

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Henrikas Borusas

MECHANINIŲ GAMINIŲ INTEGRUOTOS GAMYBOS SISTEMOS
MODELIO SUKŪRIMAS

Magistro darbas

Vadovas

Prof. Habil.Dr. A. Bargelis

ŠIAULIAI, 2008

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

Lekt. Z. Ramonas

2008 06

MECHANINIŲ GAMINIŲ INTEGRUOTOS GAMYBOS SISTEMOS
MODELIO SUKŪRIMAS

Magistro darbas

Vadovas

Prof. Habil.Dr. A. Bargelis

2008 06

Recenzentas

doc. dr. A. Povilionis

2008 06

Atliko

MM6 gr. stud.

H. Borusas

2008 06 04

ŠIAULIAI, 2008

SUMMARY

Borusas H. Integrated model of manufacturing system for mechanical products: Master thesis of mechanical engineer/ research advisor Prof. Dr. Habil. A. Bargelis; Šiauliai University, technological Faculty, Mechanical Engineering Department. Šiauliai, 2004 – 47

The Master thesis deals with the development of an integrated manufacturing system model for mechanical components. It is presented the theoretical base of model that examined a manufacturing organization as a complicated system. The integrated nuggets of new product and process development, production units with appropriate facilities and their management liaisons, customers, suppliers and partners net are structure of Today Company. Data base of developed model also is foreseen. The information and materials flow control system inside and outside company are developed also.

The practical realization of model theoretical bases to medium Lithuanian company X is carried out. Considered company in manufacturing business of small trucks components' is involved. It applies the various metal profiles as materials and machining, welding and painting operations. The company business process was modeled, tested and validated. It works on the virtual prototypes at the early business conception stage. Main task of developed model in this stage is forecasting of manufacturing cost and decision making selecting suppliers and partners. The results and conclusions of work are presented.

TURINYS

SUMMARY	3
ĮVADAS.....	7
1. INTEGRUOTOS GAMYBOS SISTEMOS PRIELAIDOS IR JŲ REALIZAVIMO TEORINIS VERTINIMAS	8
1.1 Organizacija sistemų teorijos požiūriu.....	9
1.1.1 Įmonė veikianti kaip sistema.....	12
1.2 Apdirbimo ir įrenginių technologijos branduoliai gamybos sistemose.....	15
1.3 Kompiuterizuotos integruotos gamybos esmė ir pagrindinės funkcijos	18
1.4 Kompleksinės gamybos rengimo sistemos struktūra	21
2. INTEGRUOTOS GAMYBOS SISTEMOS TEORINIŲ PRIELAIDŲ PRAKTINIS REALIZAVIMAS	25
2.1 Tyrimo objekto veiklos analizė	26
2.2 Tyrimo objekto procesų įvertinimas	28
2.3 Gamybos sistemos modeliavimas	32
2.3.1 Gamybos sistemos modelio kūrimas.....	33
2.4 Virtualaus gamybos sistemos modelio veikimo principas	38
2.4 Gamybos sąnaudų prognozavimas ankstyvoje gaminio kūrimo stadijoje	42
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI.....	45
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	46

LENTELIŲ SĄRAŠAS

Gamybos sistemos pagrindiniai veiklos duomenys	21
Duomenys apie medžiagą.....	43
Detalių apdirbimas	43
Operacijų sąlginiai valandiniai įkainiai.....	44
Konstrukcijos detalių sąnaudos.....	44

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Tikslų modelis	8
1.2 pav. Sistemą apibrėžia jos elementai, ryšiai ir tikslai	10
1.3 pav. Įmonės veiklos sistema.....	12
1.4 pav. Įmonės sistema ir ją supanti aplinka.....	13
1.5 pav. Įmonės tipinė struktūra	14
1.6 pav. Pagrindinės integruotos gamybos veiklos funkcijos	18
1.7 pav. Gaminų konstravimo ir gamybos rengimo sąveika.....	19
1.8 pav. Gamybos organizavimo ir valdymo pagrindinės funkcijos įmonėje.....	20
1.9 pav. Medžiagų ir detalių srautai gamybos proceso metu	20
1.10 pav. Įprasta gamybinės įmonės situacija	23
2.1 pav. Įprasta gamybinės įmonės situacija	26
2.2 pav. Vartotojo reikalavimų analizavimas.....	27
2.3 pav. Kėbulo korpusinė detalė - porėmis.....	28
2.4 pav. Nagrinėjamos įmonės struktūra.....	29
2.5 pav. Tipinis naujo gaminio kūrimo procesas (a) ir koncepcijos formavimo procesas (b)	30
2.6 pav. Metalinė porėmio konstrukcija iš lakštinio plieno	30
2.7 pav. Mažos įmonės gaminio kūrimo etapai.....	31
2.8 pav. Egzistuojančių etapų ir jų funkcijų integravimas	32
2.9 pav. Gamybos sistemos modelis	34
2.10 pav. Gaminio duomenų bazė.....	35
2.11 pav. Gaminio projektavimas	36
2.12 pav. Technologinio gamybos paruošimo duomenų bazė	37
2.13 pav. Sistemos elementų tikslas.....	38
2.14 pav. Vartotojų – partnerių – tiekėjų – gamintojų bendradarbiavimas.....	39
2.15 pav. Informacijos apdorojimo blokas.....	40
2.16 pav. Gamybos sąnaudų prognozė ankstyvoje gaminio kūrimo stadijoje	41
2.17 pav. Aliuminio porėmio konstrukcija iš aliuminio profilių.....	43

IVADAS

Darbo aktualumas. Pastaruoju metu daugumoje mažų ir vidutinių Lietuvos gamybos įmonių, kartojamos tos pačios veiklos ir steigimo klaidos, jos įkuriamos skubotai, jų gyvavimo laikotarpis dažnai nestabilus, arba net labai trumpas. Pradėti verslą šiandien lyg ir nėra labai sunku, dažnai pradedantys verslininkai arba kopijuoja jau žinomas idėjas, arba ieško vienintelės naujos idėjos, kurios dar niekas nepanaudojo, jie analizuoja vartotojų poreikius ir ieško naujų būdų įtikti jiems. Ir čia labai didelis bei sunkus darbas, žinant kaip sunku rasti perpildytoje rinkoje tą vienintelį produktą, kurio dar niekas negamina arba būdą kaip sumažinti paklausaus gaminio gamybos sąnaudas ir pagaminimo laiką, išlaikant aukštus kokybės reikalavimus. Dažnai baiminamasi, jog tas produktas rinkoje egzistuos per trumpai, jei dar kiek uždelsi, o verslo graža taps nuostolinga bei laikina, todėl skubama kuo greičiau pradėti verslą. Viliojami išsilavinę jauni žmonės, gebantys analizuoti, spręsti, padėti plėtoti verslą, deja dažniausiai eikvojantys savo jėgas ir energiją būtent rutininiais darbais ir daugiau niekam nelieka laiko, o ypač lėšų. Teoriškai to lyg ir būtų galima išvengti prieš įsibėgėjant verslui ir gerai pasiruošus jam.

Baigiamasis magistro darbas skirtas ne ieškoti naujos, ypatingos idėjos, o modeliuoti efektyvią gamybos sistemą, numatant jos įgyvendinimo etapus ir padėti suvokti būsimiems verslo žmonėms, jog tai būtina svarstyti jau prieš kuriant verslą, rašant verslo planus, na o jei tai jau nebe verslo pradžia - padėti apsispręsti, kad vis tik reikia tam papildomai skirti pakankamai dėmesio, laiko ir lėšų lygiagrečiai žengiant kartu su gamyba ir jog tai vienas iš rezervų įmonės veiklai gerinti.

Šio darbo objektas –maža Lietuvos įmonė, gaminanti mechaninius gaminius.

Darbo tikslas – Sukurti integruotos gamybos sistemos modelį ir įvertinti jo galimybes bei efektyvumą.

Darbo uždaviniai:

1. Įvertinti gamybinės įmonės veiklą bei atlikti esamos situacijos analizę.
2. Sudaryti gamybos procesų reorganizavimo ir gerinimo metodus.
3. Sukurti integruotos gamybos sistemos modelį virtualioje aplinkoje.
4. Sudaryti virtualaus modelio testavimo schemą.

Teorinėje apžvalginėje darbo dalyje yra pateikiamos teorinės integruotos gamybos sistemos galimybės ir prielaidos, įdiegimo funkcijos ir etapai, pagrindinės priemonės bei jų vertinimo aspektai.

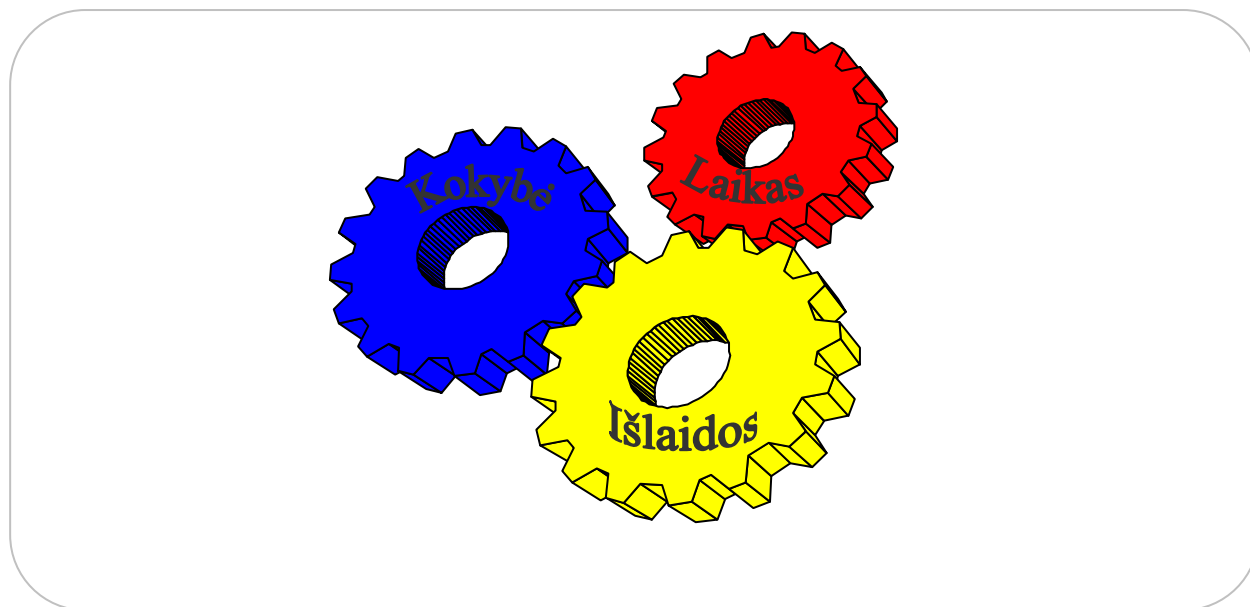
Praktinėje analitinėje darbo dalyje analizuojamos integruotos gamybos sistemos integravimo praktinės galimybės realiam mechaniniam gaminiui. Nurodoma laukiama nauda ir kiti privalumai.

1. INTEGRUOTOS GAMYBOS SISTEMOS PRIELAIDOS IR JŲ REALIZAVIMO TEORINIS VERTINIMAS

Šiame skyriuje glaustai aptarsime svarbiausias integruotos gamybos sistemos teorijos sąvokas, terminus, teorinius modelius ir jų elementus. Taip pat pateiksime, bei palyginsime skirtingus įvairių autorių požiūrius ir argumentus į šiuolaikinę gamybos rengimo teoriją bei praktiką.

Rezultato kokybės reikalavimai keliami bet kokio pobūdžio veiklai. Tačiau gamybininko atveju, be kokybės, į bendrą tikslą įtraukiami dar du labai svarbūs aspektai : rezultatas turi būti pasiektas laiku ir neviršijant numatytų sąnaudų. Reali gamybos vykdymo eiga gali atsilikti ar pralenkti tvarkaraštį, tačiau svarbiausi etapai turi būti įvykdyti nevēluojant, kad gatavas produktas būtų baigtas planuotu (užsibrėžtu) laiku.

Šios trys tikslo sudedamosios dalys turi būti nurodytos kiekvienam gaminiui, nepriklausomai nuo darbų kiekio ar kitų veiksnių. Gamybos vadovas privalo garantuoti , kad bus realizuoti visi trys tikslo dėmenys - pasiektas apibrėžtos kokybės rezultatas per galimai trumpiausią laiką, neviršijant suplanuotų išlaidų. Tai uždara grandis, kurios veikimo principas tarsi mechaninės pavaros, norint sumažinti pagaminimo laiką automatiškai didinamos išlaidos ir žinoma tai gali atsilipti gaminio kokybei (žr. 1.1 pav.). Gamybininko galvosūkis – sugadinti tokį mechanizmą.



1.1 pav. Tikslo modelis

Meluočiau teigdamas, jog yra vienintelis galvosūkių sprendimas, kuris padėtų labai paprastai rasti atsakymą, jog tai moderniausias ir šiuolaikinis būdas. Nors knygynų ir bibliotekų lentynos lūžta nuo neva naujausių literatūros šaltinių, įvairiausių „verslo vadovų“, „darbo knygų“, todėl tinkamas pasirinkimas tampa sudėtingu, o svarbiausia, beveik visos jos pagrįstos

seniai žinomomis ir iki šiol tobulinamomis tiesomis. Interneto puslapiai publikuojami kaip labiausiai lankomi, čia galima įsigyti programinės įrangos, padėsiančios padidinti įmonės pelną kelis kart, deja visa tai tik apsunkina situaciją. Mažos įmonės nepajėgios įsigyti populiarių, patikimai veikiančių bei komercinį efektą duodančių programinės įrangos paketų, tai ypač brangu. Didžiulių investicijų reikalauja ne tik pati programa, bet ir papildoma programinė įranga, mokymai, pritaikymas, palaikymas. Ypač didelių galimybių programinės įrangos, tokios kaip „Financial“, „Monitor“, „Forbus“, „Navision“ labiau naudingos didžiulėms organizacijoms, stambioms įmonėms, kur kiekviena programos funkcija labai reikalinga, kada mažose įmonėse daugelis funkcijų niekada nebūtų panaudotos.

Kadangi jaunų žmonių, ir ypač vadovų, veiksmų ir sprendimų kokybė labai priklauso nuo to, kiek jie turi ir panaudoja informacijos, žinių ir patirties apie terpę, kurioje siekia savo tikslų, todėl daugeliui vis dar stinga įgūdžių. Siekiant efektyvių verslo rezultatų, sunku pasakyti ir nuspręsti, kuri grandis gamyboje yra pati svarbiausia, kurie taktiniai ar strateginiai klausimai turi būti svarstomi pirmiausia bei kuris mokslinių tyrinėjimų objektas labiausiai pažengęs ir tinka gamybiniam verslui.

Dažnai neapgalvotas sprendimas suriša rankas ir apsunkina adaptaciją prie besikeičiančių poreikių. Dar blogiau, kad klaidingai investuotus į gamybą pinigus dažnai nepavyksta reinvestuoti į kažką kitą. Šiame etape reikia suvokti, kad reikalinga keisti požiūrį į gamybą ir jos valdymą. Smulkūs pokyčiai ir dalinės pastangos neleis išgyventi mažoms įmonėms. Tik svarus pranašumas taps laimingu bilietu konkurencinėje kovoje.

Prieš pradėdant ieškoti deramo galvosūkio varianto, reikėtų į uždavinio sprendimą pažvelgti kaip į sistemą, kuri ir yra gamybos infrastruktūra. Uždavinys gali būti sprendžiamas keliais etapais ir ciklą dažnai reikia pakartoti kelis kartus. Todėl ypač svarbu suvokti ir labai įsigilinti į jo esmę, ir kruopščiai, neskubant analizuoti iki smulkmenos.

1.1 Organizacija sistemų teorijos požiūriu

Pati sąvoka „organizacija“ literatūroje aprašoma skirtingai, autoriai, vartojantys šį terminą, suteikia jam įvairų turinį. Štai keletas organizacijos esmės apibūdinimų [8]:

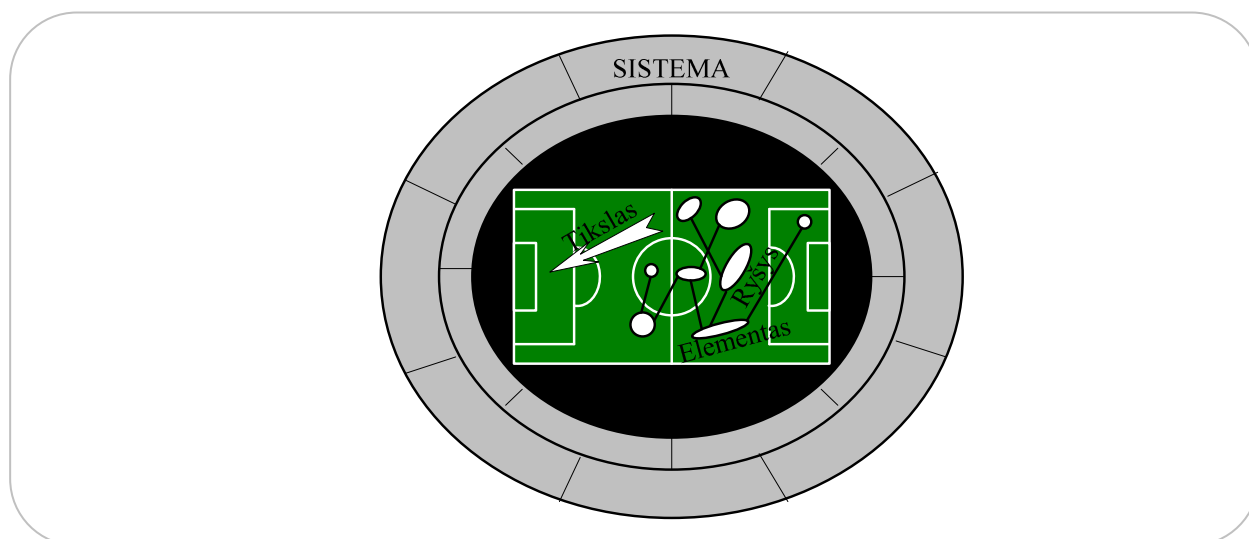
- Organizacija yra sistema, kurios tikslas yra žmonių, įrengimų ir darbo įrankių veiksmų ir santykių suderinimas;
- Kieno nors struktūra, sandara, sistema;
- Žmonių kolektyvas, susidaręs ar sudarytas tam tikrai veiklai ar darbui, dažnai turi atskirą turtą ir valdymo padalinius;

- Procesų arba veiksmų visuma, skirta ryšiams tarp visumos dalių sudaryti ir tobulinti;
- Grupė žmonių, kuriuos sieja bendra programa arba bendras tikslas ir kurie veikia pagal nustatytas taisykles ir procedūras;
- Tikslinga žmonių, bendradarbiaujančių dėl savo asmeninės gerovės didinimo, sistema;

Taigi organizacija apibrėžiama kaip sudėtinga sistema su visuma jai būdingų specifinių savybių. Jos apibrėžimas praktiškai naudingas, sudarant informacijos procesų organizacijose modelius, skirtus organizacijų valdymo analizei ir kompiuterizavimui. Organizacinėse sistemose cirkuliuoja medžiagų, energijos, informacijos srautai, jie aktyviai veikia, sąveikaudami su aplinka. Kuo didesnė organizacija, tuo svarbesnis valdymo efektyvumo faktorius yra informacijos srautai, kurie susideda iš duomenų, žinių ir tikslų dedamųjų. Valdymo ypatumas yra tas, kad žmogus yra tiek valdančiosios sistemos, tiek valdomojo objekto elementas. Žmogaus dalyvavimas valdymo kontūre (grįžtamojo ryšio kontūre) sąlygoja neapibrėžtumą: tokioje pačioje situacijoje pakartotinai panaudojus tą patį valdymo sprendimą gaunami skirtingi rezultatai [8].

Pagrindiniai sistemų teorijos terminai:

- *Sistema* yra tarpusavyje susietų elementų aibė, kuri, panaudodama elementų tarpusavio ryšius, siekia įgyvendinti savo tikslus (žr. 1.2 pav.). Tikslu neturinti sistema yra tiesiog aibė susietų elementų. Elementų ryšiai apriboja elementų elgseną. Aibė nesusietų elementų negali atlikti jokio veiksmo.



1.2 pav. Sistemą apibrėžia jos elementai, ryšiai ir tikslai

Sistema apibrėžiama išvardijant jos elementus, ryšius ir tikslus. Nustatyti sistemos sudėtį – kas yra sistemos elementai, kokie yra jų ryšiai ir tikslai – yra nelengva, kartais net neįmanoma. Taip yra todėl, kad sistemos prigimtis iš dalies yra sistemos stebėtojo funkcija.

Tai vadinama neapibrėžtumo principu (uncertainty principle). Šis principas reiškia, kad, aptardami konkrečią sistemą, galime remtis tik savo stebėjimais, o šie yra greičiau mūsų pačių produktas [8].

- *Sistemas elementai* yra objektai ar įvykiai, kuriuos galima koku nors būdu aprašyti. Dažnai „elementai“ savo ruožtu yra sistemos. Taip susidaro vertikalė (hierarchinė) sistemų struktūra: sistema susideda iš subsistemų, o pastarosios susideda iš elementų arba žemesnio lygio subsistemų. Sistemos vertikalė dekomponavimo pabaiga (žemiausias struktūros lygis) priklauso nuo stebėtojo [8].

