

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJŲ FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

Marius Sutkus

**TECHNOLOGIJOS PROCESO IR JO REALIZAVIMO ŠAUNAUDŲ
MODELIAVIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Šiauliai, 2012

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJŲ FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

**TECHNOLOGIJOS PROCESO IR JO REALIZAVIMO SĄNAUDŲ
MODELIAVIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Autorius – Marius Sutkus (MM- 10 gr.)

Vadovas – Prof. Habil. dr. A. Bargelis

Recenzentas – doc. Dr. D. Čikotienė

Katedros vedėjas – doc. dr. A. Sabaliauskas

Šiauliai, 2012

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJŲ FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

Marius Sutkus. TECHNOLOGIJOS PROCESO IR JO REALIZAVIMO ŠAŅAUDŲ MODELIAVIMAS. Magistranto baigiamasis darbas/vadovas Prof. Habil. dr. A. Bargelis.

SANTRAUKA

Šiuolaikiniai gamybos procesai yra labai įvairūs, naudoja skirtingas medžiagas – metalus, plastikus ir kitus elektroninius, elektrinius bei valdymo mechatroninius komponentus. Neatsiejamas gaminio ir technologijos kūrimo reikalavimas – siekti aukštos kokybės jau pačioje kūrimo pradžioje. Jeigu gaminio konstrukcijos ir technologijos kokybė nebus numatyta ir užtikrinta projektavimo metu, tai vėliau iškils labai daug sunkumų ir problemų, o tuo pačiu tai pareikalaus ir papildomų išlaidų. Modeliavimo metu labai svarbu tinkamai įvertinti gaminio ir technologijos proceso vertę ir siekti jos didinimo. Tam tikslui labai padeda gamybos technologijos ir gamybos šaŅaudų integruotas modeliavimas ir ankstyvoje, ir serijinės gamybos stadijose.

Šiame magistriniame darbe nagrinėjamas temos tikslas: sukurti gamybos technologijos projektavimo ir gamybos šaŅaudų skaičiavimo integruotą modelio struktūrą bei pagrindines jo funkcijas. Darbo uždavinys sukurti gamybos technologijos ir gamybos šaŅaudų prognozavimo modelį ankstyvoje gaminio projektavimo ar jo gamybos užsakymo tyrimo stadijoje. Atliktas sudaryto modelio tyrimas gaminiams iš metalo lakštų, erdviniams gaminiams iš plieno bei negamybinės veiklos procesui ir jo gamybos šaŅaudoms.

Aprašytas metodas baigiamajame magistro darbe atitinka jo tikslą ir išsprendžia numatytus uždavinius. Be abejo, tai nėra vienintelis galimas dabartiniu metu sprendimo būdas. Jis turi savo privalumų ir trūkumų. Pagrindiniai privalumai: sukurtas modelis geba integruotai virtualioje aplinkoje kurti naujai kuriamo gaminio technologiją ir įvertinti jos realizavimo šaŅaudas. Pagrindinis modelio trūkumas – neturi programinės sąsajos tarp gaminio 3D CAD ir kuriamos technologijos.

Reikšmingi žodžiai: gamybos šaŅaudų modeliavimas, technologijos procesas, integruotas projektavimas.

ŠIAULIAI UNIVERSITY
FACULTY OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

Marius Sutkus. MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESS AND ITS REALIZATION COST. Master final work/research advisor assoc. Prof. Habil. dr. A. Bargelis.

SUMMARY

Contemporary manufacturing processes are various; they apply different materials – metals, plastics and electronics, electrical and mechatronics components for controlling. Concurrent product and process development requires to seek high quality at the early their design stage. If product and process quality will not be seen and secured during development stage, then later many problems and difficulties will arise and additional cost will be required. Modeling has a task to estimate properly the value of product and process and to seek its rise. The modeling of process and its realization cost in both the early and batch production stages helps to reach this aim.

The aim of Master thesis is to create the structure and main functions of integrated model for process and its realization cost definition. The thesis task is to develop a forecasting model for cost prediction at the early process design or order engineering stage. The created model for sheet metal and solid products, and non-manufacturing operations has been tested.

The model that has been developed and described in Master thesis accomplishes the objectives of this work. However, this is not the only method currently available. It has its advantages and disadvantages. The main advantages: the developed model is able in integrated manner to create the process and its realization cost of a new product at the virtual environment. The main disadvantage – it has not an interface between product 3D CAD model and input data for process development.

Keywords: production cost modeling, process technology, integrated design.

SIMBOLIŲ, VIENETŲ IR SANTRUPŲ SĄRAŠAS

- FMS - lanksčios gamybos sistemos
- CAD – kompiuterizuotas gaminių konstravimas sistemos
- CAPP – gamybos procesų planavimo ir technologijų projektavimo sistemos
- ERP – gamybos išteklių apskaičiavimo sistemos
- CAM – gamybos kompiuterizuoti posistemiai
- DFM – konstruojant gamybos lengvumui
- DFA – konstruojant gaminiu rinkimo lengvumo
- DF – konstrukcinis elementas
- GT – grupinė technologija
- FMS – lanksčios gamybos sistemos (gebančios dirbti be darbuotojo dalyvavimo procese)
- FMS - lanksčios gamybos sistemos
- CAD – kompiuterizuotas gaminių konstravimas sistemos
- CAPP – gamybos procesų planavimo ir technologijų projektavimo sistemos
- ERP – gamybos išteklių apskaičiavimo sistemos
- CAM – gamybos kompiuterizuoti posistemiai
- DFM – konstruojant gamybos lengvumui
- DFA – konstruojant gaminiu rinkimo lengvumo
- DF – konstrukcinis elementas
- GT – grupinė technologija
- FMS – lanksčios gamybos sistemos (gebančios dirbti be darbuotojo dalyvavimo procese)
- C – technologijos proceso sąnaudos
- C_1 – medžiagų sąnaudos
- C_2, C_3 – darbo sąnaudos, gamybos organizacijos pridėtinės sąnaudos
- T – vienos šampavimo operacijos gamybos laikas
- T_h – metalo lakšto įtvirtinimo laikas staklėse
- T_m – detalės šampavimo laikas (programiniu šampavimo įrenginiu)
- D – šampuojamos detalės išorinis perimetras
- T^c – koreguotas operacijos detalės apdirbimo laikas
- k_1 - korekcijos koficientas įvertinant medžiagos storį
- k_2 - korekcijos koficientas įvertinant apdirbama medžiagą
- N – smūgių skaičius
- N_1 – vidinių konstrukcinių elementų formavimo smūgių skaičius
- N_2 – detalės išorinio kontūro kirtimo smūgių skaičius

TURINYS

SANTRAUKA	3
SUMMARY	4
SIMBOLIŲ, VIENETŲ IR SANTRUPŲ SĄRAŠAS	5
LENTELĖS	8
PAVEIKSLAI.....	9
ĮVADAS	10
1. TECHNOLOGIJOS PROCESO IR GAMYBOS SĄNAUDŲ MODELIAVIMO LITERATŪROS ŠALTINIŲ APŽVALGA.....	12
1.1. Technologijos modeliavimas įvairiems gamybos tipams.....	12
1.2. Technologijos proceso sąnaudų modeliavimas	13
1.3. Magistrinio darbo temos parinkimo pagrindimas.....	14
2. TECHNOLOGIJOS PROCESO PROJEKTAVIMO MODELIO KŪRIMAS IR TYRIMAS	16
2.1. Technologijos proceso modeliavimo ypatumai gamybinei ir negamybinei veiklai.....	16
2.2. Technologijos proceso modeliavimas ankstyvoje gaminio projektavimo stadijoje.....	19
2.3. Technologijos proceso modeliavimas serijinėje gaminio projektavimo stadijoje.....	20
2.4. Gaminio konstrukcijos pagaminamumo įvertinimas.....	22
3. TECHNOLOGIJOS PROCESO REALIZAVIMO SĄNAUDŲ MODELIAVIMAS	27
3.1. Racionalios technologinės operacijos projektavimas	27
3.2. Racionalios technologinės operacijos sąnaudų skaičiavimas serijinėje gamyboje	29
3.3. Gamybos sąnaudų prognozavimas ankstyvoje gamybos stadijoje.....	30
3.3.1. <i>Gamybos sąnaudų prognozavimas plonalakščio plieno operacijoms</i>	30
3.3.2. <i>Gamybos sąnaudų prognozavimas mechaninio apdirbimo operacijoms</i>	34
4. EKSPERIMENTINĖ DALIS	38
4.1. Gaminių iš metalo lakštų technologijos proceso ir gamybos sąnaudų integruotas projektavimas ankstyvoje jų kūrimo ar užsakymo gamybai nagrinėjimo stadijoje	38
4.2. Erdvinių gaminių iš plieno technologijos proceso ir gamos sąnaudų integruotas projektavimas ankstyvoje jų kūrimo stadijoje.....	43
4.3. Negamybinės veiklos proceso ir jo gamybos sąnaudų modeliavimas.....	44
IŠVADOS	47
LITERATŪRA	48
PRIEDAI	50
1. PRIEDAS. Dūmtraukis.....	51
2. PRIEDAS. Dūmtraukio šoninių detalių eskizas	52

3.	PRIEDAS. Dūmtraukio technologijos kelias	53
4.	PRIEDAS. Mechatroninė detalė.....	54
5.	PRIEDAS. Mechatroninio gaminio technologijos kelias	55
6.	PRIEDAS. Kronšteinas (apskaičiuotas metalo šalinimo tūris)	56
7.	PRIEDAS. Kronšteino ruošinys	57
8.	PRIEDAS. Kronšteino technologijos kelias	58
9.	PRIEDAS. Laikiklis (apskaičiuotas metalo šalinimo tūris)	59
10.	PRIEDAS. Laikiklio ruošinys	60
11.	PRIEDAS. Laikiklio technologijos kelias	61

LENTELĖS

2.1 lentelė. DFM nuorodų fragmentas	24
3.1 lentelė. Korekcijos koeficiento k_1 reikšmės	32
3.2 lentelė. Korekcijos koeficiento k_2 reikšmės	32
4.1 lentelė. Gamybos laiko ir sąnaudų prognozavimo suvestinė	41
4.2 lentelė Gamybos laiko ir sąnaudų prognozavimo suvestinė	43

PAVEIKSLAI

2.1 pav. Įvesties-išvesties gamybos pagal užsakymus modeliavimo schema	16
2.2 pav. Gaminių konstravimo ir gamybos pagal užsakymus schema	17
2.3 pav. Gamybos pagal užsakymus technologijos projektavimo algoritminė schema	19
2.4 pav. Ankstyvosios projektavimo ir serijinės gamybos stadijos technologijos integruoto projektavimo modelio struktūra	20
2.5 pav. Gaminio konstrukcijos analizė pagaminamumui	23
3.1 pav. Gaminių iš lakštinio plieno tipinių konstrukcinių elementų klasifikatorius	30
3.2 pav. Prizmės formos tipinių konstrukcinių elementų klasifikatorius	35
3.3 pav. Sukinių formos tipinių konstrukcinių elementų klasifikatorius	35
3.4 pav. Nomogramos 2.4 poklasio konstrukciniams elementams apdirbimo laikui skaičiuoti	36
3.5 pav. Nomogramos 1.1 poklasio konstrukciniams elementams apdirbimo laikui skaičiuoti	36

ĮVADAS

Darbo aktualumas. Gamybos procesai modernioje aplinkoje naudoja sudėtingas technologijas, įrenginius bei jų valdymo sistemas. Gaminami gaminiai nuolat sudėtingėja, o gamybos technologijai keliami dideli reikalavimai kokybei ir gamybos sąnaudoms. Dažnai reikia siekti integruoto gamybos technologijų projektavimo lygiagrečiai su konstruojamu gaminiu, jau ankstyvoje stadijoje numatant pagrindinius metodus ir technologijas, ir naudojamiems įrenginiams. Ankstyvoje gaminio ir jo gamybos technologijos kūrimo stadijoje stengiamasi dirbti virtualioje aplinkoje, galimai plačiau naudojant procesų modeliavimą. Modeliavimo tikslas – siekti geriausio funkcionalumo ir veiklos rodiklių bei tenkinti kitus vartotojų reikalavimus (darbo našumo, veiklos paprastumo ir pan.). Tokiu būdu intelektualiai inžinierių ir kitų žmonių, dirbančių gamybos sferoje, didžioji veiklos dalis perkeliama į procesų modeliavimą, kurio tikslas – sukurti geriausią gaminio ir proceso alternatyvą virtualioje aplinkoje. Vis daugiau siekiama dirbti ne atskirai paimtoje siauroje inžinerinėje srityje, bet integruotai, numatant ir bendrus keliamus uždavinius, ir specifinius, būdingus siauresnei veiklos sričiai.

Šiuolaikiniai gamybos procesai yra labai įvairūs, naudoja skirtingas medžiagas – metalus, plastikus ir kitus elektroninius, elektrinius bei valdymo mechatroninius komponentus. Kiekviena sritis turi daug spręstinių problemų ir ypatumų, pavyzdžiui: gaminiai iš metalo lakštų, labai plačiai naudojami automobilių ir elektronikos pramonėje, tampa labai sudėtingi ir imlūs darbui, todėl reikalauja ir daug specifinių technologinių žinių. Erdvinių gaminių iš plieno, dažnai vadinamų 3D CAD modeliais, technologijos proceso ir gamybos sąnaudų integruotas projektavimas serijinės gamybos stadijoje turi savų specifinių ypatumų ir sudėtingumą. Jie visi turi būti įvertinti modeliavimo metu. Pramoniniai įrenginiai, naudojami gamybos procesuose, tampa vis sudėtingesni, daugiau mechanizuoti ir iš inžinierių bei operatorių reikalauja aukštos kvalifikacijos ir sumanumo.

Neatsiejamas gaminio ir technologijos kūrimo reikalavimas – siekti aukštos kokybės jau pačioje kūrimo pradžioje. Jeigu gaminio konstrukcijos ir technologijos kokybė nebus numatyta ir užtikrinta projektavimo metu, tai vėliau išskils labai daug sunkumų ir problemų, o tuo pačiu tai pareikalaus ir papildomų išlaidų. Gera kokybė lemia gamybos sėkmę, nes ji užtikrina pagaminto gaminio pridavimą užsakovui pirmu pateikimu. Siekiant kokybės reikia tinkamai paskirstyti technologines operacijas pagal naudojamų įrenginių technines galimybes, kurios leistų be ypatingų pastangų siekti numatytų tikslų. Nors daugelis tyrėjų teigia, kad kokybė turi būti užtikrinta bet kuriuo atveju, t.y. nesiskaitant su jos siekimo sąnaudomis, globalioje gamybos aplinkoje ši sąlyga jau netenkina daugelio užsakovų ir vartotojų. Jie yra pripratę, kad Kinijoje, Malaizijoje, Tailande ar kitoje artimųjų Rytų šalyje įmanoma gaminius ar jų komponentus pasigaminti pigiai, todėl dabar šito jie tikisi ir iš Rytų Europos gamintojų. Lietuvai siekiant išsilaikyti konkurencinėje kovoje siekiant užsakymų ir laimint juos, reikia visomis įmanomomis priemonėmis ieškoti kelių gamybos

sąnaudoms mažinti ir partnerystės patikimumui su užsakovams didinti, ypač išnaudojant gerą geografinę padėtį.

Modeliavimo metu labai svarbu tinkamai įvertinti gaminio ir technologijos proceso vertę ir siekti jos didinimo. Tam tikslui labai padeda gamybos technologijos ir gamybos sąnaudų integruotas modeliavimas ir ankstyvoje, ir serijinės gamybos stadijose. Integruoto technologijų ir gamybos sąnaudų modeliavimo metu analizuojama gaminio paskirtis ir konstrukcija bei tikslas, jo vertė ir charakteristikos, taip pat gaminio konstrukcijos pagaminamumo bei gamybos technologijos alternatyvų įvertinimas. Siekiama technologijos procesų galimybių didinimo ir jų rodiklių gerinimo modeliavimo metu virtualioje aplinkoje. Tai geriausiai įmanoma atlikti gaminio konstravimo ir jo gamybos technologijos proceso integruoto modeliavimo metu, nes priimtų sprendimų teisingumas lengviausiai ir anksčiausiai įvertinamas; tai leidžia laiku daryti reikiamus sprendimus tobulinant technologijos procesą bei siekiant mažiausių sąnaudų. Šiems tikslams pasiekti reikia generuoti didesnę alternatyvų skaičių ir gaminiui, ir jo gamybos technologijai, po to jas įvertinti ir pasirinkti tinkamiausias.

Darbo tikslas. Sukurti gamybos technologijos projektavimo ir gamybos sąnaudų skaičiavimo integruotą modelio struktūrą bei pagrindines jo funkcijas.

Uždaviniai. Magistriniame darbe bus sprendžiami šie uždaviniai:

1. Gamybos technologijos ir gamybos sąnaudų prognozavimo modelio sudarymas ankstyvoje gaminio projektavimo ar jo gamybos užsakymo tyrimo stadijoje,
2. Sudaryto modelio tyrimas gaminiams iš metalo lakštų,
3. Sudaryto modelio tyrimas erdviniams gaminiams iš plieno,
4. Sudaryto modelio tyrimas negamybinės veiklos procesui ir jo gamybos sąnaudoms.

1. TECHNOLOGIJOS PROCESO IR GAMYBOS SĄNAUDŲ MODELIAVIMO LITERATŪROS ŠALTINIŲ APŽVALGA

1.1. Technologijos modeliavimas įvairiems gamybos tipams

Per pastaruosius kelis dešimtmečius labai pasikeitė gamybos aplinka. Ji tapo globali, pasaulinės gamybos centras persikėlė į artimuosius Rytus, gamybos srityje dominuoti pradėjo Kinija, Malaizija, Honkongas ir kitos Azijos valstybės; tuo pačiu ji tapo modernia, gebančia greitai įsisavinti naujų gaminių gamybos procesus. Nežiūrint įvairių gamybos nuosmukių, recesijos bei paklausos svyravimų, paklausa naujiems gaminiams konstruoti ir gamybos technologijoms projektuoti nors ir lėtai, bet didėja. Kuriant naujus gaminius ir jų gamybos technologijas, daugiau naudojamos modernios projektavimo ir gamybos priemonės, išmokstama dirbti su našesnėmis gamybos priemonėmis. Visus šiuos uždavinius reikia spręsti pasitelkus kompiuterizuotos integruotos gamybos sistemas, t.y. visose gaminio kūrimo ir gamybos etapuose (pradedant konstravimu, gamyba ir pardavimu) vengti darbų ir informacijos dubliavimo. Mechaniniams, taip pat elektrotechnikos bei elektronikos gaminiams būdinga labai sudėtinga konstrukcija bei juos sudarančių komponentų įvairovė ir jų sisteminis valdymas [1]. Todėl tik kompiuterizuota integruota gamyba gali efektyviausiai susitvarkyti konstruojant ir gaminant tokius sudėtingus gaminius.

