

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Aidas Katkevičius

**GAMINIŲ KONSTRAVIMO IR TECHNOLOGINIO
PROJEKTAVIMO METODAI VIENALAIKĖJE INŽINERIJOJE**

Magistro baigiamasis darbas

ŠIAULIAI, 2010

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

**GAMINIŲ KONSTRAVIMO IR TECHNOLOGINIO
PROJEKTAVIMO METODAI VIENALAIKĖJE INŽINERIJOJE**

Magistro baigiamasis darbas

Autorius – Aidas Katkevičius (MM-8 gr.)

Vadovas – prof. habil. dr. A. Bargelis

Recenzentė – doc. dr. D. Čikotienė

Katedros vedėjas – doc. dr. A. Sabaliauskas

ŠIAULIAI, 2010



TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

(parašas, data)

(vardas, pavardė)

MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS
Studijų programa MECHANIKOS INŽINERIJA

Išduota magistrantui (-ei) _____

Darbo tema _____

Patvirtinta 20__m. _____ mėn. __d. fakulteto dekanas
potvarkiu Nr. _____ .

1. Darbo tikslas

2. Darbo struktūra

Darbo pateikimo terminas 20__m. _____ mėn. __d.

Užduotį gavau _____
(magistranto vardas, pavardė) (parašas, data)

Vadovas _____
(pareigos, vardas, pavardė) (parašas, data)

TURINYS

SANTRAUKA LIETUVIŲ KALBA	6
SANTRAUKA UŽSIENIO KALBA	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS	8
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	9
ĮVADAS	10
1. GAMINIŲ KONSTRAVIMAS	11
1.1. Konstravimo samprata	11
1.2. Šiuolaikinis konstravimo procesas	11
1.3. Sprendimų priėmimo metodai	12
1.3.1. Konvenciniai metodai	12
1.3.2. Intuityvieji metodai	12
1.3.3. Deterministiniai kūrimo metodai	13
1.4. Naujo gaminio kūrimo procesas	13
1.5. Kompiuterizuotas konstravimas	14
1.6. Projekto kokybė	16
2. GAMINIŲ TECHNOLOGINIS PROJEKTAVIMAS	18
2.1. Organizacijos technologijos strategija	18
2.2. Gaminio gamybos technologija	19
2.3. Technologijos proceso projektavimas	20
2.3.1. Šiuolaikinės gamybos technologijos kryptys ir tendencijos	20
2.3.2. Projektavimo tvarka	20
2.3.3. Automatizuotas gamybos technologijos projektavimas	21
3. VIENALAIKĖ INŽINERIJA	23
3.1. Vienalaikės inžinerijos samprata	23
3.2. Vienalaikės inžinerijos diegimas	24
3.3. Gaminio patikimumo ir jo kokybės užtikrinimas kiekviename gaminio gyvavimo stadijoje	24
3.4. Vienalaikės inžinerijos sudedamosios dalys	26
4. DFX METODAI KONSTRAVIMO IR TECHNOLOGINIO PROJEKTAVIMO PROCESUOSE	27
4.1. Konstravimas gamybai lengvinti (DFM)	27
4.1.1. DFM poreikis	27
4.1.2. DFM esmė	27

4.1.3. <i>DFM</i> naudojimas	29
4.2. Konstravimas rinkimui lengvinti (<i>DFA</i>)	30
4.2.1. <i>DFA</i> metodo esmė	30
4.2.2. <i>DFA</i> sukūrimas ir tobulinimas	31
4.2.3. <i>DFA</i> diegimas ir nauda	32
4.2.4. Rinkimo metodų palyginimas	32
5. DFX METODIKOS REALIZAVIMAS PRAKTIKOJE	34
5.1. Gaminio aprašymas	34
5.2. Gaminio savikainos nustatymas	35
5.3. <i>DFM</i> priemonių panaudojimas gaminio savikainai mažinti	48
5.4. Konstrukcijos keitimo ekonominiai rodikliai	51
IŠVADOS	54
LITERATŪRA	55
PRIEDAI	57
1 PRIEDAS. Skydo brėžinys	58
2 PRIEDAS. Štampavimo staklių <i>TRUMATIC 2020R FMC Compact</i> techniniai duomenys	59
3 PRIEDAS. Lakštų karpymo staklių <i>Amada Promecam GH 630 Z</i> techniniai duomenys	60

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Aidas Katkevičius. GAMINIŲ KONSTRAVIMO IR TECHNOLOGINIO PROJEKTAVIMO METODAI VIENALAIKĖJE INŽINERIJOJE. Magistranto baigiamasis darbas / vadovas prof. habil. dr. A. Bargelis.

SANTRAUKA

Magistro baigiamojo darbo tema yra aktuali šiandieninėje konkurencija perpildytoje gamybinėje aplinkoje, kadangi kiekviena šiuolaikinė pelno siekianti organizacija deda visas pastangas tam, kad pagaminti gaminį minimaliomis išlaidomis, tuo pat metu iš jo išgaunant maksimalią vertę. Šiems tikslams pasiekti būtina gerinti gaminių konstravimo ir technologinio projektavimo metodus. Tai galima padaryti pasitelkiant vienalaikės inžinerijos (angl. *Concurrent engineering* – CE) metodologiją. Vienalaikės inžinerijos pagrindinis privalumas yra tai, kad gaminio konstrukcija ir jo gamybos technologija yra projektuojamos kartu. Tai leidžia išspręsti daugybę gamybinių problemų dar ankstyvosiose produkto gyvavimo ciklo stadijose.

Šio darbo tikslas – įvertinti vienalaikės inžinerijos ir jos sudedamųjų dalių galimybes gaminių konstravimo bei jų gamybos technologijos projektavimo procesuose.

Darbo atlikimo metu įvykdyti uždaviniai:

- ☞ išsamus teorinių gamybos projektavimo optimizavimo priemonių tyrimas;
- ☞ šių priemonių panaudojimas realioje gamyboje optimizuojant konkretaus gaminio konstrukciją;
- ☞ šių priemonių panaudojimo ekonominės naudos įvertinimas.

Šio darbo rezultatas – Lietuvos gamintojo gaminio konstrukcijos keitimas, kuris lydimas gamybos sąnaudų sumažėjimu.

Darbo atlikimo metu ekonomiškai pagrįstas vienalaikės inžinerijos priemonių panaudojimo efektyvumas.

Reikšminiai žodžiai: *minimalios išlaidos, maksimali vertė, konstravimas, technologinis projektavimas, vienalaikė inžinerija.*

ŠIAULIAI UNIVERSITY
FACULTY OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

Aidas Katkevičius. THE METHODS OF PRODUCT CONSTRUCTION AND TECHNOLOGICAL DESIGN IN CONCURRENT ENGINEERING. Master final work. / research advisor Assoc. Prof. habil. Dr. A. Bargelis.

SUMMARY

The theme of Master thesis of Mechanical engineering is very relevant to today's competitive manufacturing environment, overcrowding, and every for-profit production company is making every effort to produce the best quality product at minimal cost. To this end, it is necessary to constantly and continuously improve product design and technological design methods and means of implementing them. The *Concurrent Engineering (CE)* is perfect for this purpose. *CE's* essential feature is that the product design and process technology are designed at the same time – simultaneously. This allows to solve many production problems still at an early stage of product design.

The goal of this research is to assess the capabilities of *Concurrent Engineering* and components of it in product and its manufacturing technology design processes.

Execution of work to meet the challenges ahead:

- ☞ full theoretical research in the manufacturing design optimization tools;
- ☞ the usage of these tools in a real production;
- ☞ the economical benefit determination of usage of these tools.

The result of this study – the design optimization of the Lithuanian manufacturer item, which is accompanied by a reduction in that item manufacturing costs.

During the execution of this work, the economical effect of usage of *Concurrent Engineering* tools in product and its process design, was analytically justified.

Keywords: *best quality, minimal cost, product design, technological design, Concurrent Engineering.*

LENTELIŲ SĄRAŠAS

5.1 lent. Pirminis gaminio gamybos sąnaudų nustatymas	35
5.2 lent. Projektavimo darbų laiko sąnaudos	36
5.3 lent. Projektuotojų darbo apmokėjimo sąnaudos	36
5.4 lent. Gaminio projektavimo sąnaudos	37
5.5 lent. Ruošinių gamybos technologijos darbo užmokesčio sąnaudos	38
5.6 lent. Technologinių gamybos procesų darbo užmokesčio sąnaudos	38
5.7 lent. Gaminio gamybos technologijos projektavimo sąnaudos	39
5.8 lent. Pagalbinių medžiagų vertė	41
5.9 lent. Grįžtamųjų atliekų vertės skaičiavimas	42
5.10 lent. Įrengimų poreikio ir jų galingumo skaičiavimas	42
5.11 lent. Patalpų vertės apskaičiavimas	42
5.12 lent. Vieno darbininko efektyvus metinis darbo laiko fondas	44
5.13 lent. Pagrindinių darbininkų pagrindinio darbo užmokesčio apskaičiavimas	45
5.14 lent. Tiesioginių darbo užmokesčio išlaidų skaičiavimas	46
5.15 lent. Netiesioginės darbo užmokesčio išlaidos	46
5.16 lent. Patalpų šildymo išlaidos	47
5.17 lent. Išlaidos patalpų apšvietimui	47
5.18 lent. Bendrosios ir administracinės sąnaudos	47
5.19 lent. Atlyginimų ir socialinio draudimo išlaidos	48
5.20 lent. Antrinis gaminio gamybos sąnaudų nustatymas	52

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Tipinis naujo gaminio kūrimo procesas	14
1.2 pav. CAD sistemos struktūra	15
1.3 pav. Kokybės ratas	17
2.1 pav. Gamybos technologijos įtaka įmonės finansinei padėčiai	19
3.1 pav. Kartotinis gamybos modelis	23
3.2 pav. Projektavimo klaidų skaičiaus priklausomybė nuo inžinerijos tipo	26
4.1 pav. Tpinė konstravimo gamybai lengvinti (DFM) proceso schema	28
4.2 pav. Surinkimo procesų kaina priklausomai nuo gamybos apimtys	33
5.1 pav. Elektros skydinės skydas	34
5.2 pav. Skydo išklotinė	34
5.3 pav. Atliekų skaičiavimo schema	40
5.4 pav. Skydo išklotinės matmenys	49
5.5 pav. Trijų gaminių gamybos schema	50
5.6 pav. Štampavimo bei karpymo staklėmis apdirbami kontūrai	51
5.7 pav. Projekto gerinimo ekonomija	53

ĮVADAS

Kiekviena šiuolaikinė įmonė siekia gaminti tik rinkoje paklausius, konkurencingus gaminius. Tokia gamybos strategija sukelia nuolatinių pelningos veiklos siekimo uždavinių – nepastovaus gaminių įvairovės kitimo, gaminių optimalios konstrukcijos bei gamybos technologijos projektavimo, tinkamo gamybos valdymo – sprendimo būtinumą.

Netinkama gaminių konstrukcija, taip pat kaip ir jų gamybos technologija sąlygoja gaminių kokybės praradimus. Atsižvelgiant į tai, jog nūdienos vartotojai renkasi gaminius, kurie gerai atlieka priskirtas funkcijas, ilgai laiko ir yra lengvai aptarnaujami, prastai sukonstruotus ar pagamintus gaminius parduoti būtų praktiškai neįmanoma. Todėl, norint, kad organizacija veiktų efektyviai, būtina nuolat ir nepaliaujamai tobulinti gaminių konstravimo ir jų gamybos technologijos projektavimo metodus bei jų įgyvendinimo būdus. Šiam tikslui puikiai tinka lygiagrečiai veikianči (vienalaikė) arba sutampanti inžinerija (angl. *Concurrent Engineering – CE*), kurios pagalba galima optimizuoti projektavimo ciklą.

Šio darbo tikslas – įvertinti vienalaikės inžinerijos ir jos sudedamųjų dalių galimybes gaminių konstravimo bei jų gamybos technologijos projektavimo procesuose.

Darbo atlikimo metu keliami uždaviniai:

- ☞ apžvelgti gaminių konstravimo principus, metodus, šiuolaikines konstravimo galimybes;
- ☞ aptarti gamybos technologijos kūrimo ir organizavimo gaires, kryptis bei tendencijas;
- ☞ nustatyti vienalaikės inžinerijos metodikos panaudojimo efektyvumą šiuolaikinėje gamybinėje aplinkoje;
- ☞ panaudoti vienalaikės inžinerijos principus realaus gaminio gamybos optimizavime;
- ☞ nustatyti galimą vienalaikės inžinerijos priemonių panaudojimo ekonominį efektą.

Teorinėje apžvalginėje dalyje aptariamas šiuolaikinis konstravimo supratimas, pateikiami konstrukcijos schemų priėmimo metodai, nurodomos kompiuterijos teigiamybės konstravimo procese, pažymima viso projekto kokybės svarba. Taip pat aptariama tinkamos organizacijos technologijos strategijos bei gaminio gamybos technologijos pasirinkimo svarba, nurodomos pagrindinės technologinio proceso projektavimo gairės. Šioje dalyje pateikiami vienalaikės inžinerijos įdiegimo bei realizavimo ypatumai, nagrinėjami konstravimo bei technologinio projektavimo metodai skirti konkrečiai produkto gyvavimo ciklo fazei.

Praktinėje analitinėje darbo dalyje realizuojama vienalaikės inžinerijos metodika, panaudojant realaus gaminio gamybos projekto optimizaciją. Ekonominiais skaičiavimais pagrindžiama gamybos optimizacijos proceso nauda.

1. GAMINIŲ KONSTRAVIMAS

1.1. Konstravimo samprata

Pačią sąvoką „konstravimas“ apibrėžti nėra lengva, nors ir vartojame ją gana dažnai. Įvairioje literatūroje galima rasti daug bandymų tai padaryti, tačiau jie paprastai labiau nusiseka kai konstravimą bandoma apibrėžti gaunamo rezultato, bet ne proceso prasme [1]. Dabartinės Lietuvių kalbos žodynas [2] konstravimą apibrėžia kaip pastato, mašinos ar mechanizmo dalių konstrukcijos sutvarkymą arba jos struktūros keitimą. Iš tikrųjų, konstravimas apima ne tik dokumentacijos sukūrimą, bet ir apsisprendimo dėl gaminio sandaros bei veikimo principo tarpsnį, būsimos gamybos proceso įvaizdį, pagaminto gaminio realizavimo, ir jo poveikio vartotojui, ir jo aplinkai prognozės bei kitų konstruktoriaus veiksmų, ir ieškojimų seką [1]. Taigi, galime teigti, jog konstruktorius projektuodamas bet kokį gaminį atlieka ne tik inžinerinę, bet ir kūrybinę veiklą.

Konstravimo tikslas yra rasti optimalų techninės problemos sprendimą ir parengti gamybai pakankamą dokumentaciją. Šiandieninis optimalaus techninės problemos sprendimo suvokimas apima gaminio gamybos technologijos, jo eksploataavimo, aptarnavimo, ekologinius ir likvidavimo aspektus. Be visų išvardintų reikalavimų, gaminyje turi būti sukonstruotas taip, kad visos su juo susijusios išlaidos būtų kiek galima mažesnės.

1.2. Šiuolaikinis konstravimo procesas

Įgijęs praktinės patirties ir remdamasis profesionalia intuicija konstruktorius netgi nesilaikydamas kokio nors sistemiškumo gali rasti daugiau ar mažiau gerus sprendimus, tačiau natūralus užsakovo noras mažinti riziką ir siekti optimalaus rezultato konstravimo teoretikus visą laiką skatino susisteminti konstravimo procesą, parengti jo metodologinius pagrindus. Šiandien konstravimo metodologija ne tik teikia daugybę puikių patarimų, bet jau yra įteisinta norminiais dokumentais, nustatančiais konstravimo žingsnių seką. Pavyzdžiui, Vokietijos *VDI* normos (2010, 2221, 2222, 2225) skiria du pagrindinius konstravimo tarpsnius – koncepsijos sukūrimo ar parinkimo tarpsnį ir koncepsijos įgyvendinimo tarpsnį [1].

1.3. Sprendimų priėmimo metodai

1.3.1. Konvenciniai metodai

Techninė literatūra. Daugiausia informacijos konstruktorius randa monografijose, mokslo žurnaluose, gaminių kataloguose, standartuose, techninėse normose, rekomendacijose ir pan.

Techninė fantazija. Idealių ir net nerealių atvejų įsivaizdavimas ir nagrinėjimas, gali padėti užčiuopti naujus naudingus techninius sprendimus.

Inercija. Tai sugebėjimas judėti tiesiai ir tolygiai. Kūrybiniame procese tai reiškia judėjimą anksčiau pasirinktu arba nurodytu keliu. Galimas atvejis, kai pastarasis kelias nėra geriausias. Inerciją sumažina objekto įsivaizdavimas visiškai netikėtoje aplinkoje, netikėtomis aplinkybėmis. Tai leidžia pastebėti naujas arba užslėptas objekto savybes.

Analogija. Pasinaudojant panašumu sukurta, bei vis dar kuriama daugiausia įvairios paskirties komponentų, gaminių, įrengimų ir t.t. Analogija labai padeda unifikuoti bei standartizuoti gaminius ir jų elementus, nugalėti psichologinę inerciją [3].

Eksperimentiniai tyrimai ir modeliavimas. Eksperimentiniai tyrimai suteikia labai svarbios informacijos konstruktoriui apie įvairius konstrukcinius trūkumus.

Modeliavimas įgalina imituoti realią situaciją, ją idealizuojant. Tai padeda išspręsti daugelį problemų.

1.3.2. Intuityvieji metodai

Smegenų ataka. Organizuotas pokalbis, kurio metu jo dalyviai – ne mažiau kaip 5, bet ne daugiau kaip 15 – siūlo idėjas, o kritika draudžiama [3]. Iš karto nesistengiama priimti jokio sprendimo, o ieškoma, kiek galima daugiau, įvairiausių idėjų. Po to iškeltos idėjos gali būti aptariamoms ir plėtojamos.

635 metodas. Po supažindinimo su konkrečiu uždaviniu, kiekvienas iš šešių asmenų privalo raštu pasiūlyti tris galimus sprendinius. Toliau, kiekvienas narys savo idėjas perduoda vienam iš kolegų, kuris pasiūlo dar tris sprendinius, plėtodamas gautas idėjas. Galiausiai, kiekvieno iš šešių dalyvių trys pasiūlymai, kitų penkių dalyvių yra papildomi ir išplėtojami. Būtent todėl šis metodas pavadintas 635.

Galerijos metodas. Pagal [3], šis metodas jungia pavienių asmenų ir grupinį darbą, ir yra ypač tinkamas gauti pasiūlymams, kuriuos galima pateikti grafiškai – eskizais.

Delfi metodas. Taikant šį metodą apklausiami (raštu) kompetetingi specialistai, kurie turi pateikti geriausią problemos sprendimą.

Sinektika. Šis metodas yra panašus į smegenų atakos metodą, tačiau čia ieškoma analogijų ir sąsajų iš netechninių ar pusiau techninių sričių.

1.3.3. Deterministiniai kūrimo metodai

Sisteminė fizikinių ryšių analize. Žinant projektuojamo objekto veikimo principą bei jį apibūdinančią fizikinę lygtį, gali būti gauti įvairūs sprendiniai, paliekant tam tikrą kintamųjų skaičių, o kitus laikant pastoviais.