- *Ryšiai tarp elementų*: Sistemos elementai gali būti susiję įvairios prigimties ryšiais. Elementų ryšiai gali būti:

- Fiziniai arba technologiniai,
- Ryšiai laike,
- Loginiai,
- Informaciniai (transakciniai).

Sistemos elementų ryšiai yra tokie, kad apriboja sistemos elgseną ir nukreipia sistemą į tikslo įgyvendinimą. Kitaip sakant, sistemos elementų ryšiai yra tokie, kad viena elgsena sistemai yra leistina, o kitokia – uždrausta.

- *Sistemas tikslų apibrėžimas* – tai sudėtinga problema. Paradoksalu tai, kad neįmanoma apibūdinti sistemos tikslų, esant sistemos „viduje“. Vidiniai sistemos elementai gali tik iš dalies paaiškinti savo elgsenos apribojimo priežastis, sistemos tikslai jiems nėra iki galo aiškūs. Pavyzdžiui, stambiose firmose darbuotojus nuo kontakto su klientais skiria „storas biurokratijos sluoksnis“. Tik išoriniai sistemos atžvilgiu objektai (pavyzdžiui, sistemos analitikas) gali stebėti sistemos sąveikas su aplinka ir suprasti sistemos elementų elgsenos priežastis, t.y. apibūdinti sistemos tikslus. Tik organizacijos vadovas (vadovybė) turi tiesioginį kontaktą su aplinka. Jis iš dalies yra „išorinis objektas“, todėl gali formuluoti sistemos tikslus [8].

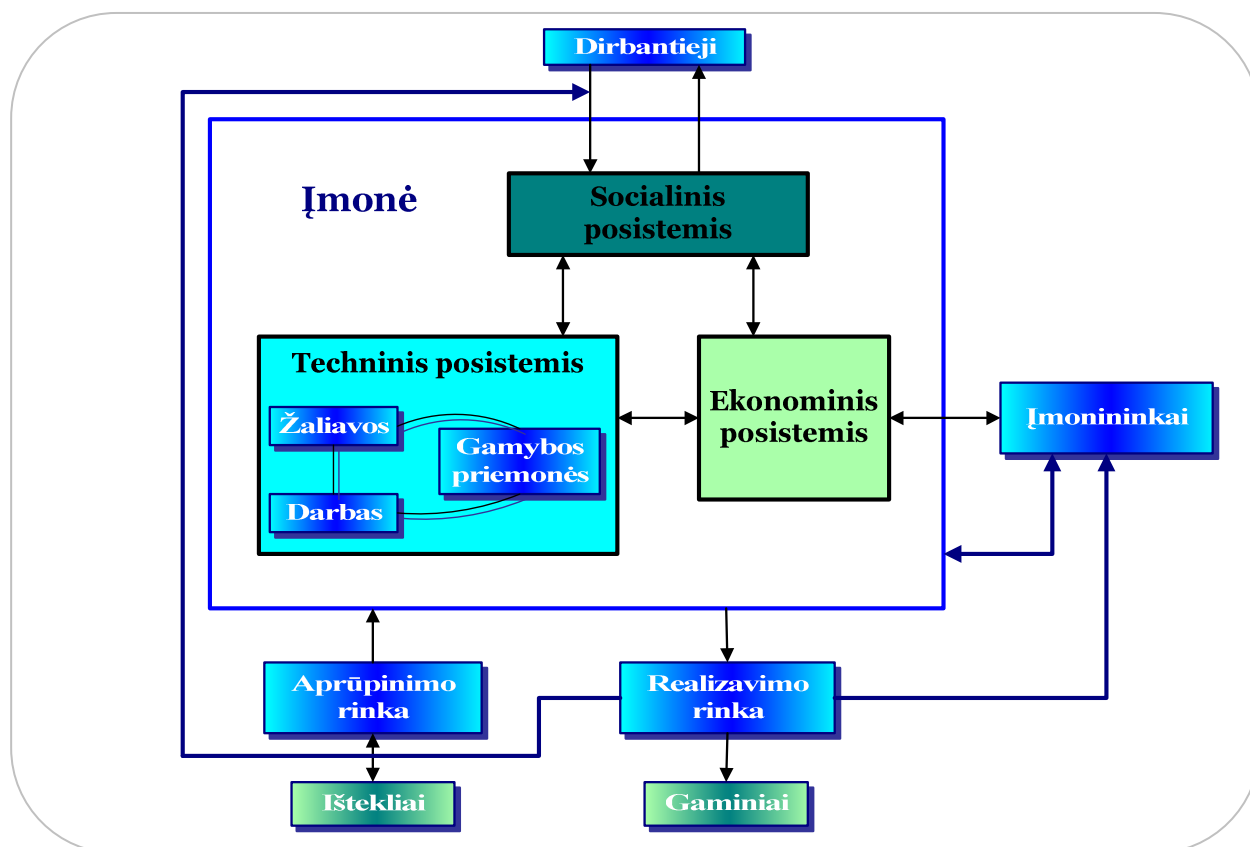
Sistema laikui bėgant kinta, jos kitimas vadinamas sistemos dinamika.

- *Sistemas ribos*: Sistema yra aplinkoje, ir sąveikauja su ja. Sistema ir aplinka susideda iš elementų. Aplinka yra tie elementai, kurie nėra sistemos elementai. Skirtumas tarp to, kas yra „sistemoje“ ir „aplinkoje“ ir suformuoja sistemos ribas. Sistemos ribą sudaro elementai, kurių elgsena priklauso ne tik nuo kitų sistemos elementų, bet ir nuo aplinkos [8].

1.1.1 Įmonė veikianti kaip sistema

Įmonė apibūdinama kaip gaminanti produkciją arba tiekianti paslaugas techniniu, organizaciniu ir ūkiniu požiūriu vientisa sistema. Nuo įmonės organizuotumo, pasirinktos sistemos bei išorinių aplinkybių priklauso jos rezultatai, dažniausiai vertinami materialiuoju pelnu. Kadangi gaunamas pelnas priklauso nuo daugelio veiksnių, ne visada priklausančių nuo įmonės darbo kokybės, jos turėtų kuo labiau mažinti tuos nuostolius, kurie priklauso nuo jų pačių, t.y. verslo organizuotumo, sistemos, pagal kurią ji veikia [9].

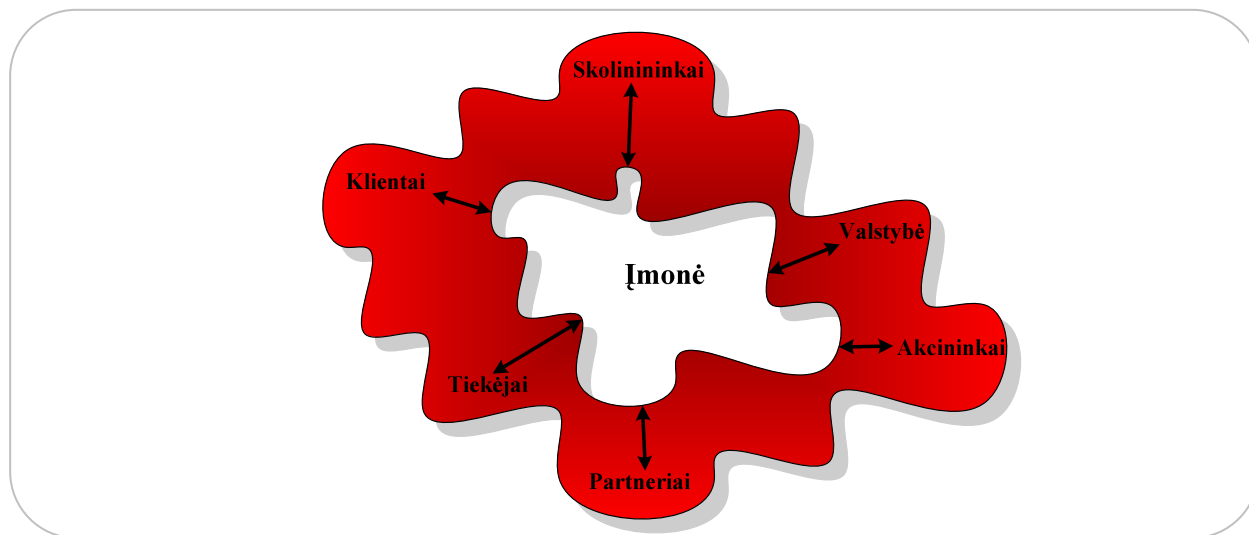
Remiantis sistemų teorija [8], sistemą turi sudaryti daugiau kaip vienas elementas, tam tikrais ryšiais susijęs su kitais elementais. Joje turi vykti kiti procesai ir ji turi turėti tokių savybių, kurių neturi kiti elementai. Dėl įmonę sudarančių elementų bei jų tarpusavio ryšių įvairovės į įmonę galima žiūrėti kaip į mechaninę, informacinę, socialinę, o kai kuriais atvejais ir energetinę sistemą. Paprastai čia skiriama socialinis, techninis ir ekonominis posistemiai, o sistema bei jos aplinka vaizduojama, kaip parodyta 1.3 paveiksle [9].



1.3 pav. Įmonės veiklos sistema

Kadangi įmonė yra ekonominė ir savarankiška organizacija, tiekianti gaminius rinkai, ji negali negalvoti apie tai, ar pavyks parduoti prekę. Veikiant konkurencijos ir rinkos dėsniams, būtinai atsiras naujų įmonių, teikiančių paklausias analogiškas paslaugas ar prekes. Dėl šios priežasties įmonės turi iš anksto užmegzti ryšius su tais, kas tikrai nupirks bent dalį produkcijos.

Tai gali būti ir tarpininkai – pardavėjai, su kuriais iš susitariama dėl galimų kainų bei prekių pateikimo terminų. Taigi įmonė – ne tik sistema savyje, bet taip pat ir dalis bendros megasistemos, kadangi atlieka savo funkciją ir palaiko ryšius su kitomis analogiškoms organizacijomis. Arba, kita vertus, įmonė – tai atvira sistema, priklausanti nuo kitų su ja susijusių sistemų, taip pat daranti įtaką jų raidai. Šie ryšiai pavaizduoti 1.4 paveiksle [9].

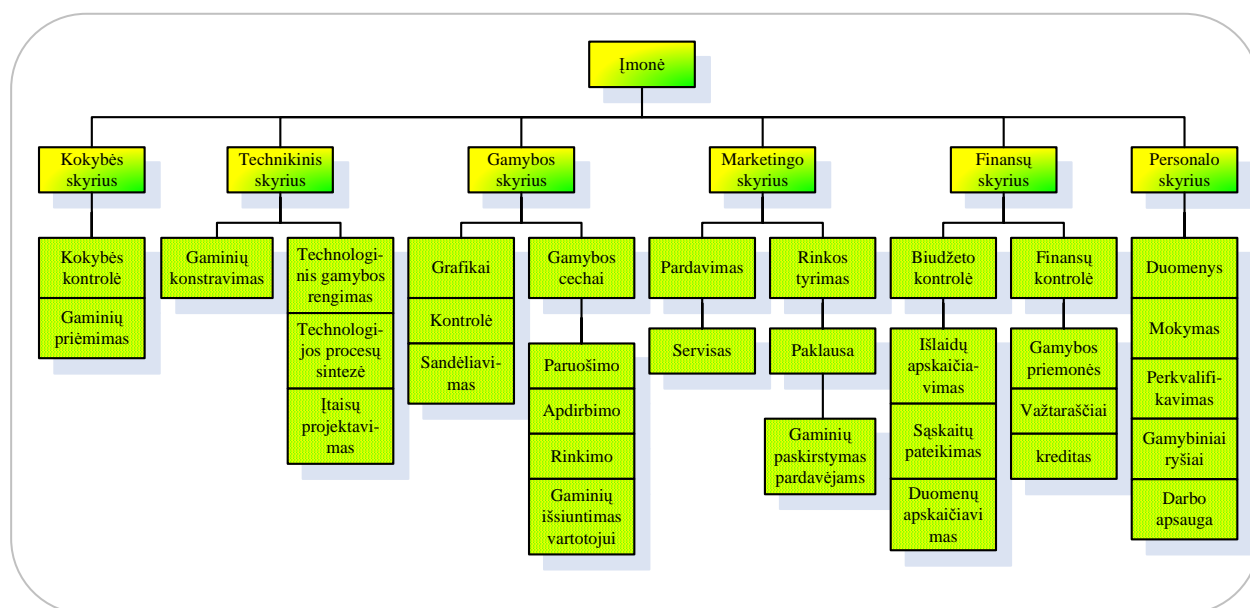


1.4 pav. Įmonės sistema ir ją supanti aplinka

Prieš rinkdamasi tam tikrą sistemą, kurios laikysis, t.y. prieš nustatydamas ryšius bei santykius tarp tam tikrų jos vidinių padalinių, įmonė turi turėti savo tikslus, kurių siekia, arba jų sistemą. Įmonės tikslą galima apibrėžti kaip veiklos orientyrą ar vertinimo kriterijų, kuriems pasiekti skirta visa įmonės veikla. Juos gali sąlygoti ir rinkos partneriai, pirkėjai, socialinės grupės, visuomenė. Visi įmonės tikslai skirstomi į: ekonominius ir socialinius. Pirmiausia įmonė siekia ekonominių tikslų, susidedančių iš gamybos, finansavimo bei pasisekimo tikslų. Gamybos ir finansavimo tikslai yra materialūs – daiktiniai, tuo tarpu pasisekimo tikslai aprašomi formaliais vertinimo dydžiais, kurių didėjimas ar mažėjimas rodo, kad daiktiniai tikslai jau pasiekti. Socialiniai tikslai turi padėti teisingai atlyginti už įmonės interesus atitinkantį darbą: užtikrinti saugias darbo sąlygas, suinteresuoti darbuotojus pelno didėjimu, suteikti jiems teisę į pelno dalį, įtraukti darbuotojus į jos tikslų formavimo ir įgyvendinimo procesą.

Konkrečiai ir tiksliai imtis planuoti nuolat pasikartojančiu režimu veikiančios įmonės gamybos procesą, su kuriuo susijęs visų kitų joje vykstančių procesų valdymas, galima tik parengus gamybos technologinį procesą ir paskyrus jo dalis – technologines operacijas darbuotojams, dirbantiems darbo vietose, aprūpintose tam tikrais darbo įrenginiais ir išdėstytose tam darbui skirtose patalpose ar skirtoje erdvėje. Taigi turi būti parengta įmonės struktūra, leidžianti, siekiant bendrų įmonės tikslų darbą paskirstyti kiekvienam jos nariui [9].

1.5 paveiksle [3] pavaizduota tipinė įmonės struktūra. Išskaidymas apima svarbiausių įmonės struktūrinių vienetų skaidymą į mažesnius, lengviau valdomus elementus tokiu lygiu, kad rezultatai būtų apibrėžti pakankamai detaliai ir padėtų plėtoti kitų įmonės sričių veiklą.



1.5 pav. Įmonės tipinė struktūra

Gamybinių sistemų veikla siejama su sparčiu informacijos paskirstymu tarp atskirų jos padalinių ir skyrių. Sparčiam informacijos paskirstymui didelę įtaką daro ne tik jos perdavimo greitis, bet ir racionalus jos kiekis – vengiama pasikartojimų, prastinama dokumentų forma ir mažinamas jų kiekis. Reikalinga tokia kompiuterizuota integruota gamybos sistemos architektūra, kuri leistų per trumpiausią laiką kiekvienam gaminio gamybos proceso vykdytojui gauti visą reikiamą informaciją. Todėl tokiems tikslams naudojamos visa apimančios duomenų bazės ir tinklinės kompiuterių sistemos, kurių dėka kiekvienas gamybinės sistemos padalinys ar skyrius gali keistis visa informaciją tarpusavyje. Integruotos gamybos sistema turi būti siejama su įmonės struktūra ir tolimesnės jos vystimo strategija. Kaip matosi iš šio paveikslo, įmonės struktūra yra hierarchinė, sudaryta iš atskirų skyrių ar padalinių. Kiekviename skyriuje surinktos atitinkamos kvalifikacijos, specialistų grupės, atliekančios specifinį darbą. Visas atliktas darbas paverčiamas atitinkamo pavidalo informacija, kuri kontroliuojama skyriaus vadovų ir vertikaliais ryšio kanalais nuo žemiausių grandžių persiunčiama aukščiausias [2].

Tokia įmonės struktūra reikalauja, kad kiekvieno skyriaus specialisto turėtų savą duomenų (ar net žinių) bazę, be to jie turi galimybę dažnai konsultuotis su kitų padalinių darbuotojais. Todėl specialistai skirstomi į grupes pagal jų atliekamas funkcijas. Kartais specialistai gali būti skirstomi į atskiras mažas grupes pagal gaminamus gaminius (ar atliekamus projektavimo darbus). Nesvarbu, kokia būtų įmonės organizavimo forma, svarbiausia jos funkcionavimo problema lieka efektyvus duomenų saugojimo metodo parinkimas, kuris gali būti [2]:

- Individualus ar grupinis;

- Arba duomenys progresyviai sujungiami su gaminamais gaminiais;
- Ar duomenys įtraukiami į gamybinės sistemos organizavimo formą.

Šią duomenų saugojimo ir persikirstymo funkciją turi atlikti kompiuterizuota integruota gamybos sistema, kuri (šalia žmonių, dirbančių įmonėje, vertės, jų žinių bei sugebėjimo padaryti vieną ar kitą darbą) turi tokius pagrindinius privalumus:

- Sudaro efektyvius gamybinės sistemos organizavimo ir valdymo duomenis, kurie yra viena svarbiausių įmonės vertybių;
- Iš gamybinės sistemos veiklos eliminuoja popierių, kartu ir išlaidas jam;
- Sąlygoja vienalaikės inžinerijos panaudojimą gamybinės sistemos veikloje;
- Padeda panaudoti kompiuterių sistemas gamybinių sistemų veikloje;
- Padeda įsigalėti didesnei gamybos integracijai pasitelkiant atskiras kompiuterinės sistemas, palengvinančias duomenų transformavimą įvairiems vartotojams.

Efektyviais gamybinės sistemos organizavimo ir valdymo duomenis laikomi kiekvieno gaminio medžiaginiai bei gamybos ištekliai (operacinis darbo imlumas, įrengimų tipai, jų apkrovimas, cechų plotai ir pan.), kurie perduodami įvairiems vartotojams skirtingais perdavimo pavidalais ir ryšiais. Šiuo duomenis sukurti bei naudoti visomis inžinerinėms bei valdymo tarnyboms, pasitelkus integruotas gamybos sistemas [2].

1.2 Apdirbimo ir įrenginių technologijos branduoliai gamybos sistemose

Norint patenkinti gamybos poreikius, IMTI (*Integrated Manufacturing Technology Initiative*) – tai būdas, padedantis pasiekti tikslą. IMTI susideda iš daugiau kaip 60 labai aukšto lygio informacinių ir technologinių sistemų ir daugiau nei 400 papildomų reikalavimų. Jie visi susisteminti į 10 branduolių ar „grynuolių“, kurie palaiko IMTI viziją ir sudaro galimybes greičiausiai investicijų atsipirkimui minėtas naujoves plačiai taikant pramonėje [3].

1. Gaminio gyvavimo laikotarpyje – jokių atliekų. Jokių atliekų – įmonės varomoji jėga. Be reikalavimo, kad atliekos būtų mažinamos gamybos metu, šis procesas turi tęstis per visą gaminio gyvavimo ciklą, įskaitant gamybos atliekų perdirbimą, taip pat kai kurių detalių pergaminimą, kai jos jau nebegali būti toliau naudojamos. Šis noras eliminuoti atliekas skatina kurti ir steigti gamybos kompleksus ar sistemas, kuriose vienos kompanijos atliekos gali tapti medžiaga kitos kompanijos gamybos procesui.

2. Tiksliai pirmoji detalė. Gaminio bandymo – klaidų ieškojimo laikotarpis bei apdirbimo proceso projektavimas yra brangūs ir reikalauja daug laiko. Stengiamasi visą naujo gaminio bei jo gamybos proceso kūrimą perkelti į virtualią aplinką, kai kliento poreikiai realizuojami be gaminio fizinių prototipų bandymo ar formalaus pirmųjų gaminio pavyzdžių parametrų

sertifikavimo. Nauji pasiekimai gamyboje ir medžiagų moksle, modeliavime ir imitavime, techniniuose įrenginiuose, lanksčiuose ir aukštesnės pakopos gamybos procesuose bei sistemose, informacinėse technologijose virtualius prototipus paverčia realiais su minimaliomis darbo ir laiko sąnaudomis. Tai įgalina jau ankstyvoje gaminio kūrimo stadijoje įvertinti vartotojo poreikius ir sukurti naujus kriterijus gamybos organizacijoms plėtoti.

3. Intelektualios gamybos valdymo sistemos. Pasiekimai mikroelektronikoje, valdymo ir informacinėse technologijose skelbia intelektualių valdymo sistemų erą, kurioje gamybos organizacijos greit reaguos į pokyčius ir medžiagose, ir gaminio konstrukcijoje. Šie pokyčiai greitai leis įvertinti naujų technologijos procesų ir įrenginių projektavimo svarbą, optimizuojant gamybą ir kliento norų įkūnijimą. Šios intelektualios sistemos ne tik efektyviai valdys apdirbimo procesus ir įrenginius, bet ir numatys išskylančias problemas bei leis koreguoti veiksmus, įtraukiant savi-mokymąsi, savi-derinimą bei savi-pasitaisymą. Be to, ateities valdymo sistemos sudarys sąlygas įvairaus lygio įmonės bei organizacijoms susijungti ir veikti pagal principą „paleisk ir dirbk“, pritaikant nesavininkiško ir atviros sistemos struktūros sprendimus.

