



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS FAKULTETAS
MECHANIKOS IR MEDŽIAGŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Laimutis Stankevičius

**CNC STAKLIŲ PANAUDOJIMO VIENETINĖJE GAMYBOJE
EFEKTYVUMO TYRIMAS**

**THE RESEARCH OF EFFECTIVENESS OF USING CNC MACHINES IN
ONE-OFF PRODUCTION**

Baigiamasis magistro darbas

Pramonės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX055

Pramonės technologijos specializacija

Gamybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2020

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Mechanikos fakultetas
Mechanikos ir medžiagų inžinerijos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Pramonės inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **CNC staklių panaudojimo vienetinėje gamyboje efektyvumo tyrimas**

Autorius **Laimutis Stankevičius**

Vadovas **Vadim Mokšin**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Magistro darbe tiriamas CNC staklių panaudojimo vienetinėje gamyboje efektyvumas lyginant jas su tradicinėmis mechaninio apdirbimo staklėmis. Buvo suprojektuoti dviejų būdingų detalių mechaninio apdirbimo tekinimo ir frezavimo staklėmis technologiniai procesai. Atlikti eksperimentiniai tyrimai, kurių metu buvo išmatuoti operacijų, atliekamų CNC ir įprastinėmis tekinimo bei frezavimo staklėmis, pagalbiniai laikai. Apskaičiuoti vienetiniai kalkuliaciniai operacijų, atliekamų įprastinėmis ir programinio valdymo staklėmis, laikai. Gauti rezultatai buvo palyginti tarpusavyje. Baigiamajame darbe pateikti tyrimo rezultatai, jų grafikai, išvados bei pasiūlymai.

Darbo apimtis - 55 p. teksto be priedų, 16 iliustr., 17 lent., 20 - šaltinių.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: CNC apdirbimo centras, CNC tekinimo staklės, tekinimo staklės, frezavimo staklės, pagalbinis laikas, chronometražas

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Mechanics
Department of Mechanical and Material Engineering

ISBN ISSN
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Industrial Engineering** study programme Master Graduation Thesis 4

Title **The Research of Effectiveness of Use of CNC Machines in One-off Production**
Author **Laimutis Stankevičius**
Academic supervisor **Vadim Mokšin**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The efficiency of using CNC machines in one-off production is investigated in the master's thesis by comparing them with conventional machine tools. Two technological processes of two characteristic parts machining by turning and milling machines were developed. Experimental studies were performed to measure auxiliary time of operations performed by CNC and conventional turning and milling machine tools. Time per piece of operations performed by of CNC and conventional machine tools was calculated. The results obtained were compared with each other. The final work presents the results of the research, their graphs, conclusions and suggestions.

Thesis size - 55 pages of text without appendixes, 16 pictures, 17 tables, 20 literature sources.
Appendixes are included separately.

Keywords: CNC machining centre, CNC lathe, lathe, milling machine tool, auxiliary time, motion-time

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	6
LENTELIŲ SĄRAŠAS	7
SANTRUMPŲ AIŠKINAMASIS ŽODYNAS	8
IVADAS.....	9
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	12
1.1 CNC staklių programavimo kalba ir programų rengimo būdai	12
1.2 CNC staklės vienetinėje gamyboje	13
1.3 Optimalus detalių kiekis partijoje	16
1.4 CNC staklių taikymo efektyvumo gerinimas.....	17
1.4.1 Parametrinis modeliavimas	17
1.4.2 Grupinio apdirbimo technologija	19
1.4.3 Staklių priežiūros sistemų įdiegimas	19
1.5 CNC apdirbimo technologijų vystymasis	21
1.6 Mokslinių šaltinių analizės apibendrinimas.....	21
2. TYRIMŲ METODIKA, APDIRBAMOS DETALĖS IR STAKLĖS	23
2.1 Tyrimo metodika.....	23
2.2 Tyrimui pasirinktos detalės.....	25
2.3 Tyrimui naudotos staklės	27
2.4 Mechaninio detalių apdirbimo įrankiai	28
3. TYRIMO REZULTATAI	30
3.1 Tekinimo staklių tyrimo rezultatai.....	30
3.1.1 Detalių partijos apdirbimo laikai, apdirbant CNC tekinimo staklėmis	34
3.1.2 Detalių partijos apdirbimo tradicinėmis tekinimo staklėmis laikas	39
3.1.3 Tekinimo staklių tyrimo rezultatų apibendrinimas.....	40
3.2 Frezavimo staklių tyrimo rezultatai	41
3.2.1 Detalių partijos apdirbimo laikai, apdirbant CNC frezavimo staklėmis	44
3.2.2 Detalių partijos apdirbimo laikai, apdirbant tradicinėmis frezavimo staklėmis	47

3.2.3 Frezavimo staklių tyrimo rezultatų apibendrinimas	48
IŠVADOS	50
LITERATŪROS SĄRAŠAS	51
PRIEDAI	53

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Automatinis CNC staklių valdymo programos generavimas (Schaeede et al., 2018)	18
2 pav. Individualus produkto pritaikymas naudojant parametrinį modeliavimą (Schaeede et al., 2018)	18
3 pav. TPM kryptys (Nallusamy, 2018)	20
4 pav. OEE palyginimas (Nallusamy, 2018)	21
5 pav. Detalė apdirbama tekinimo staklėmis	26
6 pav. Frezavimo detalės brėžinys	26
7 pav. a) – Rankinės tekinimo staklės 1K62; b) – HAAS CNC tekinimo centras ST-20	27
8 pav. a) - HAAS Mini Mill CNC 3 ašių vertikalios frezavimo staklės; b) - tradicinės frezavimo staklės 6P10	27
9 pav. CNC tekinimo staklių detalės apdirbimo programa	30
10 pav. CNC apdirbimo programos sudarymo laikai	33
11 pav. Detalės apdirbimo operacijos pagalbiniai bei mašininis laikai	34
12 pav. Detalių partijos apdirbimo laiko priklausomybė nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant tekinimo staklėmis	40
13 pav. CNC frezavimo detalės apdirbimo programa	41
14 pav. Detalės apdirbimo programos sudarymo laikai	43
15 pav. Frezavimo staklių pagalbiniai apdirbimo laikai bei mašininis apdirbimo laikas	44
16 pav. Detalių partijos apdirbimo laiko priklausomybė nuo detalių skaičiaus partijoje, kai apdirbama frezavimo staklėmis	48

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Horizontalaus frezavimo centro (HMC) ir vertikalaus frezavimo centro (VMC) OEE reikšmės (Nallusamy, 2018)	20
2 lentelė. Pagalbiniai detalės apdirbimo laikai, kai detalė apdirbama CNC tekinimo staklėmis	30
3 lentelė. Pagalbiniai detalės apdirbimo laikai, kai detalė apdirbama tradicinėmis frezavimo staklėmis	31
4 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC tekinimo staklėmis su ruošinio atrama, kai apdirbimo programa sudaroma naudojant „EdgeCam“ programą	35
5 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC tekinimo staklėmis be ruošinio atramos, kai apdirbimo programa sudaroma naudojant „EdgeCam“ programą	36
6 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC tekinimo staklėmis su ruošinio atrama, kai apdirbimo programa sudaroma rankiniu būdu G / M kodais	37
7 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC tekinimo staklėmis be ruošinio atramos, kai apdirbimo programa sudaroma rankiniu būdu G / M kodais	37
8 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC tekinimo staklėmis su ruošinio atrama, kai apdirbimo programa sudaroma naudojant VQC	38
9 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC tekinimo staklėmis be ruošinio atramos, kai apdirbimo programa sudaroma naudojant VQC	39
10 lentelė. Partijos apdirbimo laikai, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, kai apdirbama tradicinėmis tekinimo staklėmis	40
11 lentelė. Pagalbiniai detalės apdirbimo laikai, kai detalė apdirbama CNC frezavimo staklėmis	42
12 lentelė. Pagalbiniai detalės apdirbimo laikai, kai detalė apdirbama tradicinėmis frezavimo staklėmis	42
13 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC frezavimo staklėmis su ruošinio atrama, kai apdirbimo programa sudaroma naudojant „EdgeCam“ programą	45
14 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC frezavimo staklėmis be ruošinio atramos, kai apdirbimo programa sudaroma naudojant „EdgeCam“ programą	46
15 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC frezavimo staklėmis su ruošinio atrama, kai apdirbimo programa sudaroma rankiniu būdu G / M kodais	46
16 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC frezavimo staklėmis be ruošinio atramos, kai apdirbimo programa sudaroma rankiniu būdu G / M kodais	47
17 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas apdirbant tradicinėmis frezavimo staklėmis	48

SANTRUMPŲ AIŠKINAMASIS ŽODYNAS

t. y. – tai yra;

CNC – kompiuterinis programinis valdymas (angl. *Computer Numerical Control CNC*);

CAD – kompiuterinis modeliavimas (angl. *Computer Aided Design CAD*);

CAM – kompiuterinė gamyba (angl. *Computer Aided Manufacturing CAM*);

CAE – kompiuterinis projektavimas (angl. *Computer Aided Engineering CAE*);

VQC – vizualinis programų generatorius (angl. *Visual Quick Code VQC*);

TAS – tepimo ir aušinimo skystis;

OEE - bendras įrangos efektyvumas (angl. *Overall Equipment Effectiveness OEE*);

EIA – Elektronikos pramonės aljansas (angl. *Electronics Industries Alliance EIA*);

ISO – Tarptautinė standartizacijos organizacija (angl. *International Standards Organization ISO*);

TPM – universalus produktyvus aptarnavimas (angl. *Total Productive Maintenance TPM*);

STEP – standartinis produkto modelio duomenų mainų formatas (angl. *Standard for Exchange of Product model data STEP*);

LST – Lietuvos standartas.

IVADAS

Nesvarbu, ar tai būtų didelė metalo apdirbimo gamykla, ar nedidelė dirbtuvė, darbininkai jose vis dažniau dirba su metalo apdirbimo pramonėje paplitusiomis kompiuterinio programinio valdymo CNC (angl. *Computer Numerical Control*) staklėmis. Šios staklės nuo tradicinių skiriasi tuo, kad jų efektyvus panaudojimas labiausiai priklauso ne tiek nuo staklės aptarnaujančio darbininko, bet nuo programuotojo, kuris sudaro apdirbimo programas, įgūdžių. Be to, tokiomis staklėmis galima apdirbti sudėtingos formos detales, kurių tradicinėmis staklėmis negalėtų apdirbti net labai įgudęs darbuotojas. Tam pakanka tik užprogramuoti reikiamą įrankio judesio trajektoriją, nereikia naudoti kopijavimo įrenginių arba brangių ir sunkiai pagaminamų fasoninių įrankių, kurie turi būti naudojami įprastinėse staklėse. Šiuolaikinės CNC staklės lanksčios ir nesudėtingai perderinamos, leidžia prijungti įvairius įrenginius (robotus, konvejerius, automatinius įtaisus), leidžiančius automatizuoti jų darbą, o tai labai svarbu masinės ir serijinės gamybos sąlygomis.

Įmonėms nuolat didinant gamybos automatizacijos lygmenį ir taip iki minimumo siekiant sumažinti žmogiškosios klaidos atsiradimo faktorių, CNC staklių naudojimo serijinėje ar tuo labiau masinėje gamyboje efektyvumas niekam nekelia klausimų, tačiau kyla problema, ar verta tokias stakles naudoti vienetinėje gamyboje. CNC staklės yra daug brangesnės už įprastines. Programai parengti reikia sugaišti laiko, kuris gali būti reikšmingas, jeigu gaminama viena arba kelios detalės, o ne didelė jų partija. Tai gali labai padidinti vienetinį kalkuliacinį operacijos laiką ir, atitinkamai, detalės kainą, nes programos rengimo metu staklės dažnai negali būti naudojamos pagal paskirtį. Rengti programas naudojant CAM (angl. *Computer Aided Manufacturing*) programinę įrangą prie kompiuterio gali leisti ne visos smulkios įmonės, nes CAM programinė įranga yra brangi, prie jos dažniausiai būtina papildomai naudoti CAD (angl. *Computer Aided Design*) programinę įrangą. Tokią įrangą gali valdyti tik parengti inžinieriniai darbuotojai, kurių smulkios apdirbimo ir remonto įmonės dažnai neturi. Be to, tam reikia patalpų, toks metodas sunkiai realizuojamas ceche, prie staklių.

Šiame darbe siekiama nustatyti mažiausią detalių skaičių partijoje, kuriam būtų galima efektyviai naudoti CNC tekinimo ir frezavimo stakles.

Tyrimo objektas – vienetiniai kalkuliaciniai operacijų, atliekamų įprastinėmis ir programinio valdymo staklėmis, laikai.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas yra ištirti CNC staklių naudojimo vienetinėje gamyboje galimybes, staklių panaudojimo efektyvumą bei nustatyti, kokio dydžio detalių partijai verta naudoti šias stakles, o kada vėčiau jų atsisakyti. Siekiant įgyvendinti šiuos tikslus, reikia įvykdyti šiuos uždavinius:

- Išanalizuoti, kokios detalės dažniausiai gaminamos vienetinėje gamyboje.
- Sudaryti dviejų būdingų detalių mechaninio apdirbimo tekinimo ir frezavimo staklėmis technologijas.
- Atlikti eksperimentinius tyrimus – mechaniškai apdirbti įvairias detales CNC ir tradicinėmis staklėmis, išmatuoti pagalbinius operacijų laikus.
- Apskaičiuoti vienetinius kalkuliacinius operacijų, atliekamų CNC ir tradicinėmis staklėmis, laikus ir juos palyginti.
- Iš surinktų duomenų padaryti išvadas ir pateikti rekomendacijas.

Temos naujumas

Tradicinės rankinio valdymo staklės nepasikeitė nuo praeito amžiaus ir yra pasenusios. Jos dažniausiai naudojamos įmonių remonto skyriuose, kur reikia ką nors ištekinti, nufrezuoti kokią nors remontui reikalingą detalę ir naudoti tokias stakles tiesiog nėra poreikio arba neapsimoka. Šiuolaikinei gamybai, masinei arba serijinei, būdingas lankstumas, nes rinka reikalauja vis dažniau keisti gaminamus gaminius naujais. Tokiomis pasikeitusiomis sąlygomis tradicinės staklės jau netinkamos, nes naudojant tokias stakles labai išauga detalės apdirbimo pagalbinis laikas, jos sunkiai perderinamos naujų detalių gamybai. Be to, jos reikalauja daug aukštos kvalifikacijos žmoniškųjų resursų.

Temos aktualumas

Pingant kompiuteriams ir jų komponentams, paprastėjant programų rengimui, vis daugiau įmonių naudoja CNC stakles. CNC staklių naudojimas padeda sumažinti gamybos išlaidas, kadangi detalių apdirbimas vyksta daug greičiau, nes apdirbimo programos gali būti paruoštos technologo ir staklių operatoriui belieka tik keisti ruošinius. Vienas staklių operatorius gali aptarnauti kelias staklių. Be to, CNC staklės sumažina gamybos broką, nes iki minimumo sumažinamas žmogiškasis faktorius, kuris yra vienas pagrindinių broko atsiradimo galimybių, o tai dar labiau sumažina išlaidas gamybai ir padidina įmonės pelną. Tačiau šie privalumai labiausiai galėtų būti realizuojami serijinėje ir masinėje gamyboje, o ne vienetinėje. Staklių gamintojai nepateikia jokių duomenų arba pateikia prieštarigus duomenis apie jų gaminių panaudojimą vienetinės gamybos sąlygomis.

Tyrimo metodai

Teoriniai tyrimai atlikti naudojant „SolidWorks“ bei „EdgeCam“ programas. „SolidWorks“ programa suprojektuoti tyrime naudojamų 3D detalių modeliai. Suprojektuoti kompiuteriniai detalių modeliai vėliau buvo įkelti į „EdgeCam“ programą. Naudojantis šia programa parinkti mechaninio apdirbimo režimai, parinkti įrankiai. Suprojektavus detalių mechaninio apdirbimo technologinius kelius, buvo gautos CNC staklių valdymo programos ir apskaičiuoti mašininiai laikai.

Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami naudojant vertikalų CNC frezavimo centrą „HASS MiniMill“ bei CNC tekimo centrą „HASS ST-20“, taip pat įprastines (rankinio valdymo) tekimo stakles „1K62“ ir vertikaliąsias frezavimo stakles „6P10“. Šiomis staklėmis buvo atliekamas mechaninis detalių apdirbimas, išmatuoti pagalbiniai operacijų laikai.

Tyrimų rezultatai buvo apdorojami bei apibendrinami naudojant „Microsoft Word“ bei „Microsoft Excel“ programų paketus.

Darbo mokslinė vertė

Yra daug straipsnių, kurie nagrinėja CNC staklių panaudojimo serijinėje bei masinėje gamyboje efektyvumą. Daugeliui šis klausimas jau nebekelia abejonių, tačiau šių staklių efektyvus naudojimas vienetinės gamybos sąlygomis vis dar kelia nemažai prieštaravimų. Šis tyrimas yra orientuotas būtent į CNC staklių naudojimo vienetinėje gamyboje efektyvumo nustatymą kaip efektyvumo kriterijų naudojant vienetinį kalkuliacinį operacijos laiką.

Darbo aprobacija

Darbo rezultatai pristatyti 23-je jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“, kuri įvyko 2020 m. balandžio 24 d. Vilniaus Gedimino technikos universitete.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1 CNC staklių programavimo kalba ir programų rengimo būdai

Daugelis CNC staklių veiksmų ir judesių yra labai panašūs ir įprastinėse rankinio valdymo staklėse, tačiau jomis daugiau judesių ir veiksmų atlieka pats operatorius, o programinio valdymo staklės pačios tai atlieka pagal programą. Dažniausiai programuotojas arba technologas sukuria staklių veiksmų eiliškumą ir parašo jį CNC staklių valdymo sistemai suprantama forma, kaip ir dirbant įprastomis rankinėmis staklėmis be programos. CNC staklės turi atlikti pagrindinius judesius (pjovimo, pastūmos), pagalbinius judesius (pvz., įrankio priartėjimo) ir veiksmus (pvz., įjungti drožlių konvejerį, TAS siurblių). CNC staklėms programos dažniausiai rašomos EIA/ISO, EIA – 274D arba G/M kodais. Ši programavimo kalba yra standartinė, ją kuriant dalyvavo kompanija „Fanuc“ (viena didžiausių CNC valdymo ir kontrolės sistemų gamintojų iš Japonijos) ir JAV organizacija „Electronic Industries Alliance“ ir „International Standardization Organization“. Daugelyje CNC sistemų „Fanuc“ kalba vartojama tiesiogiai. Keletas gamintojų „HAAS“ G/M kodus naudoja kaip pagrindinę kalbą, bet kartu jie turi vaizdinių sąsajų programuoti standartinėms operacijoms. Kai kurie gamintojai gali apsieiti be G/M kodų, tačiau jais naudotis galimybė paliekama. Šie gamintojai siūlo savo „vedlio“ tipo vaizdines programavimo sąsajas (pvz., „Mazak“ Mazatrol.) Reikia nepamiršti, jog ši kalba, kaip ir kitos programavimo kalbos, buvo tobulinama ir dažnai senesnės staklių valdymo sistemos nesupranta kai kurių naujesnių kodų, nors staklių gamintojas gali būti toks pats. Kadangi standartas reglamentuoja tik pačius pagrindinius kodus, dažnai skirtingų valdymo sistemų gamintojų kodai nesutampa. Todėl pirmas žingsnis prieš pradedant dirbti CNC staklėmis visada yra pažintis su staklių operatoriaus vadovu. Programuojant G/M kodais reikia žinoti jų reikšmes: G – valdo staklių vykdymo junginių poslinkius, o M – įvairias staklių funkcijas (pvz., įjungia drožlių konvejerį, paleidžia suklį ir kt.). Taip pat gali būti naudojami ir kiti kodai: F (pastūmos), S (suklio sūkių), T (įrankių). Parengti valdymo programą yra keturi būdai [9]:

1. Sukuriant programą kompiuteriu, panaudojant CAM sistemas, tokias kaip „EdgeCam“, „MasterCam“ ir kt.

2. Sukurti programą kompiuteriu panaudojant teksto redaktorius, pvz., „Notepad“.

3. Sukurti programas naudojant siūlomus vaizdinio rengimo (vedlio tipo) redaktorius. Programa rašoma programinio valdymo įrengimo vaizduoklyje.

