

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Imantas Norvilis

DETALIŲ KONSTRUKCINIŲ ELEMENTŲ PARAMETRŲ
TIKSLUMO TYRIMAS

Magistro baigiamasis darbas

Šiauliai, 2012

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

DETALIŲ KONSTRUKCINIŲ ELEMENTŲ PARAMETRŲ
TIKSLUMO TYRIMAS

Magistro baigiamasis darbas

Autorius — Imantas Norvilis (MM—10 gr.)

Vadovas — doc. dr. D. Čikotienė

Recenzentas — doc. dr. A. Sabaliauskas

Katedros vedėjas — doc. dr. A. Sabaliauskas

Šiauliai, 2012

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	5
PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS.....	6
SANTRAUKA.....	7
THE SUMMARY	8
ĮVADAS.....	9
1. GAMINIO KOKYBĖS UŽTIKRINIMAS TAIKANT STATISTINĘ PROCESO KONTROLĘ 11	
1.1. Kokybė, procesas ir kontrolė.	12
1.2. Statistinė proceso kontrolė, kaip kokybės valdymo dalis.....	13
1.3. Konstravimo kokybė	14
1.4. Detalės tikslumas	15
1.5. Pagalbiniai įrankiai, taikant valdymo grafiką, procesams.....	17
1.6. Valdymo grafikas, kaip matavimo įrankis.....	17
1.6.1. Bendras supratimas	17
1.6.2. Priežastys.....	19
1.6.3. R, sklaidos plotas	20
1.6.4. Proceso pajėgumas	21
1.7. Duomenų rinkimas ir ribų nustatymas	22
2. VALDYMO GRAFIKŲ SUDARYMAS TAIKANT STATISTINĖS PROCESO KONTROLĖS METODIKĄ.....	25
2.1. Valdymo grafiko sudarymas.....	25
2.1.1. Kontrolės ribos ir grupavimosi centras	25
2.1.2. Gerų detalių procentinis kiekis	27
2.1.3. Proceso pajėgumas	28
2.2. Statistinės proceso kontrolės metodika	28
2.2.1. Organizacijos metodo įgyvendinimo etapai.	29
2.2.2. Organizacinė struktūra įgyvendinant SPK	31
2.2.3. Metodologinė struktūros dalis: septynių žingsnių metodas.	32
3. KONSTRUKCINIO ELEMENTO PARAMETRO TIKSLUMO TYRIMAS NAUDOJANT STATISTINĘ PROCESO KONTROLĘ	38
3.1. Esamo proceso veiksnumas	39
3.2. Esamo proceso veiksnumo palyginimas su konstruktoriaus užduotomis ribomis.....	41
3.3. Procentinio geros kokybės gaminių kiekio nustatymas, naudojant esamą gamybos procesą	43
3.4. Proceso pajėgumo rodikliai	45

3.5. Blogai pagaminamų gaminių priežastys.....	45
3.6. Korekciniai veiksmai.....	49
3.6.1. Preciziško ir tikslaus proceso, gerų konstrukcinių elemento parametrų kiekis.....	49
3.6.2. Kintamųjų verčių nustatymas procesui, atitinkantis konstrukcinio elemento parametro reikalavimus	50
3.6.3. Laikini sprendimo būdai.....	51
IŠVADOS.....	53
REKOMENDACIJOS IR PASŪLYMAI	54
LITERATŪRA	55
1 PRIEDAS.	56
2 PRIEDAS.	57
3. PRIEDAS.	58

LENTELIŲ SARAŠAS

2.1 lentelė. Konstrukcinio elemento parametrų prilyginimas procesams.....	32
2.2 lentelė. Priežastys ir poveikiai.....	33
2.3 lentelė. Procesų prioritetinės rizikos analizė.....	34
3.1 lentelė. Matavimo rezultatai.....	39
3.2 lentelė. Valdymo grafiko ribos.....	40
3.3 lentelė. Proceso veiksnio duomenys.....	41
3.4 lentelė. Valdymo grafiko ribos, pagal matmens standarto reikalavimus.....	42
3.5 lentelė. Proceso pajėgumo rodikliai.....	45
3.6 lentelė. B plokštumos atstumas iki bazinio paviršiaus.....	47
3.6 lentelė. Valdymo grafiko parametrai.....	47
3.7 lentelė. Prioritetinė rizikos vertė sumažinus priežasties dydį.....	51

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Optimalios T tolerancijos nustatymas: S_1 —mašinos eksploatavimo išlaidos; S_2 —gamybos savikaina; S —bendrųjų išlaidų kreivė. [3].	16
1.2 pav. Valdymo grafikas	18
1.3 pav. Sklaidos ploto grafikas	20
1.4 pav. Gauso skirstinys: σ_1 — 4 taško skirstinys; σ_2 — valdymo grafiko skirstinys.	21
1.5 pav. Skirstiniai	23
1.6 pav. Proceso centro persislinkimas	24
2.1 pav. Organizacinė struktūra įgyvendinant SPK [9]	31
2.2 pav. Prioritetinės rizikos vertės	36
3.1 pav. Užsakovo detalė	38
3.2 pav. Frezavimo centras Haas VF9	39
3.3 pav. Kairiosios grandies konstrukcinio elemento 14,5mm matmens valdymo grafikas	40
3.4 pav. Dešinėsios grandies konstrukcinio elemento 14,5mm matmens valdymo grafikas.	41
3.5 pav. Kairiosios grandinės valdymo grafikas pagal konstruktoriaus užduotas ribas	42
3.6 pav. Dešinėsios grandinės valdymo grafikas pagal konstruktoriaus užduotas ribas	43
3.7 pav. Kairiosios grandinės, gerų detalių, procentinis kiekis	44
3.8 pav. Dešinėsios grandinės, gerų detalių, procentinis kiekis	44
3.9 pav. Detalės ruošinys	46
3.10 pav. Ruošinio matavimo schema	46
3.11 pav. Kairiosios grandies ruošinio matmens valdymo grafikas	48
3.12 pav. Dešinėsios grandinės ruošinio matmens valdymo grafikas	48
3.13 pav. Kairiosios grandinės koreguoti proceso rezultatai	49
3.14 pav. Dešinėsios grandinės koreguoti proceso rezultatai	49
3.15 pav. Ruošinio bazavimo schema	52

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Imantas Norvilis. DETALIŲ KONSTRUKCINIŲ ELEMENTŲ PARAMETRŲ TIKSLUMO TYRIMAS. Magistranto baigiamasis darbas / vadovas doc. dr. D. Čikotienė.

SANTRAUKA

Darbe tiriama apdirbimo proceso įtaka konstrukcinio elemento parametro tikslumui, taikant statistinę proceso kontrolę (SPK). Renkami ir interpretuojami duomenys, pagal kuriuos nustatoma proceso būklė (kontroliuojamas, nekontroliuojamas).

Naudojantis SPK įrankiu, valdymo grafiku, stebimas pasirinktas konstrukcinio elemento parametras, pagal kurį nustatomas proceso pajėgumas, jo atitikimas gaminio specifikacijai. Pasinaudojus normaliojo (Gauso) skirstinio savybe, nustatytas procentinis gerų gaminių kiekis. Naudojant SPK metodą, aptiktos netinkamai pagamintų konstrukcinio elemento parametrų priežastys. Atsižvelgiant į gautus rezultatus pasiūlyti sprendimai, kurie leistu gaminti ekonomiškai naudingą gerų detalių skaičių.

Konstrukcinio elemento parametrų tikslumo tyrimo metodo taikymas parodė, kad tikslingiau priimti sprendimus pagal realius tyrimų duomenis, o ne pagal prielaidas. Šio metodo taikymas gali padėti ženkliai sumažinti vidinius bei išorinius kokybės nuostolius.

Reikšminiai žodžiai: statistinė proceso kontrolė; valdymo grafikas.

ŠIAULIAI UNIVERSITY
FAKULTY OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

Imantas Norvilis. ANALYSIS OF THE PRECISION OF THE PARTS CONSTRUCTIONAL ELEMENTS PARAMETERS. Master final work / research advisor doc. dr. D. Čikotienė.

THE SUMMARY

This study investigates the machining process influence to the accuracy of constructional element, using statistical process control (SPC). Also, to determine status of the process (controlled, uncontrolled), data were collected and interpreted.

With the SPC tool, control charts, monitoring the selected constructional element parameter which determines the capacity of the process, its compliance with product specifications. Using the normal (Gaussian) distribution feature, percentage of good quality items was determined. Causes of incorrectly made constructional elements parameters were detected using the SPC method. Given the results solutions were suggested that enables cost-effective to produce of good parts.

Structural element of the accuracy of the assay showed that the appropriate decisions based on real research data rather than assumptions. This approach may help to significantly reduce the internal and external quality losses.

Keywords: Statistical process control; control chart.

IVADAS

Kadangi vartotojų poreikiai nuolatos keičiasi, tuo pačiu ir gaminamos detalės parametrai, įmonės prieš gaminant turi žinoti ar taikomas proceso pajėgumas atitinka keliamus reikalavimus, t.y., ar pasieks konstrukcinio elemento parametro tikslumą, panaudodami vienokį, ar kitokį apdirbimo būdą. Atliekant tyrimą, nebuvo aptikta, nei viena įmonė Lietuvoje, kuri taikytu priemonės fiksuojančias gamybos proceso galimybes. Pritaikius detalei konstrukcinio elemento parametro tyrimo metodą, galima pateikti kaip rodiklį užsakovui, kad naudojamas proceso pajėgumas atitiks norimus gauti rezultatus.

Detalės konstrukcinio elemento parametro verčių nukrypimai nuo projektinių verčių, sukelia vartotojų nepasitenkinimą ir tuo pačiu nuostolių atsiradimą. Nuostoliai dėl gedimo labai priklauso nuo jo aptikimo momento. Pavyzdžiui, jei gedimas aptiktas gamybos procese, tai nuostoliai dėl jų bus mažesni, negu jį aptikus vėliau. Tinkamas metodo pritaikymas leidžia išvengti brokuotų gaminių atsiradimo, gamybos proceso metu.

Metodo panaudojimas, gali būti ne tik kaip prevencinė priemonė prieš netinkamą produkciją, bet taip pat, kaip atskaitos sistema, siekiant tirti proceso kintamųjų įtaką gaminio parametrams bei jų eliminavimo galimybes.

Darbo tikslas pasirinktas, dėl įmonių siekio atitikti ISO 9001 standartą, kuris nurodo: sprendimai apie kokybės sistemą priimami atsižvelgiant į užregistruotus duomenis, be to, sistemos atitikimas ir efektyvumas pastoviai tikrinami ir vertinami; jūs turite suplanuoti visus pagrindinius, jūsų kompanijoje vykstančius procesus; kontroliuoti juos tikrindami, vertindami ir analizuodami bei užtikrinti, kad produktų kokybės tikslai yra pasiekti.

Remiantis ISO 9001 standartu, iškeltas darbo tikslas, ištirti naudojamo proceso įtaką konstrukcinio elemento parametro tikslumui ir jo atitikimą keliamiems reikalavimams.

Užduotys:

- Sukurti organizacijai, konstrukcinio elemento parametro tyrimui, matavimo priemonės (statistinė proceso kontrolė) atlikimo metodiką;
- nustatyti esamo proceso pajėgumą ir palyginti jį su konstruktoriaus užduotomis ribomis;
- nustatyti procentinį geros kokybės gaminių kiekį, esamo proceso veiksnyme;
- rasti priežastis, dėl blogai pagaminamų gaminių ir pasiūlyti korekcinis veiksmus, pateisinančius kokybę.

Pirmame skyriuje pateikta statistinės proceso kontrolės svarbumas, kuris užtikrina kokybės ir projektavimo reikalavimų atitikimą. Pateikiamas bendrinis supratimas apie statistinės proceso

kontrolės įrankius, iš kurių išskirtas svarbiausias — valdymo grafikas. Aprašyta valdymo grafiko funkcijos ir tikslai.

Antrame skyriuje pateiktos priemonės, įgalinančios nustatyti valdymo grafiko ribas, proceso pajėgumo charakteristikas. Aprašyta organizacijos struktūra ir metodologija, įgyvendinant statistinę proceso kontrolę įmonės veikloje.

Trečiame skyriuje atlikta detalės konstrukcinio elemento parametro tikslumo tyrimas, pagal statistinę proceso kontrolės metodiką. Nustatyta proceso būklė ir palyginta su keliamais reikalavimais. Ieškomos priežastys, dėl netinkamo proceso pajėgumo ir pasiūlyti veiksmai padedantys sumažinti arba pašalinti priežastis.

1. GAMINIO KOKYBĖS UŽTIKRINIMAS TAIKANT STATISTINĘ PROCESO KONTROLĘ

Pakankamai didelis globalizacijos reiškinys pasaulyje, jau nieko nestebina. Ekonomikos globalizacija ir standartizacija labai smarkiai pakeičia gamintojų papročius, partnerius, tikslus. Kad verslo gyvybingumas ir sėkmė būtų diena iš dienos kontroliuojami, verslo lyderiai turi pasukti galvą, kaip efektyviau vertinti veiklą. Tai natūralus procesas, nes konkurentai be perstojo gerina savo gaminius ir paslaugas. Klientai ir vartotojai reikalauja geresnių ir pigesnių gaminių, ir laukia jų kuo greičiau. Gamybai nuolatos reikia adaptuotis prie vis besikeičiančių vartotojo poreikių, kurie, kaip taisyklė tampa vis sudėtingesni ir įmantresni. Tik aukšto, šiuolaikinio lygio gamybos sistemos sugeba tiekti rinkoje paklausius gaminius [1], atitinkančius vartotojų poreikius.

Turbūt jau praėjo tie laikai, kai didžioji dalis gaminamų gaminių buvo paremta masiškos gamybos pagrindu, nereikalaujanti adaptuotis prie besikeičiančių veiksnių. Taip sudarytos geros sąlygos, per ilgą laikotarpį ištobulinti tą patį ir vienintelį gaminamą gaminį, taip pasiekiant geros kokybės. Plečiantis gaminių įvairovei, vis mažiau vietos liko šiai senajai strategijai, atsirado naujoji – lanksčios gamybos strategija [1].

Šiuolaikinėje globalizuotoje ekonomikoje, galėtume išskirti dviejų rūšių gaminius: kokybiški ir nevisai kokybiški. Pavyzdžiui, Kinijoje pagaminti produktai, dažnai būna prastesnės kokybės nei tos paties paskirties produktai pagaminti vakarų Europoje. Kokybė tai produkto atitikimas keliamiems reikalavimas. Bet kaip žinoti ar tuos reikalavimus, konkreti įmonė sugebės atitikti.

Įmonė priimdama užsakovo užsakymą, turi savęs paklausti ar sugebės patenkinti jo norus. Dažnai prisiimant naują užsakymą, kurio dar nėra įmonė gavusi, kyla abejonų, dėl sugebėjimo pasiekti matmenį tolerancijos ribose. Matmens tikslumui įtakos turi daug veiksnių: virpesiai, temperatūra, žmoniškasis faktorius, naudojamu medžiagų kokybė, įrengimai, aplinka, įrankiai ir t.t. Visi veiksniai įtakoja pagaminto konstrukcinio elemento tikslumą tuo pačiu ir kokybę. Idealaus matmens dar pasiekti nesugebame ir ekonominiu požiūriu, būtų ne racionalu. Todėl, kiekvienas matmuo turi savo ribas, kurios ekonominiu požiūriu turi būti racionalios.