Kompiuteriai gamybos procese gali būti naudojami tiesiogiai ir netiesiogiai. Tiesioginė kompiuterio ir gamybos sąveika bus tada, kai jis betarpiškai valdys, kontroliuos ar reguliuos gamybos procesą pagal tam tikrą programą. Tai būtų kompiuteriais valdomos programinės staklės, mašininiai apdirbimo centrai, robotai bei lanksčios gamybos sistemos (FMS). Netiesioginio kompiuterio naudojimo gamybos procese paskirtis – rinkti, kaupti, apdoroti ir saugoti visą būtiną informaciją apie gamybos procesą, tai kompiuterizuotos gaminių konstravimo (CAD), gamybos procesų planavimo ir technologijų projektavimo (CAPP), gamybos išteklių apskaičiavimo (ERP) ir kitos sistemos. Šiai sričiai taip pat priskiriamos įvairios modeliavimo sistemos ir modeliai naudojami virtualioje gamybos aplinkoje [2]. CAPP sistemos dažniausiai skirtos gaminio ir jo atskirų dalių apdirbimo technologijos procesų sintezei ir atskirų operacijų parinkimui bei planavimui; jos formuoja ryšį tarp CAD ir gamybos kompiuterizuotų posistemų (CAM). CAPP sistemos pirminiai variantai kuriami ankstyvoje technologijos projektavimo stadijoje virtualioje aplinkoje ir jie būna modelio pavidalu. Svarbu kuo anksčiau įvertinti naudotinos technologijos būsimas sąnaudas ir pagaminto gaminio kokybę, nes šie veiksniai yra lemiami proceso galutiniam parinkimui. Virtualus modeliavimas šias operacijas gali atlikti pigiausiai ir, jei reikia, nesunkiai padaryti proceso korekcijas [3]. CAPP posistemiuose labai svarbūs grįžtamieji ryšiai tarp suprojektuotų technologijos procesų, jų realaus panaudojimo, pagamintų gaminių kokybės bei jų

parametrų ir rinkos poreikių tyrimo. CAPP užduotis – kuo anksčiau užtikrinti tokių grįžtamųjų ryšių funkcionavimą, kad laiku būtų galima atlikti gaminių konstrukcijų ir gamybos technologijos korekcijas. Konstrukcijos ir technologijos korekcijos dažniausiai siejamos su gamybos ištekliais – visi nori jų mažiausių. Tačiau mažiausios gamybos sąnaudos pasiekiamos ne vien tik konstrukcinėmis – technologinėmis priemonėmis; dažnai svarbesnėmis tampa strateginės, kai ieškoma pigesnių gamintojų ir kitų organizacinių priemonių. Integruojant inžinerines ir ekonomines priemones [4] dažnai pavyksta žymiai sumažinti gamybos laiką ir sąnaudas. ERP posistemis skirtas padėti daugeliui gamybos procesų funkcijų, ypač naujų gaminių medžiagų poreikio apskaičiavimą ir planavimą, įrengimų naudojimo kontrolę, gamybos proceso operatyvų planavimą, gaminių gamybos kainų apskaičiavimą ir pan. Gamybos sistemų kūrimo strategijai formuoti didelę reikšmę turi ERP struktūriniai moduliai, apskaičiuojantys medžiagų ir darbo imlumo poreikius ankstyvoje naujo gaminio konstravimo stadijoje.

Daroma išvada, kad technologijos modeliavimas aktualus dviems gamybos stadijoms: ankstyvajai ir serijinei. Ankstyvosios stadijos metu naudotini ir technologijos, ir gamybos sąnaudų prognozavimo modeliai, o serijinei – rinkoje esantys įvairūs CAD, CAPP, ERP ir jiems adekvatūs, kurių tikslas padėti greičiau ir geriau projektuoti naują gaminį ir jo gamybos technologiją su visais reikiamaiais darbo ištekliais.

1.2 Technologijos proceso sąnaudų modeliavimas

Kiekvieną gaminio konstrukcijos ir jo gamybos technologijos alternatyvą reikia tikrinti ne tik funkcionalumui bei veiklos parametrams, bet ir gamybos sąnaudoms [5]. Gamybos technologijos tampa vis daugiau globalios, didėja konkurencija tarp gamintojų [6]; laimi tie, kurie daugiau imlūs inovacijoms ir geba greitai sukurtus gaminius gaminti ir tiekti užsakovams. Trumpėja gaminio gamybos ciklas – nuo jo kūrimo pradžios iki pristatymo vartotojams. Tai pasiekti įmanoma tik naudojant efektyvias gamybos technologijų ir valdymo sistemas, ypač paplitusi *laiko – veržlumo sistema* (angliškai *time-driven system*), aprašyta literatūros šaltinyje [5]. Jos esmė – griežtai kontroliuoti kiekvieną gamybos stadiją, pradedant jau nuo naujo gaminio kūrimo. Šis metodas skiria du kelius naujiems gaminiams ir gamybos technologijoms kurti: *spartus gaminio kūrimas ir pagreitintas gaminio kūrimas*. Jeigu viskas gamybos metu daroma sparčiau, tai tuomet mažinamos gamybos sąnaudos įskaitant ir visus projektavimo darbus. Pagreitintas gaminio kūrimas siejamas su vienu ar kitu nauju metodu naudojamu gaminio ir technologijos konstravime. Didžioji dalis mokslininkų, dirbančių ir universitetuose, ir pramonėje. Mažiausių gamybos sąnaudų filosofija apima ne vien tik tiesioginių sąnaudų mažinimą gamybos cechuose ar linijose; daug daugiau galima

sutaupyti gaminių ir gamybos technologijų projektavimo metu, taip pat ieškant daugiau galimų alternatyvų ir jas optimizuojant. Jeigu apie sąnaudas pradeda galvoti naujo gaminio konstravimo metu, kaip siekti kokybės, trumpesnio gamybos laiko ir mažesnių sąnaudų, naudojant platesnį sprendimų standartizavimą, tai gaminio gamybai reikės siekti atitinkamos gamybos technologijos ir įrangos. 1965 - 1985 metų laikotarpyje pasirodė tokios progresyvios sistemos, kaip *visuotinė kokybės vadyba, tiksliai laiku* ir kt. Jų užduotis – siekti aukščiau minėtų tikslų visose gamybos stadijose, ypač vengiant konstrukcijos perkonstravimo serijinės gamybos metu, nekokybiškai pagamintų gaminių taisymo ir pan.

Kitas kelias gamybai spartinti ir sąnaudoms mažinti yra vienalaikės inžinerijos metodų taikymas naujų gaminių projektavime ir gamyboje [7]. Trumpesnis naujo gaminio pristatymo laikas rinkoms ne visada reiškia didesnes gamybos sąnaudas. Taikant modernius gamybos vadybos, informacinių technologijų metodus, galima trumpinti projektavimo ir gamybos laiką netgi mažinant gamybos sąnaudas. Gaminio kokybė, gamybos sąnaudos ir pristatymo laikas vartotojui priklauso ne vien tik nuo gaminio geometrinės formos, medžiagų, matmenų tolerancijų bei jų glotnumo reikalavimų ir kt., bet ir nuo gaminio kūrimo būdo atlikimo. Pradėjus konstruoti naują gaminį, jo gamybos sąnaudos pradeda augti dėl personalo atlyginimo, įrenginių, licenzijų ir pan., kai tuo metu konkurentų gaminamų analogiškų gaminių kainos mažėja projektavimo laikui bėgant dėl šių priežasčių:

- Nuolatinio esančių procesų gerinimo,
- Sąnaudų mažinimo esančiose konstrukcijose,
- Patirties didėjimo apie gaminamus gaminius ir gamybos technologijas.

Vienalaikės inžinerijos esmė – galimai didesnis skirtingų procedūrų (gaminio konstravimo, technologijos ir įrangos projektavimo bei bandomojo pavyzdžio gamybos) sutapatinimas laike ir stengiantis suprasti gretimų sričių darbo ypatumus. Tokiu būdu, skirtingų sričių specialistai (konstruktoriai, technologai, planuotojai) turi suprasti ir žinoti gretutinių specialybių ypatumus ir tinkamai bendradarbiauti vienu metu darydami skirtingus darbus. Skirtingi darbai neturi būti daromi uždaroje erdvėje, bet atvirai bendraujant ir sprendžiant išskylančias problemas.

1.3. Magistrinio darbo temos parinkimo pagrindimas

Atlikus šią nedidelę naujų gaminių ir jų gamybos technologijų projektavimo literatūros apžvalgą, taip pat analizuojant Lietuvos pramonės ypatumus, aiškėja dabar egzistuojančios šios srities problemos. Lietuva dar vis jaučia daug sunkumų ieškant inovatyvių sprendimų ir kuriant naujus gaminius, ir jų gamybos technologijas, matosi daug problemų darbo našumo srityje, siekiant aukštesnės gaminių kokybės ir mažesnių gamybos sąnaudų. Ne visi įvairių lygių gamybos vadovai

ir inžinieriai vienodai gerai supranta minėtus sunkumus ir yra pasirengę juos šalinti. Daug yra gamyboje dirbančių žmonių klaidingai mąstančių, kad problemos jų neliečia ir jas spręsti turi kažkas kitas, bet tik ne aš.

Magistriniame darbe pasirinkta modeliavimo mokslinė sritis turi būti naudojama virtualioje gamybos aplinkoje. Prieš imantis realių darbų, naudojant realias medžiagas, įrankius ir įrenginius, reikia galimai geriausiai sukurti gaminamus gaminius, jų gamybos technologiją ir įrangą. Tai atlikti yra geriausiai tam tikslui specialiai sukurtais modeliais: gaminiams konstruoti ir technologijoms projektuoti, darbo našumui skaičiuoti, kokybei modeliuoti ir tikrinti ir kt. užduotims atlikti. Visoms čia išvardintoms užduotims labai svarbu būna tikrinti kiekvienos veiklos sąnaudas bei sukuriama vertę. Lemiamas veiksnys kuriant gamybos organizacijos vertę yra gaminamų gaminių pardavimų sėkmė rinkose ir patiriamos sąnaudos sukurtai vertei pasiekti. Gaminių sėkmė ir naudojamų technologijų lygis jiems gaminti labiausiai priklauso nuo organizacijoje dirbančių inžinierių, darbininkų ir kitų darbuotojų kvalifikacijos, jų motyvacijos siekti geriausių rezultatų ir bendradarbiavimo su kitais specialistais organizacijos viduje ir jos išorėje. Tokiam tikslui pasiekti geriausiai tinka vienalaikės inžinerijos metodai [7], kuriuos naudojant galima siekti geros bendradarbiavimo sąveikos tarp visų aukščiau paminėtų gamybos organizacijos specialistų ir darbuotojų. Taip pat būtina naudoti gaminio konstravimo parametrui X (DFX) metodą [8], apimančią geriausios praktikos pavyzdžius konstruojant gamybos lengvumui (DFM), surinkimui (DFA), mažiausioms sąnaudoms (DFC) ir kitiems progresyviems būdams pasiekti.

Realizuojant kiekvieną sukurtos technologijos alternatyvą, reikia naudoti realias medžiagas, įrenginius, technologinę įrangą ir įrankius, taip pat energiją bei darbuotojų darbo laiką. Visos šios veiklos reikalauja sąnaudų; modeliavimo paskirtis – vienu metu su kuriama procesu reikia tikrinti ir technologijos proceso realizavimo metu atsirandančias sąnaudas. Tikrinant sąnaudas galima pastebėti kuriose veiklos dalyse jos didžiausios ir tuomet ieškoti būdų joms mažinti. Tačiau mažinant gamybos sąnaudas, reikia nepamiršti ir kokybės problemų, nes jų gali atsirasti ir dėl didinamų darbo režimų, ir dėl medžiagų sąnaudų mažinimo.

Visos čia nurodytos problemos iškeltos magistrinio darbo tikslu ir nurodytuose darbo uždaviniuose. Tai pasiekti lengviausia naudojant atitinkamos paskirties technologijos kūrimo ir jos realizavimo sąnaudų modelius, kurie nagrinėti baigiamajame darbe.

2. TECHNOLOGIJOS PROCESO PROJEKTAVIMO MODELIO KŪRIMAS IR TYRIMAS

2.1. Technologijos proceso modeliavimo ypatumai gamybinei ir negamybinei veiklai

Gamybinės veiklos modeliavimo ypatumai. Kuriami technologijos procesai gamybinei veiklai grindžiami specifinėmis žiniomis ir faktais, todėl reikalauja daug eksperimentinės plėtos darbų. Kiekvieno gaminio gamybos technologija tiesiogiai priklauso nuo jo konstrukcijos ir charakteristikų, naudojamų medžiagų, gaminio paskirties bei gamybos apimties. Kitaip tariant, gamybos technologijos struktūra ir gamybos sąnaudos apsprendžiamos gaminio konstrukcija, jo charakteristikomis ir kitais ypatumais.

Gamybos technologijos procesams kurti ir tobulinti labai didelę reikšmę turi integruotas modeliavimas, kuris jau ankstyvoje naujo gaminio projektavimo stadijoje gali anksti prognozuoti technologijos struktūrą, jos galimybes, reikiamus įrengimus, technologinę įrangą ir laukiamas gamybos sąnaudas. Tokio integruoto modeliavimo esmė – atitinkamos programinės įrangos naudojimas kiekvienai gaminio alternatyvai įvertinti, ir reikalui esant, keisti ir gaminio konstrukciją, ir jo gamybos technologiją. Čia svarbu žinoti ir suprasti kitų gamintojų pasiekimus, darbo tikslus ir mokėti rasti geriausius medžiagų bei standartinių komponentų tiekėjus. Dažnai geriau apsimoka taikyti „*gaminti ar pirkti*“ strategiją, kai sėkmingai rasti partneriai gali pagaminti ruošinius ar net atskiras gaminio detales ir pigiau, ir tiksliau, tuo pačiu padėdami greičiau siekti užsibrėžtų tikslų. Tokiu būdu, integruotas technologijos projektavimo modelis turi padėti spręsti nemažai šalutinių uždavinių, kurie lyg tiesiogiai ir nesusiję su technologinėmis problemomis, bet yra labai svarbūs globalioje gamybos aplinkoje.

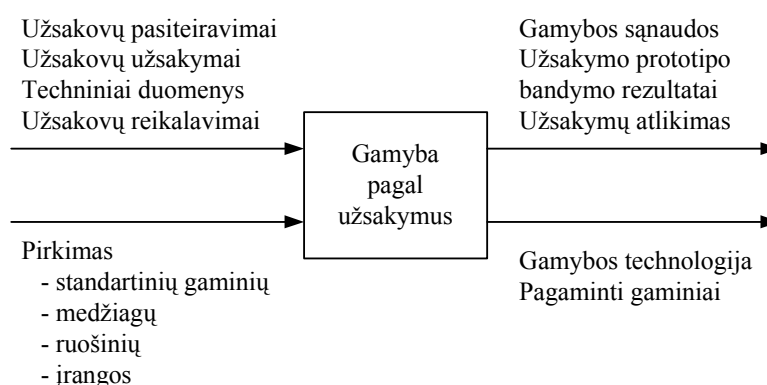
Mokslinis gamybos technologijos integruotas modeliavimas turi siekti atstovauti empirinius objektus, reiškinius ir gamybos metu vykstančius fizikinius procesus logine veiksmų seka. Sukurtas technologijos integruoto projektavimo modelis turi vaizdžiai atspindėti realybę be rezultatų falsifikavimo ir nepaisant likusių netikslumų, jis turi būti ypač naudingas. Organizacija naudojanti sukurtus modelius turi gauti apčiuopiamą naudą savo veikloje. Integruotas technologijos projektavimo modelis turi gebėti prognozuoti ir pačią technologiją, ir jos naudojimo metu patiriamas gamybos sąnaudas. Prognozavimo rezultatų tikslumas labai priklauso nuo gautų rezultatų tikrinimo su faktiniais, realiais duomenimis, kuris turi būti nuolat atliekamas. Toks nuolatinis prognozavimo rezultatų tikrinimas ir prognozavimo modelio koregavimas pagal tikrinimo rezultatus, gali žymiai padidinti prognozavimo modelio tikslumą ir teikti apčiuopiamą naudą jau ankstyvoje naujo gaminio projektavimo stadijoje. Šiuolaikinėje gamybos aplinkoje dažnai gamybos organizacijos neturi savo gaminių kūrimo padalinių, o darbo rinkoje išsilaiko tik gamindamos kitų organizacijų ar užsakovų sukurtus gaminius. Tipinė gamybos forma vadinama

gamyba pagal užsakymus (angliškai order-handled manufacturing system). Tipinė tokios gamybos veiklos modelio blokinė schema pateikta 2.1 pav. Joje įvesties duomenys skirstomi į dvi dalis:

1. Užsakovų pasiteiravimai, užsakymai, gaminamų gaminių techniniai duomenys ir reikalavimai, bei
2. Standartinių gaminių, medžiagų ar ruošinių ir įrangos pirkimas.

Išvesties duomenys taip pat skirstomi į dvi dalis:

1. Gamybos sąnaudos, užsakymų atlikimo terminai ir užsakymo prototipo bandymo rezultatai, ir
2. Pagaminti gaminiai.



2.1 pav. Įvesties-išvesties gamybos pagal užsakymus modeliavimo schema

Lietuvoje tokio tipo gamybos įmonių yra didžiausias kiekis (apie 80 %), pagrindinis tokio tipo įmonių trūkumas – sukuriama maža pridėtinė vertė, nes mažai įdedama inžinerinio darbo; pagrindinis privalumas – įmonės ir dirbantieji turi darbo ir pragyvenimo šaltinį. Pagal tokią veiklos schemą dirba įmonės gaminančios nesudėtingus gaminius iš plieno, plastikų, medžio ir kitokių medžiagų; praktiškai tai žemiausio sudėtingumo lygio gaminiai, o jų gamintojai neturi savo, kaip gamintojo ženklo. Pagrindinė naudojamų technologijų užduotis šio tipo įmonėms – sukurti tokias technologijas, kurios užtikrintų mažiausias gamybos sąnaudas, aukštą gaminių kokybę ir savalaikį pagamintos produkcijos pristatymą vartotojui. Šių reikalavimų neįvykdžius, gamybos įmonė negalėtų išsilaikyti rinkos konkurencinėje kovoje. Todėl labai svarbu šio tipo įmonėms geri partnerystės ryšiai su užsakovais, tiekėjais ir kitais gamintojais, o gamybos inžinieriams ir technologams tai prisiminti, žinoti ir suprasti projektuojant technologijas įvairiems gaminiams ir detalėms gaminti.

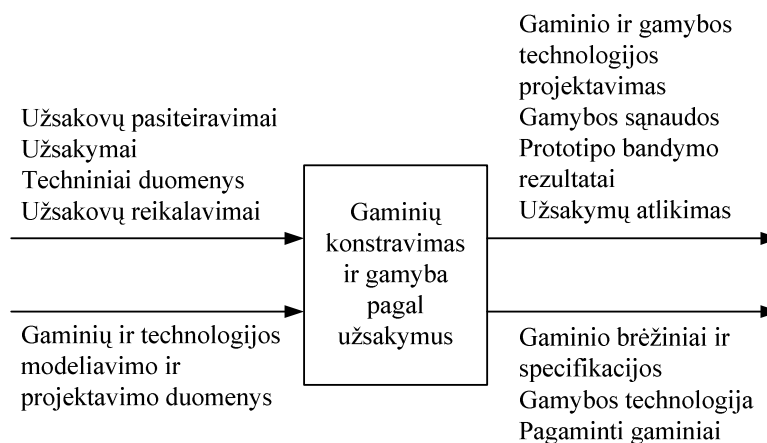
Aukštesnio lygio gamintojai yra tie, kurie taip pat dirba pagal užsakymus, bet turi galimybę patys konstruoti užsakomus gaminius (2.2 pav.). Dirbant pagal šią schemą reikia turėti patirties ir noro konstruoti gaminius pagal užsakovų pateiktus pageidavimus.

Įvesties duomenys:

1. Užsakovų pasiteiravimai dėl gaminių konstravimo pagal pateiktus techninius duomenis ir reikalavimus,
2. Gaminių ir technologijos modeliavimo bei projektavimo duomenys.