4. Esminiai inovaciniai procesai. Nors gamyba dažniausiai grindžiama patikrintomis, klasikinėmis technologijomis ir įrenginiais, visgi kartais rizikuojama anksti panaudoti naujausius mokslo ir technikos pasiekimus, galinčius radikaliai pakeisti ateities gamybos sistemas. Tokių pasiekimų pavyzdžiai – mechatronikos sistemos (MEMS – *Micro-electro-mechanical Systems*), biotechnologijos, sparti prototipų gamyba (RP – *Rapid Prototyping*) ir kitos gali ne tik pakeisti gamybos būdą, bet ir sukurti visai naują pramonės rūšį.

5. Mokslu paremta gamyba. Gamyba labiau remiasi mokslo pasiekimais nei gamybos procesais. Tai labiau veikia gamybininkus, medžiagų, komponentų ir detalių tiekėjus, įrenginių gamintojus bei jų vartotojus. Tobulinant sugebėjimus kurti gerus medžiagų, procesų ir įrenginių analitinius modelius, pagrįstus moksliniais principais, o ne stebėjimais, atsiras naujos galimybės optimizuoti gamybos sprendimus. Šie sprendimai leis giliau ir išsamiau suprasti konstrukciją, jos modeliavimą bei gamybos procesų rengimą ir imitavimą, siekiant gamybos sistemos valdymo tobulumo.

6. Intelektualūs projekto ir proceso patarėjai – vadovai. IMTR vizija – plačiau skleisti kompiuteriu pagrįstas patariamąsias sistemas, padedančias priimant sprendimus gaminio ir proceso projektavimo metu, ypač pasirenkant įrankius ir įrenginius, planuojant gamybos laiką bei valdymą, paskirstant užduotis ir kitose srityse. Minėti produktai grindžiami moksliniu požiūriu į gamybą, naudojant modeliavimą ir imitavimą bei informacines sistemas ir žinių bazių technologijas. Siekiama sukurti technines priemones, padedančias priimti sprendimus, kurios ateityje padės tiksliau įvertinti visus pasirenkamus dalykus, alternatyvas ir problemas, susijusias su gaminiu ir operatyviu darbo atlikimu naudojant visus įmonės bei jos aplinkos duomenis.

7. Žinių saugyklos ir patvirtinimo centrai. Žinių, reikalingų efektyviai valdyti ateities gamybos įmones, kaupimas ir patvirtinimas bus neįmanomas atskiroms pavienėms organizacijoms. Tik žinių saugyklos ir įvertinimo centrai surinks, ištirs ir paskleis tas įvairias žinias, pavyzdžiui, apie medžiagų savybes, gaminio ir jo gamybos proceso modelius, įrenginių našumus, metrologiją ir bandymo technologijas, standartus ir sistemų integravimo struktūrą bei metodus. Patvirtinimo centrai būtini bešališkam rezultatų testavimui ir skirti mažinti naujų sprendimų riziką, išskylančią vis sparčiau atsirandant sudėtingiems gaminių projektavimo ir gamybos atvejams [3].

Žinomi teoretikai garsiai skelbia, kad įmonei kur kas pelningiau tam tikrą sumą investuoti į žinias, nei tą pačią sumą išleisti materialiam turtui įsigyti. Revoliucija komunikacijos technologijų sferoje paskatino ekonominius pokyčius, kurie padidino žinių svarbą. Ši tendencija, žinoma, daro įtaką finansinei atskirų įmonių sėkmei. O tai, savo ruožtu, vis kitoms įmonėms primena, kad reikia pripažinti žinių, kaip išteklių, fundamentalią svarbą.

Jei įmonė, turinti gerai išplėtotą žinių bazę, veikia aplinkoje, kurioje žinios yra intensyviai naudojamos, yra tikimybė, kad specifinė jos kompetencija įgis savą dinamiką ir taip sukurs naujas strategines galimybes. Kai tik kompanija pradeda pirmauti kolektyvinių žinių srityje, konkurentams darosi sunku ją pavyti. To neįmanoma pasiekti paprasčiausiai padidinus investicijas. Štai kodėl taip sunku sumažinti produkto kūrimo ir gamybos laiką [6].

8. Paskirstytas valdymas išplėstų galimybių įmonėse. Viena pagrindinių koncepcijų yra gamybos procesų ir įrenginių „sujungiamumas“ tiek pačioje įmonėje, tiek tarp kitų įmonių. Procesai ir įrenginiai sujungiami pasiūlos ir žinių grandine ne tik su įmonių informacijos sistemomis, bet ir su kitomis organizacijomis. Šios jungtys sudaro ir palaiko tinkamus ryšius tarp visų organizacijos funkcijų optimizuojant sprendimų priėmimą ir jų įgyvendinimą remiantis tikrais, operatyviais duomenimis.

9. Techninės medžiagos ir paviršiai. Pasiekimai medžiagų apdirbimo srityje leidžia projektuoti ekonomiškus gaminius su medžiagomis ir paviršiais savybėmis, parinktomis pagal vartotojo pageidavimus, gaminius gaminant įvairiais kiekiais, net ir vienetais. Nauji medžiagų apdirbimo būdai sudaro galimybes kurti naujas medžiagas ir iš jų projektuojamus 3-D paviršius, kurių savybės kinta priklausomai nuo funkcinių reikalavimų. Tai leidžia gaminti ir pateikti vartotojams jiems pageidautinus gaminius tinkamomis kainomis.

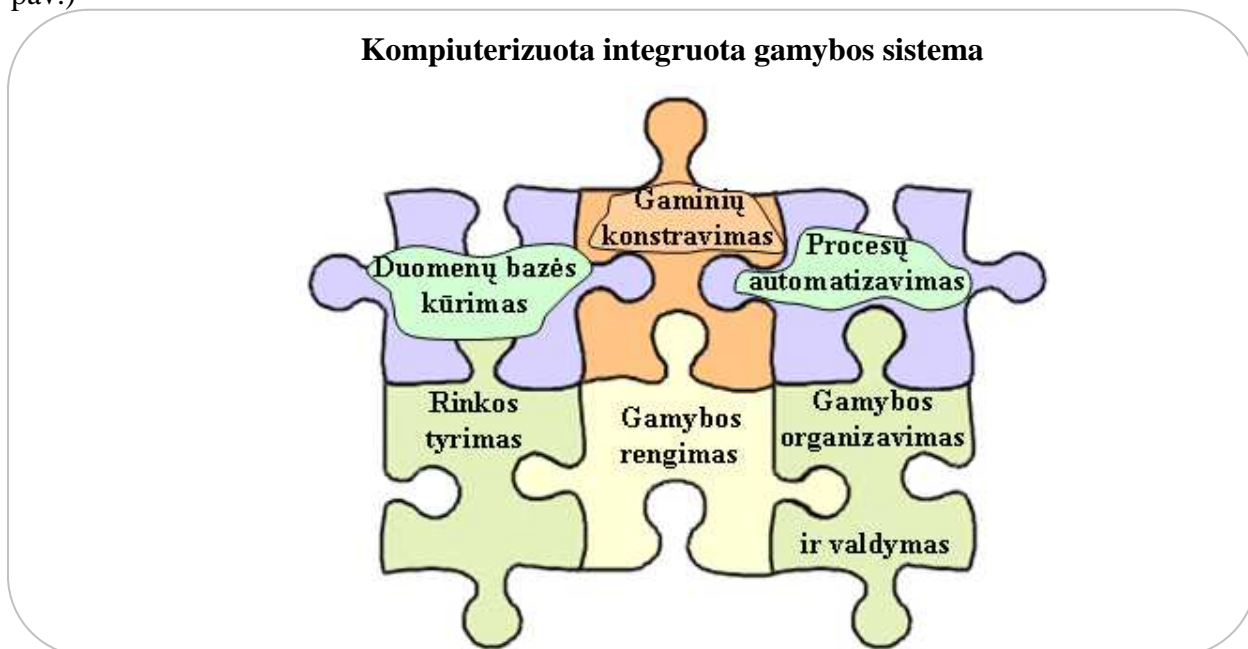
10. Neįprastų formų gamyba. Neįprastų formų gaminių gamybos technologija leidžia sukurti funkcines detales įprastuose daiktuose be tradicinių procesų ir įrenginių apribojimų. Tokios technologijos leidžia gaminti sudėtingus ekonomiškus gaminius tiesiog iš sukonstruotų 3D CAD modelių, nenaudojant jokių specialių įrankių ar tvirtinimo įtaisų, be didesnių žaliavų atliekų, net ir mažais kiekiais. Šie pasiekimai gamykloms leidžia [3]:

- sumažinti gaminių sukūrimo ir gamybos kaštus;
- padidinti gaminio kokybę ir patikimumą;
- sutrumpinti naujų gaminių kūrimo laiką nuo koncepcijos iki rinkos;
- tinkamai reaguoti į vartotojo poreikius bei jų kitimą;
- sustiprinti gamybos sistemos konkurencinę padėtį ir išplėsti rinką;
- efektyviau tvarkyti kapitalo investavimą (ir tuo pačiu padidinti investicijų pelną).

1.3 Kompiuterizuotos integruotos gamybos esmė ir pagrindinės funkcijos

Kompiuterizuota integruota gamyba – tai technologija, realizuojanti įmonių funkcijas. Šiandien nepertraukiamos gamybos procesai yra visiškai automatizuoti ir yra aukšto integracijos laipsnio, bet šito trūksta vieninės smulkių serijų gamybos gaminiams. Todėl integruotų gamybos sistemų paskirtis – siekti ir vieninės gamybos gaminių aukšto integracijos bei automatizacijos laipsnio, kokį yra pasiekusi plieno gamybos ar naftos perdirbimo pramonė. Yra daug būdų integracijai pasiekti. Metodų parinkimą lemia gamintojo tradicijos, turimi įrengimai, įranga bei ryšiai su užsakovais ir tiekėjais [3].

Kompiuterizuota integruota gamyba turi integruoti visas įmonės funkcijas į vieną nuosekliai atliekamų veiksmų visumą. Pagrindinis uždavinys – siekti šios veiklos kompleksinės automatizacijos. Pagrindinės automatizuojamos inžinerinės veiklos funkcijos parodytos (1.6 pav.)

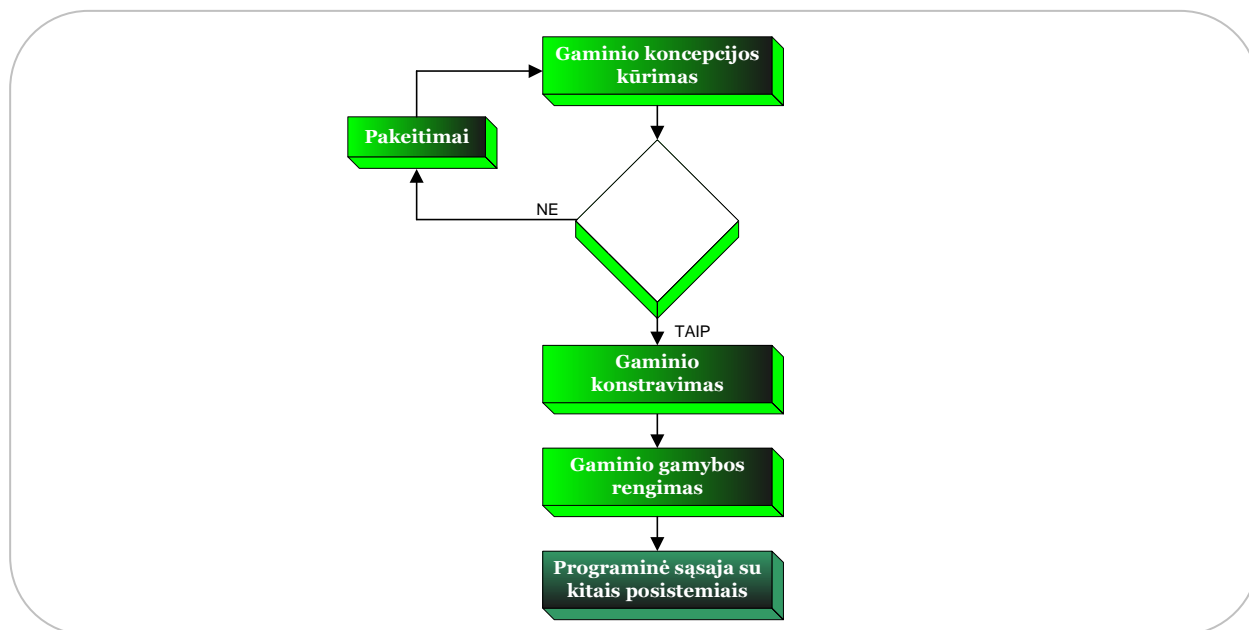


1.6 pav. Pagrindinės integruotos gamybos veiklos funkcijos

Šioms funkcijoms būdinga tai, kad jos naudoja daug vienodos informacijos ir nuolat turi pasidalyti tarp savęs veiklos informacija, kuri nepertraukiamai kinta gamybos proceso metu. Kompiuterizuotos integruotos gamybos sistema turi pasiekti informacijos srautų minimumą.

Tai įmanoma dalijant informaciją į kintamąją ir sąlygiškai pastovią bei kuriant racionalias duomenų bazes (DB – *Data Base*). Racionalia DB laikoma tokia, kuri turi minimalų kintamosios informacijos kiekį ir efektyvią valdymo sistemą, gebančią užtikrinti visos informacijos pasidalijimą tarp įvairių vartotojų.

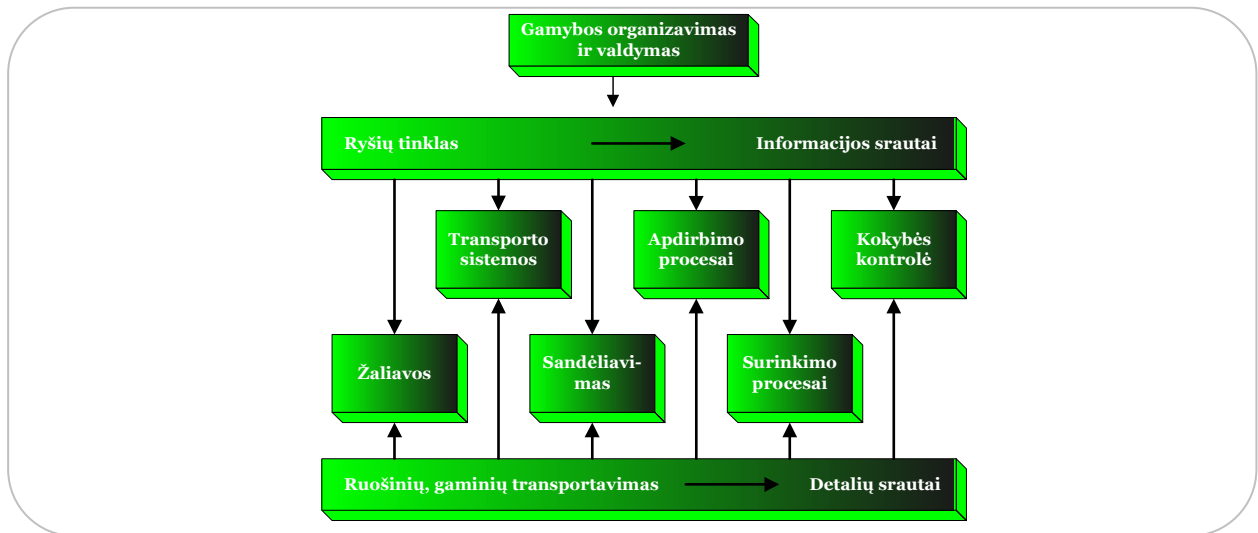
Inžinieriams labai svarbu gamybos sistemoje pasiekti gaminių konstravimo ir gamybos rengimo visiškos integracijos (1.7 pav.) [3].



1.7 pav. Gaminių konstravimo ir gamybos rengimo sąveika

Čia labai svarbi gaminio koncepcijos kūrimo stadija, kai reikia patikimai patikrinti naujo gaminio konkurentiškumą rinkoje pagal jo parametrų kokybę ir gamybos kainą. Tik įsitikinus, kad gaminys tenkins rinkos poreikius, pradedamas jo konstravimas ir gamybos rengimas. Siekiama šiuos darbus atlikti vienu metu, naudojant vienalaikės inžinerijos metodus. Tai realizuoti mechaninių komponentų gamyboje nėra lengva, nes sunku sukurti patikimas ir efektyvias programines sąsajas tarp automatizuoto konstravimo (CAD), technologijų projektavimo (CAPP) posistemų ir programinio valdymo (PV) staklių. Gaminio vienalaikiam projektavimui ir gamybos rengimui svarbi konstravimo gamybai ir rinkimui koncepcija. Konstravimo ir gamybos rengimo procesų integravimas mažina naujo gaminio pateikimo vartotojui trukmę bei jo gamybos išlaidas.

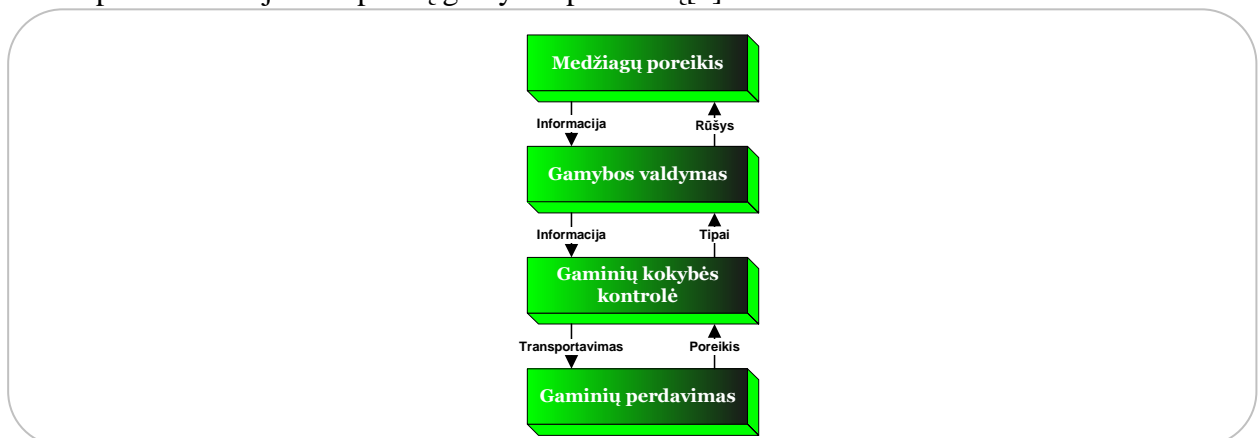
Labai atsakinga ir svarbi inžinierių veikla organizuojant ir valdant gamybos procesus. Integruotos gamybos sistemų kūrimo perspektyvoje svarbu numatyti visas veiklos funkcijas (1.8 pav.) [3].



1.8 pav. Gamybos organizavimo ir valdymo pagrindinės funkcijos įmonėje

Šios funkcijos išreikštos informacijos ir apdirbamų ruošinių, pusgaminių bei gaminių srautais. Šie srautai integruotoje sistemoje turi būti apibrėžti dokumentų vieningumu bei jų minimumu. Sisteminant minėtų duomenų srautus, reikia siekti, kad nebūtų dubliuojama informacija ar pakartotinai nebūtų naudojami duomenys įvairių dokumentų skiltyse.

Gamybos proceso sėkmę lemia savalaikis naudojamų medžiagų ir žaliavų poreikio apskaičiavimas ir tiekimas. Naudojamos medžiagos ar pusgaminiai nuolat keičiasi, kinta jų srauto intensyvumas. Be to, medžiagų kaina priklauso nuo jų kokybės ir tiekėjų, taip pat nuo transportavimo atstumo. Medžiagų ir detalių srautai gamybos proceso metu turi tiesioginius ir grįžtamuosius ryšius (1.9 pav.). Medžiagų poreikis tiesiogiai priklauso nuo gaminamų gaminių ar komponentų paskirties bei kiekybinių ir kokybinių parametrų. Parduodant gaminius aiškėja vėlesnis jų poreikis; čia galimi įvairūs pokyčiai, koreguojantys ir gamybos procesą, ir naudojamų medžiagų rūšis bei kiekius. Integruotos gamybos sistemos uždavinys – sudaryti racionalų medžiagų poreikio, jų sandėliavimo ir judėjimo tarp atskirų padalinių apskaitos posistemį. Toks posistemis privalo turėti efektyvią programinę sąsają, užtikrinančią informacijos pasidalijimą visose proceso stadijose tarp visų gamybos padalinių[3].



1.9 pav. Medžiagų ir detalių srautai gamybos proceso metu

Įmonės veikloje vienodai svarbus ir apdirbamųjų, ir pagalbinių cechų darbas. Jie savo veikloje naudoja įvairius čia paminėtus duomenis skirtingais pjūviais bei pavidalais. Pagrindiniai šių cechų ar visos gamybos sistemos darbo rodikliai (1 lentelė), turi atsispindėti kompiuterizuotos integruotos gamybos sistemos veikloje.