Sisteminė paieška derinių metodu. Derinių (asociacijų, kombinatorikos) metodas jau reikalauja didesnio pasipriešinimo psichologinei inercijai negu analogijų metodas. Kadangi neįprasti deriniai ir jų kombinacijos labiau prieštarauja įprastoms sąvokoms, daugelis žmonių, sujungę žinomus dalykus ir gavę visiškai netinkamą sprendimą, stengiasi visa tai kuo greičiau užmiršti ir vėl galvoti apie įprastus dalykus. Turint kantrybės, deriniai gali duoti puikių rezultatų [3].

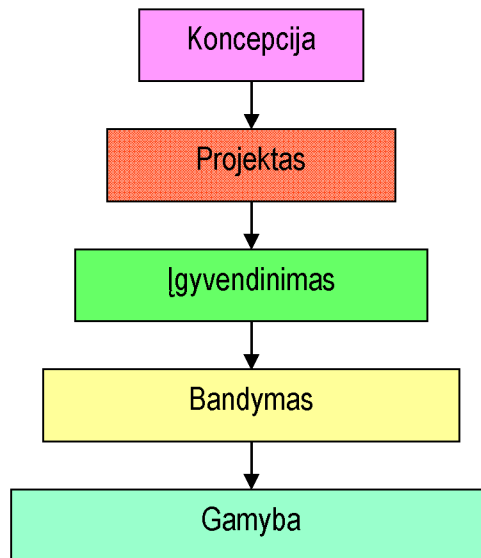
Inversija. Šio metodo esmė – formos, funkcijų, detalių padėties keitimas. Kartais tikslinga pakeisti komponentų paskirtį – varančiąją detalę pakeisti varomąją, kreipiančiąją – kreipiamąją, gaubiančiąją – gaubiamąją, judamą – nejudamą [4].

1.4. Naujo gaminio kūrimo procesas

Kuriant bet kokią šiuolaikišką gaminį reikia stengtis maksimaliai tenkinti būsimų vartotojų numatomus poreikius. Tokia projektavimo koncepcija sustiprina gaminio pozicijas konkurencinėje kovoje. Kita vertus, tai negarantuoja sėkmės, kadangi suprojektuotą objektą reikia sugebėti pagaminti. Pagal [5], nepriimtinas yra toks gaminio, paslaugos ar proceso projektas, kuris atitinka vartotojo reikalavimus, bet kurio įmonė ar organizacija negali įgyvendinti.

Svarbu žinoti, jog gaminiui sukurti (suprojektuoti, bandymams atlikti, gamybai paruošti ir t. t.) reikalingas finansavimas. Kaip teigiama darbe [6], statistika rodo, kad nuo 33 iki 60 % naujų gaminių neatsiperka, t. y. jų sukūrimui patirtos išlaidos viršija pajamas, gautas juos pardavus. Taigi kiekviena organizacija, gaminanti naują gaminį, daugiau ar mažiau rizikuoja.

Siekiant sumažinti riziką, susijusią su naujų gaminių gamyba, šiuo metu daugelyje pasaulio įmonių diegiamas naujo gaminio kūrimo procesas. Gaminio kūrimo procesu vadinama visuma veikų, pradedant rinkos sąlygų tyrimu ir baigiant gaminio gamyba ir pardavimu vartotojui. Gaminio kūrimo procesas apima tris tradicinius kiekvienai įmonei procesus – rinkotyra, projektavimą ir gamybą [5]. Šiuose procesuose išskiriamos tam tikros stadijos (žr. 1.1 pav.). Pagal [7], toks gaminio kūrimo modelis kartais dar vadinamas „Krioklio gamybos modeliu“.



1.1 pav. Tipinis naujo gaminio kūrimo procesas

Šiam gamybos modeliui būdingas nuoseklus gamybos stadijų vystymasis. Kitaip tariant, gamybos funkcijos atliekamos viena po kitos, t. y. visiškai išpildžius pirmąją, pildoma antroji, toliau – visiškai išpildžius antrąją, pildoma trečioji ir t. t. Būtent šioje vietoje iškyla daugybė problemų, kadangi gamyba paremta šiuo modeliu visiškai nenumato ir nesprendžia būsimų gamybos proceso nesklaidumų. Dažnai identifikavus gana nežymias klaidas tenka iš naujo pakartoti visą gaminio kūrimo procesą. Neabejotinai, tai sukelia tiek laiko, tiek finansinių išteklių nuostolius.

Geras projektas turi įvertinti visus vartotojo reikalavimų aspektus, įskaitant kainą, gamybos būdą, saugų ir patogų naudojimą, paprastą priežiūrą ir t. t. [5].

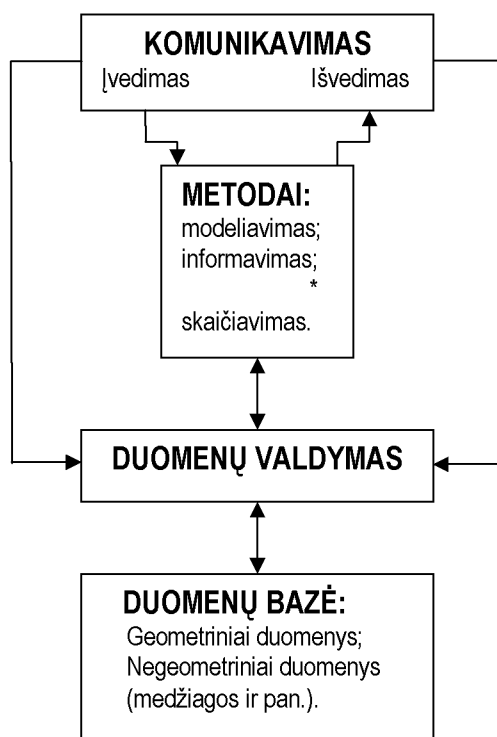
1.5. Kompiuterizuotas konstravimas

Sparčiai tobulėjant kompiuterinei technikai, labai pasikeitė ir pats konstravimo procesas. Konstruktorius, naudodamasis kompiuteriu, įgalinamas greitai ir efektyviai atlikti rutininius konstravimo (projektavimo) darbus. Taip pat, pagal [1], konstruktorius panaudodamas skaitines programines sistemas, gali atlikti išsamią konstrukcijos analizę, grafiškai pavaizduoti tiriamą sistemą veikiančias jėgas ir atramines reakcijas, deformuotą konstrukcijos formą, įtempių būvį, veikiant žinomai apkrovai ir pan. Visiškai aišku, kad uždavinių sprendimas, naudojant minėtas priemones, pastebimai palengvėja bei sutrumpėja. Tiesa, būtina atkreipti dėmesį į tai, jog net ir naudojant kompiuterius konstravimo procese, pagrindinis intelektualinio darbo krūvis tenka inžinieriui.

Aprašytas kompiuterio naudojimas konstravimo (projektavimo) procese vadinamas tarptautiniu terminu “*Computer Aided Design*” (*CAD*) [1]. Labiausiai paplitusios konstruktorinės kompiuterizuotos sistemos anot *A. Bargelio (1998)*, yra *Auto CAD*, *MiniCAD*, *CADKey*.

Bendroji *CAD* sistemos struktūra pateikta *1.2 paveiksle*. Jame parodyta, kad skaičiavimo ir kitais tikslais prie *CAD* prisiejamos ir kitos programos [3]:

- ☞ skaičiavimo;
- ☞ optimizavimo;
- ☞ animacinės;
- ☞ geometrinių vaizdų ir struktūros braižymo;
- ☞ “surinkimo” ir keitimo, naudojant sukaupčius geometrinius ir technologinius modelius;
- ☞ sukaupčios informacijos pateikimo: duomenų, tekstų, brėžinių, normų, perkamų gaminių, senų gaminių, tipinių mašinų elementų, veikimo principinių schemų ir kt.



1.2 pav. *CAD* sistemos struktūra

Labai svarbi *CAD* sistemos sudedamoji dalis yra skaičiavimo programa. Konstruojant labai svarbu įvertinti tipinių ir netipinių konstrukcijų įtempių ir deformacijų pasiskirstymo laukus, bei plastines medžiagų savybes, esant paprastoms bei sudėtingoms gaminių konfigūracijoms. Šiam tikslui sukurtos baigtinių elementų metodu (*BEM*) veikiančios programų sistemos [1].

Dabartiniu metu labai paplitusios *3D CAD* sistemos, kurios orientuotos ne į brėžinio kūrimą, o į objekto (gaminio) modeliavimą. Pagrindinė jų teigiamybė – didelis darbo efektyvumas, nes jos modeliuoja trimatį erdvinį objektą, o jį sukūrus – automatiškai braižo objekto brėžinius [8].

1.6. Projekto kokybė

Kokybe yra vadinama objekto savybių visuma, leidžianti jam tenkinti esamus ar numatomus poreikius [9]. Konkurencingumo požiūriu kokybė yra svarbiausias rodiklis, lemiantis pirkėjo apsisprendimą pirkti gaminį [8].

Bet kuris projektas yra vartotojų reikalavimų išraiška tokia forma, kuri tinkama naudoti. Konstravimo metu vartotojų reikalavimai transformuojami į konkrečius inžinerinius sprendimus. Geras projektas turi įvertinti visus vartotojo reikalavimų aspektus, įskaitant kainą, gamybos būdą, saugų ir patogų naudojimą, paprastą priežiūrą ir t. t. Kaip teigia *A. Bargelis (2003)*, norint pagaminti kokybišką gaminį būtina nuolat gerinti konstrukciją, siekti maksimalaus funkcijų efektyvumo, bei naudoti racionalius gamybos procesus.

Gaminys bus geros kokybės tik tada, jei jo kokybė bus numatyta projekte. Projektuojant (konstruojant) gaminį būtina išnagrinėti jo kokybės, patikimumo, našumo, pataisomumo ir kitas charakteristikas bei numatyti specialias priemones, o taipogi konstrukcinius sprendimus, kad šios charakteristikos atitiktų vartotojo poreikius ir viltis [5].

Projektavimo ir konstravimo procesams būdingas tyrimas ir tobulinimas [9]. Tyrimo metu atskleidžiamos naujos idėjos, nauji metodai bei principai. Tobulinimo metu yra gerinami jau žinomi metodai bei idėjos.

Gaminio konstravimo metu padaryti sprendimai yra labai svarbūs visai organizacijos veiklai, taip pat kaip ir visi kiti su gamyba susiję procesai (*žr. 1.3 pav.*).

Produkcijos kokybės reikšmė visą laiką didėja. Aukšta produkcijos kokybė tapo svarbiausiu ginklu, norint užkariauti rinką. Dėl to kokybės užtikrinimas kiekvienoje gamybos stadijoje išsirutuliojo į visuotinę kokybės vadybą (angl. *Total Quality Management*). Visuotinė kokybės vadyba – tai į kokybę orientuotas organizacijos vadovavimo būdas, pagrįstas visų jos narių dalyvavimu, siekiant ilgalaikės sėkmės patenkinant klientą, taip pat naudos savo organizacijos darbuotojams ir visuomenei. Visuotinė kokybės vadyba apima visą įmonę, įtraukia visus darbuotojus, ugdo kokybę, etiką, kultūrą, orientuojasi į vartotoją ir atsiliepia į konkurencijos iššūkius [10].



1.3 pav. Kokybės ratas

2. GAMINIŲ TECHNOLOGINIS PROJEKTAVIMAS

2.1. Organizacijos technologijos strategija

Modernioje gamybos aplinkoje technologija siejama ne vien tik su kompanija, gamykla ar įrenginiais, bet ir su daug platesnėmis veiklos sritimis, įskaitant informacines technologijas, kompiuterių tinklus, internetą ir kitas gamybos rengimo, valdymo, organizavimo ir vykdymo priemones [8]. Kitaip tariant, technologija turi spręsti visus organizacijos vidinius ir išorinius uždavinius, kurie kyla atliekant tikslingą veiklą.

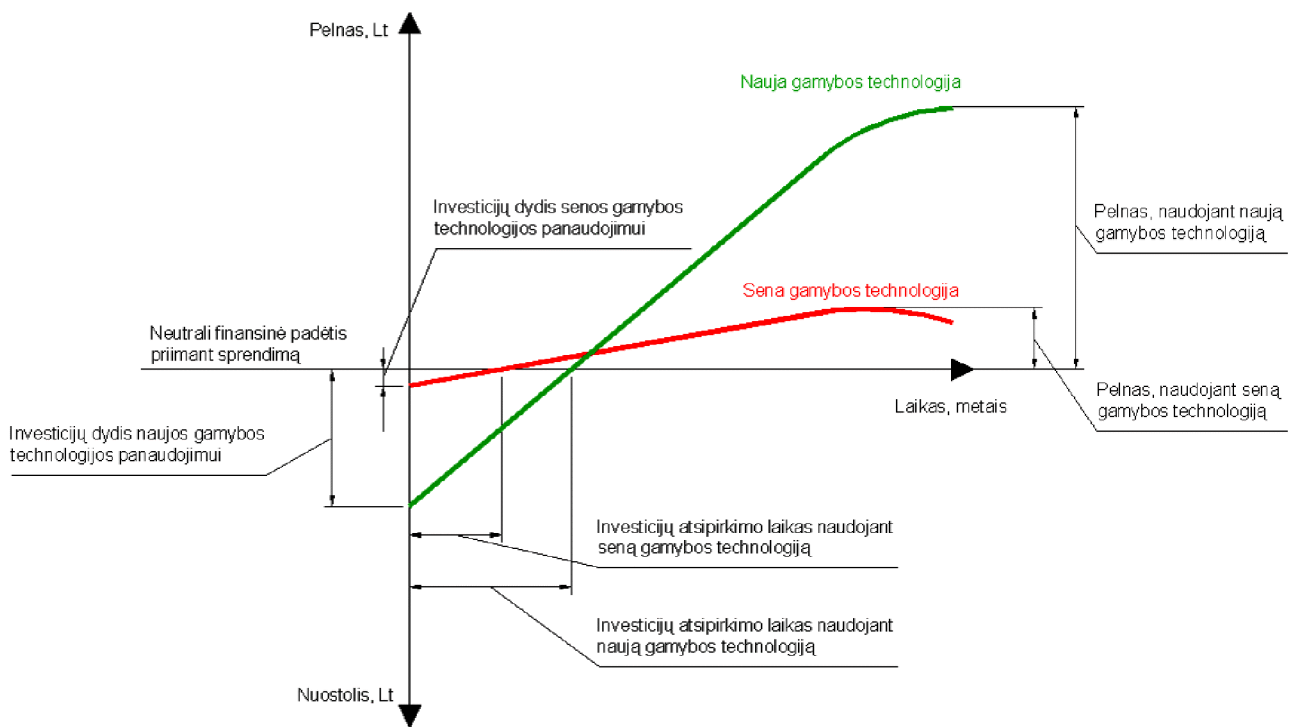
Labai svarbus bet kurios įmonės veiklos prioritetas yra technologijos valdymas, kurio sudedamosios dalys – strategija bei taktika.

Pasak *A. Bargelio (2002)*, pramonės įmonių konkurencinio pranašumo sėkmę lemia pasirinkta ir įdiegta gera technologijos strategija, t. y.:

- ✓ integruotas gaminių, procesų ir įrenginių projektavimas, naudojant pažangius apdirbimo procesus, technologijas ir medžiagas;
- ✓ gera gamybos padalinių struktūra, vieta, darbuotojų kvalifikacija, patikimi tiekėjai ir pažangi įmonės valdymo politika;
- ✓ pažangi įmonės gamybos plėtros strategija, grindžiama technologijos parinkimu ar kūrimu, siekiant pranokti konkurentus produkcijos kokybe, išlaidomis, inovacijomis, gamybos lankstumu bei pirkėjų reikalavimų tenkinimu.

Tinkama organizacijos technologijos strategija veda link racionalios gamybos technologijos, kuri tiesiogiai įtakoja gamybos procesus, o galų gale – patį gamybos objektą (gaminį). Gamybos technologija turi būti detaliai suderinta su gamybos apimtimi bei gaminių nomenklatūra.

Dažnai įvairios pramonės įmonės susiduria su dilema – gamyboje naudoti senas ar naujas technologijas. Sena gamybos technologija reikalauja (arba nereikalauja) minimalių papildomų investicijų, tačiau gamyba yra neefektyvi visais aspektais (laiko, lėšų, produkcijos kokybės ir kt.), o tai laikui bėgant didina pelno praradimus, lyginant su nauja gamybos technologija, kuriai reikalingos didelės pradinės investicijos (*žr. 2.1 pav.*). Taip pat išvelgiamas ir žymus investicijų atsipirkimo laiko skirtumas.



2.1 pav. Gamybos technologijos įtaka įmonės finansinei padėčiai

2.2. Gaminio gamybos technologija

Dar gaminio konstravimo metu yra numatoma jo gamybos technologija. Pagal [10], technologija – tai mokslas apie techninius gamybos procesus, apie gamybos metodų ir priemonių visumą. Kitaip tariant, gamybos technologija sprendžia, kaip pagaminti reikiamą norimos kokybės gaminių skaičių, esant mažiausiai savikainai, mažiausioms medžiagų sąnaudoms, didžiausiam darbo našumui. Darbas turi būti lengvas fizine prasme, saugus, gamyba turi neteršti aplinkos.

Pagal minėtus kriterijus, sukuriama gaminio gamybos technologija. Ji turi būti peržiūrima ir atnaujinama tam tikrais laiko intervalais, kuriuos nustato pati įmonė ir kurie priklauso nuo įmonės technologijos strategijos. Kaip teigia *A. Bargelis (2002)*, gaminio gamybos technologija kuriama ir valdoma atsižvelgiant į:

- pirkėjo reikalavimus;
- potencialių varžovų galimybes ir planus;
- savo kompanijos galimybes.

Gamybos technologija turi didelę įtaką įvairioms gaminių savybėms, tarp jų – patikimumui ir eksploatacinėms išlaidoms. Dėl to, labai svarbu tobulinti esamus ir kurti naujus technologijos metodus, siekiant geresnės apdirbimo kokybės, ekonomiškumo, patikimumo, mažų medžiagų sąnaudų, mažos aplinkos taršos ir kitų pageidaujamų savybių [10].

2.3. Technologijos proceso projektavimas

2.3.1. Šiuolaikinės gamybos technologijos kryptys ir tendencijos

Technologijos procesu vadinama gamybos proceso dalis, kuria siekiama kryptingai pakeisti ir (arba) nustatyti darbo daigto būklę [10]. Siekiant, kad suprojektuotas technologijos procesas būtų tikrai šiuolaikinis, kad jame panaudoti techniniai sprendimai ir metodai kuo ilgiau nepasentų, projektuojant reikia atsižvelgti į esmines dabartines gamybos technologijas, gamybos organizavimo kryptis ir tendencijas. Iš jų svarbiausios yra šios:

- tobulinami technologiniai procesai ir gamybos organizavimas pasinaudojant naujausiais mokslo pasiekimais;
- stengiamasi maksimaliai sumažinti apdirbimą pjovimu;
- mechaniniam apdirbimui naudojami našūs technologiniai įrengimai;
- siekiant padidinti gaminio ilgaamžiškumą ir patikimumą, stengiamasi pasiekti maksimalų gaminių formos ir matmenų tikslumą;
- naudojami įvairūs technologiniai detalių sustiprinimo būdai, prailginantys detalių ir gaminių eksploatavimo trukmę;
- elektrofiziniais ir elektrocheminiais būdais apdorojami sunkiai apdirbami metalai;
- sparčiam gaminių konstarvimui ir gamybos paruošimui naudojami kompiuteriai;
- siekiama gamybos lankstumo – galimybės greitai ir nesudėtingai pertvarkyti gamybą kitai produkcijai gaminti.