Išvesties duomenys:

1. Gaminio konstrukcija ir jo gamybos technologija, gamybos sąnaudos, prototipo bandymų rezultatai, užsakymų atlikimas,
2. Gaminio brėžiniai ir specifikacijos, gamybos technologija, pagaminti gaminiai.



2.2 pav. Gaminių konstravimo ir gamybos pagal užsakymus schema

Šio tipo įmonės gali sukurti didesnę pridėtinę vertę, nes užsakymams atlikti turi panaudoti daugiau žinių ir kvalifikuotesnio inžinerinio darbo. Labiausiai paplitę šio tipo gaminiai yra šampai detalėms šampuoti iš lakštinio plieno, taip pat aukšto spaudimo liejimo formos detalėms iš plastikų lieti, taip pat kiti įvairiausios paskirties vienetinės gamybos gaminiai, įrenginiai ar technologijos įranga. Gaminiai ir jų gamybos technologija ankstyvoje konstravimo stadijoje modeliuojami taikant integruotus modelius, taip pat naudojant vienalaikės inžinerijos metodus [7]. Pagrindinis šio metodo trūkumas – įmonė gamintoja neturi savo gaminių ir yra labai priklausoma nuo užsakovų. Privalumas – kaupiama gaminių konstravimo ir gamybos patirtis, kuri vėliau gali praversti siekiant savų gaminių šalies ir užsienio rinkose. Kuriant ir gaminant savus gaminius galima pasiekti aukščiausio tobulumo ir veiklos efektyvumo, nors tai daryti yra sunkiausia.

Negamybinės veiklos ypatumai. Šiai veiklai priskiriamos įvairiausių rūšių paslaugos, transporto organizacijų veikla, pirkimo – pardavimo organizacijų veikla bei kitose negamybinės veiklos sferose veikiančios įmonės. Struktūriniu ir strateginiu požiūriu šiai veiklai priskiriamos įmonės ir jų struktūros labai panašios į gamybines įmones, tik jose yra skirtingas veiklos pobūdis, atliekamos operacijos, naudojami įrenginiai ir įranga. Bendrieji požymiai – didelė konkurencija ieškant veiklos klientų ar vartotojų, o paslaugų kokybės didinimas ar veiklos sąnaudų mažinimas atliekamas

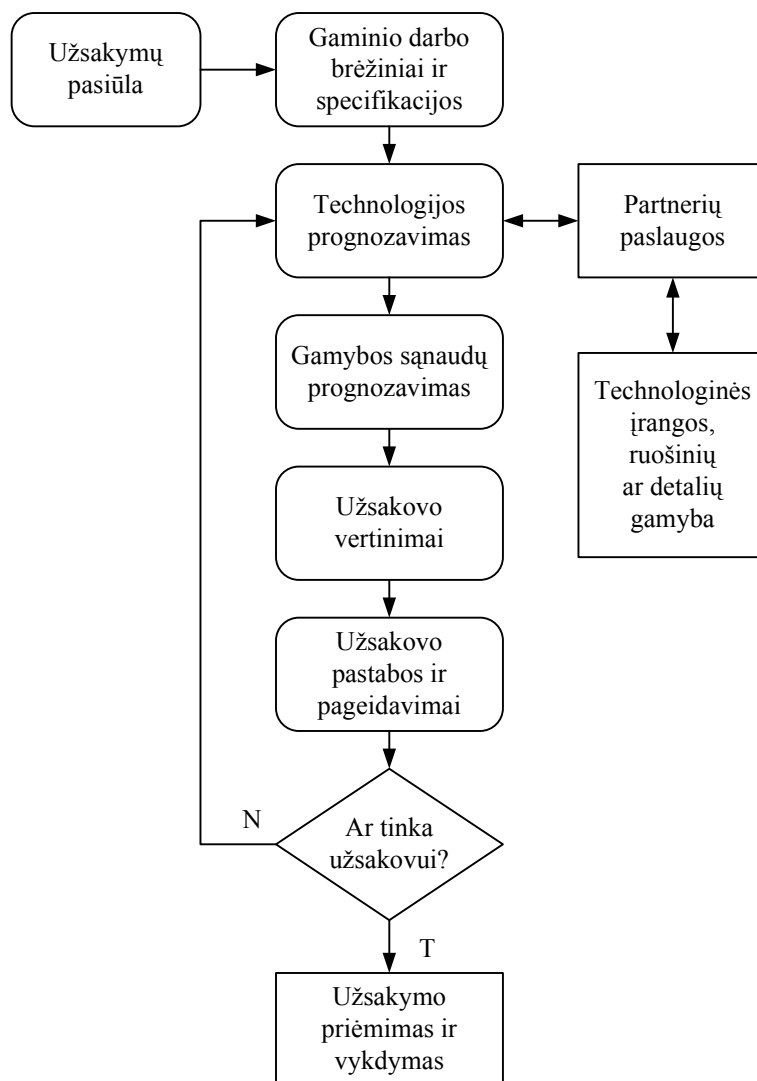
naudojant analogišką gamybos įmonių metodiką. Dalis negamybinės veiklos įmonių, pavyzdžiui, transporto paslaugų nuolat dirba pagal užsakymus (2.1 pav.), o kitos kuria savo verslą naudodamos 2.2 pav. parodytą metodiką. Be abejo, šioje srityje reikalingos kitokios, konkrečiai veiklai būdingos žinios ir patirtis, kuri ugdoma ir veiklos metu, ir studijuojant konkurentų ar partnerių veiklą bei patirtį. Tam tikslui gali daug padėti atitinkamos literatūros šaltiniai bei kita skleidžiama naudinga informacija. Negamybinės veiklos specialus atvejis išnagrinėtas šiame baigiamajame darbe.

2.2. Technologijos proceso modeliavimas ankstyvoje gaminio projektavimo stadijoje

Siekiant geresnių gamybinių – finansinių rezultatų, reikia nuolat galvoti apie savų inovatyvių gaminių konstravimą, puoselėjimą ir gamybą. Šiuolaikinės gamybos svarbiausias ypatumas – mažėja gaminių gamybos apimtys, o jų įvairovė nuolat didėja; tai iššaukia nuolatinį masinės gamybos mažėjimą, jai palaipsniui pereinant prie serijinės gamybos apimčių. Serijinės gamybos technologijos procesai turi pasižymėti didesniu lankstumu ir operatyvumu keičiant vieno tipo gaminių gamybą kitais. Gaminių įvairovė dažnai didinama bazinius gaminius pritaikant didesniai vartotojų skaičiui ar ieškant gaminių pirkėjų kitose šalyse ir rinkose; tai įmanoma padaryti praplečiant gaminių funkcionalumą, keičiant formą, matmenis ar net visą gaminio dizainą. Tai pasiekti įmanoma tik glaudžiai bendradarbiaujant įvairioms gamybos įmonės tarnyboms ir ieškant didesnio vartotojo palankumo ir dėmesio gaminamai produkcijai. Gamybos technologijos kūrėjai čia turi būti labai aktyvūs, ieškodami ir naujų apdirbimo metodų, įrangos bei inovatyvių pokyčių gaminio konstrukcijoje. Naujoms idėjoms, technologiniams sprendimams gauti minėtas bendradarbiavimas yra neišsenkama dirva.

Visus svarbiausius gaminio konstrukcijos ir jo gamybos technologijos sprendimus reikia priimti ankstyvoje projektavimo stadijoje, kol dar nesuprojektuota ar neužsakyta technologijos įranga, kiti standartiniai komponentai ar medžiagos. Gaminant gaminius pagal užsakovų užsakymus, minėta ankstyvoji technologijos projektavimo stadija ryškiai neatskiriama nuo gaminio gamybos. Ji dažnai būna labai trumpa ir jos metu priimami sprendimai dėl naudojamos technologijos, įrangos ir gamybos sąnaudų, kurias turi patvirtinti užsakovas. Jos trukmę apriboja trumpas užsakymo atlikimo laikas ir dažna užsakymų kaita. 2.3 pav. pateikta gamybos pagal užsakymus technologijos projektavimo schema. Darbo pradžioje atsirenkami įmanomi pagaminti užsakymai, prognozuojamos jų gamybos technologijos kelios alternatyvos, svarstomos partnerių galimybės pigiausiems variantams rasti, modeliuojamos gamybos sąnaudos, jos derinamos su užsakovais, įvertinamos jų pastabos ir galutiniai reikalavimai ir užsakymas pradedamas vykdyti. Labai svarbu, kad gamybos technologas būtų plačios erudicijos specialistas – ne tik puikiai išmanytų visus gamybos technologijos niuansus, bet ir puikiai orientuotųsi aplinkoje, gerai suprastų užsakovų

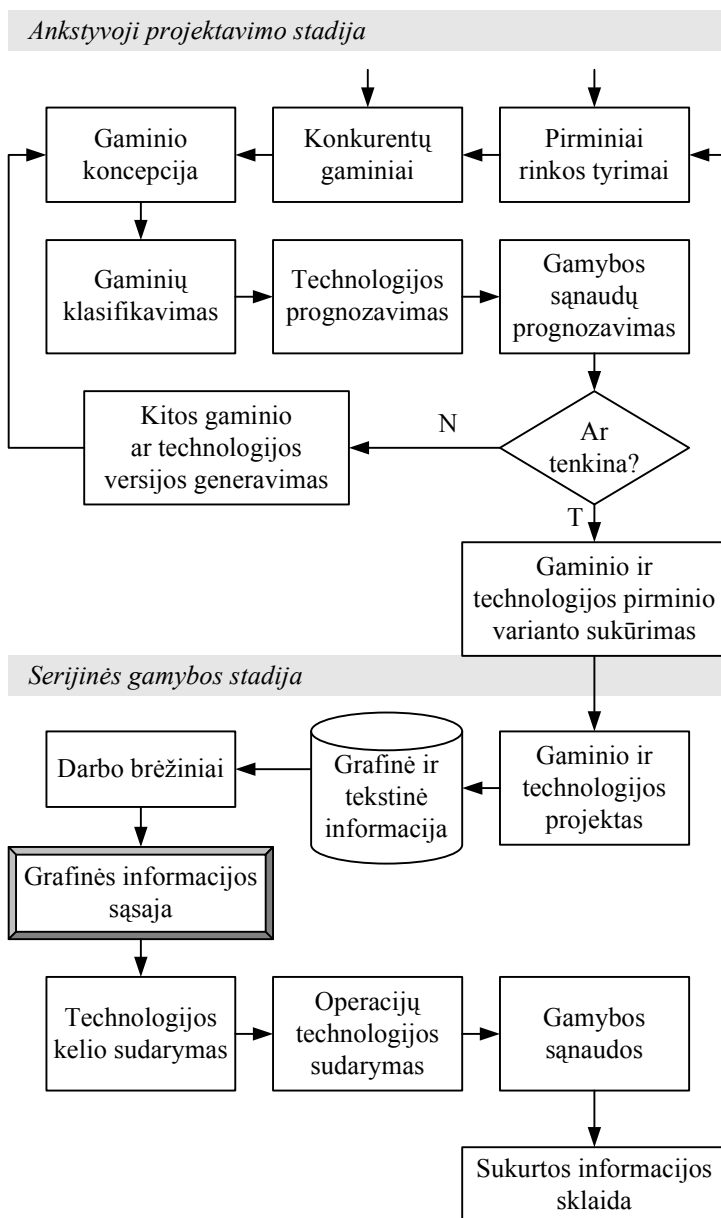
norus ir pageidavimus, partnerių galimybes ir nuolat ieškotų kelių gaminių kokybei didinti ir darbo sąnaudoms mažinti.



2.3 pav. Gamybos pagal užsakymus technologijos projektavimo algoritminė schema

2.3. Technologijos proceso modeliavimas serijinėje gaminio projektavimo stadijoje

Projektuojant serijinės gamybos ir naują gaminį, ir jo gamybos technologiją, naudojamos dvi projektavimo stadijos: ankstyvoji – tai gaminio konstrukcijos ir jo gamybos technologijos integruotas modeliavimas virtualioje aplinkoje, ir serijinės gamybos stadija, kurioje sudedami paskutiniai technologiniai akcentai ir atliekamos suplanuotos gamybos operacijos (2.4 pav.). Serijinės gamybos prioritetasis – savas gaminytis, todėl ankstyvoje gamybos stadijoje daug dėmesio skiriama gaminio koncepcijai sukurti, konkurentų gaminių analizei ir rinkos tyrimams.



2.4 pav. Ankstyvosios projektavimo ir serijinės gamybos stadijos technologijos integruoto projektavimo modelio struktūra

Tam labai padeda sukurti gaminų klasifikatoriai ir užsakovų atsiliepimų apie gaminamą produkciją tyrimai bei jų pageidavimų analizė. Jeigu serijiniu būdu gaminami užsakovų sukurti gaminiai, tai minėtos funkcijos gamintojui sumažėja iki minimumo. Turint gaminio koncepciją, modeliuojamos kelios jo gamybos technologijos alternatyvos, gamybos sąnaudos, tikrinamos su rinkoje esamais variantais bei analogais ir pasirenkamas pirminis gaminio ir jo gamybos technologijos variantas, kuris toliau rengiamas serijinei gamybai: braižomi darbo brėžiniai, sudaromos specifikacijos ir technologinės kortelės, tikslinamos operacinės kortelės ir jų darbo sąnaudos ir teikiama tolesnė sukurtos informacijos sklaida.

Kuriant inovatyvius gaminius ir jų gamybos technologinius procesus labai svarbu tinkamai išnaudoti integruoto modeliavimo privalumus, kai ankstyvoje projektavimo stadijoje kuriama gaminio koncepcija. Tačiau tinkamam modeliavimo procesui reikalingi atitinkami modeliai, gebantys iš gaminio koncepcijos duomenų gauti ir jo savybių bei charakteristikų, ir technologijos parametrų svertinius atributus. Modeliuojant minėtus dydžius naudojamos įvairios prielaidos, žinios apie technologines operacijas, jų galimybes ir tikslumus, įrenginius bei spėjamus apdirbimo laikus. Tik reikiamai įvertinus modeliavimo rezultatus ir radus geriausią virtualią alternatyvą, galima toliau tęsti darbus kuriant gaminio darbo brėžinius, specifikacijas ir technologinę dokumentaciją. Jei virtualūs gaminio ir jo gamybos technologijos modeliai padaryti be klaidų ir parinkti iš kelių alternatyvų, tai nauda serijinės gamybos stadijoje bus akivaizdi.

2.4. Gaminio konstrukcijos pagaminamumo įvertinimas

Šiuolaikinėje gamybos aplinkoje yra svarbu kaip galima anksčiau įvertinti gaminio konstrukciją bei nustatyti išlaidas, skirtas gaminio gamybai ir surinkimui. Tai leistų jau ankstyvoje gaminio projektavimo stadijoje priimti tinkamus sprendimus bei išvengti klaidų susijusių su gaminio konstrukcijos trūkumų pašalinimu. Tam tikslui reikia taikyti konstravimo siekiant gamybos lengvumo (DFM) ir konstravimo siekiant rinkimo lengvumo (DFA) metodus [8]. Šių metodų esmė yra gaminio konstravimo ir technologijos procesų projektavimo integravimas, o jų pagrindinis tikslas padėti inžinieriams siekti aukštos gaminio kokybės bei mažiausių gamybos sąnaudų. DFM ir DFA gali būti apibrėžta kaip sisteminė procedūra, kurios tikslas padėti inžinieriui konstruktoriui siekti racionalių apdirbimo metodų ir mažiausio renkamų detalių skaičiaus gaminyje. Kartais abu minėti metodai jungiami į vieną visumą DFM/A ir kompleksiskai sprendžia du prieštarungus metodus, nes mažinant renkamų detalių skaičių gaminyje, likusių detalių konstrukcija sudėtingėja ir jų gaminimas sunkėja. Pagrindiniai DFM/A metodo uždaviniai:

- Siekti gaminio konstrukcijos, kuri nekeltų problemų ją gaminant ir nedidintų gamybos sąnaudų,
- Pateikti taisykles ir būdus, kurie pagerintų gaminio surenkamumą ir išlaidas, lengviau sujungiant komponentus,
- Pateikti taisykles ir būdus, siekiant ekonomiško apdirbimo, tinkamo medžiagų ir apdirbimo procesų parinkimo,
- Sudaryti metodiką gaminio apdirbamumui analizuoti ir teikti pasiūlymus konstrukcijai gerinti,
- Sukurti fundamentalius gero konstravimo principus,

- Sukurti metodiką siekti aukštesnės gaminio kokybės jo konstravimo metu tuo pačiu užtikrinant konstrukcijos patikimumą.

DFM/A metodų sprendžiamos problemos gali būti suskirstytos į tris kategorijas:

1. Nustatymas ar gaminio konstrukcinis elementas (DF) gali būti sudarytas tenkinant jo kvalifikacinius parametrus (matmenų tikslumą bei paviršių glotnumą) ir gamybos sąnaudų reikalavimus.
2. Išsiaiškinimas, ar jungiant kelias detales į vieną visumą jų konstrukciniai elementai nekels technologinių problemų.
3. Tinkamiausios technologijos įrangos skirtos gaminiui gaminti ir rinkti numatymas.

Pirmajai DFM/A problemai tikrinti ankstyvoje gaminio konstravimo stadijoje, buvo sukurta specifinė analizės schema pateikta 2.5 pav. Pirmasis žingsnis atliekant konstrukcinių elementų analizę yra jų atpažinimo procedūra, susidedanti iš DF tipo ir kokybinių-kiekybinių parametrų nustatymo bei jų apdirbimo alternatyvų sudarymo. Visada turi būti numatomi keli apdirbimo variantai, iš kurių reikia pasirinkti optimalų, naudojant tikslo funkciją apdirbimo trukmei rasti. Atliekant kiekvieno konstrukcinio elemento apdirbimo būdų įvertinimą, galimi tokie sprendimo variantai:

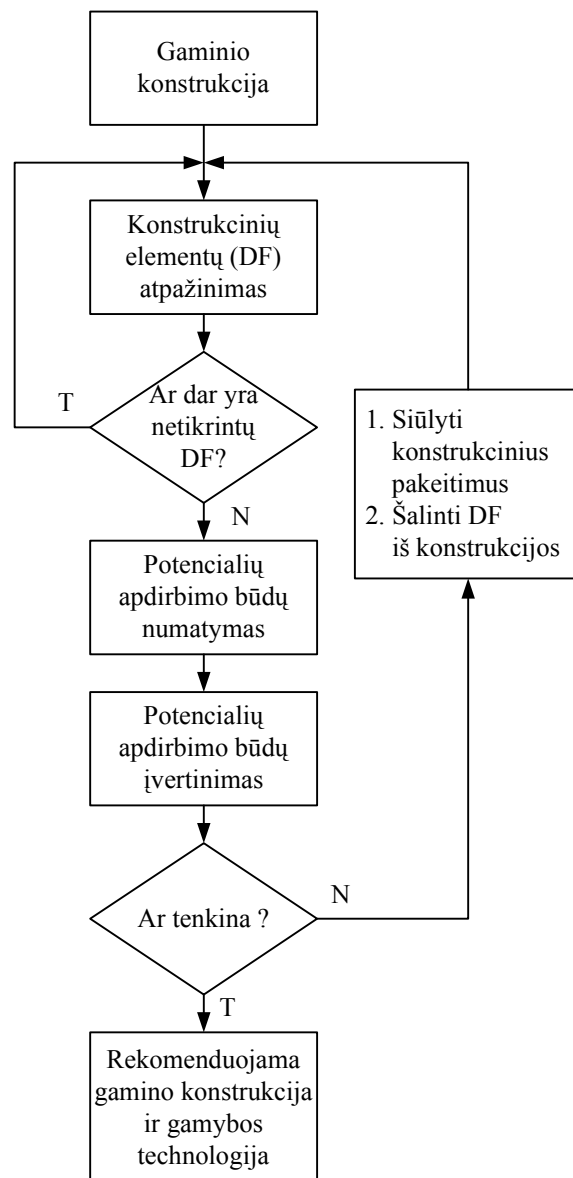
- Jei konstrukcinį elementą galima apdirbti naudojant kelis alternatyvius procesus, tai pasirenkamas vienas optimalus DF apdirbimo variantas,
- Gali būti siūlomi gaminio konstrukcijos ir atskirų DF pakeitimai tam, kad būtų įmanoma pagerinti jo apdirbamumą,
- Jei DF apdirbti neįmanoma žinomais metodais ir esamais įrengimais bei technologine įranga, tai toks konstrukcinis elementas gaminyje eliminuojamas ir ieškomas kitas.