Gamybos sistemos pagrindiniai veiklos duomenys

1 lentelė

<p>Apdirbimo cechams</p>
<p>Gaminių gamybos grafikų sudarymas pamainai, dekadai, mėnesiui, metams. Pagamintų gaminių (detalių) skaičius per pamainą, dekadą, mėnesį, metus. Nebaigtos gamybos likučiai per pamainą, dekadą, mėnesį, metus atskiruose cechuose. Pagamintų, į sandėlius atiduotų gaminių (detalių) skaičius. Pagamintų, atskiruose cechuose likusių gaminių (detalių) skaičius. Sunaudotų medžiagų kiekiai pagamintiems gaminiams (detalėms). Medžiagų likučiai apdirbimo cechuose. Pagamintų gaminių (detalių) darbo imlumas. Nebaigtos gamybos likučių darbo imlumas.</p>
<p>Pagalbiniam cechams</p>
<p>Technologijos įrangos gamybos grafikų sudarymas savaitei, dekadai, mėnesiui, metams. Technologijos įrangos bandymų grafiko sudarymas. Technologijos įrangos gamybos medžiaginių išteklių apskaičiavimas. Nebaigtos technologijos įrangos kiekių fiksavimas mėnesiui, ketvirčiui, metams. Pagamintos technologijos įrangos darbo imlumas. Nebaigtos gamybos technologijos įrangos darbo imlumas</p>

1.4 Kompleksinės gamybos rengimo sistemos struktūra

Turint galvoje gamybinės aplinkos ypatybes, reikia siekti tokio gamybos rengimo modelio, kuris užtikrintų vienu metu ir nepertraukiamai atliekamus darbus vienoje *vartotojo -> konstruktoriaus -> gamintojo -> pardavėjo* veiksmų grandinėje. Tokius reikalavimus gali tenkinti tik kompleksinė gamybos rengimo sistema, apimanti ankstyvąją gaminio konstravimo ir gamybos stadijas [2].

Siekiant kompleksinio gamybos rengimo modelio pradedant gaminio rinkos tyrimu, jo koncepcijos sukūrimu ir baigiant pardavimu, reikia išspręsti šiuos uždavinius:

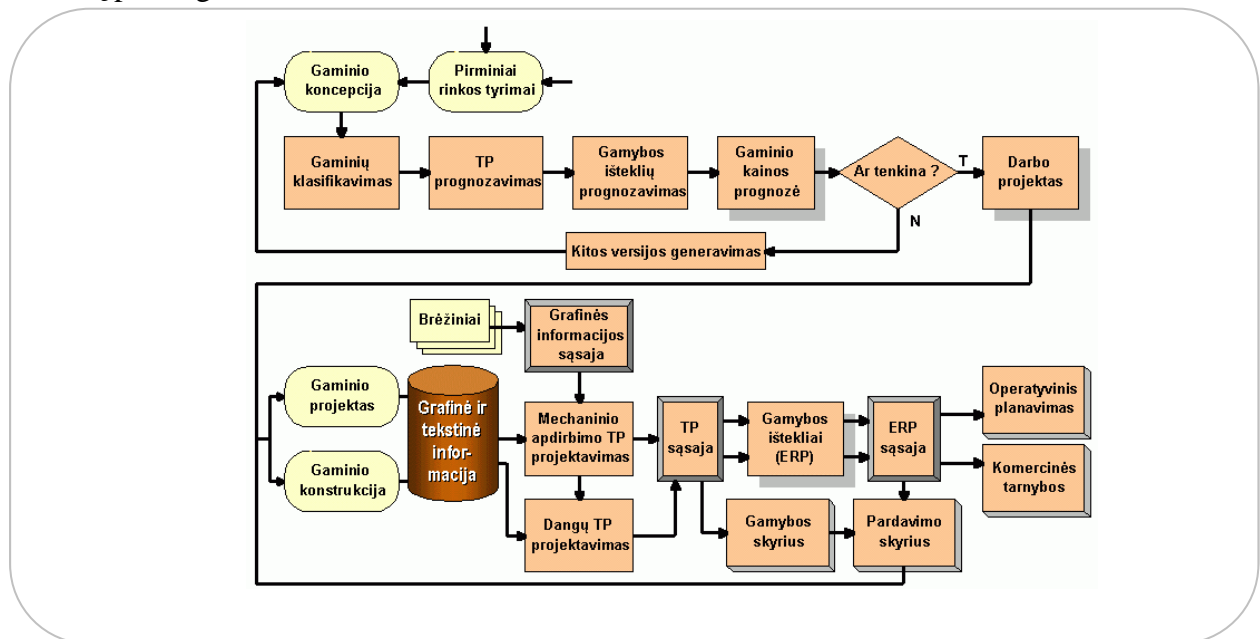
- išaiškinti svarbiausius ankstyvosios gaminio konstravimo stadijos neapibrėžtumo veiksnius ir sukurti jų mažinimo metodiką;
- sukurti efektyvius gaminio kainos apskaičiavimo metodus ankstyvojoje jo konstravimo stadijoje;
- sukurti technologijos ir gamybos išteklių prognozavimo būdus;
- sukurti invariantinius serijinės gamybos rengimo posistemius įvairioms technologinėms tradicijoms;
- sudaryti sąsajų struktūras, integruojančias ir ankstyvosios, ir serijinės gamybos rengimo modulių dalis.

Ankstyvajai naujo gaminio konstravimo stadijai būdinga jo variantų įvairovė ir didelis neapibrėžtumas – nėra konstrukcijos aprašymų, baigtų darbo brėžinių, galutinai parinktų medžiagų, be to, labai dinamiškai besikeičiančios gaminio sukūrimo idėjos labai sunkina tokio gaminio konkurentiškumo nustatymą rinkoje. Tai labai svarbu priimant sprendimus dėl komercinės tokio gaminio gamybos [2].

Esminis naujo gaminio pasisekimo rinkoje kriterijus yra ryšys tarp jo kokybės ir kainos. Vartotojai nuolat ieško ir perka aukštos kokybės ir pigius gaminius. Ryšį tarp gaminio kokybės ir jo kainos didžiaja dalimi apsprendžia jo konstrukcija ir gamybos technologija. Kad būtų įmanoma pasiekti pelningą gaminio konstrukciją, būtinos priemonės, ne tik anksti įvertinančios kuriamo gaminio kainą, bet ir sprendimai, ją mažinantys. Prieš pradedant konstruoti, dažnai yra žinoma norima gaminio pardavimo kaina kaip vartotojo užduotis arba rinkos informacija. Ankstyvojoje gaminio konstravimo stadijoje, projektuojant įvairius mechaninius komponentus gamybos kainas patikimiausiai galima nustatyti, naudojant įvairias tipinių konstrukcinių elementų variacijas ar įvairius komponentų sujungimo būdus. Tačiau šiuo būdu sunku automatiškai atpažinti mechaninį komponentą. Todėl šią problemą galima spręsti, sudarant anksčiau gamintų detalių klasių duomenų bazes (DB). Šių DB struktūra aprašo gaminio (detalės) savybių aibę ir jų gamybos kainų sudedamąsias dalis. Konstruojamą naują gaminį bandoma priskirti vienai iš turimų klasių pagal funkcinis parametrus. Prognozuojant gaminio kainą, bandoma įvertinti jo konstrukcijos pasikeitimus. Šiam tikslui paimta gamybos rengimo sistemos integruoto modelio struktūra[3]. Šis modelis padeda kiekvienai gamybos sistemai greičiau išsirinkti tinkamiausius gaminio variantus. Gaminų tinkamumą apsprendžia analogų kainos rinkoje ir naujo gaminio kūrimo bei gamybos išlaidos. Tokia modelio struktūra gamintojui leistų pasirinkti, ar apsimoka naują gaminį (ar jo dalį) gaminti, ar geriau nusipirkti gatavą, jei prognozuojamos didelės gamybos išlaidos. Be to, nebūtina pradėti darbą nuo naujo gaminio

konstravimo – galima jo konstrukciją pirkti. Bet prieš tai vėl reikia tikrinti, ar apsimokės kitur sukonstruotą gaminį gaminti.

Svarbu, kad pirmoji ir antroji siūlomos sistemos dalis galėtų funkcionuoti be tarpininkų. Šiam tikslui sukurtos programinės sąsajos, užtikrinančios informacijos pasidalijimą tarp abiejų sistemos dalių. Sudarytos grafinės informacijos sąsaja panaudoti ir kitų gamintojų gaminių brėžinius. Ji tinka gamybai tik tada, kai patikrintas gaminio konkurentiškumas pirmosios stadijos (1.13 pav.) programiniais posistemiais. Tokia gamybos rengimo sistemos struktūra naudotina ir dabar veikiančiose, ir ateities intelektualinėse gamybos sistemose, galinčiose pasirinkti tinkamus ir konkurentiškus gaminius, siekiant naujausių technologijų, gamybos metodų minimaliomis žmonių pastangomis [2].



1.10 pav. Įprasta gamybinės įmonės situacija

Ankstyvoje gaminio konstravimo stadijoje taip pat svarbu sudaryti technologijos procesą, dar neturint baigtų gaminio brėžinių ir specifikacijų. Toks ankstyvas gaminio gamybos technologijos procesas leistų įvertinti jo gamybos galimybes kurioje nors gamybos sistemoje ar sudaryti strategiją naujos gamybos sistemos sintezei. Grįžtamaisiais ryšiais reikėtų kuo anksčiau numatyti konstruojamojo gaminio pakeitimus, siekiant gamybos ar rinkimo lengvumo, taip pat paruošti kelis kitus gaminio konstrukcinius variantus [2]. Yra siūlomos kelios technologijos procesų projektavimo koncepcijos – naudojant ekspertines sistemas, žinių bazes ar ankstyvojo gaminių ir procesų konstravimo integruotus programinius modulius.

Kuriant technologijas atsižvelgiama į tai, kokios yra gamybos organizavimo galimybės. Gamybos organizavimas – tai priemonių sistema ir organizacinė struktūra, padedanti sudaryti sąlygas efektyviai suderinti visus gamybos elementus (darbo jėgą, įrankius ir objektus) erdvės ir laiko požiūriu, kad darbinės veiklos tikslas būtų pasiektas per trumpiausią laiką, mažiausiomis sąnaudomis, geriausiai panaudojant gamybos išteklius. Gamybos organizavimas apima: tinkamai

parinktą technologinį procesą, tikslingą viso gamybos proceso suskirstymą į gamybines operacijas, gerą gamybos priemonių išdėstymą, ekonomiškiausią darbo vietų sutvarkymą, jų veiklos suderinimą, personalo panaudojimą pagal kvalifikaciją, visos pagrindinės ir pagalbinės gamybos aptarnavimą, visų gamybos grandžių darbo einamąjį reguliavimą ir kontrolę. Technologijos apima pagrindinius (žaliavos arba pusgaminio apdirbimo ar perdirbimo) ir pagalbinus (gabenimo, laikymo, kontrolės, dokumentacijos sudarymo) gamybos procesus. Technologinė dokumentacija, viena iš technologinio proceso sudedamųjų dalių. Joje nurodomi pagrindiniai parametrai, nuo kurių priklauso technologinių procesų efektyvumas. Vienas iš pagrindinių parametru yra vienetinis laikas minutėmis [11]:

$$T_v = \frac{1}{Q} (T_o + T_p + T_{priežiūre} + T_{poilsio}); \quad (1.1)$$

Čia T_o - technologinis laikas, T_p - pagalbinis laikas, $T_{priežiūros}$ - darbo vietos priežiūros laikas, $T_{poilsio}$ - laikas poilsiui ir bendroms reikmėms, Q – vienu metu apdirbamų detalių skaičius.

Technologinis laikas T_o yra nustatomas pagal laiką, kuris yra reikalingas ruošiniui apdirbti.

Pagalbinis laikas nustatomas pagal formulę:

$$T_p = T_{pastatymo} + T_{prirtvirtinimo} + T_{valdymo} + T_{matavimo}; \quad (1.2)$$

Čia $T_{pastatymo}$ - detalės pastatymo ir nuėmimo laikas, $T_{prirtvirtinimo}$ - detalės prirtvirtinimo ir atleidimo laikas, $T_{valdymo}$ - įrengimo valdymo laikas (pvz., jį gali sudaryti laikas, reikalingas staklėms įjungti ir išjungti bei sukliui prie apdirbamo ruošinio privesti), $T_{matavimo}$ - detalės matavimo laikas.

Darbo vietos priežiūros laikas nustatomas:

$$T_{priežiūros} = T_{techninis} + T_{organizacinis}; \quad (1.3)$$

Čia $T_{techninis}$ - techninis darbo vietos priežiūros laikas, $T_{organizacinis}$ - organizacinis priežiūros laikas.

Techninis darbo vietos priežiūros laikas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$T_{techninis} = \frac{(T_o + T_p) \cdot N_{techn.}}{100}; \quad (1.4)$$

Čia $N_{techn.}$ - techninio darbo vietos priežiūros laiko normatyvas, įvertinantis laiką, skirtą įrengimams, įrankiams pakeisti, staklėms perderinti ir įrankio patvarumo laiką.

Organizacinis priežiūros laikas:

$$T_{organizacinis} = \frac{(T_o + T_p) \cdot N_{org.}}{100}; \quad (1.5)$$

Čia $N_{org.}$ - organizacinio priežiūros laiko normatyvas, įvertinantis laiką, skirtą darbo vietos priežiūrai.

Laikas poilsiui ir bendroms reikmėms nustatomas:

$$T_{organizacinis} = \frac{(T_0 + T_p) \cdot N_p}{100}; \quad (1.6)$$

Čia N_p - poilsio ir bendrų reikmių laiko normatyvas.

Technologinėje dokumentacijoje atskirai nurodomas paruošiamasis baigiamasis laikas:

$$T_{p.b.} = T_{suderinimo} + T_{tvirtinimo} + T_{gavimo}; \quad (1.7)$$

Čia $T_{suderinimo}$ - staklių suderinimo laikas, $T_{tvirtinimo}$ - įrankio tvirtinimo laikas, T_{gavimo} - įtaisų ir įrankių gavimo prieš partijos gavimą ir atidavimo po jos laikas, priklausantis nuo detalių kiekio partijoje.

Baigiant teorinį skyrių ir apibendrinant išdėstytas integruotos gamybos sistemos diegimo prielaidas, galime teigti, kad tai unikalus darbas, turintis konkretų tikslą ir pasireiškiantis koordinuojamu daugelio tarpusavyje susijusių veiklų atlikimu. Vienas iš pagrindinių gamybos sistemos taikymo akstinių yra siekis įgyvendinti strateginius organizacijos tikslus. Be to, šis darbas atliekamas siekiant sukurti pageidaujamų savybių produktą, tikintis, kad jis pasieks numatytą veiklos tikslą, kuris suteiktų naudos organizacijai.

2. INTEGRUOTOS GAMYBOS SISTEMOS TEORINIŲ PRIELAUDŲ PRAKTINIS REALIZAVIMAS

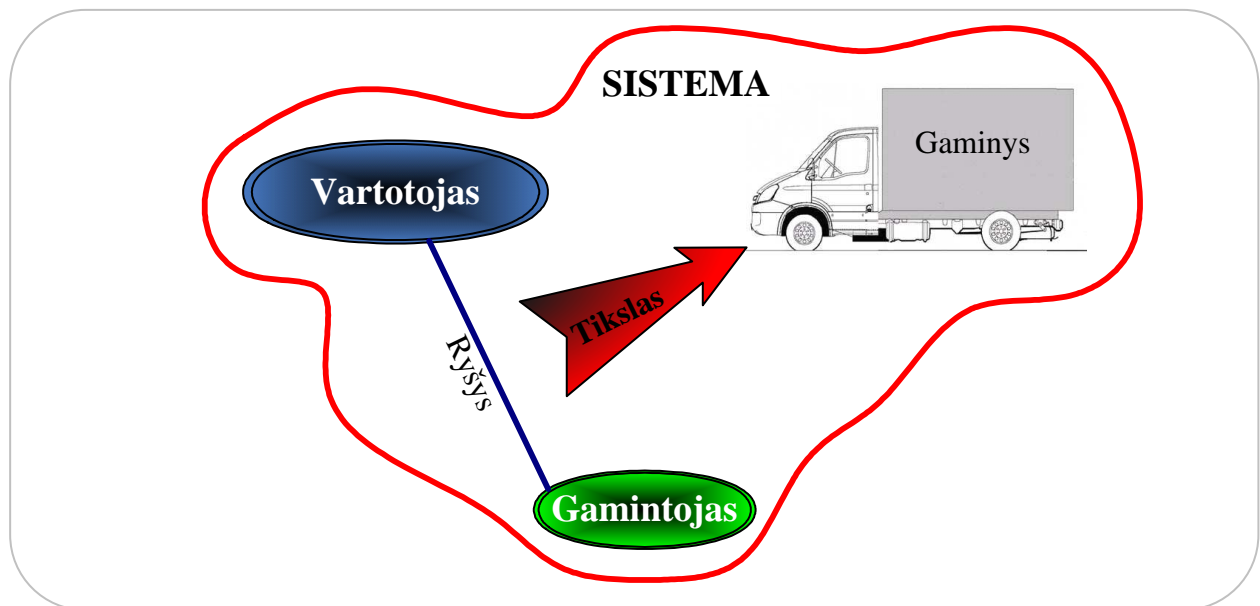
Tradiciškai įmonės konkurentiškumo ir darbo efektyvumo rodiklių gerinimas susijęs su jos pastangomis siekti tikslo. Norėdami ne tik palengvinti bet ir pagreitinti įmonės darbą turime rasti laiko nuolat mokytis, tobulėti, nebijoti naujovių ir pasikeitimų įmonės viduje, skirti pakankamai dėmesio su gamyba susijusių teorijų paieškai, jas analizuoti bei sugebėti pritaikyti įmonėje. Rekomenduotina prisiminti posakį: „Nieko nėra praktiškesnio už gerą teoriją“ ir juo vadovautis.

Pritaikius integruotos gamybos sistemą, ne tik pagreitėja komunikacija, padidėja darbuotojų rodoma iniciatyva, bet kartu atsiranda ir vidinė tvarka, sukuriama pageidaujama įmonės kultūra. Tokią įmonę lengviau valdyti - mažiau laiko reikia iškeltiems tikslams pasiekti, pasiektiems rezultatams įvertinti. Be to svarbu ne tik priimti sprendimą dėl vidinės sistemos įdiegimo kompanijoje būtinybės, pirmiausia svarbu yra suvokti, kokius įmonės procesus norima tobulinti ar optimizuoti, kokias problemas reikia išspręsti, tik tada pradėti galvoti apie sistemos, kuri galėtų padėti įgyvendinti norimus pakeitimus, sukūrimą.

2.1 Tyrimo objekto veiklos analizė

Tyrimo objektas – tai maža Lietuvos įmonė, gaminanti įvairios paskirties krovininių automobilių kėbulus. Sunkusis transportas šiandien dominuoja kaip įrankis praktiškai visose įmonėse ir organizacijose, užsiimančiose pačia įvairiausia veikla, todėl iš pirmo žvilgsnio pasirinktos įmonės gamybos kryptis labai paklausi, gaminių įvairovė ypač didelė.

Tačiau gamintojas kaip sistemos elementas (žr. 2.1 pav.), siekdamas tikslo turi laikytis tam tikrų sąlygų, kurios dar vadinamos apribojimais [18]. Būtent apribojimai ir apsprendžia įmonės galimybes bei sumažina vartotojų būrį.



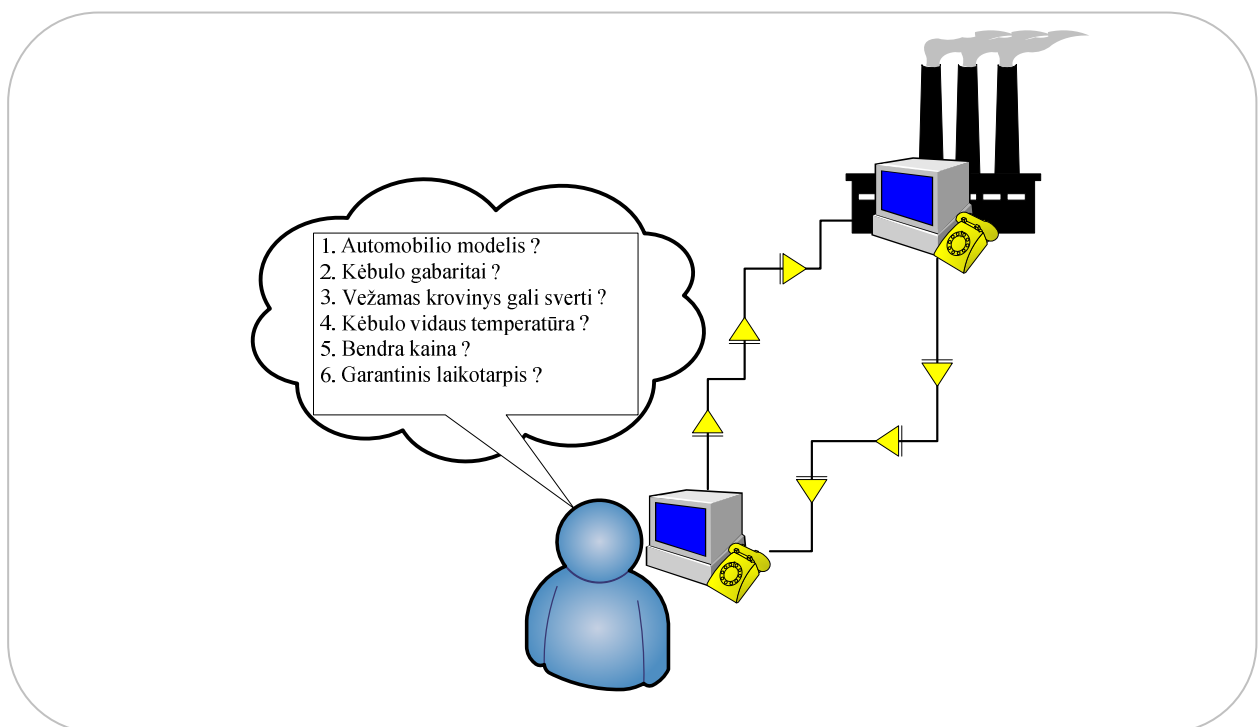
2.1 pav. Įprasta gamybinės įmonės situacija

Pagal nagrinėjamo objekto pajėgumus bei gamybinių patalpų plotą, vienu metu gali būti surenkami bei montuojami tik du automobilio kėbulai, kurių bendras ilgis iki 10 m. Gaminio gabaritai, vienas iš pagrindinių sistemos elemento apribojimų, nuo kurio priklauso galimų automobilio važiuoklės modelių, klasės bei keliamosios galios pasirinkimo galimybė. Pasirinkus automobilio gamintoją taikomi atskiri apribojimai nustatyti jau automobilio gamintojo skirti kėbulų gamintojams. Tai leistini gabaritai, maksimalios ašių apkrovos, masės, įtakojančios automobilio stabdymo sistemą taip pat triukšmo, emisijos lygis ir pan. Taigi maža įmonė iš gausybės automobilių gamintojų gali pasirinkti vos keletą tos klasės modelių atitinkančių įmonės galimybes.