Šios prioritetinės kryptys ir tendencijos yra įgyvendinamos individualiai, atsižvelgiant į konkrečias aplinkybes ir ekonominę naudą.

2.3.2. Projektavimo tvarka

Detalės gamybos technologijos procesas projektuojamas laikantis tam tikro nuoseklumo. Atlikus dalį darbų, priklausomai nuo gautų rezultatų, kartais tenka grįžti atgal ir pakeisti ankstesniojo etapo sprendimus.

Projektavimo darbai pagal atlikimo eilę yra [10]:

- ☞ detalės brėžinio technologinė kontrolė;
- ☞ technologiškumo kontrolė;
- ☞ gamybos tipo nustatymas ir organizacinės formos parinkimas;
- ☞ ruošinio parinkimas;
- ☞ bazių parinkimas;

- ☞ paviršių apdirbimo būdų ir tvarkos nustatymas;
- ☞ detalės apdirbimo kelio sudarymas, staklių parinkimas;
- ☞ apdirbimo schemų ir operacijų struktūros parinkimas;
- ☞ užlaidų ir tarpinių matmenų apskaičiavimas;
- ☞ matmenų analizė;
- ☞ operacijų turinio sudarymas, staklių dydžio ir modelio, įtaisų parinkimas;
- ☞ kontrolės priemonių parinkimas;
- ☞ mechanizavimo, automatizavimo, transporto priemonių parinkimas;
- ☞ derinimo schemų projektavimas;
- ☞ pjovimo ir pagalbinių įrankių parinkimas, pjovimo režimų apskaičiavimas ir parinkimas;
- ☞ laiko apskaičiavimas, reikalingos darbininkų kvalifikacijos nustatymas;
- ☞ ekonominis įvertinimas, technologijos variantų palyginimas;
- ☞ dokumentacijos tvarkymas.

Plėtojant kompleksinę (*vienalaikę*) inžineriją galima laukti projektavimo darbų nuoseklumo pasikeitimų.

2.3.3. Automatizuotas gamybos technologijos projektavimas

Technologijos projektavimas sudaro svarbią ir darbo imlią gamybos paruošimo dalį. Gana dažnai technologijos projektavimo apimtis viršija konstrukcinio projektavimo apimtį [10].

Atliekant tradicinį projektavimo procesą tik nedidelė laiko dalis panaudojama kūrybiniam darbui, tinkamiausiems sprendimams parinkti, o didesnioji – reikiamai informacijai ieškoti ir rezultatams apiforminti. Kiekvienu konkrečiu gamybos atveju reikia siekti racionaliausio technologijos proceso, o tam reikėtų įvertinti kelis procesus ir pasirinkti tinkamiausią, tačiau norint suprojektuoti ir palyginti kelis technologijos proceso variantus, reikia labai daug laiko ir darbo. Pagal *A. J. Bražiūną (2004)*, šias problemas geriausia spręsti automatizuojant bei kompiuterizuojant technologijos projektavimą. Automatinis yra laikomas toks projektavimas, kai projektuojant žmogus nedalyvauja.

Automatizuotas gamybos technologijos projektavimas atliekamas uždavinį suskaidant į tokias dalis:

- duomenų rinkimas;
- inžineriniai skaičiavimai;
- loginiai vertinimai ir sprendimų derinimas;
- dokumentų pildymas.

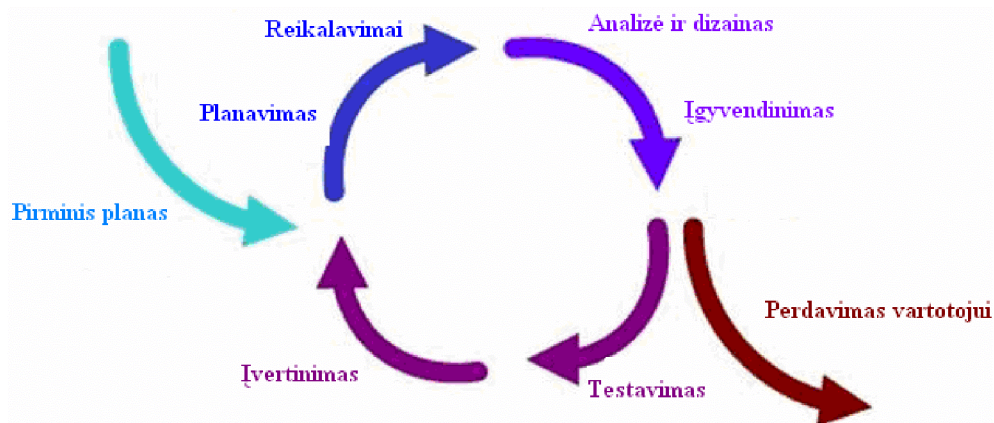
Pasitelkiant automatizuoto technologijos projektavimo galimybes, minėto uždavinio dalys atliekamos daug greičiau, lyginant su neautomatizuotu gamybos technologijos projektavimu.

Šiuo metu automatizuojami tik gana nesudėtingų formų (pvz., sukinių) detalių technologijos projektavimo darbai. Intensyviai dirbama siekiant automatizuoti sudėtingesnių formų detalių technologijos projektavimą.

3. VIENALAIKĖ INŽINERIJA

3.1. Vienalaikės inžinerijos samprata

Lygiagrečiai veikianti (*sutampanti*) inžinerija (angl. *CE – Concurrent Engineering*), kartais minima kaip integruota produktų plėtra (angl. *IPD – Integrated Product Development*) ar vienalaikė inžinerija (angl. *SE – Simultaneous Engineering*), buvo pirmą kartą apibrėžta *Gynybos Analizės Instituto* (angl. *Institute for Defense Analysis (IDA)*) 1988 metų gružio mėnesio ataskaitoje „*Vienalaikės inžinerijos vaidmuo ginkluotės sistemose*“ (angl. „*The Role of Concurrent Engineering in Weapons System Acquisition*“), kaip sisteminis požiūris į integruotą, lygiagrečiai atliekamą gaminių projektavimą bei visus kitus su juo susijusius procesus, įskaitant gamybą ir eksploatavimą [11]. Vienalaikė inžinerija yra procesas, kuriame tinkamos disciplinos yra skirtos dirbti sąveikaujant tam, kad suvokti, pritarti, plėtoti ir įgyvendinti gamybos programas [12]. Lygiagretus (sąveikaujantis) gaminių projektavimas yra žymiai geresnė alternatyva įprastam supratimui apie gaminių kūrimą. Kaip minėta pirmame skyriuje, „*Krioklio*“ gamybos modelis turi daugybę neigiamų aspektų. Vienalaikė inžinerija yra pastatyta ant komandinio darbo pamato. Vienalaikės inžinerijos principai leidžia pasiekti maksimalų vartotojų poreikių analizavimo, gaminio projektavimo, jo bandymo, konstrukcijos keitimo ir kitų gamybos funkcijų (žr. 3.1 pav.) sutapatinimą laiko atžvilgiu, t. y. vienalaikį jų atlikimą. Pagal [13], lygiagretus visos komandos darbas įgalina dar projektavimo pradžioje numatyti problemas susijusias su bet kuriuo produkto gyvavimo ciklo tarpsniu, o tai sumažina gamybos išlaidas, sutrumpina gaminio įdiegimo į rinką laiką, padidina gamybos našumą bei gaminių kokybę. *CE* yra metodologija, kuri apima visus gaminio gyvavimo ciklo tarpsnius: gamybą, transportavimą, rinkimą, eksploataciją, aptarnavimą bei atliekų utilizavimą ar perdirbimą. Vienalaikė inžinerija tuo pat metu yra gamybos metodologija, strategija, bei filosofija.



3.1 pav. Kartotinis gamybos modelis

3.2. Vienalaikės inžinerijos diegimas

Norint geriau suprasti vienalaikės inžinerijos diegimo ypatybes reikalinga tiksliai suprasti jos galimybes:

- Vienalaikė inžinerija nėra magiška formulė, kuri staigiai išspręstų įmonės problemas;
- Vienalaikė inžinerija neišeliminuoja inžinerijos funkcijų;
- Vienalaikė inžinerija neužgožia produkto kūrimo užduočių;
- Vienalaikė inžinerija nėra tik kūrimas gamybai, patikimumui ar palaikymui;
- Vienalaikė inžinerija nėra tradicinis gamino kūrimas;
- Vienalaikė inžinerija nereikalauja tradicinio testavimo;
- Vienalaikė inžinerija nenaudoja tradicinių reguliarių patikrų.

Vienalaikės inžinerijos panaudojimo nauda:

- Žymus pakartotinio gaminio kūrimo laiko sumažinimas;
- Rezentacinių prototipų greita gamyba;
- „Funkcinio cilindro“ mentaliteto eliminavimas. Modernios kompiuterinės sistemos

leidžia konstruktoriams konstravimo ciklo metu atsižvelgti į kiekvieno inžinieriaus indėlį daug anksčiau;

- Fizinis artumas nėra primygtinai reikalaujamas;
- Projekto pakeitimai yra prieinami visos komandos nariams;
- Mechaninio apdirbimo mažinimas;
- Mažinamas maketų poreikis;
- Kokybės garantija tampa problemų sprendimu.

Kaip matome, norint maksimaliai išnaudoti vienalaikės inžinerijos galimybes reikalinga tiksliai suprasti jos esmę.

3.3. Gaminio patikimumo ir jo kokybės užtikrinimas kiekviename gaminio gyvavimo stadijoje

STADIJA

Projektavimas

Sistemos apibrėžimas

Projekto koncepcija

Pirminis projektavimas

Konstrukcijos detalizavimas

Preliminari projekto peržiūra

APIBŪDINIMAS

Uždavinys – koks siektinas tikslas.

Galbūt esamas projektas turi būti persvarstytas.

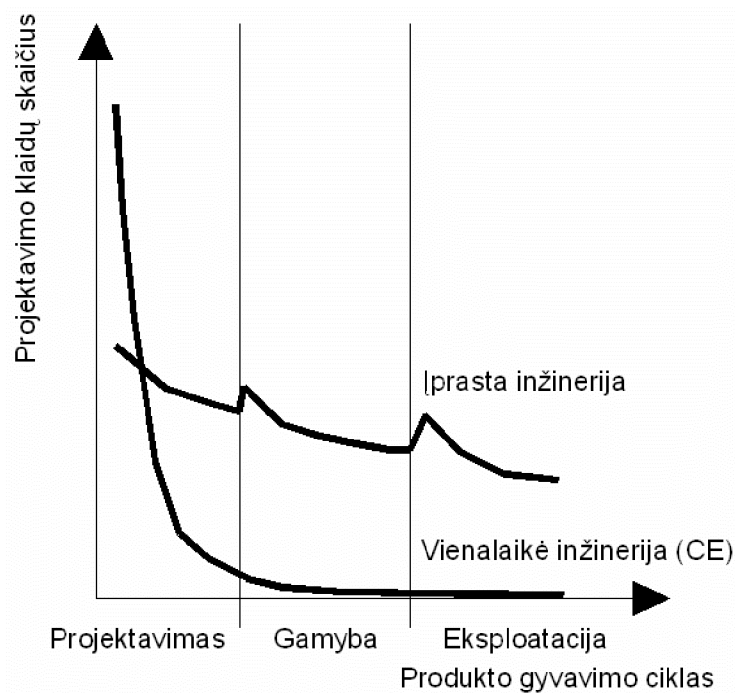
Galimi analogiško modelio elementai.

Brėžiniai ir specifikacijos.

Ar neatsiliekiama nuo grafiko.

Perprojektavimas	Patikimumo prognozavimas leidžia identifikuoti silpnas projekto vietas, kurias nedelsiant reikia perkonstruoti.
Pakartotinė projekto peržiūra	Patikrinimas gali būti atliktas keletą kartų, tol kol gaminio konstrukcija, patikimumas, kokybė visiškai užtikrinama.
Prototipo kūrimas	
Prototipo testavimas	Paprastai dalyvauja konstruktoriai ir inžinieriai.
Konstrukcijos peržiūra	Patikrinamos laiko ir patikimumo funkcijos.
Perprojektavimas	Tikslo siekimas.
Gamybos stadija	
Gamybos pradžia	Kokybės monitoringas. Bandymai.
Gamybos programos tęsimas	
Palaikymo (aptarnavimo) stadija	
Gaminio pristatymas vartotojui	
Gaminio eksploatacija	Vartotojai gali pastebėti gaminio trūkumus. Ši informacija turi būti surinkta ir perduota konstruktoriams
Veiklos sutrikimas, gedimas, avarija	Informacija paskleidžiama tarp visų konstruktorių ir inžinierių. Atliekama gedimo priežasties analizė.
Korekcija	Ar produktas gali būti perkonstruotas, ar jo gamyba stabdoma ir pardavimas atšaukiamas.
Korekcijos veiksmai	Atliekami konstrukcijos pakeitimai.
Gaminio realizacija	
Produkto pasitraukimas	
Gyvavimo ciklo pabaiga.	

3.2 *paveiksle* galime lengvai išvelgti pagrindinį „*Krioklio*” tipo ir vienalaikės inžinerijos skirtumą – projekto klaidų identifikavimo skaičių atskirose gaminio gyvavimo ciklo fazėse.



3.2 pav. Projektavimo klaidų skaičiaus priklausomybė nuo inžinerijos tipo

3.4. Vienalaikės inžinerijos sudedamosios dalys

Vienalaikėje inžinerijoje naudojami konstravimo bei technologinio projektavimo metodai konkrečiai produkto gyvavimo ciklo fazei: *DFM* (*Design For Manufacture*), *DFA* (*Design For Assembly*), *DFP* (*Design For Production*), *DFV* (*Design For Variety*), *DFQ* (*Design For Quality*), *DFLCC* (*Design For Life Cycle Cost*), *DFE* (*Design For Environment*) [14]. Visus juos jungia vienas konstravimo priemonių sprendimas *DFX* (*Design For parameter X*), kuris simbolizuoja bet kurią vieną iš projektavimo variantų reikšmių pasitaikančių gaminio gyvavimo laikotarpyje.

4. DFX METODAI KONSTRAVIMO IR TECHNOLOGINIO PROJEKTAVIMO PROCESUOSE

4.1. Konstravimas gamybai lengvinti (DFM)

4.1.1. DFM poreikis

Įmonė gali išspręsti kokybės ir kainų problemas bei prieštaravimus tarp gaminio kokybės ir kainos tik tada, kai konstravimo metu atsižvelgta į inžinerines gamybos operacijas ir procesus. Tam, kad įmonė išliktų konkurencinga šiandieninės rinkos sąlygomis, reikalingos vieningos inžinerinės pastangos – nuo idėjos iki produkcijos pristatymo. Konstravimo gamybai lengvinti idėja reikalauja komandinio požiūrio, kuris užtikrina, kad informacija apie gaminį bus kiek įmanoma visavertė, o tada, kiekvienas konstravimo sprendimas bus atliktas racionaliai ir reikiamu laiku.

4.1.2. DFM esmė

Projektavimas gamybai lengvinti – tai efektyvus procesas, kurio metu projektuojamas gaminys, siekiant:

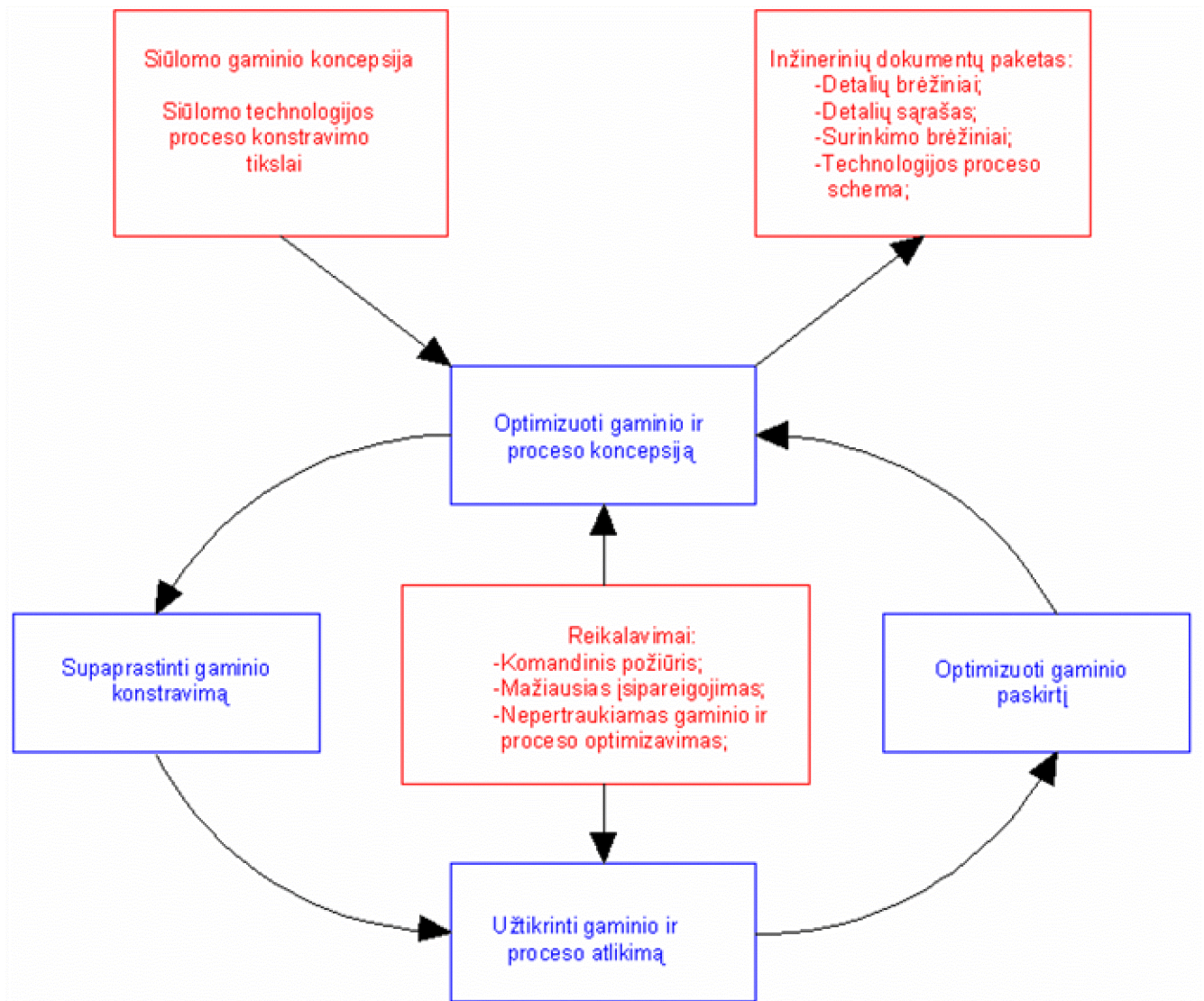
- Optimizuoti visas gamybinės veiklos funkcijas: gamybą, surinkimą, bandymus, įsigijimą, gabenimą, aptarnavimą ir remontą;
- Garantuoti geriausią kainą, kokybę, patikimumą, saugumą, “laiką į rinką” ir klientų pasitenkinimą.

