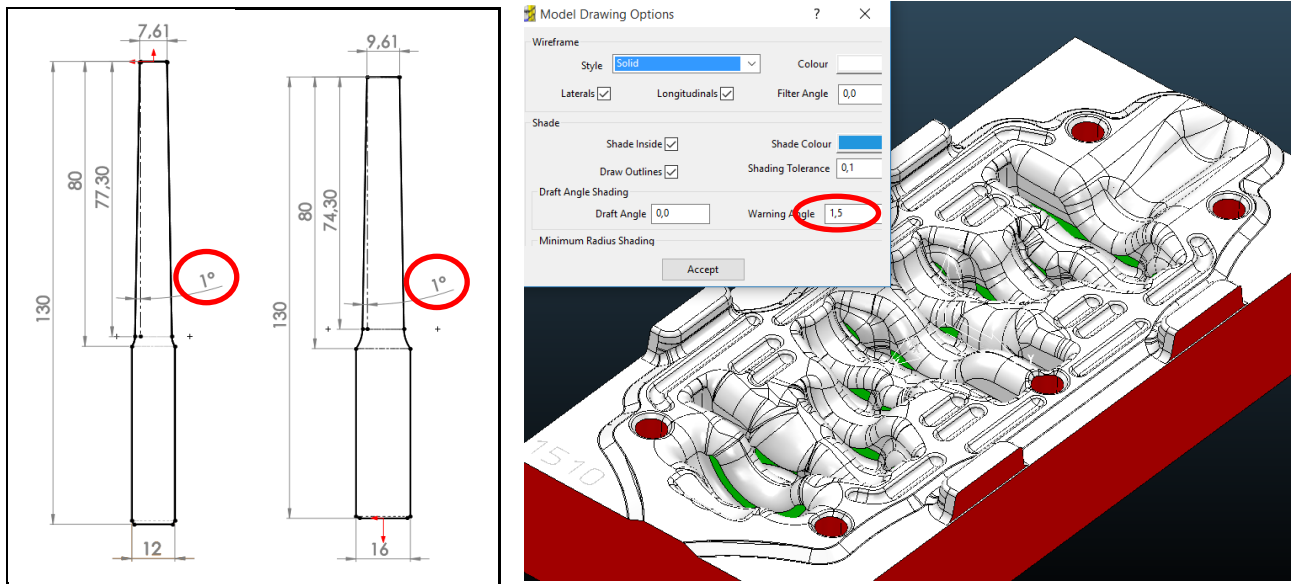
Ilgiausiai frezuoja pirštinės spindulinė ir sferinė **8 mm** skersmens frezos ir spindulinė **10 mm** skersmens freza. Tai akivaizdžiai matyti iš rupiojo (2.22 pav.) ir glotniojo (2.24 pav.) frezavimo programų.

Tuomet pirštinės vientisos frezos **10** ir **8 mm** skersmens (2.11 pav., *dešinėje*) keičiamos į pirštinės frezas su keičiamomis kietlydinio galvutėmis (2.25 pav., *kairėje*).

Į frezos kotelį, skirtą 10 mm skersmens galvutei [7], įsukama spindulinės frezos galvutė [8] (2.25 pav., *kairėje*), tuo pačiu spinduliu kaip ir vientisos 10 mm skersmens frezos. Į frezos kotelį, skirtą 8 mm skersmens galvutei [9], yra galimybė įsukti spindulinę [10] arba sferinę [11] frezos galvutę (2.25 pav., *kairėje*). Kotelių centruose yra ertmės (2.25 pav., *dešinėje*), skirtos vidiniam aušinimui. Dirbant šiais įrankiais galima taikyti vidinio aušinimo būdą. Koteliai platėja  $1,0^\circ$  kampu per visą išstumtos frezos ilgį (2.26 pav., *kairėje*), tai frezai suteikia stabilumo. Mažiausias frezuojamų įdėklų kampas nuo vertikalės yra  $1,5^\circ$  (2.26 paveiksle (*dešinėje*) pavaizduotas **žalia spalva**). Taigi galima teigti, kad šios frezos tinkamos štapavimo įdėklų frezavimui.



**2.25 pav.** Pirštinės frezos su keičiamomis kietlydinio galvutėmis (*kairėje*) ir koteliuose esančios ertmės skirtos vidiniam aušinimui (*dešinėje*)



**2.26 pav.** Frezų kotelių eskizai (*kairėje*) ir mažiausias frezuojamų įdėklų kampas (*dešinėje*)

Pirštinių frezų su keičiamomis kietlydinio galvutėmis privalumai:

- ✓ Į vieną frezos kotelį yra galimybė įsukti skirtingas galvutes (spindulines arba sferines frezos galvutes).
- ✓ Yra galimybė naudoti vidinio aušinimo būdą.
- ✓ Kotelis plėtėjantis  $1,0^\circ$  kampu yra stabilesnis nei vientisa freza.
- ✓ Keičiant sudilusią frezą nereikia pakartotinai matuoti įrankio ilgio.
- ✓ Galvutė lengviau ir greičiau pakeičiama, nei vientisa freza.
- ✓ Mažiau išmetama metalo, kadangi išmetama tik galvutė.
- ✓ Galvutė pigesnė, nei vientisa freza (2.4 lentelė)

Pirštinių frezų su keičiamomis kietlydinio galvutėmis trūkumai:

- ✓ Galvutės efektyvus darbo laikas trumpesnis nei vientisos frezos.
- ✓ Koteliai skirti kietlydinio galvutėms 27 mm ilgesni nei vientisos frezos.

**2.4 lentelė.** Frezų kainos [12], [16]

Frezos skersmuo	Vientisa freza			Keičiama galvutė		
	8 mm spindulinė	8 mm sferinė	10 mm spindulinė	8 mm spindulinė	8 mm sferinė	10 mm spindulinė
<b>Kaina (vnt.), €</b>	36,25	39,18	42,13	34,07	32,52	37,67

Minėtų frezų frezavimo režimai (pagal gamintojo rekomendacijas [12]), pateikti 2.5 lentelėje. Įdėklo kietumas prieš grūdinimą 300 HB, taigi pagal ISO standartą atitinka **8 medžiagos grupę** (2.5 lentelė). Taigi **rupiajam apdirbimui** naudojami 8 medžiagos grupės režimai.

2.5 lentelė. Frezų su keičiamomis kietlydinio galvutėmis frezavimo režimai [12]

ISO	Medžiagos grupė	Kietumas, HB	Pjovimo greitis ( $V_C$ ), m/min	Frezos skersmuo ( $D$ ), mm ir Pastūma dančiui ( $f_z$ ), mm/t			
				8	10	12	16
P	1	125	220 – 230	0,43	0,50	0,67	0,75
	2	190	170 – 190	0,43	0,50	0,67	0,75
	3	200	140 – 150	0,43	0,50	0,67	0,75
	4	200	140 – 150	0,43	0,50	0,67	0,75
	5	200	140 – 150	0,35	0,42	0,57	0,65
	6	200	140 – 150	0,25	0,32	0,48	0,57
	7	300	110 – 120	0,25	0,32	0,48	0,57
	<b>8</b>	<b>300</b>	<b>110 – 120</b>	<b>0,20</b>	<b>0,25</b>	<b>0,43</b>	<b>0,52</b>
	9	200	110 – 130	0,20	0,25	0,43	0,52
	10	200	110 – 130	0,19	0,22	0,38	0,48
	11	200	110 – 130	0,18	0,20	0,35	0,43
M	12	240	60 – 150	0,20	0,25	0,43	0,52
	13	240	60 – 150	0,20	0,25	0,43	0,52
	14	180	70 – 100	0,20	0,25	0,43	0,52
K	15	180	70 – 220	0,38	0,45	0,60	0,70
	16	260	110 – 200	0,38	0,45	0,60	0,70
	17	170	130 – 230	0,34	0,38	0,52	0,60
	18	170	130 – 230	0,34	0,38	0,52	0,60
	19	130	130 – 230	0,34	0,38	0,52	0,60
	20	230	110 – 200	0,34	0,38	0,52	0,60
N	21-24	90	610 – 690	–	–	–	–
S	33-35	350	10 – 20	–	–	–	–
	36-37	–	30 – 60	–	–	–	–
H	38	HRC55	30 – 40	0,16	0,18	0,33	0,40
	39	HRC60	25 – 35	0,10	0,13	0,16	0,20

Pagal 2.1 ir 2.3 formules [13] apskaičiuojami **8** ir **10 mm** skersmens frezų termiškai neapdirbto metalo suklio greičiai ir darbinės pastūmos. Pjovimo greičiai ir pastūmos dančiui imami iš 2.5 lentelės.

Pirmiausiai iš pjovimo greičio 2.1 formulės [13], išsireiškiamas suklio greitis:

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

$$n = \frac{V_C \cdot 1000}{\pi \cdot D}; \quad (2.2)$$

čia:  $V_C$  – pjovimo greitis, m/min;  $D$  – frezos skersmuo, mm;  $n$  – suklio greitis, aps/min.

Tada apskaičiuojamas **8 mm** skersmens frezos **suklio greitis**:

$$n = \frac{115 \cdot 1000}{\pi \cdot 8} = 4576 \text{aps} / \text{min}; \quad \boxed{n = 4576 \text{aps} / \text{min}.}$$

Apskaičiuojamas **10 mm** skersmens frezos **suklio greitis**:

$$n = \frac{115 \cdot 1000}{\pi \cdot 10} = 3661 \text{aps} / \text{min}; \quad \boxed{n = 3661 \text{aps} / \text{min}.}$$

Toliau pagal 2.3 formulę [13] apskaičiuojamos darbinės pastūmos:

$$F = n \cdot z \cdot f_z; \quad (2.3)$$

čia:  $F$  – darbinė pastūma, mm/min;  $n$  – suklio greitis, aps/min;  $z$  – frezos dantų skaičius, 8 mm skersmens spindulinė freza turi **6 dantis** / 8 mm skersmens sferinė freza turi **4 dantis** / 10 mm skersmens spindulinė freza turi **6 dantis**;  $f_z$  – pastūma dančiui, mm/t.

2.5 lentelėje gamintojo rekomenduojamos pastūmos dančiui pateiktos trumpam įrankiui (~ **40 mm** atstumui nuo frezos pjovimo dantų žemiausio taško iki įrankio laikiklio). Tačiau mūsų atveju šis atstumas lygus **87 mm** (2.26 pav., *kairėje*). Tada 8 ir 10 mm skersmens frezų pastūmos dančiui ( $f_z$ ), kurios imamos iš 2.4 lentelės, dėl frezų ilgio ~ 50 % sumažinamos.

Apskaičiuojamos spindulinės ir sferinės **8 mm** skersmens frezų **darbinės pastūmos**:

$$F_{spind.} = 4576 \cdot 6 \cdot 0,08 = 2196 \text{mm} / \text{min}; \quad \boxed{F_{spind.} = 2196 \text{mm} / \text{min};}$$

$$F_{sferin.} = 4576 \cdot 4 \cdot 0,08 = 1464 \text{mm} / \text{min}; \quad \boxed{F_{sferin.} = 1464 \text{mm} / \text{min}.}$$

Apskaičiuojama spindulinės **10 mm** skersmens frezos **darbinė pastūma**:

$$F_{spind.} = 3661 \cdot 6 \cdot 0,12 = 2636 \text{mm} / \text{min}; \quad \boxed{F_{spind.} = 2636 \text{mm} / \text{min}.}$$

Prieš štapavimo įdėklų terminį apdirbimą atliekamas rupusis frezavimas, kurio metu visos frezos palieka 0,4 mm užlaidą glotniajam frezavimui. Grūdinimo ir atleidimo metu nudega ~ 0,2 mm metalo nuo šoninio paviršiaus ir tiek pat į gylį z ašimi. Tada po terminio apdirbimo lieka ~ 0,2 mm užlaida glotniajam frezavimui. Įdėklo kietumos po terminio apdirbimo gaunamas 45 ÷ 47 HRC.