Automobilių gamintojas sudaro technines specifikacijas bei nurodymus, kuriais turi vadovautis bei griežtai laikytis kėbulų gamintojas, tai visos ankščiau išvardintos bei daugybė kitų, tokių kaip kėbulo tvirtinimas prie važiuoklės, montavimo darbų instrukcijos, kurių metu negalima keisti ar pažeisti atskirų automobilio dalių ar mazgų, kas galėtų trukdyti ar kitaip įtakoti

numatytoms eksploatacijos sąlygoms, t.y. atliekant technines apžiūras ir/ar remonto darbus. Apribojimus reglamentuoja Europos sąjungos direktyva, atskirais atvejais darančias išimtis šalims turinčioms savas homologacines direktyvas. Ypatingas dėmesys skiriamas saugumui bei aplinkosaugai.

Nepaisant gausybės įvairių apribojimų, gaminio įvairovė išlieka gana didelė, nors rinkos dalis sumažėja ženkliai, tačiau gaminami automobilio kėbulai gali būti pritaikyti įvairių pramonės šakų bei pervežėjų organizacijoms. Kėbulo krovumas, vidaus temperatūra, krovinio tvirtinimo vietos, lentynos gali būti pritaikytos kiekvienam klientui individualiai. Kadangi vartotojas dažniausiai pateikia neapibrėžtus duomenis apie gaminį, todėl gamintojas turi konkretizuoti, pakeisti galimais arba pasiūlyti alternatyvų sprendimą (2.2 pav.).

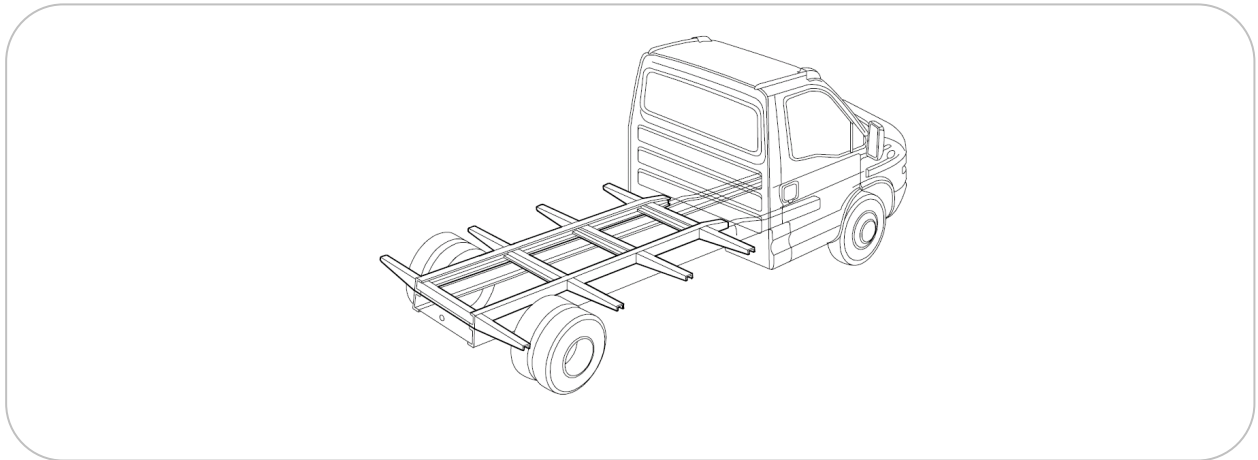


2.2 pav. Vartotojo reikalavimų analizavimas

Paskiausiai paruošiamas pasiūlymas, atitinkantis gamintojo galimybes ir vartotojo reikalavimus, su kaina, kuri dažniausiai nustatoma pagal gaminio savikainą, nors tai ir ne geriausias kainos nustatymo modelis, bet šiandien mažose įmonėse labai populiarus. Suderinami kokie darbai bus atliekami ir patvirtinami darbų atlikimo grafikai.

Pasirašius užsakymo sutartį, seka pirmas etapas suprojektuoti bei pagaminti metalinį kėbulo pagrindą, tvirtinamą prie automobilio važiuoklės.

Magistriniame darbe tyrinėta automobilio kėbulo korpusinė detalė – porėmis (2.3 pav.). Pasirinkto analizuoti važiuoklės porėmio kūrimo etapas kartojamas retai, todėl jo gamybos nagrinėjamas ypač aktualus.



2.3 pav. Kėbulo korpusinė detalė - porėmis

Porėmio paskirtis sustiprinti pagrindinį automobilio važiuoklės rėmą bei suteikti vienodą apkrovos pasiskirstymą tinkamam automobilio eksploatavimui. Nors porėmio konstrukcijos medžiagai skirtingai nei paties automobilio važiuoklės konstrukcijai nėra keliami tokie aukšti reikalavimai, ir vis tik stipruminių charakteristikų normos negali būti mažesnes nei leidžia automobilio gamintojas.

Projektuojant gaminį, parengiama dokumentacija, pagal kurią objektą galima pagaminti ar patobulinti, priderinant prie vietinių sąlygų (pvz., technologinį procesą prie turimų žaliavų, įrengimų, pastatų, ekologinių reikalavimų ir vartotojų poreikių).

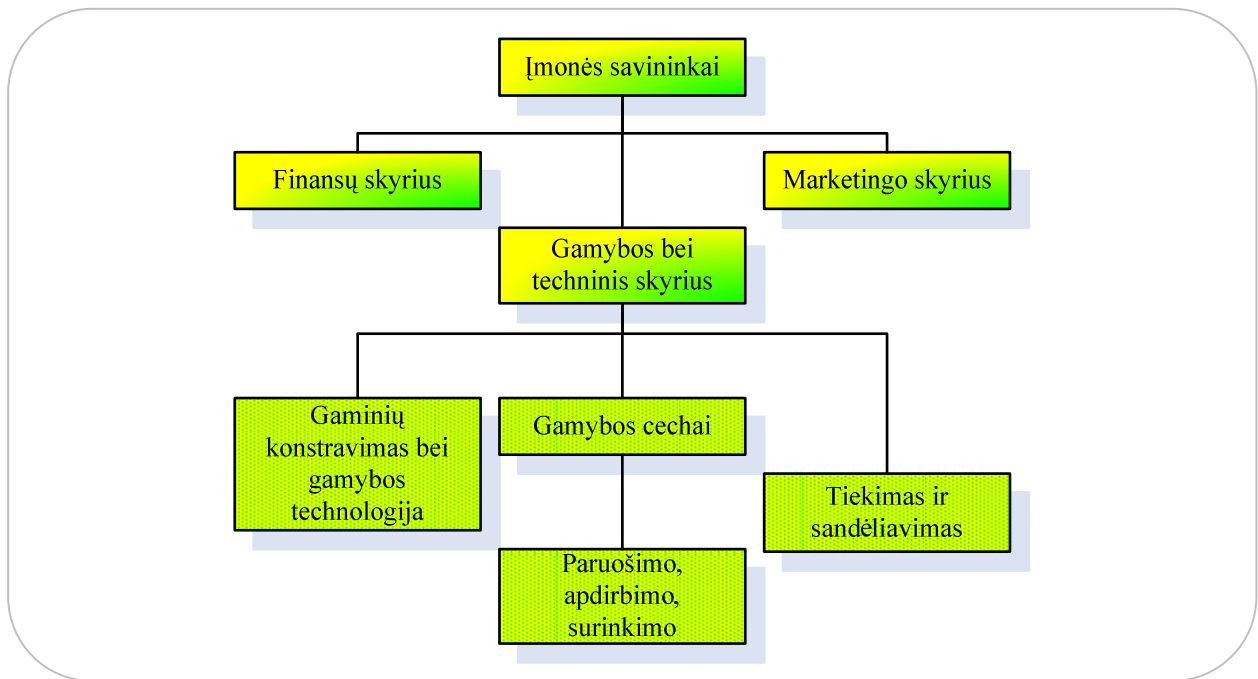
Kadangi nagrinėjama maža įmonė savo lyginamaisiais pranašumais neišsiskiria iš kitų panašia veikla užsiimančių įmonių, tai trukdo jai skverbtis į rinką bei pelningai veikti ir plėtoti savo veiklą. Todėl sekančiuose skyriuose pasistengsime įvertinti įmonėje egzistuojančius gamybos procesus, panagrinėsime išsamiau jų teigiamas ir neigiamas puses, bei parengsime integruotos gamybos sistemos modelį bei jo taikymo etapus.

2.2 Tyrimo objekto procesų įvertinimas

Įmonės veiklos efektyvumo įvertinimas yra sudėtingas veiklos tyrimas, apimantis įmonėje vykstančius gamybinius procesus, jo tikslas – nustatyti, ar įmonės veikla efektyvi, ar racionalus efektyvumas. Norėdami išanalizuoti įmonės veiklos efektyvumą ir su juo susijusių rodiklių kitimą, turime nustatyti, kurie įmonės rodikliai geri, priimtini ir kuriuos būtina pagerinti, siekiant, kad įmonė ir toliau sėkmingai dirbtų. Dažnai įmonių vadovai, susidūrę su finansinėmis problemomis, ima paskolas iš bankų, tikėdamiesi, kad jos padės išspręsti problemas. Blogybė yra ta, kad vadovai neįvertina savo įmonių veiklos analizės naudos; juk jos metu gali būti nustatytos

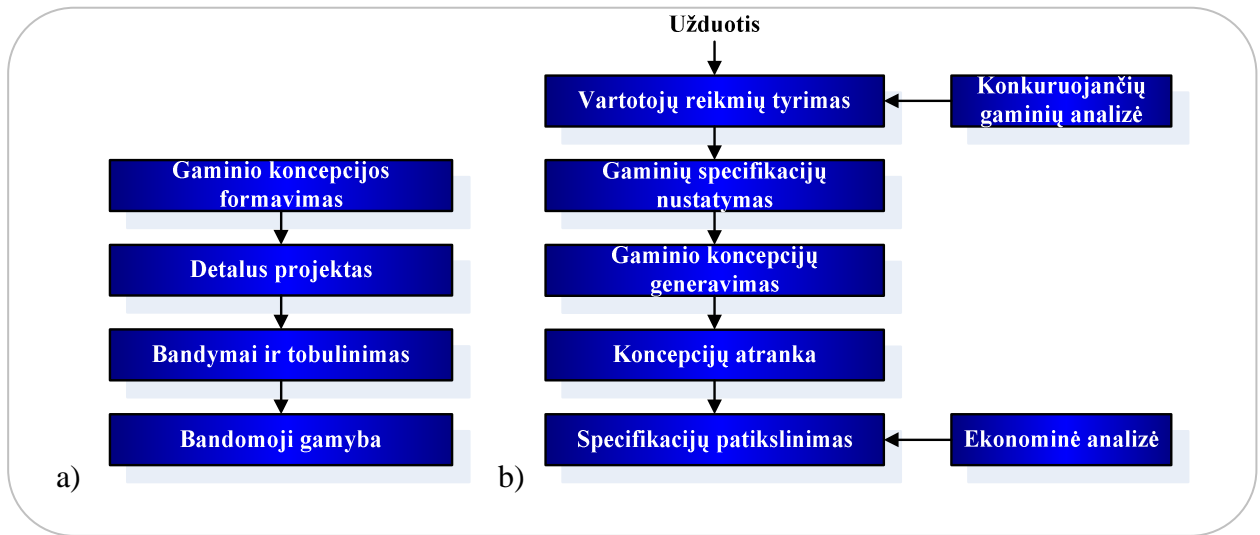
galimybės įmonės veiklai pagerinti geriau panaudojus savo turimus išteklius [12]. Vienas iš būdų nustatyti nagrinėjamos įmonės efektyvumą, yra jos gamybos veiksnių tyrimas ieškant neišnaudotų galimybių mažinant sąnaudas, siekiant nustatyti galimus rezervus potencialui didinti.

Nagrinėdami įmonės veiklos schemą, pirmiausia turime nuodugniai išsiaiškinti kaip sutvarkyta dirbančiųjų grupė, kad kiekvienas žino kokius darbus reikės dirbti, už ką atsako, kas jam vadovauja arba yra jo pavaldinys. Įmonės struktūra pateikta pav. 2.4



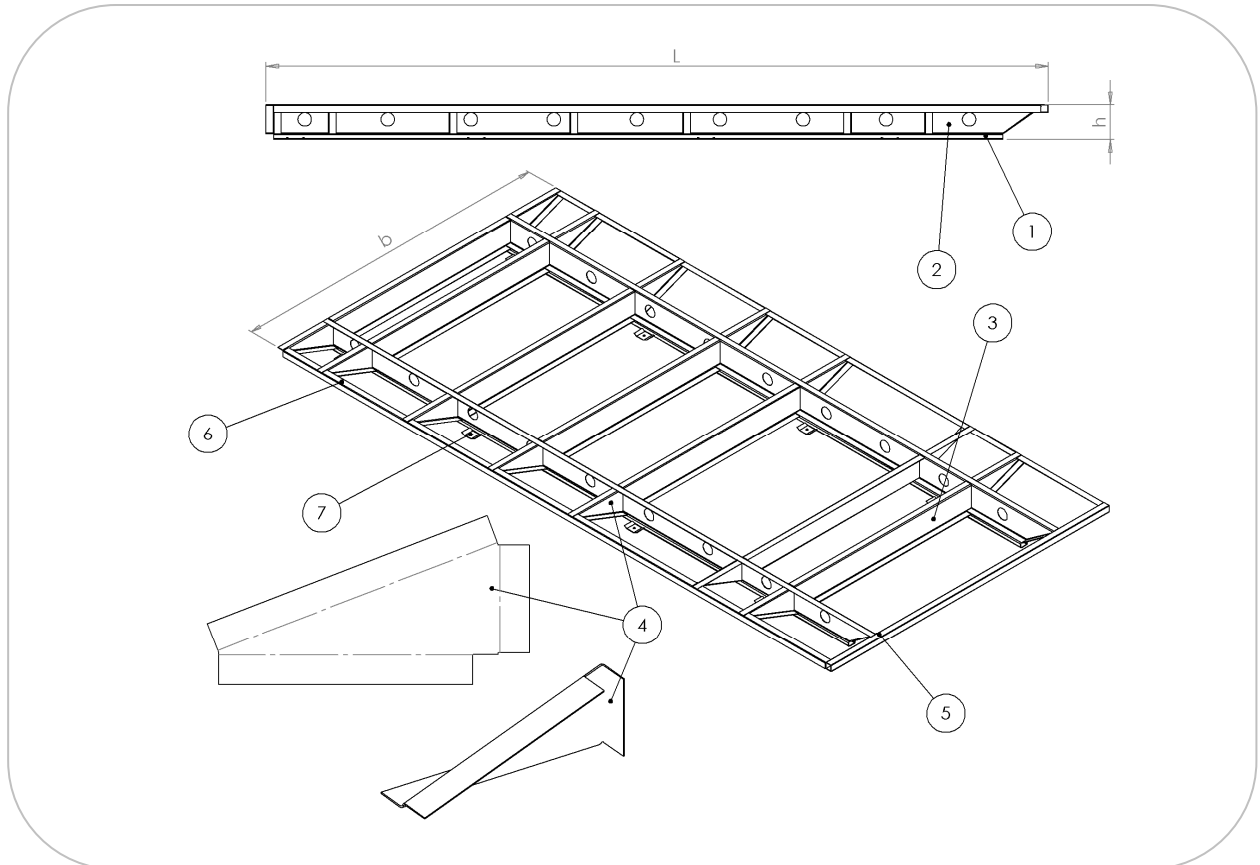
2.4 pav. Nagrinėjamos įmonės struktūra

Užsakymo vykdymo procesas prasideda nuo naujo gaminio kūrimo, pradedant rinkos sąlygų tyrimu ir baigiant gaminio gamyba bei pardavimu vartotojui. Gaminio kūrimo procesas apima tris tradicinius kiekvienai įmonei procesus – rinkotyra, projektavimą ir gamybą. Visuose šiuose trijuose procesuose įprasta skirti šias stadijas: koncepcijos formavimą, detalų projektą, bandymus ir tobulinimą, bandomąją gamybą. Gaminio kūrimas pradedamas nuo gaminio koncepcijos formavimo, kuriam pradiniai duomenys yra vartotojų pageidavimai (2.5 pav.) [15]. Taigi projektavimo procese vartotojų reikalavimai transformuojami į konkrečius inžinerinius sprendimus.



2.5 pav. Tipinis naujo gaminio kūrimo procesas (a) ir koncepcijos formavimo procesas (b)

Vadovaujantis automobilio gamintojo reikalavimais medžiagai, matmenims bei konstrukcijos tvirtinimui prie važiuoklės, suprojektuojamas porėmis iš lakštinio plieno (2.6 pav.). Lakštinis plienas pasirinktas, siekiant sumažinti konstrukcijos svorį bei gamybos sąnaudas. Naujų įrengimų lakštiniam plienui apdirbti kaina didžiulė ir nagrinėjamai mažai įmonei jų įsigyti neverta. Todėl keletas gaminio detalių atiduodamos gaminti įmonės partneriams, kurios specializuojasi mechaninių komponentų gamyba iš lakštinio plieno.

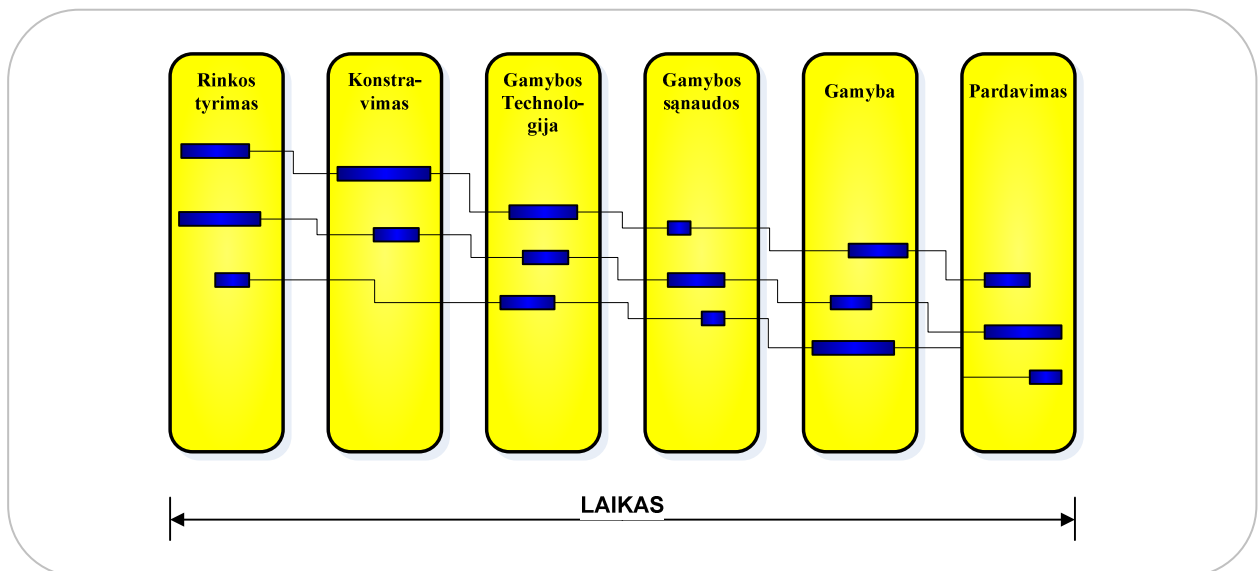


2.6 pav. Metalinė porėmis konstrukcija iš lakštinio plieno

Inžineriniai sprendimai kliento pageidavimus paverčia reikalavimais gamybai. Šio proceso planavimas turi užtikrinti rezervinius gamybos pajėgumus dar iki galo nežinant, kiek jų reikės. Klientai reikalauja informacijos apie gaminių pristatymo datas ankstyvoje gamybos stadijoje, nors dar nėra visiškai suprantama, kokios tiksliai bus gaminio charakteristikos. Dar prieš užsakymų atidavimą į gamybą gaminyje turi būti tiksliai apibūdintas, siekiant išvengti vėlavimų gamyboje ir laiko nuostolių apribojime, taip pat reikalinga paruošti pilną konstrukcijos aprašymą su baigtais darbo brėžiniais bei galutinai apspręsti medžiagos pasirinkimą.