Vadovaujantis personalas, ieškodamas užsakovo, ar reikiamos informacijos vienokiai ar kitokiai gamybai, visų duomenų apie gamybos ypatumus nežino, dažnai žinios apsiriboja darbuotojų pasakojimu apie operacijos galimybes. Tačiau tai nėra tiksli ir patikima informacija, kuria vadovaujantis personalas galėtų remtis svarstant rimtus klausimus. Kitais žodžiais tariant reikia vengti priimti sprendimų remdamiesi vien savo patirtimi, be objektyvios duomenų analizės. Ar tai mes sugebėsime pagaminti? Koks bus kiekis brokuotų produktų per visą gamybos gyvavimo ciklą ?

Statistinė proceso kontrolė, idealus būtas tirti savo įmonės proceso pajėgumus. Rašydamas žodį „pajėgumas“, turiu omenyje ne tik pagaminamų detalių skaičių per laiko vieneta, bet greičiau, ar parinktas procesas gamybai atitinka keliamus reikalavimus, kaip matmens išlaikymas užduotose ribose. Kad metodas neišpiršto laužtas įrodo, tokių įmonių kaip General Motors, Ford Motors, Motorola metodo naudojimas gaminamos produkcijos kokybei pagerinti.

Konstruktinio elemento parametrų tikslumo tyrimas, tai — sudedamoji kokybės valdymo sistemos dalis, kuri kaip skaitinė reikšmė rodo, kaip procesas veikia gaminio matmenį, atitinka numatytas ribas ir gali būti naudojamas, kaip etalonas siekiant geresnių rezultatų ateityje.

Statistinė proceso kontrolė, geriau žinoma kaip SPK santrumpa, gali tapti svarbia kokybės kontrolės veiklos dalimi. Literatūroje, metodo panaudojimo aprašymas, įgyvendinant SPK, dažnai susitelkia ties metodologiniu aspektu, arba organizacinių aspektų įgyvendinimu [9]. Kadangi abudu, organizaciniai ir metodologiniai aspektai yra svarbūs sėkmingai įgyvendinant SPK, aptariami metodai, kurie apima abudu aspektus.

Statistinės proceso kontrolės pradininku laikomas Shewhart [2], kurio pagalba atsirado valdymo grafikas. SPK yra proceso valdymas per statistinius metodus, kurie siejami su proceso kontroliavimu, pagerinimu ir išlaikymu jį stabilium. Pirmiausia jis buvo panaudotas II pasaulinio karo pramonės tikslams, norint pasiekti geresnės kokybės, gaminant karo amuniciją. Tačiau, metodą labiausiai išpopuliarino Japonijos pramonė, kurią po II pasaulinio karo, padėjo įdiegti E. Deming. Daugelis šios šalies prekių kokybė ir patikimumas nusipelnė pagarbos. Japonijoje sukurta rinka, kurioje svarbiausi kriterijai yra gaminių tikslumas ir patikimumas, patvirtina naudojamų priemonių pagrįstumą.

1950—1980m. Japonijos pramonę parodžiusi gerus rezultatus gaminant kokybiškus gaminius, pritraukė Europos ir Vakarietiškos (JAV) pramonės dėmesį. Didžiausios pasaulio pramonės pamačiusias metodo tinkamumą, užtikrinantį gaminamų gaminių kokybę, pradėjo įgyvendinti SPK, kaip vieną iš veiksnių padedančių užtikrinti kokybės valdymo sistemą, tuo pačiu padedančią išsaugoti savo rinkos dalį, klientus.

1.1. Kokybė, procesas ir kontrolė.

Šiuolaikinėje gamybos aplinkoje, išsami kokybės strategija įvardijama kaip esminis, o ne pageidaujamas veiksnys, kad verslas galėtų egzistuoti [5]. Kokybės negalima sukonzentruoti į viena charakteristiką, nes vartotojas rinkdamas prekę atsižvelgia tiek į kainą tiek į gaminio specifikacijas.

Norėdami išsiaiškinti ar produktas atitinka vartotojo lūkesčius, gamybos vadovas ir kokybės kontrolės vadovas, dažnai analizuoja gaminio parametrų duomenis, surinktus po apdirbimo operacijų. Analizė skirta sužinoti, ar darbas atliktas teisingai? Tokiais veiksmais negalima sakyti,

kad atliekamas kokybės valdymas. Kadangi tikrinti atlikto darbo kokybę, galima susieti tik su padidėjusiomis išlaidomis ir išorinių nuostolių prevencija.

Kokybės valdymo siekianti organizacija turi paklausti savęs, *ar mes galime atlikti darbą teisingai?* Siekti reikia, netikrinti jau pagamintų gaminių kokybę, kurie įvardijami, kaip išteklių švaistymas, o atlikti kokybės kontrolę gamybos ar operacijos proceso metu.

Proceso sąvoką galima įvardyti, kaip sąnaudų transformaciją į rezultatą. Sąnaudoms prilyginamos žaliavos, darbas, metodai ir operacijos, o rezultatams galima prilyginti produkciją, paslaugas, informaciją. Per sąnaudas ir rezultatus galima analizuoti procesą.

Proceso rezultatas yra toks, kuris kažkur arba kažkam pakeičiamas — klientui. Kadangi klientas yra galutinė grandis, tai rezultatai turi atitikti jų keliamus reikalavimus, per sąnaudų stebėjimą, kontrolę ir apibrėžimą. Analizuoti procesus reikia suprasti kas tai yra procesas ir nustatyti sąnaudų ir rezultatų parametrus. [5]

Per susietus proceso charakteristikų matavimų duomenis ir grįžtamuosius ryšius, procesą galima padaryti kontroliuojamu. Kuomet procesas tampa kontroliuojamu, savęs turime vėl paklausti, *ar mes atliekame darbą teisingai?* Kad į tai atsakytume, turime nuolatos stebėti procesą.

Pirmuoju klausimu nustatomas proceso pajėgumas, o antruoju nustatoma jo kontrolė.

1.2. Statistinė proceso kontrolė, kaip kokybės valdymo dalis

Organizacijos kokybė orientuota į vartotojų esamų ir numanomų poreikių patenkinimą, per visas organizacijos funkcijas ir veiklas. Tai yra pagrindinis įmonės tikslas, tačiau ne vienintelis. Visi kiti tikslai atsiranda kaip apribojimai, kurie veikia metodus, kuriais įmonės siekia vartotojo reikmių įgyvendinimo [4].

Kokybės valdymo sistema, per vadovavimą, procesus (gamyba arba paslaugas), personalą, inovacijas, tiekėjus, vartotojus, informacijos, gali pagerinti savo teikiamos paslaugos ar gamybos kokybę. Jos yra vienodai svarbios kokybės atžvilgiu ir negali būti išskirta nei viena kokybės valdymo sistemos sfera, kurią pagerinus, galima tikėtis visiškos kokybės užtikrinimo. Pagerinus tik vieną kokybės valdymo sistemos dalį, pavyzdžiui, pagerinus tik vartotojų apklausos surenkamus duomenis, kokybės pagerėjimas būtų ne žymus ar visai jo nebūtų.

Įmonės siekiančios kokybės valdymo sistemos visuose lygiuose, gali būti prilyginamos ISO 9000 standarto sertifikavimui. ISO 9000 padeda įmonei vystyti galimybes rasti užsakovų ir juos išlaikyti. Tačiau, kad standarto siekimas nebūtų padrikas, išskiriami įmonės kokybės veiklai reikalingi koordinavimo elementai: kokybės planavimas; kokybės kontrolė; kokybės gerinimas; kokybės užtikrinimas.

Statistinė proceso kontrolė metodas, tinkama priemonė kontroliuoti, gerinti, užtikrinti kokybę, gamybos procesuose. Metodas tinkamas ne vien gamybos procesuose, bet taip pat gali būti panaudotas ir su kitomis kokybės valdymo sistemomis. Kadangi darbas orientuotas į gaminio konstrukcinio elemento parametro tikslumo tyrimą, kuris glaudžiai siejasi su gamybos procesu, tai statistinės proceso kontrolės pritaikymas kitoms kokybės valdymo sferoms nebus aptariami.

Kad SPK būtų efektyviai panaudota, reikalingas kokybės planavimas, kuris atliekamas pasinaudojus gedimo būdo ir poveikio analizės metodu, nustatant prioritетines rizikos vertes. Taip pat galima pasinaudoti Pareto analize, siekiant našiausio būdo pagerinti procesą. Tai yra, kaip papildomos priemonės nustatant efektyvų SPK panaudojimą, gamybos procesuose.

ISO 9000 standarte kokybės kontrolė apibrėžiama, kaip kokybės valdymo dalis, kuri užtikrina reikalavimų įgyvendinimą. Kontrolė užkerta kelią netinkamiems pasikeitimams, kurie gali atsirasti gaminant gaminius [4]. Statistinė proceso kontrolė idealus variantas siekiant užtikrinti gaminio kokybės kontrolę. Metodas tiesiogiai neužtikrina kontrolės, tai yra nesiima jokių fizinių veiksmų užfiksavus nukrypimus, tačiau pateikia informaciją, kada reikalingi korekciniai veiksmai, siekiant išlaikyti kontroliuojamą procesą. Tai tarsi garsinis signalas, reikalaujantis inžinierių, operatoriaus dėmesio.

Statistinė proceso kontrolė, neapsiriboja tik kokybės kontrole. Nustačius esamo proceso pajėgumą, galima laikyti kaip etaloną, pagal kurį bus lyginami vėlesnei proceso pakeitimai. Tai tarsi kokybės gerinimui nustatyta atskaitos sistema, kuri reikalinga, siekiant sužinoti ar pasiektas, koks nors proceso pagerinimas. SPK kokybės pagerėjimas atvaizduojamas per kontrolės ribų susiaurėjimą. Tai pasiekama ne per klaidų taisymą, o per veiklos gerinimą.

Kokybės užtikrinimu, siekiama, nustatyti ar

Konstravimas skirtas paversti kliento norus į specifinius konstrukcinio elemento parametrus. Konstravimo etape atliekami skaičiavimai, kuriais siekiama, kad gaminys būtų reikiamos kokybės, tikslus ir ne brangiai pagaminamas. Pradedant nuo mašinos paskirties išsiaiškinimo, konstrukcijos suprojektavimo, detalių ir visos mašinos tolerancijos nustatymo, detalių gamybos ir mašinos rinkimo technologijos proceso sudarymo ir baigiant technologinių sistemų derinimu ir kitais darbais. Skaičiavimams naudojama matmenų grandinių teorija. Remiantis šia teorija, apskaičiuojami nominalieji matmenys, tolerancijos, tolerancijos laukų vidurio koordinatės ir ekonomiškiausiai pasiekiamas reikiamas tikslumas konstruojant, gaminant, remontuojant ir eksploatuojant gaminius.

Projektavimo kokybė turi remtis ne tik surinktais duomenimis iš marketingo (vartotojų apklausų), o taip pat ir gamybos skyriaus. Glaudus bendradarbiavimas tarp skyrių reikalingas tam, kad gaminys atitiktų vartotojų poreikius ir gamybos pajėgumus.

Tai dalis, kurioje produktas ar paslauga įgauna nurodyta konstrukciją, pagal kliento poreikius. Kad gaminys atitiktų kokybę, reikalingas produkto tikrinimas, kuris yra glaudžiai susijęs su gamybos operacijų charakteristikomis. Efektyviam duomenų rinkimui ir analizavimui, dėl gaminio kokybės, taikoma statistinė proceso kontrolė.

1.4. Detalės tikslumas

Detalės tikslumu laikomas jos parametrų priartėjimo prie brėžinyje nurodytųjų laipsnis [3]. Kadangi pagaminti gaminio konstrukcinius elementus pagal nominalius matmenis neišeina, tai yra nustatytas parametrų laipsnis, kuris leidžia tam tikrus nukrypimus nuo absoliutaus tikslumo. Nukrypimas atsiranda, dėl kintančių veiksnių, kurie įtakoja gamybos procesą. Gerinant gaminio kokybę, siekiama sumažinti kintančių veiksnių dydį arba juos visai eliminuoti.

Visus gaminio parametrus galima suskirstyti į: matmenys; paviršių forma ir paviršių tarpusavio padėtis, paviršių banguotumas ir šiurkštumas. Visi parametrai bendrai nustato gaminio formą, ir leistinus nukrypimus.

Matmuo — tai atstumas tarp dviejų paviršių arba tarp dviejų to paties paviršiaus dalių, kurio tikslumas nurodomas brėžinyje skaitmeniniais nukrypimais arba tikslumo kвалitetais.

Paviršių formos tikslumas — suprantamas kaip priartėjimo laipsnis prie geometriškai taisyklingų paviršių, su kuriais realūs paviršiai tapatinami. Paviršiaus formos tolerancija sudaro matmens tolerancijos dalį.

Paviršių tarpusavio padėties tikslumas apibūdinamas, kaip plokštumų, ašių padėties leistini nukrypimai nuo norimos gauti padėties. Jeigu matmens ir paviršiaus formos nukrypimai išreiškiami tiesiniais vienetais, tai paviršiaus tarpusavio padėties nukrypimai — kampiniais.

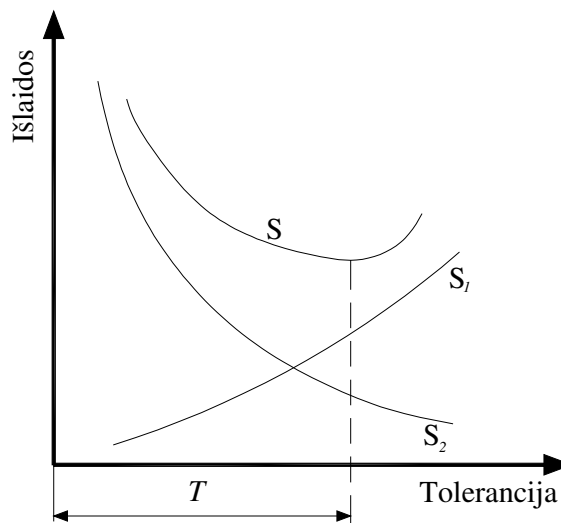
Paviršiaus banguotumas yra visuma daugiau ar mažiau reguliariai pasikartojančių pakilimų ir įdubimų su bangos žingsniu, daug didesniu už jos aukštį.

Apdirbto paviršiaus nelygumų visuma su santykinai mažais žingsniais yra paviršiaus šiurkštumas.

Pagamintos detalės konstrukcinio elemento parametras daugiau ar mažiau skiriasi nuo reikalaujamo nominalo. Bet koks parametro nukrypimas yra apribojama tolerancija, kuri nustato ribas, kaip tinkamų ir netinkamų detalių matmenis.

Surenkant elementus (detales) į sistemą (mašinas), gaunami atitinkamo dydžio tarpeliai ir įvaržos. Kad sistema atitiktų savo funkcijas, elementams parenkami matmenų tikslumo laipsniai, kurie garantuos, kad bus užtikrinti atitinkami tarpeliai ir įvaržos. Jei nebūtų užtikrintos šios sąlygos, tai rizikuojama, kad sistemą veiks, didesnės apkrovos ir virpesiai.

Šiuolaikinės mašinos pasižymi didesne galia, didesniais greičiais, kurie gali sėkmingai dirbti tik tada, kai jos pagamintos tiksliai. Tikslumas, padidina mašinos patikimumą, sumažina priežiūros ir remonto išlaidas, pagerina surinkimo darbus. Nustatant detalės tikslumą, reikia atsižvelgti į eksploataavimo ir gamybos išlaidas. 1.1 pav. pateikta detalės tikslumo priklausomybė nuo išlaidų.



1.1 pav. Optimalios T tolerancijos nustatymas: S_1 —mašinos eksploataavimo išlaidos; S_2 —gamybos savikaina; S —bendrųjų išlaidų kreivė. [3].

Paveikslėlyje pavaizduotas tolerancijos lauko dydis atitinka mažiausias gamybos išlaidas, kurios ekonominiu požiūriu yra priimtinausios. Tačiau reikėtų paklausti savęs, ar pasirinkę tokias tolerancijos ribas, atitiksime vartotojo poreikius, kurie yra esminis organizacijos egzistavimo pagrindas.