Taigi *glotniojo frezavimo* metu reikia nufrezuoti tik ~ 0,2 mm metalo ir gauti  $Rz = \sim 14 \mu\text{m}$  paviršiaus švarumą. Tuomet negalima glotniajam apdirbimui naudoti tas pačias formules, kurios buvo naudojamos rupiajam apdirbimui. Taip pat įdėklų glotniajam apdirbimui tikslingiau naudoti sferines frezas [14].

Kad įrankis efektyviai dirbtų ir būtų gaunamas tinkamas paviršiaus švarumas, frezų gamintojas rekomenduoja naudoti: pjovimo greitį  $V_C = \sim 60 \text{ m/min}$  ir 8 mm skersmens frezai pastūmą dančiui  $f_z = \sim 0,05 \text{ mm/t}$  [15], o suklio greitį skaičiuoti pagal 2.4 formulę:

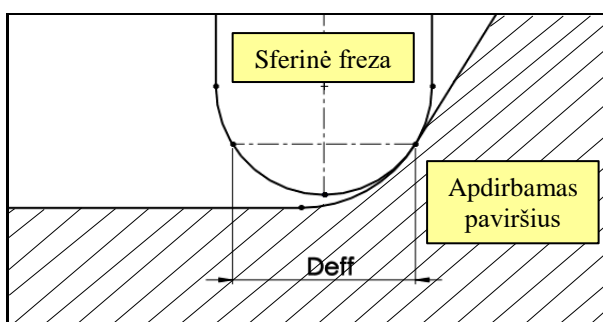
$$n = \frac{V_C \cdot 1000}{\pi \cdot D_{eff}}; \quad (2.4)$$

čia:  $V_C$  – pjovimo greitis, m/min;  $D_{eff}$  – frezos efektyvus skersmuo, mm;  $n$  – suklio greitis, aps/min.

**Frezos efektyvus skersmuo**  $D_{eff}$ , tai frezos skersmuo tos vietos, kuria frezos dantis mechaniškai šalina metalą (2.27 pav.). Šis atstumas randamas pagal 2.5 formulę:

$$D_{eff} = 2\sqrt{ap \cdot (D - ap)}; \quad (2.5)$$

čia:  $ap$  – pjovimo gylis, kuris paliekamas toks pats, kaip ir vientisų 8 mm skersmens frezų,  $ap = 0,15 \text{ mm}$ ;  $D$  – frezos skersmuo, mm;  $D_{eff}$  – frezos efektyvus skersmuo, mm.



**2.27 pav.** Frezos efektyvus skersmuo



Toliau pagal 2.5 formulę apskaičiuojamas **8 mm** skersmens frezos efektyvus frezos skersmuo:

$$D_{eff} = 2\sqrt{0,15 \cdot (8 - 0,15)} = 2,17mm; \quad \boxed{D_{eff} = 2,17mm.}$$

Tada apskaičiuojamas glotniojo frezavimo **8 mm** skersmens frezos suklio greitis:

$$n_{glot.} = \frac{60 \cdot 1000}{\pi \cdot 2,17} = 880laps / min; \quad \boxed{n_{glot.} = 880laps / min.}$$

Pagal 2.3 formulę apskaičiuojamos glotniojo frezavimo spindulinės ir sferinės **8 mm** skersmens frezų darbinės pastūmos. Tačiau frezavimui naudojamas programinio valdymo apdirbimo centras (1.17 pav.) suklio galvutę greičiausiai gali sukli  $n_{max} = 5800$  aps/min. Tada darbinės pastūmos apskaičiuojamos, naudojant suklio greitį 5800 aps/min:

$$F_{spind.glot.} = 5800 \cdot 6 \cdot 0,05 = 1740mm / min; \quad \boxed{F_{spind.glot.} = 1740mm / min;}$$

$$F_{sferin.glot.} = 5800 \cdot 4 \cdot 0,05 = 1160mm / min; \quad \boxed{F_{sferin.glot.} = 1160mm / min.}$$

Išbandžius praktiškai naujas pirštines frezas su keičiamomis kietlydinio galvutėmis nustatyti optimalūs rupiojo ir glotniojo frezavimo **8** ir **10 mm** skersmens frezų suklio greičiai ir darbinės pastūmos (2.6 lentelė).

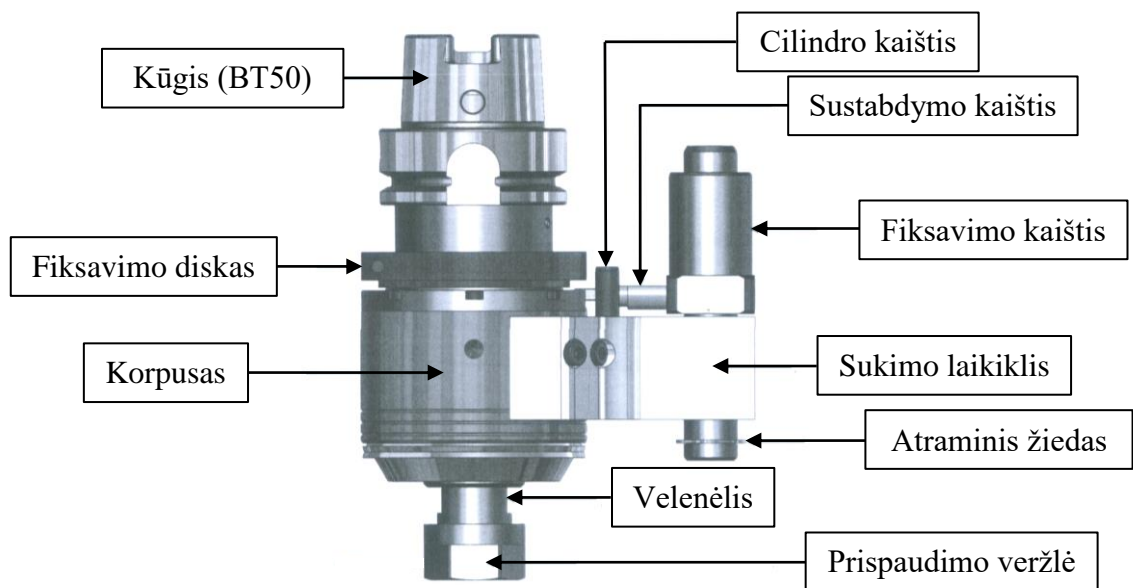
**2.6 lentelė.** Teoriniai ir praktiniai frezų su keičiamomis kietlydinio galvutėmis frezavimo režimai

		Frezos skersmuo, mm				
		8			10	
		Darbinė pastūma (F), mm/min		Suklio greitis (n), aps/min	Darbinė pastūma (F), mm/min	Suklio greitis (n), aps/min
Apdirbimas	Režimai	Spindulinė	Sferinė	<del>Spindulinė</del>	Spindulinė	<del>Sferinė</del>
		Rupusis	Teoriniai	2196	1464	4576
Praktiniai	1600		1300	5100	1950	4100
Glotnūs	Teoriniai	1740	1160	5800	–	–
	Praktiniai	1550	1250	5800	–	–

Nustatyti frezų su keičiamomis kietlydinio galvutėmis praktiniai režimai nuo teorinių skiriasi nežymiai. Lyginant praktinius frezavimo režimus vientisų frezų su keičiamomis kietlydinio galvutėmis, galvučių frezavimo režimai (veleno apsisukimai ir pastūma) šiek tiek didesni.

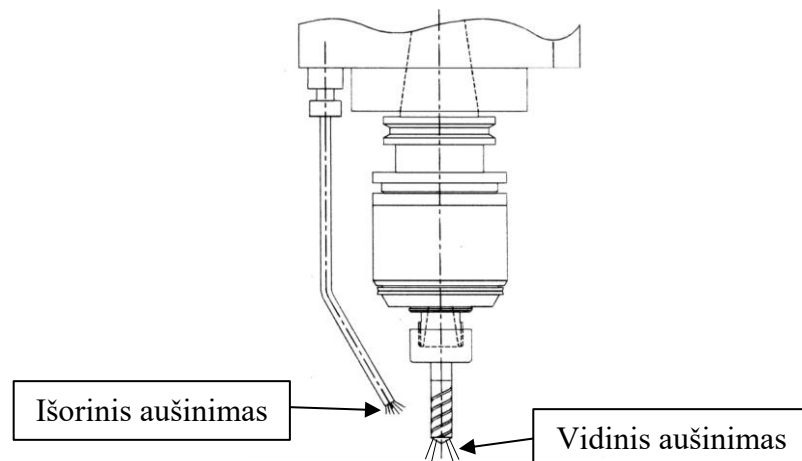
## 2.5. Greitintuvų taikymas frezavimo operacijose

Alkūninių velenų įdėklų frezavimo apdirbimo centras „YCM 148B“ (1.17 pav.) nuoseklaus reguliavimo suklio galvute įrankį gali sukuti tik iki 5800 aps/min. Tačiau, greičiau sukant įrankį, proporcingai būtų galima didinti pastūmą, taip greičiau vyktų glotnūsiai įdėklų frezavimas. Todėl nuspręsta gamyboje įdiegti greitintuvus (reduktorius), kurie įrankio apsisukimo greitį padidintų 5 kartus. Taigi frezavimo įrankį maksimaliai būtų galima sukuti  $5 * 6000 = 30000$  aps/min dažniais. Greitintuvą sudarančios dalys pavaizduotos 2.28 paveiksle. Šis įrenginys staklėse tvirtinamas standartiniu **BT50 kūgiu** (2.28 pav.). Greitintuvo brėžinys pateiktas 5 priede.



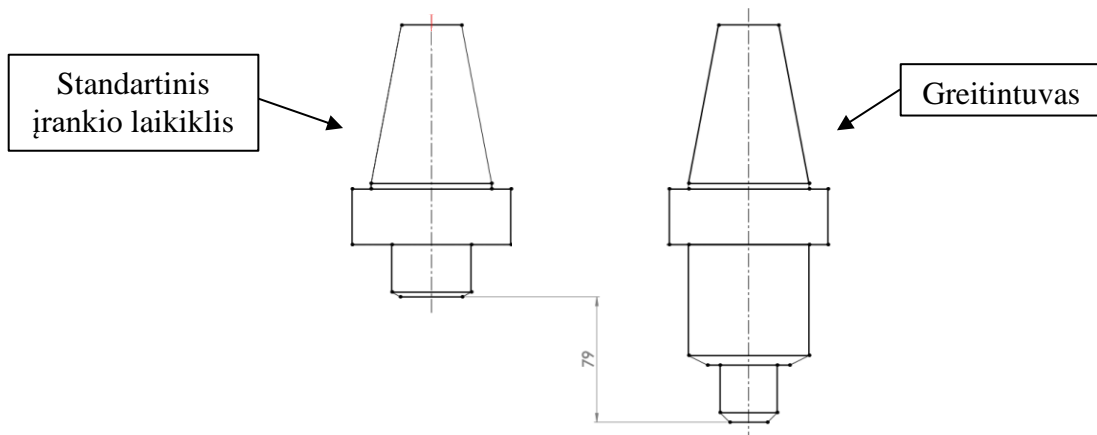
2.28 pav. Greitintuvą sudarančios dalys [17]

Naudojant greitintuvus, įrankis aušinamas aušinimo skysčiu, taikant vidinio ir išorinio aušinimo būdus (2.29 pav.).



2.29 pav. Įrankis aušinimas vidiniu ir išoriniu aušinimu [17]

Naudojant greitintuvus, įrankio laikiklis pailgėja 79 mm (2.30 pav.).



**2.30 pav.** Standartinio įrankio laikiklio ir greitintuvo ilgio skirtumas

Greitintuvų privalumai:

- ✓ Įrankį suka 5 kartus greičiau, negu sukasi staklių suklys.
- ✓ Galima naudoti 2 – 20 mm skersmens frezas.
- ✓ Įrankis aušinamas taikant vidinio ir išorinio aušinimo būdus (2.29 pav.).
- ✓ Staklėse tvirtinami standartiniu BT50 kūgiu, be jokių papildomų komponentų.