Konstravimo gamybai lengvinti procesas prasideda nuo siūlomo gaminio, jo gamybos proceso ir projektavimo tikslų visumos. Apibendrinus šią informaciją, sudaromas išsamus gaminio gamybos planas. Projektavimo tikslai turėtų apimti gamybos ir gaminio tikslus. DFM įgyvendinamas projektavimo metodas bet kokio dydžio įmonėms. Ankstyvas gamybos problemų numatymas sutrumpina produkto vystymosi laiką, minimizuoja gamybos kainą, ir garantuoja sklandų bei greitą gaminio išėjimą į rinką. Gera kokybė gali būti gaunama naudojant optimalų detalių parinkimą ir tinkamą detalių įkomponavimą, minimizuojant gamybos problemas. Tokiu būdu gaminiai kokybiškiau ir lengviau pagaminami bei kokybiškiau ir greičiau surenkami.

Kiekviena gamybos projektavimo sritis turi atskirą veiklos kryptį. Gaminio ir proceso optimizavimo sąvoka nagrinėjama apibendrinant siūlomo gaminio bei proceso schemą siekiant lengvos gamybos. Supaprastinant projektavimo komponentų konstrukciją, siekiama lengvos gamybos ir rinkimo procesų. Ši veikla dažnai gali būti efektyvi, nes bendri gamybos ir proceso reikalavimai bei apribojimai padeda nustatyti problemos sritis. Galiausiai, funkcinis optimizavimas

nagrinėja atitikimus, susijusius su medžiagų ir parametrų parinkimu, maksimaliai didinant projektavimo tikslus.

Konstravimo gamybai lengvinti esminiai procesai gali būti atvaizduoti schematiškai (žr. 4.1 pav.).



4.1 pav. Tpinė konstravimo gamybai lengvinti (DFM) proceso schema

DFM gamybos procese gali teikti tokius privalumus:

- gali duoti optimalų surinkimą ir automatizacijos laipsnį;
- padeda renkantis tiek medžiagas, tiek gamybos bei surinkimo procesus;
- yra vienas iš būdų gerinti kokybę;
- mažina produkto vystymosi ciklinį laiką;
- mažina gamybos kainą;
- padidina produkto eksploatacijos laiką.

Beabejo kiekviena gamybos procese naudojama priemonė yra kažkiek naudinga, tačiau tuo pat metu gali būti ir kažkiek nuostolinga, todėl galime pateikti keletą *DFM* trūkumų:

- nereikalauja daug gamybos gabumų;
- dauguma kompiuterizuotų *DFM* priemonių beveik užbaigia projektą, bet kada projektas yra galutinai analizuojamas atsiranda nemažai kliūčių esminiam projekto pasikeitimui;
- derinant per daug funkcijų vienoje detalėje gali padidėti gamybos kaina.

4.1.3. *DFM* naudojimas

Norint efektyviai išnaudoti konstravimo gamybai lengvinti galimybes, atliekant projektavimo ir konstravimo darbus būtina atsižvelgti į keletą principų. Pagal [15], pagrindiniai *DFM* principai yra:

1. Maksimaliai minimizuoti gaminio atskirų detalių skaičių. Tai siejama su bendro gaminio svorio mažinimu. Tai sėkmingai pasiekama vietoj surinkimo vienetų panaudojant neišardomas jungtis. Taip galima sumažinti ne tik gaminio svorį, bet ir gamybos savikainą.
2. Naudoti modulinį gaminių konstravimą. Rinkinys sudarytas iš 4 – 8 modulių, su detalių skaičiumi modulyje 4 – 12, gali būti lengvai automatizuotas. Tai taip pat padeda palaikyti bendrą konfigūraciją rinkimo procese taip ilgai kaip tik įmanoma ir įvesti specialius modulius kaip galima vėliau.
3. Konstruoti lengvam surinkimui. Rankinis ar automatinis rinkimas turi būti atliekamas naudojant vienos krypties judesį. Rinkimas iš viršaus į apačią, *Z* ašies kryptimi, yra technologiškas.
4. Konstruoti teisingam surinkimui. Suprojektuoti konstrukciją taip, kad tik teisingas surinkimas būtų galimas. Tai ypač aktualu atliekant rankinį surinkimą turint mažai patirties, o taip pat esant saugumo būtinybei atsakingose konstrukcijose.
5. Maksimizuoti konstravimo standartizaciją. Būtina kiek įmanoma daugiau naudoti standartizuotus matmenis. Tai taip pat sumažina aptarnavimo bei remonto išlaidas.
6. Minimizuoti išardomų jungčių skaičių. Srieginių sujungimų panaudijimas didina gaminio kainą. Jei neįmanoma visiškai eliminuoti brangių sujungimų, tai reikia stengtis mažinti jų skaičių gaminyje.
7. Pašalinti ar supaprastinti derinimo poreikį. Koregavimo būtinybė didina gamybos kainą ir gali sukelti rinkimo, testavimo bei patikimumo problemas. Reguliavimo poreikis gali padaryti neigiamą įtaką konstrukcijų kaiščiams, strektėms, išdrožoms, įvairiems

grioveliams, spyruoklių elementams ir kt. Jei konstruktorius gerai supranta reguliavimo rekomendacijas, gana dažnai gali būti surastas būdas sumažinti reguliavimo dažnį ar net visai jo atsisakyti.

8. Vengti lanksčių komponentų. Vieliniai ir kiti lankstūs mechaniniai komponentai sukelia sunkumų juos orientuojant atliekant surinkimo operacijas. Jų pakeitimas standžiais elementais išsprendžia kai kurias problemas.
9. Stengtis naudoti vienos eilės matmenis. Vienos eilės matmenų parinkimas supaprastina jų matavimą bei sumažina tolerancijų parinkimo klaidas. Beabejo matmenys turi būti užduoti nuo tinkamai parinktos bazės.
10. Konstruojant vengti aštrių kampų, sudaryti nuožulas bei sklandžius perėjimus. Didesnių užapvalinimo spindulių panaudojimas būtinas daugelyje procesų, tokių kaip liejimas. Šiuo būdu yra padidinama apkrovos galimybė bei sumažinamos įtempimų gradientų reikšmės. Kaip bebūtų aštrių kampų formavimas yra neišvengiamas atliekant kai kurias mechaninio apdirbimo operacijas, pavyzdžiui šampavimą.
11. Naudoti vienalaikę inžineriją. Taikant gamyboje vienalaikės inžinerijos metodologiją, visas įmonės personalas yra įtraukiamas į gaminio konstravimo procesą. Tai įgalina pastebėti ir identifikuoti beveik visas projekto klaidas.
12. Nustatyti racionalias tolerancijas. Didelių tolerancijų ribos sumažina mechaninio apdirbimo tikslumą, bei kainą, beabejo ir kokybę, tačiau mažų tolerancijų parinkimas gali nepagrįstai padidinti gamybos išlaidas.
13. Numatyti tik būtino tikslumo mechaninio apdirbimo operacijas. Didinant mechaninio apdirbimo tikslumą, didėja mechaninių komponentų kokybės rodikliai, tačiau ženkliai auga ir kaina, todėl būtina racionaliai apspręsti reikalaujamą tikslumą.

Pagrindiniai *DFM* principai nurodo tik kryptį, kuria reikia dirbti. Jie nepakeičia gaminio kūrimo stadijos, nepakeičia išradingumo ar patirties poreikio. Šie principai turi būti suprasti kaip patarimai, kurių sėkmingai laikantis, turėtų pagerėti gaminio kokybė, sumažėti gamybos išlaidos. Jeigu gaminio kūrimo ir marketingo reikalavimai leidžia taikyti tik dalį minėtų principų, tada turi būti parinkta kita geriausia alternatyva.

4.2. Konstravimas rinkimui lengvinti (*DFA*)

4.2.1. *DFA* metodo esmė

Pagrindinis konstravimo rinkimui lengvinti tikslas yra maksimaliai supaprastinti gaminio konstrukciją tam, kad jo surinkimas taptų kiek galima lengvesnis ir paprastesnis. *DFA* pritaikymo

rezultatu paprastai tampa pagerinta gaminių kokybė ir patikimumas, bei sumažintas gamyboje naudojamos įrangos ir dalies inventoriaus skaičius. Pagal [16], būtent šie pasiekimai įgalina gamintojus sumažinti surinkimo operacijų kainą.

Konstravimo rinkimui lengvinti metodas pagrįstas gaminio gamybos laiko analize. Juo siekiama minimizuoti gaminio rinkimo kainą, ieškant racionalių konstrukcijos alternatyvų. Labiausiai paplitusi alternatyva – gaminio dalių mažinimas, siekiant likusių dalių lengvo rinkimo.

4.2.2. DFA sukūrimas ir tobulinimas

Per 1960 ir 1970-uosius metus buvo pasiūlyta įvairių rekomendacijų, patarimų bei taisyklių, siekiant padėti projektuotojams numatyti surinkimo proceso problemas. Daugelis šių nurodymų buvo pateikti kartu su praktiniais pavyzdžiais, parodyta, kaip galėtų būti pagerintas surinkimo procesas. Tačiau tik po 1970 metų atsirado realūs skaitiniai įvairių gaminių surinkimo vertinimo metodai.

Pirmasis analizinis metodas buvo sukurtas „Hitachi“ aukštųjų technologijų kompanijoje ir pavadintas *Surinkimo analizės metodu* (angl. *Assembly Evaluation Method (AEM)*) [17]. Šis metodas remiasi principu „vienai detalei vienas judesys“. Sudėtingesniems judesiams yra naudojamas *Taško nuostolio* (angl. „*point – loss*“) metodas. Šie rinkimo lengvinimo būdai buvo sukurti siekiant palengvinti automatinį surinkimą [18].

1977 metais *Jeffas Belova*, *Masačuseto universitete*, *JAV*, sukūrė konstravimo rinkimui lengvinti metodą (angl. *Design For Assembly (DFA)*), kuris galėjo būti panaudotas rankinio surinkimo laiko kaštų bei mašininio rinkimo finansinių kaštų apskaičiavimui [19]. Pastebėta, kad norint sumažinti surinkimo kainą, reikia mažinti surenkamų detalių kiekį. Pagal [18], *J. Belova* pasiūlė tris paprastus kriterijus, pagal kuriuos galima nustatyti ar yra galimybė eliminuoti kai kurias gaminio atskiras detales, ir ar galima tas atskiras detales jungti į junginius gamybos, o ne rinkimo metu. Naudojant minėtus kriterijus, pasitelkiant surinkimo laikų lenteles, išnagrinėjus gaišlias surinkimo operacijas (orientaciją, nustatymą erdvėje), galima apskaičiuoti galutinį gaminio surinkimo laiką ir galutinę surinkimo kainą, o pagal tai spręsti apie gaminio kokybę surinkimo atžvilgiu.

Vėliau pasirodė įvairių *AEM* ir *DFA* motodų variacijų: „*GE Hitachi*“, „*Lucas*“, „*Westinghouse*“ bei kt. Šiuo metų visi jie yra vadinami *Design For Assembly (DFA)* metodais.

Galiausia 1981 metais *G. Boothroyd'as* ir *P. Dewhurst'as* sukūrė kompiuterizuotą *DFA* metodą, kuriuo lengvai galėjo naudotis visos įmonės [18].

4.2.3. DFA diegimas ir nauda

DFA turi būti sistemingai diegiamas, žingsnis po žingsnio, nuosekliai taikant keletą svarbiausių principų:

- ☞ kaina, bandymas;
- ☞ kūrybingumas;
- ☞ sistemingumas;
- ☞ kokybiškumas;
- ☞ greitos praktikos mokymas.

Yra paskelbta daugybė mokslinių publikacijų apie *DFA* teikiamą naudą. Daugybė įvairių pramonės šakų įmonių pasiekia ženklų surinkimo proceso pagerėjimą panaudojant *DFA*. Dar 1981 metais „Xerox“ kompanija, paskelbė sutaupiusi šimtus milijonų dolerių pradėjus naudoti *DFA* metodologiją. Tas pat pasakytina ir apie *JAV* automobilių gamybos pramonės gigantą „Ford Motor Company“, kuris 1988 taip pat suskubo pasinaudoti *DFA* [20,21].

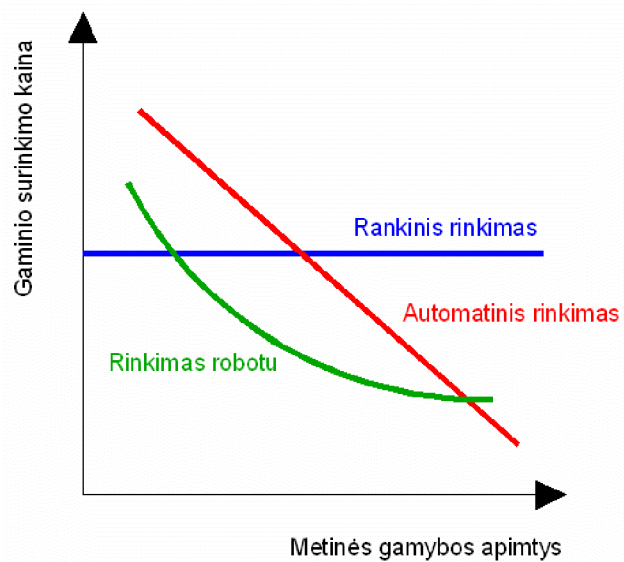
4.2.4. Rinkimo metodų palyginimas

Rankinis surinkimas. Dalys yra pernešamos ant darbstačių kur darbininkai rankiniu būdu renka gaminį ar gaminio komponentus. Rankiniai įrankiai paprastai naudojami kaip pagalbinė priemonė. Nors tai yra lanksčiausias ir lengviausiai prisitaikantis iš surinkimo metodų, čia didžiausias apribojimas yra gamybos apimtis ir darbo kainos (apimant išmokas, kompensacijų išmokėjimas susižalojimų atvejais, pridėtinės išlaidos švarinimui, nekenksmingai aplinkai ir t.t.) yra didesnės.

Fiksuota automatizacija yra charakterizuojama kaip pagamintas pagal užsakymą mechanizmas, kuris renka vieną ir tik vieną specifinį gaminį. Akivaizdu, kad šios rūšies mechanizmas reikalauja didelių investicijų. Kai gamybos apimtys auga, dalis investicijų sulyginama su bendru gamybos kainos sumažėjimu.

Lanksti automatizacija arba surinkimas robotu. Nors šio tipo surinkimo metodas taip pat gali turėti dideles pradinio kapitalo kainas, jo lankstumas dažnai padeda padengti išlaidas per didelius gaminių skirtumus.

Skirtumai tarp rinkimo procesų kaštų priklausomai nuo gaminamų gaminių skaičiaus gali būti pavaizduoti grafiškai (žr. 4.2 pav.) [16].



4.2 pav. Surinkimo procesų kaina priklausomai nuo gamybos apimtys

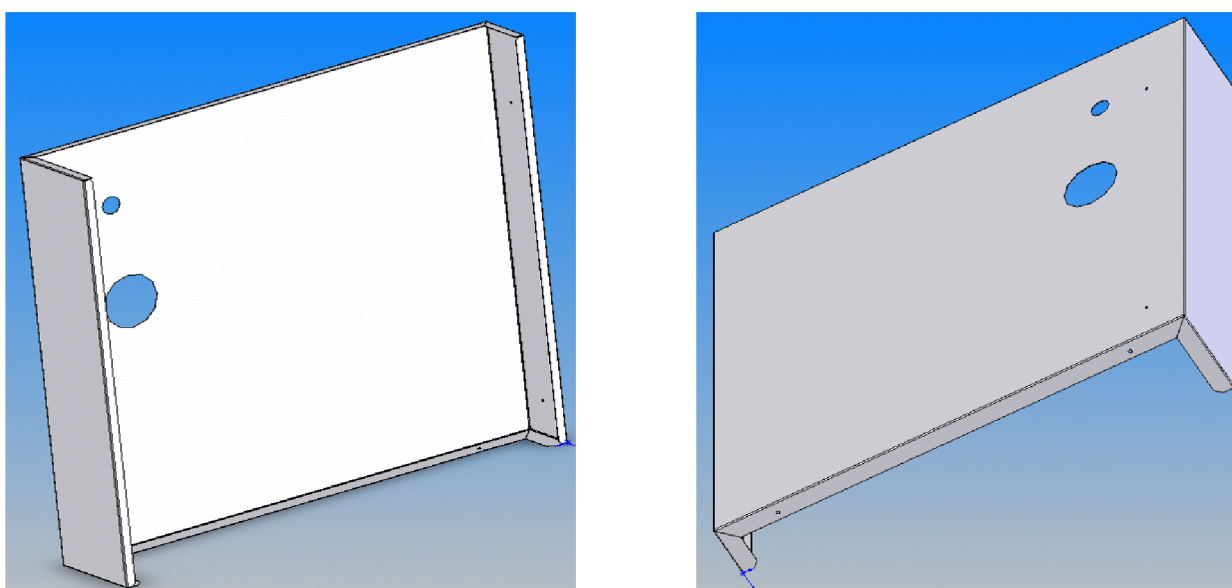
Ieškant ekonomiškiausio rinkimo proceso, kiekvienai alternatyvai sudaromos rinkimo schemas. Jose nurodomas kiekvienos operacijos rinkimo operacinis laikas. Ekonomiškiausiam rinkimo procesui įtakos turi renkamų gaminių metinės apimtys ir galimos diegti rinkimo alternatyvos.

5. DFX METODIKOS REALIZAVIMAS PRAKTIKOJE

DFM (konstravimo gamybai lengvinti) priemonių panaudojimo efektyvumą, optimizuojant realaus gaminio konstrukciją, galime iliustruoti pavyzdžiu.

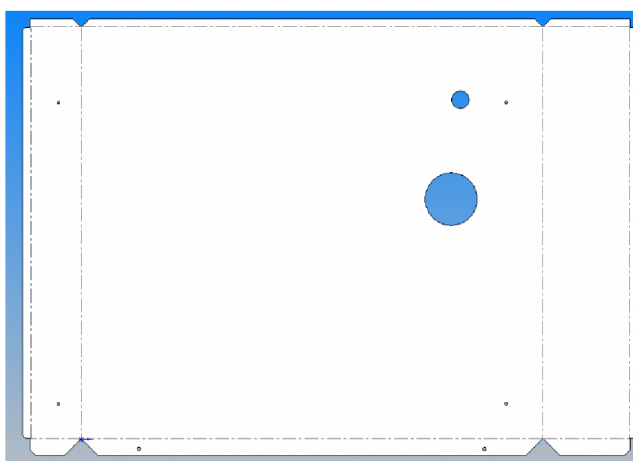
5.1. Gaminio aprašymas

UAB „Kalvis“ specializuojasi šildymo įrangos, gaminių iš plonalakščio metalo bei kitų technologinių įrengimų gamyba [22]. Šios organizacijos vienas iš gaminių (elektros skydinės dalis) pavaizduotas 5.1 paveiksle.