1.5. Pagalbiniai įrankiai, taikant valdymo grafiką, procesams

Sėkmingam SPK valdymo grafiko panaudojimui, reikia išsiaiškinti prioritetinius procesus, kuriuos kontroliuojant, pagerinant ir užtikrinant, galima tikėtis akivaizdaus kokybės pagerėjimo. Aklai taikant valdymo grafiką procesui, tikėtina, kad nebus gauta jokia nauda ir veltui išvaistomos lėšos. Taikant visiems galimiems įmonės procesams, pasiekiamas mažesnis efektyvumas, nei pritaikius metodą konkrečioms, silpniausioms gamybos vietoms. Duomenų ir informacijos interpretavimui pateikiami atitinkami pagalbiniai įrankiai, padedantys priimti sprendimus [5]. Tai būtų; histogramos; Pareto analizė; priežasties ir poveikio analizė.

Histogramos padeda atsakyti į klausimą, *kaip atrodo duomenų pasiskirstymas?* Turint didelį kiekį duomenų, sunku priimti kokį nors sprendimą, kadangi reali situacija sunkiai matoma. Pasinaudojus histogramomis galima nustatyti tendencingą duomenų pasiskirstymą: grupavimosi centrą, veikimo ribas, skirstinio tipą. Duomenis, pateiktus histogramos pavidalu, galima palyginti su reikalaujamais rezultatais.

Pareto analizei [6] taikoma 20/80 taisyklė, kuri sako, kad išsprendus 20 procentų problemų, galima tikėtis 80 procentų pagerėjimo. Analizė taikoma pagerinti procesą, eliminuojant silpniausias vietas. Pareto analizei sudarytas grafikas panašus į histogramos grafiką, tik esminis skirtumas, tas, kad duomenų vertės surašomos eilės tvarka, pagal jų didumą. Taip išskiriamos svarbiausios problemos, kurias išsprendus galima tikėtis akivaizdaus pagerėjimo.

Priežasties ir poveikio analizę taikoma, norint nustatyti priežastis, kurios sukale problemas. Tai tarsi išankstiniai veiksmai siekiant sumažinti arba eliminuoti priežasčių atsiradimo galimybę. Apskaičiuotos prioritetinės rizikos vertės su didžiausiomis reikšmėmis, turi gauti didžiausią dėmesį, jų pašalinimui arba sumažinimui.

Be šių pagalbinių įrankių, valdymo grafiko taikymas būtų orientuotas į procesus nepriklausomai nuo jų sunkumo ir svarbumo gaminio kokybei. Pagalbiniai įrankiai tarsi ligos identifikavimui skirtos priemonės, padedančios nustatyti svarbiausias vietas, reikalaujančias taikyti valdymo grafiką.

1.6. Valdymo grafikas, kaip matavimo įrankis

1.6.1. Bendras supratimas

Valdymo grafikas, dar kitaip žinomas kaip Shewhart valdymo grafiku, naudojamas tirti proceso galimybes, kurios tiesiogiai įtakoja gaminio charakteristikas, šiuo atveju konstrukcinio elemento parametras [2, 8, 5].

Sudaryti valdymo grafiką, žiūrėti 1.2 pav., pasitelkiama teigiamų verčių, stačiakampė koordinačių sistema. Ordinatės ašyje atidedamos matuojamos vertės (ilgis, diametras, masė, jėga, laikas ir t.t.), o abscisės ašyje atidedamos matuojamų verčių imtys, kurios dažnai yra atsitiktinės. Iš pasirinktos populiacijos verčių, tai yra pamatuotų charakteristikų, apskaičiuojamas aritmetinis vidurkis, kuris, stačiakampėje koordinačių sistemoje, atidedamas kaip centrinė linija, kuri charakterizuoja grupavimosi centrą. Procesui apibūdinti, išskiriamos ribos, kurios nusako jo būklę (viršutinė kontrolės riba (VKR), apatinė kontrolės riba (APK)).

Atsitiktinai pasirinkus iš visos populiacijos objektus, išmatuojama konstrukcinio elemento parametras ir apskaičiuojamas aritmetinis vidurkis, kuris atidedamas ant valdymo grafiko. Teoriškai matuojamų objektų kiekis vienoje imtyje, gali sudaryti nuo 1 iki begalybės. Tačiau atsižvelgiant į kai kuriuos veiksnius, patartina vienoje imtyje matuoti nuo 4 iki 10 objektų [8].

Jei užbrėžti taškai yra tarp VKR ir AKR ir nepastebimas joks netinkamo modelio atvaizdavimas, tai teigiama, kad procesas yra kontroliuojamas. O jei nors vienas taškas atsiduria už VKR ar AKR, sakoma, kad procesas yra nekontroliuojamas ir reikalaujantis korekcinį veiksmų, sugražinti procesą į kontrolę.

- nustato ir įspėja apie proceso pasikeitimus, kuris tiesiogiai liečia konstrukcinio elemento parametą;
- nustato proceso pajėgumą, kuris gali būti naudojamas kaip atskaitos sistema, proceso patobulinimui;
- įspėja, kada galima procesą palikti ramybėje;
- padeda sumažinti proceso kintamuosius veiksnius, ir pagerinti vertės tikslumą;
- mažėjančios produkto kainos, trumpesnis įdiegimo laikas ir geresnė produkto kokybė;
- geresnis komunikavimas su klientais, plėtojais ir tiekėjais dėl produktyvumo, specifikacijų ir pristatymo įvykdymo;
- į statistiką „orientuota” organizacija, t. y. sprendimai priimami remiantis duomenimis, ne gu prielaidomis;
- Kadangi pats stebėjimo procesas gali vykti gaminant ar jau pagaminus gaminį, tai ,bet koks broko atsiradimas, gali būti eliminuotas, įmonės viduje, taip išvengiant nuostolių, dėl brokuoto gaminio taisymo už organizacijos ribų.

1.6.2. Priežastys

Shewhart pastebėjo, kad proceso kintamuosius veikia dviejų tipų priežastys: atsitiktinės priežastys, specialios priežastys [2, 8].

Atsitiktinės priežastys tai neatsiejami nuo proceso pokyčiai, kuriuos sudaro mažesni veiksniai. Tokios priežastys veikia visus gaminamus gaminius. Jų pašalinimas siejamas su proceso technologijos pakeitimu arba patobulinimu. Visi taškai esantys tarp valdymo ribų, gali būti priskirtos atsitiktinėms priežastims, jei tik nepastebimas aiškus grafiko modelis, kuris įspėja, kad procesas nekontroliuojamas. Tokios priežastys gali atsirasti dėl:

- gaunamų medžiagų kokybės;
- mašinos (staklių, įtaisų ir t.t.) netikslumo;
- ne pastovūs darbo aplinkos parametrai.

Procesas veikiamas vien tik atsitiktinėmis priežastimis, įvardijamas kaip kontroliuojamas procesas.

Specialios priežastys tai tokie pokyčiai, kurie nėra susiję su procesu. Tokių priežasčių atsiradimas įtakoja ne visus gaminamus gaminius. Jų prigimtį galima paaiškinti dėl:

- netinkamos ruošinių kokybės;
- netinkamai parinkta apdirbimo technologija;
- netinkamas įrankis;

- išsiderinusi sistema;

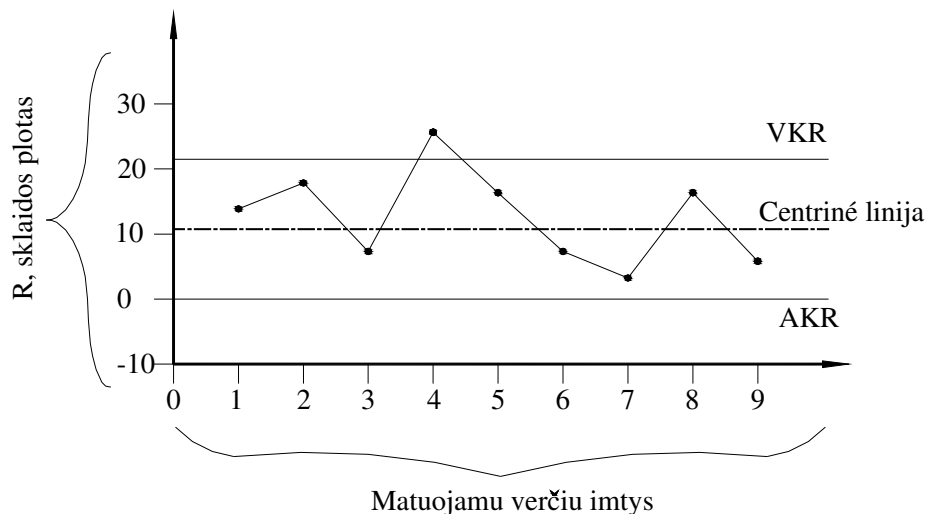
Atpažinti specialių priežasčių atsiradimui, naudojami tam tikri grafiko modeliai, kurie parodo jog procesas yra veikiamas tokių priežasčių. Grafiko modeliai atpažįstami, kai:

- nors vienas taškas atsiduria už VKR ar AKR;
- du taškai iš trijų nubraižomi, toje pačioje pusėje nuo centrinės linijos, už $2 \cdot \sigma$ ribų;
- keturi taškai iš penkių nubraižomi, toje pačioje pusėje nuo centrinės linijos, už $1 \cdot \sigma$ ribų;
- devyni ar daugiau taškų, iš eilės, nubrėžiami toje pačioje pusėje nuo centrinės linijos;
- šeši ar daugiau taškų, stabiliai didėja arba mažėja.

Kaip valdymo grafike pastebima, kad procesas veikiamas specialių priežasčių, sakoma, kad procesas nekontroliuojamas.

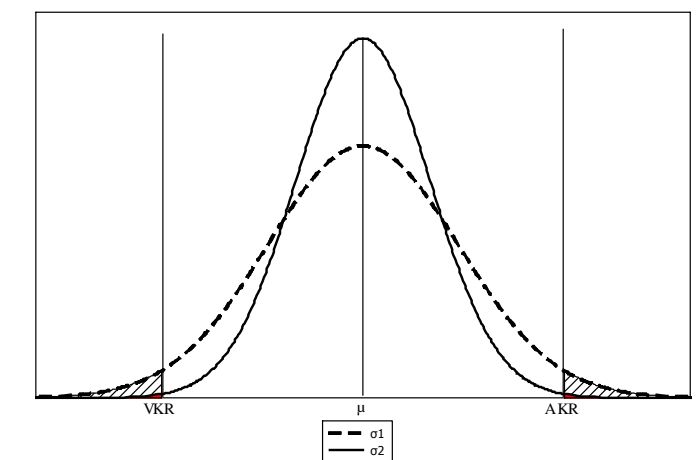
1.6.3. R, sklaidos plotas

Kad stebimam procesui, būtų galima nustatyti kvadratinės nuokrypos ar dispersijos pasikeitimą, papildomai braižomas, R, sklaidos ploto grafikas, žiūrėti 1.3 pav.



1.3 pav. Sklaidos ploto grafikas

Jo tikslas, parodyti, kad taškui atsidūrus už VKR ribos, atsiranda galimybė pagaminti didesnį kiekį netinkamos kokybės gaminių. Paveikslėlyje atvaizduotas 4 taškas išsiveržia iš VKR ribos. 1.4 pav. pateikta 4 taško skirstinio palyginimas su skirstiniui nustatytu visam valdymo grafikui, išlaikius tą patį centrą.



1.4 pav. Gauso skirstinys: σ_1 — 4 taško skirstinys; σ_2 — valdymo grafiko skirstinys.

Iš paveikslėlio matyti, kad pasikeitus proceso kvadratinei nuokrypai iš σ_2 į σ_1 , pasikeičia ir populiacijos kiekis patenkantis už AKR ir VKR ribų. Taip atsitikus, priimtina procesą laikyti nekontroliuojamu.

1.6.4. Proceso pajėgumas

Kontroliuojamas procesas suteikia informaciją, apie parametro kitimo ribas ir grupavimosi centrą. Pagal tuos duomenis sužinomas proceso galimybės, tačiau reikia savęs paklausti, ar tie rezultatai tenkina konstruktoriaus reikalavimus. Gaminio projektavimas prasideda nuo vartotojų (užsakovo) norų išsiaiškinimo, po to seka tų norų pavertimas į technines sąlygas, galiausiai gamyba ir surinkimas. Iš to galima spręsti, kad konstruktoriaus užduodamas matmuo turi atsižvelgti tiek į vartotojo pageidavimus, tiek į gamybos pajėgumo rodiklius. Kuo tikslesni duomenys pateikti iš užsakovo ir gamybos skyriaus, tuo konstruktoriui lengviau užduoti toleranciją matmeniui.

Duomenys apie gaminį, iš užsakovo pusės, gaunami per apklausas. Jų tikslumas priklauso nuo to, kaip bendrauja užsakovas ir kokius klausimus sugeba užduoti rangovas.

Duomenys iš gamybos skyriaus, turi būti pateikiami kaip proceso pajėgumui, apibūdinti naudojami rodikliai, nusakantys, ar proceso sklaidos laukas atitinka tolerancijos lauką [2, 5, 7]. Išskiriami dviejų tipo rodikliai, nusakantys proceso pajėgumą — C_p , C_{pk} .

C_p rodiklis atsižvelgia į proceso preciziškumą, bet ne į tikslumą. Jis nusako proceso potencialų pajėgumą, kurį galima pasiekti, jei proceso grupavimosi centras atitinka tolerancijos grupavimosi centrą. C_p rodiklio reikšmė mažesnė už vienetą, reiškia, kad procesas neatitinka keliamus reikalavimus. Užsakovai gali nurodyti savo rangovams mažiausią pageidaujama, proceso pajėgumo, C_p rodiklį:

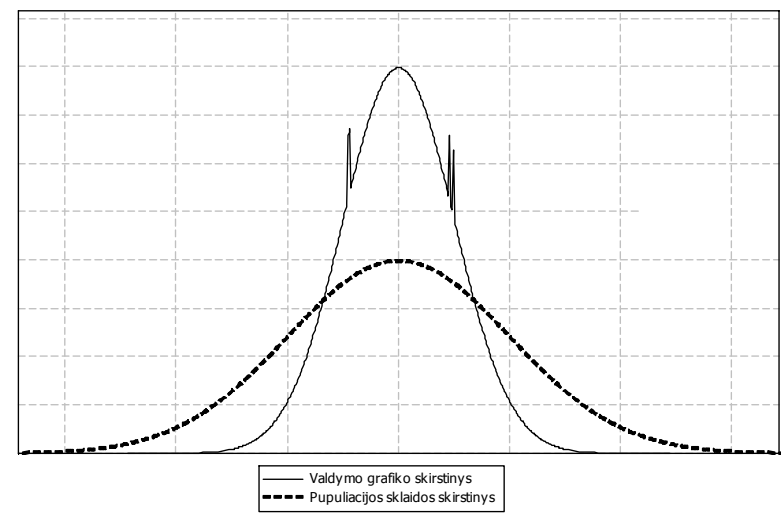
$$C_p \geq 1,33;$$

$$C_p \geq 1,67;$$

$$C_p \geq 2,00.$$

Kad, procesas atitiktų keliamus pajėgumo reikalavimus, galimi tokie veiksmai:

- Praplėsti matmens tolerancijos ribas, kol išlaikomos gaminio funkcinės



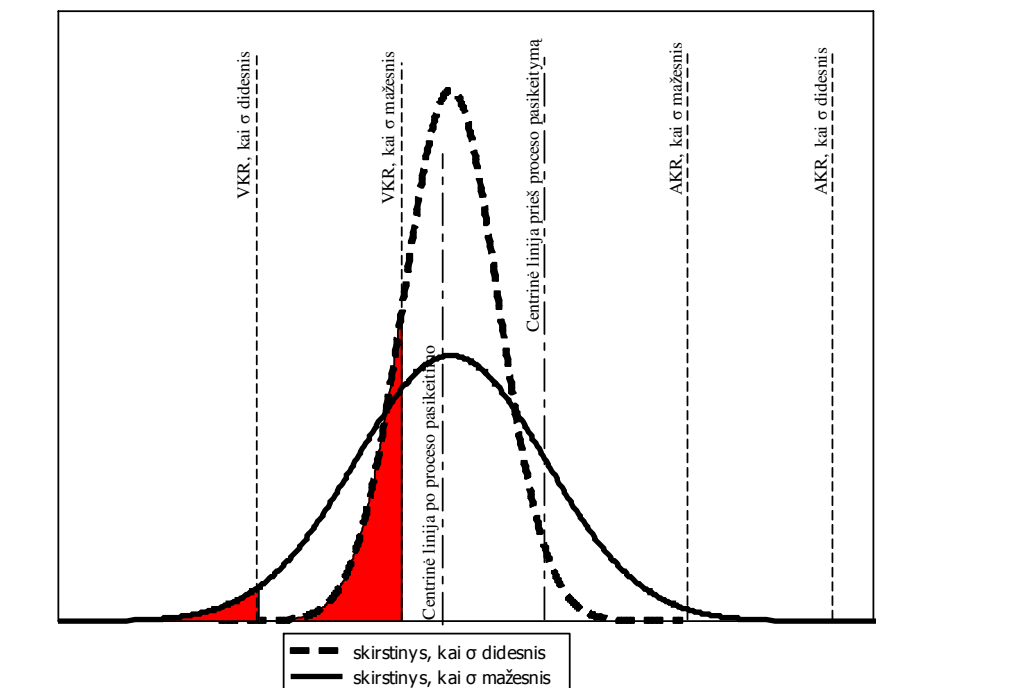
1.5 pav. Skirstiniai

Valdymo grafike atvaizduotos kontrolės ribos bus visada siauresnės, negu yra populiacijos sklaidoje.