4. Sukurti programą naudojant įrengimo valdymo pulto klaviatūrą. Programa rašoma programinio valdymo įrengimo vaizduoklyje.

Ketvirtuoju būdu rengiamos programos dažniausiai skirtos dviejų ašių tekinimo staklėms ir trijų ašių frezavimo staklėms, kai vienu metu valdomos dvi ašys. Tačiau šis būdas turi trūkumų:

1. Reikia atlikti nemažai skaičiavimų, nustatinėjant įrankių judesių trajektorijų taškų koordinates, todėl galima suklysti. Dėl šios priežasties naudojami specialūs gamintojų skaičiuotuvai, kurie integruoti įrenginyje.

2. Nepatogu redaguoti programas, kadangi nėra patogių kompiuterinių įvesties įtaisų, pvz., pelės. Todėl, naršyti tarp programų eilučių, žymėti elementus ar juos pakeisti yra sunkoka.

Daugelis CNC staklių gamintojų dirba, norėdami palengvinti redagavimo procesą. Pats geriausias būdas sukurti programą yra pirmasis metodas. Pavyzdžiui, dirbant CAD programomis („AutoCad“, „SolidWorks“ ir kt.) 3D aplinkoje sudarytas detalės modelis atidaromas CAM terpėje, orientuojamas pagal staklių ašis, paskiriamos technologinės pakopos, pjovimo režimai, įrankiai, sugeneruojama valdymo programa G/M kodais atitinkamam įrengimui. Modeliuoti galima ir CAM terpėje, tačiau CAD sistemos turi geresnius braižymo sistemos įrankius. CAM sistemose sudarytos programos perkeliamos į CNC įrenginį, operatoriui belieka įtvirtinti ruošinį įtaise ir suderinti koordinatinių sistemos taškus. CAM sistemose išvystytos ypač geros 3D simuliacijos programos, kurios padeda išvengti galimų klaidų. Antruoju būdu programos rengiamos G/M kodais kompiuteriu, naudojant teksto redaktorių „Notepad“. Parengta programa iš kompiuterio pernešama į staklių valdymo įrenginį. Trečiasis būdas pranašesnis, kai programa rengiama tipinėms detalėms (laiptuotiems velenams, detalėms, kurios turi n skylių, kurios išdėstytos tam tikru spinduliu nuo centro pagal apskritimą). Šio metodo galimybės ribotos ir priklauso nuo gamintojo (nuo jo siūlomo vedlio). Ne visoms detalėms tokiu būdu galima parengti programą. Šį metodą galima taikyti ir staklių darbo metu, kai staklėmis apdirbama detalė pagal vieną programą, galima rengti kitai detalei apdirbti reikalingą programą. Taigi, valdymo programa reikalinga valdyti staklių junginių su įrankiais ir ruošiniais poslinkius. Poslinkiai vyksta koordinatinių sistemoje nuo vieno taško, kurio koordinatės žinomos, iki kito taško, kurio koordinatės nurodomos programoje.

1.2 CNC staklės vienetinėje gamyboje

CNC stakles ilgą laiką buvo įprasta naudoti vidutinio dydžio serijinėje gamyboje, nes čia buvo galima išnaudoti visą jų potencialą. Taip buvo todėl, nes apdirbimo programų sudarymas buvo gana sudėtingas ir užėmė daug laiko, be to, užtrukdavo pačių staklių paruošimas mechaniniam apdirbimui. Dėl šių priežasčių, jų naudojimas vienetinėje gamyboje buvo neefektyvus. Vis dėlto pagrindinė priežastis, dėl kurios šių staklių buvo atsisakoma, buvo jų kaina. CNC staklių kaina keliolika kartų viršijo tradicinių rankinių staklių kainą, todėl tekdavo labai gerai paskaičiuoti prieš pasirenkant tokią investiciją. Serijinėje bei masinėje gamyboje jos puikiai tiko, nes čia gaminamos didelės vienetų gaminių partijos ir staklių nereikia dažnai reguliuoti.

Situacija ėmė keistis XX amžiaus pabaigoje. Kompiuterinių technologijų proveržis atvėrė naujų CNC staklių panaudojimo galimybių. Kompiuterinės technikos bei įrangos kaina smarkiai sumažėjo. Ištobulėjo CAM (kompiuterinė gamyba) technologijos. Atsiradus naujoms technologijoms ėmė keistis ir pačių CNC staklių supratimas bei dizainas. Šiuo metu bet kokias programinio valdymo stakles galima lengvai pritaikyti individualiems klientų poreikiams, dėl to išaugo šių staklių panaudojimo lankstumas, o kartu ir populiarumas bei paklausa. Gausus papildomos staklių įrangos pasirinkimas (konvejeriai, automatinio ruošinių tiekimo sistemos ir pan.) leido joms įgyti didelį pranašumą prieš tradicines stakles. Tačiau pagrindiniai šių staklių pranašumai, lyginant jas su tradicinėmis staklėmis yra šių staklių galimybės. Tai:

- Pastovaus pjovimo greičio režimas: CNC staklės automatiškai keičia suklio greitį, atsižvelgiant į apdirbamos detalės skersmenį.
- Judėjimas keliomis ašimis vienu metu.
- Aukšto slėgio aušinimo sistemos.
- Greitas įrankių pozicionavimas.

Dėl šių galimybių CNC staklės tapo patrauklios ir mažoms įmonėms, kurios savo gamybą vykdo vienetinės gamybos sąlygomis. CNC staklių panaudojimas gamyboje yra vienas iš pagrindinių veiksnių, leidžiančių pakelti gamybos automatizacijos lygį. To priežastis yra didelės staklių gamybos automatizavimo galimybės. CNC staklės leidžia integruoti įvairius robotus, konvejerinius, automatines ruošinių tiekimo bei detalių išėmimo sistemas bei priežiūros sistemas, ir sujungti jas į vieną programiškai valdomą sistemą. Tai leidžia CNC stakles efektyviai naudoti ir masinėje gamyboje.

Pagrindinis CNC staklių trūkumas, kuris stabdo jų plėtrą vienetinėje gamyboje, yra detalės apdirbimo programos generavimas. Didelis skirtingų gaminių kiekis bei mažas tų gaminių kiekis partijose reikalauja nuolatinio apdirbimo programų kūrimo bei jų pakeitimo. Dėl to smarkiai išauga laikas, reikalingas programoms ruošti, o kartu mažėja ir produktyvumas bei efektyvumas. Siekiant sumažinti laiko nuostolius, atsirandančius ruošiant apdirbimo programas, CNC staklių gamintojai pasiūlė naudoti dvigubą CNC staklių valdymo galimybę, kuri leidžia stakles valdyti tiek programiškai, tiek rankiniu būdu. Toks būdas puikiai tinka apdirbant nesudėtingas detales. Kaip problemos sprendimas, yra CNC staklių apdirbimo programų ruošimas naudojant CAM programas. Tačiau dažniausiai mažos gamybos ar remonto įmonės neturi pakankamai išteklių leisti sau turėti inžinierių arba nusipirkti tokią programą, o staklių operatoriai neturi reikiamos kvalifikacijos naudotis tokiomis programomis. Kita vertus, naudotis gamintojų sukurtais CNC staklių valdikliais rašant apdirbimo programas nėra toks sudėtingas ir daug laiko reikalaujantis procesas, koks jis gali pasirodyti. Dauguma staklių gamintojų

sukurti staklių valdikliai turi didelius ekranus, kurie leidžia vizualiai matyti apdirbimo programą, bei yra nuolat tobulinami, siekiant supaprastinti programavimo procesą.

Įmonės šiuo metu susiduria su vis didėjančia produktų pritaikymo individualiai prie užsakovų norų problema (Nallusamy, 2016). Įmonės, kurios savo produkciją gamina serijinės gamybos sąlygomis arba masiškai susiduria su problema, kai užsakovas nori, kad jų produktas būtų pritaikytas individualiai tik jam. Tai yra didelė problema, kadangi dažniausiai tokios įmonės savo gamybą yra išdėsčiusios taip, kad produktą yra sunku ir brangu pritaikyti pagal kiekvieną iš užsakovų. Su tuo susiduria beveik kiekviena serijinės ar masinės gamybos įmonė. Dėl šios priežasties įmonės patiria nuostolių, kadangi netenka klientų. Šiuolaikinės gamybos įmonės, kurios nori išlikti konkurencingos rinkoje, privalo savo gamybą sustyguoti taip, kad galėtų gaminti individualius savo produkcijos variantus mažomis serijomis ir netgi vienetais, bet tuo pačiu išlikti konkurencingos kainos ir kokybės atžvilgiu bei laikytis pristatymo terminų. Tai įmanoma padaryti naudojant CNC stakles bei CAD_CAM kompiuterines programas. Tik gamyboje įdiegus šias programas, galima užtikrinti greitą produkcijos pritaikymą prie individualių klientų norų. Šios programos užtikrina greitą produkcijos parametrų keitimą bei geometrijos generavimą bei greitą CNC staklių valdymo programos paruošimą. Daugumą įmonių, kurios gamina vienetinę produkciją yra mažo arba vidutinio dydžio, kurių išteklių yra riboti. Tokių įmonių gaminiai yra skirtingi ir pritaikomi prie konkrečių klientų poreikių. Gaminiai gaminami mažomis partijomis, naudojant bendrosios paskirties mašinas, kurios reikalauja aukštos kvalifikacijos darbo jėgos. Nepaisant to, kad įmonės siūlo aukštą gamybos lankstumą, įmonės, kurios veikia vienetinės gamybos sąlygomis, susiduria su daug iššūkių. Tai trumpi gamybos bei gaminių pristatymo terminai, gamybos planavimas, netikėtų kliūčių atsiradimas ir jų sprendimų ieškojimas. Tik įveikus šiuos iššūkius, galima pasiekti gerą efektyvumo ir produktyvumo lygį bei užtikrinti gaminių kokybę. Gamybos laikas glaudžiai susijęs su šių problemų sprendimais.

Gamybos laikas arba gamybos terminas yra vienas iš gamybos efektyvumą parodančių rodiklių. Jis susideda iš užsakymo apdorojimo laikos, gaminių gamybos bei transportavimo laiko. Tokiomis sąlygomis veikiančioms įmonėms laikytis užsakymo terminų yra labai svarbu, tačiau kartu ir labai sunku. Todėl gamyba turi būti greita bei lanksti, kad patenkintų vis didėjančius klientų poreikius. CNC staklės esant tokioms sąlygoms įgauna vis didesnę pranašumą prieš tradicines stakles.

Pradedant nuo konstrukcijos, CNC staklių konstrukcija susideda iš didelio tikslumo mechanizmų ir automatinio valdymo agregatų. Dėl tokios CNC struktūros jos turi didelį standumą bei temperatūrinį stabilumą. Atsiradus programinių valdymo staklių judesio perdavimo agregatuose, paklaidos yra kompensuojamos skaitmeninio valdymo būdu. Kadangi mechaninio apdirbimo procesas vykdomas automatiškai, pagal užprogramuotą programą, pašalinama žmogiškoji operatoriaus paklaida,

pagerėja tos pačios detalių partijos apdirbimo matmenų nuoseklumas, apdorojimo kokybė išlieka stabili, o kartu ir detalės kokybė. Detalėms, kurios reikalauja skirtingų technologinių apdirbimo procesų, jie gali būti atlikti vienu pastatymu, todėl sumažinama bazavimo paklaida ir pagerinamas apdirbimo tikslumas. Programinio valdymo staklės turi didelį efektyvumą apdirbant mažas detalių partijas, nes staklės gali dirbti esant dideliems režimams ir atlaikyti dideles apkrovas, be to, dėl greitos įrankių eigos, taupomas laikas privedant darbo įrankį prie ruošinio. Įrankiai yra keičiami automatiškai, todėl kiekvieną kartą keičiant įrankį, nereikia jo iš naujo nustatyti. CNC staklės turi platų įrankio pastumų ir apsisukimų pasirinkimą, todėl galima nustatyti optimalų režimą. Vienas iš didžiausių privalumų yra tas, jog pasikeitus ruošiniui ar detalei, užtenka perrašyti apdirbimo programą, nereikia atnaujinti staklių, įrankių ir pan. (Bražiūnas, 2004).

1.3 Optimalus detalių kiekis partijoje

Gamybos apimtis yra apibūdinama kaip nustatytų pavadinimų ir tipų gaminių kiekis, pagaminamas ar pataisomas įmonėje ar jos ceche per tam tikrą laiką. Gaminamų gaminių kiekis skirtingose įmonėse yra nevienodas. Įmonėse, kuriose, pavyzdžiui, gaminami varžtai, gamybos apimtis bus ženkliai didesnė negu įmonės, kuri gamina CNC stakles. Kiekviena įmonė planuodama savo veiklą sudaro gamybos programą. Tai gaminamų arba taisomų gaminių sąrašas, kuriame yra nurodyta planuojamo laikotarpio kiekvieno gaminio gamybos apimtis. Nuo šios gamybos apimties ir gaminių skaičiaus priklauso gamybos tipas. Gamybos tipu yra vadinamas gamybos klasifikacijos laipsnis, nustatomas pagal produkcijos apimtį ir nomenklatūrą, gamybos tolygumą ir pastovumą (Bražiūnas, 2004).

Yra trys pagrindiniai gamybos tipai:

1. Masinė gamyba;
2. Serijinė gamyba;
3. Vientinė gamyba.

Gamybos organizacijos formos yra dvi – srovinė ir nesrovinė.

Masinės gamybos įmonės specializuoja ilgą laiką dideliais kiekiais gaminti vieno tam tikro tipo gaminius. Tokių įmonių pavyzdžiai cemento gamyklos, perdirbimo cechai, plytelių gamyba. Čia gaminių produkcija maksimaliai unifikuota, normalizuota ir standartizuota. Technologinė dokumentacija labai detalizuojama: kiekvienai operacijai ne tik nurodomi atskiri perėjimai ir veiksmai, bet ir jų atlikimo būdas, darbo vietos suplanavimas. Kiekviena darbo vieta specializuojama tik vienai operacijai atlikti, todėl jos atliekamos našiais specialiais įrenginiais, automatais, naudojant daug specialių įtaisų ir įrankių..

Tokiomis sąlygomis darbininkai operatoriai gali būti žemos kvalifikacijos, bet reikia aukštos kvalifikacijos derintojų.

Serijinės gamybos įmonėje produkcijos nomenklatūra siauresnė negu vienetinėje gamyboje. Tie patys gaminiai programoje tam tikru periodiškumu kartojasi. Tam tikras vienodų detalių kiekis, pradedamas gaminti vienu metu, pereinantis kartu visus gamybos procesus ir kartu baigiamas gaminti, vadinamas partija. Visai dirbinių partijai tik vieną kartą reikia atlikti paruošiamuosius ir baigiamuosius darbus, o tai gerokai sutrumpina apdirbimo trukmę.

Serijinė gamyba yra tarpinė tarp vienetinės ir masinės gamybos. Gamyba didelėmis serijomis labai artima masinei, mažomis serijomis – vienetinei. Gamyboje didelėmis serijomis daug specializuotų įrengimų, srovinės linijos retai perderinamos, o gamyboje mažomis serijomis gali būti daug universalių įrengimų, srovinės linijos dažnai perderinamos.

Vienetinės gamybos įmonėje gaminama daug skirtingo tipo gaminių, kiekvieno pavadinimo gaminio gamybos apimtys nedidelės. Tie patys gaminiai per metus nesikartoja arba kartojasi neperiodiškai. Dažniausiai taip gaminami unikalūs gaminiai. Vienetinės gamybos metodai tinka ir diegiant eksperimentinius gaminius arba prototipus. Čia naudojami universalūs įrengimai, reikia daug kvalifikuotos darbo jėgos. Vienoje darbo vietoje atliekamas įvairus operacijų skaičius, todėl įrenginiai turi būti labai universalūs. Ruošiniai staklėse tvirtinami naudojant universaliu įtaisus. Pjovimo įrankiai, matavimo priemonės būna standartiniai, ruošiniai gaminami pigiausiu būdu.

Siekiant efektyviai panaudoti CNC stakles vienetinės gamybos sąlygomis, vienas iš svarbiausių veiksnių yra mažiausio gaminių skaičiaus partijoje nustatymas t. y. gaminių skaičius partijoje, kuriam esant išlaidos pagaminti gaminį bus lygios už tuos gaminius gautoms pajamoms. Tai yra svarbu tam, kad įmonė nedirbtų nuostolingai.

1.4 CNC staklių taikymo efektyvumo gerinimas

1.4.1 Parametrinis modeliavimas

Įmonės susiduria su vis didėjančia individualių produktų paklausa. Tai sukelia nemažai problemų, nes dauguma įmonių savo gamybinius pajėgumus yra suregulavusios taip, kad jie atitiktų serijinės ar masinės gamybos sąlygas. C. Schaede, S. Seifermann ir J. Metternich (2018) savo straipsnyje apžvelgia besikeičiančius vartotojų įpročius ir poreikius bei išskylančius naujus iššūkius įmonėms. Norėdamos patenkinti vartotojų poreikius, įmonės turi savo gamybinius pajėgumus planuoti taip, kad juos būtų galima pritaikyti individualiai pagal kiekvieną vartotoją, bet tuo pačiu užtikrinti greitą ir

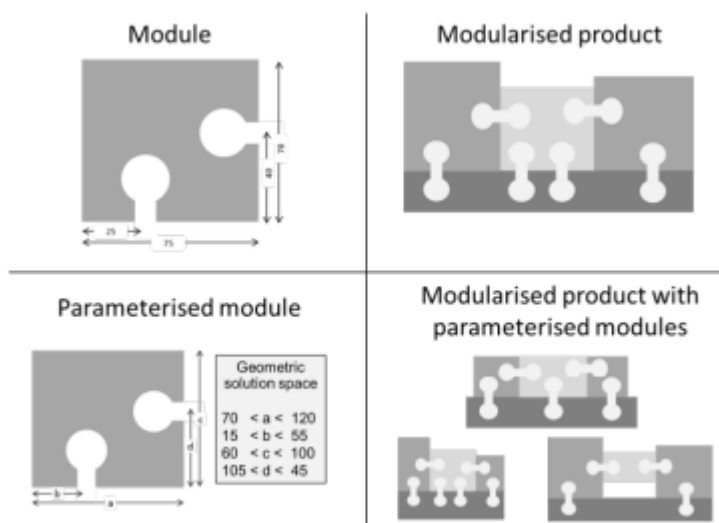
efektyvią gamybą. Tai yra kompleksinis darbas, todėl reikalingas ne tik pačios gamybos, bet ir visos įmonės struktūros perskirstymas.



1 pav. Automatinis CNC staklių valdymo programos generavimas (Schaeede et al., 2018)

Norėdamas įgyvendinti šiuos tikslus, autorius iškelia automatinio CNC staklių kodo generavimo atsižvelgiant į individualius vartotojo poreikius idėją. Vietoj atskirų komponentų modelių kūrimo, tiriamas tiesioginis geometrinių parametrų perdavimas į CNC programą (1 pav.). Didėjant individualios gamybos paklausai, šis būdas suteikia pranašumą (Schaeede et al., 2018):

1. Nereikia iš naujo kurti modelio atsižvelgiant į konkrečius užsakovo reikalavimus.
2. Atskiri parametrų modulių variantai gali būti sukurti naudojant parametrinį CAD modeliavimą.
3. Variantų modeliavimas gali būti automatizuotas, kai parametrinis CAD modelis yra sukuriamas.



2 pav. Individualus produkto pritaikymas naudojant parametrinį modeliavimą (Schaeede et al., 2018)

Sukūrus tokį parametrinį modelį, nereikia kiekvienos naujos detalės projektuoti bei iš naujo sudarinėti naują mechaninio apdirbimo technologiją. Įmonės dažniausiai gamina panašios konstrukcijos bei technologijos gaminius, kurie yra individualiai pritaikomi pagal vartotojų poreikius, t. y. keičiasi gaminio gabaritas, skylių matmenys, jų kiekis ir pan. Tačiau, iš esmės jų gamybos technologinis procesas išlieka toks pat arba panašus. Pasitelkus parametrinį modeliavimą, pasikeitus tam tikriems gaminio parametrams nereikia iš naujo į stakles įkelti sugeneruoto G/M kodo ir nustatyti įrankių. Šiuo atveju parametrinis modelis yra tiesiogiai susietas su G/M kodu bei staklėmis, todėl kodas pakeičiamas automatiškai. Pati apdirbimo programa išlieka tokia pati, naudojami tie patys įrankiai, todėl sutrumpėja pagalbinis mechaninio apdirbimo laikas.