Tokiu būdu DFM/A metodas gali būti naudojamas šiose projektavimo stadijose:

1. Gaminio koncepcijos sudarymo stadijoje, kai dar nežinoma gaminio forma ir konstrukcija,
2. Medžiagų ir apdirbimo procesų parinkimo stadijoje, kai dar nėra žinomi technologiniai procesai,
3. Detalaus gaminio projektavimo stadijoje, kai kuriama jo konstrukcija ir gaminio dalių gamybos technologija,
4. Gaminio rinkimo ir testavimo stadijoje, kai kuriama jo rinkimo technologija ir įranga.

Pagrindiniai DFM/A įrankiai naudojami gaminio konstrukcijos pagaminamumui įvertinti yra CAPP (kompiuterinė technologijos kelio projektavimo) programa [9], sukurta KTU Gamybos technologijų katedroje. Jos dėka bei naudojamais DFM/A metodais galima gerinti kuriamo gaminio kokybę, mažinti gaminio gamybos sąnaudas, konstrukcijos pakeitimų skaičių bei trumpinti pagaminto gaminio pristatymo vartotojui trukmę. Labiausiai paplitę DFM/A įrankiai yra šie [8]:

1. *Konstravimo aksiomos.* Jos turi būti priimtinos visiems projektavimo sprendimams, t.y. tikti visiems projektavimo etapams. Tokios aksiomos buvo sudarytos remiantis daugelio sėkmingų projektų analize, grįsta gaminio funkcionalumu ir priimtų sprendimų paprastumu. Tačiau aksiomų taikymas nėra paprastas, nes dėl jų abstraktiškumo reikalauja iš projektuotojų praktinės patirties geriausiems sprendimams rasti.



2.5 pav. Gaminio konstrukcijos analizė pagaminamumui

2. *Konstravimo aksiomos.* Jos turi būti priimtinos visiems projektavimo sprendimams, t.y. tikti visiems projektavimo etapams. Tokios aksiomos buvo sudarytos remiantis daugelio sėkmingų projektų analize, grįsta gaminio funkcionalumu ir priimtų sprendimų paprastumu. Tačiau

aksiomų taikymas nėra paprastas, nes dėl jų abstraktiškumo reikalauja iš projektuotojų praktinės patirties geriausiems sprendimams rasti.

3. *DFM nuorodos*. Šios nuorodos yra sudaromos remiantis daugiamete praktine gaminių projektavimo ir gamybos patirtimi. Paprastai jos pateikiamos kaip direktyvos, kurios turėtų skatinti kūrybiškumą bei nurodytą kelią, kaip projektuoti gaminį siekiant gamybos lengvumo (2.1 lentelė).

DFM nuorodos tik pataria, tačiau negali pakeisti konstruktoriaus talento ar patirties. Šios nuorodos turėtų būti suprantamos kaip „racionalūs pasiūlymai“. Jais galima siekti aukštos gaminio kokybės, mažų gamybos sąnaudų ir gaminio gamybos lengvumo. Tai jokių būdu nėra dogmos ir esant ypatingiems atvejams galima jų nesilaikyti, pavyzdžiui, jei jos prieštarauja rinkos poreikiams ar kuriamo gaminio funkcionalumui. Tokiu atveju reikia ieškoti tinkamesnių alternatyvų.

DFA nuorodos [8]. Viena atsakingiausių gaminio gamybos funkcijų yra jo rinkimas iš atskirų detalių ir komponentų į vieną visumą. Tai paskutinis gaminio gamybos etapas, kuriame išryškėja visi gaminio konstravimo ir detalių apdirbimo procesų trūkumai. Jei gaminio rinkimas vyksta sklandžiai, tai reiškia, kad puikiai funkcionuoja DFM ir kitos gaminio gamybos dalys. Paprastai DFA susideda iš dviejų pagrindinių dalių:

- 1) rinkimo poroje naudojamų detalių formų ir tipų klasifikatoriaus, padedančio konstruktoriui parinkti lengviausiai renkamas detalių poras;
- 2) surinkimo proceso taisyklių, pasiūlymų, reikalavimų bei nuorodų, kad DFA būtų panaudotas tinkamai.

2.1 lentelė. DFM nuorodų fragmentas

Nr.	Nuorodos turinys
1.	Gaminio konstravimo metu reikia siekti minimalaus originalių detalių skaičiaus
2.	Akcentuoti standartinius komponentus ir modulinį gaminio konstravimo principą
3.	Konstruoti detales taip, kad jos galėtų atlikti didesnę funkcijų skaičių
4.	Konstruoti detales taip, kad jos tiktų didesnei gaminio variantų įvairovei
5.	Konstravimo metu siekti detalių gamybos lengvumo
6.	Vengti lanksčių gaminio elementų, nes jei sunkiau apdirbami ir renkami
7.	Naudoti žinomų ir patikrintų tiekėjų komplektacijos gaminius
8.	Naują gamybos technologiją naudoti tik tada, kai tai būtina
9.	Siekti paprastesnių detalės gamybos operacijų
10.	Naudoti tik patikrintų galimybių operacijas
11.	Vengti gaminio konstrukcinių elementų, kurie anksčiau nebuvo naudoti
12.	Vengti detalių su sunkiai prieinamais apdirbimui paviršiais
13.	Užtikrinti mechaniškai apdirbamų detalių standumą
14.	Užtikrinti, kad aklinos skylės baigtųsi kūginiu dugnu, o vidinio sriegio ilgis aklinoje skylėje nesiektų jos dugno
15.	Vengti detalėse skylių su staigiais posūkiais
16.	Užtikrinti, kad cilindriniai sukimosi paviršiai būtų koncentriški, o galiniai paviršiai statmeni sukimosi ašiai
17.	Užtikrinti, kad vidiniai cilindriniai skersmenys mažėtų nuo apdirbimui atviros plokštumos
18.	Užtikrinti, kad išoriniai cilindriniai skersmenys didėtų nuo apdirbimui atviros plokštumos
19.	Vengti vidinių konstrukcinių elementų ilguose gaminio komponentuose
20.	Vengti komponentų su labai mažomis ar labai didelėmis santykio L/D reikšmėmis
21.	Apriboti vidinius cilindrinis paviršius ilgose prizminėse detalėse

22.	Vengti ypač ilgų ar ypač plonų prizminių detalių
23.	Vengti aklinių gręžtų skylių dideliuose kubo formos komponentuose
24.	Vengti vidinių mechaniškai apdirbamų kubo formos konstrukcinių elementų

Šios nuorodos susistemintos įvairiems gaminiams bei gamybos sistemoms ir paruošiamas algoritmas DFA kompiuterizuotai sintezei. Jame nurodoma: rankinio ir robotizuoto rinkimo parametrai (originalių detalių ir bendras detalių skaičius, galimi renkamo gaminio variantai, įrenginiai ir technologinė įranga – robotai, orientavimo mechanizmai, detalių sukaupėjai ir kt., taip pat surinkimo operacijų trukmė bei rinkimo proceso sąnaudos). Vartotojui pasirinkus vieną iš DFA siūlomų rinkimo metodų, toliau dirbama individualiai analizuojant visas surenkamas detales bei ieškant geriausių sprendimų. Analizės metu tikslinama detalių geometrija, detalių orientavimo efektyvumas sukaupėjuose, tikslinamos „siauros rinkimo vietos“ ir atskirų rinkimo variantų sąnaudos. Ieškoma būdų, kaip varžtinius sujungimus pakeisti kitais, pavyzdžiui, presuotais ar kniediniais. Ypatingas dėmesys kreipiamas į smulkių detalių rinkimą, nes tai dažnai brangiau kainuoja lyginant su stambių detalių rinkimu, todėl reikia gaminyje išlaikyti racionalią pusiausvyrą tarp jų sudarančių detalių dydžių. Didelę įtaką rinkimo darbo imlumui turi rinkimo operacijų ir veiksmų seka, kurią keičiant ar įvairiai derinant galima siekti surinkimo operacijų minimumo. DFA yra vienas iš potencialių būdų siekiant padidinti rinkimo operacijų efektyvumą ir sumažinti jų gamybos sąnaudas.

Kompiuterizuotas DFM. Konstruktoriai bei technologai turi laikytis tam tikro darbų grafiko, todėl dažniausiai jiems neužtenka laiko išanalizuoti visus galimus projekto variantus. Kompiuterizuota DFM metodika gali padėti sumažinti gamybos sąnaudas ir sutrumpinti laiką, reikalingą įdiegti minėtą įrangą, kuri gali padėti sukurti optimalų projektuojamo gaminio ir gamybos technologijos variantą. Dar vienas teigiamas veiksnys naudojant kompiuterizuotą DFM įrangą yra tai, kad ji skatina ir padeda puoselėti komandinį darbą.

Technologijos proceso projektavimo taisyklės. Technologijos proceso projektavimo reikalavimai pateikiami kaip projektavimo nuorodos ir taisyklės. Dažniausiai tokios nuorodos yra specializuotos konkrečiai pramonės šakai, įmonei ar ypatingai įrangai sumontuotai konkrečioje įmonėje. Čia DFM tikslas yra suteikti konstruktoriui visą informaciją apie keliamus reikalavimus bei ryšius ankstyvoje projektavimo stadijoje, kol dar nebaigta formuluoti gaminio koncepcija ir nėra baigti visi gaminio brėžiniai. Į technologijos procesą orientuotas DFM apima gaminių konstravimą, taikant atitinkamus metodus ar procesus (liejimą, šampavimą ir pan.). Taip susistemintos žinios padeda kurti ir gaminti, ir jo gamybos technologijos procesą, gaminant įvairius gaminius ir komponentus bei taikant konkrečius apdirbimo metodus.

3. TECHNOLOGIJOS PROCESO REALIZAVIMO SĄNAUDŲ MODELIAVIMAS

3.1. Racionalios technologinės operacijos projektavimas

Racionalios technologinės operacijos projektavimas turi būti neatsiejamai susijęs su naujo gaminio projektavimu, taikant vienalaikės inžinerijos principus [7]. Tik tada galima pasiekti geriausius rezultatus. Jeigu technologinės operacijos projektuojamos jau po gaminio konstravimo, tai padaryti yra žymiai sunkiau, nes brėžiniai jau sukurti ir visos techninės sąlygos bei reikalavimai numatyti. Bendru atveju, racionaliai šampavimo operacijai įtakos turi šie veiksniai:

- Gaminio gamybos lengvumo (DFM) principų taikymas detalės konstravimo metu,
- Gaminio rinkimo lengvumo (DFA) principų taikymas gaminio konstravimo metu,
- Optimalios detalės gamybos technologijos alternatyvos parinkimas,
- Gaminio gamybos laiko nustatymas ankstyvoje jo konstravimo stadijoje,
- Gaminio gamybos sąnaudų nustatymas ankstyvoje jo konstravimo stadijoje.

Technologinės operacijos projektavimo modelis turi įvertinti visus aukščiau išvardintus veiksniai ir jau ankstyvoje gaminio projektavimo stadijoje numatyti racionalią operaciją. Racionali, tai tokia kuri lengviausiai atliekama ir reikalauja mažiausių sąnaudų. Tai pasiekti įmanoma tik tuomet, kai detalė konstruojama įvertinant visus jos pagaminamumo veiksniai. Veiksnių, turinčių įtakos gaminio pagaminamumui nustatymas:

1. Optimalios gaminio geometrinės formos parinkimas
2. Racionalios gaminio medžiagos parinkimas
3. Gamybos sąnaudų mažinimo metodų taikymas projektuojant gaminio technologiją
4. Racionalių įrengimų ir technologinės įrangos parinkimas.

Optimalios gaminio formos parinkimui palengvinti reikia naudoti detalių konstrukcinių elementų klasifikatorius. Kiekvienas konstrukcinis elementas įvertintas pagal jo pagaminimo sudėtingumą [9]. Gaminio ar detalės konstruktorius konstrukcinius elementus renkasi pagal reikiamą jų funkcionalumą, vartotojo poreikius bei gamintojo tradicijas, galimybes, turimus įrenginius ir technologinę įrangą. Tokia konstravimo metodika leidžia siekti reikiamos gaminio vertės ir mažiausių gamybos sąnaudų.

Kitas svarbus veiksnys gaminio ar detalės vertei ir charakteristikoms yra medžiaga, kuri turi būti galimai pigiausia ir tenkinti konstrukcinius bei technologinius reikalavimus. Čia labai svarbi konstruktoriaus patirtis, jo gamybos technologijos žinios ir geri gamintojo ryšiai su medžiagų tiekėjais. Kai galutinai įsitikinama, kad gaminyje tinkamas užsakovui, atliekami gaminio ir detalių

stipruminiai skaičiavimai bei tyrimai naudojant baigtinių elementų programas ar kitus žinomus metodus, po kurių nustatomi galutiniai detalių ir gaminio matmenys. Taupant medžiagas stengiamasi naudoti jas mažesnių matmenų, o reikiamam stiprumui bei standumui užtikrinti numatomos įvairios standumo briaunos jas štampuojant ar privirinant. Standumo briaunas virinant galima panaudoti susidariusias medžiagų atliekas, gaunamas ankstesnių operacijų metu. Tačiau taip darant reikia kruopščiai patikrinti kiekvieną proceso alternatyvą, kad taupant medžiagų sąnaudas nedidėtų papildomų darbų išlaidos.

Gamybos sąnaudų mažinimo metodų taikymas projektuojant naujo gaminio technologiją prasideda jau ankstyvoje konstravimo stadijoje, nagrinėjant ir įvertinant kiekvieną gaminio ir jo gamybos technologijos alternatyvą. Tam tikslui pasiekti reikia turėti atitinkamą įrangą; geriausiai tinka kompiuterinė programa gebanti pagal gaminio 3D CAD modelį sudaryti jo gamybos technologiją ir integruotai paskaičiuoti gamybos sąnaudas. Jas žinant, galima toliau dirbti arba ieškant kitų gaminio konstrukcijos, arba technologijos sprendimų, kurie tenkintų ir užsakovų, ir gamintojų reikalavimus.

Naujų technologijos alternatyvų kūrimas neatsiejamas nuo įrengimų ir technologinės įrangos parinkimo. Tik visa sprendimų visuma grindžiama kruopščiu darbu, gali užtikrinti sėkmingą darbo pabaigą. Pastaruoju metu šiam tikslui labai padeda technologinių žinių bazės struktūros sudarymas optimaliems gamybos procesams kurti ir įrengimų apkrovimui didinti.

Taguchi metodas [5]. Jis skirtas spręsti patikimo konstravimo uždavinius, taikant statistinius ir eksperimentų planavimo teorijos metodus. Patikimas konstravimas reiškia, kad projektuojamas gaminys turi atlikti numatytas funkcijas, nepriklausomai nuo susidariusių aplinkybių. Taguchi metodas siekia optimalių konstrukcijos parametrų ir jų tolerancijų derinių, atliekant eksperimentų planavimą ir taikant statistinės analizės metodus. Jo esmė – diegti gamybos technologijas mažinančias matmenų tolerancijų sklaidą gamybos proceso metu naudojant *šešių sigma* metodą ir statistinę procesų kontrolę.

Grupinė technologija [1]. Grupinės technologijos (GT) metodu siekiama sumažinti technologinės dokumentacijos ir informacijos kiekį naudojamą gamybos sistemoje dėka to, kad kai kurios gaminamos detalės yra panašios savo geometrinėmis charakteristikomis, kurioms gaminti galima naudoti praktiškai vienodą, taip vadinamą grupinę technologiją. GT diegiama naudojant detalių klasifikavimo ir kodavimo sistemas, kurios padeda rasti panašias detales bei parinkti grupines technologijas ir jų parametrus. Kaip DFM įrankis grupinė technologija gali būti panaudota tam, kad atpigintų technologijos projektavimą ir pagerintų jo kokybę. Naudojant GT duomenų bazę, technologijų projektavimo sistema suras reikiamą detalės grupę ir pateiks apdirbimo technologiją su paskaičiuotais darbo ištekliais. Iš esmės GT leidžia projektuotojui pradėti technologijos projektavimą naujai detalei ar gaminiui jau nuo beveik baigto projekto. Be to, ji kontroliuoja naujų

detalių atsiradimą, mažindama jų įvairovę bei didindama detalių unifikuojamumą ar standartizaciją. Nekontroliuojama detalių įvairovė gali pasiekti nepageidaujamas apimtis, ypač organizacijose gaminančiose daug įvairių gaminių.

Projektavimo priemonių ir įrangos rinkinys [8]. DFM priemonės, orientuotos į skirtingų gaminių klases, palengvina gaminio ir jo gamybos technologijos projektavimą, numatant, kad gaminio gamybai gali būti naudojami specializuoti ar unikalūs įrenginiai. Minėtos priemonės apima gaminio projektavimo taisykles, modelius, įvairias CAD pagalbines priemones (presavimo formoms, šampams konstruoti ir pan.), taip pat kitą specializuotą informaciją apie gamybinius įrengimus ir technologijos įrangą. Puikiu pavyzdžiu galėtų būti sukurtas gaminys tinkantis daugeliui rinkos nišų, o jo gamybai suprojektuota speciali automatizuota gamybos linija, gebanti nepertraukiamai gaminti gaminius ištiesią parą, nes yra didelė gaminių paklausa ilgą laiką. Kitas pavyzdys – lanksčios gamybos sistemos (FMS) ar lanksčios rinkimo sistemos (FAS).

Vertės analizė [10]. Šis metodas leidžia įvertinti gaminio ir technologijos projekto alternatyvas. Vertės analizė taip pat skirta gaminio funkcijų analizei įskaitant ir jo gamybos technologijos vertę. Vertės sąvoka suprantama kaip santykis tarp atliekamos funkcijos ar jos įvykdymo ir tam patiriamų sąnaudų. Vertės analizė paprastai atliekama dviem stadijomis: analitine ir kūrybine. Analitinės stadijos metu ekspertai sistemaiškai nagrinėja pasiūlytas realias ir galimas gauti idealias reikšmes. Šioje stadijoje suformuotos išvados toliau panaudojamos kūrybinėje stadijoje tam, kad apibrėžtų naujus projektavimo sprendimus, kurie palaikytų norimą pusiausvyrą tarp realių ir idealių reikšmių bei padidintų šias vertes šalinant pastebėtus trūkumus. Įvertinant vertės sąvokas labai svarbi yra rinkos dalyvių, ypač užsakovų nuomonė.