Pavyzdžių kiekis, vienoje imtyje, pasirenkamas toks, kad atitiktų konstrukcinio parametro tikslumui keliamus reikalavimus. Kuo tikslesnis konstrukcinio elemento parametras ir brangesnis jo apdirbimas, tuo didesnis turėtų būti pavyzdžių kiekis. Didinant pavyzdžių kiekį vienoje imtyje, didėja tikimybė aptikti proceso pasikeitimus. Tokiu būdu galima sumažinti netinkamai pagamintų gaminių skaičių. 1.6 pav. pavaizduota pavyzdžių skaičiaus įtaka, kai persislinko proceso centras [8].

Užbrūkšniuotas plotas, paveikslėlis atvaizduoja tikimybę, greičiau aptikti nekontroliuojamą procesą, jį koreguoti ir taip išvengti didesnio kiekio blogos produkcijos vienetų. Matome, kad greičiau proceso pasikeitimą aptinkame, kai kvadratinė nuokrypa mažesnė, kurią sąlygoja pavyzdžių skaičius imtyje.

Prieš pradėdant naudoti valdymo grafika, reikia pasirinkti, kaip dažnai bus matuojama gaminio charakteristika. Tokie faktoriai, kaip gaminio tinkamumo charakteristikos išlaikymas po matavimo ir kaip dažnai procesas gali būti neko.02145(d)-4.02145(u)-4.02145(k)-4.02145(c)-6.40264(813 11.



1.6 pav. Proceso centro persislinkimas

1.6 pav. pateiktos kontrolės ribos, kurios apibūdina proceso būklę, atidedamos $3 \cdot \sigma$ atstumu nuo centrinės linijos. Bendras visų reikšmių kiekis patenkantis tarp VKR ir APK sudaro 99,74% visų reikšmių. Iš 10000 nubrėžtų taškų, vidutiniškai 9974 jų turi patekti tarp $6 \cdot \sigma$ ribų ir 26 neturi. Sprendžiant apie gaminio kokybę, galima pasakyti lygiai ta patį (9974 geri, 26 blogi). Kai matuojama reikšmė atsiduria už AKR ar VKR, nebūtinai reiškia, kad reikia koreguoti procesą. Išlieka 0,26% tikimybė, kad esant kontroliuojamam procesui, bus pagaminta blogos kokybės gaminy. Vidutiniškai iš 385, pagaminamas 1 blogos kokybės gaminy, esant kontroliuojamam procesui. Jei ribos plečiamos iki $8 \cdot \sigma$ ribų, tai iš 15773 taškų vienas taškas atsidurs už AKR ar VKR, esant kontroliuojamam procesui, tačiau centro persislinkimą per, σ dydį, aptiksime su 0,0032% tikimybe, po pirmo nubraižyto taško, 0,0063% po antro taško ir t.t. Kai ribos yra $6 \cdot \sigma$, ta patį centro persislinkimą, atitinkamai aptiktumėme su 0,13% tikimybe po pirmo nubraižyto taško, 0,243% po antro taško ir t.t.

Esant mažesniems riboms, valdymo grafikas tampa jautresnis centro persislinkimui, bet daugiau taškų atsiduria už AKR ir VKR, esant kontroliuojamam procesui. Standartiškai priimta naudoti ribas, kurios atitinka $6 \cdot \sigma$. Tačiau, jei siekiama, kad greičiau būtų aptiktas nekontroliuojamas procesas, kuris svarbus gaminamos produkcijos kokybei, patartina siaurinti ribas, nors ir bus gaišamas laikas neegzistuojamoms problemų paieškoms.

2. VALDYMO GRAFIKŲ SUDARYMAS TAIKANT STATISTINĖS PROCESO KONTROLĖS METODIKĄ

2.1. Valdymo grafiko sudarymas

Valdymo grafikas naudojamas, kaip įrankis padedantis nustatyti proceso kontrolę, teikiamą naudą ir pajėgumą.

Proceso kontrolė nustatoma, pagal proceso ribas ir grupavimosi centrą. Šioje dalyje matoma ar procesas kontroliuojamas. Pagrindinis tikslas — identifikuoti procesą veikiančias priežastis: atsitiktinės; specialios. Nustačius specialias priežastis, jas eliminuoti ir užtikrinti, kad procesas veikiamas tik atsitiktinių priežasčių.

Proceso teikiama nauda, tai procentinis rodiklis nurodantis gerų gaminių skaičių. Nustatyti gerų gaminių, procentinį skaičių reikalingas kontroliuojamas procesas, kuris pasiskirsto pagal normalųjį skirstinį.

Proceso pajėgumo nustatymas, atliekamas siekiant išsiaiškinti ar procesas atitinka keliamus reikalavimus. Šioje dalyje nustatyta proceso kvadratinė nuokrypa palyginama su matmens tolerancija. Gautus duomenis galima pateikti tiekėjau, kaip garantiją, kad gaminamas gaminys atitinka keliamus reikalavimus.

2.1.1. Kontrolės ribos ir grupavimosi centras

Pasirinkus matavimo proceso charakteristiką, matavimo dažnumą, pavyzdžių skaičių imtyje ir surinkus išmatuotus duomenis, atliekami matematiniai veiksmai nustatantys ribas, kurios padeda atpažinti proceso būklę [8, 2, 5].

Pirmas žingsnis. Surandamas imčių vidurkis ir jų kitimo intervalas:

$$\bar{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}; \quad (2.1)$$

$$R = X_{max} - X_{min}; \quad (2.2)$$

čia X_i — i -sios imties nario vertė; n — narių skaičius imtyje; $X_{max, min}$ — didžiausia ir mažiausia vertė imtyje.

Antras žingsnis. Apskaičiuojamas viso proceso aritmetinis ir sklaidos ploto vidurkis:

$$\bar{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^g \mu_i}{g}; \quad (2.3)$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^g R_i}{g}; \quad (2.4)$$

čia g — imčių kiekis.

Trečias žingsnis. Nustatome VKR ir AKR imties matavimų ir sklaidos ploto vidurkiui:

$$VKR_{\mu} = \bar{\mu} + A_2 \cdot \bar{R}; \quad (2.5)$$

$$AKR_{\mu} = \bar{\mu} + A_2 \cdot \bar{R}; \quad (2.6)$$

$$VKR_R = D_4 \cdot \bar{R}; \quad (2.7)$$

$$AKR_R = D_3 \cdot \bar{R}; \quad (2.8)$$

čia A_2 — koeficientas, naudojamas esant 6σ riboms, kuris įvertina kelis veiksnius: sklaidos ploto vidurkio ir imties kvadratinės nuokrypos santykio dydį, ir narių skaičių imtyje (1 priedas); $D_{3,4}$ — koeficientai, randamas iš žinynu (1 priedas).

Prieš tai nurodytos formulės, naudojamos valdymo grafiko riboms nustatyti, kai procesas yra nepriklausomas nuo pašalinių veiksnių, tokių, kaip brėžinių reikalavimai. Jei nubraižius ribas visi taškai atsiduria tarp jų, tai nereiškia, kad bus gauta vidutiniškai 9976 geros kokybės konstrukcijos elementų, tai tik reikš, kad tiriamas procesas kontroliuojamas, tiriamom sąlygom, nes nepastebėtas nei vienas specialus veiksnys.

Tačiau jei valdymo grafikas sudaromas pagal tam tikrus reikalavimus, pavyzdžiui yra žinomas, matmens viršutinė ir apatinė nuokrypa, tai valdymo grafiko ribos taip pat pritaikomos prie tų ribų. Pirmiausia reikia nustatyti sklaidos ploto vidurkį:

$$\bar{R} = \sigma \cdot d_2; \quad (2.9)$$

čia d_2 — Harley koeficientas, įvertinantis visos populiacijos kvadratinės nuokrypos santykį su sklaidos ploto vidurkiu (1 priedas).

Konstruktoriaus užduoto ant brėžinio matmens kvadratinė nuokrypa, randama pagal 2.10 formulę:

$$\sigma = \frac{T}{k}; \quad (2.10)$$

čia T — matmens tolerancija; k — vertė nurodanti, per kiek standartinių nuokrypų, skiriasi VKR ir AKR. (standartiškai $k=6$).

Kai nustatomas sklaidos ploto vidurkis, iš naujo, pagal 2.5 — 2.8 formules, randamos VKR ir AKR. Iš grafiko matyti, ar procesas atitinka keliamus reikalavimus, galbūt reikalingas proceso patobulinimas, ar visiškai naujos technologijos pritaikymas.

2.1.2. Gerų detalių procentinis kiekis

Pagaminti gerų detalių kiekį, procentais, pagal nustatytas proceso ribas ir užduotą matmens specifikaciją, apskaičiuojama pagal 2.11 formulę;

$$P = (P_{z_2} - P_{z_1}) \cdot 100\%; \quad (2.11)$$

čia $P_{z_{1,2}}$ — reikšmės randamos iš 2 priedo, 6 lentelės, žinant $z_{1,2}$ reikšmes:

$$z_1 = \frac{d_{min} - \bar{\mu}}{\sigma}; \quad (2.12)$$

$$z_2 = \frac{d_{max} - \bar{\mu}}{\sigma}; \quad (2.13)$$

čia $d_{min,max}$ — apatinė ir viršutinė matmens tolerancijos ribos; σ — realaus proceso kvadratinė nuokrypa, randama iš 2.9 formulės išraiškos:

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.14)$$

2.1.3. Proceso pajėgumas

Proceso pajėgumą galima apibūdinti tik tuomet, kai jis yra kontroliuojamas — visos matavimo reikšmės atsiduria tarp VKR ir AKR, bei nepastebimas netinkamas modelis. Kontroliuojamam procesui, palyginamos grupavimosi centro ir sklaidos lauko reikšmės su matmens tolerancija [2, 5, 7].

C_p rodiklis nurodo potencialų proceso pajėgumą, nepriklausomai nuo, grupavimosi centro:

$$C_p = \frac{T}{6 \cdot \sigma}; \quad (2.15)$$

Gautas rodiklis palyginamas su C_{pk} rodikliu, kuris apibūdina realų proceso pajėgumą, kuris atsižvelgia į grupavimosi centro persislinkimą:

$$C_{pk} = \frac{d_{max} - \bar{\mu}}{3 \cdot \sigma}; \quad (2.16)$$

$$C_{pk} = \frac{\bar{\mu} - d_{min}}{3 \cdot \sigma}; \quad (2.17)$$

C_{pk} reikšmė priimama ta, kuri yra mažesnė.

2.2. Statistinės proceso kontrolės metodika

Pateikta SPK, kaip rankiniu būdu grindžiama, išanalizuotos nuolatinės veiklos gerinimo ir proceso stebėjimo, paremta statistinė mąstysena. SPK sąvoka, gali būti panaudota visiems procesams (t.y. kuriant procesus ir produktus).

Sėkmingas kokybės gerinimas, įmonėje, pasiekiamas per: technologijas, personalą (žmoniškieji resursai) ir organizaciją (jos struktūrą). SPK sutelkta ties technologijos pagerinimu. Tai pasiekama per komandinį darbą, skatinant atlikti SPK, dalintis sukauptomis žiniomis.

Statistinė proceso kontrolė įvardijama, kaip vienas iš statistinio proceso valdymo būdų, kuri dažniausiai naudojama gamybos procesuose, tačiau dėl savo lankstumo, galima pritaikyti ir kitose sferose. Ši būda galima naudoti tik procesams, kurie suteikia duomenis, jų būklės stebėjimui.

Įgytas žinias naudojant, įgyvendinant, diskutuojant apie SPK, pravartu paskleisti po visą organizaciją. Taip pat patartina dalintis patirtimi su kitomis įmonėmis, siekiant, kad organizacijos partneriai naudotu SPK, kuri netiesiogiai pagerintų jų gamybą. Iš kiekvienos nesėkmės galima pasimokyti ir išvengti panašių klaidų ateityje.

Naudojantis keturiais etapais, valdymo ir operatorių komitetų pateiktomis struktūromis, kuriamas komandinis darbas ir į tikslą orientuotas metodas, kuris yra pranašesnis už „gaisro gesinimo“ veiklą, kuris atliekamas keleto darbuotojų. Taip užtikrinama, kad gaminio neatitinkamos charakteristikos nepateks pas vartotoją.

Pateiktas septynių žingsnių metodo tikslas, yra pakankamai unikalus, tačiau kiekvienai organizacijai jis gali būti pritaikytas prie poreikių.

Pristatyta struktūra, suteikia metodą, įgyvendinant SPK, gamyboje. Projekto požiūris stimuliuoja organizaciją pradėti SPK. Metodo pritaikomumas pagerinamas, diskutuojant apie tikslus kiekviename žingsnyje ir panašių situacijų skirtumus. Tokiu būdu organizacijos pritaiko metodą įvairiems gamybos procesams. Galiausiai, SPK idėja galima pritaikyti kitiems organizacijos procesams, taip parengiama aplinka visuotinės gamybos valdymui.

2.2.1. Organizacijos metodo įgyvendinimo etapai.

Literatūroje aprašomos didžiausios priežastys nepavykus įdiegti SPK, o tuo pačiu ir tirti konstrukcinio elemento parametro tikslumą, yra organizaciniai ir socialiniai faktoriai. Valdybos ir operatoriaus išipareigojimų stokojimas, menkas supratimas ir apmokymas apie SPK būdą, prastas projektų įgyvendinimas ir mažėjantis dėmesys po pirmo SPK atlikimo yra nustatytos, kaip priežastys sukeliančios ne sėkmingą atlikimą, arba net kaip blokadą atliekant SPK.