1.4.2 Grupinio apdirbimo technologija

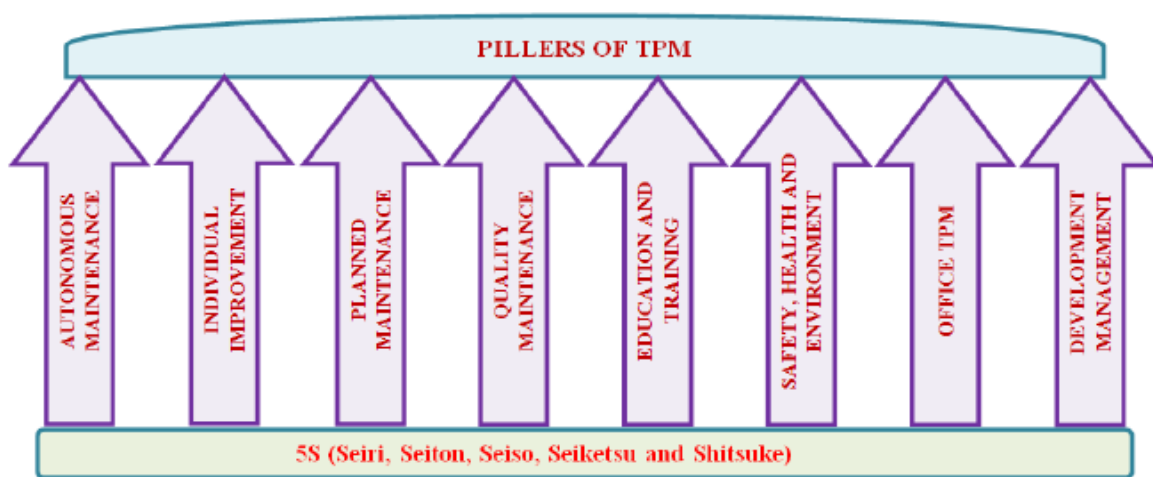
Vienas iš būdų, kaip prisiderinti prie vis didėjančio individualizuotų produktų poreikio augimo yra gamybinių pajėgumų išskirstymas ir apdirbamų detalių grupavimas pagal jų tipą. B.Z. Gong (2002) savo tyrime teoriškai apžvelgia tokio sprendimo pritaikymo galimybes. Grupinė gamybos technologija yra efektyvus apdirbimo būdas, kuris skirtingas produkto detales suskirsto pagal jų formą, dydį, medžiagas, ruošinius bei reikalingą apdirbti įrangą. Šiame darbe nagrinėjamas tokios gamybos būdo galimas pritaikymas mažų serijų bei vienetinei gamybai. Pagrindinis šio gamybos būdo pliusas yra tas, kad paskirsčius detales, visos detalės gali būti apdirbtos vienu CNC apdirbimo centru, be to, galima lengvai produktą pritaikyti prie individualių užsakovo norų. Šis mechaninio apdirbimo metodas labiausiai tinka mažų serijų bei vienetinėje gamyboje. Dažniausiai įmonės, kurios vykdo gamybą vienetinės gamybos sąlygomis turi vienas arba keletą CNC staklių. Toks detalių grupavimas leidžia efektyviau išnaudoti stakles, bei visas gaminio detales apdirbti vienomis staklėmis. Detalės grupuojamos pagal technologinį panašumą. Pavyzdžiui, iš pradžių sugrupuojamos tokios detalės, kurioms reikia nufrezuoti kokį nors paviršių. Atlikus frezavimo darbus, įrenginys pritaikomas pavyzdžiui kontūro frezavimui, tada apdirbamos tos detalės, kurios buvo sugrupuotos būtent kontūro frezavimui. Taip sumažinamas mechaninio apdirbimo laikas bei padidinamas gamybos tempas (Gong, 2002).

1.4.3 Staklių priežiūros sistemų įdiegimas

Didėjanti globali konkurencija, kuriai esant įmonės yra priverstos dirbti, sudarė tokias gamybos sąlygas, kai produkcija turi būti pritaikoma prie individualių vartotojų poreikių, gamybos laikas turi būti kiek įmanoma trumpesnis, o produkcijos kokybė turi atitikti aukščiausius standartus. Be viso to, produkcijos kaina turi išlikti konkurecinga. Šie iššūkiai vis auga, kadangi globalizacija tik didėja. Norint šiuos iššūkius įveikti, staklės turi dirbti efektyviai ir tiksliai. Todėl, tinkama bei savalaikė staklių priežiūra įgauna vis didesnę reikšmę. Anksčiau, staklių priežiūra buvo laikoma kaip pagalbinė funkcija, kadangi tiesiogiai negeneruoja pelno, o priešingai, reikalauja papildomų išlaidų. Tačiau pastaruoju metu tinkama

staklių priežiūra įgauna ypač didelę reikšmę, kai gaminiai turi būti pristatyti užsakovui tiksliu laiku ir tinkamos kokybės. Tai galima pasiekti tik įdiegus efektyvią staklių priežiūros bei monitoringo schemą. Be savalaikė priežiūros, stipriai kenčia įrangos patikimumas. Pagrindinis efektyvaus staklių darbo rodiklis yra bendras įrangos efektyvumas (OEE). Šis rodiklis apibūdina kaip yra išnaudojamos staklės ir kaip efektyviai bei kokybiškai jos dirba.

Dažniausiai gamyboje defektai atsiranda dėl neapmokytos darbo jėgos, netinkamo planavimo bei nekvalifikuotų staklių operatorių. Dr. S. Nallusamy (2018) atliko tyrimą, kuriame tyrė kaip universalus produktyvus aptarnavimas (TPM) ir 5S priemonių įdiegimas paveiks bendrą įrangos efektyvumą. Universalus produktyvus aptarnavimas (TPM) yra viena iš gamybos priemonių, kurių naudojimas sumažina nuostolius, susijusius su įrangos prastovomis dėl gedimų ir nepriežiūros. Pagrindinė TPM idėja yra įtraukti visus įmonės darbuotojus į įrangos aptarnavimo procesą.



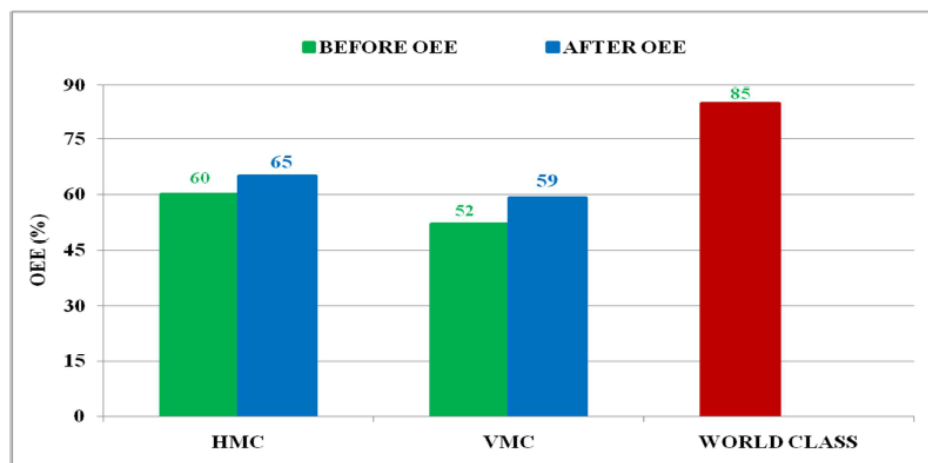
3 pav. TPM kryptys (Nallusamy, 2018)

Kaip tyrimo objektas buvo pasirinktas CNC staklių įrankių laikiklis. Tris mėnesius buvo stebima, kaip efektyviai dirbo staklės iki TPM įdiegimo. Rezultatai pavaizduoti 1 lentelėje.

1 lentelė. Horizontalaus frezavimo centro (HMC) ir vertikalaus frezavimo centro (VMC) OEE reikšmės (Nallusamy, 2018)

Mėnuo	OEE	
	HMC	VMC
2015 m. spalio	59	50
2015 m. lapkritis	66	56
2015 m. gruodis	61	52

Įdiegus TPM, buvo gauta, jog bendras horizontalaus frezavimo centro efektyvumas padidėjo 5 %, o vertikalaus frezavimo centro efektyvumas padidėjo 7 % (4 pav.).



4 pav. OEE palyginimas (Nallusamy, 2018)

1.5 CNC apdirbimo technologijų vystymasis

Siekiant patenkinti padidėjusį apdirbimo tikslumo poreikį šiuolaikinėje gamybos pramonėje, intelektualio kompiuterio skaitmeniniu būdu valdoma (CNC) sistema bus pagrindinis naujos kartos CNC sistemos plėtros tikslas. Tao Yu, Junxi Bi ir Lilan Liu (2006) savo straipsnyje renka informaciją apie CNC technologijų padėtį šiuo metu bei ateityje. Norint pasiekti padidėjusį medžiagų apdirbimo tikslumo poreikį gamybos pramonėje, nano skaitmeninio programinio valdymo sistemos bus pagrindinis plėtojimo objektas ateinančiose CNC kartose. Kadangi tradiciniai G kodai (atitinkantys standartą ISO6983) yra daugiausiai naudojami CNC staklėse daliniam programavimui. Dabar tai laikoma nemažu trūkumu ir naujas standartas, pavadinimu STEP – NC, yra kuriamas norint realizuoti dvejomis kryptimis perduodamos informacijos tekėjimą tarp CAD/CAM sistemos ir CNC staklių valdiklio. Šiuo metu gamybos įmonės susiduria su rimtais iššūkiais ir spaudimu augančio visuomenės poreikio, augančios ekonomikos bei, žinoma, tobulėjančių technologijų. Inžinierių tikslas – įvesti reformas ir pakeisti jų įdirbtus metodus. (Tao, Junxi ir Lilan, 2006)

1.6 Mokslinių šaltinių analizės apibendrinimas

Ilgą laiką CNC mechaninio apdirbimo staklės buvo efektyviai naudojamos serijinėje gamyboje. Atlikus mokslinių šaltinių analizę nustatyta, jog jas efektyviai naudoti vienetinėje gamyboje trukdė sudėtingas ir daug laiko užimantis apdirbimo programų sudarymo laikas, staklių paruošimas mechaniniam apdirbimui bei jų kaina. Tačiau išstobulėjus kompiuterinėms technologijoms ir staklių dizainui, jos galėtų tapti patrauklios ir vienetinės gamybos sąlygomis veikiančioms įmonėms. Prie to svariai prisidėjo ir besikeičianti bei globalizacijos veikiama rinka. Įmonėms tenka prisitaikyti prie

besikeičiančių vartotojų įpročių. Vartotojai nori ne tik pigios ir kokybiškos, tačiau ir individualiai jam, pagal jo norus, pritaikytos produkcijos. Todėl, gamyba turi būti lanksti, greitai reaguojanti į pokyčius rinkoje. CNC staklės, esant tokioms sąlygoms, tampa vis labiau patrauklesnės nei tradicinės mechaninio apdirbimo staklės. Programinio valdymo staklių modulinis dizainas leidžia jas pritaikyti individualiai prie kiekvienos įmonės gamybos bei gamybą robotizuoti. Tačiau literatūroje nėra tikslų duomenų apie mažiausios partijos didį, kuriam esant, galima būtų efektyviai naudoti CNC stakles. Taip pat, neanalizuojamas CNC staklių efektyvumas technologinio laiko požiūriu.

Naudinga kartu su CNC staklėmis naudoti ir CAD / CAM sistemas. Šios programos užtikrina greitą produkcijos parametrų keitimą, geometrijos generavimą bei greitą CNC staklių detalių apdirbimo programų ruošimą. Norint pasiekti kiek galima aukštesnį CNC staklių naudojimo efektyvumą, naudinga taikyti parametrinį gaminių modeliavimą, grupinio apdirbimo technologiją bei įdiegti staklių priežiūros sistemas. Parametrinis modeliavimas leidžia sutrumpinti detalės apdirbimo programos generavimą, nes pasikeitus detalės parametrams nereikia iš naujo braižyti jos modelio. Pasikeitus detalei pakeičiami jau esamo modelio parametrai. Grupinio apdirbimo technologija leidžia labiau išnaudoti turimas stakles bei paspartinti patį mechaninio apdirbimo procesą. Staklių priežiūros sistemų įdiegimas užtikrina kokybišką staklių darbą visu jų eksploatacijos metu. Iš atliktos mokslinių šaltinių analizės matyti, jog staklių priežiūros sistemų įdiegimas gali padidinti staklių efektyvumą 5 – 7 %.

2. TYRIMŲ METODIKA, APDIRBAMOS DETALĖS IR STAKLĖS

2.1 Tyrimo metodika

Tyrimas atliekamas chronometražo (angl. *time-and-motion*) analizės metodu. Šiuo metodu bus surandami detalės apdirbimo programos rengimo bei pagalbinių mechaninio apdirbimo laikai. Tyrimui naudojamos CAD (*Computer Aided Design – liet. Kompiuterinis modeliavimas*) bei CAM (*Computer Aided Manufacturing – liet. Kompiuterinė gamyba*) sistemos. Programos „SolidWorks“ pagalba suprojektuoti kompiuteriniai apdirbamų detalių modeliai. Suprojektuoti detalių modeliai įkeliami į „EdgeCam“ aplinką. Naudojantis šia programa suprojektuojamas technologinis detalių apdirbimo kelias. Parenkami mechaninio apdirbimo režimai, įrankiai bei operacijos. Tai atlikus gaunami mašininiai detalių apdirbimo laikai.

Detalės apdirbimo vienetinis laikas apskaičiuojamas pagal formulę (Bražiūnas, 2004):

$$T_{vien} = \frac{T_{par}}{N} + T_m + T_{pag} + T_{pap} \quad (1)$$

čia: T_{vien} – vienetinis kalkuliacinis detalės apdirbimo laikas, min,

T_{par} – parengiamasis ir užbaigiamasis laikas, min,

N – detalių skaičius partijoje,

T_m – mašininis laikas, min,

T_{pag} – pagalbinių laikas, min,

T_{pap} – papildomas laikas, skirtas darbo vietos priežiūrai bei biologiniams žmogaus poreikiams (imamas 6 % nuo $(T_m + T_{pag})$), min.

Pagrindinis arba mašininis laikas tai vienetinio laiko dalis, kuri sunaudojama darbo kūno būviui pakeisti arba paskesniam jo būviui nustatyti. Pagrindinis laikas gali būti apskaičiuojamas pagal formulę:

$$T_0 = \frac{Li}{S_{min}} = \frac{Li}{ns}; \quad (2)$$

čia: l – įrankio kelias, mm,

i – eigių skaičius,

S_{min} – minutinė pastūma, mm/min;

n – suklio arba įrankio apsisukimų skaičius per minutę, aps./min.;

s – pastūma vienam apsisukimui, mm/aps.

Įrankio kelio formulė:

$$L = l + l_1 + l_2; \quad (3)$$

čia: l – apdirbamojo paviršiaus ilgis, mm,

$l_1 + l_2$ – įrankio įsigilinimo į ruošinio medžiagą ir išėjimo iš pjovimo zonos kelio ilgis, mm.

Imama, kad mašininis detalės apdirbimo laikas yra lygus tiek CNC tiek tradicinėms apdirbimo staklėms. CNC staklių paruošiamasis ir užbaigiamasis laikas bus didesnis lyginant su tradicinėmis staklėmis, kadangi reikalinga sukurti detalės apdirbimo programą ir paruošti įrankius. Tačiau pagalbinis laikas naudojant CNC stakles bus mažesnis dėl greito įrankių pozicionavimo bei greitesnio įrankio nustatymo. Pagalbinis CNC staklių apdirbimo laikas susideda iš:

- Ruošinio užspaudimo / atleidimo.
- Suklio atitraukimo į įrankio keitimo poziciją.
- Įrankio keitimo.
- Greito įrankio pozicionavimo į pradžios tašką.
- Greito įrankio pozicionavimo tarp atskirų apdirbamų elementų.
- Papildomo įrankių paderinimo laikos, jeigu operatorius dirba be ruošinio atramos.

Kai kurie CNC staklių pagalbinio laiko komponentai buvo gauti iš skaičiavimų (žinant atstumus ir greitojo pozicionavimo greitį), kai kurie chronometruojant. Įrankių dėtuvėje keitimo laikas buvo gautas chronometruojant ir yra lygus maždaug 0,8 s. HAAS CNC tekinimo (Z ir X ašimis) ir frezavimo (X, Y ir Z ašimis) staklių greito pozicionavimo greitis buvo paimtas iš vartotojo instrukcijos ir yra lygus 24 m/min bei 15,2 m/min. Jeigu žinomas atstumas tarp įrankio keitimo padėties ir suklio nulinės padėties arba tarp suklio pradinio taško ir pabaigos taško, papildomas greito pozicionavimo laikas (min) gali būti apskaičiuojamas pagal formulę:

$$T_{greit} = \frac{l_i}{24} \quad (4)$$

čia: l_i – atstumas, m.

Tradicinių tekinimo staklių pagalbinis laikas susideda iš:

- Ruošinio užspaudimo / atleidimo.
- Pastūmos ir suklio greičio nustatymo svirtimis.
- Suklio / pastūmos įjungimo / išjungimo mygtuku ar svirtimi.
- Įrankio keitimo.
- Įrankio pagreitinimo nuvedimo / atitraukimo prie/nuo ruošinio.
- Įrankio nuvedimo iki prisilietimo prie ruošinio.
- Įrankio gylio nustatymo naudojant rankeną.
- Aušinimo skysčio įjungimo/išjungimo.

Detalės apdirbimo programos CNC staklėms sudarymo laikas gautas chronometruojant. Tekinimo staklėms buvo taikomi trys skirtingi CNC detalės apdirbimo programos būdai: programą sudarant naudojant G/M kodais ir CNC staklių valdymo pultu; naudojantis „EdgeCam“ programa bei naudojant „HAAS Visual Quick Code“ (VQC). Frezavimo staklėms programa buvo sudaroma tik pirmais dviem būdais.

Mašininis detalės apdirbimo laikas paimtas iš „EdgeCam“ programos. Jis imamas lygus tiek CNC, tiek tradicinėms tekinimo staklėms.

Detalių apdirbimo laikas naudojant CNC stakles apskaičiuojamas naudojant formulę:

$$T_{CNC} = T_{par} + T_{prog} + T_{nust} + N(T_m + T_{pag}^{CNC} + T_{pap}) \quad (5)$$

čia; T_{CNC} – apdirbimo laikas, min,

T_{par} – parengiamasis ir užbaigiamasis laikas, min,

T_{prog} – detalės apdirbimo programos sudarymo laikas, min,

T_{nust} – įrankių ir programos „nulio“ suderinimo laikas, min,

N – detalių skaičius partijoje,

T_m – mašininis detalės apdirbimo laikas, min,

T_{pag}^{CNC} – pagalbiniis laikas, min,

T_{pap} – papildomas laikas, min.

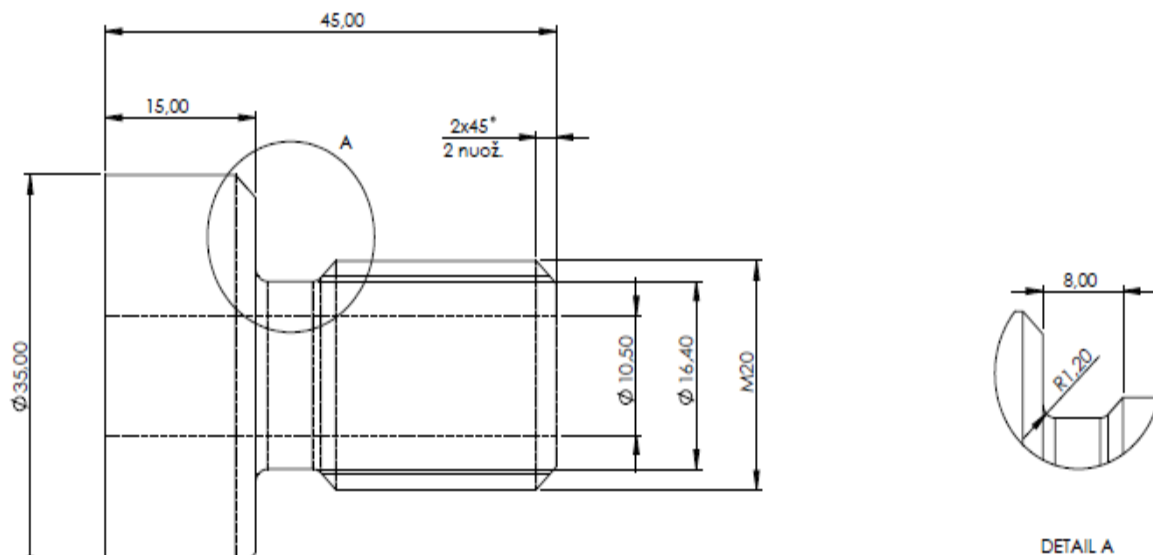
Detalių apdirbimo laikas naudojant tradicinės stakles apskaičiuojamas naudojant formulę:

$$T_{TRAD} = T_{par} + N(T_m + T_{pag}^{TRAD} + T_{pap}) \quad (6)$$

Imama, jog komponentai T_{par} , N ir T_m yra lygūs tiek CNC tiek tradicinėms staklėms. Paruošiamasis ir užbaigiamasis laikas yra reikalingas susipažinimui su detalės brėžiniu, užveržti įrankius, perduoti apdirbtas detales kokybės kontrolei ir pan. Paruošiamasis ir užbaigiamasis laikas paimtas iš normuotojo žinyno (Ахмоу, А. В, 1987) ir yra lygus $T_{par} = 20$ min.