5.1 pav. Elektros skydinės skydas

Skydo išklotinė pateikta 5.2 paveiksle. Detalės darbo brėžinys pateiktas 1-ame priede.



5.2 pav. Skydo išklotinė

5.2. Gaminio savikainos nustatymas

Pagrindinių ekonominių rodiklių skaičiavimas vykdomas vertinant visas išlaidas, susijusias su gaminio projektavimu, gamyba ir pardavimu. Visos gaminio savikainos apskaičiavimas reiškia, kad į ją įtraukta ne tik pagaminimo (įsigijimo) savikaina, bet ir kitos sąnaudos, susijusios su gaminio realizavimo organizavimu (pvz.: transportavimu), bendrosios ir administracinės sąnaudos [23]. Šiame darbe plačiau nebus nagrinėjamos gaminio pardavimo išlaidos, kadangi įmonė tiesiogiai parduoda gaminį užsakovui be tarpininkų.

5.1 lentelėje pateiktas gaminio (skydo) savikainos apskaičiavimas, kuris baigiamas pildyti atlikus visus tarpinius skaičiavimus.

5.1 lentelė. Pirminis gaminio gamybos sąnaudų nustatymas

	Išlaidų straipsnis	Išlaidos, Lt
I.	Gaminio projektavimo ir gamybos technologijos rengimo išlaidos:	
a)	projektavimo darbai	234,35
b)	technologijos paruošimo darbai	200,01
	Iš viso projektavimo ir technologijos rengimo išlaidų	434,36
II.	Tiesioginės gamybos išlaidos:	
1.	Tiesioginės medžiagų sąnaudos:	
a)	medžiagų ir žaliavų sąnaudos	65520
b)	medžiagų atsigabenimo ir parengimo naudojimui išlaidos	6552
c)	grįžtamosios atliekos	-8660
d)	pagalbinių medžiagų išlaidos	1181
2.	Tiesioginės darbo apmokėjimo sąnaudos (pagrindinės gamybos darbininkams):	
a)	darbo užmokestis	19832,12
b)	socialinis draudimas	6144
	Iš viso tiesioginių gamybos išlaidų	90569,12
III.	Netiesioginės gamybos išlaidos:	
a)	energijos išlaidos technologiniams tikslams	10797,6
b)	aptarnaujančio personalo darbo užmokesčio ir socialinio draudimo išlaidos	26556,21
c)	patalpų šildymo išlaidos	3961,9
d)	patalpų apšvietimo išlaidos	8536,57
	Iš viso netiesioginių gamybos išlaidų	49852,28
	Gamybos savikaina	140855,76
IV.	Veiklos sąnaudos	41191,9
V.	Iš viso išlaidų	182047,66
	Gamybos programa, vnt.	4000
	Vieno gaminio išlaidos	45,51
	Antkainis (10%)	4,6
	Gaminio pardavimo kaina	50,11

Pastaba. Atlikti skydo gamybos ekonominiai skaičiavimai nebūtinai turi sutapti su realiais įmonės gamybiniais ar rinkodaros sprendimais. Skaičiavimų atlikimo metu nesiekta įrodyti ar paneigti konkrečios įmonės gamybinių privalumų ar trūkumų.

Gaminio savikainos nustatymo straipsniai rodo, kiek ir kokių išlaidų reikia gaminiui pagaminti. Išlaidos skirstomos į tris stambias grupes: 1) tiesiogines išlaidas; 2) netiesiogines išlaidas; 3) veiklos sąnaudas. Tiesioginių išlaidų struktūra yra pastovi ir nekintama, joms priskiriamos tiesioginės medžiagų ir tiesioginės darbo išlaidos. Netiesioginės išlaidos apima visas

su gamyba susijusias išlaidas (išskyrus tiesiogines) ir priklauso nuo įmonės veiklos specifikacijos. Veiklos sąnaudas sudaro pardavimų, bendrosios ir administracinės, veiklos mokesčių, atidėjimų ir finansinės veiklos sąnaudos. Šių išlaidų priskirti kiekvienam konkrečiam gaminiui nėra galimybių, todėl jos priskiriamos pagal gaminių savikainą ar pardavimų vertę [23].

Projektavimo darbų sąnaudos. Projektavimo darbų trukmė priklauso nuo gaminio sudėtingumo ir naujumo. Skydo projektavimo darbai ir jiems atlikti skirtos laiko sąnaudos pateikti 5.2 lentelėje.

5.2 lentelė. Projektavimo darbų laiko sąnaudos

Projektavimo darbų charakteristika	Vienos detalės laiko sąnaudos, val.	Brėžinių skaičius	Visų detalių laiko sąnaudos, val.
Techninė užduotis	0,8	1	0,8
Techninis projektas	4	1	4
Darbo brėžiniai	3	1	3
Surinkimo brėžiniai	-	-	-
Brėžinių kontrolė	0,8	1	0,8
Specifikacijų ir techninių sąlygų sudarymas	3	1	3
Bandomojo pavyzdžio gamyba	1,5	1	1,5
Brėžinių po bandymų taisymas	0,5	1	0,5
Darbų apiforminimas	0,4	1	0,4
Kopijavimo darbai	0,25	1	0,25
Iš viso			14,25

Projektuotojų skaičius gali būti apskaičiuojamas pagal metodinius nurodymus, pateiktus literatūroje [23]. Šiame darbe priimame, kad projektavimo darbus atliks du darbuotojai, kadangi projektas gana nesudėtingas ir negaišlus.

Toliau atliekame darbų apmokėjimo sąnaudų skaičiavimą (žr. 5.3 lent.).

5.3 lentelė. Projektuotojų darbo apmokėjimo sąnaudos

Projektavimo darbai	Visų detalių laiko sąnaudos, val.	Visų detalių laiko sąnaudos (dienomis)	Vidutinis dienos darbo užmokestis, Lt	Apmokėjimo suma, Lt
Techninė užduotis	0,8	0,1	85	8,5
Techninis projektas	4	0,5	85	42,7
Darbo brėžiniai	3	0,375	85	31,88
Surinkimo brėžiniai	-	-	85	-
Brėžinių kontrolė	0,8	0,1	95	8,5
Specifikacijų ir techninių sąlygų sudarymas	3	0,375	95	35,63
Bandomojo pavyzdžio gamyba	1,5	0,188	95	17,86
Brėžinių po bandymų taisymas	0,5	0,0625	85	5,31
Darbų apiforminimas	0,4	0,05	85	4,25
Kopijavimo darbai	0,25	0,0313	85	2,67
Iš viso				157,3

Projektuotojų darbas apmokamas taikant laikinę darbo apmokėjimo formą, t. y. darbo užmokestį lemia dirbtas laikas ir darbo valandomis įkainis. Projektuotojų atlyginimą reikia diferencijuoti, įvertinant atliekamų darbų sudėtingumą, t. y. taikyti koeficientus.

Toliau apskaičiuojame bendras gaminio projektavimo sąnaudas (žr. 5.4 lent.).

5.4 lentelė. Gaminio projektavimo sąnaudos

Straipsniai	Suma, Lt
Medžiagų sąnaudos	4,72 (3%)
Darbo užmokesčio sąnaudos	157,3
Socialinio draudimo sąnaudos	48,73 (30,98)
Veiklos sąnaudos	23,6 (15%)
Iš viso	234,35

Medžiagų sąnaudas sudaro išlaidos, susijusios su medžiagų, reikalingų projektavimo darbams atlikti, įsigijimu. Jos sudaro nedidelę gaminio projektavimo sąnaudų dalį (šiuo atveju 3 % darbo užmokesčio sąnaudų). Sudėtinga tiksliai įvertinti projektavimo organizacijos veiklos sąnaudas, tenkančias konkrečiam projektui, todėl veiklos sąnaudos apskaičiuojamos ir paskirstomos pagal projektuotojų darbo užmokesčio dydį, (šiuo atveju imama 15 % darbo užmokesčio sąnaudų).

Technologinis gamybos paruošimas. Projektuojant reikia numatyti visus gaminio pagaminimo etapus, t. y. parengti technologinius maršrutus ruošiniams ir iš jų gaminamoms detalėms bei kitus technologinius procesus.

Skydo gamybai rengiamos tokios technologijos:

1. Štampavimo technologija;
2. Lenkimo technologija;
3. Suvirinimo technologija;
4. Šaltkalviškų darbų technologija;
5. Kontrolės operacijų technologija;
6. Dažymo technologija.

Pradedant technologinį gamybos paruošimą, būtina nustatyti technologų darbo apmokėjimo išlaidas. Gamybos įmonėse dirbantiems technologams nustatoma pareiginė alga, todėl valandinis įkainis apskaičiuojamas mėnesinę algą padalijus iš konkretaus mėnesio darbo dienų skaičiaus. Nustačius vidutinį technologo atlyginimą jį reikia diferencijuoti pagal darbų sudėtingumo lygį, taikant įvairius koeficientus.

5.5 lentelė. Technologinių gamybos procesų darbo užmokesčio sąnaudos

Darbų rūšis	Detalių (surinkimo vienetų) skaičius, vnt.	Darbų imlumas, val.	Valandinis įkainis, Lt	Technologinių procesų darbo užmokesčio sąnaudos, Lt
Štampavimo darbų technologijos parengimas	1	3	11,88	35,64
Lenkimo darbų technologijos parengimas	1	2,8	11,88	33,26
Suvirinimo darbų technologijos parengimas	1	0,5	11,88	5,94
Šaltkalviškų darbų technologijos parengimas	1	2	11,88	23,76
Kontrolinių operacijų technologijos parengimas	1	0,5	11,88	5,94
Dažymo darbų technologijos parengimas	1	2,5	11,88	29,7
Iš viso				134,24

5.6 lentelė. Gaminio gamybos technologijos projektavimo sąnaudos

Kalkuliaciniai straipsniai	Suma, Lt
Medžiagų sąnaudos	4,03 (3%)
Darbo užmokesčio sąnaudos	134,24
Socialinio draudimo sąnaudos	41,6 (30,98%)
Veiklos sąnaudos	20,14 (15%)
Iš viso	200,01

Medžiagų sąnaudas sudaro išlaidos, susijusios su medžiagų, reikalingų technologinio parengimo darbams atlikti, įsigijimu. Skaičiavimai atliekami analogiškai kaip ir skaičiuojant medžiagų sąnaudas projektavimo darbams atlikti [23].

Tiesioginės medžiagų sąnaudos. Atsižvelgiant į planuojamos gamybos programos apimtį (4000 vnt.) apskaičiuojamas medžiagų ir žaliavų poreikis, parenkamos konkrečios medžiagos, atliekama medžiagų kainų analizė ir tik po to apskaičiuojamos išlaidos medžiagoms ir žaliavoms įsigyti. Medžiagų sąnaudos gali būti apskaičiuojamos pagal formulę:

$$M = m \cdot k; \quad (5.1)$$

čia m – bendra ruošinių, reikalingų visų detalių gamybai masė, kg; k – įsigyjamų medžiagų 1 kg kaina [23].

Skydo gamybai naudojami šaltai valcuoto anglinio konstrukcinio geros kokybės *plieno DC01 (EN 10130), atitinkmuo pagal GOST 380 – 08kn*, lakštai. Perkamų lakštų matmenys $0,8 \times 1250 \times 2000$ mm [24]. Skaičiavimų metų minėto plieno kaina – 2100 Lt/t. Šiuo atveju iš vieno lakšto galima pagaminti du gaminius (žr. 5.3 pav.).

Beabejo, tų pačių medžiagų ar žaliavos kainos gali skirtis, nes joms turi įtakos sezonas, perkamos medžiagos kiekis, tiekimo dažnis, tiekėjo „lojalumas“, gamintojo „įtakingumas“ ir kiti veiksniai.

Tada medžiagų sąnaudos:

$$M = 15,6 \cdot 2000 \cdot 2,1 = \underline{\underline{65520 \text{ Lt}}}$$

Skydo gamybos proceso metu sunaudojamos įvairios pagalbinės medžiagos. Šių medžiagų kiekiai bei kainos pateikti 5.7 lentelėje. Pagalbinių medžiagų kainos nustatomos pagal projekto atlikimo metu rinkoje vyraujančias kainas.

5.7 lentelė. Pagalbinių medžiagų vertė

Medžiagos pavadinimas	Matavimo vienetai	Kaina, Lt	Sunaudota medžiagų	Medžiagų vertė, Lt
Dujos suvirinimo darbams	l	2,5	30	75
Dažai	l	8,5	80	680
Šlifavimo diskai	vnt.	7	18	126
Kitos medžiagos				300
Iš viso				<u>1181</u>

Gamybos proceso metu susidariusios atliekos skirstomos į grįžtamasias ir negrįžtamasias. Negrįžtamosios atliekos neturi realizacinės vertės. Grįžtamosios atliekos – tai medžiagos, kurios panaudojamos įmonėje, perdirbtos grįžta atgal į gamybą kita forma ir turi realizacinę vertę [23].

Atliekų kiekis produkcijos vienetui skaičiuojamas taip:

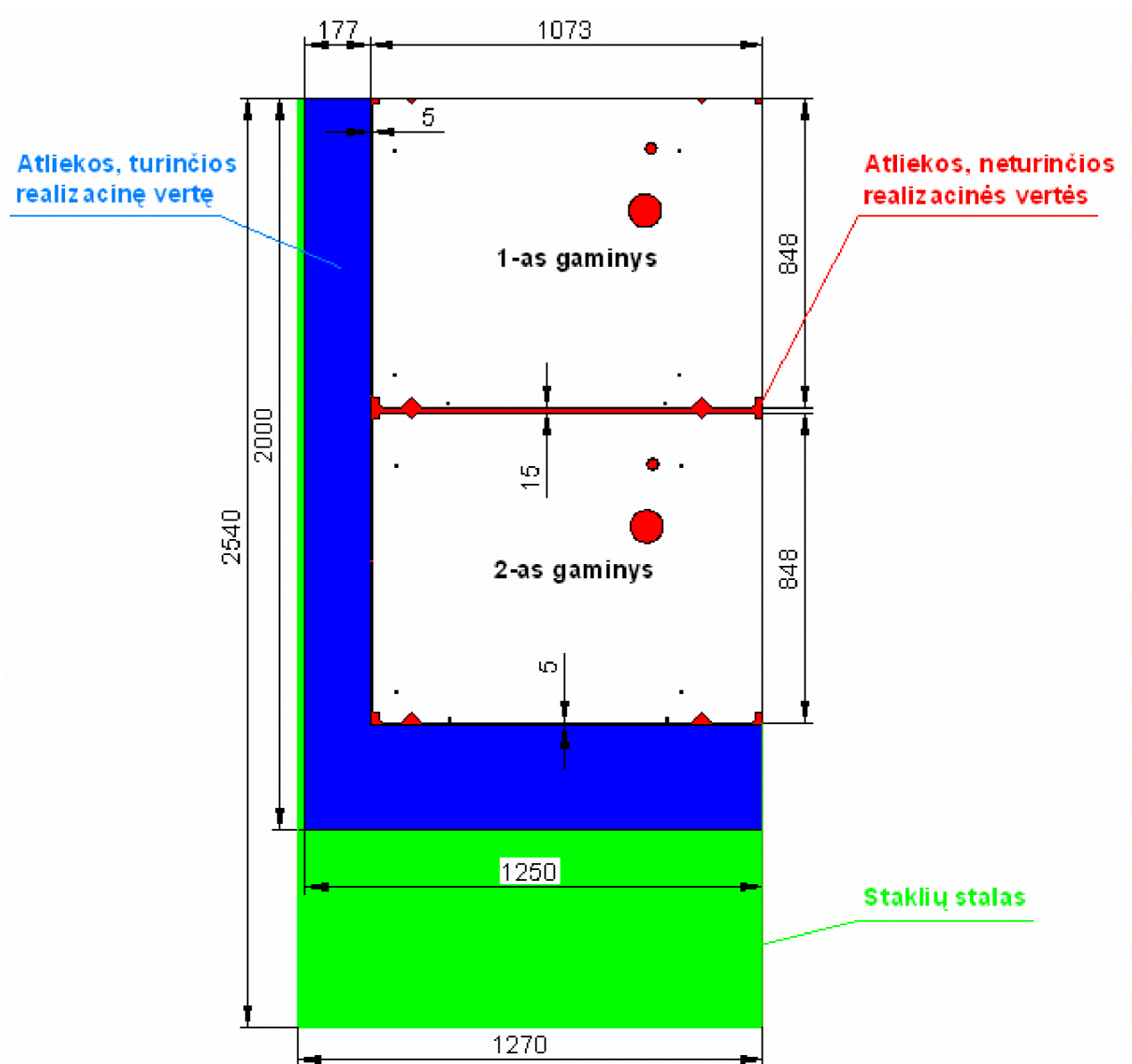
$$A = Q - q; \quad (5.2)$$

čia Q – ruošinio masė, kg; q – detalės masė, kg [23].

Kaip jau minėta, iš vieno lakšto galima pagaminti du skydus (žr. 5.3 pav.). Tada,

$$A = 15,6 - 2 \cdot 5,52 = 4,56 \text{ kg.}$$

Tai yra bendra atliekų masė liekanti pagaminus du gaminius iš vieno ruošinio.



5.3 pav. Atliekų skaičiavimo schema

Toliau identifikuojame atliekų, turinčių realizacinę vertę masę (žr. 5.3 pav.). Tam nustatome tinkamo tolimesniai gamybai plieno tūrį, bei padauginame jį iš plieno tankio ($7,8 \text{ g/cm}^3$):

$$A_T = (17,7 \cdot 171,6 \cdot 0,08 + 28,4 \cdot 125 \cdot 0,08) \cdot 7,8 = 4110,5 \text{ g} = 4,1 \text{ kg.}$$

Šios atliekos gaunamos po lakšto šampavimo operacijos. Jos turi realizacinę vertę ir yra gražinamos į gamybą.

Apskaičiuojame atliekų, neturinčių realizacinės vertės masę (žr. 5.3 pav.):

$$A_N = 4,56 - 4,1 = 0,46 \text{ kg.}$$

Grįžtamųjų atliekų vertė atimama iš pagrindinių medžiagų vertės. Grįžtamųjų atliekų vertės skaičiavimų rezultatai pateikiami 5.8 lentelėje. Realizuojamų gamyboje atliekų kaina, šiuo atveju, nustatoma pagal pakeičiamos medžiagos kainos lygį, atskaitant papildomas išlaidas atliekoms paruošti. Šias kainas kiekviena įmonė apskaičiuoja individualiai.