Pateikta tokias organizacinės problemas, atliekant SPK [9] :

- įgyvendinant SPK, visoje kompanijoje užima daug laiko; laikas ir pinigai turi būti investuoti prieš SPK pilnavertišką efektų panaudojimą, visoje organizacijoje;
- reikalingas nuolatinis dėmesys ir parama iš aukščiausios valdybos;
- SPK reikalauja atsakingos delegacijos su visais įmanomais įgaliojimais;
- SPK atlikimas turi būti orientuotas ekspertų su atitinkamomis statistinėmis žiniomis;

- organizacija turi būti susipažinusi su problemų sprendimu, iš gautų duomenų;
- komandinis darbas ir projektų valdymas yra esminis dalykas.

Problemos gali būti išvengtos, atsargiai planuojant įgyvendinimo etapus ir suformuojant organizacinę struktūrą. Tik po šių sąlygų įvykdymo, yra prasminga pradėti metodologinę dalį pasinaudojant septinių žingsnių metodu.

Pradėti atlikti SPK, tai gali būti pradėta po aukščiausios valdybos įtikinimo, kad SPK gali prisidėti prie kompanijos esminių dalykų. Be to, tai gali būti paskata, prieš spaudimą iš klientų, reikalaujančių SPK prieš, bet kokį nepatvirtintą užsakymą. Philips pradėjo diegti SPK, todėl, kad taip reikalavo Ford kompanija.

Po to kai aukščiausia valdyba buvo įtikinta įdiegti SPK, įgyvendinimas yra padalintas į šiuos keturis etapus:

- pirmas etapas: *supratimas*;
- antras etapas: *bandomasis projektas*;
- trečias etapas: *integuotas gamybos įgyvendinimas*;
- ketvirtas etapas: *visuotinė kokybė vadyba*.

Supratimas. Įgyvendinant SPK, pradedama nuo įmonės personalo susirinkimo. Susirinkimo tikslas supažindinti personalą su SPK atlikimu. Susirinkime patartina pabrėžti SPK tikslus ir teikiamą naudą.

Šitame etape patartina sudaryti valdymo komitetą, kurios tikslas, paruošti SPK įgyvendinimo planą. Į planą turi įeiti visi nekontroliuojami procesai, kuriems reikalinga korekcija. Plane turi atsispindėti procesai, kurie turi didžiausią įtaką gaminio kokybei.

Bandomasis projektas. Valdymo komitetas sukuria keletą komandų, kurie dirbs ties parinktais procesais, iš ankstesnio etapo. Komandų pagrindinis tikslas, padaryti procesą kontroliuojamą, kuris vėliau gali būti, kaip atskaitos tašku, siekiant pagerinti procesą.

Personalas, kurį tiesiogiai ar netiesiogiai liečia SPK metodas, turi būti atitinkamai apmokytas, inicijuojant valdymo komiteto. Išankstinis personalo supažindinimas, padėtų greičiau ir sėkmingiau pritaikyti SPK organizacijoje.

Bandomajame etape sužinoma pirminiai, preliminarūs duomenys apie procesų būklę. Pagal juos valdymo komitetas ir aukščiausia valdyba, gali priimti korekcinius veiksmus statistinės proceso kontrolės įgyvendinimui.

Integuotas gamybos įgyvendinimas. Šitame etape siekiama, kad SPK apimtų visus gamybos procesus, nuo žaliavų užsakymo iki gaminio pardavimo. Taip pat reikia sudaryti visas sąlygas, metodui tapti organizacijos dalimi, kuri savarankiškai funkcionuotų ir padėtų užtikrinti

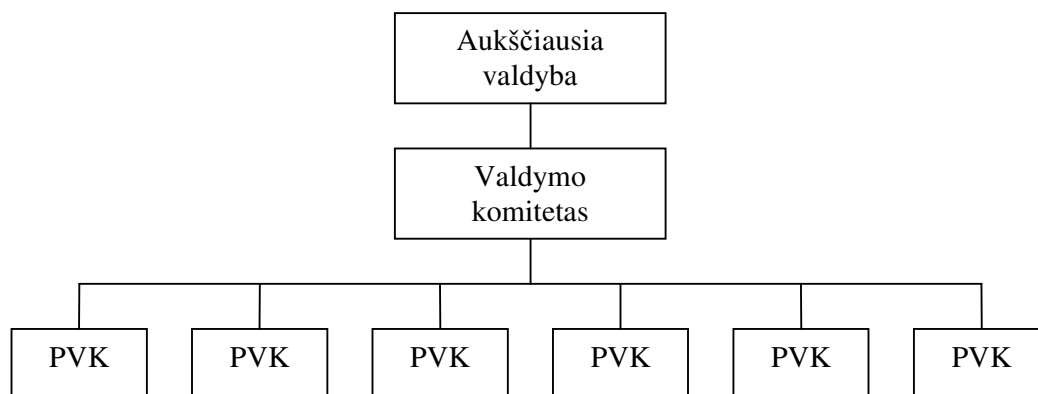
kokybę. Patartina vienam asmeniui suteikti SPK koordinavimo užduotis, kuris kaip varomoji jėga padėtų įgyvendinti SPK.

Nustatyta veikimo sritis visuotinės gamybos vadyboje. Siekiama užtikrinti stabilų procesą, spręsti problemas ir ieškoti nuolatinių kokybės gerinimo būdų. SPK metodas išplečiamas į kitas organizacijos dalis, taip pat dar aktyviau pratęsimas senose veiklose.

Pagrindinis SPK tikslas: apibūdinti ir žinoti procesus; ieškoti ir pagerinti silpniausias vietas; apibrėžti kontrolės ribas; įvertinti atlikimą, kaip pagrindą nuolatiniame proceso tobulinimui. Šita sąvoka gali būti išplėsta, ne gamybos padaliniuose. Galiausiai įgyvendinant visuose organizacijos dalyse, taip pat susiejant klientus ir tiekėjus, metodas veda prie visuotinės kokybės vadybos.

2.2.2. Organizacinė struktūra įgyvendinant SPK

Organizacine struktūra naudojama įgyvendinant SPK, susideda iš proceso veiklos komandos (PVK), valdymo komiteto ir aukščiausios valdybos [9, 11]. Struktūra pavaizduota 2.1 pav., pabrėžia faktą, kad abudu, aukščiausia valdyba ir valdymo komitetas, vienodai paremia, skatina PVK.



2.1 pav. Organizacinė struktūra įgyvendinant SPK [9]

Aukščiausia valdyba, valdymo komitetui skiria įpareigojimus ir nustato valdžią.

Valdymo komitetas, inicijuoja ir kontroliuoja proceso įgyvendinimą. Siekiant užtikrinti valdymo įsipareigojimus gamybos ir panašiuose skyriuose, valdymo operacijos vadovaujamos valdymo komiteto, kurio nariais turėtų būti prekybos, gamybos plėtojimo, kokybės ir priežiūros vadovai, taip pat SPK konsultantas ir koordinatorius.

Proceso veiklos komandos. SPK įgyvendinta komandos, kurias sudaro žmonės iš visų padalinių. Tipinė PVK gali sudaryti: operatoriai, jų inspektorius, proceso, priežiūros inžinierius ir SPK ekspertas. Komandoms priskiriamas ataskaitų rašymas apie rezultatus ir planuojamas veiklas.

Kad PVK galėtų atlikti SPK, reikalingas apmokymas, kuris susideda iš teorinės ir praktinės dalies paaiškinimo. Pagerinti PVK žinias, patartina operatoriams komunikuoti tarp savęs, tam labai pasitarnautu reguliarūs susirinkimai.

2.2.3. Metodologinė struktūros dalis: septinių žingsnių metodas.

Pirmas žingsnis: proceso apibūdinimas.

Teorin dalis. Šiame žingsnyje, po pirminio tyrimo, apibūdinamas procesas ir nustatomos jo ribos. Procesas suskirstomas į proceso žingsnius, kurie apima tik pavienį, atskirą proceso charakteristiką. Sunumeruojami proceso žingsniai. Labai svarbu apibūdinti tikrąją situaciją. Patartina pasitelkti lentelės formą surašyti rezultatams. Siekiant išsamiai apžvelgti didelius procesus, patartina juos suskirstyti į keletą dalių.

Praktin dalis. Gautas užsakymas pagaminti detales pagal brėžinio specifikaciją. Užsakymas gautas nebe pirmą kartą. Iš ankstesnių partijų pagamintų detalių gauti užsakovo nusiskundimai. Orientuojamasi apdirbti detales ant vienerių frezavimo centro staklių, kurioms specialiai suprojektuoti įtaisai. Įtaisai suprojektuoti rangovo taip, kad apdirbama viena pora detalių. Pilnai detalės apdirbamos per keturis pastatymus. Frezavimo centras CNC tipo, kurios pagal parašytą programą apdirba konstrukcinio elemento matmenis. Rangovas, šiuo atveju mes, konstrukcinio elemento neprojektuoja ir ruošinių negamina. Gaminamos detalės paskirtis nenurodyta, tačiau aišku, kad jos surinkimo ir veikimo principas panašus į elementarios grandinės prigimtį.

Atsirinkti procesą, kuriam bus taikoma SPK, reikia žinoti visas galimas alternatyvas, tai yra visus galimus procesus. Surasti detalei visus galimus procesus, vadovaujamesi logika, kad SPK galima pritaikyti tik tiems procesams, kuriems galima priskirti charakteristikas. Jei procesas neturėtų ryšio su charakteristika, tai tokiam procesui nebūtų įmanoma pritaikyti SPK. Pagal gaminio brėžinį (3 priedas), konstrukcinio elemento parametrų matmenys prilyginami proceso charakteristikoms, duomenys pateikti 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Konstrukcinio elemento parametrų prilyginimas procesams

Eil. Nr.	Konstrukcinio elemento parametrai	Tolerancijos	Tikslumas reikalaujamas pagal:	Pastabos
1	M8		standartą	—
2	$46 \pm 0,1$	0,2	konstruktorių	—
3	$\varnothing 38^{+0,2}_{+0,1}$	0,1	konstruktorių	—
4	$\square 38^{+0,2}_{+0,1}$	0,1	konstruktorių	—
5	$\varnothing 70$	0,6	standartą	—
6	$10^{+0}_{-0,5}$	0,5	konstruktorių	—

2.1 lentelės tęsinys kitame puslapyje

2.1 lentelės tęsinys

Eil. Nr.	Konstruktinio elemento parametrai	Tolerancijos	Tikslumas reikalaujamas pagal:	Pastabos
7	123±0,1	0,2	konstruktorių	—
8	36 ⁺¹ ₋₀	1	konstruktorių	—
9	40 ± 0,2	0,4	konstruktorių	—
10	35 ± 0,2	0,4	konstruktorių	—
11	20	0,4	standartą	—
12	37	0,6	standartą	—
18	Ø31 ^{+0,1} ₀	0,1	konstruktorių	—
19	Ø29 ^{+0,1} ₀	0,1	konstruktorių	—
20	Ašies lygiagretumas A plokštumai	0,2	konstruktorių	—
21	Bendraašiškumas B plokštumai	0,1	konstruktorių	—
22	95,5±0,2	0,4	konstruktorių	—
23	61	0,6	standartą	—
24	30,5	0,6	standartą	—
25	Ø98 ⁺³ ₋₀	3	konstruktorių	—
26	14,5	0,4	standartą	Gauti nusiskundimai
27	Ø32,6 ^{+0,2} ₋₀	0,2	konstruktorių	—
28	Simetriškumas B plokštumai	0,1	standartą	—

Lentelėje nurodyti ne visi konstrukcinio elemento parametrai, kuriuos galėtume panaudoti kaip charakteristikas, procesui stebėti. Papildomai galima išskirti geometrines formas išlaikymo ir šiurkštumo parametrus. Kadangi nėra sąlygų jiems tiksliai stebėti, į tolimesnį darbą jie neįtraukiami.

Antras žingsnis: priežasties ir poveikio analizė.

Teorinė dalis. Svarbiausiems proceso žingsniams, sudaromas pagrindinių problemų (priežasčių) ir jų poveikio sąrašas. Poveikis susiejamas su produkto problemomis, arba proceso sutrikimais, vedančiais prie brokuotų gaminių skaičiaus didėjimo. Jeigu priežasties ir poveikio ryšių skaičius tampa labai didelis, tai, dėl aiškumo ir laiko, patartina tirti svarbiausius ir dažniausiai atsirandančius poveikius.

Praktinė dalis. Svarbiausi procesai pasirenkami pagal siauriausias tolerancijos reikšmes ir pagal užsakovo nusiskundimą, iš prieš tai pagamintų detalių partijos. Iš 2.1 lentelės išrenkami pažymėti 3, 4, 18, 19, 20, 21, 26, 28 eil. nr. procesai, kuriems bus taikomas priežasties ir poveikio analizė. Šiems procesams sudaryta 2.2 lentelė, kurioje surašyti galimi poveikiai ir priežastys.

2.2 lentelė. Priežastys ir poveikiai

Poveikis	Priežastys
Per didelis matmuo	Nudilęs, nutrupėjęs įrankis
	Ruošinių neatitikimas reikalavimams
Per mažas matmuo	Blogai įtvirtintas ruošinys
	Blogai parašyta programa
Neišlaikytos sąlygos B plokštumai	Staklių gedimas
	Standumo trūkumas sistemai

Reikia paminėti, kad analizuojant priežasties ir poveikio analizę, išskiriamos tik specialios priežastys.

Trečias žingsnis: rizikos analizė.

Teorinė dalis. Kiekvienam priežasties ir poveikio ryšiui, nustatoma prioritentinė rizikos vertė (PRV). Prioritentinė rizikos vertė apskaičiuojama, dauginant taškus iš: priežasties atsiradimo dažnumo (D); poveikio sunkumo (S); priežasties aptikimo galimybės (A).

Paminėti punktai vertinami taškais nuo vieno, iki dešimties. Jeigu trečiame punkte, sunku aptikti priežastis, tai vertiname dešimtimis taškų. Taip vertinama, todėl, kad negalima pašalinti ar sumažinti atsirandančios priežasties. Priežasties ir poveikio ryšiai, su didžiausiomis reikšmėmis, turėtų būti analizuojami, dėl pagerinimo galimybės.

Proceso rizikos vertinimai, leidžia daugiau sužinoti apie rizikos didumą, pagal priežasties tipą, ir tuo pačiu padeda priimti bendrus susitarimus. Jei diskutuojama apie priežasties dažnumą ir poveikio sunkumą, priimant sprendimą, patartina pasidomėti senesniais duomenimis arba, kai kurią laiką, stebėti procesą naudojantis žurnalais.

Praktinė dalis. Pasinaudojus antrame žingsnyje nustatytais poveikiais ir priežastimis, kiekvienam procesui apskaičiuojamas prioriteto rizikos vertė:

$$PRK = D \cdot S \cdot A. \quad (2.18)$$

Duomenys pateikti 2.3 lentelėje. Įvertinant priežasties atsiradimo dažnumą, poveikio sunkumą, priežasties aptikimo galimybės taškais, vadovaujamesi darbo patirtimi, todėl duomenys gali būti šališki.