Greitintuvų trūkumai:

- ✓ Įrankio laikiklis pailgėja 79 mm (2.30 pav.), lyginant su standartiniais įrankių laikikliais.
- ✓ Pailgėjus įrankio laikikliui, prarandamas frezos stabilumas.
- ✓ Brangūs, vieneto kaina 2500 €.

Greitintuvai pritaikomi tik glotniajam apdirbimui, kur reikia  $> 5800$  aps/min. Tuomet greitintuvai pritaikomi **8 mm** skersmens spindulinei ir sferinei ir **6 mm** skersmens sferinei frezoms (2.31 pav.).



**2.31 pav.** Surinkti greitintuvai su 8 ir 6 mm skersmens pirštinėmis frezomis

2.4 poskyryje apskaičiuotas glotniojo frezavimo **8 mm** skersmens frezos **suklio greitis**:

$$n_{glot.} = 8801 \text{aps} / \text{min}.$$

Tada spindulinės ir sferinės **8 mm** skersmens frezų glotniojo frezavimo **darbinės pastūmos**:

$$F_{spind.glot.} = 8800 \cdot 6 \cdot 0,05 = 2640 \text{mm} / \text{min}; \quad F_{spind.glot.} = 2640 \text{mm} / \text{min};$$

$$F_{sferin.glot.} = 8801 \cdot 4 \cdot 0,05 = 1760 \text{mm} / \text{min}; \quad F_{sferin.glot.} = 1760 \text{mm} / \text{min}.$$

**6 mm** skersmens sferinės frezos glotniojo frezavimo suklio greitis ir darbinė pastūma pateikta pagal gamintojo rekomendaciją [16]:

$$n_{glot.} = 12200 \text{aps} / \text{min}. \quad F_{sferin.glot.} = 3400 \text{mm} / \text{min}.$$

Išbandžius greitintuvus, gaunamos išvados, kad dėl įrankių laikiklio **pailgėjimo**, kuris lygus 79 mm, prarandamas frezos stabilumas, dėl to stipriai dyla kietlydinio galvutės (2.32 pav.). Dėl šios priežasties darbinę pastūmą tenka mažinti iki minimalios, kuri tokia pat kaip ir frezuojant standartiniais įrankių laikikliais. Taigi greitintuvus naudoti **nėra tikslinga**.

Tačiau greitintuvai pritaikomi mažo skersmens frezoms (**4 mm** ir **2 mm**), kur reikia suklio greičio  $> 5800$  aps/min, o atstumas nuo frezos pjovimo dantų žemiausio taško iki įrankio laikiklio yra iki 40 mm.

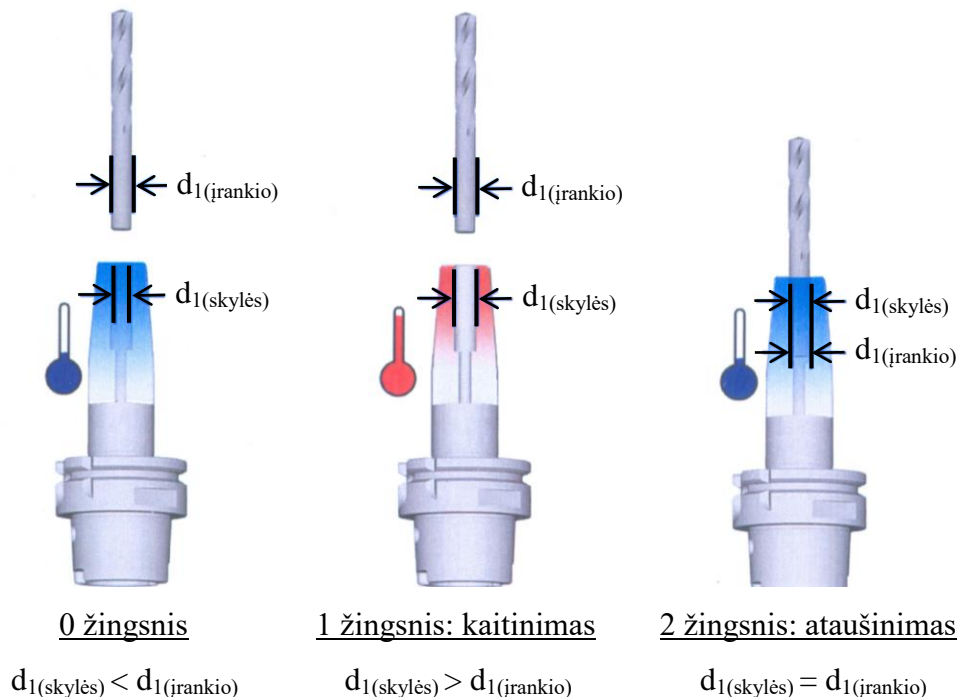


**2.32 pav.** Naudojant greitintuvus sudilusios 8 mm ir 6 mm skersmens frezos

## 2.6. Termolaikiklių taikymas frezavimo operacijose

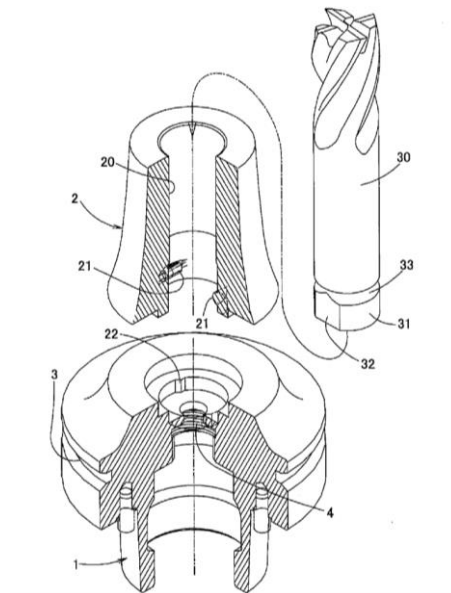
Alkūninių velenų šampavimo įdėklų frezavimo programose ilgiausiai frezuojama spinduline ir sferine **8 mm** skersmens frezomis, sferine **6 mm** skersmens freza ir spinduline **10 mm** skersmens freza, tai akivaizdžiai matyti iš rupiojo (2.22 pav.) ir glotniojo (2.24 pav.) apdirbimo frezavimo programų. Šiems apdirbimams pritaikytos frezos su keičiamomis kietlydinio galvutėmis (2.4 poskyris), o šių frezų atstumai nuo frezos pjovimo dantų žemiausio taško iki įrankio laikiklio yra 87 mm (2.26 pav., *kairėje*). Taigi, frezuojant tokio ilgio freza, ji nėra stabili. Dėl šios priežasties gamyboje pritaikomi termolaikikliai, kurie įrankiui suteikia stabilumo.

Termolaikiklis kaitinamas iki temperatūros, kuomet laikiklio skylės skersmuo tampa didesnis už frezos skersmenį (2.33 pav., *2 žingsnis*), tuo metu į laikiklį įstatomas frezos kotelis. Į kai kuriuos termolaikiklius galima įstatyti frezas, kurios bazuojamos pačiame laikiklyje (2.34 pav.) [18]. Ataušinus termolaikiklį gaunamas labai stiprus frezos užspaudimas, frezos kotelio ir skylės skersmuo tampa lygus (2.33 pav., *3 žingsnis*). Termolaikikliai staklėse tvirtinami standartiniu **BT50 kūgiu**. Įrankis laikiklyje aušinamas taikant vidinio ir išorinio aušinimo būdus.



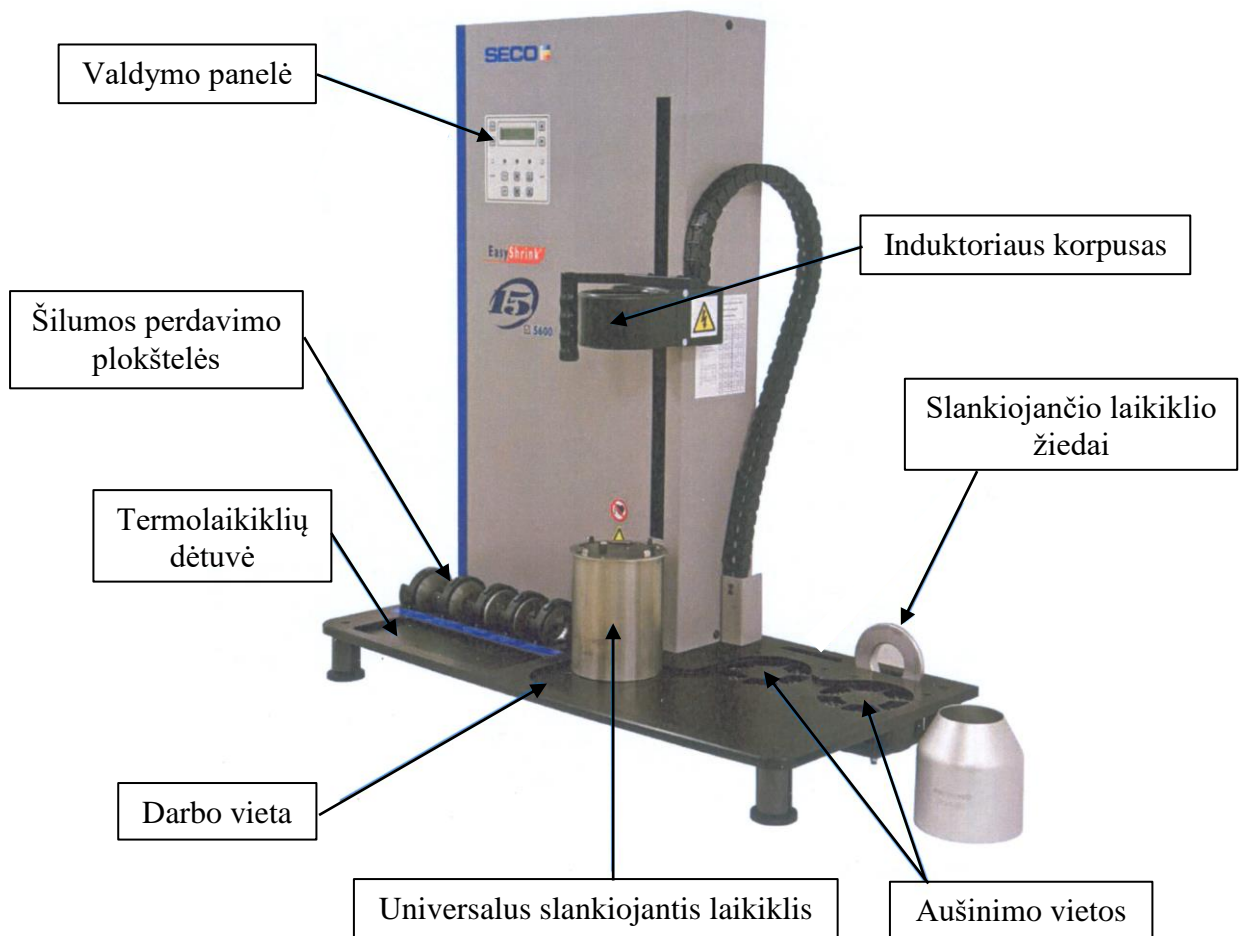
2.33 pav. Termolaikiklio užspaudimo principas [19]