5.8 lentelė. Grįžtamųjų atliekų vertės skaičiavimas

Atliekų pavadinimas	Atliekų kiekis, t	Atliekų kaina, Lt/t	Suma, Lt
Gamyboje realizuojamas plienas	8,2	1000	8200
Gamyboje nerealizuojamas plienas	0,92	500	460
Iš viso	9,12		8660

Prie tiesioginių gamybos sąnaudų priskiriamos medžiagų, pakrovimo ir iškrovimo, transportavimo, draudimo, saugojimo sandeliuose išlaidos. Brangstant kurui ir transporto paslaugoms, vežant medžiagas dideliais atstumais, tarnsportavimo paslaugos gali turėti įtakos medžiagų kainai ir gaminio savikainai. Todėl medžiagų atsigabenimo ir parengimo naudojimui išlaidos įtraukiamos į jų savikainą, jos gali sudaryti apie 10 % įsigyjamų medžiagų vertės [23]. Tokiu atveju pastarosios išlaidos:

$$P = 65520 \cdot 0,1 = \underline{\underline{6552 \text{ Lt.}}}$$

Gamybos įrenginių vertė ir nusidėvėjimas. Pagal parengtą apdirbimo technologiją nustatomas reikalingų įrengimų kiekis, jų modeliai. Po to įvertinama, kokių reikėtų kitų įrengimų, kad gaminyje įgautų reikiamą formą bei savybės. Kitų įrengimų kiekis ir modeliai nustatomi apytiksliai [23]. Visi gamyboje reikalingi įrengimai nurodyti 5.9 lentelėje.

Įmonė nuolat kontaktuoja su aplinka, todėl išskiriami į įmonę patenkantys išoriniai ir įmonėje judantys vidiniai krovinių srautai. Išorinius krovinių srautus sudaro į įmonę atsiunčiami ir iš įmonės išsiunčiami kroviniai, o vidinius – įmonės viduje tarp atskirų jos padalinių, o padalinyje – tarp atskirų darbo vietų gabenamų krovinių srautai. Darome prielaidą, kad įmonė naudojami logistikos bendrovių paslaugomis, todėl išorinių krovinių srautų aptarnavimui transporto priemonių nėra įsigijusi. Nuosavo transporto priemonės skirtos ruošiniams, pusgaminiais ir gatavoms detalėms atgabenti į cechą (barą) ir išvežti iš jo pateiktos 5.9 lentelėje.

5.9 lentelė. Įrengimų poreikio ir jų galingumo skaičiavimas

Įrengimų pavadinimas	Kiekis, vnt.	Vertė, Lt		Vieneto galingumas, kw	Galingumų suma, kw
		Įrengimo	Visų įrengimų		
STAKLĖS					
Štampavimo staklės <i>TRUMATIC 2020R</i>	1	497500	497500	18	18
Lankstymo staklės <i>TRUMA BEND C120</i>	1	180000	180000	10,8	10,8
Iš viso	2		677500		28,8
KITI ĮRENGIMAI					
Dažymo įrenginys <i>GB 27</i>	1	14500	14500	2,5	2,5
Suvirinimo pusautomatis <i>LKB 320</i>	1	2700	2700	4,4	4,4
Rankinis šlifuoklis <i>BOSCH PWS 9-125 CE</i>	1	329	329	0,9	0,9
Matuoklis <i>IIIĮ 0-800-0,1</i>	1	150	150	-	-
Iš viso	4		17679		7,8
TRANSPORTO PRIEMONĖS					
Krautuvas <i>Gehl 1625</i>	1	37000	37000	16	16
Iš viso	1		37000		16
Iš viso	7		732179		52,6
Įsigijimo savikaina			805396,7		
Pristatymo, montavimo, komplektavimo, derinimo išlaidos (10 %)			73217,9		
Išlaidos elektros energijai technologiniams tikslams, Lt (elektros energijos įrengimams kaina + krautuvo suvartojamo dyzelino kaina)			<u>10797,6</u>		

Įsigijimo savikaina – tai ilgalaikio turto pagaminimo ar įsigijimo kainos, transportavimo, montavimo bei derinimo išlaidų suma [23].

Įrengimų išlaidos elektros energijai skaičiuojamos įvertinus visų variklių sunaudojamą elektros energijos kiekį, dirbtą darbo dienų ir pamainų skaičių bei vienos *kWh* kainą pagal įmonės galingumą.

Nustačius įrengimų, įrenginių ir transporto priemonių vertę, identifikuojama pastatų, kuriuose įkurtas cechas, nuosavybės forma – įmonė yra įsigijusi pastatą, todėl moka nekilnojamo turto mokestį ir skaičiuoja pastatų nusidėvėjimą.

5.10 lentelė. Patalpų vertės apskaičiavimas

Naudojamos patalpos			Patalpų vertė	
Patalpų rūšis	Patalpų plotas, m ²	Naudojamų gamyboje patalpų plotas, m ²	Bendra patalpų vertė, Lt	Naudojamų gamyboje patalpų vertė, Lt
Administracinės patalpos	80	35	50000	21875
Gamybinės patalpos	4900	370	2450000	185000
Sandėlių patalpos	600	120	300000	60000
Buitinės patalpos	80	20	50000	12500
Iš viso	5660	545	2850000	279375

Apskaičiuavus gamybai naudojamų įrengimų, įrenginių, transporto priemonių ir pastatų vertę, skaičiuojamas jų nusidėvėjimas (žr. 5.11 lent.). Tai atliekama įvertinus faktinį visų gamybos operacijų vienetinį laiką, o taip pat, apskaičiuavus efektyvų įrengimų darbo laiko fondą, kuris priklauso nuo vidutinio žmogaus darbo laiko fondo (žr. 5.12 lent.).

5.11 lentelė. Gamybai skirto turto nusidėvėjimo skaičiavimas

Materialus gamybinis turtas	Įsigijimo vertė, Lt	Likvidacinė vertė, Lt	Normatyvas, metais	Nusidėvėjimo suma per metus, Lt	Faktinio naudojimo trukmė, mėnesiai	Faktinio nusidėvėjimo sąnaudos, Lt	Nusidėvėjimo metodas
Pastatai	279375	27937,5	15	16762,5	2,8	3911,25	Tiesinis
Staklės: <i>TRUMATIC 2020R;</i>	497500	49750	5	89550	0,5	3731,25	Tiesinis arba dvigubo balanso
<i>TRUMA BEND C120</i>	180000	18000		32400	0,91	2457	
Kiti įrengimai: <i>GB 27;</i>	14500	1450	4	3262,5	2,66	723,2	Tiesinis
<i>LKB 320;</i>	2700	270		607,5	0,17	8,61	
<i>BOSCH PSW 9-125 CE;</i>	329	33		74	0,15	0,93	
<i>ИИИ 0-800-0,1;</i>	150	15		33,75	0,5	1,4	
<i>Gehl 1625</i>	37000	3700		8325	2,8	1942,5	
Iš viso	1011554	101155,4		151015,25		12776,14	

Likvidacinė vertė – tai pinigų suma, kurią įmonė tikisi gauti pardavusi turtą pasibaigus jo naudojimo laikotarpiui (atėmus turto likvidavimo ar perleidimo išlaidas). Likvidacinė vertė gali būti lygi demontuotų vertingų mazgų, detalių pardavimo ar metalo laužo kainai. Likvidacinė vertė šiuo atveju prilyginama 10 % ilgalaikio turto vertės. Kaip teigiama darbe [23], ilgalaikio turto nusidėvėjimo normatyvus (metais) nustato ir keičia Seimas atskirų pelno mokesčio įstatymu.

Gamybino turto nusidėvėjimui apskaičiuoti naudojami įvairūs metodai, tačiau tiesiog proporsingasis (tiesioginis) metodas yra paprastesnis už visus kitus, todėl labai plačiai naudojamas. Taikant šį metodą, turto nusidėvėjimo išlaidų suma kiekvienais metais vienoda.

Nusidėvėjimo išlaidų suma skaičiuojama pagal formulę:

$$A_t = \frac{(F_p - F_{lv})}{n}; \quad (5.3)$$

čia A_t – metinė nusidėvėjimo suma, Lt; F_p – įsigijimo savikaina, Lt; F_{lv} – likvidacinė vertė, Lt; n – nustatytas naudingo eksplotavimo laikotarpis, metais [23].

Gamybai skirto turto nusidėvėjimo išlaidų sumą apskaičiuojame įvertindami faktinę jo naudojimo trukmę (žr. 5.11 lent.).

Darbo užmokesčio išlaidų planavimas. Skaičiuojant darbo užmokesčio išlaidas pirmiausia reikia nustatyti darbininkų, kurie gamins suprojektuotas detales, skaičių ir jų kvalifikaciją. Darbininkų skaičius gali būti nustatomas tokiais būdais:

1. Pagal išdirbio normas;
2. Pagal planuojamą darbo imlumą;
3. Pagal darbo vietų skaičių [23].

Atliekant skaičiavimus svarbu tiksliai apspręsti darbininkų efektyvaus darbo laiko fondą (žr.5.12. lent.).

Darbo laiko balansas sudaromas naudojantis planiniu metų kalendoriumi. Darbuotojų neišėjimo į darbą dienų skaičius nustatomas pagal praeitų metų lygį (pavyzdžiui, surašius visų darbuotojų bendrą tikslinių atostogų trukmę ir padalijus iš darbuotojų skaičiaus) [23].

5.12 lentelė. Vieno darbininko efektyvus metinis darbo laiko fondas

Laiko struktūra	Planas
1. Kalendorinis darbo laiko fondas, dienomis	365
2. Poilsio ir švenčių dienos	112
2.1. Šventės	9
2.2. Poilsio dienos	103
3. Nominalus darbo laiko fondas, dienomis	253
4. Neatvykimai į darbą (vidutiniškai žmogui), dienomis	49
4.1. Kasmetinės atostogos	28
4.2. Tikslinės atostogos	21
4.2.1. Nėštumo ir gimdymo atostogos	10
4.2.2. Atostogos vaikui prižiūrėti, kol jam sueis treji metai	5
4.2.3. Mokymosi	2
4.2.4. Kūrybinės	1
4.2.5. Valstybinėms ar visuomeninėms pareigoms atlikti	1
4.2.6. Nemokamos	2
5. Efektyvus darbo laikas, dienomis	204
6. Darbo dienos trukmė, val.	8
7. Darbo dienos sutrumpinimai (vidutiniškai žmogui), val.	0,22
7.1. Už darbą kenksmingomis sąlygomis	0,2
7.2. Paaugliams	0,01
7.3. Maitinančioms motinoms	-
7.4. Prieššventinėmis dienomis	0,01
8. Vidutinė darbo dienos trukmė, val.	7,78
9. Efektyvus darbo laiko fondas, val.	1587

Tiesioginės darbo užmokesčio išlaidos apibūdinamos, kaip pagrindinių darbininkų, tiesiogiai susijusių su gaminama detale, kuriai nustatytas technologinis maršrutas, darbo apmokėjimo išlaidos. Šių išlaidų skaičiavimo suvestinė pateikta 5.13 lentelėje.

5.13 lentelė. Pagrindinių darbininkų pagrindinio darbo užmokesčio apskaičiavimas

Profesijos pavadinimas	Skaičius	Kvalifikacinė kategorija	Valandinis įkainis, Lt	Laikas vienai detalei apdirbti val.	Gamybos programa, vnt.	Dirbta valandų	Darbo užmokestis, Lt
Operatorius	2	IV	10,4	0,14	4000	560	5824
Suvirintojas	1	III	7,9	0,017	4000	68	537,2
Šaltkalvis	1	II	6,1	0,015	4000	60	366
Kontrolierius	1	V	13,8	0,05	4000	200	2760
Dažytojas	3	III	7,9	0,264	4000	1056	8342
Iš viso	8					1944	17829,2

Pagal 5.13 lentelės rezultatus, teigiame, jog operacinis gaminio (skydo) apdirbimas bus atliekamas 2,66 mėnesių. Prie šios vertės pridėjus laiką, kuris sunaudojamas visiems kitiems pagalbiniais (ruošinių – detalių pristatymo, išgabenimo, perkėlimo ir pan.) darbams gauname 2,8 mėnesių laikotarpį. Būtent šis laikas ir bus traktuojamas kaip gamybos laikas.

Neturintiems specialaus pasirengimo darbininkams už valandą mokamas minimalus atlyginimas. Kitiems darbuotojams minimalus valandinis įkainis koreguojamas įmonėje nustatytais koeficientais, kurie didėja kylant kvalifikacinei kategorijai. Šiuo atveju:

I kategorija – koeficientas 1;

II kategorija – koeficientas 1,25;

III kategorija – koeficientas 1,62;

IV kategorija – koeficientas 2,15;

V kategorija – koeficientas 2,85.

Gamybos darbininkų papildomas užmokestis apima apmokėjimą, kurį numato darbo įstatymai, darbo ir kolektyvinės sutartys. Papildomas darbo užmokestis (priedai, priemokos) mokamas už pavdavimą, aukštą kvalifikaciją, skubių ar sudėtingų darbų (užduočių) vykdymą, labai gerą darbuotojo darbą kalendoriniais metais. Papildomas pagrindinių darbininkų darbo užmokestis skaičiuojamas procentais nuo pagrindinio darbo užmokesčio. Priskaitymai socialiniam draudimui skaičiuojami nuo darbininkų pagrindinio ir papildomojo darbo užmokesčio pagal Vyriausybės normatyvus [23].

Tiesioginės darbo išlaidos, reikalingos detalei pagaminti, apskaičiuojamos naudojant konkrečius dydžius (laiko normas, vienetinius įkainius) (žr. 5.14 lent.).

5.14 Lentelė. Tiesioginių darbo užmokesčio išlaidų skaičiavimas

Profesijos pavadinimas	Pagrindinis DU, Lt	Papildomas DU, Lt	Bendras DU, Lt	Atskaitymai soc. draudimui (30,98%), Lt	Iš viso DU išlaidų, Lt
Operatoriai	5824	582,4	6406,4	1984,7	8391,1
Suvirintojas	537,2	53,72	590,92	183,07	773,99
Šaltkalvis	366	36,6	402,6	124,72	527,32
Kontrolierius	2760	276	3036	940,56	3976,56
Dažytojai	8342	834,2	9176,2	2842,79	12018,99
Kiti (pagalbiniai)	200	20	220	68,16	288,16
Iš viso	18029,2	1802,92	19832,12	6144	25976,12

Netiesioginių gamybos išlaidų skaičiavimas. Netiesioginės gamybos išlaidos – tai visos gamybos išlaidos, išskyrus tiesiogines darbo ir pagrindinių medžiagų išlaidas. Tai pagalbinių žaliavų (medžiagų), netiesioginio darbo užmokesčio, nusidėvėjimo bei kitos gamybos išlaidos, kurių neįmanoma be žymių sąnaudų priskirti konkrečioms gaminiams ar jų grupėms [23].

Netiesioginio darbo išlaidos yra susijusios su pagalbinių darbininkų, t. y. sandėlininko, vairuotojo, valytojos, elektriko, įrengimų prižiūrėtojo ir kitų darbo užmokesčio išlaidomis. Reikalingų pagalbinių darbininkų skaičius nustatomas vertinant cecho (baro plotą), įrengimų skaičių ir gamybos programą. Šiems darbininkams yra taikoma laikinė darbo apmokėjimo forma. Jų darbo užmokestis priklauso nuo kvalifikacinės kategorijos ir atidirbto laiko. Įrengimų remonto ir priežiūros darbus atliekančių darbininkų kvalifikacinės kategorijos koeficientai gali būti panašūs į pagrindinės gamybos darbininkų. Nekvalifikuotą darbą atliekantiems darbininkams skiriama minimali alga [23].

5.15 lentelė. Netiesioginės darbo užmokesčio išlaidos

Profesijos pavadinimas	Darbuotojų skaičius	Mėnesinė alga, Lt	Papildomas DU	Bendras mėnesio DU, Lt	Atskaitymai soc. Draudimui (30,98%), Lt	Iš viso DU išlaidų per 2,8 mėnesių, Lt
Elektrikas	1	1327,2	132,72	1459,92	452,28	5354,16
Įrengimų prižiūrėtojas	1	1747,2	174,72	1921,92	595,41	7048,52
Sandėlininkas	1	1327,2	132,72	1459,92	452,28	5354,16
Valytojas	1	854	85,4	939,4	291,03	3445,2
Vairuotojas	1	1327,2	132,72	1459,92	452,28	5354,16
Iš viso	5	6582,8	658,28	7241,08	2243,28	26556,21

Pastaba. Pagalbinių darbininkų darbo laikas ir atitinkamai darbo užmokesčio išlaidos skaičiuojamos ir į savikainą įtraukiamos už pagrindinį gamybos laiką, t. y. 2,8 mėn.

Toliau apskaičiuojame netiesioginėms gamybos išlaidoms priskiriamas patalpų šildymo bei patalpų apšvietimo išlaidas (žr. 5.16 ir 5.17 lent.).

5.16 lentelėje paskaičiuotos patalpų šildymo išlaidos sąlyginai priimant vidutinę vieno mėnesio šildymo kainą.

5.17 lentelėje atlikti skaičiavimai, numatant reikalingą apšvietimo laiką per 2,8 detalės gamybos mėnesių.

5.16 lentelė. Patalpų šildymo išlaidos

Patalpų pavadinimas	Šildomas plotas, kv.m.	1 kv.m. šildymo kaina, Lt	Šildymo sezonas, mėn.	Išlaidos šildymui per metus, Lt	Išlaidos šildymui per 2,8 mėnesių, Lt
Administracinės patalpos	35	4,17	7	1021,65	238,39
Gamybinės patalpos	370	4,47	7	11577,3	2701,37
Sandėlių patalpos	120	4,47	7	3754,8	876,12
Buitinės patalpos	20	4,47	7	625,8	146,02
Iš viso	545			16979,55	3961,9

5.17 lentelė. Išlaidos patalpų apšvietimui

Patalpų pavadinimas	Patalpų plotas, kv.m.	Apšvietimo norma W/kv.m.	Apšvietimo laikas, val.	Elektros energijos sąnaudos kWh	1 kWh kaina, Lt	Išlaidos už elektros energiją, Lt
Administracinės patalpos	35	60	448	940,8	0,3189	300,02
Gamybinės patalpos	370	40	1700	25160	0,3189	8023,52
Sandėlių patalpos	120	20	250	600	0,3189	191,34
Buitinės patalpos	20	20	170	68	0,3189	21,69
Iš viso	545			26768,8		8536,57

Veiklos sąnaudos – tai savikainai nepriskirtos sąnaudos, susijusios su visa įmonės ūkine veikla, vykdoma per ataskaitinį laikotarpį nepriklausomai nuo gamybos ir pardavimų apimtys. Įmonės veiklos sąnaudas sudaro: 1) pardavimų sąnaudos; 2) bendrosios ir administracinės sąnaudos; 3) veiklos mokesčių sąnaudos; 4) atidėjimų sąnaudos; 5) finansinės veiklos sąnaudos [23].

Bendrujų administracinių ir veiklos mokesčių sąnaudų straipsniai nurodyti 5.18 lentelėje.