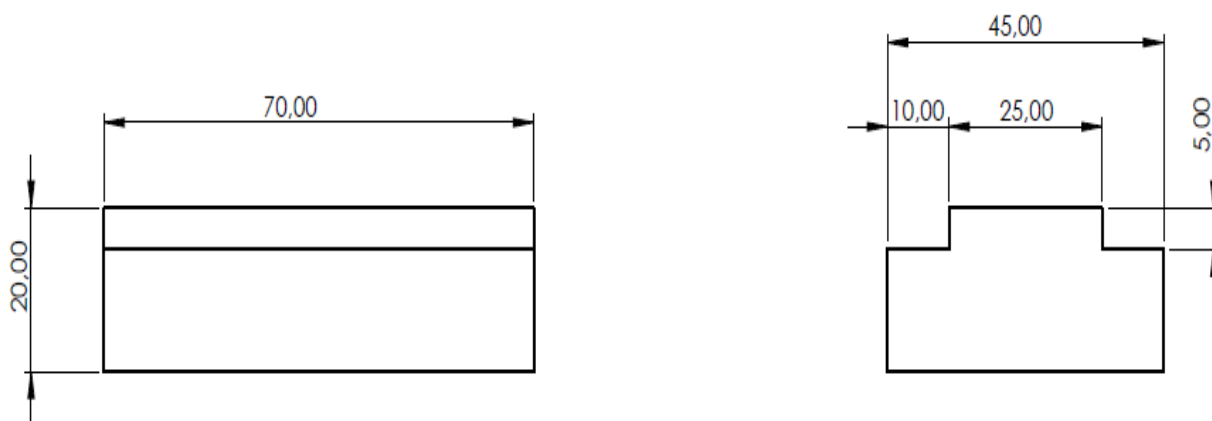
2.2 Tyrimui pasirinktos detalės

Tekinimo staklių yrimui pasirinkta detalė (5 pav.), kurią galima apdirbti ir tradicinėmis ir CNC tekinimo staklėmis. Detalė buvo apdirbama iš apvalaus profilio konstrukcinio plieno ruošinio tokia technologine tvarka: galinio paviršiaus tekinimas, išorinio profilio rupus tekinimas, griovelio tekinimas, gręžimas ir atpjovimas.



5 pav. Detalė apdirbama tekimo staklėmis

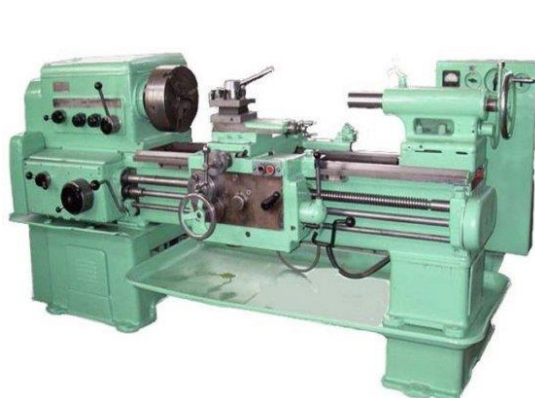
Frezavimo staklių tyrimui buvo pasirinkta detalė (6 pav.), kurią galima apdirbti tiek CNC, tiek tradicinėmis frezavimo staklėmis. Detalei apdirbti buvo panaudoti du įrankiai: Ø50 mm galinė freza ir Ø20 mm pirštinė freza. Detalė buvo apdirbama iš stačiakampio formos konstrukcinio plieno ruošinio tokia technologine tvarka: galinio paviršiaus frezavimas, griovelių frezavimas.



6 pav. Frezavimo detalės brėžinys

2.3 Tyrimui naudotos staklės

Laikui matuoti buvo naudojamos tradicinės tekinimo staklės 1K62 ir 3-jų ašių (X,Y ir C) tekinimo centras HAAS ST-20 (7 pav.).



a)



b)

7 pav. a) – Rankinės tekinimo staklės 1K62; b) – HAAS CNC tekinimo centras ST-20

Frezavimo staklių tyrimui atlikti naudojamos dvi skirtingos frezavimo staklės: 3 ašių (X, Y ir Z) CNC vertikalios frezavimo staklės HAAS MINI MILL ir tradicinės frezavimo staklės 6P10 (8 pav.).



a)



b)

8 pav. a) - HAAS Mini Mill CNC 3 ašių vertikalios frezavimo staklės; b) - tradicinės frezavimo staklės 6P10

2.4 Mechaninio detalių apdirbimo įrankiai

Tekinimo detalės apdirbimui buvo panaudoti penki įrankiai: rupaus išorinio apdirbimo tekinimo peilis (C-formos plokštelė), išorinio griovelio tekinimo peilis (V-formos plokštelė), išorinio sriegio tekinimo peilis M20 sriegio apdirbimui, Ø10.5 mm grąžtas ir tekinimo nupjovimo peilis. Tekinimo režimai:

1. Galinio paviršiaus tekinimas:
 - Pjovimo greitis (V_c): 120 m/min.
 - Pjovimo gylis (a_p): 2,0 mm
 - Pastūma (f) : 0,2 mm
2. Profilio tekinimas:
 - Pjovimo greitis (V_c): 100 m/min.
 - Pjovimo gylis (a_p): 2,0 mm
 - Pastūma (f) : 0,2 mm
3. Išorinio griovelio tekinimas:
 - Pjovimo greitis (V_c): 80 m/min.
 - Pastūma (f): 0,2 mm
4. Sriegio tekinimas:
 - Pjovimo greitis (V_c): 40 m/min.
 - Sūkiai: 693 aps./min.
 - Sriegio žingsnis (P): 2,5 mm
 - Sriegio aukštis (h) : 1,525 mm
5. Centrinės skylės gręžimas:
 - Pjovimo greitis (V_c): 45 m/min.
 - Sūkiai: 1 365 aps./min.
 - Pastūma (f): 0,18 mm/sūk.
6. Nupjovimas:
 - Pjovimo greitis (V_c): 80 m/min.
 - Pastūma (f): 0,15 mm

Frezavimo detalei apdirbti buvo panaudoti du įrankiai: Ø50 mm galinė freza ir Ø20 mm pirštinė freza. Frezavimo režimai:

1. Galinio paviršiaus frezavimas (D50 mm):
 - Pjovimo greitis (V_c): 160 m/min.

- Sūkiai (D50 mm): 1 020 aps./min.
- Pastūma (f): 300 mm/min
- Pjovimo gylis (a_p): 3 mm

2. Griovelių frezavimas (D20 mm):

- Pjovimo greitis (V_c): 150 m/min.
- Sūkiai (D20 mm): 2 390 aps./min.
- Pastūma (f): 400 mm/min.
- Pjovimo gylis (a_p): 2,5 mm

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1 Tekinimo staklių tyrimo rezultatai

Detalės apdirbimo programa, kuri buvo įvesta į CNC tekinimo staklių valdymo pultą pavaizduota 9 paveiksle. Tekinimo detalės apdirbimo programos sudarymo laikai, naudojant skirtingus būdus pavaizduoti 10 paveiksle. Šie laikai gauti chronometruojant. Į juos taip pat įeina vaizdinės programos patikros laikas. Išmatuoti pagalbiniai detalės apdirbimo laikai, kai detalė apdirbama CNC tekinimo staklėmis „HAAS ST-20“ pavaizduoti 2 lentelėje.

% O00001 G21 G18 G54 G50 S3000 G28 U0. T707 (GALINIS APDIRBIMAS) S1000 M03 G00 Z0. X44 G96 S350 M08 G01 X-2. F0.2 G00 Z2 X44. (IŠORINIO PROFILIO TEKINIMAS) G71 D2.5 I1. K1. P1 Q2	N1 G00 G42 X12. G01 X20. Z-2. Z-30. X31. X35. Z-32. Z-50. N2 X44. G40 G28 U0. M09 T606 (GRIOVELIO TEKINIMAS) G00 Z-24. X24. M08 G01 G42 X22. Z-21. F0.08 X20. Z-22. X16.4 W-2. Z-28.75	G02 X18.9 Z-30. R1.25 G01 X25. G40 G00 X50. Z-20. M09 G00 U0. G97 S1600 T505 (SRIEGIMAS) G00 Z5. X22. M08 G76 A60 D0.3 F2.5 K1.525 Z-24. X16.95 P1 G28 U0. M09 T404 (GRĘŽIMAS) S2700 G00 Z2. X0. M08	G01 Z-50. F0.18 G00 Z2. M09 G28 U0 T303 (NUPJOVIMAS) G00 Z-48. X44. G96 S120 M08 G01 X8. F0.15 G00 X44. M09 G28 U0 G28 W0 G97 S1500 M30 %
--	---	---	---

9 pav. CNC tekinimo staklių detalės apdirbimo programa

2 lentelė. Pagalbiniai detalės apdirbimo laikai, kai detalė apdirbama CNC tekinimo staklėmis

	Veiksmas	Laikas, s
1	Ruošinio įtvirtinimas	5
2	Programos paleidimas	1
3	Greitas įrankio pozicionavimas prie ruošinio	2
4	Įrankio atitraukimas ir keitimas	2
5	Greitas įrankio pozicionavimas prie ruošinio	2
6	Įrankio atitraukimas ir keitimas	2
7	Greitas įrankio pozicionavimas prie ruošinio	2
8	Įrankio atitraukimas ir keitimas	2
9	Greitas įrankio pozicionavimas prie ruošinio	2
10	Įrankio atitraukimas ir keitimas	2
11	Įrankio privedimas prie ruošinio	2
12	Įrankio atitraukimas į nulinę padėtį	2
13	Detalės išėmimas	5
	Iš viso:	31

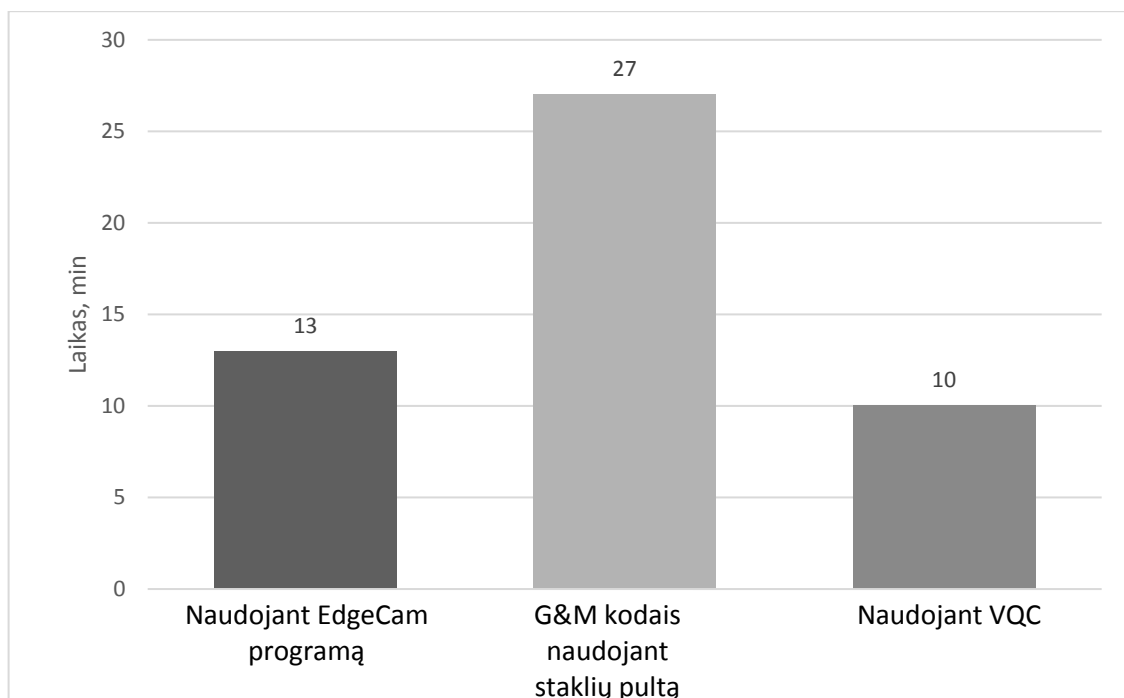
Išmatuoti pagalbiniai detalės apdirbimo laikai, kai detalė apdirbama tradicinėmis tekinimo staklėmis „1K62“ pavaizduoti 3 lentelėje.

3 lentelė. Pagalbiniai detalės apdirbimo laikai, kai detalė apdirbama tradicinėmis frezavimo staklėmis

	Veiksmas	Laikas, s
1	Ruošinio įtvirtinimas	36
2	Pjovimo režimų nustatymas (greitis, pastūma, apsisukimai)	30
3	Staklių įjungimas	2
4	Įrankio privedimas prie ruošinio (viena ašis)	30
5	Įrankio privedimas prie ruošinio (viena ašis)	30
6	Pjovimo gylio nustatymas	15
7	Pastūmos įjungimas	1
8	Pastūmos išjungimas	1
9	Įrankio privedimas prie ruošinio (viena ašis)	30
10	Pjovimo gylio nustatymas	15
11	Pastūmos įjungimas	1
12	Pastūmos išjungimas	2
13	Įrankio perstūmimas (tarp praėjimų)	15
14	Pjovimo gylio nustatymas	15
15	Pastūmos įjungimas	2
16	Pastūmos išjungimas	1
17	Įrankio perstūmimas (tarp praėjimų)	15
18	Pjovimo gylio nustatymas	15
19	Pastūmos įjungimas	1
20	Pastūmos išjungimas	1
21	Įrankio perstūmimas (tarp praėjimų)	15
22	Pjovimo gylio nustatymas	15
23	Pastūmos įjungimas	1
24	Pastūmos išjungimas	1
25	Įrankio perstūmimas (tarp praėjimų)	15
26	Pjovimo gylio nustatymas	15
27	Pastūmos įjungimas	1
28	Pastūmos išjungimas	1
49	Įrankio keitimas	68
50	Suklio įjungimas	1
51	Įrankio privedimas prie ruošinio (viena ašis)	30
52	Įrankio privedimas prie ruošinio (viena ašis)	30
53	Suklio apsisukimų pakeitimas	10
54	Pastūmos pakeitimas	10

3 lentelės tęsinys

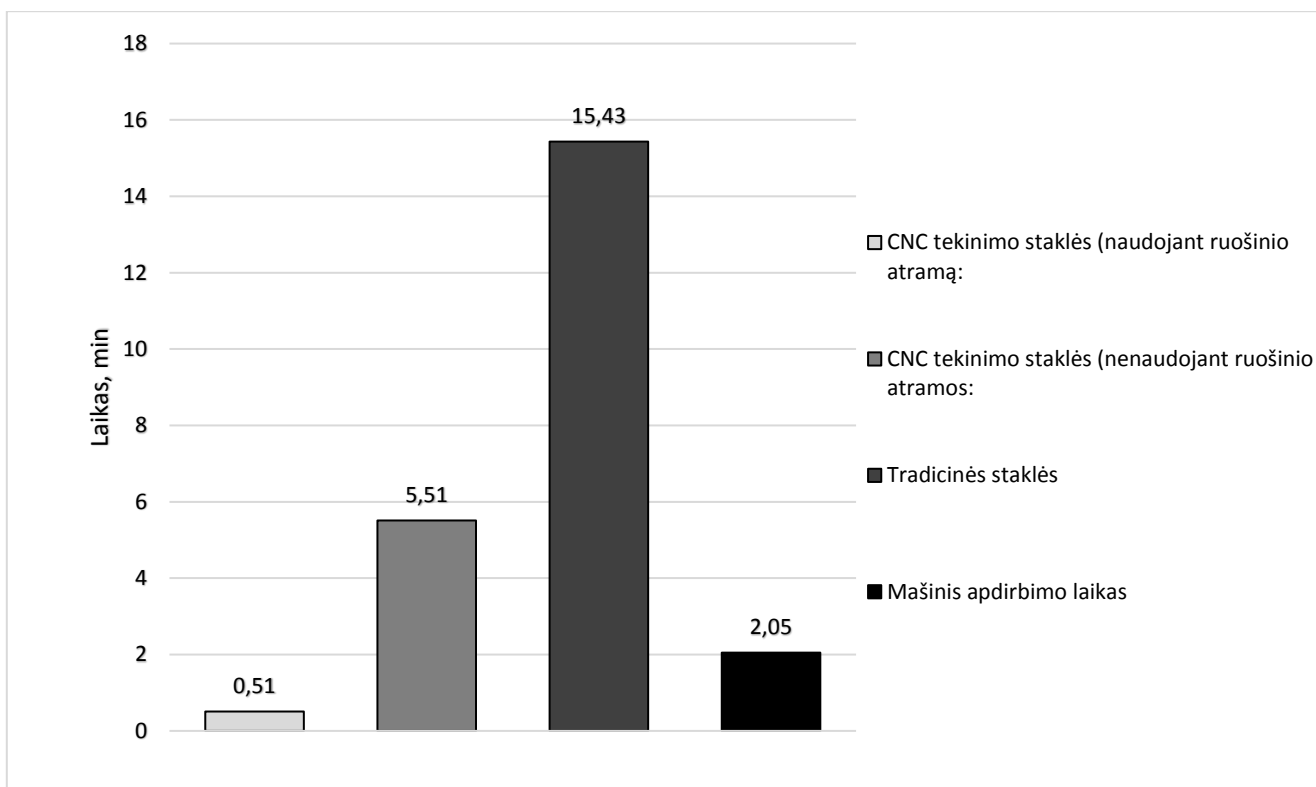
	Veiksmas	Laikas, s
55	Pastūmos įjungimas	1
56	Pastūmos išjungimas	1
57	Suklio išjungimas	1
58	Įrankio keitimas	68
59	Įrankio privedimas prie ruošinio	15
60	Suklio apsisukimų pakeitimas	10
61	Suklio įjungimas	1
62	Pastūmos pakeitimas	10
63	Pastūmos įjungimas	1
64	Pastūmos išjungimas	1
65	Įrankio pagreitintas nuvedimas	16
66	Suklio išjungimas	1
67	Įrankio keitimas	68
68	Įrankio privedimas prie ruošinio	20
69	Suklio apsisukimų pakeitimas	10
70	Suklio įjungimas	1
71	Pjovimo gylio nustatymas	10
72	Pastūmos pakeitimas	10
73	Pastūmos įjungimas	1
74	Pastūmos išjungimas	1
75	Įrankio perstūmimas (tarp praėjimų)	15
76	Pjovimo gylio nustatymas	17
77	Pastūmos įjungimas	1
78	Pastūmos išjungimas	1
79	Suklio išjungimas	1
80	Įrankio pagreitintas nuvedimas	16
81	Įrankio keitimas	68
82	Įrankio privedimas prie ruošinio	30
83	Suklio apsisukimų pakeitimas	15
84	Pastūmos pakeitimas	15
85	Suklio įjungimas	1
86	Pastūmos įjungimas	1
87	Pastūmos išjungimas	1
88	Įrankio pagreitintas nuvedimas	10
89	Suklio išjungimas	1
90	Detalės išėmimas	15
	Iš viso:	926



10 pav. CNC apdirbimo programos sudarymo laikai

Iš grafiko matyti (10 pav.), jog detalės apdirbimo programos sudarymo laikas sumažėja per pusę, kai naudojama CAM programa (3D detalės modelis buvo sukurtas naudojant CAD programą ir jo sukūrimo laikas į šį laiką įtrauktas nebuvo). Naudojant VQC, apdirbimo programos sukūrimo laikas sumažėja 2.7 karto, lyginant su įprastu programavimu. Reikia paminėti, jog VQC naudojimas yra apribotas, kadangi yra ribotas šablonų kiekis. Tačiau, staklių operatoriai gali susikurti savo šablonus ir naudoti VQC kartu su įprastu programavimu. Pavyzdžiui, sriegio tekinimas gali būti atliekamas naudojant VQC, o kitos programos dalys sukurtos rankiniu būdu naudojant G ir M kodus.