3.2. Racionalios technologinės operacijos sąnaudų skaičiavimas serijinėje gamyboje

Kaip rodo 3.1 poskyryje aprašytas vertės analizės metodas, kuriamo gaminio ir gamybos technologijos vertę nusako užsakovai – jų sutikimas ar nesutikimas mokėti už sukurtus produktus tam tikrą sumą pinigų. Vertybių kūrėjai ar gaminių gamintojai turi nuolat sekti, kad patirtos sąnaudos jas kuriant ar gaminant neviršytų gaunamas pajamas. Be to, patirtos sąnaudos turi didžiulę įtaką veiklos našumui. Siekiant mažiausių gamybos sąnaudų, būtina kurti kelias technologijos alternatyvas; tuomet galima jas lyginti tarpusavyje ir rinktis tą, kurios gamybos sąnaudos mažiausios. Bendru atveju, realizuojant sukurtą technologijos procesą, jo sąnaudos C gali būti taip apskaičiuojamos [11]:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (3.1)$$

Čia C_1 yra medžiagų sąnaudos, C_2 yra darbo sąnaudos (darbuotojų atlygiai ir naudojamų įrenginių bei patalpų sąnaudos), C_3 yra gamybos organizacijos pridėtinės sąnaudos).

Naudojant 3.1 formulę gamybos sąnaudas patogiausia apskaičiuoti ir serijinės gamybos atvejams, ir jas prognozuoti ankstyvoje gamybos stadijoje. Skaičiuojant sąnaudas serijinės gamybos atvejams, medžiagų sąnaudos C_1 apskaičiuojamos pagal gaminamos detalės ar gaminio 3D CAD modelį, o darbo sąnaudos pagal (1 ir 9) literatūros pateiktą metodiką. C_3 gamybos organizacijos pridėtinės sąnaudos svyruoja plačiame diapazone nuo 1.10 iki 1.35 nuo gaminio ar detalės darbo sąnaudų ir priklauso nuo organizacijos dydžio, paskirties, gamybinių-socialinių darbuotojų santykių bei gaminamų gaminių sudėtingumo. Reikia didelio organizacijos vadovų sumanumo ir geros patirties siekiant mažiausių pridėtinių sąnaudų reikšmių. Užsakovai labai kontroliuoja kiekvieno gamintojo pridėtinių sąnaudų dydį ir jeigu randa, kad jis nėra pagrįstas, ieško kito gamintojo.

Todėl labai svarbu būsimas gamybos sąnaudas prognozuoti jau ankstyvoje naujo gaminio kūrimo stadijoje. Šiam tikslui reikia naudoti gamybos sąnaudų prognozavimo modelius; kitas poskyris ir skiriamas gamybos sąnaudoms prognozuoti.

3.3. Gamybos sąnaudų prognozavimas ankstyvoje gamybos stadijoje

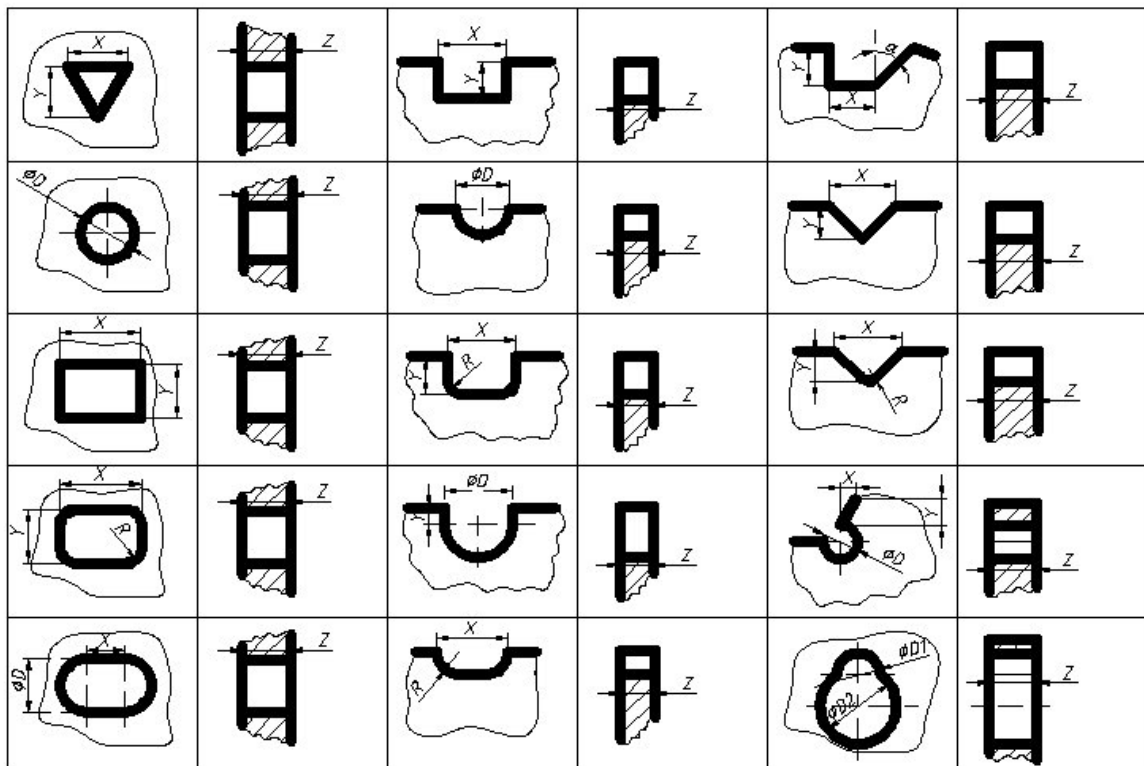
3.3.1. Gamybos sąnaudų prognozavimas plonalakščio plieno operacijoms

Detalėms gaminti iš plonalakščio plieno plačiausiai paplitusios šampavimo (presais naudojant šampus ir CNC šampavimo įrenginius), lazerinio pjovimo CNC įrenginių operacijos ir CNC lankstymo įrenginių operacijos. Šiame darbe nagrinėsime tik šampavimo operacijų projektavimą ir jų trukmės skaičiavimą.

Racionalios šampavimo operacijos trukmės prognozavimui buvo naudotas specialiai šiam tikslui sukurtas modelis [6]. Jis grindžiamas gamybos užsakymų laimėjimo kriterijais, tokiais, kaip gamybos greitumu ir patikimumu, lankstumu, gaminių kokybe ir mažomis gamybos sąnaudomis. Kaip rodo Lietuvos gaminių gamintojų iš plonų plieno lakštų (iki 3 mm storio) patirtis, svarbiausias veiksnys užsakymui laimėti yra jo atlikimo sąnaudos, kurios dažnai būna labai artimos sunaudoto metalo sąnaudoms. Tai verčia gamintojus nuolat gerinti savo veiklą ir ieškoti naujų, inovatyvių sprendimų. Jie grindžiami našiausių įrenginių, technologinės įrangos parinkimu bei technologinėmis žiniomis kuriant šampavimo operacijas. Sukurtas šampavimo operacijų ir jų gamybos sąnaudų prognozavimo modelis skiriamas gamybos mokslų sričiai ir yra vienodai naudingas ir mokslininkams, ir praktikams. Modeliavimo metodologija naudota šiam modeliui kurti buvo grindžiama pragmatizmo mokslo sritimi. Modelio struktūra iš kelių modulių: užsakymų ir gaminių 3D CAD duomenų analizės, šampavimo operacijų ir jų sąnaudų prognozavimo, gautų

alternatyvų įvertinimo, ir sprendimų dėl užsakymo priėmimo. Šis modelis naudoja žinomus žmogaus – mašinos sąveikos sprendimus, kai intelektualus sprendimų dalis paliekama žmogui, o rutininė – kompiuterinėms programoms. Modelio programinė dalis sukurta naudojant plačiai paplitusią *Microsoft Excel* įrangą, kuri ypatinga savo paprastumu, patikimumu, nereikalauja didelių investicijų ir gali būti greitai įdiegta.

Štampavimo operacijos prognozė atliekama priklausomai nuo detalės medžiagos, jos profilio, storio ir kitų matmenų, geometrinės formos, konstrukcinių elementų įvairovės ir jų kiekio (3.1 pav.), taip pat šių elementų ir visos detalės kiekybinių-kokybinių parametrų. Svarbiausi parametrai diktuojantys štampavimo operacijos turinį bei veiksmų seką yra medžiaga, jos profilis ir medžiagos storis. Kai štampavimo operacija ir jos turinys žinomi, toliau seka jos charakteristikų prognozė, taikant matematinės tikimybių teorijos funkcijas, aibių teoriją ir statistinius duomenis, sukaupus įvairiuose Lietuvos įmonėse.



3.1 pav. Gaminių iš lakštinio plieno tipinių konstrukcinių elementų klasifikatorius

Fiksuotos sąnaudos C_2 siejamos su investicijomis programinio valdymo štampavimo ir kitiems įrenginiams įsigyti bei darbo pastatams nuomoti ar pirkti. Šios investicijos turi būti padarytos prieš gaminių ar detalių gamybą ir įskaitytos į kiekvienos detalės gamybos sąnaudas [6]. Kintamos sąnaudos C_3 priskiriamos darbo užmokesčiui gaminant gaminius ir detales, kuris tiesiogiai priklauso nuo detalės suminio gamybos laiko T_0 apdirbimo ceche:

$$T_0 = \sum_{j=1}^n (T_j) \rightarrow \text{mir} \quad (3.2)$$

Čia T yra vienos šampavimo operacijos gamybos laikas, j detalės gamybai naudojamų operacijų įvairovė, n reikiamų operacijų skaičius detalei pagaminti.

$$T = T_h + T_m \quad (3.3)$$

Čia T_h yra metalo lakšto įtvirtinimo laikas staklėse, kuris priklauso nuo įrenginio tipo, pradinio lakšto ir šampuojamos detalės matmenų s., T_m yra detalės šampavimo laikas programiniu šampavimo įrenginiu, kuris priklauso nuo daugelio veiksnių ir gali būti išreikštas tokia abstrakčia funkcija:

$$T_m = f_1(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) \quad (3.4)$$

Čia x_1 operacijos tipas, x_2 įrenginio tipas, x_3 pradinio lakšto medžiaga, x_4 pradinio lakšto storis, x_5 šampuojamos detalės išorinio kontūro perimetras, x_6 detalės konstrukcinių elementų kiekis, jų įvairovė ir vidinių išėmų perimetras.

Kai prognozuojamos programinio valdymo šampavimo įrenginio operacijos laikas, tai naudojant duomenis iš [6] publikacijos

$$T_m = N t \quad (3.5)$$

Čia N programinio valdymo šampavimo įrenginio operacijos smūgių skaičius šampuojant detale, t vidutinė vieno smūgio trukmė, s; ji nustatyta naudojant statistinius duomenis šampuojant įvairių dydžių detales ir jų konstrukcinius elementus ir gauta $t = 0.65$ s [8]:

$$T_m = 0.175 D / 20 \quad (3.6)$$

Čia D šampuojamos detalės išorinis perimetras, mm.

Programinio valdymo šampavimo įrenginio operacijos smūgių skaičius N prognozuotas naudojant 200 šampavimo būdu gamintų detalių statistinius duomenis ir jų ryšius tarp išorinio perimetro dydžio ir vidinių konstrukcinių elementų kiekį bei suminį vidinį perimetrą. Tuo pagrindu sudaryta prognozavimo regresinės analizės lygtis N parametrui nustatyti

$$N = 20.24 + 0.01583 D \quad (3.7)$$

Pastaroji lygtis tinka programinio valdymo įrenginio šampavimo operacijos smūgių skaičiui prognozuoti, kai šampuojamos detalės praktiškai neturi spindulinių užapvalinimų (jų ilgis negali būti didesnis negu 5 – 8 procento) nuo viso išorinio perimetro ilgio. Tokios detalės pavyzdys pateiktas 2.4 pav., o esant didesniam spinduliniam paviršiui, reikia naudoti korekcijos koeficientą arba detalę gaminti programinio valdymo lazeriniu pjovimo įrenginiu. Naudojant tris pastarąsias lygtis, gaunama apibendrinta programinio valdymo įrenginio šampavimo operacijos laiko prognozavimo formulė, kuri gerai tinka ankstyvoje naujo užsakymo įvertinimo stadijoje imonei dirbant pagal užsakymus ar ankstyvoje naujo gaminio konstravimo stadijoje ieškant pigiausios konstrukcijos alternatyvos

$$T = (20.24 + 0.01583 D) t + 0.175 D / 20 \quad (3.8)$$

Arba kai $t = 0.65$ s, tai

$$T = 13.156 + 0.01904 D \quad (3.9)$$

Čia pateiktos programinio valdymo šampavimo įrenginio operacijos detalės apdirbimo laiko prognozavimo lygtys apdirbant mažanglinio plieno detales, kurių storis buvo lygus 2.0 mm. Pasikeitus apdirbimo storiui ir medžiagai, reikia naudoti korekcijos koeficientus.

$$T^c = T k_1 k_2 \quad (3.10)$$

Čia T^c yra koreguotas operacijos detalės apdirbimo laikas, val., k_1 korekcijos koeficientas įvertinantis medžiagos storį (3.1 lentelė), k_2 korekcijos koeficientas įvertinantis apdirbimo medžiagą (3.2 lentelė).

3.1 lentelė. Korekcijos koeficiento k_1 reikšmės

Koeficientas	Metalo lakšto storis, mm	Koeficiento reikšmė
k_1	Mažesnis arba lygus 2.0	1.0
k_1	Didesnis už 2.0 arba lygus 3.0	1.15 – 1.25
k_1	Didesnis už 3.0 arba lygus 4.0	1.35 – 1.45

3.2 lentelė. Korekcijos koeficiento k_2 reikšmės

Koeficientas	Apdirbamoji medžiaga	Koeficiento reikšmė
k_2	Mažanglinis konstrukcinis plienas	1.0
k_2	Nerūdijantis plienas	1.10 - 1.15

Įvertinant aukščiau pateiktus programinio valdymo įrenginio operacijos trukmės ir kitų parametrų ypatumus, jos panaudojimo sąlygas, faktus bei įmonių statistinius duomenis ir panaudodami [6] publikacijos rezultatus, sukūrėme programinio valdymo šampavimo operacijos gamybos sąnaudų prognozavimo lygtį

$$C = (C_1 + \sum_{j=1}^m (A \cdot T)_j) F + \frac{J}{E} \quad (3.11)$$

Čia A yra technologinės operacijos laiko sąnaudos Lt/val, F yra organizacijos pridėtinių išlaidų indeksas (adekvatus C_3 formulėje (3.1), kuris svyruoja nuo 1.05 iki 1.30, J yra specialios technologinės įrangos (jei ji naudojama) sąnaudos, E yra gaminamų detalių skaičius, kuriam naudojama ši speciali technologinė įranga.

3.3.2. Gamybos sąnaudų prognozavimas mechaninio apdirbimo operacijoms

Mechaninio apdirbimo operacijos labai paplitusios mašinų gamybos ir apdirbamosios pramonės srityse. Tik naudojant šias operacijas galima pasiekti reikiamą tikslumą ir apdirbamų paviršių glotnumą. Tačiau jos yra labai brangios, nes naudoja brangiai kainuojančius įrenginius, įrangą, matavimo ir pjovimo įrankius bei reikalauja aukštos kvalifikacijos inžinierių ir operatorių darbo. Per pastaruosius du dešimtmečius labai patobulėjo mechaninio apdirbimo technologijos, išaugo jų darbo našumas ir kokybė dėka padidėjusių darbo režimų ir atsiradusių naujų medžiagų įrankių gamyboje.

Nežiūrint naujų progresyvių tendencijų mechaninio apdirbimo technologijų srityje, jos vis dar yra labai brangios ir todėl naujų gaminių kūrėjai bei konstruktoriai, kurdami gaminius ir mašinas stengiasi kuo mažiau naudoti detalių ir elementų, reikalaujančių mechaninio apdirbimo operacijų. Tai pasiekti, būtina aukšta inžinierių kvalifikacija ir puikus inžinerinis supratimas, kaip būtų įmanoma derinti įvairias gamybos technologijas ir metodus mechaninio apdirbimo operacijų darbo apimtims mažinti. Svarbu ankstyvoje naujo gaminio kūrimo stadijoje prognozuoti mechaninio apdirbimo operacijų darbo imlumą ir laiku imtis šių darbų mažinimo paieškos kelių ir sprendimų. Pirmieji darbai šioje srityje Lietuvoje atlikti Kauno technologijos universiteto gamybos technologijų katedroje pradėjus kurti kompiuterizuotas technologijų projektavimo sistemas [1]. Siekiant mechaninio apdirbimo technologijų automatizavimo, šis procesas buvo išskaidytas į du etapus – ankstyvąją naujų gaminių projektavimo ir serijinės gamybos stadijas. Ankstyvosios stadijos tikslas yra galimai anksčiau įvertinti projektuojamo naujo gaminio charakteristikas ir savybes ar eilinio užsakymo priėmimo gaminti technologines galimybes, siekiant reikalaujamos kokybės ir pristatymo termino datų konkurencingomis kainomis. Šioje stadijoje būtina daryti reikiamus pakeitimus ir gaminio konstrukcijoje, ir gamybos technologijoje, siekiant užsiduoti tikslų. Šiam tikslui pasiekti labai vertingi yra ir gamybos technologijos, ir jos realizavimo sąnaudų prognozavimo modeliai, padedantys siekti minėtų tikslų. Jie buvo pradėti kurti prieš daugiau nei trisdešimt metų, tačiau šis procesas nesustojęs ir šiuo metu, nes tokių modelių šiandien reikia ir tikslesnių, ir labiau integruotų su kitomis inžinerinių mokslų bei ekonominių ir socialinių mokslų sritimis. Labai sėkmingas integruotas modelis buvo sukurtas conceptualiam gaminiui projektuoti ankstyvoje jo projektavimo stadijoje [3], naudojant kompiuterines programas; šio modelio užduotis buvo tikrinti kuriamo naujo gaminio koncepciją su vėlesnėmis gaminio gyvavimo ciklo fazėmis ir jų reikalavimais. Jei gaminio koncepcija netenkina vėlesnių gaminio gyvavimo ciklo fazių reikalavimų, reikia tuoj pat imtis sprendimų tokiai padėčiai taisyti. Kiti autoriai daug dėmesio skyrė technologijos proceso realizavimo sąnaudoms prognozuoti ankstyvoje naujo gaminio konstravimo stadijoje [12, 13, 14]. Šie paminėti metodai taip pat grindžiami atitinkamomis kompiuterinėmis

programomis ir duomenų bazėmis. Jau šiuo ankstyvuoju metu buvo pradėtos kurti konstravimo taisyklės, padedančios siekti gamybos lengvumo, kuris galėtų garantuoti mažiausias gamybos sąnaudas. Lygiagrečiai daug dėmesio buvo skiriama naujų gaminių kūrimo proceso uždavinių organizavimui, ypač integruojant konstravimo ir technologijos kūrimo procesus. Konstravimo ir technologijų integravimo pagrindas – vienalaikės inžinerijos metodų kvalifikuotas taikymas [15, 16]. Šiems metodams diegti būtina sukurti atitinkamą inžinerinės veiklos aplinką, grindžiamą inžinerinio personalo mokymais bei atitinkamomis programinės įrangos ir kitomis techninėmis priemonėmis. Lietuvoje kompiuterizuoto integruoto gaminių ir technologijų projektavimo metodai, grįsti vienalaikė inžinerija, pradėti taikyti KTU prieš dvidešimt metų. Šiame magistro baigiamajame darbe minėti metodai naudoti praktiniam pritaikymui ankstyvoje naujo gaminio konstravimo stadijoje. Kompiuterinio integruoto gaminių ir technologijų projektavimo metodai [17] buvo grindžiami atitinkamomis programinėmis sąsajomis, o naujos gamybinės aplinkos poveikis vienalaikės inžinerijos sėkmingam naudojimui nagrinėtas darbe [18]. Šiose darbuose sukurtas modelis prognozuoti ir mechaninio apdirbimo technologijos procesus, ir jų realizavimo sąnaudas ankstyvoje projektavimo stadijoje virtualioje aplinkoje. Modeliavimo principas grindžiamas gaminių, ir juos sudarančių tipinių konstrukcinių elementų klasifikavimu tuo palengvinant prognozavimo procedūras. 3.2 pav. pateiktas erdvinio mechaniškai apdirbamo gaminio prizmės formos tipinių elementų klasifikatorius, o 3.3 pav. – sukinių formos tipinių elementų klasifikatorius. Naudojant šiuos klasifikatorius, buvo sudarytos nomogramos, rodančios mašininio apdirbimo laiko T priklausomybę tarp pašalinto metalo tūrio nuo konstrukcinių elementų apdirbamųjų paviršių. Nomogramas sudarančiosios pasvirusiosios (3.4 ir 3.5 pav.), taikant matematinės regresijos metodus ir Exel microsoft programinę įrangą, buvo formalizuotos tokiomis išraiškomis:

1.1 poklasio tipiniams konstrukciniams elementams apdirbti T_m apskaičiuojamas:

$$T_m = 0.0061 \ln(x) - 0.0262 \quad (3.12)$$

2.4 poklasio tipiniams konstrukciniams elementams apdirbti T_m apskaičiuojamas

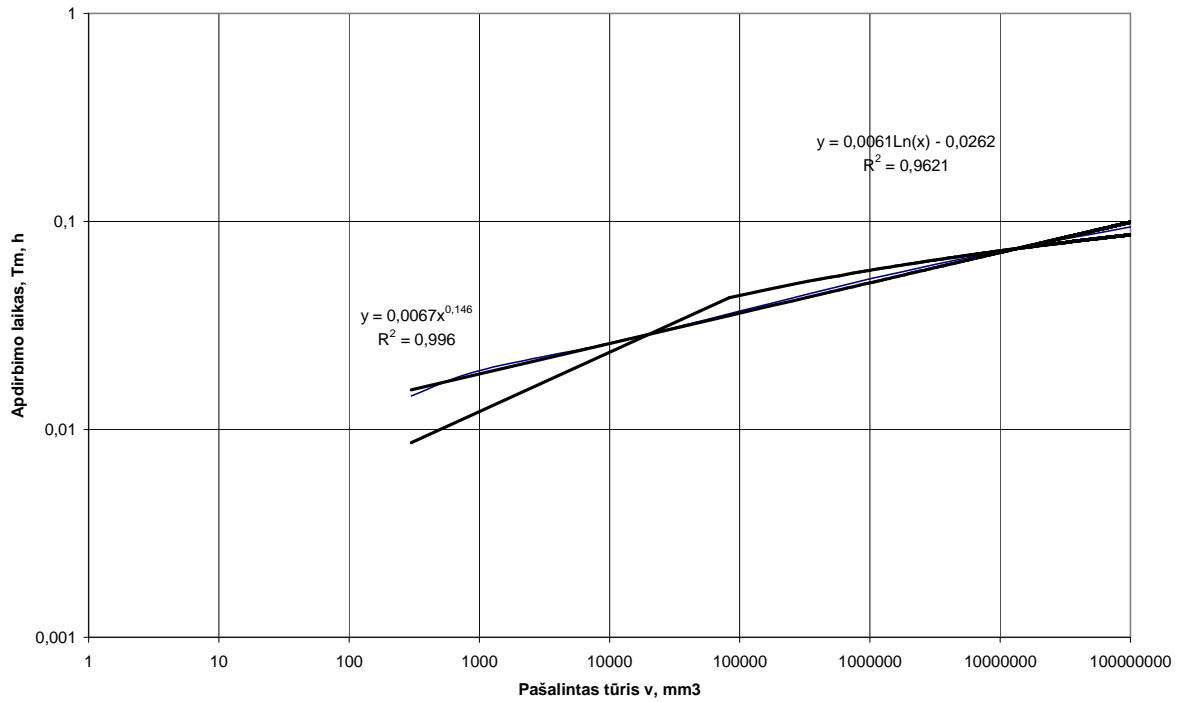
$$T_m = 0.037 \ln(x) - 0.1859 \quad (3.13)$$

1.1			
1.2			
1.3			
1.4			

3.2 pav. Prizmės formos tipinių konstrukcinių elementų klasifikatorius

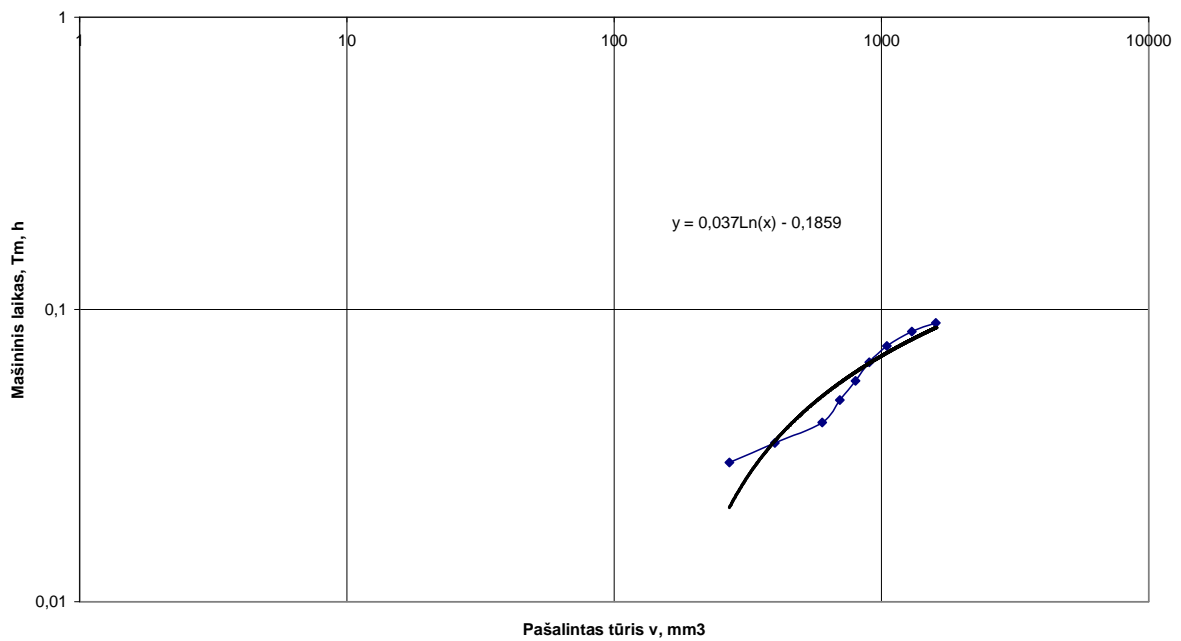
2.1				
2.2				
2.3				
2.4				

3.3 pav. Sukinių formos tipinių konstrukcinių elementų klasifikatorius



3.4 pav. Nomogramos 1.1 poklasio konstrukciniams elementams apdirbimo laikui skaičiuoti

2.4 poklasio skaičiuotė



3.5 pav. Nomogramos 2.4 poklasio konstrukciniams elementams apdirbimo laikui skaičiuoti

4. EKSPERIMENTINĖ DALIS

4.1. Gaminų iš metalo lakštų technologijos proceso ir gamybos sąnaudų integruotas projektavimas ankstyvoje jų kūrimo ar užsakymo gamybai nagrinėjimo stadijoje

Buvo nagrinėti du gaminiai iš metalo lakštų, mechatroninė gaminio plokštė. Jos gamybos. Sąnaudos C apskaičiuojamos pagal formulę (3.1), mechatroninės detalės paskaičiavimas:

$$C_1 = 420,8 \cdot 212,4 \cdot 0,5 \cdot G \cdot K_m$$

$$C_1 = 420,8 \cdot 212,4 \cdot 0,5 \cdot 0,00785 \cdot 1,13 = 3,964 \text{ kg} \cdot 3,0 \text{ lt/kg (metalo kaina)} = 11,89 \text{ lt}$$

$$T_m = N t$$

$$T_m = 40,249 \cdot 0,65 = 26,18 \text{ s}$$

$$N = 20,24 + 0,01583 D$$

$$N = 20,24 + 0,01583 \cdot 1266,4 = 40,287$$

$$T = 13,156 + 0,01904 D$$

$$T = 13,156 + 0,01904 \cdot 1266,4 = 37,268$$

$$T_m = 0,175 D / 20$$

$$T_m = 0,175 \cdot 1266,4 / 20 = 11,08 \text{ s}$$

$$T^c = T k_1 k_2$$

$$T^c = 37,268 \cdot 1,45 \cdot 1 = 54,038$$

$$C = (C_1 + T^c / 3600 \text{ s} \cdot 59,00 \text{ lt}) \cdot C_3 + 3500 \text{ eur} / 1000 \text{ det.},$$

$$C = (11,89 + 54,04 / 3600 \cdot 59,00) \cdot 1,2 + 3500 / 1000 = 18,82 \text{ lit}$$

Patikriname detalės apdirbimo laiko skaičiuotą serijinės gamybos stadijoje. Smūgių skaičius N apskaičiuojame pagal metodiką aprašyta [8] literatūros šaltinyje:

$$N = N_1 + N_2$$

Čia N_1 yra vidinių konstrukcinių elementų formavimo smūgių skaičius, N_2 yra detalės išorinio kontūro kirtimo smūgių skaičius:

$$N_1 = 8$$

$$N_2 = 2 \cdot 212,4 / 50 + 2 \cdot 420,8 / 80 + 2(1+1) = 24$$

$$N = 8 + 24 = 32$$

Tuomet T_m randamas :

$$T_m = 32 \cdot 0,65 = 20,8 \text{ s}$$

Koreguotas laikas :

$$T_m^c = 20,8 \cdot 1,45 = 30,16 \text{ s}$$

$$C = (11,89 + 30,16 / 3600 \cdot 59,00) \cdot 1,2 + 3500 / 1000 = 18,33 \text{ lit}$$

$$\text{Paklaida : } (18,82 - 18,33) / 18,82 \cdot 100\% = 2,6 \%$$

Dūmtraukio paskaičiavimai :

$$C_1 = 64,5 \cdot 33 \cdot 0,2 \cdot G \cdot K_m$$

$$C_1 = (64,5 \cdot 33 \cdot 0,2 \cdot 0,00785 \cdot 1,13) \cdot 2 = 7,54 \text{ kg} \cdot 3,3 \text{ lt/kg (metalo kaina)} = 24,88 \text{ lt}$$

$$T_m = N t$$

$$T_m = 81,97 \cdot 0,65 = 53,28 \text{ s}$$

$$N = 20,24 + 0,01583 D$$

$$N = 20,24 + 0,01583 \cdot 3900 = 81,97$$

$$T_m = 0,175 D / 20$$

$$T_m = 0,175 \cdot 3900 / 20 = 34,12 \text{ s}$$

$$T = 13,156 + 0,01904 D$$

$$T = 13,156 + 0,01904 \cdot 3900 = 87,41$$

$$T^c = T k_1 k_2$$

$$T^c = 87,41 \cdot 1 \cdot 1 = 87,41$$

$$C = (C_1 + T^c / 3600 \text{ s} \cdot 59,00 \text{ lt}) \cdot C_3$$

$$C = (24,88 + 87,41 / 3600 \cdot 59,00) \cdot 1,2 = 31,57 \text{ lit}$$

Patikriname detalės apdirbimo laiko skaičiuotę serijinės gamybos stadijoje. Smūgių skaičius N apskaičiuojame pagal metodiką aprašyta [8] literatūros šaltinyje:

$$N = N_1 + N_2$$

Čia N_1 yra vidinių konstrukcinių elementų formavimo smūgių skaičius, N_2 yra detalės išorinio kontūro kirtimo smūgių skaičius:

$$N_1 = 0$$

$$N_2 = 226/50 + 230/50 + 189/50 + 100/50 + 545/80 = 23$$

$$N = 0 + 23 = 23$$

Tuomet T_m randamas :

$$T_m = 23 \cdot 0,65 = 14,95 \text{ s}$$

Koreguotas laikas :

$$T_m^c = 14,95 \cdot 1 = 14,95 \text{ s}$$

$$C = (24,88 + 14,95 / 3600 \cdot 59,00) \cdot 1,2 = 30,15$$

$$\text{Paklaida} : (31,57 - 30,15) / 31,57 \cdot 100\% = 4,4 \%$$

Dūmtraukio trumpojo šono detalės paskaičiavimai ;

$$C_1 = 11,2 \cdot 50,6 \cdot 0,2 \cdot G \cdot K_m$$

$$C_1 = 11,2 \cdot 50,6 \cdot 0,2 \cdot 0,00785 \cdot 1,13 = 1 \text{ kg} \cdot 3,3 \text{ lt/kg (metalo kaina)} = 3,3 \text{ lt}$$

$$T_m = N t$$

$$T_m = 39,80 \cdot 0,65 = 25,87 \text{ s}$$

$$N = 20,24 + 0,01583 D$$

$$N = 20,24 + 0,01583 \cdot 1236 = 39,80$$

$$T_m = 0,175 D / 20$$

$$T_m = 0,175 \cdot 31236 / 20 = 10,81 \text{ s}$$

$$T = 13,156 + 0,01904 D$$

$$T = 13,156 + 0,01904 \cdot 1236 = 36,68$$

$$T^c = T k_1 k_2$$

$$T^c = 36,68 \cdot 1 \cdot 1 = 36,68$$

$$C = (C_1 + T^c / 3600 \text{ s} \cdot 59,00 \text{ lt}) \cdot C_3$$

$$C = (3,3 + 36,68 / 3600 \cdot 59,00) \cdot 1,2 = 4,68 \text{ lit}$$

Patikriname detalės apdirbimo laiko skaičiuotę serijinės gamybos stadijoje. Smūgių skaičius N apskaičiuojame pagal metodiką aprašyta [8] literatūros šaltinyje:

$$N = N_1 + N_2$$

Čia N_1 yra vidinių konstrukcinių elementų formavimo smūgių skaičius, N_2 yra detalės išorinio kontūro kirtimo smūgių skaičius:

$$N_1 = 2$$

$$N_2 = 96 / 50 + 112 / 60 + 2 \cdot 506 / 90 = 16$$

$$N = 16 + 2 = 18$$

Tuomet T_m randamas :

$$T_m = 18 \cdot 0,65 = 11,7 \text{ s}$$

Koreguotas laikas :

$$T_m^c = 11,7 \cdot 1 = 11,7 \text{ s}$$

$$C = (3,3 + 11,7 / 3600 \cdot 59,00) \cdot 1,2 = 4,19 \text{ lit}$$

$$\text{Paklaida} : (4,68 - 4,19) / 4,68 \cdot 100\% = 10,4 \%$$

Dūmtraukio ilgojo šono detalės paskaičiavimai ;

$$C_1 = 11,2 \cdot 91,9 \cdot 0,2 \cdot G \cdot K_m$$

$$C_1 = 11,2 \cdot 91,9 \cdot 0,2 \cdot 0,00785 \cdot 1,13 = 1,82 \text{ kg} \cdot 3,3 \text{ lt/kg (metalo kaina)} = 6 \text{ lt}$$

$$T_m = N t$$

$$T_m = 52,88 \cdot 0,65 = 34,37 \text{ s}$$

$$N = 20,24 + 0,01583 D$$

$$N = 20,24 + 0,01583 \cdot 2062 = 52,88$$

$$T_m = 0,175 D / 20$$

$$T_m = 0,175 \cdot 2062 / 20 = 18,04 \text{ s}$$

$$T = 13,156 + 0,01904 D$$

$$T = 13,156 + 0,01904 \cdot 2062 = 52,41$$

$$T^c = T k_1 k_2$$

$$T^c = 52,41 \cdot 1 \cdot 1 = 52,41$$

$$C = (C_1 + T^c / 3600 \text{ s} \cdot 59,00 \text{ lt}) \cdot C_3$$

$$C = (6 + 52,41 / 3600 \cdot 59,00) \cdot 1,2 = 8,23 \text{ lit}$$

Patikriname detalės apdirbimo laiko skaičiuotę serijinės gamybos stadijoje. Smūgių skaičius N apskaičiuojame pagal metodiką aprašyta [8] literatūros šaltinyje:

$$N = N_1 + N_2$$

Čia N_1 yra vidinių konstrukcinių elementų formavimo smūgių skaičius, N_2 yra detalės išorinio kontūro kirtimo smūgių skaičius:

$$N_1 = 2$$

$$N_2 = 2 \cdot 112 / 60 + 2 \cdot 919 / 100 = 25$$

$$N = 2 + 25 = 27$$

Tuomet T_m randamas :

$$T_m = 27 \cdot 0,65 = 17,55 \text{ s}$$

Koreguotas laikas :

$$T_m^c = 17,55 \cdot 1 = 17,55 \text{ s}$$

$$C = (6 + 17,55 / 3600 \cdot 59,00) \cdot 1,2 = 7,54 \text{ lit}$$

$$\text{Paklaida} : (8,23 - 7,54) / 8,23 \cdot 100\% = 8,38 \%$$

4.1 lentelė Gamybos laiko ir sąnaudų prognozavimo suvestinė

Detalė	Perimetras, mm	Medžiagų sąnaudos, kg	Gamybos laiko prognozavimas, sekundėmis	Serijinės gamybos laikas, s	Paklaida, procentais
Mechatronikos detalė	1266,4	3,96	54,03	30,16	2,6%
Dūmtraukis	3900	7,54	87,41	14,95	4,4%
Dūmtraukio šoninė ilgoji detalė	2062	1,82	52,41	17,55	8,38%
Dūmtraukio šoninė trumpoji detalė	1236	1	36,68	11,7	10,4%

4.2. Erdvinių gaminių iš plieno technologijos proceso ir gambos sąnaudų integruotas projektavimas ankstyvoje jų kūrimo stadijoje

Erdvinis gaminy – tai jo 3D CAD modelis. Tokio gaminio gamybai reikalingos mechaninio apdirbimo operacijos. Tyrimams pasirinktos dvi detalės:

Kronšteino operacijos metu pašalinto metalo tūrio paskaičiavimas:

Plokštumos:

$$1. 95 \cdot 1,5 \cdot 50 + 100 \cdot 1,5 \cdot 50 + 50 \cdot 75 \cdot 4 = 28625 \text{ mm}^3,$$

$$28625 \text{ Ln} = 10,26$$

$$T_m = 0,0364 \text{ h}$$

Skylės:

$$2. \text{Ø } 9\text{mm}, \quad 0,785 \cdot 9^2 \cdot 19 \cdot 4 = 4832\text{mm}^3,$$

$$\text{Ø } 6\text{mm}, \quad 0,785 \cdot 6^2 \cdot 19 \cdot 4 = 2147\text{mm}^3,$$

$$\Sigma 6979 \quad \text{Ln} = 8,85 \quad T_m = 0,142 \text{ h}$$

$$3. \text{Ø } 14\text{mm}, \quad 0,785 \cdot 14^2 \cdot 9 \cdot 4 = 5539\text{mm}^3,$$

$$\text{Ø } 9\text{mm}, \quad 0,785 \cdot 9^2 \cdot 11 \cdot 4 = 2797\text{mm}^3,$$

$$\text{Ø } 6\text{mm}, \quad 0,785 \cdot 6^2 \cdot 20 \cdot 2 = 1130\text{mm}^3,$$

$$\Sigma 9466 \quad \text{Ln} = 9,155$$

$$T_m = 0,153$$

Laikiklio operacijos metu pašalinto metalo tūrio paskaičiavimas:

Plokštumos:

$$1. 55 \cdot 2,5 \cdot 50 + 54 \cdot 2,5 \cdot 50 + 80 \cdot 50 \cdot 3 + 115 \cdot 3 \cdot 50 + 45 \cdot 2 \cdot 50 + 0,9 \cdot 50 \cdot 3 = 47510 \text{ mm}^3, \quad 47510 \text{Ln} = 10,76,$$

$$T_m = 0,0395 \text{ h}$$

2. Skylės:

$$\text{Ø } 9\text{mm}, \quad 0,785 \cdot 9^2 \cdot 32 \cdot 4 = 8138\text{mm}^3,$$

$$\text{Ø } 8\text{mm}, \quad 0,785 \cdot 8^2 \cdot 32 \cdot 4 = 3215\text{mm}^3,$$

$$\text{Ø } 8\text{mm}, \quad 0,785 \cdot 8^2 \cdot 45 \cdot 4 = 9043\text{mm}^3,$$

$$\Sigma 20396 \quad \text{Ln} = 9,923$$

$$T_m = 0,1813 \text{ h}$$

4.2 lentelė Gamybos laiko ir sąnaudų prognozavimo suvestinė

Detalė	Nuimamas tūris plokštumų mm ³	Nuimamas tūris skylių mm ³	Nuimamas tūris skylių mm ³ (kitoje plokštumoje)	Tūrio nuėmimo laiko prognozavimas, h (skylių)	Tūrio nuėmimo laiko prognozavimas, h (plokštumų)
Kronšteinas	28625	6979	9466	0,142-0,153	0,0364
Laikiklis	47510	20396	—	0,1813	0,0395

4.3. Negamybinės veiklos proceso ir jo gamybos sąnaudų modeliavimas

Įmonės, norėdamos išsilaikyti konkurencinėje rinkoje, turi gaminti ne tik aukštos kokybės produkcija, bet ir numatyti, kokios bus gamybos išlaidos. Vakarų šalių autoriai išlaidas laiko konkurencinės strategijos rūšimi. Produkcijos gamybos išlaidų mažinimas padeda laimėti konkurencinę kovą rinkoje. Vakarų pasaulyje pripažįstama tezė, kad asmenys darantys sprendimus, visada turi ieškoti efektyvių, pelningų sprendimų. „Sprendimų darytojai yra pelno maksimalistai“ (decision makers are profit maximisers). Todėl, siekdami pelno, vadybininkai priversti ieškoti galimybių, kaip racionaliau panaudoti išteklius, taikyti pažangesnius technologinius procesus, didinti gamybos efektyvumą, kad galiausiai būtų sumažintos išlaidos.