5.18 lentelė. Bendrosios ir administracinės sąnaudos

Sąnaudų pavadinimas	Sąnaudos, Lt	Pastabos
Atlyginimų sąnaudos	10080	25% nuo 5.19 lentelėje pateikto rezultato
Socialinio draudimo sąnaudos	3122,78	25% nuo 5.19 lentelėje pateikto rezultato
Gamybai skirto turto nusidėvėjimo sąnaudos	12776,14	5.11 lentelė
Remonto ir eksploatacijos sąnaudos	5637,77	3% nuo gamyboje naudojamų įrengimų įsigijimo vertės per metus
Kanceliarinių prekių ir prenumeratos sąnaudos	59,5	25% nuo 170 Lt vienam administracijos darbuotojui per metus
Draudimo sąnaudos	558,54	1% nuo naudojamo gamyboje nekilnojamojo turto vertės per metus

5.18 lentelės tęsinys kitame puslapyje

5.18 lentelės tęsinys

Sąnaudų pavadinimas	Sąnaudos, Lt	Pastabos
Telefoninių pokalbių sąnaudos	175	25% nuo 500 Lt vienam administracijos darbuotojui per metus
Veiklos mokesčių sąnaudos:		
Laikinojo socialinio mokesčio sąnaudos	7800	Skaičiuojamas nuo įmonės apmokestinamojo pelno
Nekilnojamo turto mokesčio sąnaudos	446,83	0,8 % nuo naudojamų gamyboje pastatų vertės per metus
Žemės mokesčio sąnaudos	430	1,5% žemės vertės per metus
Garantinio fondo sąnaudos	105,34	0,1% nuo gaminio gamybai priskiriamų darbuotojų darbo užmokesčio
Iš viso	41191,9	

5.19 lentelė. Atlyginimų ir socialinio draudimo išlaidos

Pareigos	Darbuotojų skaičius	Mėnesinė alga, Lt	Atsiskaitymai soc. Draudimui (30,98%), Lt	Mėnesio DU išlaidos, Lt	Iš viso išlaidų per 2,8 mėn., Lt
Generalinis direktorius	1	5000	1549	6549	18337,2
Ekonomistas	1	3000	929,4	3929,4	11002,32
Sekretorė	1	1800	557,64	2357,64	6601,39
Cecho viršininkai	2	4600	1425,08	6025,08	16870,22
Iš viso	6	14400	4461,12	18861,12	52811,14

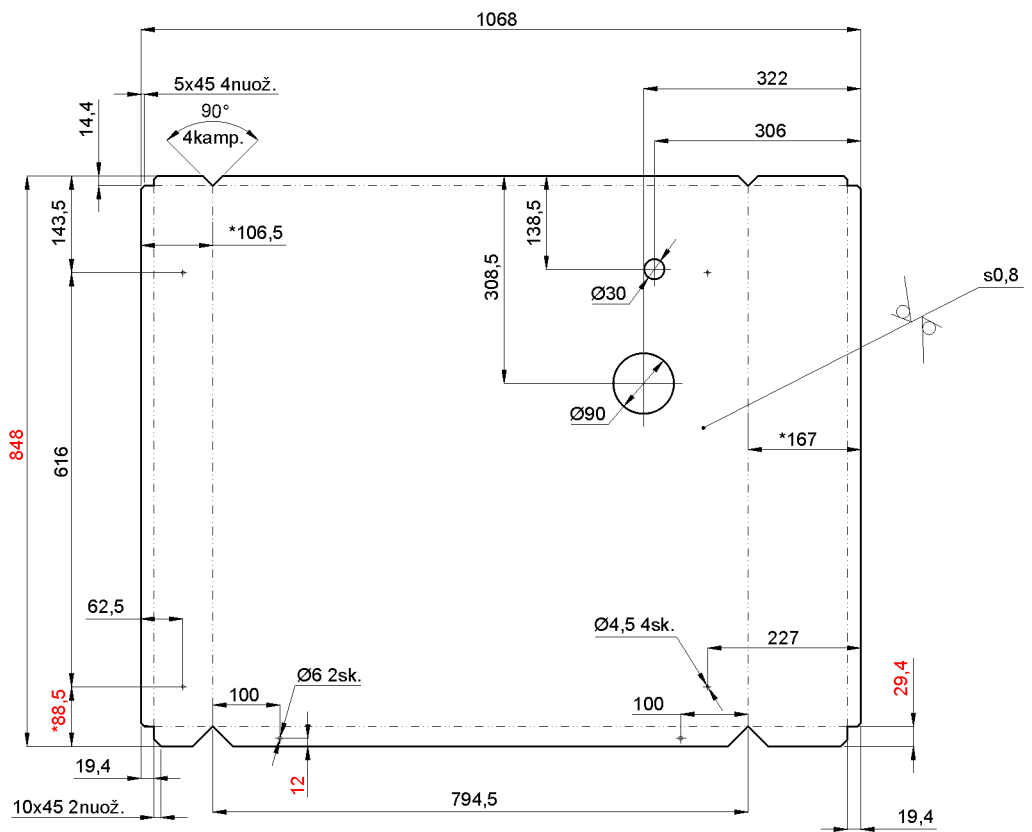
Gamybinės savikainos ir veiklos sąnaudų suma rodo visas išlaidas, kurias patiria įmonė, gamindama produkciją. Reta įmonė gamina vienu metu produkciją, todėl veiklos sąnaudas, naudojant tam tikrus kriterijus, reikia priskirti kiekvienai produkcijos rūšiai.

Nustačius visą gaminio savikainą, reikia apsispręsti dėl pardavimo kainos. Paprasčiausia apskaičiuoti kainą vadinamuoju „*sąnaudų ir priedo*“ metodu. Remiantis juo, prie gaminio savikainos pridedamas tam tikras įmonės iš anksto numatytas priedas (antkainis). Jis turi padengti neįvertintas ir neįskaičiuotas (jei tokių yra) išlaidas ir garantuoti planuojamą pelno dydį [23].

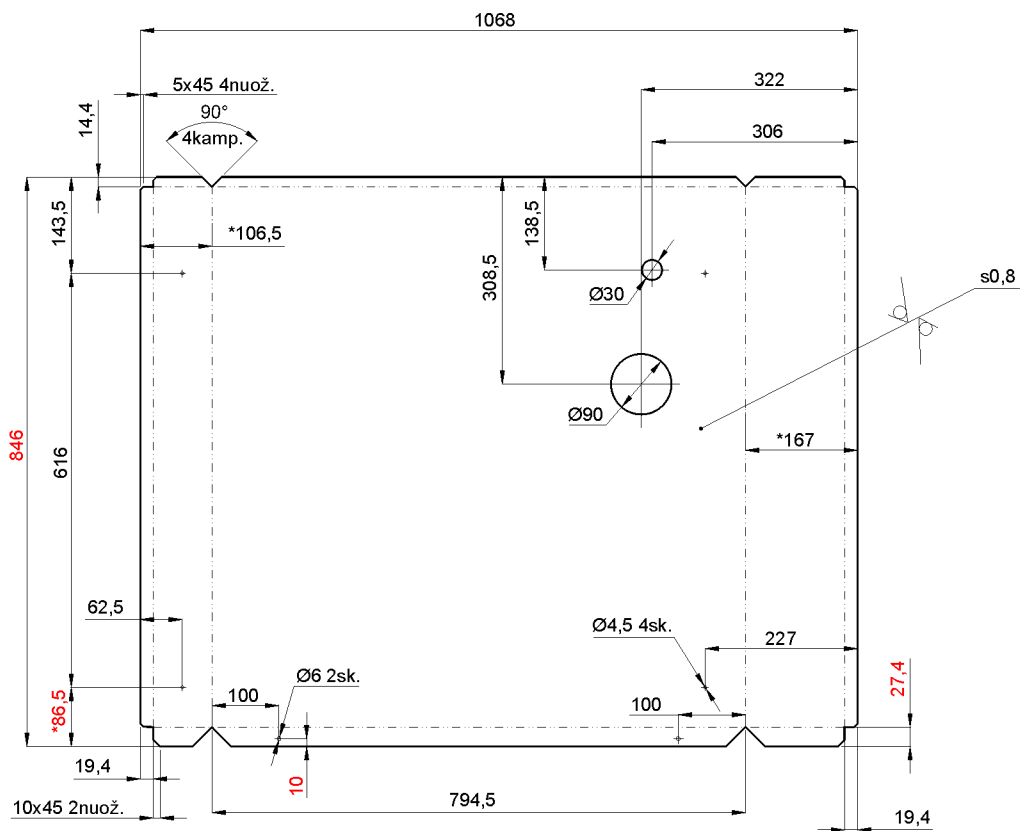
5.3. DFM priemonių panaudojimas gaminio savikainai mažinti

Konstrukcijos optimizavimo galimybės. Tam, kad sumažinti skydo gamybos išlaidas reikalinga racionalizuoti bei optimizuoti gaminio konstrukciją ir taip palengvinti (paspartinti) jo gamybą.

Detaliai išanalizavus užsakovo reikalavimus bei visus skydo gamybos etapus, galime teigti, jog gamybos savikainą galime sumažinti pasitelkiant šampavimo operacijos optimizavimą. Konkrečiai kalbant, šampavimo operacijai skirtą pagrindinį bei pagalbinį laiką galėtume ženkliai sutrumpinti nežymiai pakeitus gaminio konstrukciją, t. y. vieną iš matmenų (žr. 5.4 pav.). Sumažinus apatinės lenkiamos dalies matmenį dviem milimetrais, t. y. nuo 29,4 iki 27,4 mm, keičiasi ir kai kurie kiti skydo matmenys (5.4 pav. pažymėti raudonai). Kaip matome pastarųjų matmenų kitimas nesukelia jokių matmeninių ryšių nesutapimų ar pan.



a – pradinis projektas

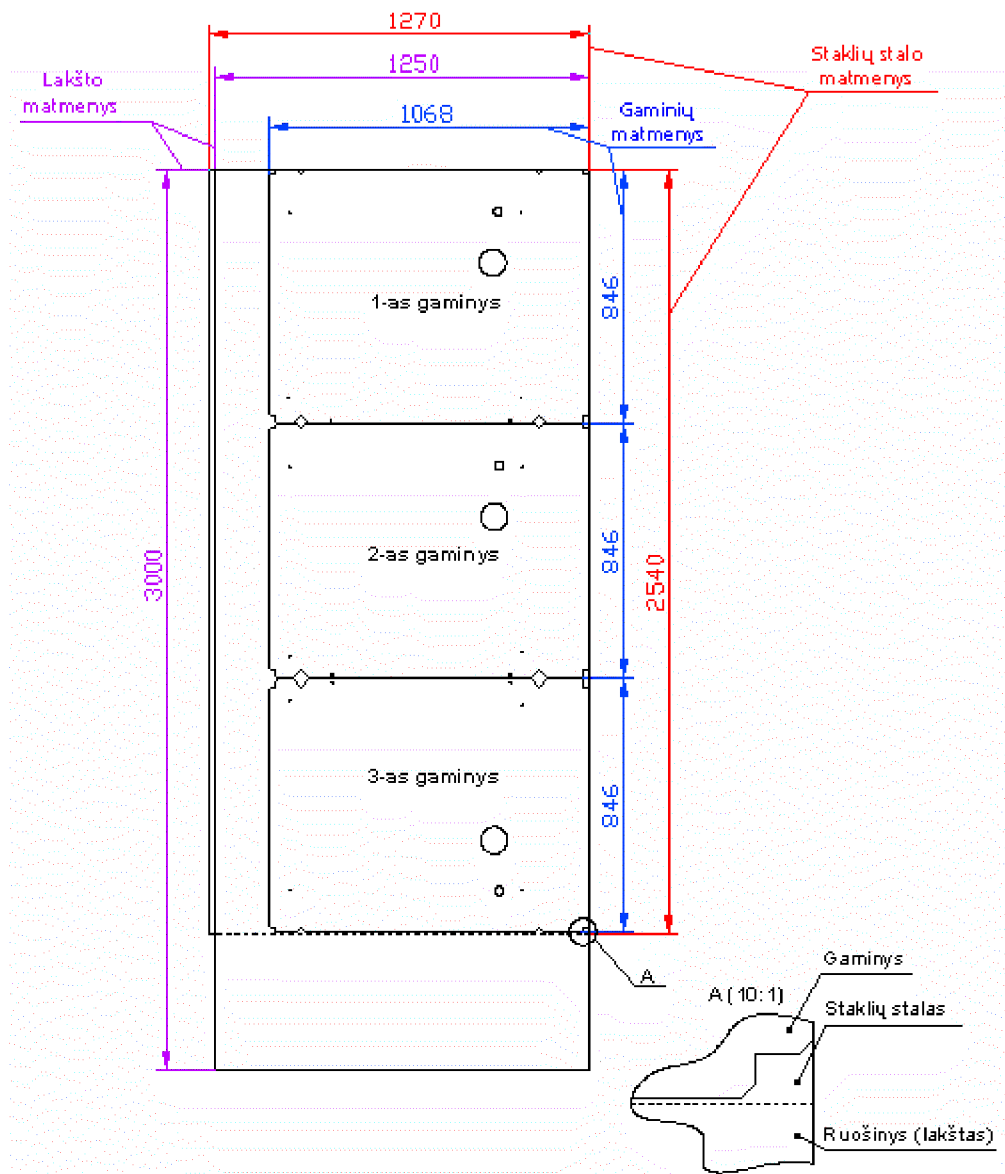


b – antrinis projektas

5.4 pav. Skydo išsklotinės matmenys

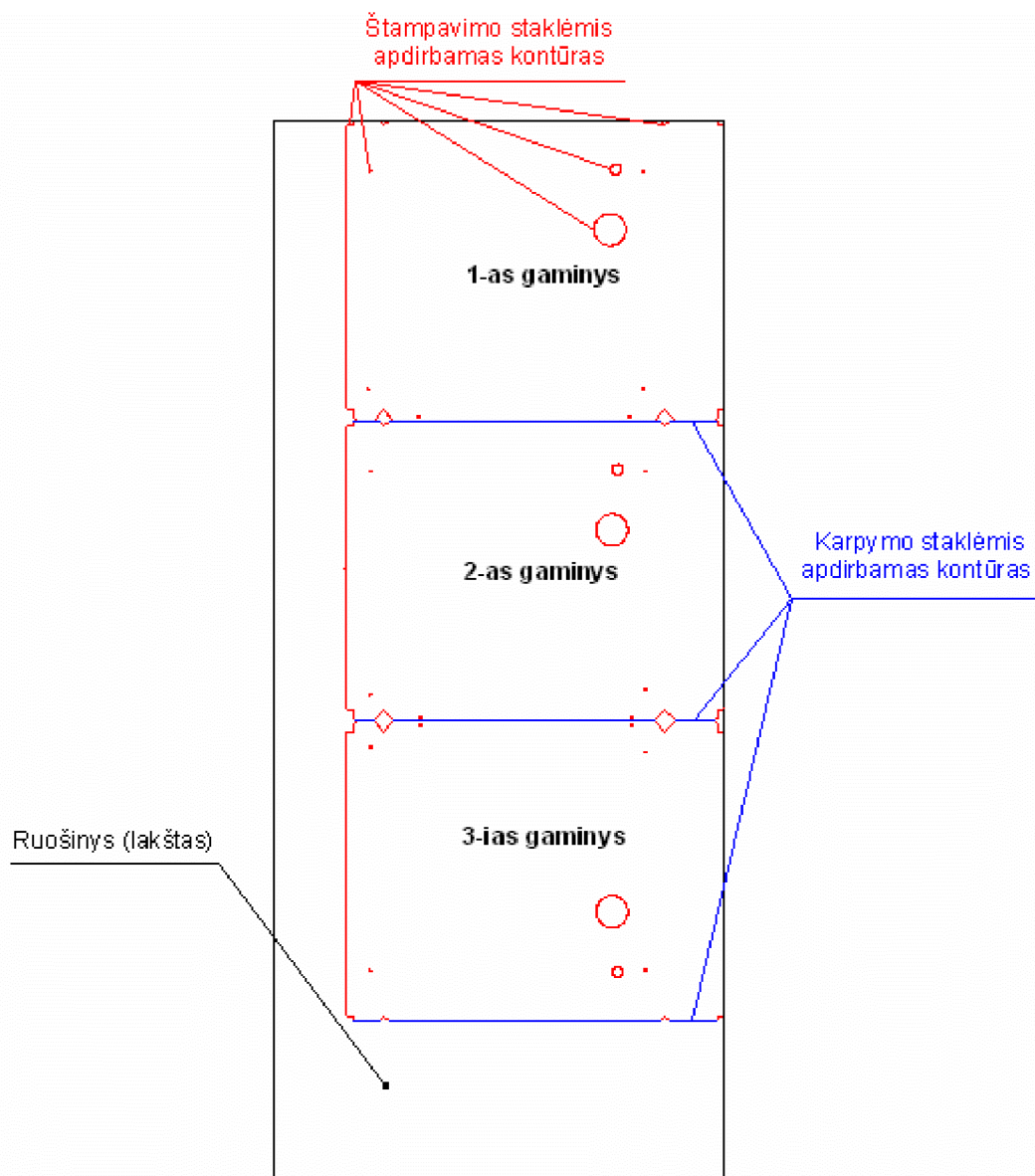
Konstrukcijos pakeitimas yra suderinamas su užsakovu. Šiuo atveju, tai nesukelia jokių papildomų problemų užsakovui gabenant, instaliuojant ar eksploatuojant gaminį. Be to, užsakovas taip pat yra suinteresuotas minėtu neesminiu skydo konstrukcijos pakeitimu, kadangi atsiranda galimybė gaminį išigyti pigiau.

Konstrukcijos optimizavimo techniniai sprendimai. Skydo gamybos projekto optimizavimas, kaip minėta, atliekamas keičiant gaminio matmenis. Tokiu būdu atsiranda galimybė sumažinti šampavimo operacijos vienetinio laiko trukmę. Pastaroji yra trumpinama ant šampavimo staklių stalo tvirtinant ruošinį (šaltai valcuoto plieno DC01 (EN 10130), atitikmuo pagal GOST 380 – 08kn 0,8 x 1250 x 3000 mm, lakštą [24]), iš kurio įmanoma pagaminti 3 skydus vietoj buvusių dviejų (žr. 5.3 bei 5.5 pav.). Šampavimo staklių TRUMATIC 2020R FMC Compact techniniai duomenys [25] pateikti 2-ame priede.).



5.5 pav. Trijų gaminių gamybos schema

Tokia galimybė atsiranda šampavimo staklėmis apdirbant ne visą gaminio kontūrą (žr. 5.6 pav.). Likusį gaminio kontūrą galima apdirbti įmonėje esančiomis lakštų karpymo staklėmis *Amada Promecam GH 630 Z*. Šių staklių techniniai duomenys pateikti 3-ame priede [26]. Būtina paminėti, kad šampuojant reikalinga 5 mm užlaida apdirbamam ištisiniam kontūrai. Kitu atveju gadinamas šampavimo įrankis. Atliekant kirpimo operaciją užlaida nereikalinga.



5.6 pav. Šampavimo bei karpymo staklėmis apdirbami kontūrai

5.4. Konstrukcijos keitimo ekonominiai rodikliai

Atliekant konstrukcijos pakeitimus, sutrumpinamas vienetinis šampavimo operacijos laikas, kadangi sutrumpėja jo dedamųjų – mašininio bei pagalbinių laiko sąnaudos. Priklausomai nuo to

sumažėja žmogiškosios bei techninės energijos sąnaudos. Kita vertus kai kurios galutinės gaminio kainos sudaromosios išauga (žr. 5.20 lent.). Nepaisant to, galutinis rezultatas yra teigiamas.

Būtina pabrėžti, kad taikant gamybos optimizavimo priemones yra padidinamas gamintojo prestižas, kadangi užsakovai yra įtikinami, jog gamintojas deda visas pastangas siekiant produkcijos savikainos mažinimo.

5.20 lentelėje pateikiamas antrinio gaminio gamybos savikainos nustatymas. Tai atliekama vadovaujantis 5.2 poskyryje naudota skaičiavimo metodika.