Detalės apdirbimo pagalbinis laikas tiek CNC tiek tradicinėms tekinimo staklės pavaizduotas 11 paveiksle. Trumpiausias pagalbinis laikas buvo gautas, kai CNC tekinimo staklės buvo naudojamos su ruošinio atrama. Šiuo atveju, nereikia iš naujo nustatyti įrankių Z ašies kryptimi, kiekvieną kartą pakeitus ruošinį. Įrankio nustatymas yra daugiausiai pagalbinio laiko reikalaujanti operacija. Reikia maždaug vienos minutės nustatyti įrankį vienos ašies atžvilgiu. Mašininis laikas buvo imamas kaip lygus tiek CNC tiek tradicinėms tekinimo staklėms. Jis buvo gautas naudojant „EdgeCAM“ programą ir yra lygus 2 minutėms ir 3 sekundėms arba 2.05 minutės.



11 pav. Detalės apdirbimo operacijos pagalbiniai bei mašininis laikai

3.1.1 Detalių partijos apdirbimo laikai, apdirbant CNC tekimo staklėmis

Detalės apdirbimo programa buvo sudaroma naudojant tris skirtingus būdus: naudojant „EdgeCam“ CAM programą, rankiniu būdu G / M kodais naudojant staklių valdymo pultą ir naudojant „HAAS VQC“ programą. Gauti rezultatai pavaizduoti 10 paveiksle. Taip pat, pagalbiniai apdirbimo laikai buvo fiksuojami naudojant du skirtingus technologinius procesus: kai ruošinys griebtuve įtvirtinamas su atrama ir kai įtvirtinamas be atramos. Gauti pagalbiniai laikai pavaizduoti 11 paveiksle.

3.1.1.1 Detalių partijos apdirbimo CNC tekimo staklėmis laikas, kai naudojama ruošinio atrama bei apdirbimo programa ruošinama naudojant „EdgeCam“ programą

Atlikus literatūros analizę, buvo išsiaiškinta, kad dauguma gamintojų ir CNC staklių pardavėjų deklaruoja, kad CNC stakles gamyboje tikslinga naudoti, kai partijos dydis N yra lygus maždaug 10 vienetų. Buvo nuspręsta, skaičiavimus atlikti kai partijos dydis yra lygus arba mažesnis už 10 vienetų.

Pagal (5) formulę, detalių partijos apdirbimo laikas T_{CNC1}^{TEK} , apdirbant CNC tekimo staklėmis su ruošinio atrama, kai detalės apdirbimo programa sudaroma naudojant „EdgeCam“ programą, lygus:

$$T_{CNC1}^{TEK} = T_{par} + T_{Prog1}^{TEK} + T_{nust}^{TEK} + N(T_m^{TEK} + T_{pag1}^{TEK} + T_{pap1}^{TEK})$$

čia: T_{par} – parengiamasis ir užbaigiamasis laikas, $T_{par} = 20$ min. (imamas lygus tiek tekimo tiek frezavimo staklėmis) (Ахымов, А. В, 1987)

T_{Prog1}^{TEK} – CNC tekimo staklių detalės apdirbimo programos sudarymo, naudojant „EdgeCam“ programą, laikas, $T_{Prog1}^{TEK} = 13$ min. (10 pav.)

T_{nust}^{TEK} – CNC tekimo staklių įrankių nustatymo laikas, $T_{nust}^{TEK} = 5$ min.

T_m^{TEK} – mašininis detalės apdirbimo CNC tekimo staklėmis laikas, $T_m^{TEK} = 2,05$ min. (9 pav.)

T_{pag1}^{TEK} – pagalbinis detalės apdirbimo CNC tekimo staklėmis su ruošinio atrama laikas, $T_{pag1}^{TEK} = 0,51$ min. (11 pav.)

N – detalių skaičius partijoje, $N = 1 \dots 10$.

T_{pap1}^{TEK} – papildomas detalės apdirbimo CNC tekimo staklėmis su ruošinio atrama laikas, priimamas 6 % nuo $(T_m + T_{pag})$.

$$T_{pap1}^{TEK} = 0,06 \times (T_m^{TEK} + T_{pag1}^{TEK}) = 0,06 \times (2,05 + 0,51) = 0,154 \text{ min.}$$

$$T_{CNC1}^{TEK}(N = 1) = 20 + 13 + 5 + 1 \times (2,05 + 0,51 + 0,154) = 41,01 \text{ min}$$

Tolesni skaičiavimų rezultatai pavaizduoti 4 lentelėje.

4 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC tekimo staklėmis su ruošinio atrama, kai apdirbimo programa sudaroma naudojant „EdgeCam“ programą

Detalių skaičius partijoje, vnt.	Laikas, min.
N=1	41,01
N=2	43,43
N=3	46,14
N=4	48,85
N=5	51,57
N=6	54,28
N=7	57,00
N=8	59,71
N=9	62,42
N=10	65,14

3.1.1.2 Detalių partijos apdirbimo CNC tekimo staklėmis laikas, kai ruošinio atrama nenaudojama bei apdirbimo programa ruošinama naudojant „EdgeCam“ programą

Nenaudojant ruošinio atramos, pagalbinis detalės apdirbimo laikas išauga, kadangi kiekvieną kartą įstatant ruošinį, reikia nustatyti įrankius. Tada detalių partijos apdirbimo laikas T_{CNC2}^{TEK} , apdirbant CNC tekimo staklėmis be ruošinio atramos, kai detalės apdirbimo programa sudaroma naudojant „EdgeCam“ programą, bus lygus::

$$T_{CNC2}^{TEK} = T_{par} + T_{Prog1}^{TEK} + T_{nust}^{TEK} + N(T_m^{TEK} + T_{pag2}^{TEK} + T_{pap2}^{TEK})$$

čia: T_{pag2}^{TEK} – pagalbinis detalės apdirbimo CNC tekinimo staklėmis be ruošinio atramos laikas, $T_{pag2}^{TEK} = 5,51 \text{ min.}$ (11 pav.)

T_{pap2}^{TEK} – papildomas detalės apdirbimo CNC tekinimo staklėmis be ruošinio atramos laikas, priimamas 6 % nuo ($T_m + T_{pag}$)

$$T_{pap2}^{TEK} = 0,06 \times (T_m^{TEK} + T_{pag2}^{TEK}) = 0,06 \times (2,05 + 5,51) = 0,454 \text{ min}$$

$$T_{CNC2}^{TEK}(N = 1) = 20 + 13 + 0 + 1 \times (2,05 + 5,51 + 0,454) = 41,01 \text{ min}$$

Tolesni skaičiavimų rezultatai pavaizduoti 5 lentelėje.

5 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC tekinimo staklėmis be ruošinio atramos, kai apdirbimo programa sudaroma naudojant „EdgeCam“ programą

Detalių skaičius partijoje, vnt.	Laikas, min.
N=1	41,01
N=2	49,03
N=3	57,04
N=4	65,05
N=5	73,07
N=6	81,08
N=7	89,10
N=8	97,11
N=9	105,12
N=10	113,14

3.1.1.3 Detalių partijos apdirbimo CNC tekinimo staklėmis laikas, kai naudojama ruošinio atrama bei apdirbimo programa ruošiama rankiniu būdu G / M kodais

Detalės apdirbimo programą rašant rankiniu būdu, naudojant G ir M kodus, CNC staklių pulte, reikia būti gerai susipažinus su detalės brėžiniu bei numatyti apdirbimo technologiją bei seką.

Pagal (5) formulę, detalių partijos apdirbimo laikas T_{CNC3}^{TEK} , apdirbant CNC tekinimo staklėmis su ruošinio atrama, kai apdirbimo programa sudaroma rankiniu būdu G / M kodais, bus lygus:

$$T_{CNC3}^{TEK} = T_{par} + T_{Prog2}^{TEK} + T_{nust}^{TEK} + N(T_m^{TEK} + T_{pag1}^{TEK} + T_{pap1}^{TEK})$$

čia: T_{Prog2}^{TEK} – detalės apdirbimo, CNC tekinimo staklėmis, programos sudarymo rankiniu būdu G / M kodais laikas, $T_{Prog2}^{TEK} = 27 \text{ min.}$ (10 pav.)

$$T_{CNC3}^{TEK}(N = 1) = 20 + 27 + 5 + 1 \times (2,05 + 0,51 + 0,154) = 54,71 \text{ min}$$

Tolesni skaičiavimų rezultatai pavaizduoti 6 lentelėje.

6 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC tekinimo staklėmis su ruošinio atrama, kai apdirbimo programa sudaroma rankiniu būdu G / M kodais

Detalių skaičius partijoje, vnt.	Laikas, min.
N=1	54,71
N=2	57,43
N=3	60,14
N=4	62,85
N=5	65,57
N=6	68,28
N=7	71,00
N=8	73,71
N=9	76,42
N=10	79,14

3.1.1.4 Detalių partijos apdirbimo CNC tekinimo staklėmis laikas, kai ruošinio atrama nenaudojama bei apdirbimo programa ruošinama rankiniu būdu G / M kodais

Nenaudojant ruošinio atramos, pagalbinis detalės apdirbimo laikas išauga, kadangi kiekvieną kartą įstatant ruošinį, reikia nustatyti įrankius. Detalių partijos apdirbimo laikas T_{CNC4}^{TEK} , apdirbant CNC tekinimo staklėmis be ruošinio atramos, kai apdirbimo programa sudaroma rankiniu būdu G / M kodais, bus lygus:

$$T_{CNC4}^{TEK} = T_{par} + T_{Prog2}^{TEK} + T_{nust}^{TEK} + N(T_m^{TEK} + T_{pag2}^{TEK} + T_{pap2}^{TEK})$$

$$T_{CNC4}^{TEK}(N = 1) = 20 + 27 + 0 + 1 \times (2,05 + 5,51 + 0,454) = 55,01min$$

Tolesni skaičiavimų rezultatai pateikiami 7 lentelėje.

7 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC tekinimo staklėmis be ruošinio atramos, kai apdirbimo programa sudaroma rankiniu būdu G / M kodais

Detalių skaičius partijoje, vnt.	Laikas, min.
N=1	55,01
N=2	63,03
N=3	71,04
N=4	79,05
N=5	87,07
N=6	95,08
N=7	103,10
N=8	111,11
N=9	119,12
N=10	127,14

3.1.1.5 Detalių partijos apdirbimo CNC tekinimo staklėmis laikas, kai naudojama ruošinio atrama bei apdirbimo programa ruošiama naudojant VQC

„Haas Visual Quick Code“ (VQC) yra šablonų pagrindu sukurta CNC detalės apdirbimo programos generavimo programa, kuri leidžia lengvai sukurti paprastas G kodo programas. Tereikia operacijų ekrane pasirinkti šabloną, atitinkantį detalės pobūdį bei technologinį procesą ir parinkti režimus. Užpildžius visą reikalingą informaciją, programa bus patikrinta ir VQC sugeneruos G kodo programą. Taip pat, galima išsaugoti savo sukurtus šablonus. Tai palengvina ir pagreitina detalės apdirbimo programos sukūrimo procesą. Detalių partijos apdirbimo laikas T_{CNC5}^{TEK} , apdirbant CNC tekinimo staklėmis su ruošinio atrama, kai apdirbimo programa sudaroma naudojant VQC programą, bus lygus:

$$T_{CNC5}^{TEK} = T_{par} + T_{Prog3}^{TEK} + T_{nust}^{TEK} + N(T_m^{TEK} + T_{pag1}^{TEK} + T_{pap1}^{TEK})$$

čia: T_{Prog3}^{TEK} – detalės apdirbimo, CNC tekinimo staklėmis, programos sudarymo, naudojant VQC programą, laikas, $T_{Prog3}^{TEK} = 10$ min. (10 pav.)

$$T_{CNC5}^{TEK}(N = 1) = 20 + 10 + 5 + 1 \times (2,05 + 0,51 + 0,154) = 37,71 \text{ min}$$

Tolesni skaičiavimų rezultatai pateikiami 8 lentelėje.

8 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC tekinimo staklėmis su ruošinio atrama, kai apdirbimo programa sudaroma naudojant VQC

Detalių skaičius partijoje, vnt.	Laikas, min.
N=1	37,71
N=2	40,43
N=3	43,14
N=4	45,85
N=5	48,57
N=6	51,28
N=7	54,00
N=8	56,71
N=9	59,42
N=10	62,14

3.1.1.6 Detalių partijos apdirbimo CNC tekinimo staklėmis laikas, kai ruošinio atrama nenaudojama bei apdirbimo programa ruošinama naudojant VQC

Nenaudojant ruošinio atramos, pagalbinis detalės apdirbimo laikas išauga, kadangi kiekvieną kartą įstatant ruošinį, reikia nustatyti įrankius. Detalių partijos apdirbimo laikas T_{CNC6}^{TEK} , apdirbant CNC tekinimo staklėmis be ruošinio atramos, kai apdirbimo programa sudaroma naudojant VQC programą, bus lygus:

$$T_{CNC6}^{TEK} = T_{par} + T_{Prog3}^{TEK} + T_{nust}^{TEK} + N(T_m^{TEK} + T_{pag2}^{TEK} + T_{pap2}^{TEK})$$

$$T_{CNC6}^{TEK}(N = 1) = 20 + 10 + 0 + 1 \times (2,05 + 5,51 + 0,454) = 38,01 \text{ min}$$

Tolesni skaičiavimų rezultatai pateikiami 9 lentelėje.

9 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC tekinimo staklėmis be ruošinio atramos, kai apdirbimo programa sudaroma naudojant VQC

Detalių skaičius partijoje	Laikas, min
N=1	38,01
N=2	46,03
N=3	54,04
N=4	62,05
N=5	70,07
N=6	78,08
N=7	86,10
N=8	94,11
N=9	102,12
N=10	110,14

3.1.2 Detalių partijos apdirbimo tradicinėmis tekinimo staklėmis laikas

Detalių partijos apdirbimo tradicinėmis tekinimo staklėmis laikas apskaičiuojamas pagal (6) formulę:

$$T_{TRAD}^{TEK} = T_{par} + N(T_m^{TEK} + T_{pag3}^{TEK} + T_{pap3}^{TEK})$$

čia: T_{pag3}^{TEK} – pagalbinis detalės apdirbimo tradicinėmis tekinimo staklėmis laikas, $T_{pag3}^{TEK} = 15,43 \text{ min}$.

(11 pav.)

T_{pap3}^{TEK} – papildomas detalės apdirbimo tradicinėmis tekinimo staklėmis laikas, priimamas 6 % nuo $(T_m + T_{pag})$.

$$T_{pap3}^{TEK} = 0,06 \times (T_m^{TEK} + T_{pag3}^{TEK}) = 0,06 \times (2,05 + 15,43) = 1,05 \text{ min}$$

$$T_{TRAD}^{TEK}(N = 1) = 20 + 1 \times (2,05 + 15,43 + 1,05) = 38,53 \text{ min}$$

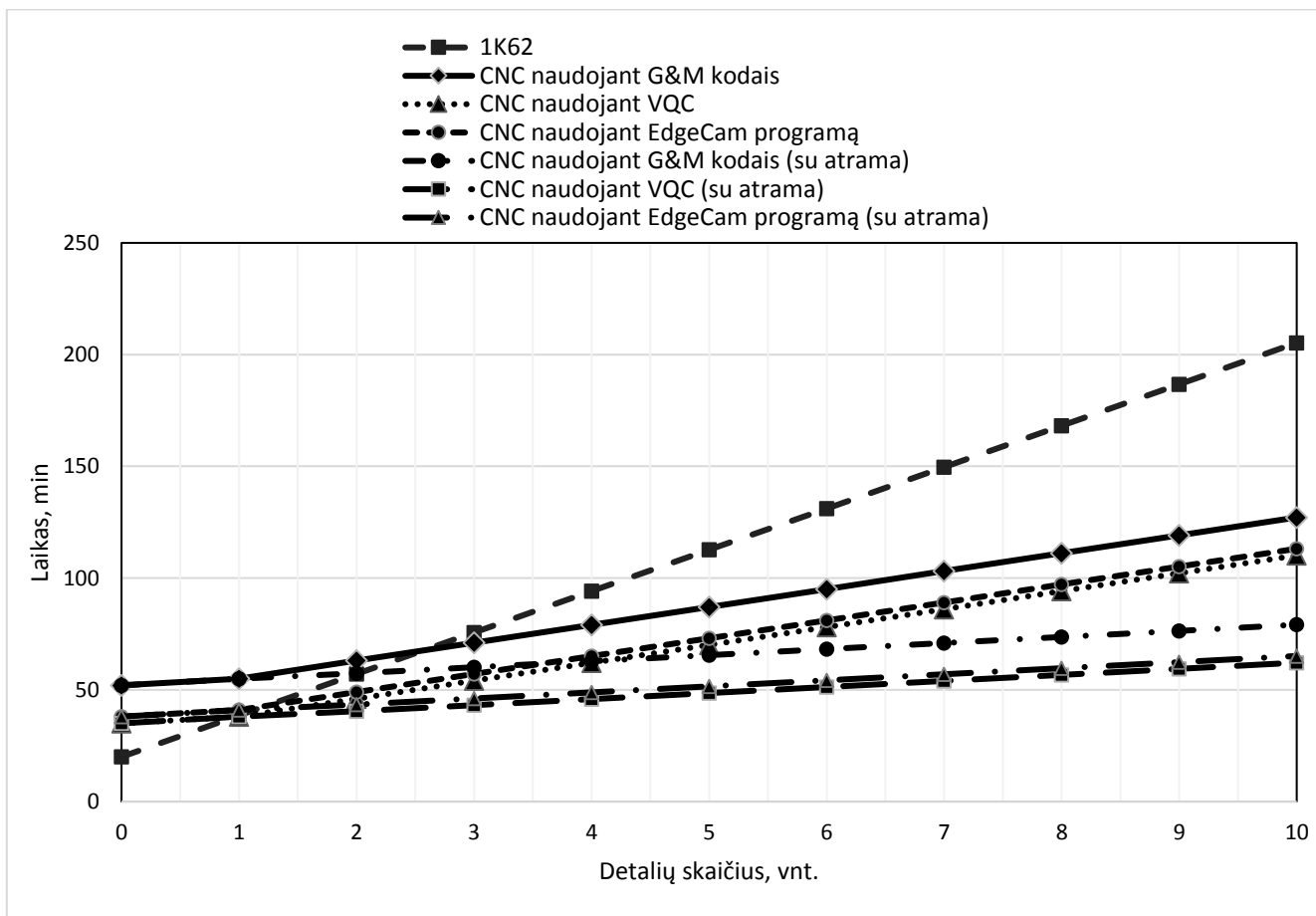
Tolesni skaičiavimų rezultatai pateikiami 10 lentelėje:

10 lentelė. Partijos apdirbimo laikai, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, kai apdirbama tradicinėmis tekimo staklėmis

Detalių skaičius partijoje, vnt.	Laikas, min
N=1	38,53
N=2	57,06
N=3	75,59
N=4	94,12
N=5	112,64
N=6	131,17
N=7	149,70
N=8	168,23
N=9	186,76
N=10	205,29

3.1.3 Tekinimo staklių tyrimo rezultatų apibendrinimas

Grafinis tekimo staklių tyrimo rezultatų apdorojimas pavaizduotas 12 paveiksle.



12 pav. Detalių partijos apdirbimo laiko priklausomybė nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant tekimo staklėmis

Atlikus tekinimo staklių tyrimą, buvo gauti tokie rezultatai:

- Naudojant „EdgeCam“ CAM programą, buvo sudaryta mechaninio apdirbimo tekinimo staklėmis technologija. Buvo nustatyta, jog mašininis detalės apdirbimo laikas yra lygus 2,05 min.
- Chronometruojant buvo gauta, jog pagalbinis CNC tekinimo staklių detalės apdirbimo laikas naudojant ruošinio atramą yra lygus 0,51 min., nenaudojant ruošinio atramos – 5,51 min. Tradicinių tekinimo staklių detalės apdirbimo pagalbinis laikas 15,43 min.