Kelių transporto įmonės produkcijos savikaina – tai pinigais išreikštos kelių transporto įmonės sąnaudos, tenkančios transporto darbo (produkcijos) vienetui. Vežimų savikaina turi didelę reikšmę nustatant vežimų kainas, įvertinant įmonės ir jos padalinių ūkinės veiklos rezultatus.

Kelių transporte savikainos struktūra skiriasi nuo kitų ūkio šakų produkcijos savikainos struktūros. Vežimų savikaina priklauso nuo transporto priemonių tipo, vežimų organizavimo, kelių transporto įmonės dydžio, valdymo organizavimo ir kitų veiksnių.

Transportavimo savikainos struktūroje didžiausią lyginamąjį svorį turi darbo užmokestis, degalai ir amortizaciniai atskaitymai.

Savikainos skaičiavimuose pagal ryšį su gamybos procesu išlaidos skirstomos į tiesiogines ir netiesiogines.

Tiesioginės išlaidos:

- pagrindinis ir papildomas vairuotojų darbo užmokestis ir soc. draudimas;
- išlaidos degalams ir tepalams;
- išlaidos automobilių ir puspriekabių, techniniam aptarnavimui bei remontui;
- padangų remonto ir atstatymo;
- amortizaciniai atskaitymai;
- draudimas;

- licencijoms ir TIR CARNET knygelėms įsigyti.

Netiesioginės išlaidos:

- administracinio personalo darbo užmokestis ir soc. draudimas;
- kanceliarinės, pašto, telefono sąnaudos;
- šildymas, vanduo, elektros energija;
- ilgalaikiai turto amortizaciniai atskaitymai;
- mokesčiai.

Pagal santykį su gamybos apimtimi išlaidos skirstomos į kintančias ir pastovias. Kintamos sąnaudos tiesiogiai priklauso vežimo procesui ir kinta proporcingai besikeičiant vežimo sąlygoms.

Prie kintamų išlaidų priskiriama:

- vairuotojų darbo apmokėjimas;
- sąnaudos degalams, tepalams ir eksploatacinėms medžiagoms;
- padangų remonto ir atstatymo išlaidos;
- sąnaudos automobilių techniniam aptarnavimui bei remontui;
- amortizaciniai atskaitymai.

Pastovios išlaidos kintant vežimo apimtims tiesiogiai nekinta. Jas sudaro:

- transporto priemonių nusidėvėjimas;
- sąnaudos draudimui (transporto priemonių, vairuotojų, CMR);
- kelių mokesčiams, muitinės formalumams, licencijoms ir kitiems vežimo dokumentams;
- bendrosios ir administracinės.

Atlieknat savikainos ekonominę analizę, reikalingi duomenys:

Vairuotojų darbo apmokėjimas. Vairuotojų darbą apmoka pagal vienetinę apmokėjimo sistemą mokama už atliktų paslaugų kiekį, t.y. už nuvažiuotus kilometrus). Sąnaudos degalams vežimų savikainoje sudaro apie 18 %. Degalų sunaudojimo normose, be ridos dar atsižvelgiama į krovinių apyvartą, kelių bei klimatines sąlygas, automobilių techninę būklę ir daugelį kitų sąlygų. Kroviniams automobiliams kuro sunaudojimo normą nustato pagal 100 km ridą.

Išlaidos padangų remontui ir atstatymui. Jos nustatomos atsižvelgiant į bendrą automobilių ridą, padangų ridos normas ir nustatytų atsakaitymų normas procentais nuo pagrindinės komplekto vertės kiekvienam 1000 km ridos. Padangų remonto išlaidos vertinamos pagal šiuos darbus atliekančių dirbtuvių pateiktas sąskaitas. Vežimų savikainoje sąnaudos padangų remontui ir atstatymui sudaro apie 3 %.

Sąnaudos tepalams ir eksploatacinėms medžiagoms. Vežimų savikainoje sąnaudos tepalams ir eksploatacinėms medžiagoms sudaro apie 1 %. Taupyti tepalus draudžiama, nes atskiros detalės gali susidėvėti prieš laiką, o tai pareikalautų dar didesnių išlaidų. Reikalingas tepalų kiekis nustatomas procentais nuo sunaudoto degalų kiekio. Automobiliams su dyzeliniais varikliais skiria apie 2,5 l tepalų 100 l degalų.

Sąnaudos automobilių techniniam aptarnavimui bei remontui. Šios sąnaudos vežimų savikainoje sudaro apie 6 %, nes didžioji dalis automobilių yra nauji, t.y. 2005-2011 m. gamybos.

Transporto priemonių nusidėvėjimas. Sudaro apie 46 % vežimų savikainos. Šis skaičius labai didelis todėl, kad visi automobiliai perkami nauji. Sąnaudos draudimui (transporto priemonių, vairuotojų, CMR), kelių mokesčiams, muitinės formalumams, licenzijoms ir kitiems vežimo dokumentams. Šios išlaidos sudaro 4 % vežimų savikainos.

Bendrosios ir administracinės. Šių sąnaudų dydžiui įtakos turi darbuotojų skaičius, įmonės turto vertė, automobilių skaičius, tiesioginių išlaidų suma. Joms priskiriama apie 10 % vežimų savikainos.

IŠVADOS

Magistro baigiamajame darbe sukurtas modelis grindžiamas matematine logika ir statistine technologinių procesų ir jų realizavimo sąnaudų analize. Naujo gaminio konstravimas ir jo technologijos proceso projektavimas yra vienas iš svarbiausių gamybinės organizacijos uždavinių. Tik sėkminga inžinerinė veikla gali sąlygoti organizacijos išlikimą rinkoje. Magistro darbe sukurtas gamybos technologijos ir jos realizavimo sąnaudų prognozavimo modelis skirtas ankstyvajai gaminio projektavimo ar jo gamybos užsakymo tyrimo stadijai. Modelis tinkamas naudoti gaminiams iš metalo lakštų ir tiems, kuriems reikia mechaninio apdirbimo operacijų. Modelio kūrimui ir jo tikslinimui, diegiant gamybos procese, buvo naudoti moksliniai darbai atlikti šioje srityje Kauno technologijos universiteto gamybos technologijų katedroje.

Aprašytas metodas baigiamajame magistro darbe atitinka jo tikslą ir išsprendžia numatytus uždavinius. Be abejo, tai nėra vienintelis galimas dabartiniu metu sprendimo būdas. Jis turi savo privalumų ir trūkumų. Pagrindiniai privalumai: sukurtas modelis geba integruotai virtualioje aplinkoje kurti naujai kuriamo gaminio technologiją ir įvertinti jos realizavimo sąnaudas. Pagrindinis modelio trūkumas – neturi programinės sąsajos tarp gaminio 3D CAD ir kuriamos technologijos.

Pagrindinės šio darbo išvados:

1. Sukurtas integruotas technologijos ir jos realizavimo sąnaudų nustatymo modelis yra tinkamas didelės įvairovės ir mažų gamybos serijų gaminių technologijoms kurti,
2. Sudaryto modelio tyrimas gaminiams iš metalo lakštų parodė, kad jo tikslumas atskiroms detalių klasėms neviršija 5-8 procentų,
3. Sudaryto modelio tyrimas erdviniam gaminiams iš plieno, kuriems gaminti reikia daug mechaninio apdirbimo operacijų, parodė, kad apdirbimo laikui prognozuoti pagal operacijos metu pašalintą metalo tūrį yra nesudėtingas, o jo paklaidos prognozuojant apdirbimo mašininį laiką neviršija 10 procentų.
4. Sudarytas modelis gali būti naudojamas ir įvairių paslaugų procesams prognozuoti bei įvertinti ankstyvoje jų kūrimo ar derinimo su užsakovais stadijoje.

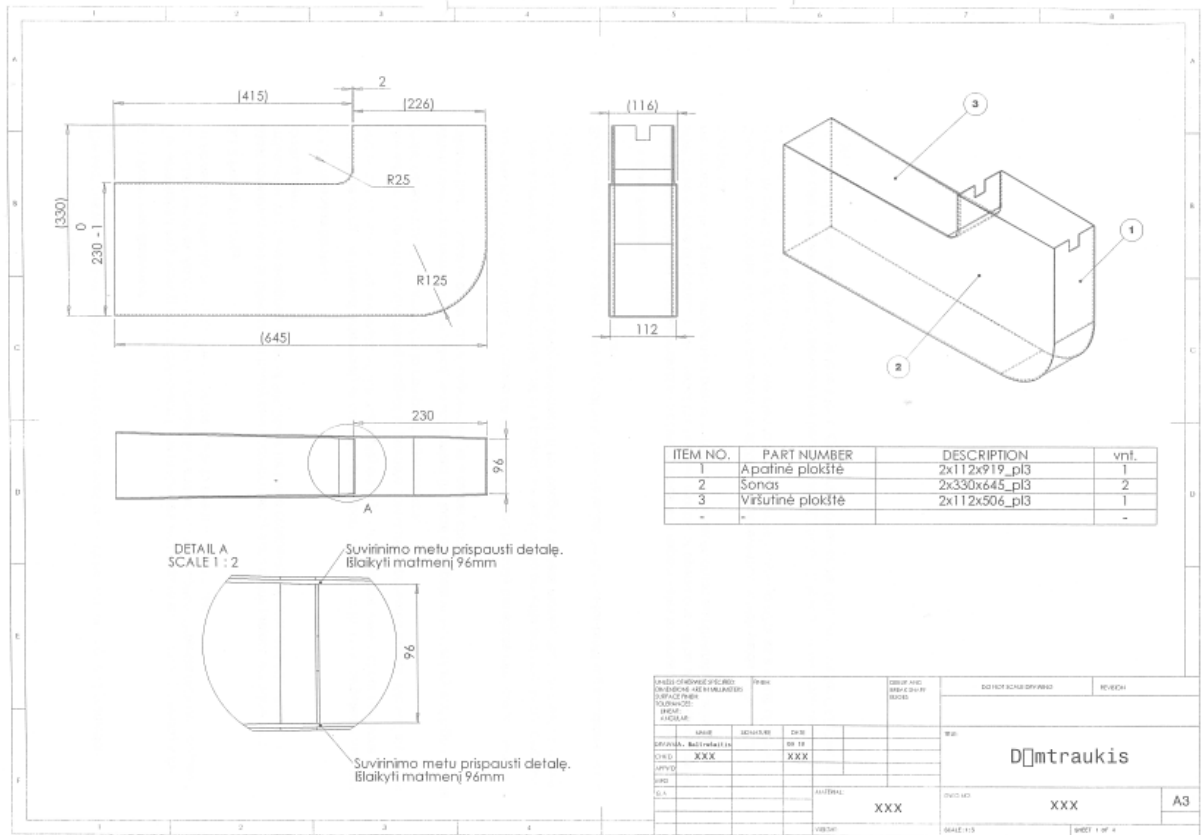
LITERATŪRA

1. Bargelis, A. Mechanikos gaminių gamybos rengimo automatizavimas, monografija, Kaunas: Technologija, 1996, p. 244.
2. Rembold, N., Nuaji, B.O., Storr, A. Computer Integrated Manufacturing and Engineering, New York: Addison – Wesley, 1993, p. 451.
3. Colton, J.S., Pun, R.C. Informational framework for conceptual engineering Design. Engineering with Computers, 1994, no 10, p. 22 – 32.
4. Thethi, A., Wainwright, Ch. Manufacturing Strategy Theory and Practice, Advances in Manufacturing Technology IX, Proceedings of the 11th National Conference on Manufacturing Research, London: Taylor & Francis, 1995, p. 621 – 625.
5. Hundal, M. S. Systematic Mechanical Designing: A cost and management perspective, New York: ASME Press, 1997.
6. Smith, P. G., Reinertsen, D. G. Developing Products in Half the Time, New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
7. Prasad, B. Concurrent Engineering Fundamentals: Integrated product and process organization, New Jersey: Prentice Hall PTR, 1996.
8. Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W. Product Design for Manufacture and Assembly, New York: Marcel Dekker, Inc., 2002.
9. Mankutė, R., Bargelis, A. Mechaninio apdirbimo procesų rengimo automatizavimas, mokomoji knyga, Kaunas: Technologija, 1997, p. 140.
10. Fowler, T. C. Value Analysis in Design, New York: Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 302.
11. Bargelis, A., Ramašauskas, M.. Cost forecasting model for order-based sheet metalworking. Journal of Mechanical Engineering Science, 2007, 221(1), p. 55-65.
12. Hundal, M. S. Rules and models for low cost design. New York: ASME, Design for manufacturability, 1993, vol. 52, p. 75-84.
13. Kusiak, A., Wang, J. Decomposition of the design process. Journal of Mechanical Design, 1993, vol. 115, p. 687-695.
14. Eppinger, S. D., Whitney, D. E., Smith, P. R., Gebama, D. A. A model – based method for organizing tasks in product development. Research in Engineering Design, 1994, no 6, p. 1-13.
15. Abdalla, H., Knight, JAG. A Design environment for concurrent Engineering. Advances in Manufacturing Technology IX, Proceedings of the 11th National Conference on Manufacturing Research, London: Taylor & Francis, 12 – 15 September, 1995, p. 683-687.

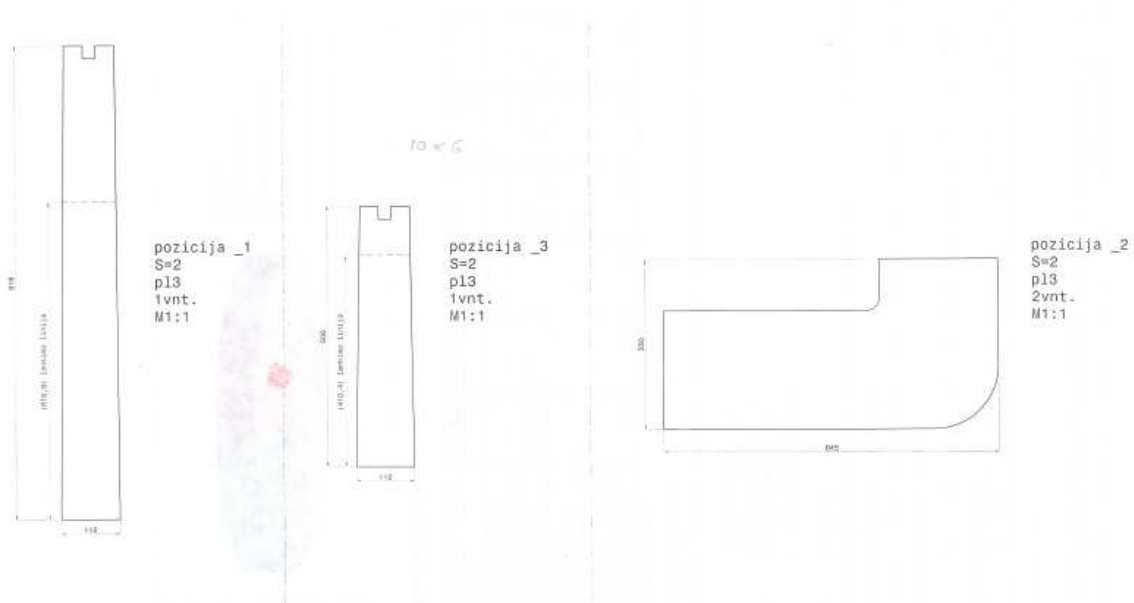
16. Sakano, S. Concurrent Design of products based on simultaneous processing of design and manufacturing by quality Engineering, Proceedings of the 12th Int. Conf. CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future, London, 14 – 16 August, 1996, p. 890-895.
17. Senkuvienė, I., Mankutė, R., Bargelis, A. Computer Integrated Design of Products and Processes. The 3rd Baltic Summer School on Informatikon Technology and Systems Engineering, Kaunas: Technologija, 1995, p. 68-71.
18. Bargelis, A., Mankutė, R. Naujos gamybinės aplinkos poveikis vienalaikiai inžinerijai. Tarptautinės konferencijos „Mechanika-“, pranešimų medžiaga, Kaunas: Technologija, 1996, p. 272-277.