5.20 lentelė. Antrinis gaminio gamybos sąnaudų nustatymas

	Išlaidų straipsnis	Išlaidos, Lt	Pokytis
I.	Gaminio projektavimo ir gamybos technologijos rengimo išlaidos		
a)	projektavimo darbai	262,03	↑
b)	technologijos paruošimo darbai	244,24	↑
	Iš viso projektavimo ir gamybos technologijos rengimo išlaidų	506,27	
II.	Tiesioginės gamybos išlaidos:		
1.	Tiesioginės medžiagų sąnaudos		
a)	medžiagų ir žaliavų sąnaudos	65552,76	↑
b)	medžiagų atsigabenimo ir parengimo naudojimui išlaidos	6555,28	↑
c)	grįžtamosios atliekos	-8836	↑
d)	pagalbinių medžiagų išlaidos	1181	=
2.	Tiesioginės darbo apmokėjimo sąnaudos (pagrindinės gamybos darbininkams):		
a)	darbo užmokestis	18459,32	↓
b)	socialinis draudimas	5718,7	↓
	Iš viso tiesioginių gamybos išlaidų	88631,06	↓
III.	Netiesioginės gamybos išlaidos:		
a)	energijos išlaidos technologiniams tikslams	8120,3	↓
b)	aptarnaujančio personalo darbo užmokesčio ir socialinio draudimo išlaidos	26556,21	=
c)	patalpų šildymo išlaidos	4034,91	↑
d)	patalpų apšvietimo išlaidos	7461,89	↓
	Iš viso netiesioginių gamybos išlaidų	46173,31	↓
	Gamybos savikaina	135310,64	↓
IV.	Veiklos sąnaudos	43305,79	↑
V.	Iš viso išlaidų	178616,43	↓
	Gamybos programa, vnt.	4000	=
	Vieno gaminio išlaidos	44,65	↓
	Antkainis (10%)	4,47	↓
	Gaminio pardavimo kaina	49,12	↓

Pastaba. Lentelėje naudojami žymenys: = - pradinio ir antrinio projekto sąnaudos lygios; ↑ - antrinio projekto sąnaudos didesnės nei pradinio projekto; ↓ - antrinio projekto sąnaudos mažesnės nei pradinio projekto.

Pastarojoje lentelėje tam tikrais ženklais pažymėtos įvairios sąnaudos, kurios yra didesnės, lygios arba mažesnės lyginant jas su pradinio gaminio gamybos sąnaudomis (žr. 5.1 lent.).

Lyginant 5.1 bei 5.20 lentelių rezultatus, matomas skirtingas skydo gamybos sąnaudų dydis. Vieno gaminio gamybos išlaidų dydis, tarp pradinio ir antrinio projektų, skiriasi:

$$45,51 - 44,65 = 0,86 \text{ Lt.}$$

Tokiu būdu nežymus projekto pakeitimas leidžia pasiekti akivaizdžią gamybos sąnaudų ekonomiją.

Įvertinus gamybos programą (4000 vnt.), galutinis gamybos sąnaudų mažinimo efektyvumas:

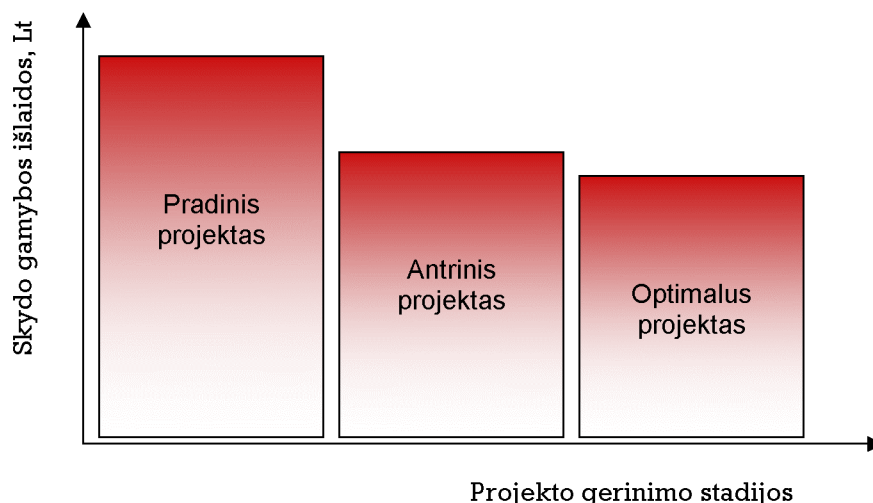
$$0,86 \cdot 4000 = 3440 \text{ Lt.}$$

Tuo tarpu tiesioginė užsakovo nauda, dėl gamintojo gamybos sąnaudų sumažinimo:

$$(50,11 - 49,12) \cdot 4000 = 3960 \text{ Lt.}$$

Optimalios gamybos siekimas. Kaip jau nagrinėta, pradinis skydo gamybos projektas yra neracionalus. Antrinis projektas turi realią naudą, bet kai kurios išlaidos atliekant projekto redagavimą išauga (žr. 5.20 lent). Gaminio projektavimo ir gamybos technologijos rengimo išlaidų augimo būtų galima išvengti, jeigu dar projekto pirmojoje stadijoje būtų realizuotas *DFM* priemonių panaudojimas, t. y. iš karto numatytas ruošinio matmenų keitimas. Tokiu atveju skydo gamybos sąnaudos būtų mažiausios (skaičiavimai nepateikti). Taip būtų pasiektas optimalus (mažiausias) skydo gamybos išlaidų dydis.

5.7 paveiksle pavaizduotos skydo gamybos išlaidos, gamyboje naudojant pradinį, antrinį bei optimalų projektą.



5.7 pav. Projekto gerinimo ekonomija

Naudojant *DFM* priemonės pasiektas akivaizdus gamybos sąnaudų sumažėjimas, kuris leidžia produkciją gaminti šiek tiek greičiau, o svarbiausia – pigiau.

IŠVADOS

Magistro baigiamojo darbo atlikimo metu nagrinėti šiuolaikiniai gaminių konstravimo bei technologinio projektavimo metodai, kurių efektyvumas siejamas su vienalaikės inžinerijos plėtojimu bei panaudojimu gamybiniame procese.

Darbo atlikimo metu įvykdyti uždaviniai:

- ✓ išsamus teorinių gamybos projektavimo optimizavimo priemonių tyrimas;
- ✓ šių priemonių panaudojimas realioje gamyboje optimizuojant konkretaus gaminio konstrukciją;
- ✓ šių priemonių panaudojimo ekonominės naudos įvertinimas.

Teorinėje darbo dalyje nagrinėtų priemonių praktinio pritaikymo rezultatas yra eksperimentinėje dalyje pateikti skaičiavimai, kurių esminiai rodikliai yra:

- ☞ vieno gaminio gamybos sąnaudų sumažėjimas - 0,86 Lt;
- ☞ visos gaminių partijos gamybos sąnaudų sumažėjimas - 3440 Lt;
- ☞ tiesioginė užsakovo nauda, dėl gamintojo gamybos kaštų sumažėjimo - 3960 Lt.

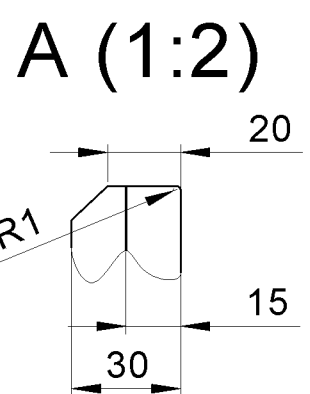
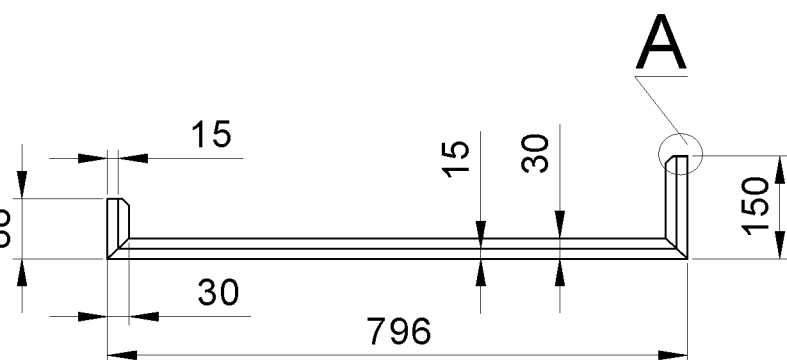
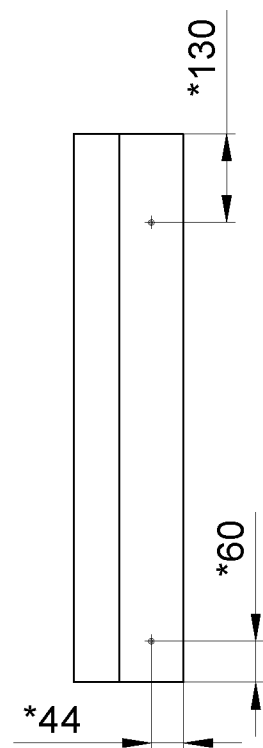
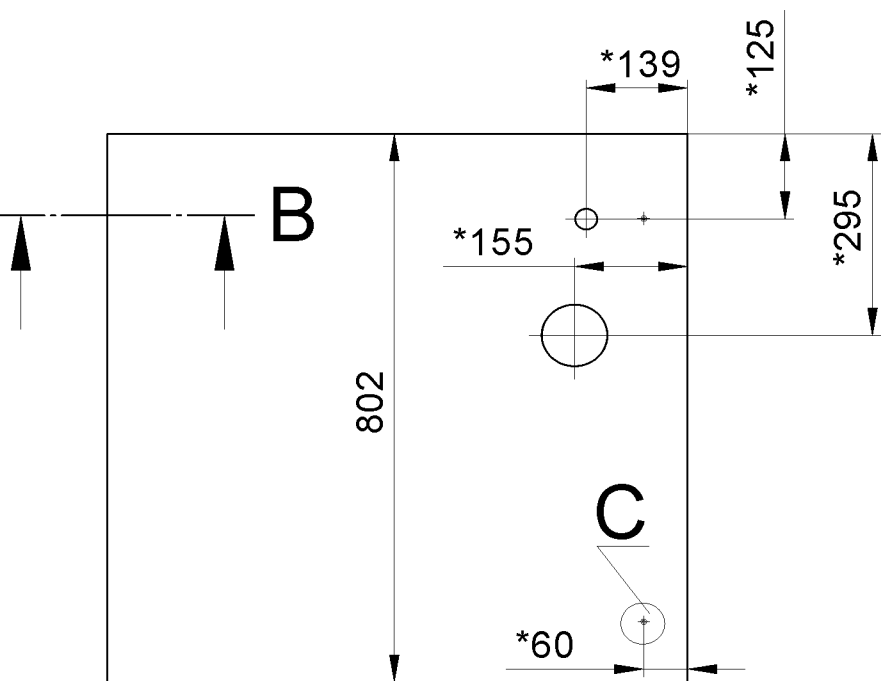
Darbo atlikimo metu analitiškai pagrįstas vienalaikės inžinerijos metodologijos panaudojimo tikslingumas bei efektyvumas.

LITERATŪRA

1. Mašinų elementai. Skaičiavimas ir konstravimas/Jonas Dulevičius, Valdas Eidukynas, Aldona Žėbienė. Kaunas, 2006. 486p. ISBN 9955-25-110-7.
2. Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas. Dabartinės Lietuvių kalbos žodynas. IV leidimas. Vilnius, 2000. 967p. ISBN 5-420-01242-1.
3. Mašinų elementai: analizė, konstravimas ir taikymas/Pranas Žiliukas, Albinas Palionis, Manfredas Liutkevičius, Valdas Eidukynas. Kaunas, 1999. 134p. ISBN 9986-13-682-2.
4. Ramonas Z. Mechaninių sistemų projektavimas/Z.Ramonas, V.Skačkovas. Šiauliai, 2003. 118p.
5. Medekšas H. Gaminių kokybė ir patikimumas. Kaunas, 2003. 279p. ISBN 9955-09-091-X.
6. Trott P. Innovation Management and New Product Development. Priman Publishing. London, 1998. 303p.
7. Wikipedia [interaktyvus]. JAV: daugiakalbė elektroninė atviroji enciklopedija. 2001 m. sausis. – [žiūrėta 2009-02-15]. Prieiga per internetą: <http://koti.mbnet.fi/wolfram/replace.php?from=undefined&to=undefined&url=http://en.wikipedia.org/wiki/Concurrent_engineering>.
8. Bargelis A. Gamybos plėtros strategija. Kaunas, 2002. 228p. ISBN 9955-09-253-X.
9. Čereška A. Kokybės analizė ir valdymas/A.Čereška, V.Pauža. Vilnius, 2005. 134p. ISBN 9986-05-894-5.
10. Bražiūnas A. J. Mašinų gamybos technologijos pagrindai. Kaunas, 2004. 512p. ISBN 9955-09-558-X.
11. Johnstark [interaktyvus]. A few words about Concurrent Engineering. 1999 m. – [žiūrėta 2009-04-09]. Prieiga per internetą: <<http://www.johnstark.com/fwcce.html>>.
12. Adebayo J. Concurrent engineering: principles and conceptual methodology for process innovation//Jade Holding Ltd., The Meridian, 4 Cophall House, Station Square, Coventry, CV1 2FL, UK.
13. Kusiak A. Concurrent Engineering: Automation, Tools and Techniques. New York, 1993. 589p. ISBN 0-471-55492-8.
14. New Directions In Design For Manufacturing – 2004: konferencijos medžiaga. [Salt Lake City, 2004m. rugsėjo 28d.]. Salt Lake City, 2004. 9p.
15. Grieve David. Engineering and Design Tools - TSOC 302 and TSOC 303 - 2 Design for Manufacture. Iš tech.plym.ac. [interaktyvus]. 2003, vasaris [žiūrėta 2009-05-09]. Prieiga per internetą: <<http://www.tech.plym.ac.uk/sme/tsoc302/desman1.htm>>.
16. Chan Vincent, Salustri Filippo. Design for Assembly [interaktyvus]. 2005, gruodis [žiūrėta 2009-05-15]. Prieiga per internetą: <<http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmdfa.html>>.

17. The Hitachi Assembly Evaluation Method (AEM): tarptautinės konferencijos pranešimų medžiaga. [Newport, 1986m. liepos 15-17d]. Newport, Rhode Island.
18. Wikipedia [interaktyvus]. JAV: daugiakalbė elektroninė atviroji enciklopedija. 2001 m. sausis. – [žiūrėta 2009-05-15]. Prieiga per internetą: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Design for Assembly](http://en.wikipedia.org/wiki/Design_for_Assembly)>.
19. Boothroyd G. Design for Assembly – A Designer’s Handbook. Department of Mechanical Engineering, University of Massachusetts. Amherst, 1980.
20. Boothroyd G. Design for assembly: The Road to Higher productivity. Assembly Engineering. 1982.
21. Henchy L.W. American Manufacturing Fights Back. Business Solutions. 1988. 10p.
22. Kalvis [interaktyvus]. Šiauliai. 2009 m. – [žiūrėta 2010-01-20]. Prieiga per internetą: <http://www.kalvis.lt/lt/apie_mus/veiklos_kryptys>.
23. Kovierienė A. Mašinų gamybos įmonių produkcijos skaičiavimas/A.Kovierienė, S.Žičkienė, Z.Ramonas. Šiauliai, 2006. 30p. ISBN 9986-38-661-6.
24. Melesta [interaktyvus]. Kaunas. 2000 m. vasaris. – [žiūrėta 2010-01-20]. Prieiga per internetą: <<http://www.melesta.lt/?id=37>>.
25. TRUMPF [interaktyvus]. Vokietija. 1923 m. – [žiūrėta 2010-01-17]. Prieiga per internetą: <http://www.sg.trumpf.com/100.img-cust/TC-2020-R-FMC_E.pdf>.
26. Mashineseeker [interaktyvus]. Vokietija. [Žiūrėta 2010-02-07]. Prieiga per internetą: <<http://www.mashineseeker.com/A619302.html>>.

PRIEDAI



1. LST EN 22768-mK;
2. * Informaciniai matmenys;
3. Suvirinimas pagal LST EN 24063;
4. Dažyti milteliniais poliesteriniais dažais. Storis: išorinius pav. 80µm; vidinius - 40µm.

$\sqrt{Rz20}$ (✓)

	Bylos Nr.	Papildoma informacija s 0,8	Medžiaga Plienas DC01 EN 10130	Mastelis 1:10
Atsakinga žinyba Katedra	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas ŠU TF	Studentas A. Katkevicius	Antraštė SKYDAS	Žymuo M.00.01.00.000	
	Vadovas A. Bargelis		Laida MM-8	Data 10.01.20
			Kalba lt.	Lapas 1/1

2 PRIEDAS. Štampavimo staklių *TRUMATIC 2020R FMC Compact* techniniai duomenys

TRUMATIC 2020 R FMC Compact

Working range (X x Y) without repositioning	2540 x 1270 mm	Programmable parts chutes Sorted removal of parts to the left and right	200 x 200 mm
Capacities		Accuracy¹	
Max. sheet thickness	6.4 mm	Positioning accuracy	±0.1 mm
Max. punching tonnage	180 kN	Repeatability	±0.03 mm
Max. workpiece weight	150 kg	Drives	
Max. clearance under stripper	38 mm	X/Y/C	digital, maintenance-free
Programmable presser foot force	4 – 17 kN	Punching head	hydr., closed loop control
Speeds		TRUMPF CNC control	Basis Bosch Type 3
Max. positioning speed		Color monitor	10.4"
X axis	90 m/min	Hard disc memory	300 MB for NC-programs
Y axis	60 m/min	Floppy drive	3.5"
Simultaneous (X and Y)	108 m/min	Platform	PC Pentium/Windows NT
C axis	180 rotations/min	Shopfloor programming	ToPs 2000
Max. stroke rate		Safety	Light barrier system
punching	900 strokes/min	Power requirements	
marking	2200 strokes/min	Average power requirement	18 kW (approx.)
Tools		Pneumatic connection	7 – 14 bar
Linear magazine	19 tools with 2 clamps	Max. compressed air consumption	3 Nm ³ /h
No. if using Multitool (2 clamps)	19 to 190 tools	Dimensions and weights	
Rotation of all tools	360°	Space requirements incl. light barriers	6710 x 7310 mm
Tool change time		Height	2438 mm
Single tool (approx.)	3.5 s	Weight (approx.)	11500 kg
within Multitool (approx.)	0.9 s		
Max. punch diameter			
Single stroke	76 mm		
Standard Multicut	200 mm		

¹ The achievable accuracy in the workpiece depends – amongst other things – on the type of workpiece, its pre-treatment, sheet size and its position in the work area. According to VDI/DGQ 3441. Measuring length 1 meter.

3 PRIEDAS. Lakštų karpymo staklių *Amada Promecam GH 630 Z* techniniai duomenys

Manufacturer:	Amada Promecam
Technical data:	Cuttinglength: 3100 mm Max sheetthickness st 45: 6 mm Backgauge mech(1) elect (2) CNC (3): (2) Electrical Electric motor (power): 7.5 kW Length L -- R: 3560 mm Depht Fw -- Bw: 2130 mm Height: 1750 mm Weight: 8000kg