Iš grafiko (12 pav.) matyti, kad mažiausias detalių skaičius partijoje, kuriam esant galima efektyviai naudoti CNC tekinimo stakles, yra artimas 1, kai apdirbimo programa ruošinama naudojant CAM arba „HAAS VQC“ programas bei naudojama ruošinio atrama. Naudojant CAM programą, programavimo laikas nėra įtraukiamas į paruošiamąjį laiką, kadangi programa sukurama inžinieriaus-technologo atskiroje darbo vietoje, o ne CNC staklėse. Įrankių paruošimo ir programos simuliacijos laikas yra įtraukiami į paruošiamąjį laiką. Jeigu detalės apdirbimo programa yra ruošinama rankiniu būdu (naudojant G ir M kodus) CNC staklių valdymo pulte ir ruošinio atrama Z kryptimi nenaudojama, partijos dydis turi būti mažiausiai 3 detalės, norint jas apdirbti greičiau negu tradicinėmis staklėmis. Jeigu naudojama ruošinio atrama, nereikia nustatyti įrankių Z kryptimi, pakeitus ruošinį. Šiuo atveju, mažiausias detalių skaičius partijoje sumažėja iki 2 vienetų.

3.2 Frezavimo staklių tyrimo rezultatai

Detalės apdirbimo programa, kuri buvo įvesta į CNC staklių valdymo pultą pavaizduota 13 paveiksle.

O00672; G54 G21 G17 G90; T10 M06; S375 M03; G00 Y-23. X-30.; G43 H10 Z5.; G01 Z0. F300.; X100.; T1 M06;	S1250 M03; G00 X-15. Y-35.; G43 H01 Z5.; G01 Z-5. F400.; X85.; G00 Y0; G01 X-15.; G28 Z5.; M30;
---	---

13 pav. CNC frezavimo detalės apdirbimo programa

Frezavimo detalės apdirbimo programos sudarymo laikai, naudojant skirtingus programos rengimo būdus pavaizduoti 14 paveiksle. Šie laikai gauti chronometruojant. Į juos, taip pat įeina grafinis

programos simuliacinio laiko. Išmatuoti pagalbiniai detalės apdirbimo laikai, kai detalė apdirbama CNC frezavimo staklėmis „HAAS Mini Mill“ pavaizduoti 11 lentelėje.

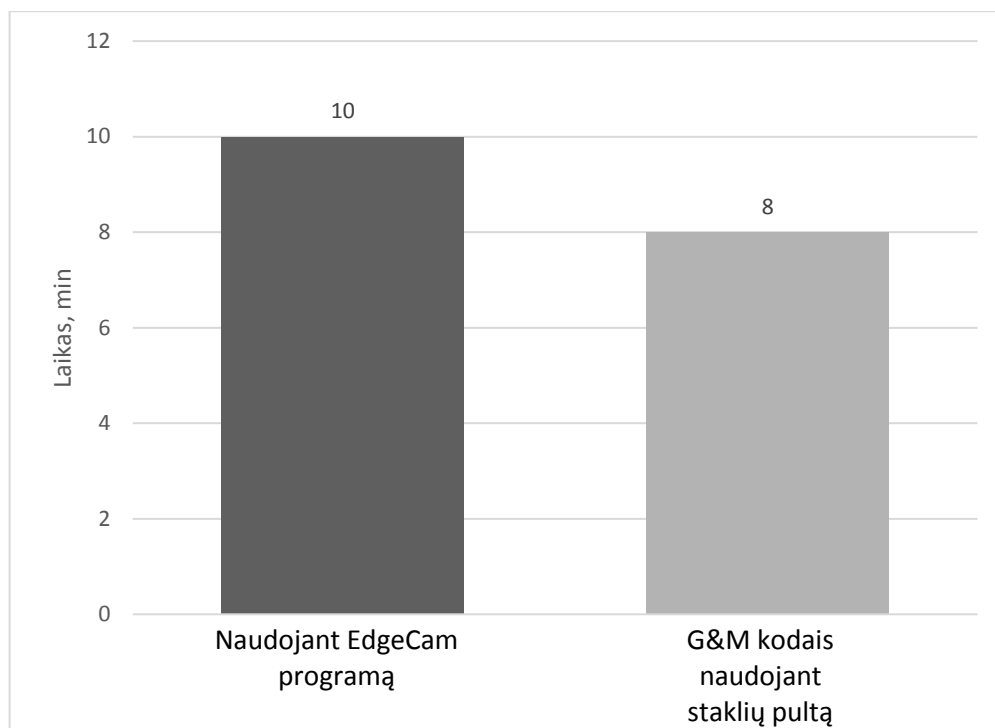
11 lentelė. Pagalbiniai detalės apdirbimo laikai, kai detalė apdirbama CNC frezavimo staklėmis

	Veiksmas	Laikas, s
1	Ruošinio įtvirtinimas	36
2	Programos paleidimas	1
3	Įrankio keitimas	4
4	Greitas įrankio pozicionavimas prie ruošinio	3
5	Įrankio keitimas	4
6	Įrankio privedimas prie ruošinio	3
7	Įrankio atitraukimas į nulinę padėtį	3
8	Detalės išėmimas	6
	Iš viso:	60

Išmatuoti pagalbiniai detalės apdirbimo laikai, kai detalė apdirbama tradicinėmis frezavimo staklėmis „6P10“ pavaizduoti 12 lentelėje.

12 lentelė. Pagalbiniai detalės apdirbimo laikai, kai detalė apdirbama tradicinėmis frezavimo staklėmis

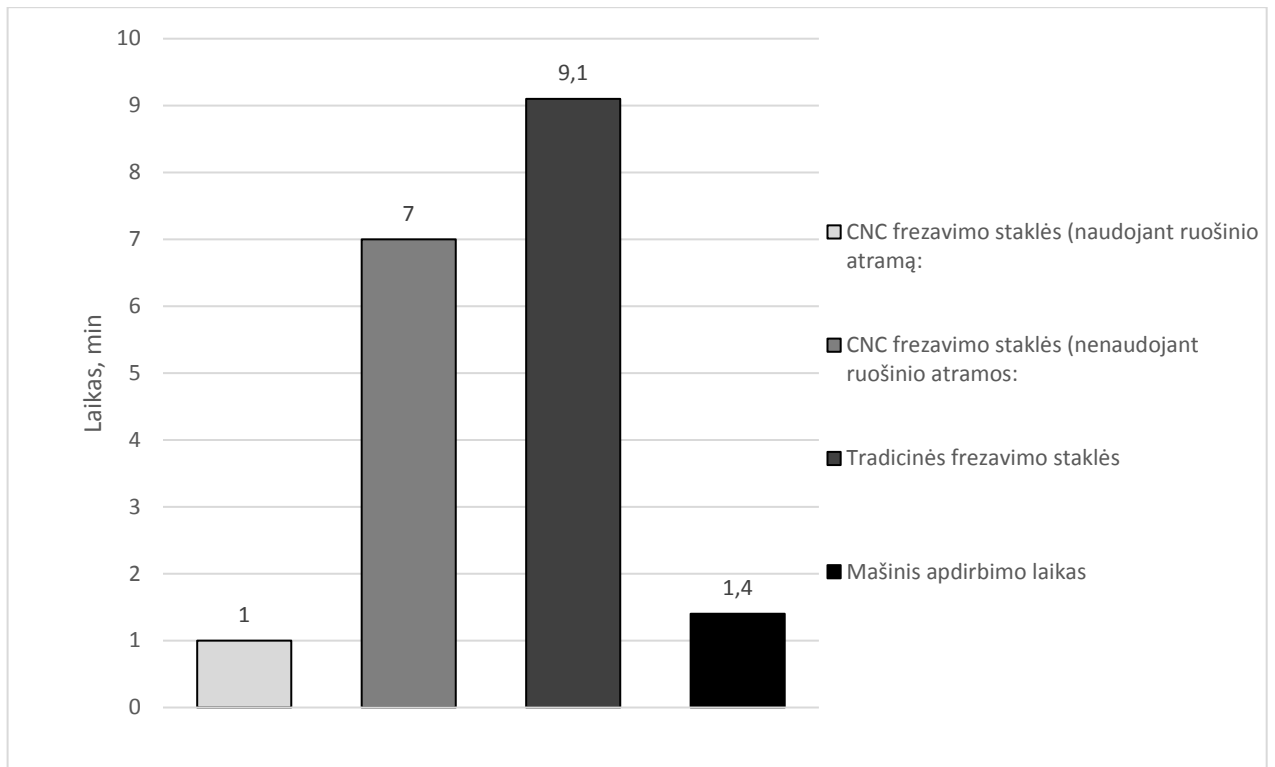
	Veiksmas	Laikas, s
1	Ruošinio įtvirtinimas	36
2	Pjovimo režimų nustatymas (greitis, pastūma, apsisukimai)	21
3	Staklių įjungimas	2
4	Įrankio privedimas prie ruošinio (viena ašis)	75
5	Įrankio privedimas prie ruošinio (viena ašis)	75
6	Pjovimo gylio nustatymas	15
7	Pastūmos įjungimas	1
8	Pastūmos išjungimas	1
9	Įrankio pagreitis atvedimas	16
10	Suklio išjungimas	1
11	Įrankio keitimas	91
12	Suklio apsisukimų pakeitimas	7
13	Greičio įjungimas	7
14	Pastūmos įjungimas	7
15	Suklio išjungimas	1
16	Įrankio privedimas prie ruošinio (viena ašis)	75
17	Įrankio privedimas prie ruošinio (viena ašis)	75
18	Pastūmos įjungimas	1
19	Įrankio perstumimas (tarp praėjimų)	15
20	Suklio išjungimas	1
21	Įrankio nuvedimas	16
22	Staklių išjungimas	1
23	Detalės išėmimas	6
	Iš viso:	546



14 pav. Detalės apdirbimo programos sudarymo laikai

Iš grafiko (14 pav.) matyti, jog, skirtingai negu tekinimo detalės programos sudarymo atveju, frezavimo detalės apdirbimo programos sudarymo laikas yra mažesnis, kai naudojama ne CAM programa (3D detalės modelis buvo sukurtas naudojant CAD programą ir jo sukūrimo laikas į šį laiką įtrauktas nebuvo), o programa sudaroma rankiniu būdu G/M kodais naudojant staklių valdymo pultą, nors skirtumas nėra didelis. Kadangi detalę apdirbama frezavimo staklėmis yra gan nesudėtinga, lengviau yra apdirbimo programą paruošti rankiniu būdu G/M kodais, nei naudojant CAM programą. Šiuo atveju programa nebuvo ruošama naudojant „HAAS VQC“ programą, kadangi frezavimo operacijos yra labai skirtingos ir sunku pritaikyti vieną šabloną įvairioms operacijoms. Tačiau galima naudoti VQC kartu su įprastu programavimu. Pavyzdžiui, gręžimo operacijas programuoti naudojant šablonus, o kitas operacijas naudojant įprastą programavimą.

Detalės apdirbimo pagalbinis laikas tiek CNC tiek tradicinėms frezavimo staklėms pavaizduotas 15 paveiksle. Trumpiausias pagalbinis laikas buvo gautas, kai CNC frezavimo staklės buvo naudojamos su ruošinio atrama. Šiuo atveju, nereikia iš naujo nustatyti įrankių kiekvieną kartą pakeitus ruošinį. Įrankio nustatymas yra daugiausiai pagalbinio laiko reikalaujanti operacija. Reikia maždaug vienos minutės nustatyti įrankį vienos ašies atžvilgiu. Mašininis laikas buvo imamas kaip lygus tiek CNC tiek tradicinėms frezavimo staklėms. Jis buvo gautas naudojant „EdgeCAM“ programą ir yra lygus 1 minutei ir 24 sekundėms arba 1,4 minutės.



15 pav. Frezavimo stakių pagalbiniai apdirbimo laikai bei mašininis apdirbimo laikas

3.2.1 Detalių partijos apdirbimo laikai, apdirbant CNC frezavimo staklėmis

3.2.1.1 Detalių partijos apdirbimo CNC frezavimo staklėmis laikas, kai naudojama ruošinio atrama bei apdirbimo programa ruošinama naudojant „EdgeCam“ programą

Pagal (5) formulę, detalių partijos apdirbimo CNC frezavimo staklėmis su ruošinio atrama laikas T_{CNC1}^{FREZ} , kai detalės apdirbimo programa sudaroma naudojant „EdgeCam“ programą, lygus:

$$T_{CNC1}^{FREZ} = T_{par} + T_{Prog1}^{FREZ} + T_{nust}^{FREZ} + N(T_m^{FREZ} + T_{pag1}^{FREZ} + T_{pap1}^{FREZ})$$

čia: T_{Prog1}^{FREZ} – CNC frezavimo stakių detalės apdirbimo programos sudarymo, naudojant „EdgeCam“ programą, laikas, $T_{Prog1}^{FREZ} = 10$ min. (13 pav.),

T_{nust}^{FREZ} – CNC frezavimo stakių įrankių nustatymo laikas, $T_{nust}^{FREZ} = 6,0$ min (gautas chronometruojant),

T_m^{FREZ} – mašininis detalės apdirbimo frezavimo staklėmis laikas, $T_m^{FREZ} = 1,4$ min. (14 pav.),

T_{pag1}^{FREZ} – pagalbinis detalės apdirbimo CNC frezavimo staklėmis su ruošinio atrama laikas, $T_{pag1}^{FREZ} = 1$ min. (15 pav.),

T_{pap1}^{FREZ} – papildomas detalės apdirbimo CNC frezavimo staklėmis su ruošinio atrama laikas, (priimamas 6 % nuo $(T_m + T_{pag})$).

$$T_{pap1}^{FREZ} = 0,06 \times (T_m^{FREZ} + T_{pap1}^{FREZ}) = 0,06 \times (1,40 + 1,00) = 0,144 \text{ min},$$

$$T_{CNC1}^{FREZ} (N = 1) = 20,0 + 10,0 + 6,0 + 1 \times (1,40 + 1,00 + 0,144) = 38,54 \text{ min}$$

Tolesni skaičiavimų rezultatai pateikiami 13 lentelėje:

13 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC frezavimo staklėmis su ruošinio atrama, kai apdirbimo programa sudaroma naudojant „EdgeCam“ programą

Detalių skaičius partijoje	Laikas
N=1	38,54
N=2	41,09
N=3	43,63
N=4	46,18
N=5	48,72
N=6	51,26
N=7	53,81
N=8	56,35
N=9	58,90
N=10	61,44

3.2.1.2 Detalių partijos apdirbimo CNC frezavimo staklėmis laikas, kai ruošinio atrama nenaudojama bei apdirbimo programa ruošinama naudojant „EdgeCam“ programą

Nenaudojant ruošinio atramos, pagalbinis detalės apdirbimo laikas išauga, kadangi kiekvieną kartą pakeitus ruošinį, reikia nustatyti įrankius. Pagal (5) formulę, detalių partijos apdirbimo CNC frezavimo staklėmis be ruošinio atramos laikas T_{CNC2}^{FREZ} , kai detalės apdirbimo programa sudaroma naudojant „EdgeCam“ programą, lygus:

$$T_{CNC2}^{FREZ} = T_{par} + T_{Prog1}^{FREZ} + T_{nust}^{FREZ} + N(T_m^{FREZ} + T_{pag2}^{FREZ} + T_{pap2}^{FREZ})$$

čia: T_{pag2}^{FREZ} – pagalbinis detalės apdirbimo CNC frezavimo staklėmis be ruošinio atramos laikas, $T_{pag2}^{FREZ} = 7 \text{ min}$ (15 pav.),

T_{pap2}^{FREZ} – papildomas detalės apdirbimo CNC frezavimo staklėmis be ruošinio atramos laikas (priimamas 6 % nuo $(T_m + T_{pag})$).

$$T_{pap2}^{FREZ} = 0,06 \times (T_m^{FREZ} + T_{pag2}^{FREZ}) = 0,06 \times (1,40 + 7,00) = 0,504 \text{ min},$$

$$T_{CNC2}^{FREZ} (N = 1) = 20,0 + 10,0 + 1 \times (1,40 + 7,00 + 0,504) = 38,90 \text{ min}$$

Tolesni skaičiavimų rezultatai pavaizduoti 14 lentelėje.

14 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC frezavimo staklėmis su ruošinio atramos, kai apdirbimo programa sudaroma naudojant „EdgeCam“ programą

Detalių skaičius partijoje	Laikas
N=1	38,90
N=2	53,81
N=3	62,71
N=4	71,62
N=5	80,52
N=6	89,42
N=7	98,33
N=8	107,23
N=9	116,14
N=10	125,04

3.2.1.3 Detalių partijos apdirbimo CNC frezavimo staklėmis laikas, kai naudojama ruošinio atrama bei apdirbimo programa ruošinama rankiniu būdu G / M kodais

Pagal (5) formulę, detalių partijos apdirbimo CNC frezavimo staklėmis su ruošinio atrama laikas T_{CNC3}^{FREZ} , kai detalės apdirbimo programa sudaroma rankiniu būdu G / M kodais, lygus:

$$T_{CNC3}^{FREZ} = T_{par} + T_{Prog2}^{FREZ} + T_{nust}^{FREZ} + N(T_m^{FREZ} + T_{pag1}^{FREZ} + T_{pap1}^{FREZ})$$

čia: T_{Prog2}^{FREZ} – CNC frezavimo staklių detalės apdirbimo programos sudarymo, rankiniu būdu G / M kodais, laikas, $T_{Prog2}^{FREZ} = 8$ min. (14 pav.).

$$T_{CNC3}^{FREZ}(N = 1) = 20,0 + 8,0 + 6,0 + 1 \times (1,40 + 1,00 + 0,144) = 36,54 \text{ min}$$

Tolesni skaičiavimų rezultatai pavaizduoti 15 lentelėje.

15 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC frezavimo staklėmis su ruošinio atrama, kai apdirbimo programa sudaroma rankiniu būdu G / M kodais

Detalių skaičius partijoje	Laikas, min
N=1	36,54
N=2	39,09
N=3	41,63
N=4	44,18
N=5	46,72
N=6	49,26
N=7	51,81
N=8	54,35
N=9	56,90
N=10	59,44

3.2.1.4 Detalių partijos apdirbimo CNC frezavimo staklėmis laikas, kai ruošinio atrama nenaudojama bei apdirbimo programa ruošinama rankiniu būdu G / M kodais

Nenaudojant ruošinio atramos, pagalbinis detalės apdirbimo laikas išauga, kadangi kiekvieną kartą pakeitus ruošinį, reikia nustatyti įrankius. Pagal (5) formulę, detalių partijos apdirbimo CNC frezavimo staklėmis be ruošinio atramos laikas T_{CNC4}^{FREZ} , kai detalės apdirbimo programa sudaroma rankiniu būdu G / M kodais, lygus

$$T_{CNC4}^{FREZ} = T_{par} + T_{Prog2}^{FREZ} + T_{nust}^{FREZ} + N(T_m^{FREZ} + T_{pag2}^{FREZ} + T_{pap2}^{FREZ})$$

$$T_{CNC4}^{FREZ} (N = 1) = 20,0 + 8,0 + 1 \times (1,40 + 7,00 + 0,504) = 36,90 \text{ min}$$

Tolesni skaičiavimų rezultatai pavaizduoti 16 lentelėje.