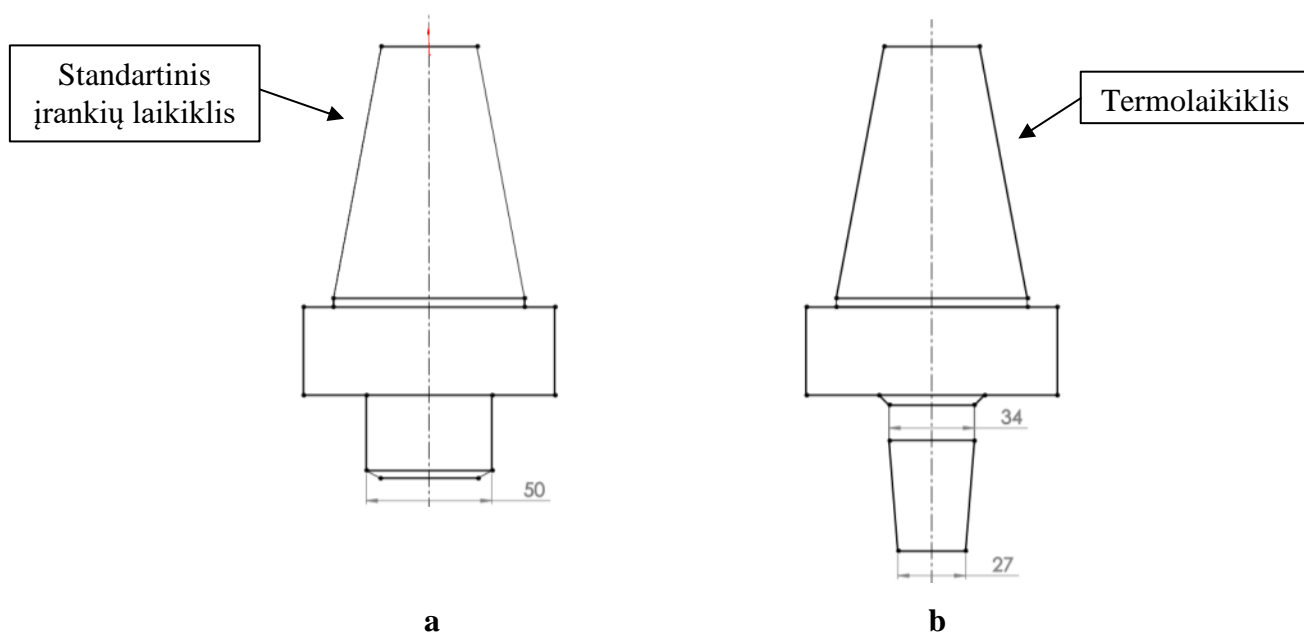
**2.34 pav.** Termolaikiklis, kuriame bazuojama freza [18]

Termostotelės principinė schema pavaizduota 2.35 paveiksle. Jos aukštis 880 mm, plotis 400 mm ir ilgis 840 mm. Termostotelės masė 50kg [19]. Šis įrenginys tvirtinamas šalia programinio valdymo apdirbimo centro (1.17 pav.).



**2.35 pav.** Termostotelės principinė schema [19]

Naudojant termolaikiklius galima frezuoti gilesnes vietas, mažiau išstūmus frežą, lyginant su standartiniais įrankių laikikliais (2.36 pav.).



**2.36 pav.** Įrankių laikikliai: *a* – standartinis; *b* – termolaikiklis

Termolaikiklių privalumai:

- ✓ Galima frezuoti gilesnes vietas, mažiau išstūmus frežą (2.36 pav.).
- ✓ Daug stabilesnis įrankio laikymas, lyginant su standartiniais įrankių laikikliais.
- ✓ Ilgesnis frezų eksploatavimo laikas.
- ✓ Didesni frezavimo režimai lyginant su standartiniais įrankių laikikliais.
- ✓ Įrankis aušinamas taikant vidinio ir išorinio aušinimo būdus.
- ✓ Staklėse tvirtinami standartiniu BT50 kūgiu, be jokių papildomų komponentų.

Termolaikiklių trūkumai:

- ✓ Įdėjus frežą į termolaikiklį, reikia 15 minučių palaukti kol atauš.
- ✓ Freza keičiama, kai termolaikiklis pasiekia 340 °C temperatūrą.
- ✓ Brangūs, termostotelės ir visų priedų kaina 5400 €.

Standartiniai įrankių laikikliai (2.20 pav.) keičiami į termolaikiklius **10**, **8** ir **6 mm** skersmens frezoms (2.37 pav.), kurios atlieka glotnųjį ir rupųjį apdirbimą (2.22 ir 2.24 pav.). Išbandžius termolaikiklius, galima suformuluoti išvadą, kad pagerėja frezų stabilumas ir ženkliai mažiau dyla kietlydinio galvutės, lyginant su standartiniais įrankių laikikliais. Taigi frezavimo režimai keliami tol, kol galvutės pradeda ženkliai dilti. Praktiniu būdu nustatyti aukštesni frezų režimai pateikti 2.7 lentelėje. Pritaikius termolaikiklius ir padidinus frezavimo režimus, galutinio gaminio kokybė nepakito (1.2 lentelė). Taigi termolaikiklius naudoti šiuo atveju yra **tikslinga**.



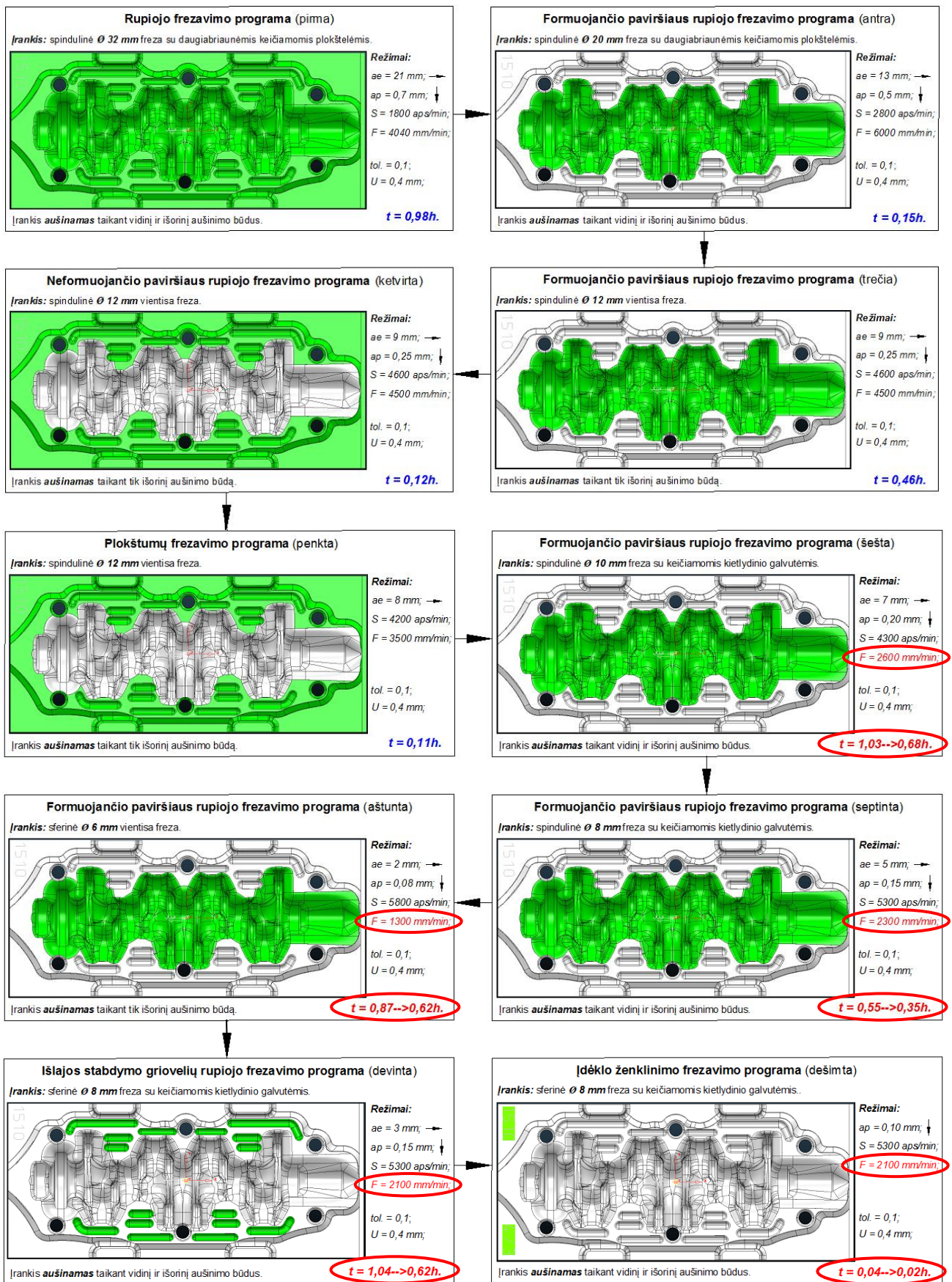
2.37 pav. Surinkti termolaikikliai su 10, 8 ir 6 mm skersmens pirštinėmis frezomis

2.7 lentelė. Frezų režimai naudojant standartinius įrankių laikiklius ir termolaikiklius

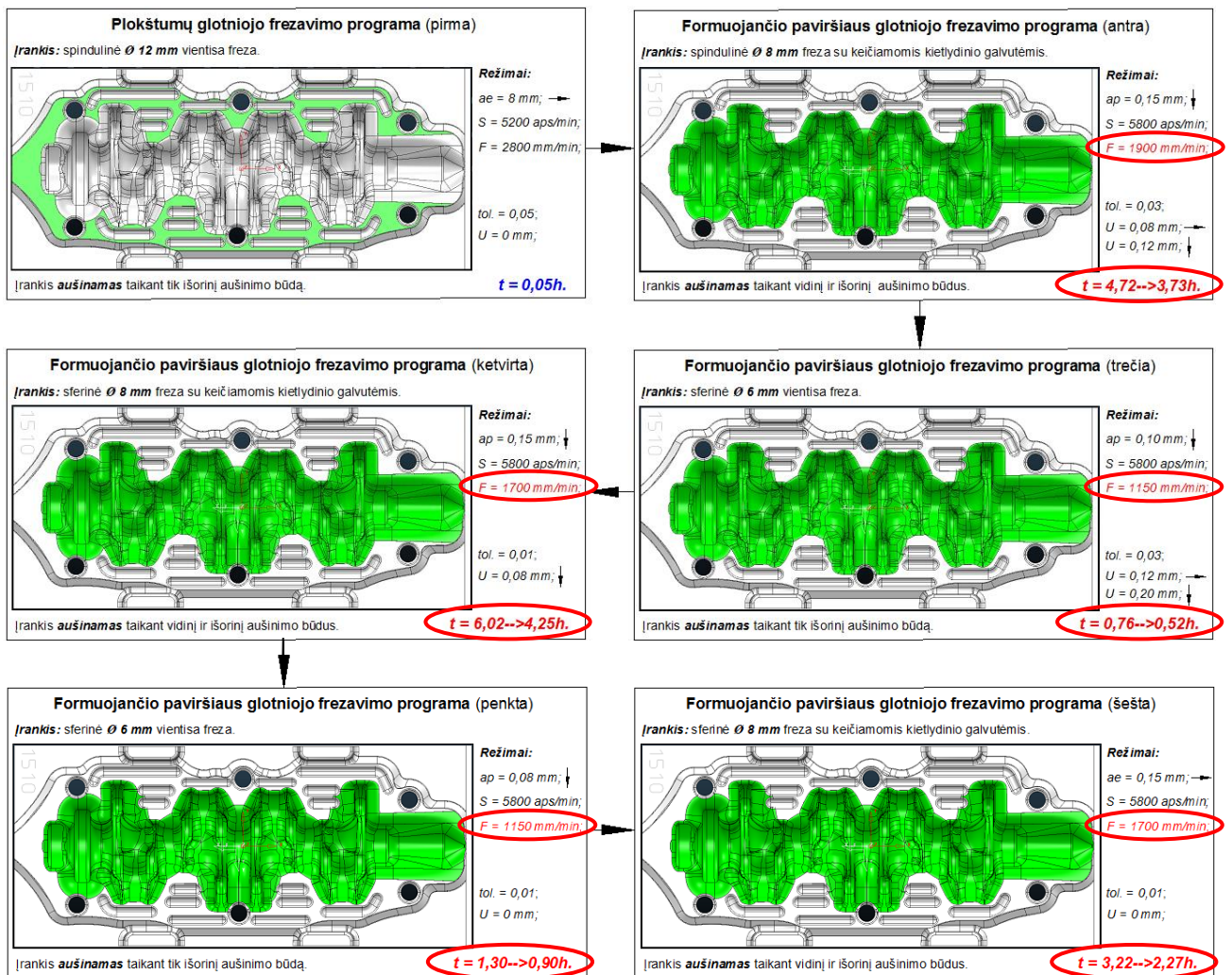
		Frezos skersmuo, mm						
		6		8			10	
		Darbinė pastūma (F), mm/min	Suklio greitis (n), aps/min	Darbinė pastūma (F), mm/min		Suklio greitis (n), aps/min	Darbinė pastūma (F), mm/min	Suklio greitis (n), aps/min
Apdirbimas	Režimai, naudojant:	Sferin.	<del> </del>	Spind.	Sferin.	<del> </del>	Spind.	<del> </del>
		Rupusis	Srandartin. laikiklius	900	5800	1600	1300	5100
Termolaik.	1300		5800	2300	2100	5300	2600	4300
Glotnūs	Srandartin. laikiklius	800	5800	1550	1250	5800	–	–
	Termolaik.	1150	5800	1900	1700	5800	–	–

2.38 ir 2.39 paveiksluose matyti kaip pasikeitė frezavimo režimai ir programų vykdymo laikai rupiojo ir glotniojo frezavimo programose (pažymėta **raudona spalva**).