Savaime suprantama, kad gaminiui sukurti, jam suprojektuoti, bandymams atlikti, tobulinti, gamybai paruošti (įrenginiams sukomplektuoti, įtaisams ir įrankiams suprojektuoti ir pagaminti), taip pat rinkai tirti reikalingas išankstinis finansavimas bei sugaištama nemažai laiko. Be to statistika rodo, kad nuo 33% iki 60% naujų gaminių neatsiperka [15], t.y. jiems sukurti išleistos lėšos nebesugrįžta. Tai reiškia, kad naujo gaminio gamyba kiekvienai įmonei susijusi su rizika, nes jis gali būti arba labai perkamas ir duoti didelį pelną, arba gali būti ir nuostolingas. Stengiantis sumažinti riziką, susijusią su naujų gaminių gamyba, naujo gaminio kūrimo procesui pasibaigus, vyksta pasirengimas bandomajai gamybai.

Siekiant, kad verslas būtų pelningas ir kad būtų garantuotas jo tęstinumas, įmonė tvarko jį nuosekliai, tam tikrais etapais (2.7 pav.). Kitaip tariant nagrinėjamos mažos įmonės veikla – atskirų etapų ir jų funkcijų visuma. Etapai rengiami savarankiškai, pasibaigus vienam iš jų rengiamasi sekančiam.



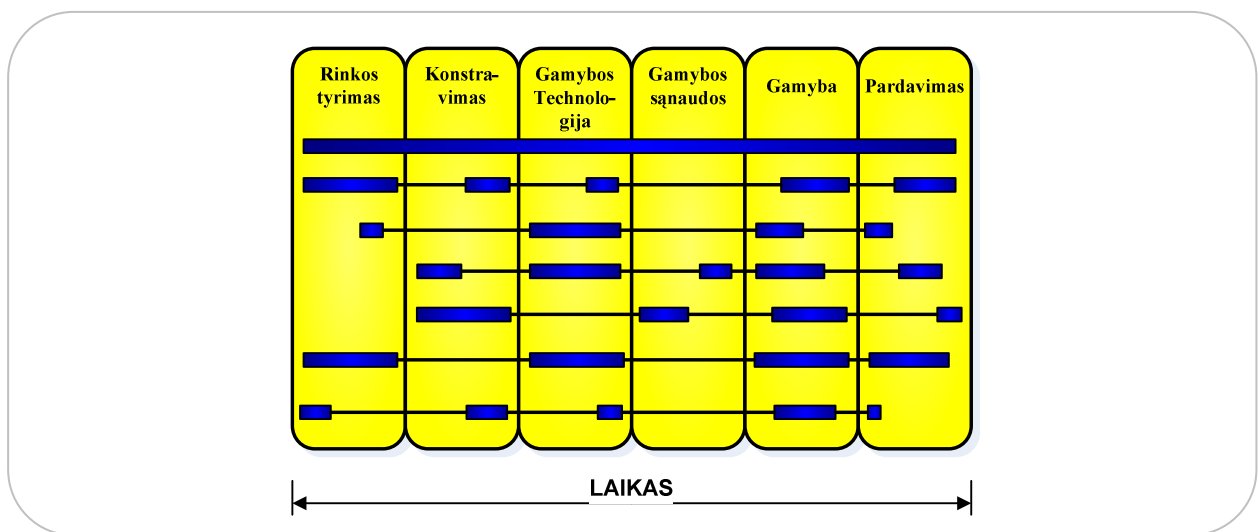
2.7 pav. Mažos įmonės gaminio kūrimo etapai

Kaip ir dauguma kompanijų, nagrinėjama maža įmonė jaučia tam tikros „pardavimų strategijos“ poreikį, tačiau nekreipiant dėmesio ir nematant tikslo kurti papildomą strategiją gamybai, investicijos į įrengimus, technologijas, gali likti ne daugiau kaip bandymu sureaguoti į

išskylančias problemas. Akivaizdu, kad gamybos strategija, kartu su marketingo, finansų, prekybos ir kitų sričių strategijomis, turi būti integruota į bendrą verslo strategiją.

Toks požiūris reikalauja aktyvios gamybos vadovybės pozicijos. Neturėtume gaminti vien tik tai, ką sukūrė technologijos skyrius, tokiose apimtyse, kiek prekybos skyrius gali parduoti. Verslo strategija turi atsižvelgti į gamybos galimybes taip pat, kaip ir į rinkos poreikius bei produktų dizainą. Gamybos vadybą reikia įtraukti į bendros strategijos rengimo procesą. Reikia mokytis taip valdyti operacijas, kad gamyba teiktų kompanijai geras galimybes rinkoje [10].

Todėl svarbus ne tik intensyvus įrengimų ir darbo laiko panaudojimas, bet visos sistemos efektyvumas, apjungiant veiklos etapus, siekiant nuolatinio bendradarbiavimo tarp atskirų įmonės veiklos sričių (2.8 pav.).



2.8 pav. Egzistuojančių etapų ir jų funkcijų integravimas

Tam būtina bandyti įveikti inerciją, pakeisti kultūrą ir nuolatos mokytis dirbančiuosius, kaip tai padės vystyti verslą ir visa tai daroma vienu metu. Todėl įmonei reikalinga gerai suplanuota sistema ir jos įgyvendinimo procesas. Idėjų būna daug, tačiau jas reikia sėkmingai įgyvendinti. Jei įgyvendinsim blogai sugalvotą idėją, ji nebus veiksminga, kaip kad nebus veiksminga ir gerai sumanyta, bet blogai įgyvendinta idėja. Dalykų, dėl kurių įgyvendinimas būna nesėkmingas, yra be galo daug, o užtikrinančių sėkmę vos keli. Būtent todėl visada reikia pradėti nuo paprastų sistemų ir procedūrų, duosiančių tik kai kurių rezultatų, o ne nuo sudėtingos sistemos ar procedūros, kuri duos optimalius rezultatus.

2.3 Gamybos sistemos modeliavimas

Sistemos kūrimo žingsnis pateikia žemėlapi, kaip atrodys naujasis procesas (procesai) ir jo elementų sąveika. Konkrečiais terminais apibūdinsime, kokius pakeitimus pirmiausia reiktų įgyvendinti. Gamybos sistemos modeliui ruošti pasitelkiami bendri principai, siūlomi metodai,

reikalavimai, informacija, siekiant aiškiai ir efektyviai pateikti bei įvertinti mažoje gamybos įmonėje vykstančius procesus.

Darbe nagrinėjame jau sukurtus ir gamyboje taikomus bei sėkmingai veikiančius modelius, kurie nėra universalūs ir sudaryti taip, kad galėtų būti pritaikyti įvairių veiklos sričių įmonėms, juos reikia pritaikyti savo reikmėms dėl skirtingų gamybinių tradicijų, naudojamų įrengimų, įrangos, gamybinių padalinių struktūros ir kitų priežasčių.

Gamybines sistemas priimta projektuoti dviem būdais [4]:

- pagal įmonės struktūrą,
- pagal įmonės veiklos procesus.

Magistriniame darbe daugiau atsižvelgta į vykstančius procesus, šis būdas pasirinktas todėl, kad įmonės struktūra gali keistis, kintant gamybos pajėgumams. Tuomet gamybos sistema tampa neefektyvi. Gamybines sistemas diegiant pagal procesus, šito galima išvengti, kadangi procesai transformuojasi lėtai. Jiems tobulėjant, nesunku tobulinti veikiančią sistemą.

Išskiriame įmonės procesus į tris grupes:

Pirma grupė – pagrindiniai procesai, kurie tiesiogiai susiję su produktu. Tai projektavimas, gamyba, pardavimas.

Antroji grupė - valdymo procesai, susiję su resursų valdymu. Tai gamybos planavimas bei valdymas.

Trečioji grupė - aptarnaujantys procesai, kurie skirti aptarnauti pagrindinius ir gamybos valdymo procesus.

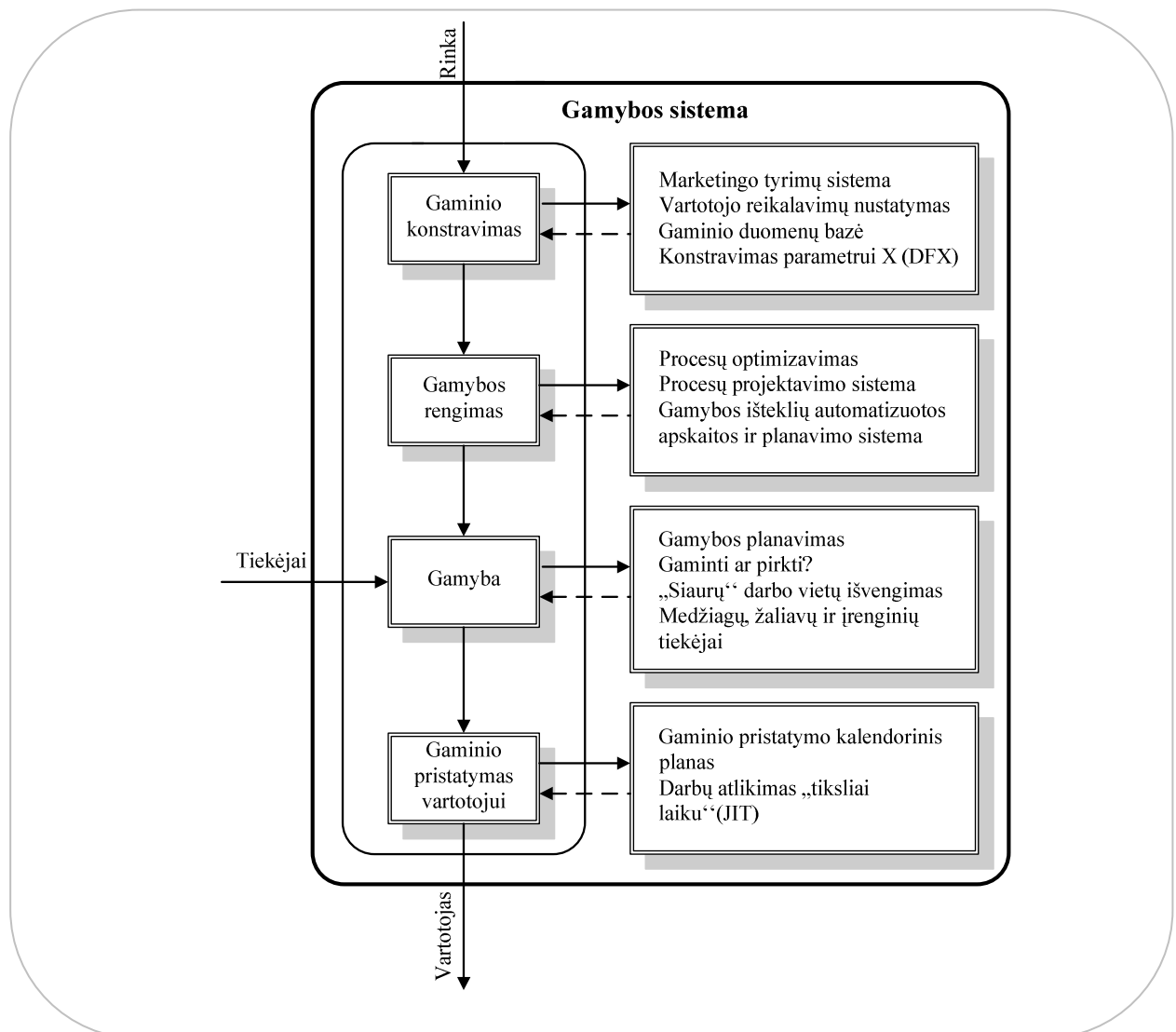
Gamybos procesai - tai lyg "plytos", iš kurių statoma organizacija. Gamybos sistema - tai "cementas", kuris sujungia procesus į vieningą sistemą. Suskirsčius procesus į grupes yra lengviau lipdyti modelį. Iš vieno ir to paties plytų rinkinio galima sulipdyti daug įvairių gamybos modelių. Ir tas lipdymas gali tapti įdomiu užsiėmimu, jeigu ne laiko deficitas, kuris verčia greičiau siekti pagrindinių tikslų. Vienas iš pagrindinių tikslų, aišku, yra pelnas. Bet procesų įvairovė šį uždavinį apsunkina. Žinant, jog pagrindiniai ir aptarnaujantys procesai gali būti įvairių tipų: jie gali būti nuosavi, juos galima pirkti, nuomoti arba atlikti su partneriais, kada valdymo procesai vyksta tik įmonės viduje.

2.3.1 Gamybos sistemos modelio kūrimas

Gamybos sistemų diegimo projektas pirmoje eilėje yra bendras įmonės projektas, o ne informacinių technologijų projektas, nes pirmoje eilėje atliekamas detalus gamybos modelio projektavimas ir tik po to valdymo sistemai gyvybė įkvepiama informacinėmis technologijomis. Jeigu prieš diegiant gamybos sistemas nesuprojektuosime aiškaus gamybos modelio, tai tik automatizuosime chaosą ir pasirinkta sistema nepadės pasiekti planuotų rezultatų. Beveik visais

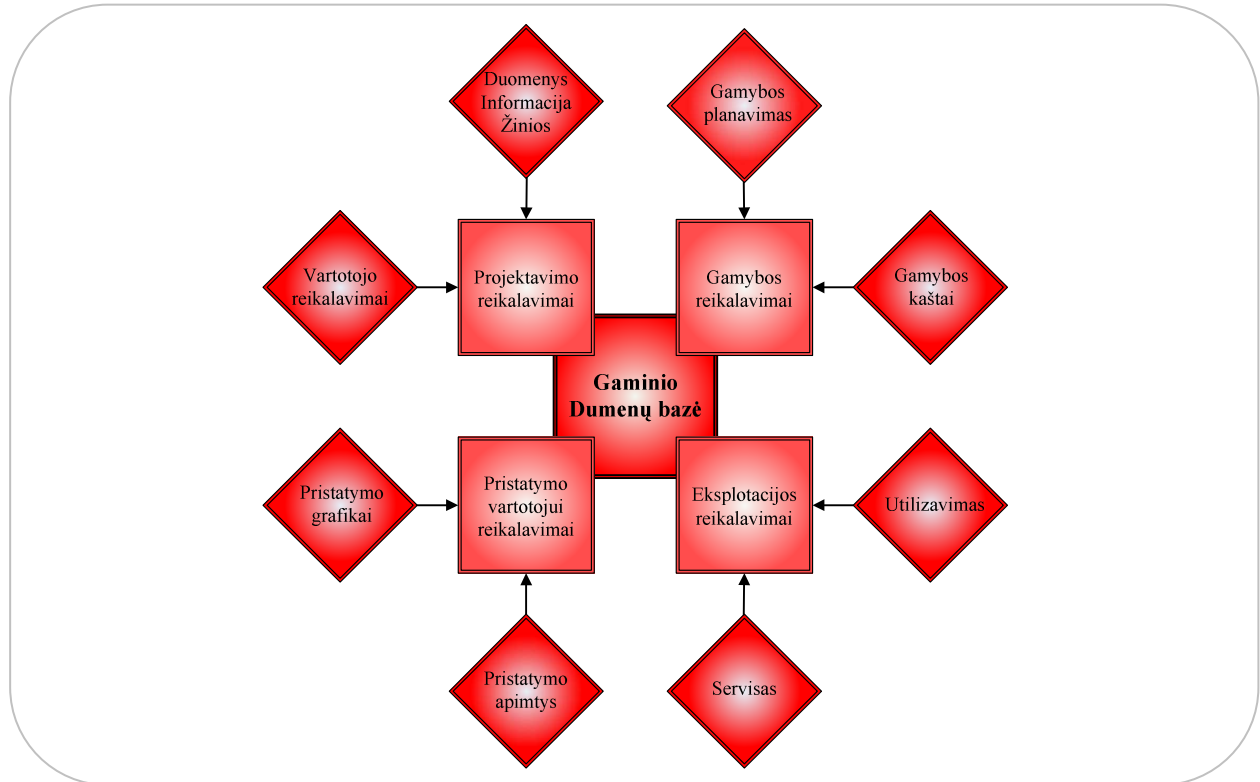
atvejais daug lengviau, pigiau ir saugiau eksperimentuoti su virtualiais modeliais, negu su realiais kūrinių. Dabar galima rasti labai daug ir įvairių modelių, skirtų gamybos projektavimo ir veikimo problemoms spręsti.[4]. Lėšos, reikalingos gamybos sistemai diegti, priklauso nuo to, koku būdu diegiama sistema. Taupant lėšas, galima sistemą diegti palaipsniui, pradedant nuo bazinių modulių ir ateityje sukuriant visą informacinę sistemą. Baziniai moduliai yra labai funkcionalūs. Įdiegus vieną modulį, įmonė perima visą valdymo koncepciją, gali valdyti pasirinktą procesą, valdyti santykius su klientais, tiekėjais, partneriais, atlikti informacijos analizę ir valdyti marketingo veiklą. Toliau vystant sistemą, visada išlieka aiški vystimosi vizija. Kompiuterizuota integruota gamybos sistema lyg lankas, apimantis įmonę, kuris veikia kaip taikiklis, padedantis nukreipti pastangas į reikiamą segmentą.

Sukurtas virtualus integruotos gamybos sistemos modelis (2.9 pav.) [5] labai daug dėmesio skiria ne tik svarbiausių projekto charakteristikų reguliavimui, bet ir jų pokyčių korekcijai grįžtamųjų ryšių pagalba, o tai leidžia laiku atlikti būtinus pokyčius konkrečiame projekte ir išvengti panašių klaidų ateityje.



2.9 pav. Gamybos sistemos modelis

Integruota sistema apjungia atskirus įmonės veiklos procesus ir gamybos valdymą vartotojų – gamintojo – tiekėjų aplinkoje. Galime išskirti keturias pagrindines veiklos sritis: gaminio projektavimas, gamyba, pristatymas vartotojui bei eksploatacija. Kiekviena iš jų turi atskiras duomenų bazes (2.10 pav.) bei gali būti sudarytos skirtingais programiniais moduliais bei saugomos skirtingu formatu.



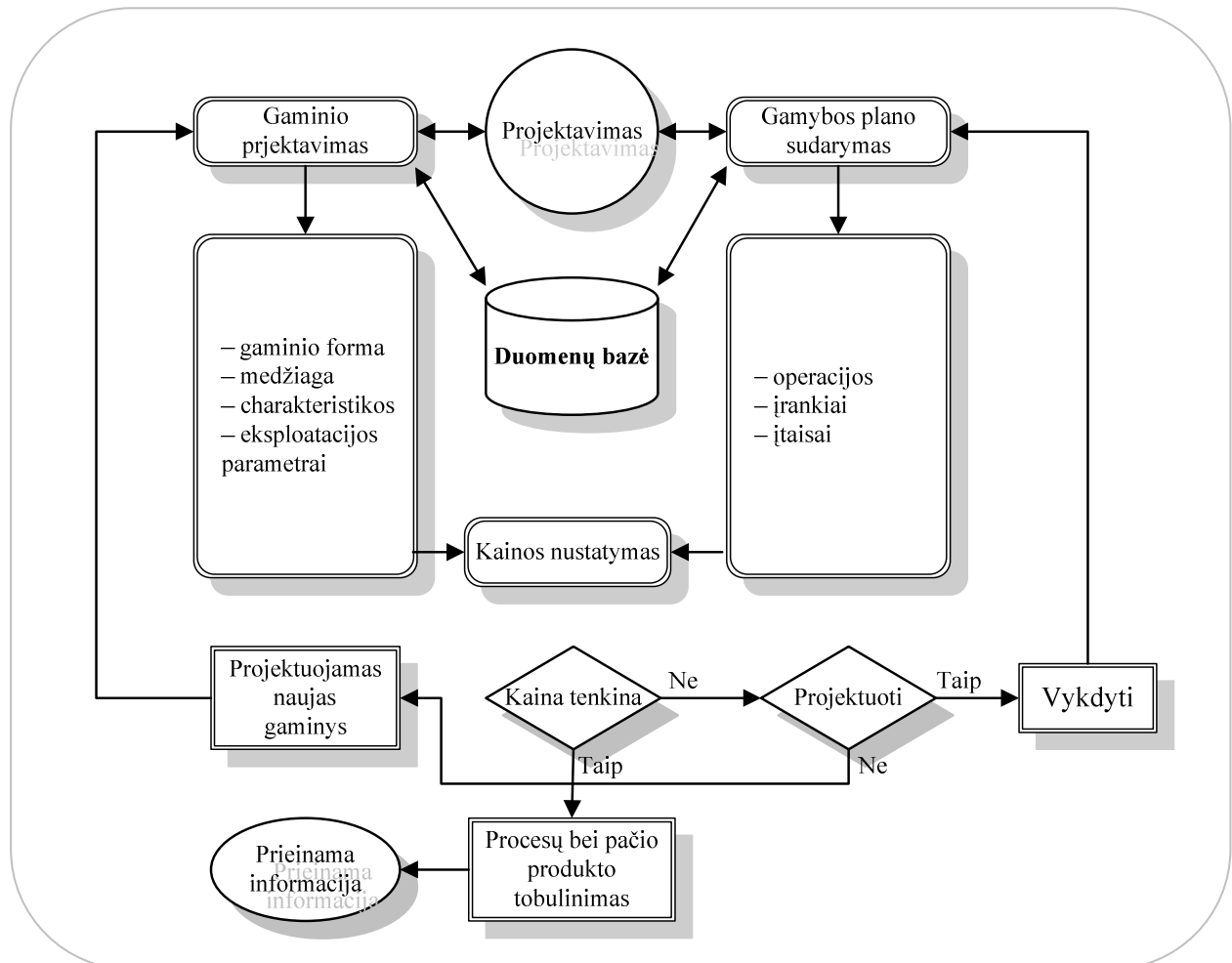
2.10 pav. Gaminio duomenų bazė

Paprastai kompiuterizuojami pagrindiniai organizacijos valdymo procesai: duomenų apie gamybos (prekybos, mokymo ar mokslinio tyrimo) procesus rinkimas, kaupimas ir apdorojimas; medžiagų ir energetinių išteklių, reikalingų organizacijos vidinių procesų normaliai eigai užtikrinti, kiekių ir pristatymo terminų apskaičiavimas bei kiti. Šie duomenys analizuojami, formuojamos atitinkamos ataskaitos ir pateikiamos organizacijos valdymo padaliniam. Valdymo padaliniai analizuoja duomenis ir formuluoja valdymo sprendimus, geriausiai atitinkančius organizacijos tikslus ir interesus, nuo to ir priklauso praktinis organizacijos veiklos efektas.