16 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas, priklausomai nuo detalių skaičiaus partijoje, apdirbant CNC frezavimo staklėmis be ruošinio atramos, kai apdirbimo programa sudaroma rankiniu būdu G / M kodais

Detalių skaičius partijoje	Laikas, min
N=1	36,90
N=2	45,81
N=3	54,71
N=4	63,62
N=5	72,52
N=6	81,42
N=7	90,33
N=8	99,23
N=9	108,14
N=10	117,04

3.2.2 Detalių partijos apdirbimo laikai, apdirbant tradicinėmis frezavimo staklėmis

Tradicinėmis frezavimo staklėmis apdirbamos detalių partijos apdirbimo laikas T_{TRAD}^{FREZ} apskaičiuojamas pagal (6) formulę:

$$T_{TRAD}^{FREZ} = T_{par} + N(T_m^{FREZ} + T_{pag3}^{FREZ} + T_{pap3}^{FREZ})$$

čia: T_{pag3}^{FREZ} – pagalbinis detalės apdirbimo tradicinėmis frezavimo staklėmis laikas, $T_{pag3}^{FREZ} = 9,1 \text{ min.}$ (15 pav.),

T_{pap3}^{FREZ} – papildomas detalės apdirbimo tradicinėmis frezavimo staklėmis laikas, priimamas 6 % nuo $(T_m + T_{pag})$.

$$T_{pap3}^{FREZ} = 0,06 \times (T_m^{FREZ} + T_{pag3}^{FREZ}) = 0,06 \times (1,4 + 9,1) = 1,05 \text{ min}$$

Papildomas detalės apdirbimo laikas (T_{pap3}) lygus:

$$T_{pap3} = 0,06 \times (T_m^{FREZ} + T_{pag3}^{FREZ}) = 0,06 \times (1,4 + 9,1) = 0,630 \text{ min}$$

$$T_{TRAD}^{FREZ}(N = 1) = 20 + 1 \times (1,4 + 9,1 + 0,63) = 31,13 \text{ min}$$

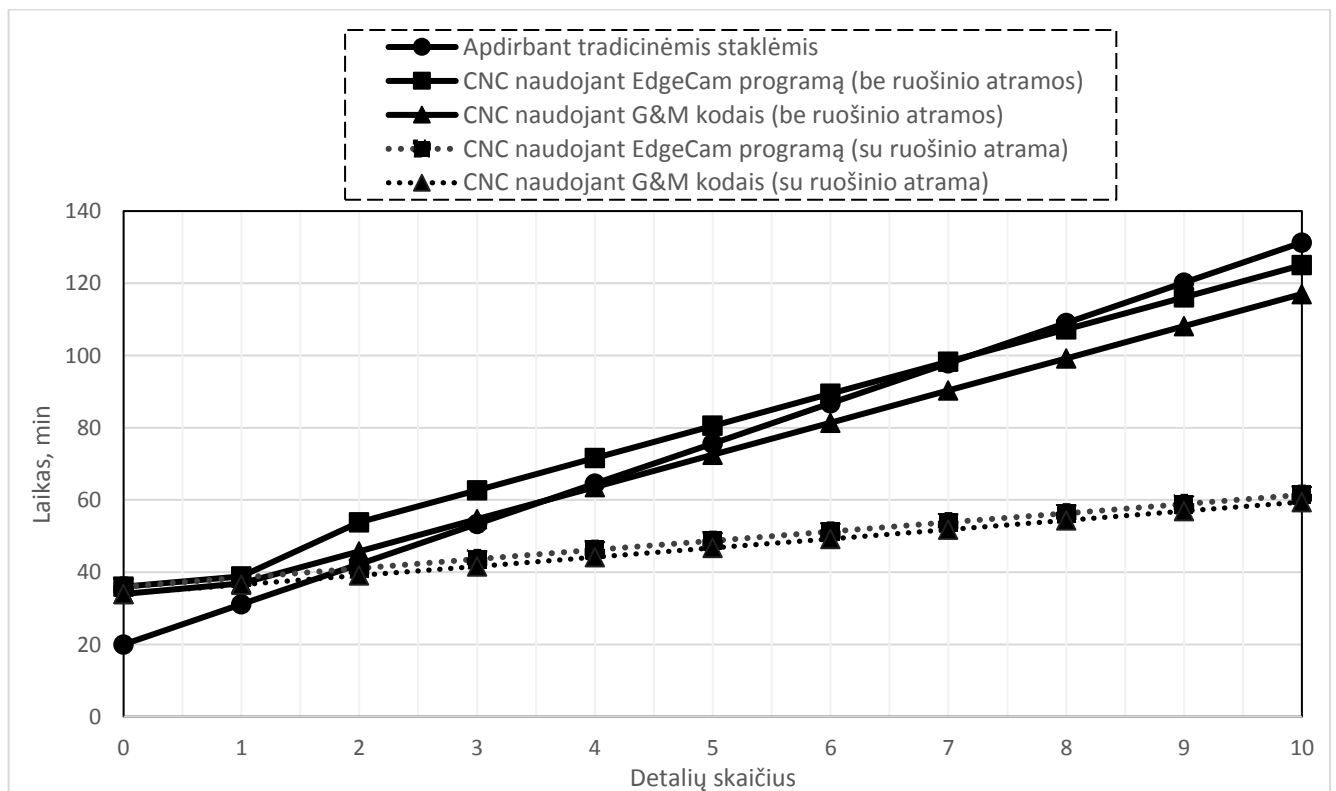
Tolesni skaičiavimų rezultatai pavaizduoti 17 lentelėje.

17 lentelė. Detalių partijos apdirbimo laikas apdirbant tradicinėmis frezavimo staklėmis

Detalių skaičius partijoje	Laikas, min
N=1	31,13
N=2	42,26
N=3	53,39
N=4	64,52
N=5	75,65
N=6	86,78
N=7	97,91
N=8	109,04
N=9	120,17
N=10	131,30

3.2.3 Frezavimo staklių tyrimo rezultatų apibendrinimas

Grafinis frezavimo tyrimo rezultatų apdorojimas pavaizduotas 16 paveiksle.



16 pav. Detalių partijos apdirbimo laiko priklausomybė nuo detalių skaičiaus partijoje, kai apdirbama frezavimo staklėmis

Atlikus frezavimo staklių tyrimą, buvo gauti tokie rezultatai:

- Naudojant „EdgeCam“ CAM programą, buvo sudaryta mechaninio apdirbimo frezavimo staklėmis technologija. Buvo nustatyta, jog mašininis detalės apdirbimo laikas yra lygus 1,4 min.

Chronometruojant buvo gauta, jog pagalbinis CNC frezavimo staklių detalės apdirbimo laikas naudojant ruošinio atramą yra lygus 1,0 min.; nenaudojant ruošinio atramos 7,0 min.; tradicinių tekimo staklių detalės apdirbimo pagalbinis laikas 9,1 min.

Iš grafiko (16 pav.) matyti, kad mažiausias detalių skaičius partijoje, kai galima efektyviai naudoti CNC frezavimo stakles yra 2 vienetai, kai apdirbimo programa ruošinama rankiniu būdu G ir M kodais staklių pulte arba naudojant „EdgeCam“ programą ir ruošinys įtvirtinamas su atrama. Jeigu detalės apdirbimo programa ruošinama rankiniu būdu G / M kodais ir ruošinys įstatomas be atramos, mažiausias detalių skaičius partijoje, kai galima efektyviai naudoti CNC frezavimo stakles, turi būti bent 4 detalės. Jeigu detalės apdirbimo programa ruošinama naudojant „EdgeCam“ programą ir ruošinys įstatomas be atramos, mažiausias detalių skaičius partijoje, kai galima efektyviai naudoti CNC frezavimo stakles, turi būti bent 8 detalės.

IŠVADOS

Baigiamajame magistro darbe buvo apžvelgta literatūra, susijusi su CNC staklių panaudojimo vienetinėje gamyboje efektyvumu, bei atlikti eksperimentiniai tekinimo ir frezavimo staklių tyrimai. Iš gautų rezultatų buvo padarytos išvados:

1. CNC tekinimo staklės, esant vienetinės gamybos sąlygoms, gali būti efektyviai panaudotos, kai detalių skaičius partijoje svyruoja nuo 1 iki 3 vienetų, priklausomai nuo programavimo metodo pasirinkimo ir įrankių nustatymo sąlygų.

2. CNC frezavimo staklės, esant vienetinės gamybos sąlygoms, gali būti efektyviai panaudotos, kai detalių skaičius partijoje svyruoja nuo 2 iki 8 vienetų, priklausomai nuo programavimo metodo pasirinkimo ir įrankių nustatymo sąlygų.

3. CAM programos naudojimas ir mechaninis detalės apdirbimas, naudojant ruošinio atramą, gali sumažinti mažiausią detalių skaičių partijoje, kuriai esant galima efektyviai naudoti CNC stakles.

4. Naudinga naudoti vaizdinio programavimo sistemas ir pasinaudoti jau esamais šablonais arba susikurti savo šablonus panašioms detalėms apdirbti.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Ashley, P. N. (2016). Innovative use of computer numerically controlled wood processing technology for flexible manufacture of furniture towards an optimal batch size of one. *University of Melbourne, School of Ecosystem and Forest Sciences*.
2. Bražiūnas, A. J. (2004). *Mašinų gamybos technologijos pagrindai*. Technologija.
3. Bražiūnas, A., Jurėnas, V. (1991). *Metalo pjovimo įrankiai*. Mokslas.
4. Gong, B. Z. (2002). The processing of parts with group technology in an individual CNC machining center. *Journal of Materials Processing Technology*, 129(1–3), 645–648.
5. HAAS Lathes [interaktyvus] [žiūrėta 2018 m. gruodžio 15 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.haascnc.com/machines/lathes.html>
6. HAAS Mini Mill [interaktyvus] [žiūrėta 2018 m. gruodžio 15 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.haascnc.com/machines/vertical-mills/mini-mills/models/minimill.html>
7. Jevgenijus, Š. (2008). *Inžinerinės medžiagos ir jų gamybos bei apdorojimo technologijos*. Technika.
8. Jurevičius, M. (2006). *Mašinų ir prietaisų gamybos technologija*. Technika.
9. Marcinkevičius, A. H. (2001). *Production Technology of Machines and Instruments: Methodical Instructions and Data for Laboratory Tests and Course Project*. Technika.
10. Marcinkevičius, A. H., Mokšin, V., Jurevičius, M. (2010). *Šiuolaikiniai skaitmeninio valdymo apdirbimo centrai ir jų programavimas*. Technika.
11. Martinėnas, B. (2004). *Eksperimento duomenų statistinė analizė*. Technika.
12. Nallusamy, S. (2016). Enhancement of Productivity and Efficiency of CNC Machines in a Small Scale Industry Using Total Productive Maintenance. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 25, 119–126.
13. Newman, S. T., Nassehi, A. (2007). Universal Manufacturing Platform for CNC Machining. *CIRP Annals*, 56(1), 459–462.
14. Schaede, C., Seifermann, S., Metternich, J. (2018). Automated generation of CNC programs for manufacturing of individualized products. *Procedia CIRP*, 72, 1251–1257.
15. Stephan, A., Fischer, U., Gomeringer, R., Heonzler, M., Kilgus, R., Naher, F., Oesterle, S., Paetzold, H. (2014). *Mechanikos inžinieriaus žinynas*. 1-oji laida lietuvių kalba. Linpra.
16. Tao, Y., Junxi, B., Lilan, L. (2006). A Study of Intelligent Integrated Nano CNC System Based on Standard. *Proceedings of the 2nd IEEE/ASME International Conference*, 7(6), 546–558.
17. Tu, Y. L., Dean, P. R., Xu, D. (2009). An information system for one-of-a-kind production. *International Journal of Production Research*, 47(4), 1071–1087.

18. Warner, M., Sorge, A., Hartmann, G., Nicholas, I. (1983). Company size and work organization in cnc machining. *Proceedings of the IFAC Workshop*, 7(9), 7–11.
19. Ziegertb, J., Schmitza, T., Daviesa, M., Dutterera, B. (2001). The application of high-speed CNC machining to prototype production. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41(8), 1209–1228.
20. Ахумов, А. В. (1987). *Справочник нормировщика*. Машиностроение.

PRIEDAI

1 Priedas. Konferencijos straipsnis

CNC STAKLIŲ PANAUDOJIMO VIENETINĖS GAMYBOS SĄLYGOMIS EFEKTYVUMAS

V. Mokšins*, L. Stankevičius**

*Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas, J. Basanavičiaus g. 28, 03224 Vilnius, Lietuva, E-mail: vadim@vgtu.lt

** Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas, J. Basanavičiaus g. 28, 03224 Vilnius, Lietuva, E-mail:

laimutis.stankevicius@stud.vgtu.lt

Santrauka

Šiame straipsnyje pateikiami CNC ir tradicinių tekinimo staklių pagalbinių operacinių laikų judesio-laiko tyrimo rezultatai. Tyrimui atlikti buvo naudojami trys skirtingi detalės apdirbimo programos sukūrimo būdai: G ir M kodais, naudojant CAM programą bei šablonų tipo programavimo sistema. Buvo nustatyta, jog CNC tekinimo staklės gali būti efektyviai panaudotos individualioje arba mažų detalių partijų gamyboje, kai detalių skaičius partijoje svyruoja nuo 1 iki 4 vienetų, priklausomai nuo detalės apdirbimo programos sukūrimo būdo.

Raktažodžiai: CNC, tekinimo staklės, pagalbinių operacijos laikas, judesio-laiko tyrimas.

Ižanga

CNC staklės ilgą laiką buvo įprasta naudoti serijinėje gamyboje, nes čia buvo galima išnaudoti visą staklių potencialą. Taip buvo todėl, nes apdirbimo programų sudarymas buvo gana sudėtingas ir užėmė daug laiko, be to, užtrūkavo pačių staklių paruošimas mechaniniam apdirbimui. Dėl per didelės CNC staklių kainos, mažos įmonės pasirinkdavo naudoti tradicines stakles. Serijinėje gamyboje jos puikiai tiko, nes čia gaminama didelės vienodų gaminių partijos ir staklių nereikia dažnai reguliuoti [1].

Dvidešimto mažiaus pabaigoje kompiuterinių technologijų proveržis atvėrė naujas CNC staklių panaudojimo galimybes. Kompiuterinės technikos bei įrangos kaina smarkiai sumažėjo. Detalės apdirbimo programos kūrimas buvo supaprastintas, išstobulėjo CAM (kompiuterinė gamyba) bei vaizdinio programavimo technologijos. Greitai išstobulėjo ir staklių modulinis dizainas [7]. Šiuo metu, bet kokias programinio valdymo stakles, galima lengvai pritaikyti individualiems klientų poreikiams, dėl to išaugo šių staklių panaudojimo lankstumas, o kartu ir populiarumas bei paklausa. Gausus papildomos staklių įrangos pasirinkimas (konvejeriai, automatinio ruošinių padavimo sistemos ir pan.) leido joms įgyti didelį pranašumą prieš tradicines stakles. Įvertinus šias sąlygas, CNC staklių panaudojimo galimybės, dėl jų lankstaus pritaikymo gamyboje, tampa vis patrauklesnės ir mažoms vienetiniams gaminiams gaminančioms įmonėms. Tačiau pagrindiniai šių staklių pranašumas, lyginant jas su tradicinėmis staklėmis yra šių staklių galimybės [6]. Tai:

- Pastovaus pjovimo greičio režimas: CNC staklės automatiškai keičia suklio greitį, atsižvelgiant į apdirbamos detalės skersmenį;
- Judėjimas keliomis ašimis vienu metu;
- Aukšto slėgio aušinimo sistemos;
- Greitas įrankių pozicionavimas.

Dėl šių galimybių CNC staklės tapo patrauklios ir mažoms įmonėms, kurios savo gamybą vykdo vienetinės gamybos sąlygomis. CNC staklių panaudojimas gamyboje yra vienas iš pagrindinių veiksnių, leidžiančių pakelti gamybos automatizacijos lygį. To priežastis yra didelės staklių gamybos automatizavimo galimybės. CNC staklės leidžia integruoti įvairius robotus, konvejerinius, automatines ruošinių padavimo bei detalių išėmimo sistemas bei priežiūros sistemas, ir sujungti jas į vieną programiškai valdomą sistemą. Tai leidžia CNC stakles efektyviai naudoti ir masinėje gamyboje.

Pagrindinis CNC staklių trūkumas, kuris stabdo jų plėtrą vienetinėje gamyboje yra detalės apdirbimo programos generavimas. Didelis skirtingų gaminių kiekis, bei mažas tų gaminių kiekis partijose, reikalauja nuolatinio apdirbimo programų kūrimo bei jų pakeitimo. Dėl to smarkiai išauga laikas, reikalingas programoms ruošti, o kartu mažėja ir produktyvumas bei efektyvumas. Siekiant sumažinti laiko nuostolius atsirandančius ruošiant apdirbimo programas, kai kurie CNC staklių gamintojai pasiūlė naudoti dvigubą CNC staklių valdymo galimybę, kuri leidžia stakles valdyti tiek programiškai, tiek rankiniu būdu. Toks būdas puikiai tinka apdirbant nesudėtingas detales. Kitas problemos sprendimas, yra CNC staklių apdirbimo programų ruošimas naudojant CAM programas. Tačiau, dažniausiai mažos gamybos ar remonto įmonės, neturi pakankamai išteklių leisti sau turėti inžinierių arba nusipirkti tokią programą, o staklių operatoriai neturi reikiamos kvalifikacijos naudoti tokiomis programomis [7].

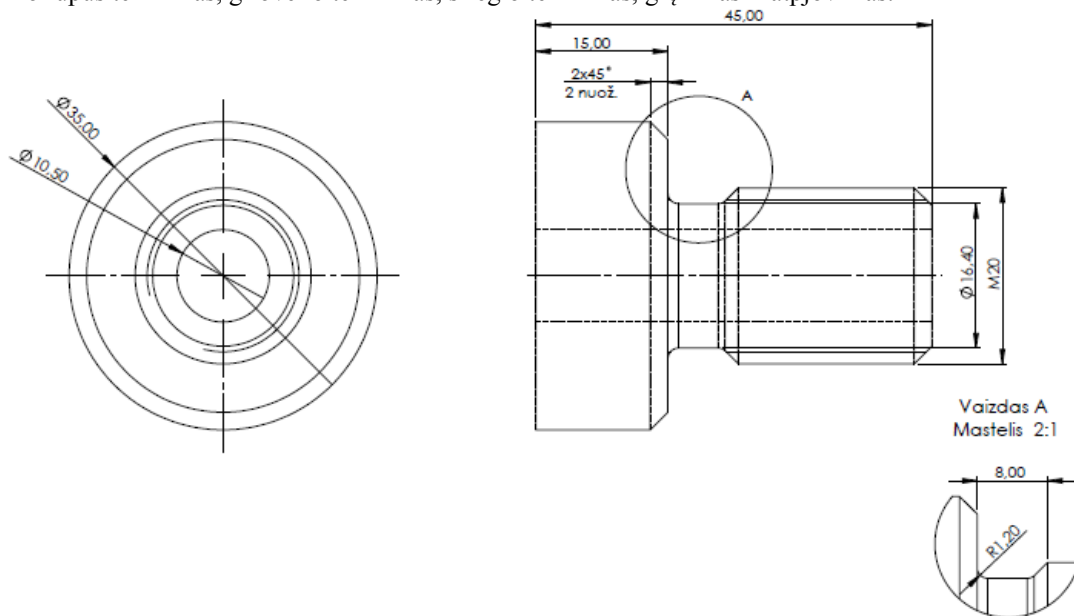
Kita vertus, naudoti staklių gamintojų sukurtas CNC staklių valdikliais rašant apdirbimo programas nėra toks sudėtingas ir daug laiko reikalaujantis procesas, koks gali pasirodyti. Modernios CNC staklės turi didelius ekranus, patogias

klaviatūras. Dauguma gamintojų gali pasiūlyti savo sukurtas vaizdinio programavimo programas, kurios palengvina programavimą.

Šiame darbe tiriamas trijų skirtingų apdirbimo programos rengimo metodų darbo laikas bei nustatytas mažiausias detalių skaičius partijoje, kuriam esant galima efektyviai panaudoti CNC tekinimo staklės.

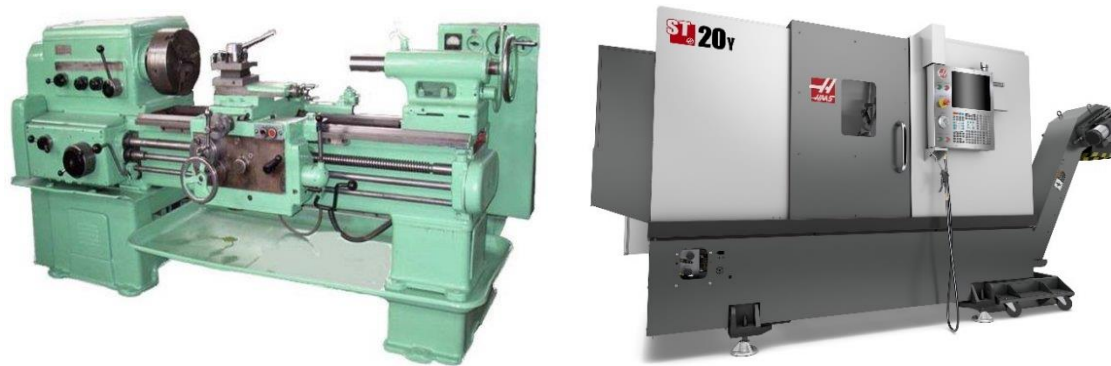
1. Tyrimo objektas ir metodai

Tyrimui pasirinkta detalė, kurią galima apdirbti ir tradicinėmis ir CNC tekinimo staklėmis (Pav. 6). Detalės apdirbimui buvo panaudoti penki įrankiai: rupaus išorinio apdirbimo tekinimo peilis (C-formos plokštelė), išorinio griovelio tekinimo peilis (V-formos plokštelė), išorinio sriegio tekinimo peilis M20 sriegio apdirbimui, Ø10.5 mm grąžtas ir tekinimo nupjovimo peilis. Detalė buvo apdirbama iš apvalaus profilio ruošinio tokia technologine tvarka: galinio paviršiaus tekinimas, išorinio profilio rupus tekinimas, griovelio tekinimas, sriegio tekinimas, gręžimas ir atpjovimas.