2.38 pav. Rupiojo frezavimo programos pakeitus frezavimo režimus



2.39 pav. Glotniojo frezavimo programos pakeitus frezavimo režimus

## 2.7. Sutrumpinti frezavimo operacijų laikai

Atlikus rupiojo ir glotniojo frezavimo programų koregavimą (2.3 poskyris), pritaikius frezas su keičiamomis kietlydinio galvutėmis (2.4 poskyris) ir standartinius įrankių laikiklius pakeitus termolaikikliais (2.6 poskyris), frezavimo programų sutrumpėjęs laikas pateiktas 2.8 lentelėje.

Iš 2.8 lentelės matyti, kad rupiajam frezavimui (2.1 pav., 2 operacija) sutaupyta **1,53h**, o glotniajam frezavimui (2.1 pav., 4 operacija) – **6,03h**. Atlikus šampavimo įdėklų gamybos technologijos modernizavimą galutinio gaminio kokybė nepakito, neatsirado jokių įtrūkimų ar kitų šampavimo defektų. O gaminio matmenys tenkina techninius reikalavimus (1.2 lentelė).



2.8 lentelė. Rupiojo ir glotniojo frezavimo programų vykdymo laikai

Apdirbimas	Progr. Nr.	Prieš koregavimą		Po koregavimo		Sutaupyta laikas, h
		Frezos skersmuo, mm ir tipas	Programos vykdymo laikas, h	Frezos skersmuo, mm ir tipas	Programos vykdymo laikas, h	
Rupusis	1	32 plokštelinė	1,03	32 plokštelinė	0,98	0,05
	2	20 plokštelinė	0,16	20 plokštelinė	0,15	0,01
	3	12 spind. vientisa	0,49	12 spind. vientisa	0,46	0,03
	4	12 spind. vientisa	0,13	12 spind. vientisa	0,12	0,01
	5	12 spind. vientisa	0,12	12 spind. vientisa	0,11	0,01
	6	10 spind. vientisa	1,10	10 spind. galvutė	0,68	0,42
	7	8 spind. vientisa	0,58	8 spind. galvutė	0,35	0,23
	8	6 sferin. vientisa	0,90	6 sferin. vientisa	0,62	0,28
	9	8 sferin. vientisa	1,09	8 sferin. galvutė	0,62	0,47
	10	8 sferin. vientisa	0,04	8 sferin. galvutė	0,02	0,02
		Suma:	5,64	Suma:	4,11	1,53
Glotnūsiai	1	12 spind. vientisa	0,62	12 spind. vientisa	-	0,62
	2	12 spind. vientisa	0,23	12 spind. vientisa	-	0,23
	3	12 spind. vientisa	0,09	12 spind. vientisa	0,05	0,04
	4	8 spind. vientisa	4,72	8 spind. galvutė	3,73	0,99
	5	6 sferin. vientisa	0,76	6 sferin. vientisa	0,52	0,24
	6	8 sferin. vientisa	6,02	8 sferin. galvutė	4,25	1,77
	7	6 sferin. vientisa	1,30	6 sferin. vientisa	0,90	0,40
	8	8 sferin. vientisa	3,22	8 sferin. galvutė	2,27	0,95
	9	8 sferin. vientisa	0,79	6 sferin. vientisa	-	0,79
		Suma:	17,75	Suma:	11,72	6,03

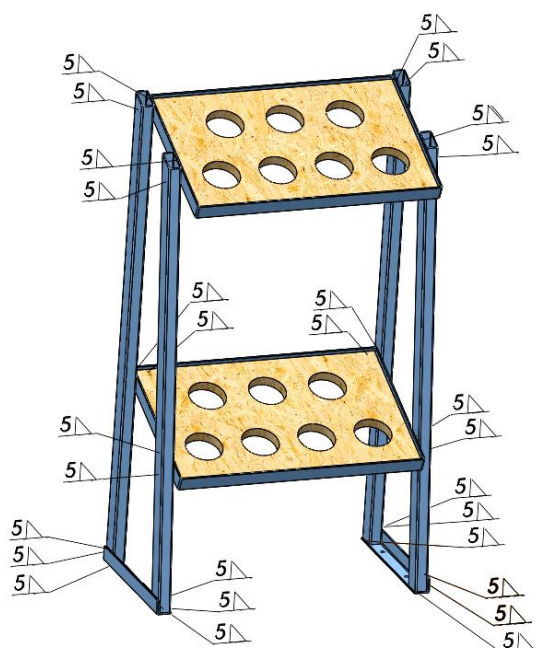
## 2.7. Taupiosios gamybos principų taikymas

**Taupioji gamyba** (LEAN production) plačiąja prasme t.y. nuostolių (viso, kas neprideda vertės) eliminavimas [20]. Nuostolių priežastys gali būti neracionalus įrankių, medžiagų, įrenginių išdėstymas darbo vietoje, gamybos defektai dėl gedimų, darbo instrukcijų nesilaikymo, netvarkos darbo vietoje ir kitos priežastys. Taupiosios gamybos principų taikymas padės tobulinti gamybos procesus ir sumažinti nuostolius.

Gamyboje pritaikius greitintuvus ir termolaikiklius, būtina numatyti papildomą įrankių dėtuve prie staklių, kad išvengtų netvarkos darbo vietoje (2.40 pav.) ir sumažinti darbo laiko nuostolius. Suprojektuota įrankių dėtuve (2.41 pav., *kairėje*) pritaikyta ne tik dabartiniu metu naudojamiems laikikliams sudėti, bet kartu numatyta vieta ir ateityje naudojamų laikiklių tvarkingam saugojimui. Surinkus ir suvirinus metalinį karkasą (rėmą), pritvirtinamos medžio plaušų plokštės su laikiklių saugojimui skirtomis skylėmis. Pagaminta įrankių dėtuve specialiai paženklintoje vietoje tvirtinama prie grindų varžtais (2.41 pav., *dešinėje*).



2.40 pav. Darbo vietoje netvarkingai sudėti greitintuvai ir termolaikikliai



2.41 pav. Įrankių laikikliams suprojektuota (kairėje) ir pagaminta (dešinėje) įrankių dėtuė

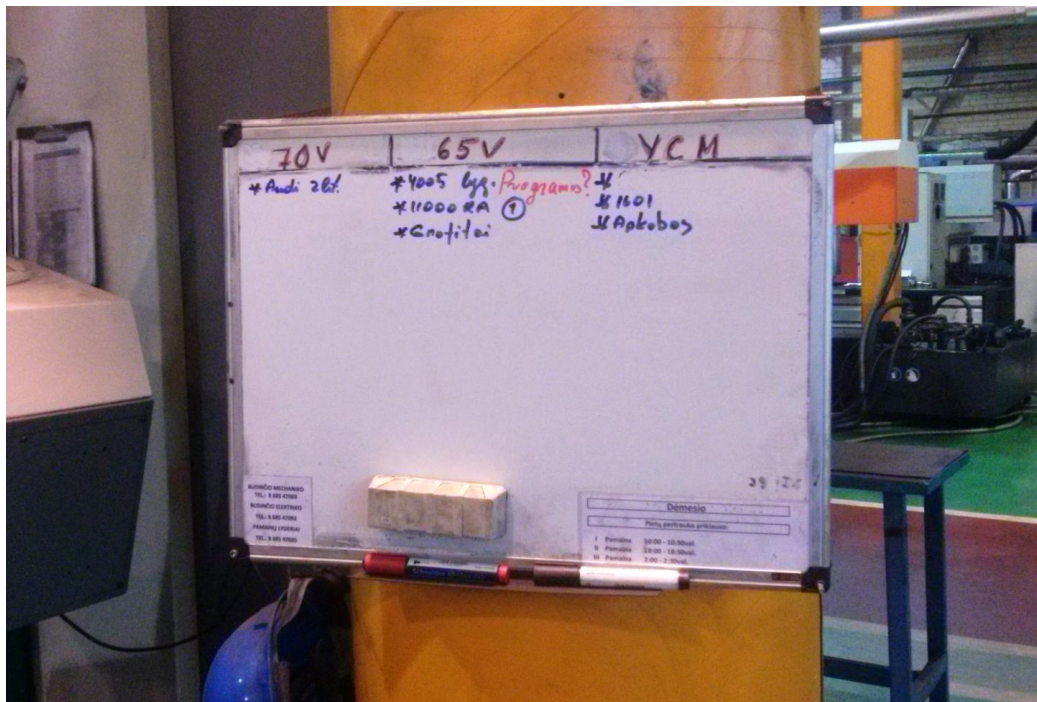
Gamybinė įmonė, norinti išlikti konkurencijos sąlygomis, turi siekti gamybos tobulinimo, kuris yra neįmanomas be pokyčių, todėl įmonėje yra būtina kultūra, ne tik priimanti pokyčius, bet ir juos skatinanti [21].

Taikant taupiosios gamybos klaidų prevencijos principus, paruoštos *frezavimo instrukcijos operatoriams* (6 ir 7 priedas), kurias naudodami operatoriai turi visą informaciją apie gaminamą detalę: žino kokį įdėklą reikia apdirbti, kaip jį teisingai įstatyti staklėse, kokį bloką naudoti frezavimui, kurias programas naudoti ir t.t. Taip išvengiama operatoriaus klaidų ir nešvaistomas laikas informacijos paieškoms.

Frezavimo operacijų tobulinimui yra sudarytas ir sėkmingai gamyboje naudojamas *frezavimo programų defektų registravimo dokumentas* (8 priedas), kuriame operatoriai fiksuoja frezavimo programų klaidas, kurias technologas vėliau analizuoja ir ieško problemų sprendimo būdų.

Šalia operatoriaus darbo vietos pasiūlyta numatyti vietą dokumentų saugojimui. Tam tikslui įrengta dėžė – dėklas dokumentams, kur saugojami stakles aptarnaujančiam personalui skirti dokumentai: frezavimo instrukcijos operatoriams (6 ir 7 priedas), frezavimo programų defektų registravimo dokumentai (8 priedas) ir kiti darbe naudojami dokumentai ar instrukcijos.

Kadangi karšto štam pavimo įdėklų gamyba trunka sąlyginai ilgą laiką (2 - 3 pamainas), pasiūlyta naudoti vizualinės kontrolės priemones, t.y. pakabinti problemų registravimo lentą (2.43 pav.). Tas pačias stakles aptarnaujantieji operatoriai turi galimybę užrašyti problemas ar pastabas, kurios yra aktualios kitos pamainos operatoriumi ar administracijai. Tokios priemonės taip pat sumažina nuostolius gamyboje.