PRIEDAI

1. PRIEDAS. Dūmtraukis



2. PRIEDAS. Dūmtraukio šoninių detaļu eskizas



3. PRIEDAS. Dūmtraukio technologijos kelias



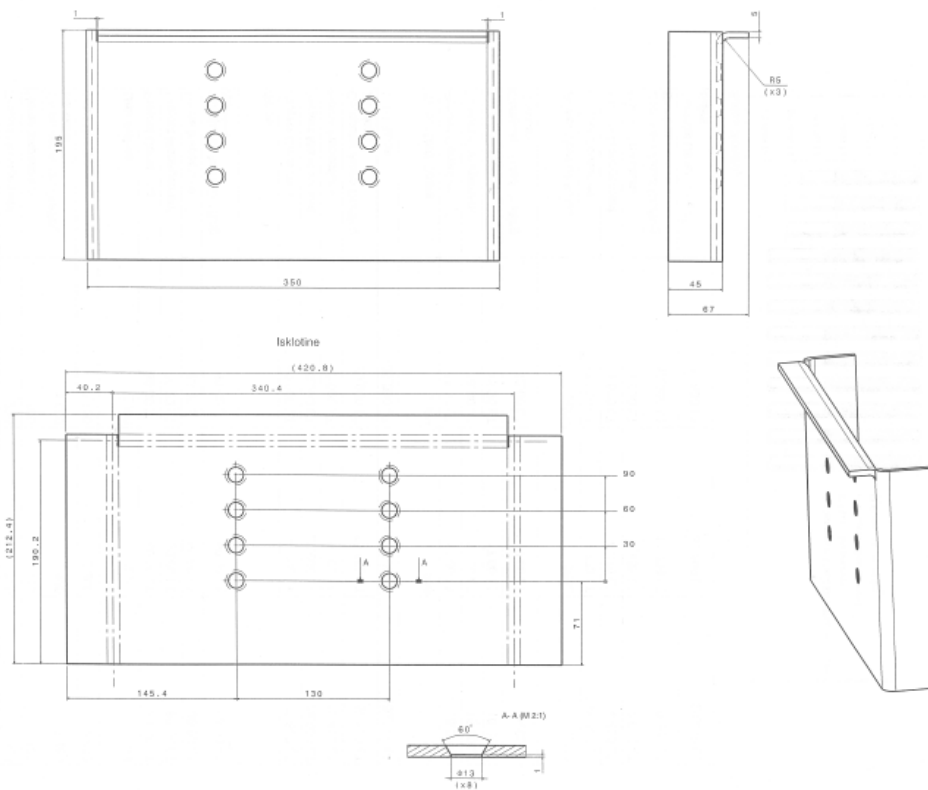
TECHNOLOGIJOS KELIAS



Spausdinta 2012.05.17 10:42

KTU Mechanikos ir mechatronikos fakultetas Gamybos technologijų katedra		Sudarė Tikrino	
GAMINYS	2715	Dūmtraukis D0001.001	Kiekis 5 vnt.
DETALĖ	1	Viršutinė plokštė D_00001.001.01	Kiekis 2 gaminyje
RUOŠINYS	030301-020-1	Lakštas 2x1250x2500 GOST 19904	K260B-5-IV-H-0 GOST 16523
MASĖ	detalės ruošinio	2,6839 49,0625	Medžiagos norma 1 detalei 24,53125
O D S P I	Op. Nr. Įmonė, cechai, barai Dokumentai, instrukcijos Staklės Technologijos pakopos Įranga	Operacija	Kateg. T. vnt
O	005	Transportavimas	3
O S P	010	CNC Presas Iškirsti detalės išklotinę pagal brėžinį.	CNC Štampavimas 3
O S	015	Kontrolė Kontrolieriaus stalas	3
O S	020	Dujinis suvirinimas Dujinio suvirinimo įrenginys ir stalas	3
O S	025	Kontrolė Kontrolieriaus stalas	3

4. PRIEDAS. Mechatroninē detalē



5. PRIEDAS. Mechatroninio gaminio technologijos kelias



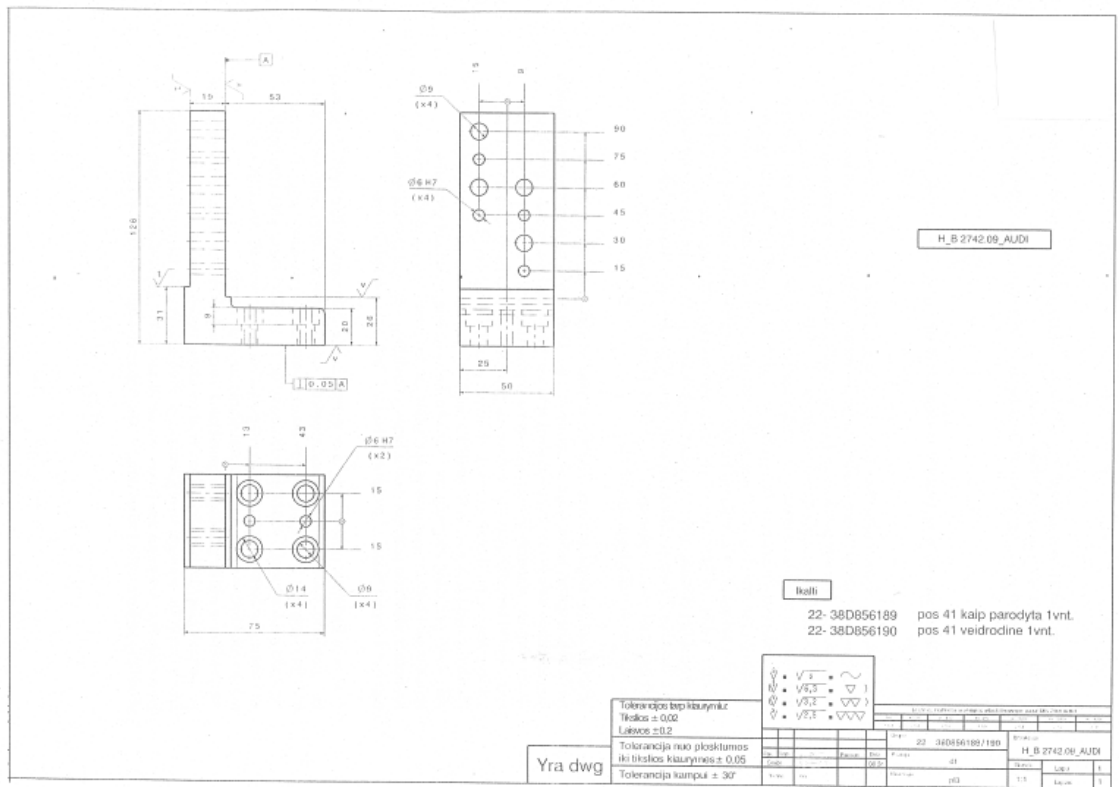
TECHNOLOGIJOS KELIAS



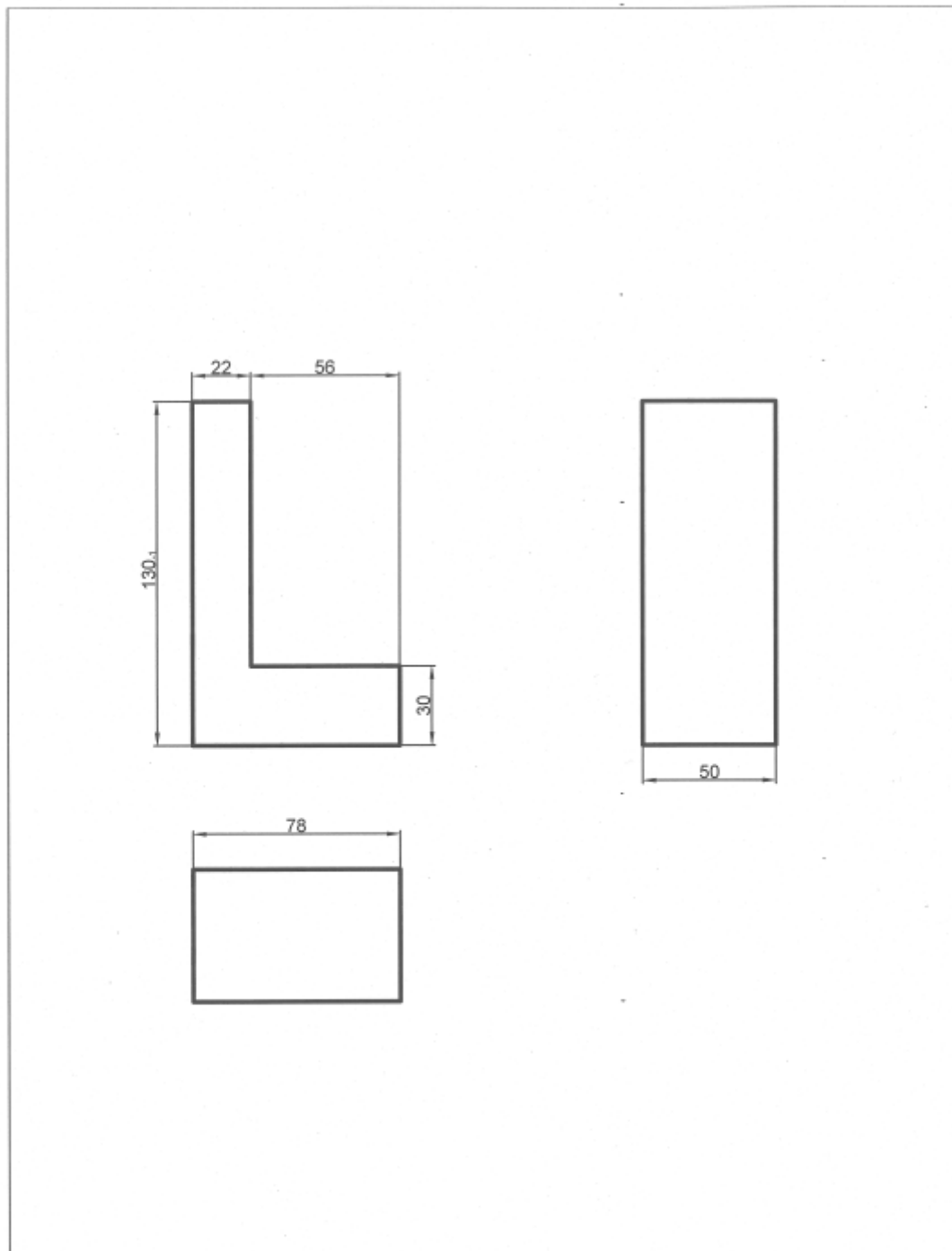
Spausdinta 2012.05.16 14:20


KTU Mechanikos ir mechatronikos fakultetas Gamybos technologijų katedra		Sudarė Tikrino	
GAMINYS	901	Mechatroninis gaminys	Kiekis 100 vnt.
DETALĖ	190-3	Plokštė MEM-011	Kiekis 1 gaminyje
RUOŠINYS	030301-050-1	Lakštas 5x1250x6000 GOST 19904-74	K260B-5-IV-H-0 GOST 16523-89
MASĖ	detalės ruošinio	3,4180 294,3750	Medžiagos norma 4.2054 1 detalei
O	Op. Nr.	Įmonė, cechas, baras	Operacija
D		Dokumentai, instrukcijos	
S		Staklės	
P		Technologijos pakopos	
I		Įranga	
O	05		Transportavimas
O	10		CNC Štampavimas
S		CNC Presas	
P		Įskirsti vidines skyles su kūgiu specialiu įrankiu.	
P		Įskirsti detalės išklotinę pagal brėžinį	
O	15		CNC Lenkimas
S		CNC Lenkimo presas	
P		Lenkti vieną briauną pagal brėžinį	
P		Lenkti dvi briaunas pagal brėžinį	
O	20		Kontrolė
S		Kontrolieriaus stalas	
P		Kontroliuoti kvalitetinius matmenis pagal brėžinį	

6. PRIEDAS. Kronšteinas (apskaičiuotas metalo šalinimo tūris)



7. PRIEDAS. Kronšteino ruošinys



	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga Plienas C45 LST EN 10083-1	Mastelis 1:2		
	Atsakinga žinyba Studentas M. Sutkus	Dokumento tipas Eskizas	Dokumento statusas Mokomasis			
Savininkas ŠU TF	Vadovas A. Bargelis	Antraštė Ruošinys	Laida	Data	Kalba	Lapas
	Tvirtino A. Sabaliauskas		MM10	2012.05.25	LT	1/1

8. PRIEDAS. Kronšteino technologijos kelias



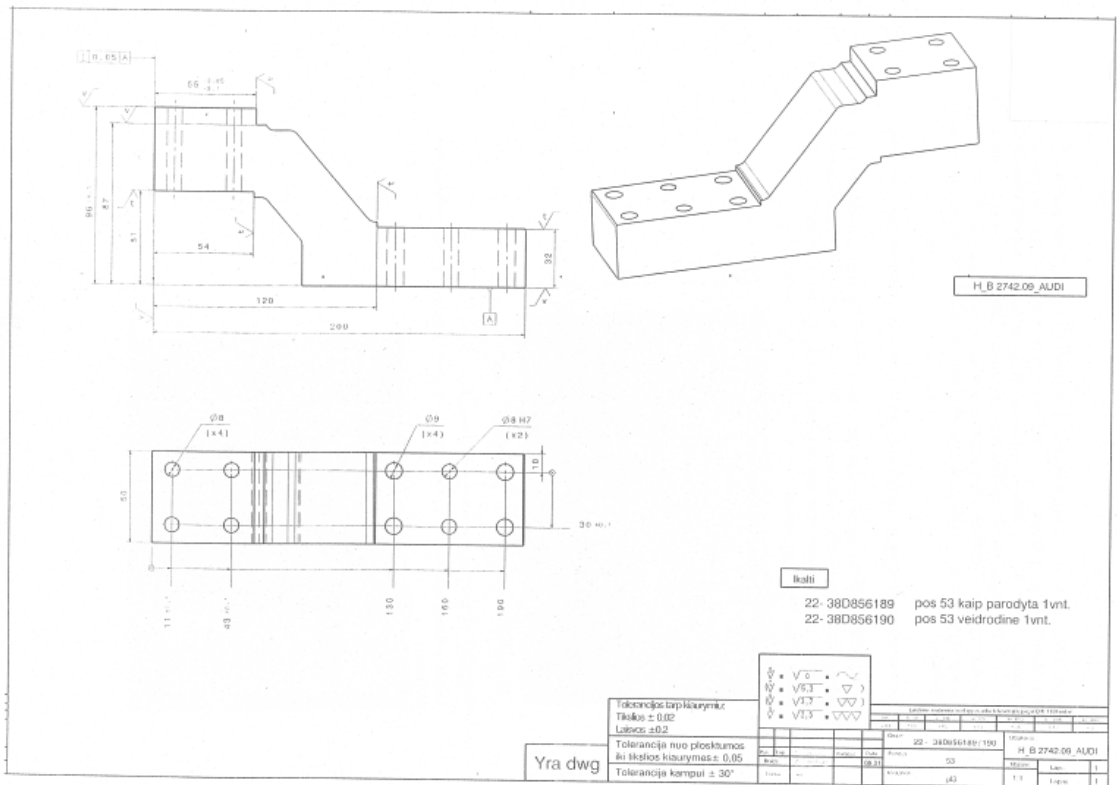
TECHNOLOGIJOS KELIAS



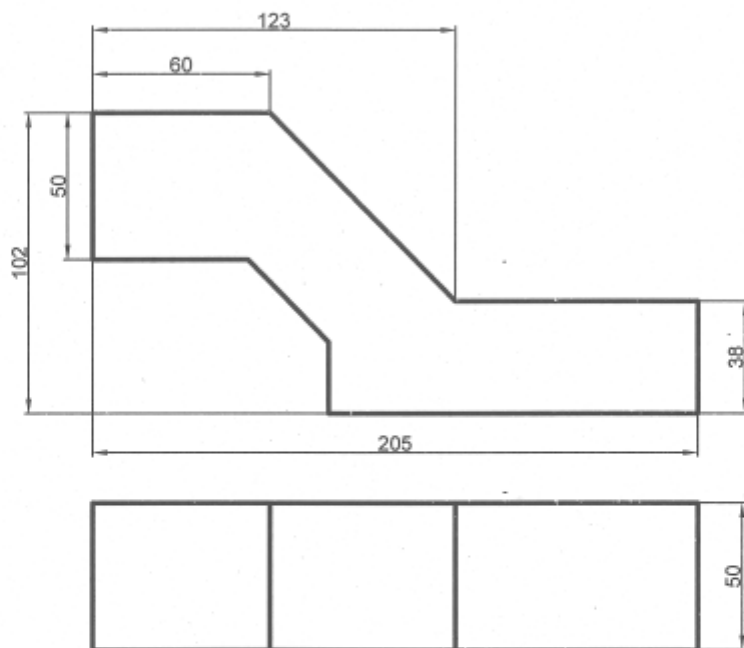
Spausdinta 2012.05.03 15:16

KTU Mechanikos ir mechatronikos fakultetas Gamybos technologijų katedra		Sudarė Tikrino A. Bargelis	
GAMINYS	901	Mechatroninis gaminys	Kiekis 100 vnt.
DETALĖ	190	Kronšteinas 22 38-D856189	Kiekis 1 gaminyje
RUOŠINYS	030406-500-1-1	Plokštė 50x85x200 st3	
MASĖ	detalės ruošinio	1,2501 6,6725	Medžiagos norma 1 detalei 6.6725
O	Op. Nr.	Įmonė, cechai, baras Operacija	Kateg.
D		Dokumentai, instrukcijos	T. vnt
S		Staklės	
P		Technologijos pakopos	
I		Įranga	
O	010	Atpjovimas	3 25,00
S		Dujinio pjaustymo įrenginys	
P		Pjauti medžiagą ruošiniais pagal brėžinį	
O	015	Programinis frezavimas	3 35,00
S		Frezavimo staklės su SPV	
P		Frezuoti detalės 3 plokštumas pagal brėžinį.	
O	020	Kontrolė	3 5,00
S		Kontrolieriaus stalas	
P		Kontroliuoti išfrezuotų plokštumų matmenis pagal brėžinį	
O	025	Programinis grėžimas	3 5,47
S		Koordinatinio ištekimo staklės	
P		Gręžti 4 kiaurym. skersmeniu 9, 4 kiaurym. skersmeniu 6	
P		Plėsti 4 kiaurym. skersmeniu 6 H7	
O	030	Kontrolė	3 8,00
S		Kontrolieriaus stalas	
P		Kontroliuoti kvalitetinius matmenis pagal brėžinį	

9. PRIEDAS. Laikiklis (apskaičiuotas metalo šalinimo tūris)



10. PRIEDAS. Laikiklio ruošinys



	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga Plienas C45 LST EN 10083-1	Mastelis 1:2
Atsakinga žinyba	Studentas M. Sutkus	Dokumento tipas Eskizas	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas	Vadovas A. Bargelis	Antraštė Ruošiny	Laida	Data
ŠU TF	Tvirtino A. Sabaliauskas		MM10	2012.05.25
			Kalba	Lapas
			LT	1/1

11. PRIEDAS. Laikiklio technologijos kelias



TECHNOLOGIJOS KELIAS

SAT 

Spausdinta 2012.05.04 15:00

KTU Mechanikos ir mechatronikos fakultetas		Sudarė	
Gamybos technologijų katedra		Tikrino	
GAMINYS	901	Mechatroninis gaminyš	Kiekis 100 vnt.
DETALĖ	190-2	Laikiklis 22 - 38D856189/190	Kiekis 1 gaminyje
RUOŠINYS	030406-500-1	Plokštė 50x1000x2000	st3
MASĖ	detales ruošinio	2,7302 785,0000	Medžiagos norma 1 detalei 9.2353
O	Op. Nr.	Įmonė, cechų, barų Operacija	Kateg. T. vnt
D		Dokumentai, instrukcijos	
S		Staklės	
P		Technologijos pakopos	
I		Įranga	
O	010	Atpjovimas	3 12,00
S		Dujinio pjaustymo įrenginys	
O	015	Programinis frezavimas	3 5,93
S		Frezavimo staklės su SPV	
P		Frezuoti ruošinį 100 x 200 x 50	
O	020	Kontrolė	3 6,00
S		Kontrolieriaus stalas	
O	025	Programinis gręžimas	4 6,54
S		Koordinatinio ištekimo staklės	
P		Gręžti 4 kiaurym. skersmeniu 8, 4 kiaurym. skersmeniu 9	
P		Plėsti 2 kiaurym. skersmeniu 8 H7	
O	030	Kontrolė	3 6,00
S		Kontrolieriaus stalas	