17 pav. Tyrimui naudotos detalės brėžinys

Judesio-laiko tyrimui atlikti naudojamos tradicinės tekinimo staklės 1K62 ir 3-jų ašių (X,Y ir C) tekinimo centras HAAS ST-20 (Pav. 7).



18 pav. Rankinės tekinimo staklės 1K62 ir HAAS CNC tekinimo centras ST-20

Detalės apdirbimo vienetinis laikas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$T_{vien} = \frac{T_{par}}{N} + T_m + T_{pag} + T_{pap} \quad (1)$$

čia T_{vien} – vienetinis detalės apdirbimo laikas, min; T_{par} – paruošiamasis laikas, min; N – detalių skaičius partijoje; T_m – mašininis laikas, min; T_{pag} – pagalbinis laikas, min; T_{pap} – papildomas laikas, skirtas darbo vietos priežiūrai bei biologiniams žmogaus poreikiams (imamas 6 % nuo $(T_m + T_{pag})$), min.

Imama, kad mašininis detalės apdirbimo laikas yra lygus tiek CNC tiek tradicinėms apdirbimo staklėms. CNC tekinimo staklių paruošiamasis laikas bus didesnis lyginant su tradicinėmis tekinimo staklėmis, kadangi reikalinga sukurti detalės apdirbimo programą ir paruošti įrankius. Tačiau pagalbinis laikas naudojant CNC stakles bus mažesnis dėl greito įrankių pozicionavimo bei greitesnio įrankio nustatymo. Pagalbinis CNC staklių apdirbimo laikas susideda iš:

- Ruošinio užspaudimo/atleidimo;
- Suklio atitraukimo į įrankio keitimo poziciją;
- Įrankio keitimo;
- Greito įrankio pozicionavimo į pradžios tašką;
- Greito įrankio pozicionavimo tarp praėjimų;
- Technologinio gręžimo (šiuo atveju netaikoma);
- Papildomo įrankių nustatymo laikas, jeigu operatorius dirba be ruošinio atramos Z ašies atžvilgiu, kadangi X ašis yra pastovi.

Kai kurie CNC tekinimo staklių pagalbinio laiko komponentai buvo gauti iš skaičiavimų, kai kurie iš judesio-laiko tyrimo. Įrankių dėtuvės keitimo laikas buvo gautas iš judesio-laiko tyrimo ir yra lygus maždaug 0,8 s. HAAS CNC tekinimo staklių greito pozicionavimo greitis Z ir X ašimis buvo paimtas iš vartotojo instrukcijos ir yra lygus 24 m/min [3]. Jeigu žinomas atstumas tarp įrankio keitimo ir suklio nulinės padėties arba tarp suklio pradinio taško ir pabaigos taško, papildomas greito pozicionavimo laikas gali būti apskaičiuojamas pagal formulę:

$$T_{greit} = \frac{l_i}{24}, \quad (2)$$

čia l – atstumas, m.

Tradicinių tekinimo staklių pagalbinis laikas susideda iš:

- Ruošinio užspaudimo/atleidimo;
- Pastūmos ir suklio greičio nustatymo;
- Suklio/pastūmos įjungimo/išjungimo;
- Įrankio keitimo;
- Įrankio nuvedimo/atitraukimo prie/nuo ruošinio;
- Įrankio nuvedimo iki prisilietimo prie ruošinio;
- Įrankio gylio nustatymo naudojant rankeną;
- Aušinimo skysčio įjungimo/išjungimo.

Pagalbinis tekinimo staklių laikas apskaičiuojamas tik iš judesio-laiko tyrimo.

Detalės apdirbimo programos sudarymo laikas gautas iš judesio-laiko tyrimo. Trys skirtingi CNC detalės apdirbimo programos būdai buvo naudojami: programą sudarant naudojant G/M kodais ir CNC staklių valdymo pultu; naudojantis EdgeCam® CAM programa bei naudojant „HAAS Visual Quick Code“ (VQC).

Mašininis detalės apdirbimo laikas paimtas iš EdgeCam® CAM programos. Kuris imamas lygus tiek CNC, tiek tradicinėms tekinimo staklėms.

Detalių partijos apdirbimo laikas naudojant CNC tekinimo stakles apskaičiuojamas naudojant formulę:

$$T_{CNC} = T_{par} + T_{prog} + T_{nust} + N(T_m + T_{pag}^{CNC} + T_{pap}) \quad (3)$$

čia T_{CNC} – apdirbimo laikas, min; T_{par} – paruošiamasis laikas, min; T_{prog} – detalės apdirbimo programos sudarymo laikas, min; T_{nust} – įrankių nustatymo laikas, min; N – detalių skaičius partijoje; T_m – mašininis detalės apdirbimo laikas, min; T_{pag}^{CNC} – pagalbinis laikas, min; T_{pap} – papildomas laikas, min.

Detalių apdirbimo laikas naudojant tradicines tekinimo stakles apskaičiuojamas naudojant formulę:

$$T_{TRAD} = T_{par} + N(T_m + T_{pag}^{TRAD} + T_{pap}) \quad (4)$$

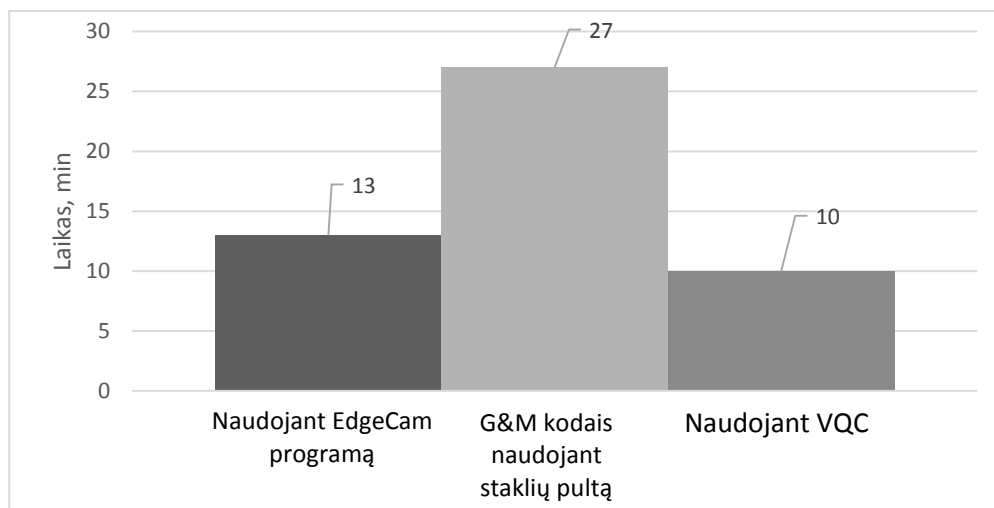
Imama, jog komponentai T_{par} , N ir T_m yra lygūs tiek CNC tiek tradicinėms tekinimo staklėms. Paruošiamasis laikas yra reikalingas susipažinimui su detalės brėžiniu, užveržti įrankius, perduoti apdirbtas detales kokybės kontrolei ir pan. Paruošiamasis laikas paimtas iš specifikacijų ir yra lygus $T_{par} = 20$ min.

2. Tyrimo rezultatai ir analizė

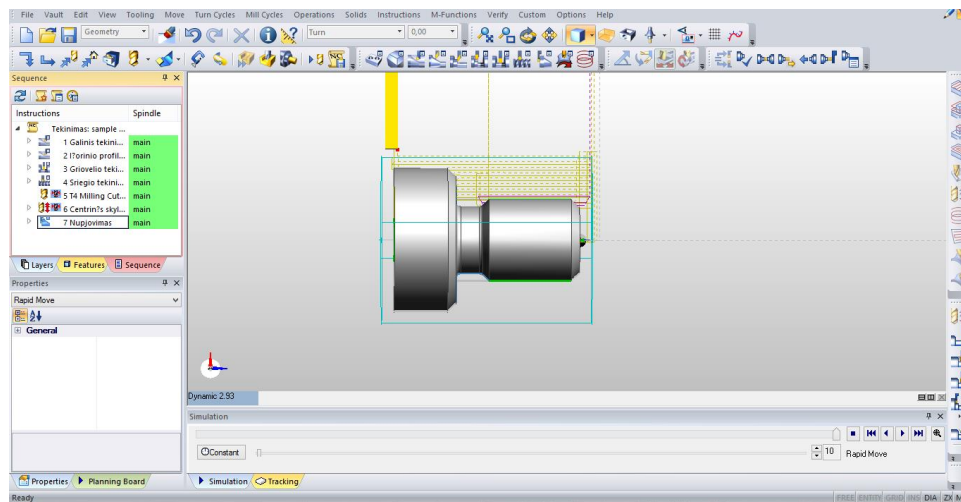
Detalės apdirbimo programos G ir M kodas pavaizduotas Pav. 3. Detalės apdirbimo programos sukūrimo laikai, gauti naudojant skirtingus būdus, pavaizduoti Pav.4. Šie laikai, į kuriuos taip pat įeina grafinis programos simuliacijimas, gauti iš judesio-laiko tyrimo. EdgeCam[®] apdirbimo modelis pavaizduotas Pav. 5. Detalė prieš tai buvo suprojektuota naudojant CAD programą.

% O00001 G21 G18 G54 G50 S3000 G28 U0. T707 (GALINIS APDIRBIMAS) S1000 M03 G00 Z0. X44 G96 S350 M08 G01 X-2. F0.2 G00 Z2 X44. (IŠORINIO PROFILIO TEKINIMAS) G71 D2.5 I1. K1. P1 Q2	N1 G00 G42 X12. G01 X20. Z-2. Z-30. X31. X35. Z-32. Z-50. N2 X44. G40 G28 U0. M09 T606 (GRIOVELIO TEKINIMAS) G00 Z-24. X24. M08 G01 G42 X22. Z-21. F0.08 X20. Z-22. X16.4 W-2. Z-28.75	G02 X18.9 Z-30. R1.25 G01 X25. G40 G00 X50. Z-20. M09 G00 U0. G97 S1600 T505 (SRIEGIMAS) G00 Z5. X22. M08 G76 A60 D0.3 F2.5 K1.525 Z-24. X16.95 P1 G28 U0. M09 T404 (GRĘŽIMAS) S2700 G00 Z2. X0. M08	G01 Z-50. F0.18 G00 Z2. M09 G28 U0 T303 (NUPJOVIMAS) G00 Z-48. X44. G96 S120 M08 G01 X8. F0.15 G00 X44. M09 G28 U0 G28 W0 G97 S1500 M30 %
--	---	---	---

19 pav. Detalės apdirbimo programa



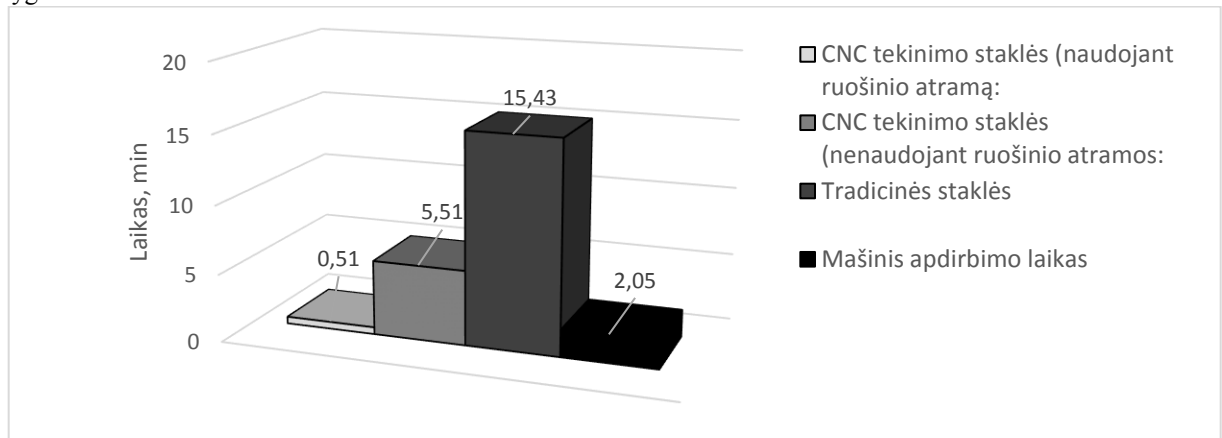
20 pav. Detalės apdirbimo programos sukūrimo laikai, naudojant skirtingus metodus



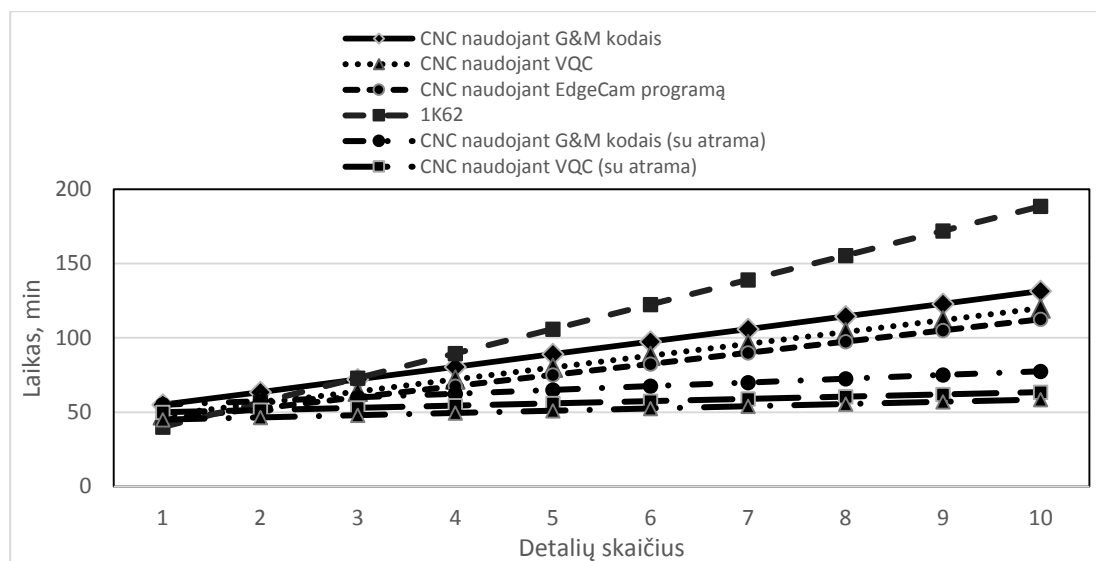
21 pav. EdgeCam© apdirbimo modelis

Iš grafiko matyti (4 pav.), jog detalės apdirbimo programos sudarymo laikas sumažėja per pusę, kai naudojama CAM programa (3D detalės modelis buvo sukurtas naudojant CAD programą ir jo sukūrimo laikas į šį laiką įtrauktas nebuvo). Naudojant VQC leidžia programos sukūrimo laiką sumažinti 2.7 karto, lyginant su įprastu programavimu. Reikia paminėti, jog VQC naudojimas yra apribotas, kadangi yra ribotas šablonų kiekis. Tačiau, staklių operatoriai gali susikurti savo šablonus ir naudoti VQC kartu su įprastu programavimu. Pavyzdžiui, sriegio tekinimas gali būti atliekamas naudojant VQC, o kitos programos dalys sukurtos rankiniu būdu naudojant G ir M kodus.

Detalės apdirbimo pagalbinis laikas tiek CNC tiek tradicinėms tekinimo staklės pavaizduotas 6 paveiksle. Trumpiausias pagalbinis laikas buvo gautas, kai CNC tekinimo staklės buvo naudojamos su ruošinio atrama. Šiuo atveju, nereikia iš naujo nustatyti įrankių Z ašies kryptimi, kiekvieną kartą pakeitus ruošinį. Įrankio nustatymas yra daugiausiai pagalbinio laiko reikalaujanti operacija. Reikia maždaug vienos minutės nustatyti įrankį vienos ašies atžvilgiu. Mašininis laikas buvo imamas kaip lygus tiek CNC tiek tradicinėms tekinimo staklėms. Jis buvo gautas naudojant EdgeCAM© programą ir yra lygus 2 minutėms ir 3 sekundėms arba 2.05 minutės.



22 pav. Detalės apdirbimo pagalbiniai bei mašininis laikai



23 pav. Partijos apdirbimo laiko priklausomybė nuo detalių skaičiaus partijoje

Grafinis formulių (3) ir (4) apdorojimas pavaizduotas 11 paveiksle. Iš grafiko matyti (11 pav.), kad mažiausias detalių skaičius partijoje yra artimas 1, kai naudojama CAM programa ir ruošinio atrama. Naudojant CAM programą, programavimo laikas nėra įtraukiamas į paruošiamąjį laiką, kadangi programa sukurama inžinieriaus-technologo atskiroje darbo vietoje o ne CNC staklėse. Įrankių paruošimo ir programos simuliacijos laikas yra įtraukiami į paruošiamąjį laiką. Jeigu detalės apdirbimo programa yra ruošima rankiniu būdu (naudojant G ir M kodus) CNC staklių valdymo pulte ir ruošinio atrama Z kryptimi nenaudojama, partijos dydis turi būti mažiausiai 4 detalės, norint jas apdirbti greičiau negu tradicinėmis staklėmis. Jeigu naudojama ruošinio atrama, nereikia nustatyti įrankių Z kryptimi, pakeitus ruošinį. Šiuo atveju, mažiausias detalių skaičius partijoje sumažėja iki 3 vienetų. Naudojant VQC, mažiausias detalių skaičius partijoje yra lygus 2, jeigu naudojama ruošinio atrama – truputį daugiau už 1.

3. Išvados

CNC tekinimo staklės, esant vienetinės gamybos sąlygoms, gali būti efektyviai panaudotos, kai detalių skaičius partijoje svyruoja nuo 1 iki 4 vienetų, priklausomai nuo programavimo metodo pasirinkimo ir įrankių nustatymo sąlygų. CAM programos naudojimas ir mechaninis detalės apdirbimas naudojant ruošinio atramą, gali sumažinti mažiausią detalių skaičių partijoje, kuriai esant galima efektyviai naudoti CNC stakles. Taip pat, naudinga naudoti vaizdinio programavimo sistemas ir pasinaudoti jau esamais šablonais arba susikurti savo šablonus panašių detalių apdirbimui.

Literatūros šaltiniai

1. Bražiūnas A. J., *Mašinų gamybos technologijos pagrindai*. Kaunas: Technologija, 2004. P.509
2. Gong B.Z., *The processing of parts with group technology in an individual CNC machining center*. Journal of Materials Processing Technology, 2002, vol. 129. P. 645-648.
3. HAAS Lathes [interaktyvus] 2018. [žiūrėta 2018 m. gruodžio 15 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.haascnc.com/machines/lathes.html>
4. Marcinkevičius A. H., Mokšin V., Jurevičius M. 2010. *Šiuolaikiniai skaitmeninio valdymo apdirbimo centrai ir jų programavimas*. Vilnius: Technika. 348p
5. Nallusamy S. *Enhancement of Productivity and Efficiency of CNC Machines in a Small Scale Industry Using Total Productive Maintenance*. International Journal of Engineering Research in Africa, 2016, vol. 25, p. 119-126.
6. Schaeede C., et al, *Automated generation of CNC programs for manufacturing of individualized products*. Procedia CIRP, 2019, vol. 72, p. 1251-1257.
7. Shneor Y., *Reconfigurable machine tool: CNC machine for milling, grinding and polishing*. Procedia Manufacturing, 2018, vol. 21, p. 221-227.