2.43 pav. Problemų registravimo lenta

Operatorius turi užtikrinti tvarką darbo vietoje, pildyti frezavimo programų defektų registravimo dokumentą, nes tai padės išvengti gaminių defektų, per trumpą laiką išspręsti problemas ir mažinti nekokybiškų gaminių skaičių.

Pasiūlyti ir gamyboje pritaikyti modernizavimo sprendimai leido patobulinti įdėklų gamybos procesus, sutrumpinti apdirbimo operacijų trukmę ir sumažinti vertės nekurančius nuostolius.

## IŠVADOS

1. Atliktas alkūninių velenų karštojo štapavimo įdėklų gamybos technologijos tyrimas ir nustatytos ilgiausiai trunkančios rupiojo ir glotniojo frezavimo operacijos, kurias galima modernizuoti. Šiose operacijose pasiūlyta taikyti frezas su keičiamomis kietlydinio galvutėmis, greitintuvus ir termolaikiklius.
2. Atliktas rupiojo ir glotniojo frezavimo operacijų tyrimas. Rupusis frezavimas atliekamas 10 programų naudojant 7 frezas. Ilgiausiai trunka frezavimas 10, 8 ir 6 mm skersmens pirštinėmis vientisomis frezomis. Glotnasis frezavimas atliekamas 9 programomis, naudojant 4 frezas. Ilgiausiai trunka frezavimas 8 ir 6 mm skersmens pirštinėmis vientisomis frezomis.
3. Atliktas rupiojo ir glotniojo frezavimo programų koregavimas. Rupiojo frezavimo programose paviršiaus formos tolerancija frezuojant padidinta iki 0,1 mm (buvo 0,05 mm). Atliktas pakeitimas neturėjo įtakos galutinei gaminio kokybei, sutaupyta laikas lygus 0,29h. Pašalintos trys glotniojo frezavimo programos, atliktas būtinas vienos programos koregavimas. Atlikti pakeitimai leido sutaupyti 1,68h, galutinio gaminio kokybė atitinka keliamus reikalavimus.
4. Ilgiausiai trunkančioms frezavimo programoms pritaikytos frezos su keičiamomis kietlydinio galvutėmis. 10 ir 8 mm skersmens vientisos frezos pakeistos frezomis su keičiamomis kietlydinio galvutėmis, apskaičiuoti frezavimo režimai, kurie gauti didesni nei vientisų frezų.
5. Gaminamų įdėklų glotniajam apdirbimui 8 ir 6 mm skersmens frezoms pritaikyti greitintuvai. Pailgėjus įrankio laikikliui, atsiranda įrankio nestabilumas, todėl greitintuvus naudoti netikslinga. Įdėklų gamyboje naudojamoms 6, 8 ir 10 mm skersmens frezoms pritaikyti termolaikikliai užtikrina frezų stabilumą ir didesnius frezavimo režimus, todėl termolaikiklius taikyti tikslinga.
6. Pasiūlyti taupiosios gamybos sprendimai įdiegti operatoriaus darbo vietoje. Suprojektuota ir pagaminta papildoma įrankių dėtuve termolaikikliams ir greitintuvams. Paruoštos frezavimo instrukcijos operatoriams ir frezavimo programų defektų registravimo dokumentas sėkmingai pritaikyti gamyboje. Įrengta problemų registravimo lenta.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

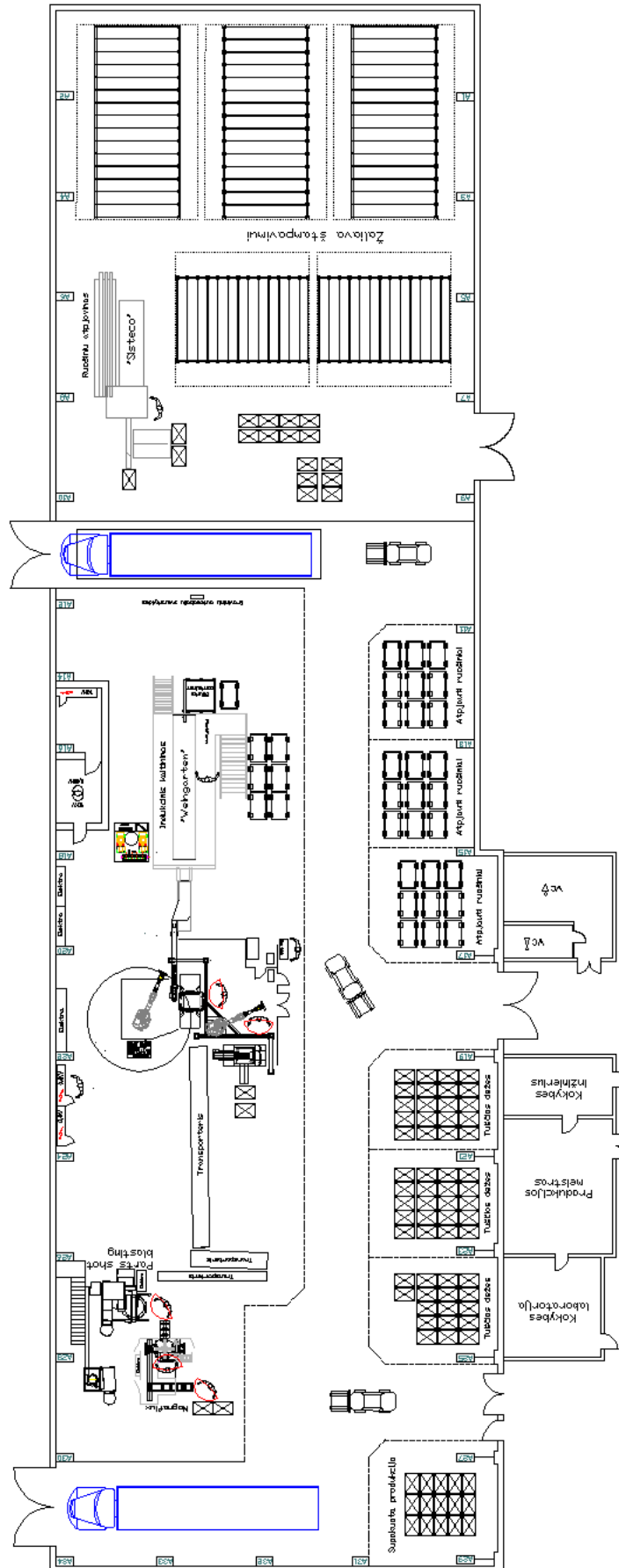
1. Taylan Altan, Blaine Lilly, Y.C. Yen and et. „Manufacturing of Dies and Molds“. – CIRP Annals – Manufacturing Technology, Volume 50, Issue 2, 2001, p. 404-422.
2. US 2015/0052962 A1 Takashi Choda, Yukihide Honda, Shogo Murakami and et. „Forging die device“ 2015 February 26.
3. L. Kulikauskas, P. Ambroza, A. Juodis, J. Žvinys ir kt. „Konstrukcinių medžiagų technologija ir medžiagotyra“, knyga. Vilnius, leidykla „Mokslas“, 1991 m., 363 p.
4. J. Kvalkauskas, P. Krasauskas ir R. Česnavičius „Skaitmeninių programinių frezavimo staklių valdymas“, mokomoji knyga. Kauno technologijos universitetas, leidykla „Technologija“, 2008 m., 112 p.
5. A. S. Biro „Trends of Nitriding Processes“, Production Processes and Systems, Volume 6, No. 1 2013, p. 57-66.
6. Programų kūrimo kompanija „DELCAM“, „PowerMILL 2013. What’s new?“, frezavimo programos atnaujinimo žinynas. Birmingham, United Kingdom, 2013 m., 62 p.
7. <http://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=3104452&fnum=2704&mapp=ML&app=0&GFSTYP=M> parinktas 10 mm skersmens pirštinės frezos kotelis [žiūrėta 2015-11-22].
8. <http://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=5621364&fnum=1628&mapp=ML&app=57&GFSTYP=M> parinkta 10 mm skersmens spindulinė frezos galvutė [žiūrėta 2015-11-22].
9. <http://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=3104450&fnum=2704&mapp=ML&app=0&GFSTYP=M> parinktas 8 mm skersmens pirštinės frezos kotelis [žiūrėta 2015-11-22].
10. <http://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=5621363&fnum=1628&mapp=ML&app=0&GFSTYP=M> parinkta 8 mm skersmens spindulinė frezos galvutė [žiūrėta 2015-11-22].
11. <http://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=5621347&fnum=1418&mapp=ML&app=0&GFSTYP=M> parinkta 8 mm skersmens sferinės frezos galvutė [žiūrėta 2015-11-22].
12. Įrankių tiekimo kompanijos „ISCAR“, „New Products catalog“, įrankių ir jų režimų katalogas. Israel, 2010 m., 245 p.
13. V. Ostaševičius ir R. Dundulis „Technologiniai įrenginiai ir įrankiai“, knyga. Kauno technologijos universitetas, leidykla „Technologija“, 2004 m., 607 p.
14. US 2007/0245799 A1 Jun Asakawa „Method for producing forging die, forging die and forged article“ 2007 October 25.
15. Ulrich Fischer, Roland Gomeringer, Max Heinzler ir kt. Vertėjai: A. Vilkauskas, K. Juzėnas, M. Rimašauskas ir kt. „Mechanikos inžinieriaus žinynas“, knyga. Kauno technologijos universitetas, leidykla „Technologija“, 2014 m., 444 p.



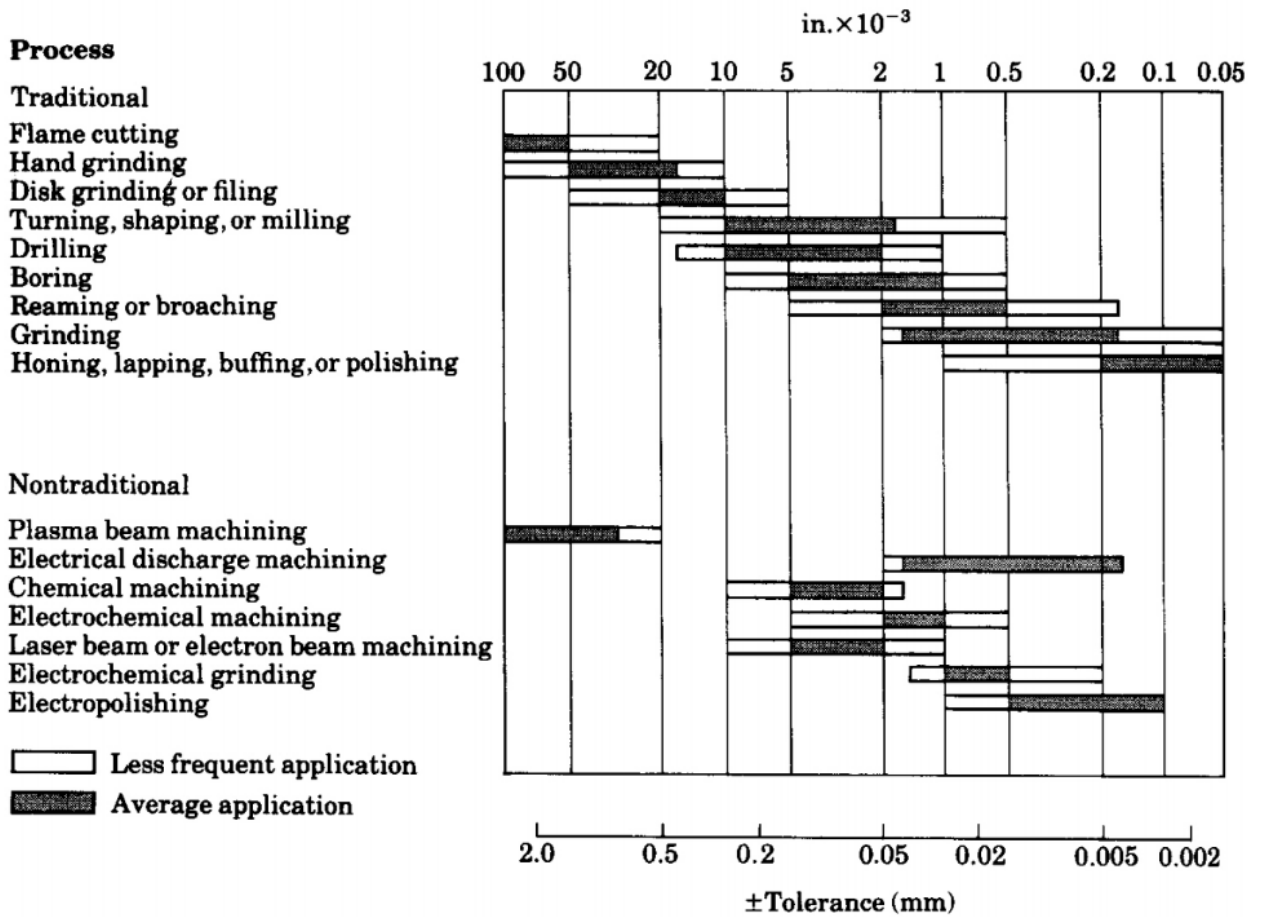
16. Įrankių tiekimo kompanija „ARNO“, „Highest quality high performance tooling“, įrankių ir jų režimų katalogas. Germany, 2012 m., 380 p.
17. Įrangos sistemų gamybos kompanija AB „BENZ“, „Manual high speed spindles“, greitintuvo naudojimo žinynas. Haslach, Germany, 2012 m., 26 p.
18. US 2014/0210169 A1 Haruki Mizoguchi „Shrink fit tool holder“ 2014 July 32.
19. Frezavimo įrangos gamybos kompanija AB „SECO“, „Easyshrink 15, operating instructions“, termolaikiklio naudojimo instrukcija. Bouxwiller, France, 2013 m., 26 p.
20. Rich Charron, H. James Harrington, Frank Voehl and et. „The lean management systems handbook“, knyga. Boca Raton, The United States, 2015 m., 523 p.
21. Lonnie Wilson „How to Implement Lean Manufacturing“, knyga. McGraw – Hill Education. 2015 m., 416 p.