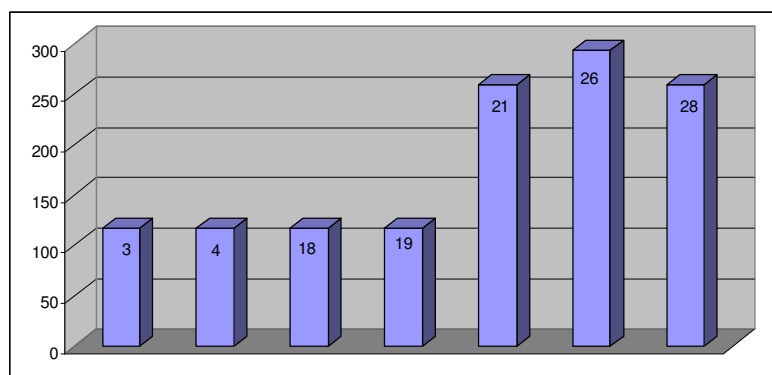
2.3 lentelė. Procesų prioritentinės rizikos analizė

Procesas	Poveikis	Poveikio sunkumas	Priežastys	Priežasties atsiradimo dažnumas	Priežasties identifikavimas	PRK	Bendras PRK
3	Per didelis matmuo	10	Blogai parašyta programa	2	4	80	
			Staklių gedimas	1	1	10	
	Per mažas matmuo	1	Nudilęs, nutrupėjęs įrankis	5	2	10	
			Blogai parašyta programa	2	4	8	
			Staklių gedimas	1	1	1	
			Standumo trūkumas sistemai	1	8	8	
							117

2.3 lentelės tęsinys kitame puslapyje

2.3 lentelės tęsinys

Procesas	Poveikis	Poveikio sunkumas	Priežastys	Priežasties atsiradimo dažnumas	Priežasties identifikavimas	PRK	Bendras PRK
4			Kadangi konstrukcinio elemento parametras panašus į 3 proceso parametą, tai bendra priežastis ir (15) (1) poveikis				117
18			Kadangi konstrukcinio elemr parametras panašus į 3 3proce 3po paramet				



2.2 pav. Prioritetinės rizikos vertės

3.6 skyrelyje pasiūlyti korekciniai veiksmai, dalinai pagerinantys proceso prioritetinės rizikos vertę.

Penktas žingsnis: nustatyti matavimus.

Teorinė dalis. Surasti pagrindines problemų priežastis ir galimus pakeitimus, turi būti stebimas proceso parametras. Reikia išsirinkti parametą, skirtą kontroliuoti procesui. Planas yra skirtas: rinkti, stebėti ir analizuoti matmenis.

Praktinė dalis. Pasirinkus 26 eilės numeriu pažymėta procesą, stebimas proceso parametras, kurio nominalas ir ribinės nuokrypos nurodytos 2.1 lentelėje. Kadangi, dėl šito matmens gauti nusiskundimai iš užsakovo matuojami tiek kairiosios, tiek dešinėsios grandinės parametrai. Įtariant, kad procesas neatitinka produkto charakteristikų, dėl netinkamos ruošinių kokybės, atliekami papildomi ruošinio matavimai.

Šeštasis žingsnis: valdymo grafikas.

Teorinė dalis. Šitame etape, panaudojama charakteristika kontroliuoti procesui. Tokiam reikalui naudojamas valdymo grafikas. Daugelio atveju, tai susijusios produkto charakteristikos, o kitais atvejais, tai proceso charakteristikos, kurias stebinti galima nustatyti proceso sutrikimus.

Svarbiausia valdymo grafiko funkcija yra aptikti pasikeitimus, kai procesas tampa nekontroliuojamas. Tai reiškia, kad valdymo grafike galime išskirti dviejų tipų atsirandančias priežastis: atsitiktinės priežastys ir specialios kitimo priežastys. Atskirti atsirandančioms netinkamoms priežastims, naudojamos kontrolės ribos, paremtos proceso matavimais.

Apskaičiuoti ribų vertes, galima taikyti dviejų žingsnių procedūrą. Pirmiausia apskaičiuojamos preliminarios ribos, paremtos iš visų matavimų. Taškai esantys už ribų, atspindi specialias kitimo priežastis. Jei atsiranda tokių taškų, reikia išanalizuoti matavimus ir surasti specialias kitimo priežastis, bei jas ištaisyti. Taip pat proceso analizei naudojami valdymo grafiko modeliai. Kai procesas tampa kontroliuojamas (t.y. kai lieka atsitiktinės priežastys), antrame procedūros žingsnyje perskaičiuojamos kontrolės ribos, kurios remiasi koreguotais duomenimis.

Praktinė dalis. Praktinė šio žingsnio dalis pateikta trečiame skyriuje.

Septintas žingsnis: proceso pajėgumo tyrimas.

Teorinė dalis. Proceso pajėgumo tyrimas suteikia priemones pamatuoti statistiniam ir techniniam, proceso valdymo lygiui. Tokiu būdu nustatoma, ar kontrolės lygis tenkina numatytą specifikacijos ribą. Jei procesas yra statistinėje kontrolėje, galima nuspėti procentinį netinkamų produktų kiekį.

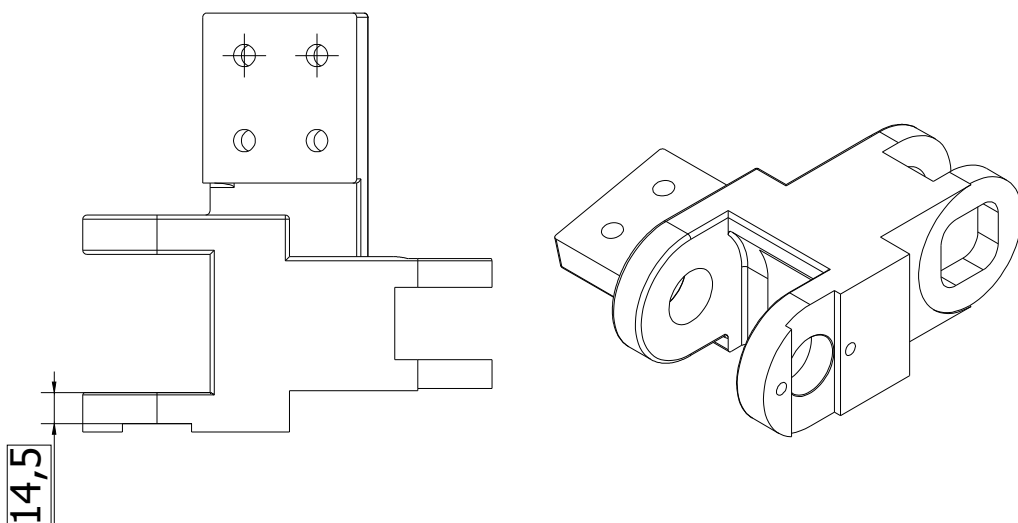
Jei valdymo grafikas naudojamas stebėti proceso charakteristikoms, proceso pajėgumo tyrimas taikomas tik tada, kai pateiktos proceso charakteristikų specifikacijos ir žinomas tikslus ryšys su produkto savybėmis.

Praktinė dalis. Praktinė šio žingsnio dalis pateikta trečiame skyriuje.

3. KONSTRUKCINIO ELEMENTO PARAMETRO TIKSLUMO TYRIMAS NAUDOJANT STATISTINĘ PROCESO KONTROLĘ

Statistinė proceso kontrolė atliekama „Y” įmonėje, dėl užsakovo nusiskundimo, jog nėra išlaikomas detalės konstrukcinio elemento $14,5 \pm 0,2$ mm matmuo, žiūrėti 3.1 pav. Išeinant matmeniui už viršutinės tolerancijos ribos, konstrukcijos elementas gali nesusirinkti į sistemą, o jei matmuo išeina už apatinės tolerancijos ribos, pažeidžiama stiprumo riba, taip neužtikrinant detalės patikimumo.

Detalės matavimai apima prieš ir po operacijas. Įtariama, kad $14,5$ mm matmuo neišlaikomas, dėl ruošinio geometrinio netikslumo.



3.1 pav. Užsakovo detalė

Kadangi vienu pastatymu apdirbama viena pora detalių, tai matuojama dvi detalės vienu metu. Matuojama su elektroniniu slankmačiu, po apdirbimo operacijos. Tokia matavimo priemonė pasirinkta todėl, kad $14,5$ mm tolerancijos laukas platus ($\pm 0,2$ mm) ir nereikalaujantis didelio tikslumo.

Būtina paminėti, kad detalės apdirbamos vienu frezavimo centru, Haas VF9, žiūrėti 3.2 pav.

Operatoriaus darbas susideda iš: spaustuvų atveržimo, ruošinio perstatymo į kitus spaustuvus ir spaustuvų priveržimo. Kadangi staklės yra CNC tipo, tai operatoriaus klaidos pačiu apdirbimo proceso, yra išvengiamos. Klaidų atsiradimą, gamybos procese, galima sieti su darbo pasiruošimo ir žaliavos kokybe. Į darbo pasiruošimą įeina: programos sudarymas, spaustuvų orientavimas, detalės koordinačių nustatymas pagal staklių koordinates. Gerai suderinus pasiruošimo darbus, mažai

tikėtina, kad procesas taps nekontroliuojamu. Todėl statistinė proceso kontrolė siejama su žaliavos kokybe.



3.2 pav. Frezavimo centras Haas VF9

3.1. Esamo proceso veiksniumas

Pasirinkus pavyzdžių rinkimo būdą ir dydį, matuojamas detalės konstrukcinio elemento matmuo. gauti rezultatai surašomi į 3.1 lentelę.

3.1 lentelė. Matavimo rezultatai

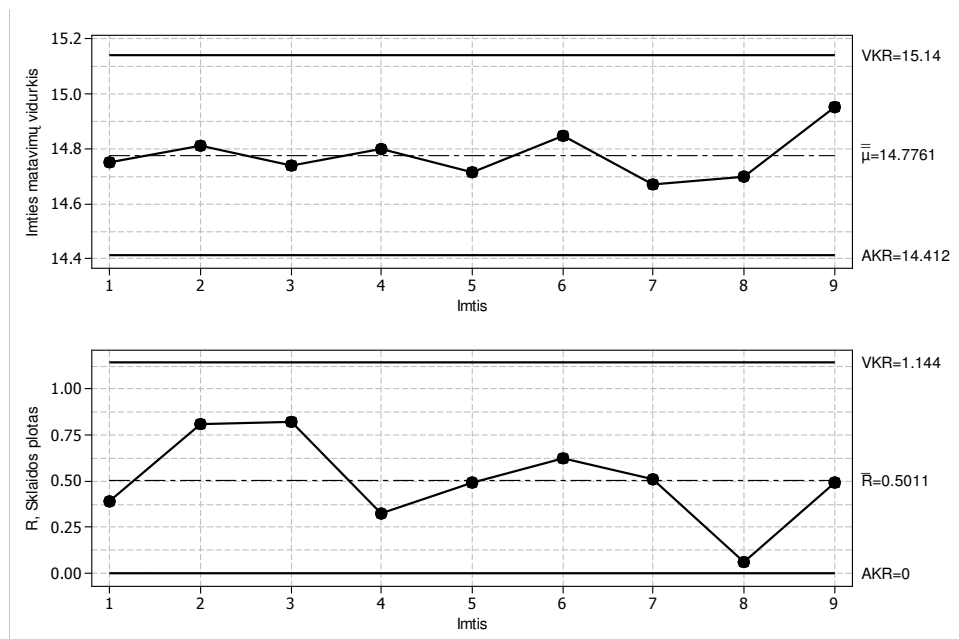
	1 Imtis	2 Imtis	3 Imtis	4 Imtis	5 Imtis	6 Imtis	7 Imtis	8 Imtis	9 Imtis
Eil. Nr.	Kairysis								
1	14,77	14,36	14,86	14,98	14,73	14,71	15	14,71	14,69
2	14,59	14,73	15,18	14,66	15,01	14,51	14,61	14,72	14,85
3	14,66	14,99	14,56	14,68	14,52	15,04	14,49	14,71	15,18
4	14,98	15,17	14,36	14,87	14,6	15,13	14,58	14,66	15,09
$\bar{\mu}$	14,75	14,8125	14,74	14,7975	14,715	14,8475	14,67	14,7	14,9525
R	0,39	0,81	0,82	0,32	0,49	0,62	0,51	0,06	0,49
	Dešinysis								
1	14,47	14,74	14,65	14,87	14,66	14,85	14,67	14,88	14,7
2	14,5	14,76	14,96	14,72	14,3	14,54	14,7	14,97	14,71
3	14,45	14,7	15,14	15,19	14,47	14,93	14,6	14,59	15,01
4	14,76	14,87	14,42	15,07	14,65	14,7	14,54	15,03	14,52
$\bar{\mu}$	14,545	14,7675	14,7925	14,9625	14,52	14,755	14,6275	14,8675	14,735
R	0,29	0,17	0,72	0,47	0,36	0,39	0,16	0,44	0,49

Pagal 2.1 ir 2.2 formules, kiekvienai imčiai apskaičiuojamas aritmetinis vidurkis $\bar{\mu}$ ir sklaidos lauko plotas R . Gauti duomenys surašyti 3.1 lentelėje. Pagal 2.2 — 2.8 lygtis, nustatomos valdymo grafiko ribos, kurios parametrai pateikti 3.2 lentelėje.

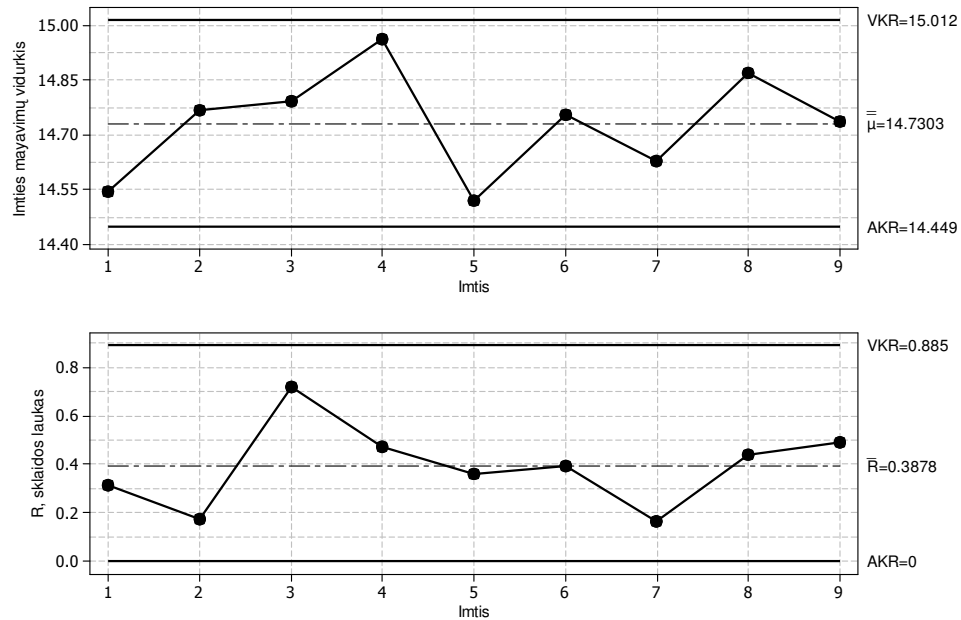
3.2 lentelė. Valdymo grafiko ribos

Valdymo grafiko parametrai	Grandinės		Naudojamos formulės žymėjimas
	Kairioji, mm	Dešinioji, mm	
$\bar{\mu}$	14,7761	14,7303	2.3
$VKR_{\bar{\mu}}$	15,14	15,012	2.5
$AKR_{\bar{\mu}}$	14,412	14,449	2.6
\bar{R}	0,5011	0,3878	2.4
$VKR_{\bar{R}}$	1,144	0,885	2.7
$AKR_{\bar{R}}$	0	0	2.8

Valdymo grafikui sudaryti pasitelkiama „MiniTab 16” programa. Grafikai pateikti 3.3 ir 3.4 pav. Iš valdymo grafiko matyti, kad dešinėsios ir kairiosios grandies apdirbimo procesas, galētu būti statistiškai kontroliuojamas, tačiau tai nėra ribos, kurios atitinka konstruktoriaus užduotas ribas ant brėžinio. Valdymo grafikas parodo realų proceso pajėgumą.



3.3 pav. Kairiosios grandies konstrukcinio elemento 14,5mm matmens valdymo grafikas



3.4 pav. Dešinėsios grandies konstrukcinio elemento 14,5mm matmens valdymo grafikas.