Gamintojas visada orientuojasi į klasikinės gaminio savybes: funkcijas, paskirties parametrus, patikimumą, išlaidas ir pan., kurios siejamos su gaminio gyvybingumo ciklo fazėmis. Norint pasiekti optimalią gaminio konstrukciją, ir kad ji geriau atitiktų gamybos procesus bei atitiktų norimas pasiekti savybes, jau kuriant naujo gaminio koncepciją įmonėje siūloma naudoti DFM (konstravimas gamybai palengvinti), DFA (konstravimas surinkimui palengvinti), DFC (konstravimas gaminio sąnaudoms mažinti) ir kitus panašius metodus [11]. Visus šiuos metodus integruojant bei nuolat juos gerinant galima pasiekti, kad gaminio

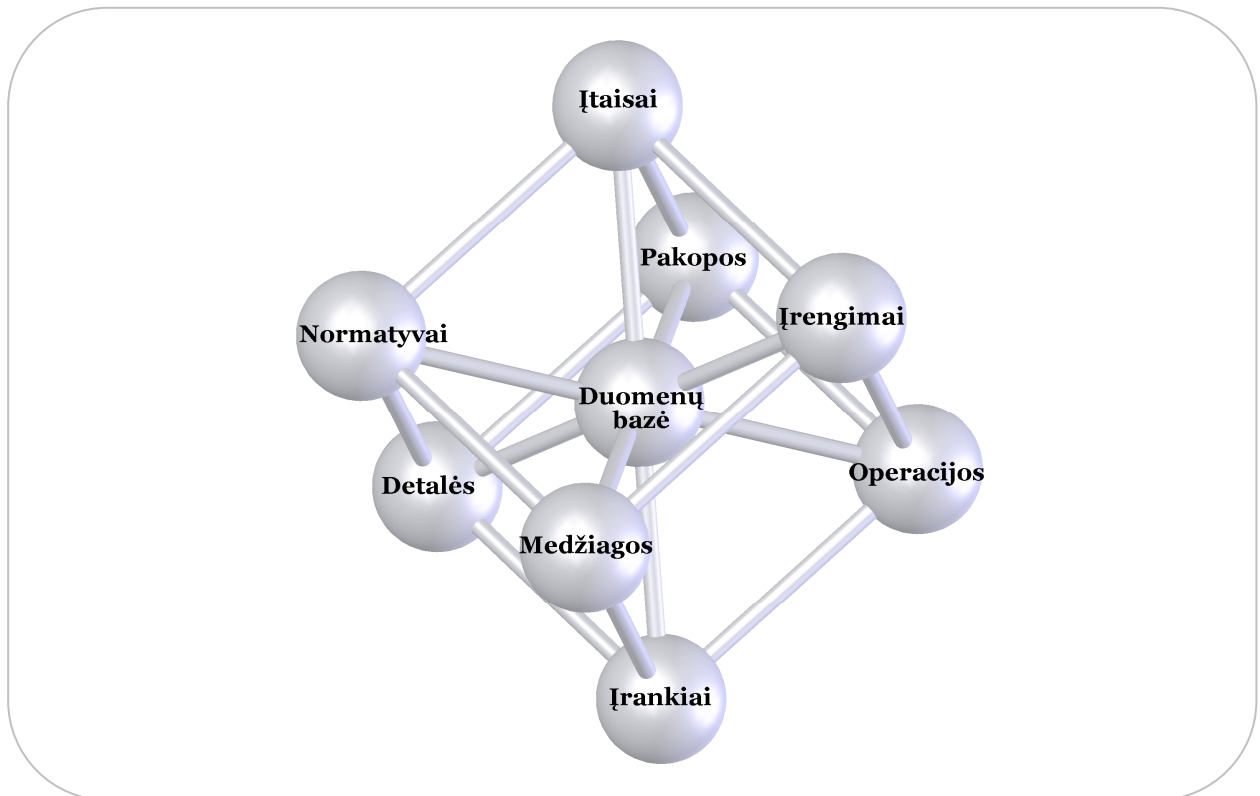
konstrukcija geriausiai atitiktų naudojamus jo gamybos procesus. Be to, kartais reikia tirti kelių skirtingų aspektų įtaką, pavyzdžiui, siekiant minimalių gamybos sąnaudų, reikia nagrinėti paruošimo, apdirbimo, rinkimo procesus ir jų galimybes. Nagrinėjant minėtų procesų visumą, kartais galima rasti prieštaravimų vienas kitam, kai esant patogiam apdirbimo procesui, gaunamas sudėtingas rinkimo procesas ir atvirkščiai. Tokių konfliktinių situacijų dažnai galima rasti, kai pasiekiamas patogus gaminio rinkimo procesas, bet labai sudėtingas jo servisas, kai reikia dalinai gaminių išardyti ir pan.

Tokiu būdu, siekiant išvengti konfliktinių situacijų, konstruktorius turi integruotai nagrinėti gaminio gyvybingumo ciklo parametrų reikalavimus su specifinėmis jo savybėmis. Siekiant palankumo vienam sprendimui, galima sulaukti teigiamų ir neigiamų aspektų kitoms gaminio savybėms ar gyvybingumo ciklo parametrams. Daugiausiai prieštaravimų kyla ieškant racionalių sprendimų gaminant atskiras gaminio detales bei komponentus ir renkant juos į vieną visumą. Jiems išvengti siūlomas papildomas konstravimo parametrai X modulis (2.11 pav.) [5].



2.11 pav. Gaminio projektavimas

Kiekvieno suprojektuoto gaminio technologinis gamybos paruošimas taip pat reikalauja išsamios informacijos, kuri kaupiama ir saugoma technologinio gamybos paruošimo duomenų bazėje (2.12 pav.) [2].



2.12 pav. Technologinio gamybos paruošimo duomenų bazė

Šios duomenų bazės paskirtis – kaupti ir saugoti sąlygiškai pastovią informaciją, būtiną gamybos išteklių planavimui ir naujų gaminių technologiniam gamybos paruošimui. Duomenų bazės ir jos atskirų dalių struktūra formuojama nuo pat pirmojo gaminio, kuriant įvairios paskirties technologijos procesus, kaupiant ir sisteminant įvairius duomenis, kurie nuolat naudojami skirtingos paskirties technologinio gamybos paruošimo darbams. Kada keletas atskirų technologinio gamybos paruošimo darbų integruojami i vieną visumą, tada pirmines duomenų bazės struktūras tenka keisti. Tokia optimali duomenų bazės struktūra sudaroma iš ankstyvoje projektavimo stadijoje naudojamų atskirų duomenų kopijavimo ir saugojimo bylų, kurių apimtys ir struktūros nuolat gausėja. Labai svarbi duomenų bazės sintezės sąlyga – kintamosios informacijos kiekio mažinimas technologinio gamybos paruošimo metu. Kintamosios informacijos kiekį sumažiname palaipsniui pervedant vis didesnę procedūrų dalį automatizuoto skaičiavimo, projektavimo ar informacijos rinkimo algoritmams ir programoms, kurios taip pat reikalauja duomenų bazės struktūros korekcijos. [2]

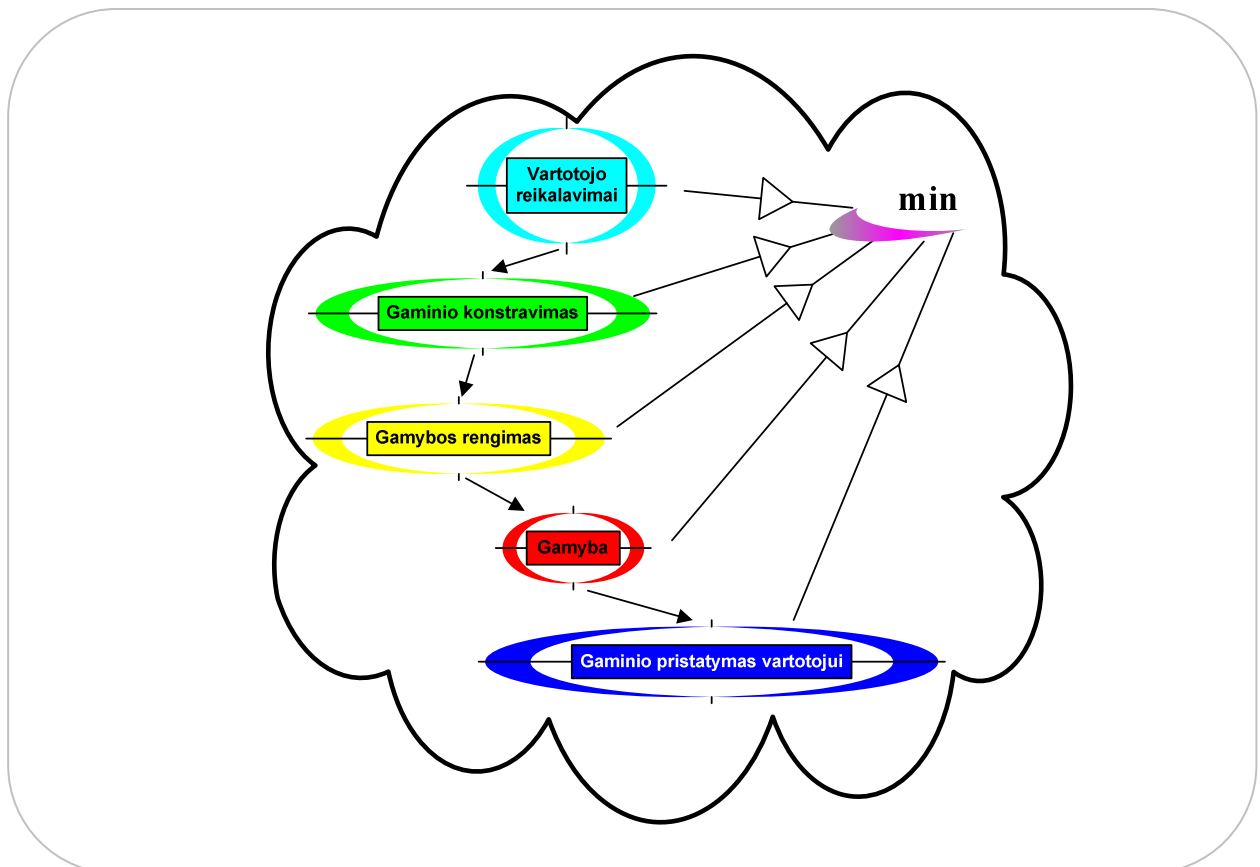
Virtualioje aplinkoje imituojami gamybos procesai, sukuriama bendravimo platforma, kuri įgalina tuo pačiu metu dirbti keletui kvalifikuotų specialistų prie to paties projekto bei jų bendravimo iš atskirų darbo vietų, išvengiama daugybe įmonės vidaus problemų, tokių kaip

užduočių vykdymo kontrolė, darbų organizavimo keblumai.[16] Modelis skirtas padėti įmonei teisingai orientuotis daugialypėje gamybos sistemos aplinkoje ir kryptingai siekti nustatytų tikslų. Būtina pažymėti, kad nei vienas modelis negali pakeisti individualių vadovo ir jo komandos sugebėjimų matyti bei suprasti gamybos valdymo procesą, laiku atlikti būtinas korekcijas ir projektą atlikti kokybiškai, laiku ir neviršijant numatytų gamybos sąnaudų.

2.4 Virtualaus gamybos sistemos modelio veikimo principas

Teoriškai vadovaujantis virtualiu sistemos modeliu, aprašančiu gamybos verslo procesus, technologiją bei gamybos valdymą, armuojame atskiras įmonės veiklos dalis, bei artėjame prie visiškos jų integracijos, pasitelkdami kolektyviniu vykdytojų išradingumu. Skirtingai nuo žaliavų ar pagamintų komponentų, kuriuos konkurentai gali įsigyti atviroje rinkoje, modelio nusipirkti neįmanoma, tai ilgo duomenų, informacijos bei žinių kaupimo proceso rezultatas, ypač vertingas kaip konkurencingas turtas, vedantis į tikslą.

Sukurtas modelis tarsi įmonės navigacinė priemonė, kurios veikimas pagrįstas didele gaminių įvairove ir mažomis apimtimis (high product variety and low volumes) principais ir jų taikymu. Išskiriami penki pagrindiniai elementai, kiekvieno iš jų bendras tikslas mažinti iki minimumo procesų trukmę ir taip sumažinti gamybos kaštus (2.13 pav.) [1].

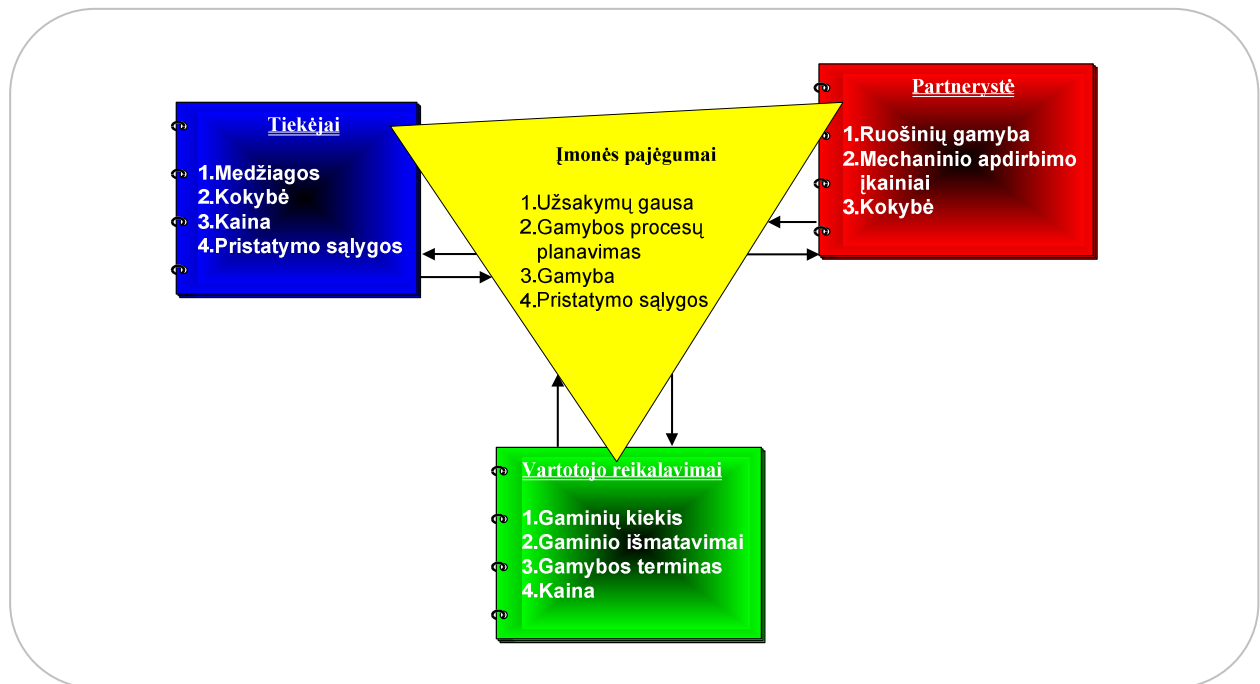


2.13 pav. Sistemos elementų tikslas

Pagrindiniai parametrai įtakojantys nagrinėjamos įmonės funkcijas išreiškiami funkcinė priklausomybe (2.14 pav.) [1]:

$$GF = f_1(S_i, P_j, C_l, N_s) \quad (2.1)$$

Čia: S_i – tiekėjų potencialas; P_j – partnerystės įtaka; C_l – vartotojo reikalavimai; N_s – įmonės pajėgumai.



2.14 pav. Vartotojų – partnerių – tiekėjų – gamintojų bendradarbiavimas

Priklausomybė (1) sudaryta pagal turimą informaciją apie įmonės veiklą, kurios išėjimo duomenys - įmonės produkto vertė V , darbo trukmė T bei gamybos sąnaudos S :

$$\begin{cases} V \rightarrow \max \\ T \rightarrow \min \\ S \rightarrow \min \end{cases} \quad (2.2)$$

Norint išpildyti sąlygą (2) siekiame spartinti gamybą, didinti produktyvumą, pagerinti gaminio funkcionalumą, jo charakteristikas bei eksploatacines savybes, sukuriame gaminio vertę V , kurios išraiška galima užrašyti:

$$V = f_2(R, U, Q) \rightarrow \max \quad (2.3)$$

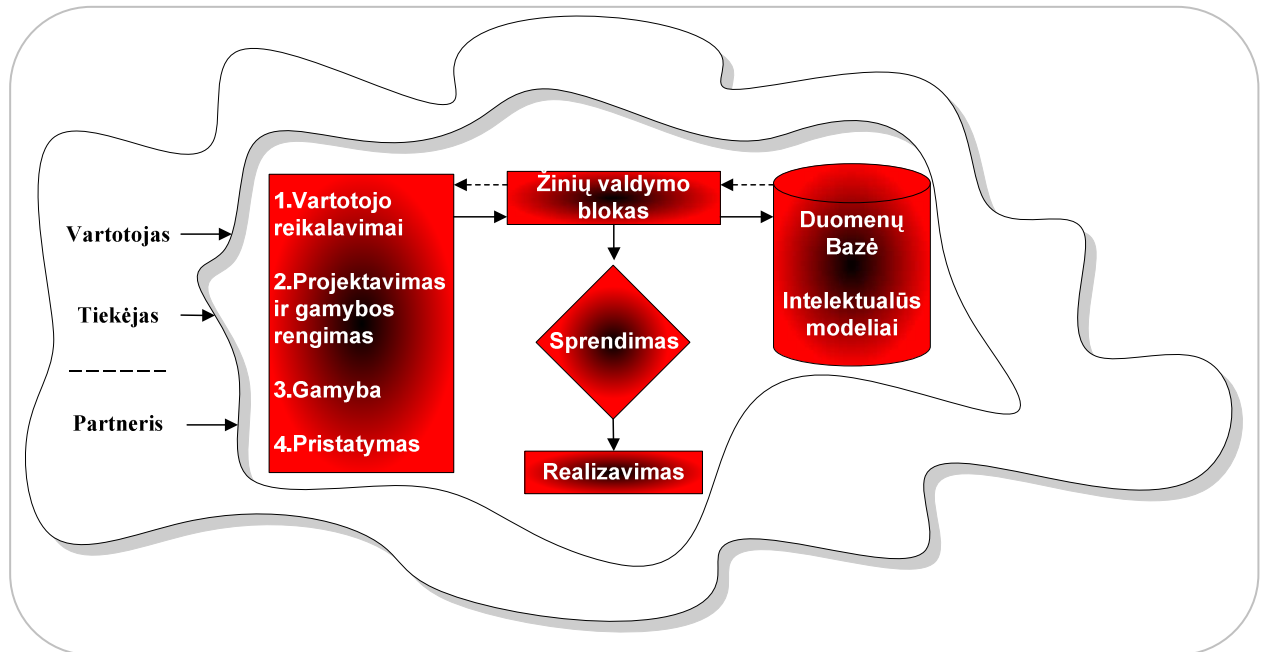
Čia: R – eksploatacinės savybės; U – gaminio funkcionalumas; Q – kokybė.

Gerindami gaminio kokybę, eksploatacines savybes bei didindami funkcionalumą, savaime didiname gamybos trukmę T bei sąnaudas S , nors tai prieštarauja sąlygai (2), kada T :

$$T = f_3(t_1, t_2, t_3, t_4) \rightarrow \min \quad (2.4)$$

Kur: t_1 – gamybos bei gaminio projektavimo laikas h, atsižvelgiant į vartotojo reikalavimus; t_2 – gamybos laikas h; t_3 – laikas h, siejamas su įmonės partneriais bei tiekėjais; t_4 – gaminio pristatymo vartotojui laikas h.