## **PRIEDAI**

1 priedas. Alkūninių velenų gamybos technologijos schema



# Process Tolerances

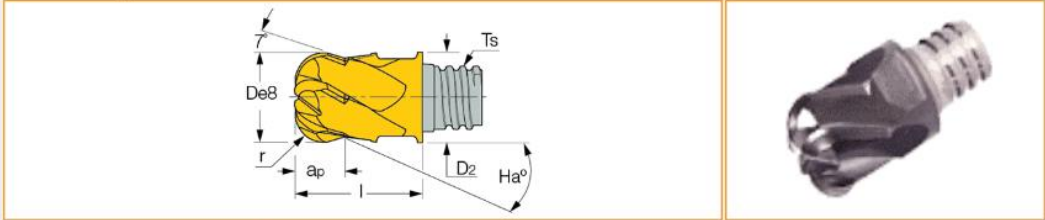
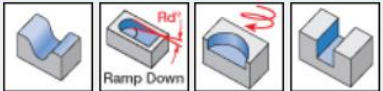




### 3 priedas. 8 mm skersmens frezų galvutė ir kotelio parametrai

8 mm skersmens keičiamos kietlydinio spindulinės galvutės parametrai:

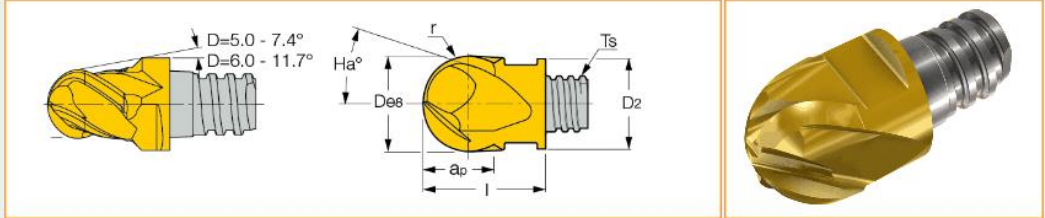

**Milling** Family : **MM ETR MULTI-MASTER Torodial 6 flute interchangeable solid carbide milling heads** Designation : **MM ETR080A04R2.0-6T05**

D	Flute	ap	r	Ts	D2	l	Ha°	Rd°
8.00	6	5.00	2.00	T05	7.70	10.00	30.0	9.0

8 mm skersmens keičiamos kietlydinio sferinės galvutės parametrai:

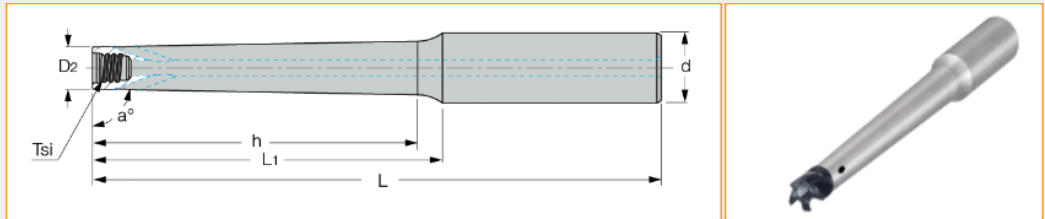
**Milling** Family : **MM EB MULTI-MASTER interchangeable solid carbide ball nose milling heads** Designation : **MM EB080A05-4T05**

D	Flute	ap	r	Ts	D2	l	Ha°
8.00	4	5.00	3.98	T05	7.70	10.00	30.0

Frezos kotelio, skirto 8 mm skersmens keičiamai galvutei, parametrai:

**Milling** Family : **MM S-D (89° conical shanks) MULTI-MASTER, 89° conical shanks for solid carbide interchangeable milling heads**. Available are steel, solid carbide and tungsten shank materials. Tungsten shanks have coolant holes. Designation : **MM S-D-L130-C12-T05-W-H**

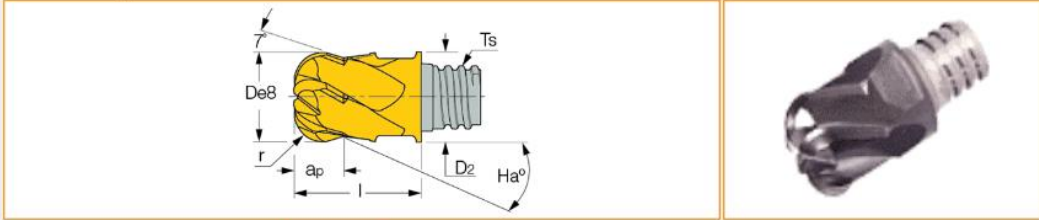
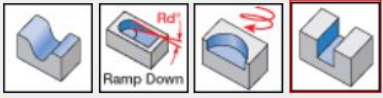


Ts	a°	d	D2	L1	L	Shank m.	h	Coolant	RPM max	Kg
T05	89	12.00	7.60	80.0	130.00	W	76.40	Y	26160	0.164

#### 4 priedas. 10 mm skersmens frezos galvutės ir kotelio parametrai

10 mm skersmens keičiamos kietlydinio spindulinės galvutės parametrai:

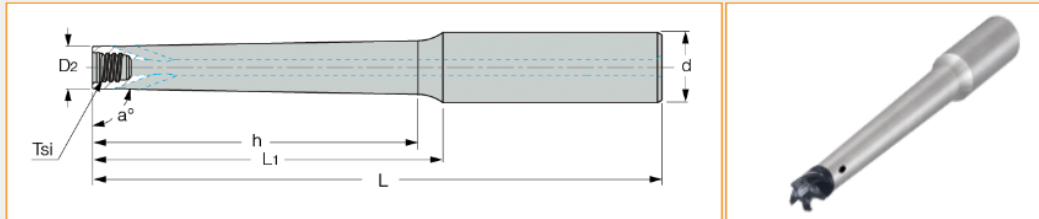
**Milling** Family : MM ETR MULTI-MASTER Torodial 6 flute interchangeable solid carbide milling heads  
 heads Designation : MM ETR100A05R3.0-6T06

D	Flute	ap	r	Ts	D2	l	Ha°	Rd°
10.00	6	7.00	3.00	T06	9.60	13.00	30.0	9.0

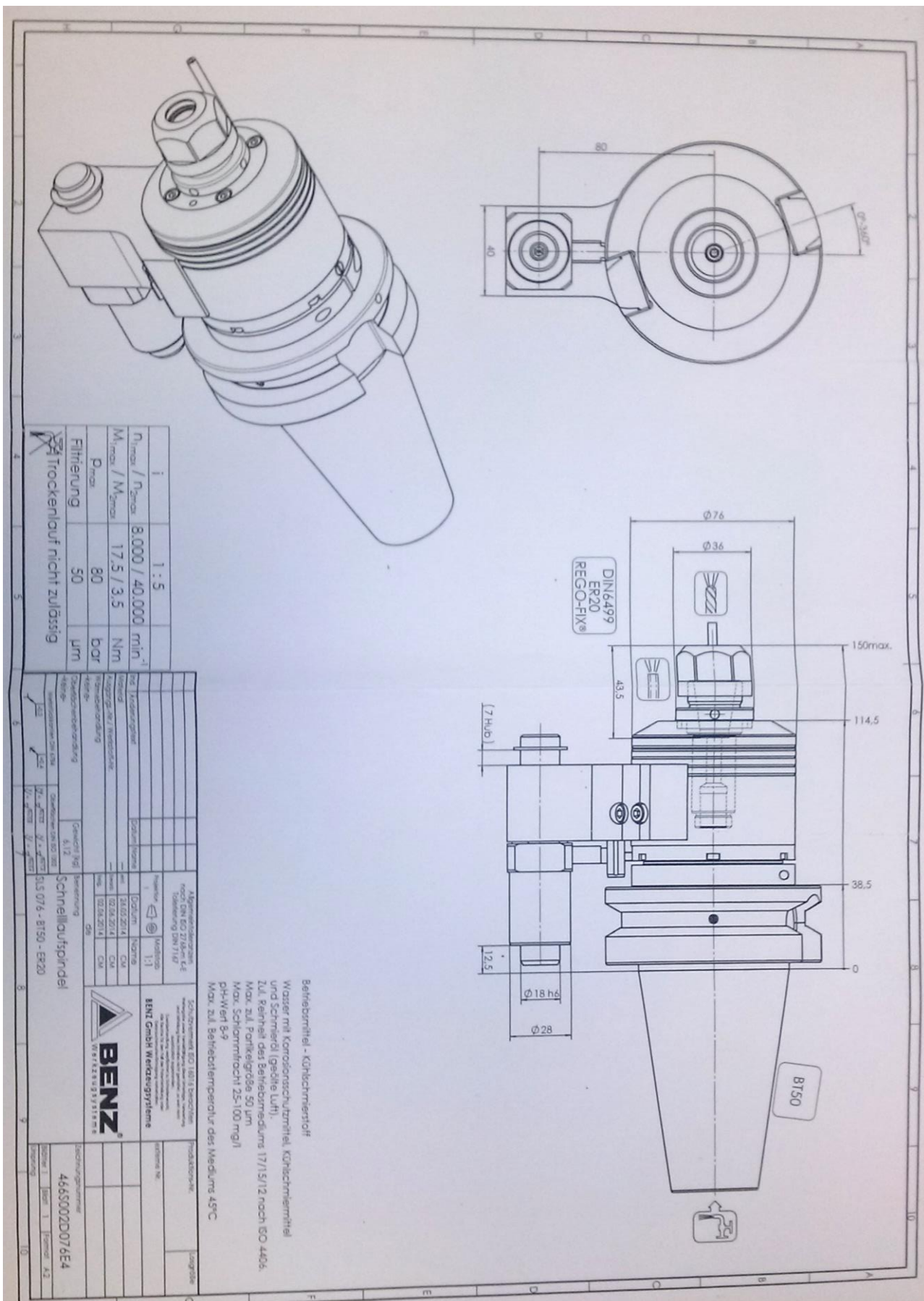
Frezos kotelio, skirto 10 mm skersmens keičiamai galvutei, parametrai:

**Milling** Family : MM S-D (89° conical shanks) MULTI-MASTER, 89° conical shanks for solid carbide interchangeable milling heads. Available are steel, solid carbide and tungsten shank materials. Tungsten shanks have coolant holes. Designation : MM S-D-L130-C16-T06-W-H



Tsi	a°	d	D2	L1	L	Shank m.	h	Coolant	RPM max	Kg
T06	89	16.00	9.60	80.0	130.00	W	73.40	Y	29490	0.285

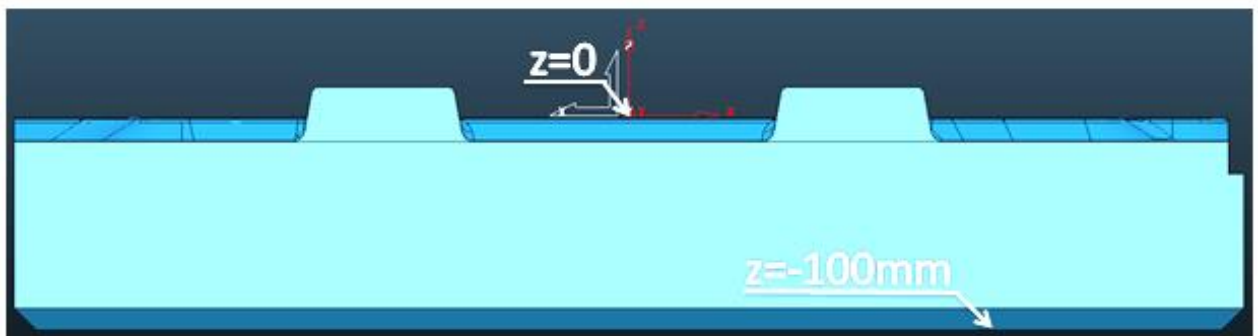
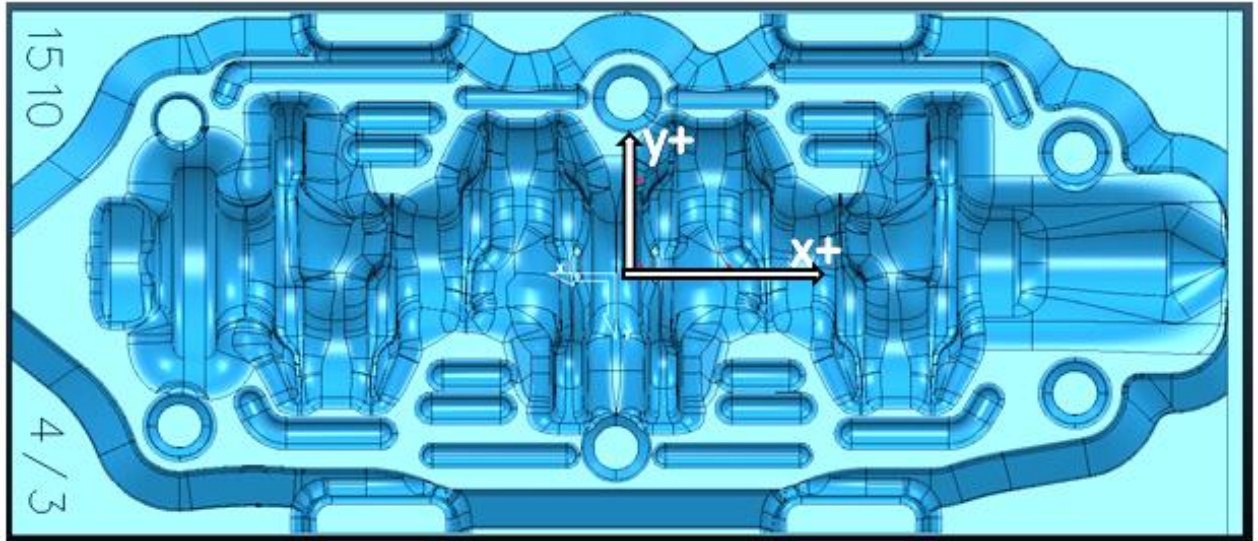
### 5 priedas. Greitintuvo brėžinys





6 priedas. Įdėklo rupiojo frezavimo instrukcija operatoriams

**1510-4-3 Rupus apatinis**



**Programos rupiojo frezavimo**

Blokas turi būti 551x241x113 prieš pradėdant frezuoti.  
x=0 ir y=0 bloko centras, z=-100 bloko apačia.

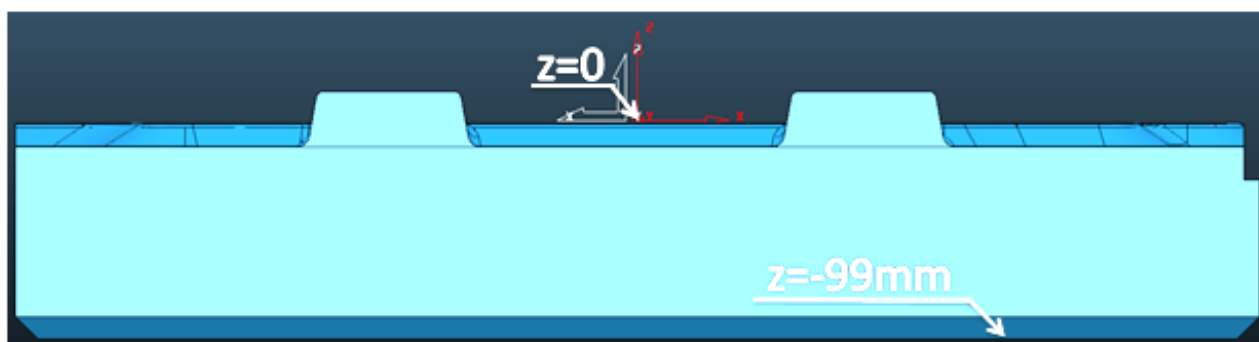
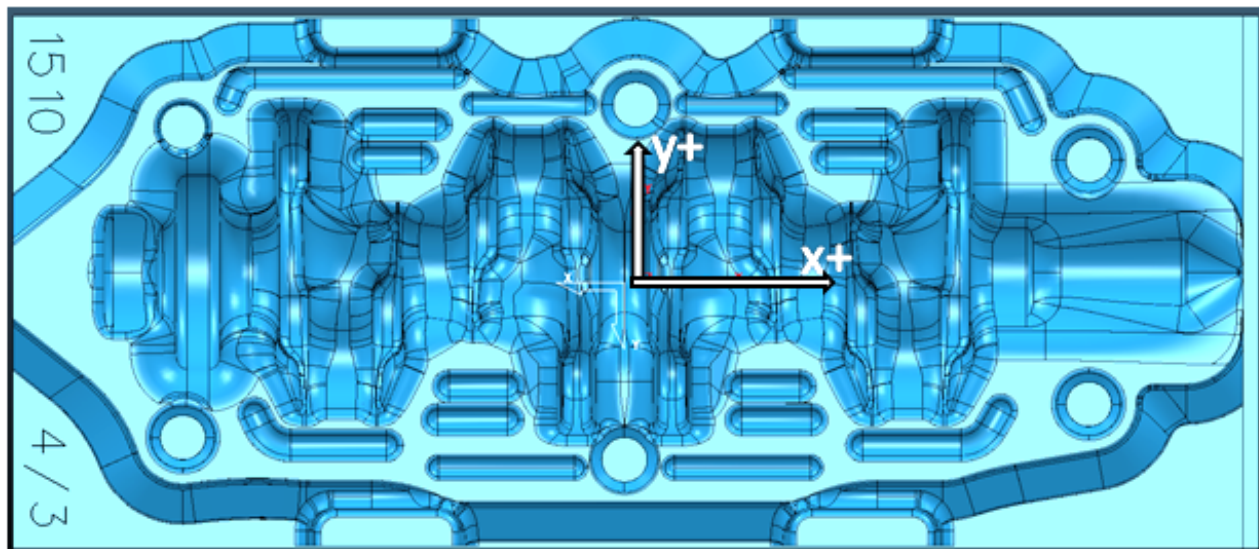
Programos Nr.	Programos pavadinimas	Frezos numeris	Frezos parametrai	
1	1510RAZ_1	T1	Ø32R2	Ilgis 50mm
2	1510RAZ_2	T4	Ø20R2	Ilgis 50mm
3	1510RAZ_3	T2	Ø12R2	Ilgis 60mm
4	1510RAZ_4	T2	Ø12R2	Ilgis 60mm
5	1510RAZ_5	T2	Ø12R2	Ilgis 60mm
6	1510RAZ_6	T14	Ø10R3	Ilgis 87mm
7	1510RAZ_7	T6	Ø8R2	Ilgis 87mm
8	1510RAZ_8	T8	Ø6R3	Ilgis 70mm
9	1510RAZ_9	T7	Ø8R4	Ilgis 87mm
10	1510RAZ_10	T7	Ø8R4	Ilgis 87mm

**Nekeisti programų eiliškumo**



7 priedas. Īdēklo glotņojo frezavimo instrukcija operatoriams

**1510-4-3 Rupus apatinis**



**Programas glotņojo frezavimo**

Blokas turi būti 550x240 prieš pradēdant frezuoti.  
x=0 ir y=0 bloko centrs, z=-99 bloko apačia.

Programos Nr.	Programos pavadinimas	Frezos numeris	Frezos parametri	
1	1510RAG_1	T2	Ø12R2	Ilgis 60mm
2	1510RAG_2	T6	Ø8R2	Ilgis 87mm
3	1510RAG_3	T8	Ø6R3	Ilgis 70mm
4	1510RAG_4	T7	Ø8R4	Ilgis 87mm
5	1510RAG_5	T8	Ø6R3	Ilgis 70mm
6	1510RAG_6	T7	Ø8R4	Ilgis 87mm

**Nekeisti programų eiliškumo**

8 priedas. Frezavimo defektų registravimo dokumentas

**1510 veleno įrangos frezavimo programų defektų registravimo dokumentas**

Data	Operatoriai	Pamaina	Įranga	Progr. Nr.	Apdirbimas	Pastabos
2016	V. Pavardenis		ŠA 4/1		Rupusis	
	V. Pavardenis		ŠV 4/2			
	V. Pavardenis		RA 4/3		Glotnūs	
	V. Pavardenis		RA 4/3			
2016	V. Pavardenis		ŠA 4/1		Rupusis	
	V. Pavardenis		ŠV 4/2			
	V. Pavardenis		RA 4/3		Glotnūs	
	V. Pavardenis		RA 4/3			
2016	V. Pavardenis		ŠA 4/1		Rupusis	
	V. Pavardenis		ŠV 4/2			
	V. Pavardenis		RA 4/3		Glotnūs	
	V. Pavardenis		RA 4/3			
2016	V. Pavardenis		ŠA 4/1		Rupusis	
	V. Pavardenis		ŠV 4/2			
	V. Pavardenis		RA 4/3		Glotnūs	
	V. Pavardenis		RA 4/3			
2016	V. Pavardenis		ŠA 4/1		Rupusis	
	V. Pavardenis		ŠV 4/2			
	V. Pavardenis		RA 4/3		Glotnūs	
	V. Pavardenis		RA 4/3			
2016	V. Pavardenis		ŠA 4/1		Rupusis	
	V. Pavardenis		ŠV 4/2			
	V. Pavardenis		RA 4/3		Glotnūs	
	V. Pavardenis		RA 4/3			
2016	V. Pavardenis		ŠA 4/1		Rupusis	
	V. Pavardenis		ŠV 4/2			
	V. Pavardenis		RA 4/3		Glotnūs	
	V. Pavardenis		RA 4/3			