Esant tokiam proceso pajėgumui, galima nustatyti matmens toleranciją, kuri atitiktų $6 \cdot \sigma$ koncepciją, tai yra 99,76% detalės konstrukcinio elemento parametras patektų į tolerancijos ribas.

3.3 lentelė. Proceso veiksnio duomenys

Skaičiuojami parametrai	Grandinės		Naudojamos formulės žymėjimas
	Kairioji	Dešinioji	
σ	0,2433	0,1883	2.14
T	1,46	1,123	2.10

Kairiosios grandinės proceso pajėgumas atitinka $14,776mm \pm 0,73$, o dešinėsios grandinės pajėgumas atitinka $14,730mm \pm 0,562$. Šituo sprendimo būdu nustatyta, reali proceso pajėgumo vertė, kuria galima naudotis, norint patikrinti ar gamybos procesas atitiks užsakovo lūkesčius.

3.2. Esamo proceso veiksnio palyginimas su konstruktoriaus užduotomis ribomis

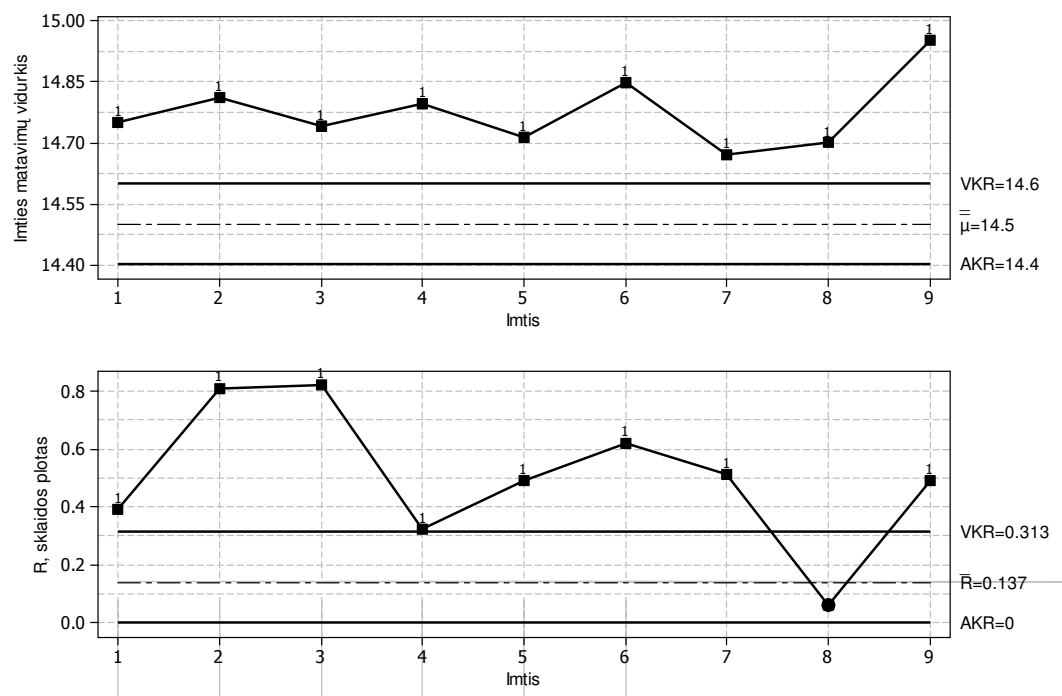
Tolimesni skaičiavimai siejami su konstruktoriaus užduotomis matmens ribomis ant brėžinio. Perskaičiuoti aritmetinio vidurkio nebereikia, nes pats brėžinio nominalinis matmuo tampa, kaip ir aritmetinio vidurkio etaloniniu matmeniu.

Iš brėžinio matyti (1 priedas, brėžinys), kad $14,5\text{mm}$ matmens tolerancijos randamos pagal DIN ISO 2768-m-k standartą, kuris yra lygus $\pm 0,2\text{mm}$. Šios ribos bus priimtose kaip T . Sklaidos plotas randamas pagal 2.9 ir 2.10 formulę. Nustatytos valdymo ribos pateiktos 3.4 lentelėje.

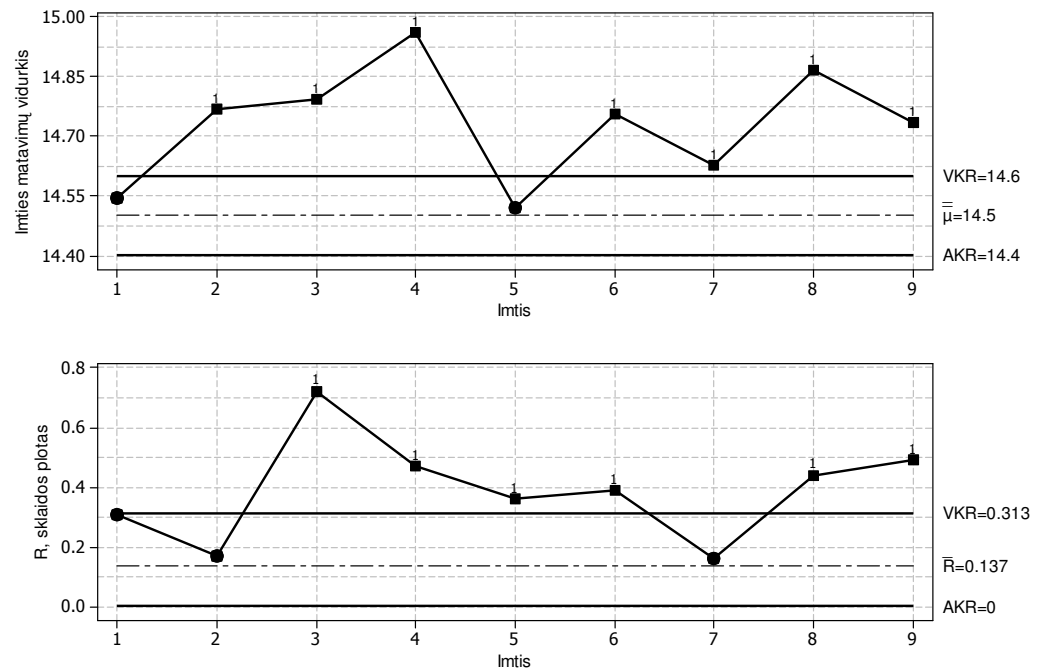
3.4 lentelė. Valdymo grafiko ribos, pagal matmens standarto reikalavimus

Valdymo grafiko parametrai	Grandinės		Naudojamos formulės žymėjimas
	Kairioji, mm	Dešinioji, mm	
$\bar{\mu}$	14,5	14,5	2.3
$VKR_{\bar{\mu}}$	14,6	14,6	2.5
$AKR_{\bar{\mu}}$	14,4	14,4	2.6
\bar{R}	0,137	0,137	2.4
$VKR_{\bar{R}}$	0,313	0,313	2.7
$AKR_{\bar{R}}$	0	0	2.8

3.5 ir 3.6 pav. pavaizduotas valdymo grafikas, kurio ribos paimtos pagal konstruktoriaus užduotus reikalavimus.



3.5 pav. Kairiosios grandinės valdymo grafikas pagal konstruktoriaus užduotas ribas



3.6 pav. Dešinėsios grandinės valdymo grafikas pagal konstruktoriaus užduotas ribas

Iš paveikslėlio matyti, kad procesas nėra kontroliuojamas. Realaus proceso imties matavimų vidurkis skiriasi nuo konstruktoriaus užduoto matmens.

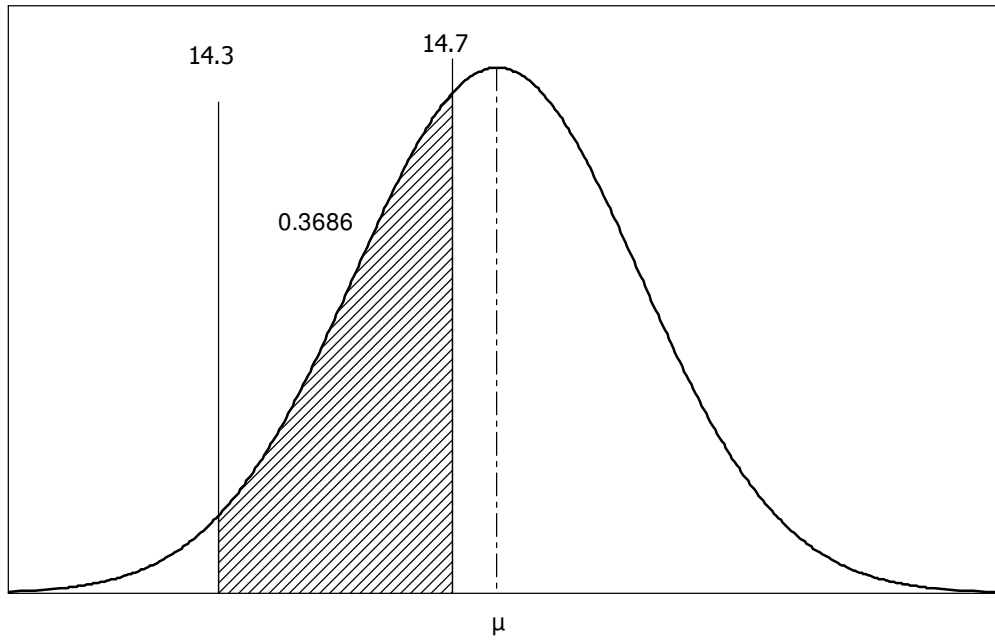
$$\bar{\Delta}_{kairysis} = 14,776 - 14,5 = 0,276mm;$$

$$\bar{\Delta}_{dešinysis} = 14,730 - 14,5 = 0,23mm;$$

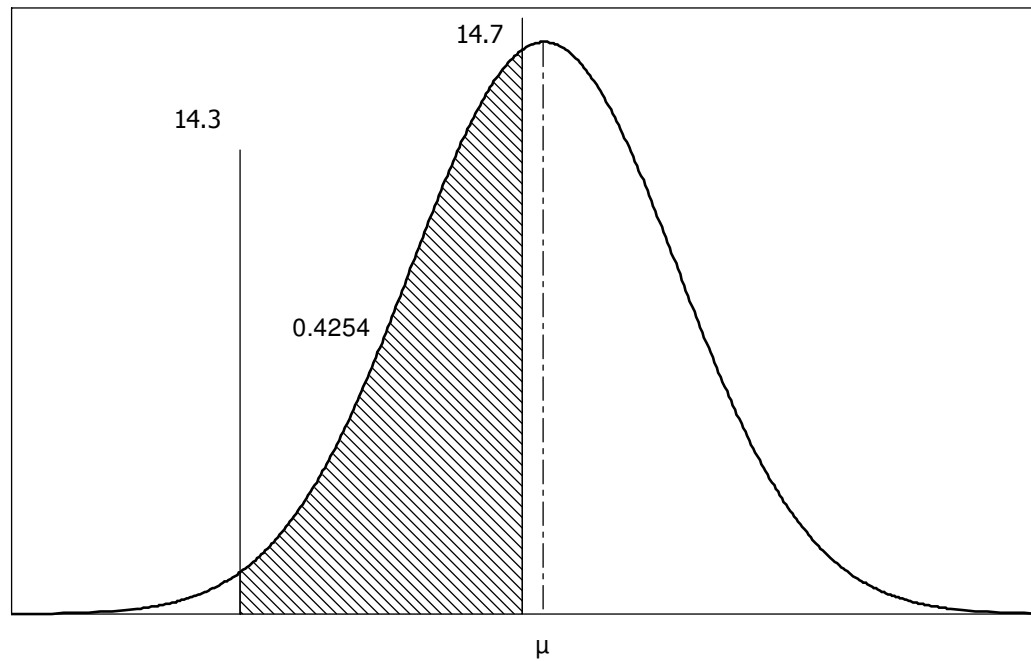
Imties matavimų vidurkio persislinkimas atsirado, todėl, kad apdirbimo programoje palikta $0,2mm$ užlaida konstruktoriaus užduotam matmeniui. Taip užsitikrinama, kad dėl ne vienodo bazuojamo ir apdirbamo paviršiaus kampo, nebus gautas, mažesnis matmuo nei $14,3mm$. Konstrukcinio elemento netikslumą lengviau ištaisyti, kai dar yra paliekama užlaida, negu jos visai nebūtų.

3.3. Procentinio geros kokybės gaminių kiekio nustatymas, naudojant esamą gamybos procesą

Nesiimant jokių veiksmų koreguoti procesą, pateikta, procentinė vertė, pagaminti gerų detalių kiekį, kurie atitinka $14,5 \pm 0,2mm$ užduotą reikalavimą. Vertė apskaičiuojama pagal 2.11. formulę, $P = 36,86\%$ kairiosios ir $P = 42,54\%$ dešinėsios grandinės. Pasitelkus „Minitab 16” programa pateikiamas grafinis atvaizdavimas, pagaminti gerų detalių procentinį kiekį.



3.7 pav. Kairiosios grandinės, gerų detalių, procentinis kiekis



3.8 pav. Dešinėsios grandinės, gerų detalių, procentinis kiekis

Įmonė nesiimdama jokių proceso korekcinių veiksmų, pagamins 36,86% kairiųjų ir 42,54% dešiniųjų grandinių.

3.4. Proceso pajėgumo rodikliai

Pagal 2.15 —2.17 formules apskaičiuojamas proceso pajėgumo rodikliai, kurie pateikti 3.5 lentelėje. $C_p=C_{pk}$

3.5 lentelė. Proceso pajėgumo rodikliai

	C_p	C_{pk1}	C_{pk2}
Kairiosios grandinės	0,274	-1,04	0,65
Dešinėsios grandinės	0,354	-0,05	0,76

Lentelės duomenys patvirtina, kad proceso grupavimosi centras skiriasi nuo nominaliojo matmens reikšmės. Taip pat matoma, kad sutapatinus centrus ir perskaičiavus gerų gaminių procentinį kiekį, procesas vis tiek nebus pajėgus atitikti keliamus reikalavimus. Iš 2.15—2.17 formulių galima spręsti, kad procesas atitiks pajėgumo reikalavimus kuomet:

- praplėstos, 4 kartus kairiosios ir 3 kartus dešinėsios, konstruktoriaus užduotos, matmens tolerancijos ribos;
- sumažinus, 4 kartus kairiosios ir 3 kartus dešinėsios grandinės gamybos proceso kintamųjų kvadratinės nuokrypos reikšmes;
- galimi abudu kartu, prieš tai išvardyti sprendimo būdai.

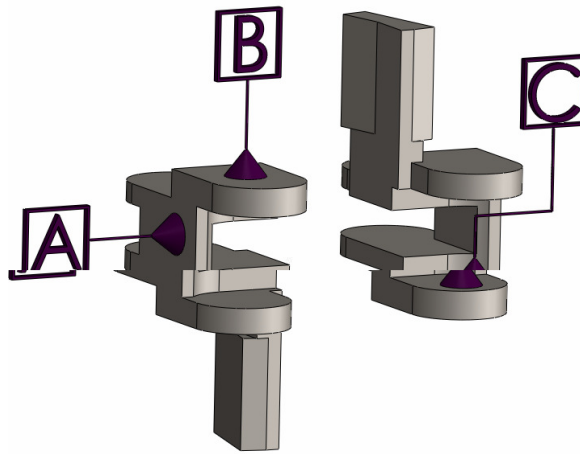
Literatūroje [2, 5], nurodoma potenciali proceso pajėgumo vertės $C_p=1$, laikoma, kaip nepatikimas rodiklis, kadangi procesui tampant nekontroliuojamu, neužkertamas kelias blogos produkcijos gamybai.