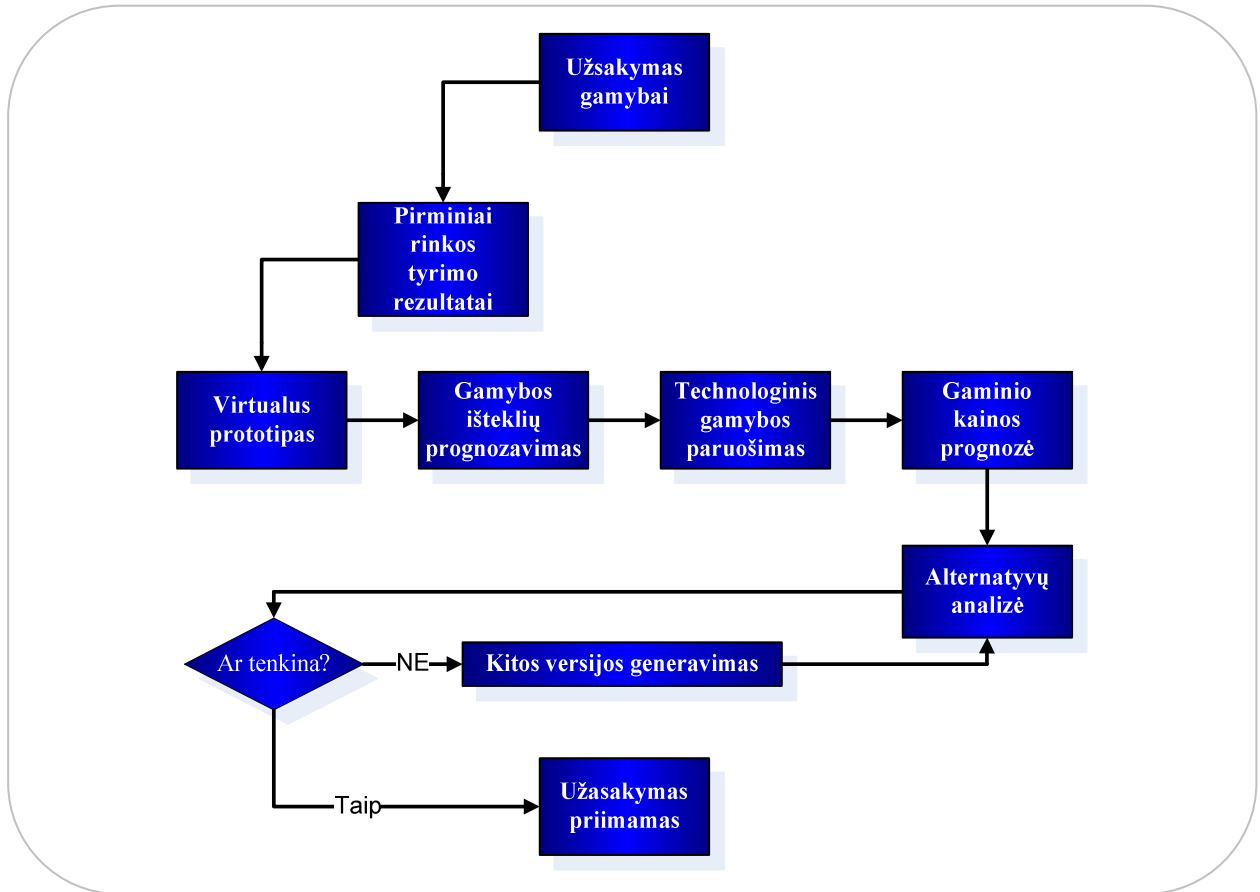
Prieštaravimų sprendimui priimti padeda gamybos sistemos modulis, kuriame užkoduota specialistų ir ekspertų sukaupta patirtis, žinias atvaizduojant taisyklių, atvejais grindžiamų, matematinės logikos modelių priemoneis bei užrašyta ir saugoma kompiuteriniu pavidalu (2.15 pav.) [1].



2.15 pav. Informacijos apdorojimo blokas

Pagrindinis modulio uždavinys siekti komercinės naudos, vienu metu ir nepertraukiamai atliekant darbus vienoje vartotojo – konstruktoriaus – gamintojo – pardavėjo veiksmų grandinėje. Todėl siekdami pelno turime laikytis ne tik būtinų priemonių anksti įvertinančių kuriamo gaminio sąnaudas, bet ir ieškoti sprendimų joms mažinti.

Apibendrinus vartotojo poreikius bei juos restruktūrizavus, pradedamas ypač svarbus ankstyvasis gaminio kūrimo etapas, kuris įgalina greičiau parinkti tinkamiausią gaminį, tenkinantį pirkėjo reikalavimus mažiausiomis sąnaudomis. Remdamiesi turimomis rinkos tyrimų išvadomis ir analogiškų gaminių kainomis rinkoje, nusprendžiame ar pelninga naują gaminį (ar jo dalį) gaminti, ar geriau nusipirkti gatavą, nes prognozuojamos didelės gamybos išlaidos. Tokiu atveju, kai rinkos arba partnerių siūlomi gatavi produktai nuostolingi įmonei, reikia kurti kitas gaminio versijas ar ieškoti kitų gaminių, neradus užsakymas nepriimamas (2.16 pav.) [2].



2.16 pav. Gamybos sąnaudų prognozė ankstyvoje gaminio kūrimo stadijoje

Išlaidos naujo gaminio gamybai IG reiškiamos tokia funkcinė priklausomybe [14]:

$$IG = f(MR, DL, VS); \quad (2.5)$$

Čia: MR – medžiagos ir ruošiniai; DL – darbo laikas; VS – veiklos sąnaudos.

Joms apskaičiuoti pradinėje gaminio kūrimo stadijoje naudojama tokios formulė:

$$IG = (IT + IN) IP; \quad (2.6)$$

Kur: IT – tiesioginės išlaidos, Lt; IN – netiesioginės išlaidos, Lt;

IP – pridėtinės išlaidos, $IP = 1.05 \div 1.30$;

Kadangi magistriniame darbe analizuojamas tik korpusinė gaminio detalė, priimame, jog netiesioginių bei pridėtinių išlaidų skaičiavimas atliekamas tik pilnai sukomplektavus gaminį. Todėl pateikiame tik tiesioginių išlaidų prognozavimo struktūrą, kuri yra pastovi ir nekintama atskiram gaminio vienetui. Tiesioginės gamybos sąnaudos įvertinamos:

$$IT = ID + IM, \quad (2.7)$$

ID – darbo laiko kaina, Lt; IM – išlaidos medžiagoms, Lt;

$$ID = \sum_{i=1}^m Tm_i \cdot hm_i \cdot am_i + \sum_{j=1}^n Td_j \cdot hd_j \cdot ad_j + \sum_{k=1}^l Tr_k \cdot hr_k \cdot ar_k, \quad (2.8)$$

Čia: Tm , Td , Tr – mechaninio apdirbimo, padengimo ir rinkimo operacijų operaciniai laikai, min.; hm , hd , hr – mechaninio apdirbimo, padengimo ir rinkimo operacijų sąlyginiai

valandiniai įkainiai, Lt/min; am – koeficientas, rodantis operatoriaus aptarnaujamų staklių skaičių ($am = 1$, naudojant rankinio valdymo stakles, $am = 0,3 - 0,4$ – programinio valdymo stakles); ad – koeficientas, rodantis aptarnaujamų padengimo įrengimų skaičių; ar – koeficientas, rodantis rinkimo proceso automatizavimo lygį ($ar = 1$ renkant rankomis).

$$IM = \sum_{k=1}^p Mr_k \cdot hr_k + \sum_{l=1}^r Md_l \cdot hd_l + \sum_{h=1}^s Mp_h \cdot hp_h + \sum_{g=1}^h Kk_g \cdot hk_g, \quad (2.9)$$

Čia: Mr , Md , Mp – pagrindinių (ruošinių), dangų ir pagalbinių medžiagų masės, kg; Kk – komplektuojamų (perkamų) komponentų skaičius; hr , hd , hp – pagrindinių, padengimo ir pagalbinių medžiagų vieneto kainos, Lt; hk – komplektuojamų komponentų vieneto kaina, Lt.

Taigi tiesioginių gamybos išlaidų mažinimas visada priklauso nuo gaminio konstrukcijos, gamybos technologijos bei geresnio vartotojų – partnerių – tiekėjų – gamintojų bendradarbiavimo. Dažnai didinant išlaidas medžiagoms mažėja darbo laiko kaina ir atvirkščiai.

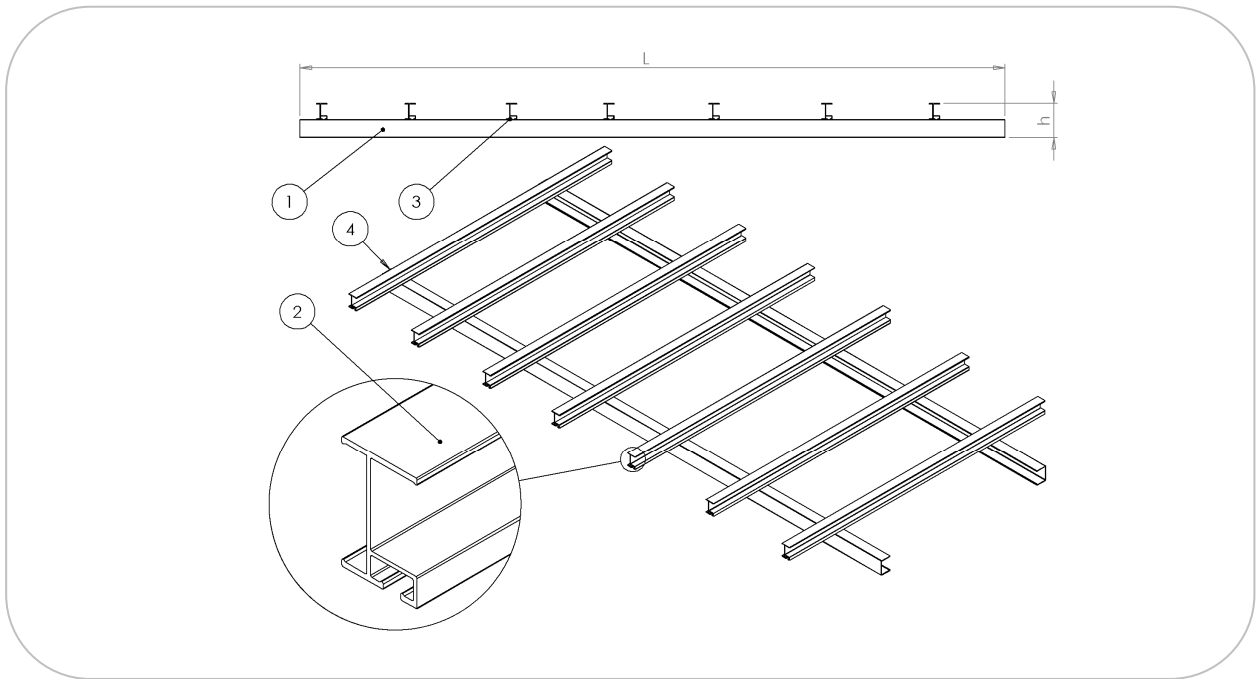
2.4 Gamybos sąnaudų prognozavimas ankstyvoje gaminio kūrimo stadijoje

Ankstyvajai naujo gaminio konstravimo stadijai būdinga jo variantų įvairovė ir didelis neapibrėžtumas, o gamybos sąnaudų skaičiavimas grindžiamas prognozavimo metodais. Gamybos sąnaudų mažėjimui, be gaminio konstrukcijos kitimo ir tobulėjimo, įtakos dar turi alternatyvių medžiagų paieška, apdirbamumas, turimos technologijos bei procesų tradicijos.

Kadangi daugelis mažų įmonių yra suvaržytos dėl riboto kapitalo naujoms investicijoms, todėl būtina iš anksto numatyti išteklių paskirstymo investicijoms planą. Remdamiesi nagrinėjamos įmonės analize, gaminio konstrukcijos (2.17 pav.) sprendimu siekiame:

- Sumažinti mechaninio apdirbimo operacijas ir procesus,
- Naudoti racionalius ruošinius,
- Paprastesnių gaminio surinkimo operacijų ir procesų,
- Išvengti metalo dangų bei dažymo technologijos,
- Gaminio konstrukciją maksimaliai derinti su kompanijos padaliniuose naudojamais procesais .

Porėmio konstrukcijos technologijos proceso operacijų deriniamis lemiamos įtakos turi gaminio detalių skaičius, jų gabaritų matmenys, tipinių ar standartinių elementų kiekiai, jų kiekybiniai ir kokybiniai parametrai.



2.17 pav. Aliuminio porėmio konstrukcija iš aliuminio profilių

Gamybos sąnaudų skaičiavimui kuriamos duomenų bazės. Kuriant jas labai dažnai tenka normalizuoti gausybę duomenų požymių ir ryšių tarp jų. Renkant visų duomenų elementus į vieną duomenų bazę, įmanoma struktūrizuoti juos pagal paskirtį. Gamybos sistemos duomenų bazės bylose kaupiama informacija apie tiekėjus, duomenys apie ruošinių ar standartinių gaminių charakteristikas, kainos (2 lentelė).

Duomenys apie medžiagą

lentelė2

Detalės numeris	Medžiaga	Kaina, Lt/kg
1	Aliuminio lovinė sija	21
2	Aliuminio profilis	25
3	Aliuminio profilis	19
4	Aliuminio profilis	19

Jau turint atliktas detalių technologiškumo analizės, nustatomas jiems pagaminti gamybos technologinio proceso turinys, parenkami įrengimai, įrankiai bei darbininkų, atliekančių mechanines operacijas vienetiniai laikai. Jie labai priklauso nuo gamybos sistemos paskirties, pobūdžio, technologijos tradicijų, bendradarbiavimo partnerių ir kitų veiksnių (lentelė3) ir (lentelė 4).

Detalių apdirbimas

lentelė3

Detalės numeris	Operacija	Turinys	Įrenginys	T laikas min	Pjovimų skaičius
1	Aliuminio sijų pjaustymas	Iš ruošinio atpjaunama reikiamo ilgio sija	Metalo pjovimo	8	2
2	Aliuminio profilių pjaustymas	Iš ruošinio atpjaunama reikiamo ilgio profilis	Metalo pjovimo	10	2
3	Aliuminio profilių pjaustymas	Iš ruošinio atpjaunama tvirtinimo detalė	Metalo pjovimo	6	2
	Gręžimas	Tvirtinimo detalės gręžimas	Gręžimo	12	1
4	Aliuminio profilių pjaustymas	Iš ruošinio atpjaunama tvirtinimo detalė	Metalo pjovimo	6	2
	Gręžimas	Tvirtinimo detalės gręžimas	Gręžimo	12	1
	Montavimas	Porėmio konstrukcijos surinkimas	Rinkimas rankomis	480	

Operacijų sąlyginiai valandiniai įkainiai**lentelė4**

Numeris	Įrengimai/Operacijos	Operacijų sąlyginiai valandiniai įkainiai, Lt/min
1	Diskinis metalo pjovimo įrenginys	1,5
2	Gręžimo įrenginys	1,5
3	Montavimas	0,8

Visi šie duomenys aprašo gamybos procese naudojamus įrengimus ir technologijos įrangą. Tai vieni svarbiausių gamybos sistemos duomenų. Jie naudojami ne tik projektuojant technologijos procesus, bet ir kontroliuojant “siauras” gamybos vietas, atskirų įrengimų apkrovimą bei technologinės įrangos įvairovę. Šie duomenys apima visų tipų kiekvieną gamybinio padalinio įrengimą. Tai dalis gamybos planavimo išteklių. Duomenys gali apimti įrengimo parametrus (visus ar dalį svarbiausių). Labai svarbūs duomenys apie įrengimo darbo kainą laiko vienetui.

Remiantis (2.7) išraiška tiesioginės gamybos sąnaudos įvertinamos (lentelė 5):

Konstrukcijos detalių sąnaudos**lentelė5**

Detalės numeris	Medžiagos Kaina, Lt/kg	Mechaninis apdirbimas Kaina, Lt	Detalės Kaina, Lt/kg
1	21	12	33
2	25	15	40
3	19	27	46
4	19	27	46

Gamybos sąnaudų prognozavimas ankstyvoje gaminio kūrimo stadijoje leidžia išbandyti daugiau projektavimo alternatyvų ir taip pagerinti kokybę, sutrumpinti gaminio kūrimo proceso bei gamybos laiką.

Baigiant praktinę magistro darbo dalį, galima konstatuoti, kad atlikta išsami nagrinėjamos mažos įmonės veiklos analizė leido sukurti gamybos sistemos modelį. Šis modelis neprieštaruja pagrindinėms integruotos gamybos sistemos nuostatomis, turim tikėti, kad jis padėtų efektyviau įgyvendinti įmonės tikslus bei uždavinius. Reikia visada būti pasiruošusiam naudoti naujas idėjas, laužyti tradicijas. Beveik kiekvienas sumanymas yra įgyvendinamas, jeigu tam skiriama pakankamai laiko ir resursų. Integruota gamybos sistema pati savaime vertės neturi, jos vertė atsiranda tinkamai ją įdiegus. Domėjimasis diegimo metodais, kūrimas naujų, puiki proga įmonės darbuotojams nuosekliai įvaldyti naujus darbo metodus ir pajusti naujovių naudą. Nors įmonių, naudojančių integruotas gamybos sistemas, kiekvieną dieną vis daugėja, tačiau sėkme gali pasigirti ne kiekviena, tačiau negalime teigti, kad metodika yra prasta, iš tikrųjų nesėkmingas gali būti diegimas, o ne pati technologija.. Taip pat, sukūrus sistemą, dažnai atsiranda naujų poreikių ir anksčiau įsivardinti tikslai, kelti sistemai, dažnai yra pamirštami ir iškart keliami nauji, todėl kad tiek darbuotojai, tiek vadovai, įvedinėjantys sistemą kompanijoje, aktyviai dalyvauja jos tobulinime ir vystyme.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

Šiame magistro baigiamajame darbe buvo nagrinėjami integruotos gamybos sistemos teoriniai aspektai, konkrečios gamybinės įmonės veiklos procesai bei jų gerinimo metodai naudojant integravimo principus; padarytos sekančios išvados:

1. Sukurto integruotos veiklos modelio taikymas lemia gamybos proceso sėkmę, nes padeda savalaikiai nustatyti naudojamų medžiagų ir žaliavų poreikį bei tiekimo alternatyvas.
2. Sukurto integruoto modelio naudojimas gamybos organizacijoje leidžia padidinti inžinierių veiklos efektyvumą 1.5 – 1.8 karto.
3. Naujo gaminio kūrimo ciklas integruotoje aplinkoje trumpinamas naudojant virtualius gaminių prototipus, mažinant eksperimentinės gamybos darbų apimtį.
4. Integruotos gamybos sistemos diegimas ne tik pagerintų ir palengvintų projektų valdymo veiklą, bet ir leistų žymiai sumažinti projektų išlaidas ir trukmę.
5. Vien tik naujos gamybos technologijos negali padėti įmonėms siekti didesnio pelno, tam reikia atitinkamos struktūros, darbuotojų kvalifikacijos, žinių, patirties bei motyvacijos.
6. Sukurto integruoto modelio naudojimas gamybos organizacijoje leidžia padidinti gaminių ir procesų kokybę 2 – 2.5 karto, nes ji tikrinama kiekviename gaminio gyvybingumo ciklo etape.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Anušienė L., Bargelis A. Decision support system framework for agile manufacturing of mechanical products. – *Mechanika*. – Kaunas: Technologija, 2007, Nr 3, p. 65.
2. Bargelis A. Mechanikos gaminių gamybos rengimo automatizavimas. Monografija.- Kaunas: Technologija, 1996.- 244 p. ISBN 9986-13-388-2.
3. Bargelis A. Integruotos gamybos pagrindai. Vadovėlis.- Kaunas: Technologija, 1998.- 193 p. ISBN 9986-13-599-0.
4. Bargelis A. Gamybos plėtros strategija. Vadovėlis.- Kaunas: Technologija, 2002.- 228 p. ISBN 9955-09-253-X.
5. Bargelis A., Hoehne G., Česnulevičius A. Intelligent Functional Model for Costs Minimization in Hybrid Manufacturing Systems.// *Informatika*. Vol.15 No. 1. 2004 (Institute of Mathematics and Informatics Lithuanian Academy of Sciences). Vilnius. p. 3-22.
6. Dzemydienė D. Intelektualizuotų informacinių sistemų projektavimas ir taikymas: monografija. Vilnius: Mykolo Romerio universitetas. 2006, P. 352
7. Jeffry K. Liker. Toyota. Sėkmės kelias. 14 kompanijos valdymo principų. Leidykla "Smaltija", 2006, 382p,
8. Gudas S. Organizacijų veiklos modeliavimas. Vadovėlis.– Kaunas: Technologija, 2000. – 134 p.
9. Labutinė E. S. Koncernų steigimas ir valdymo organizavimas. V., 1996.
10. Lalas C., Mourtzis D., Papakostas N., Chryssolouris G. A simulation-based hybrid backwards scheduling framework for manufacturing systems.// *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 19, No. 8, 2006 , p. 762-774(13)
11. Maceika A. Technologijų projektavimo ir naudojimo vadyba. Mokomoji knyga. - Vilnius: Technika, 2006, 111p.
12. Mackevičius J. Įmonių veiklos analizė : informacijos rinkimas, sisteminimas ir vertinimas. Monografija. - Vilnius : TEV, 2005 476 p.
13. Mankutė R., Bargelis A. Mechaninio apdirbimo procesų rengimo automatizavimas. Mokomoji knyga.- Kaunas : Technologija, 1997. -140 p. - ISBN 9986-13-536-2
14. Mankutė R. Mechaninių komponentų technologinio gamybos paruošimo integruotas projektavimas. Daktaro disertacijos santrauka : technologijos mokslai, mechanikos inžinerija (09T) / ; Kauno technologijos universitetas. Kaunas : Technologija, 2000. 23 p.

15. Medekšas H. Gaminio kokybė ir patikimumas. Vadovėlis.- Kaunas: Technologija, 2001. 280 p.
16. Pappas M., Karabatsou V., Mavrikios D., Chrysolouris G. Development of a web-based collaboration platform for manufacturing product and process design evaluation using virtual reality techniques.// International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 19, No. 8, 2006 , p. 805-814(10)
17. Probst G., Raub S., Romhardt K. Žinių vadyba: Sėkmės komponentai. Vilnius: Knygiai, 2006.
18. Woeppel Mark J. Gamybininko vadovas : kaip įgyvendinti apribojimų valdymo pokyčius? Vilnius, 2007. 255p.