3.5. Blogai pagaminamų gaminių priežastys

Iš 3.5 ir 3.6 paveikslėlio matyti, kad sklaidos ploto, R grafiko taškai užėina už kontrolės ribų (kairiosios grandinės 1,2,3,4,5,6,7 ir 9 taškas, o dešinėsios grandinės 3,4,5,6,8 ir 9 taškas).

Esant tokiems duomenų rezultatams, galima teigti, kad proceso kintamieji veiksniai viršija pageidaujamą normą ir procesas yra nekontroliuojamas konstruktoriaus atžvilgiu. Kintamiesiems veiksniams galime priskirti: vibracijas, temperatūrines deformacijas, ruošinio pastatymo paklaidą, ruošinio formos paklaidą, įrankio dilimą, žmogiškąjį faktorių ir t.t.

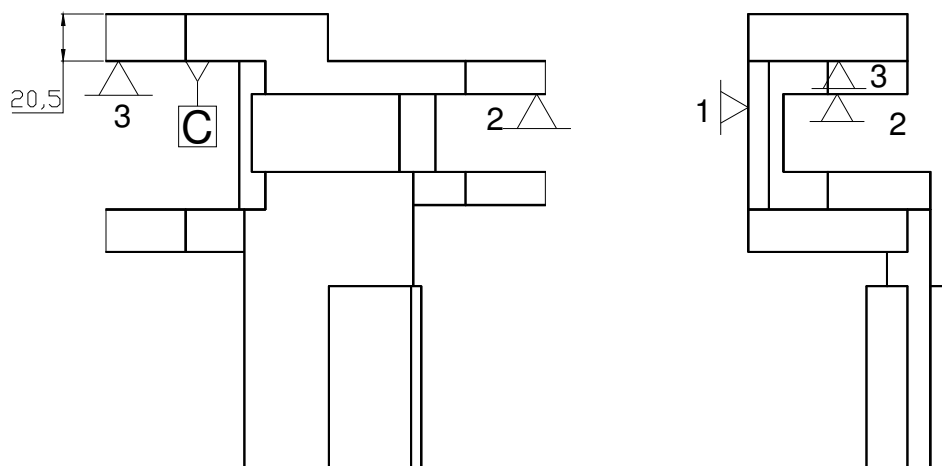
Atsižvelgiant į laiko sąnaudas ir turimos įrangos prieinamumą, tolimesnis tyrimas siejamas su ruošinio formos paklaida. 3.9 pav. pateikta, labiausiai tikėtina, plokštumų padėties statmenumo įtaka, apdirbamos detalės konstrukcinio elemento tikslumui.



3.9 pav. Detalės ruošinys

Ruošinys bazuojamas ant A ir C plokštumų. Prispaudimo jėga spaudžia ruošinį normaline A plokštuma. 14,5mm matmuo apdirbamas pirštine freza, kurios ašis yra statmena B plokštumai. Jei A ir B plokštumos nėra statmenos, tai pagal pasvyrimo kampą atitinkamai bus gautas 14,5mm matmuo.

Įsitikinti tokiu veiksmu, prieš apdirbimą matuojama B plokštumos atstumas nuo papildomo bazinio paviršiaus, ant kurio remiasi C plokštuma, 3.10 pav. Matavimo rezultatai pateikti 3.6 lentelėje. Prie kiekvienos imties pateiktas matavimų vidurkis ir sklaidos plotas, kurie apskaičiuoti pagal 2.1 ir 2.2 formules.



3.10 pav. Ruošinio matavimo schema

3.6 lentelė. B plokštumos atstumas iki bazinio paviršiaus

	1 Imtis	2 Imtis	3 Imtis	4 Imtis	5 Imtis	6 Imtis	7 Imtis	8 Imtis	9 Imtis
Eil. Nr.	Kairysis								
1	20,71	20,62	20,64	20,23	20,84	20,72	20,99	20,18	20,19
2	21,14	20,65	20,91	19,98	20,81	20,26	20,7	21,06	20,68
3	20,43	20,28	20,69	20,83	20,86	20,28	20,52	20,77	20,46
4	20,56	20,31	20,41	20,6	20,65	20,07	20,57	20,88	20,11
$\bar{\mu}$	20,71	20,465	20,663	20,41	20,79	20,333	20,695	20,723	20,36
R	0,71	0,37	0,5	0,85	0,21	0,65	0,47	0,88	0,57
	Dešinysis								
1	21,19	20,69	20,61	20,58	20,68	20,58	20,98	20,54	20,84
2	21,09	20,70	20,32	20,73	21,34	21,13	20,87	20,46	20,71
3	21,14	20,72	20,13	20,20	20,99	20,56	21,04	20,86	20,61
4	20,74	20,48	21,16	20,31	20,70	20,89	21,10	20,40	21,12
$\bar{\mu}$	21,04	20,645	20,555	20,459	20,927	20,789	20,998	20,564	20,821
R	0,45	0,24	1,03	0,53	0,66	0,57	0,23	0,46	0,51

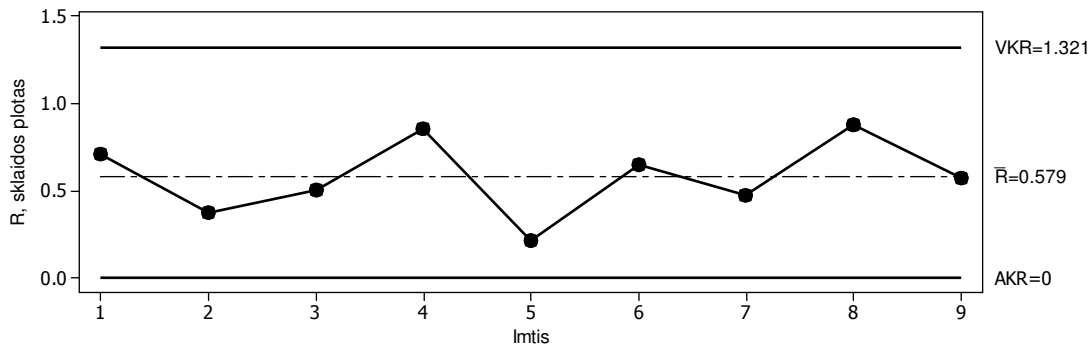
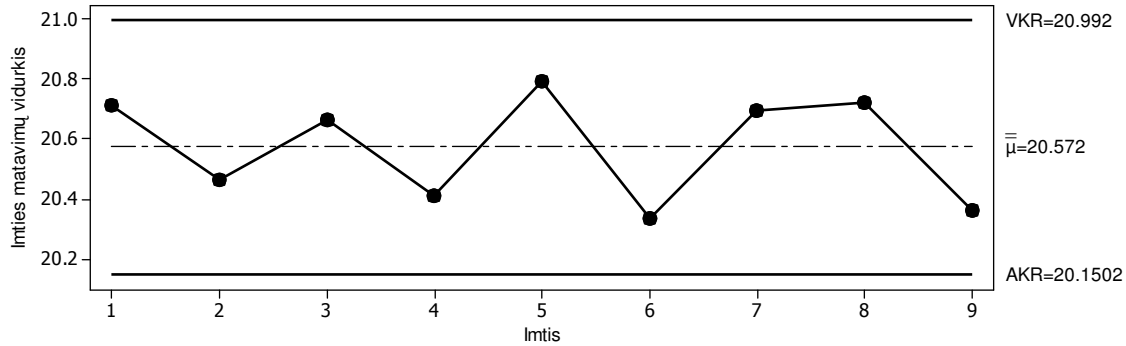
Kiti valdymo grafiko parametrai randami analogiškai, kaip ir prieš tai aprašytame 3.1 poskyriuje, duomenys pateikti 3.6 lentelėje.

3.6 lentelė. Valdymo grafiko parametrai

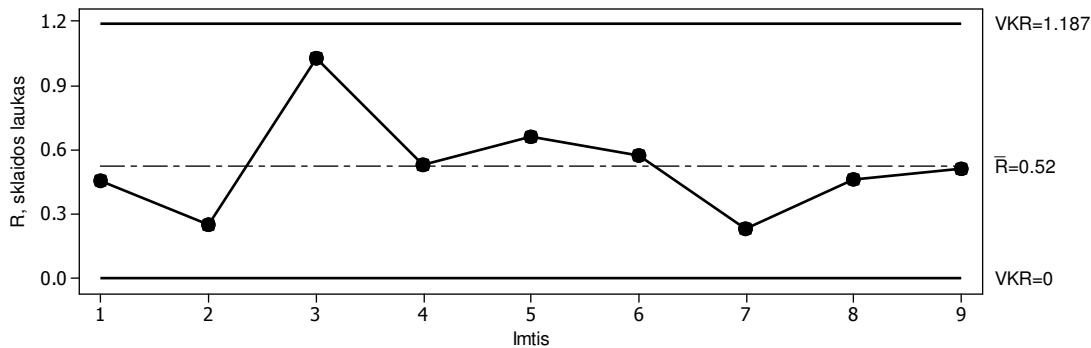
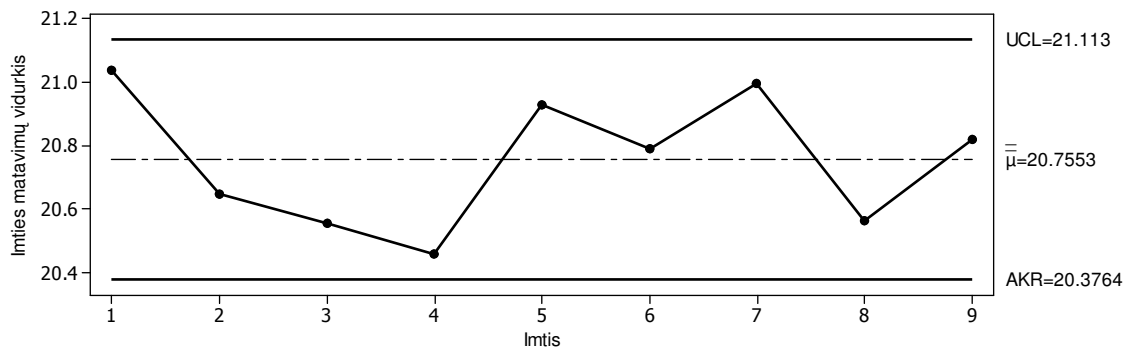
Valdymo grafiko parametrai	Grandinės		Naudojamos formulės žymėjimas
	Kairioji, mm	Dešinioji, mm	
$\bar{\mu}$	20,572	20,755	2.3
$VKR_{\bar{\mu}}$	20,992	21,113	2.5
$AKR_{\bar{\mu}}$	20,152	20,378	2.6
\bar{R}	0,579	0,52	2.4
$VKR_{\bar{R}}$	1,321	1,187	2.7
$AKR_{\bar{R}}$	0	0	2.8

3.11 ir 3.12 paveikslėliuose pateikti ruošinių, valdymo grafikai.

Palyginus duotus grafikus, su prieš tai sudarytu grafiku, po apdirbimo operacijos, galime išžiūrėti, tam tikrą dėsningumą. Kai ruošinio B plokštuma (žr. 3.9 pav. lyginant su pirmuoju valdymo grafiko sudarymu) buvo nutolusi daugiau nuo atraminio, bazinio paviršiaus, gautas matmuo po apdirbimo, nuo nustatyto nominalaus matmens, mažėdavo. Priešingas reiškinys vykdavo kuomet B plokštumos atstumas mažėdavo.



3.11 pav. Kairiosios grandies ruošinio matmens valdymo grafikas



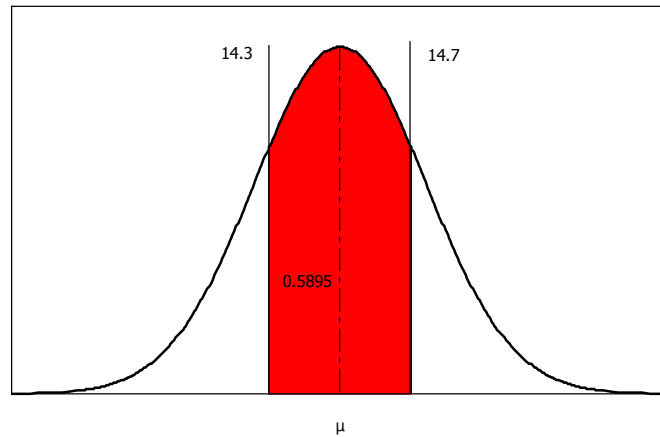
3.12 pav. Dešinėsios grandinės ruošinio matmens valdymo grafikas

3.6. Korekciniai veiksmai

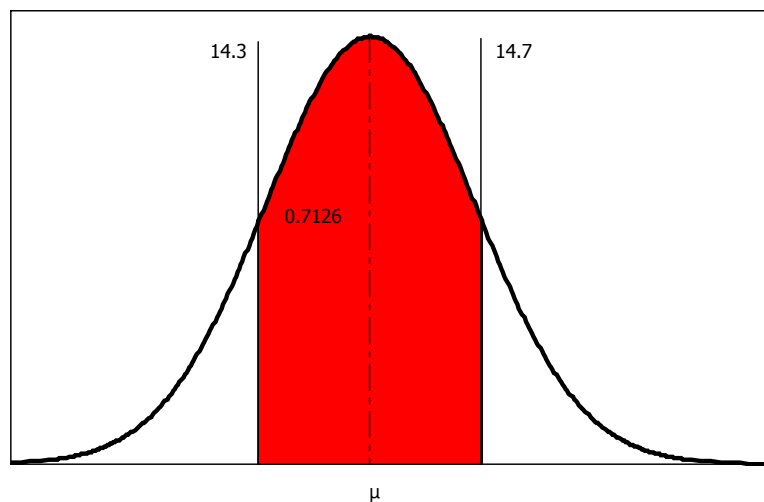
Tai, kad įmonės gaminami gaminiai pagal užsakymą, atitiktų užsakovo pateikta detalės brėžinio reikalavimus, reikalingi veiksmai, kuriems esant, proceso pajėgumas atitiktų lūkesčius.

3.6.1. Preciziško ir tikslaus proceso, gerų konstrukcinių elemento parametru kieki

Kaip minėta prieš tai, realaus proceso aritmetinis vidurkis nutolęs nuo matmens nominalo ($\bar{\Delta}_{kairysis} = 0,276mm$; $\bar{\Delta}_{dešinysis} = 0,23mm$). Tai reiškia, kad procesas preciziškas, bet ne tikslus. Pakoregavus apdirbimo programą ir panaikinus skirtumą, randamas gerų detalių kiekis, galėtų būti, žiūrėti 3.13 pav. ir 3.14 pav.



3.13 pav. Kairiosios grandinės koreguoti proceso rezultatai



3.14 pav. Dešinėsios grandinės koreguoti proceso rezultatai

Sudaryti normalaus skirstinio grafikui ir nustatyti vertei tarp pasirinktų ribų, pasitelkiama „MiniTab 16” programa. Pakoregavus realaus aritmetinio vidurkio centrą, procentėliai pagaminama 58,95% kairiosios ir 71,26% dešinėsios grandinės. Toks proceso pakeitimas duotu geresnių rezultatų, nei palikus procesą nekoregavus, tačiau nors kiek save gerbianti įmonė neužsiimti verslu, jei žinotų, kad kas trečią pagaminamą detalę reiktų taisyti.

3.6.2. Kintamųjų verčių nustatymas procesui, atitinkantis konstrukcinio elemento parametro reikalavimus

Identifikuoti priežastis ir jas eliminuoti, atsiradimo stadijoje, geriausia priemone siekiant sumažinti proceso kintamąsias vertes, kurios turi įtaką konstrukcinio elemento parametro tikslumui. Bet koks, papildomas darbas, reikalaujantis ištaisyti priežasties padarytą poveikį, padidina gaminamos produkcijos savikainą ir sumažinama gaminio vertė.

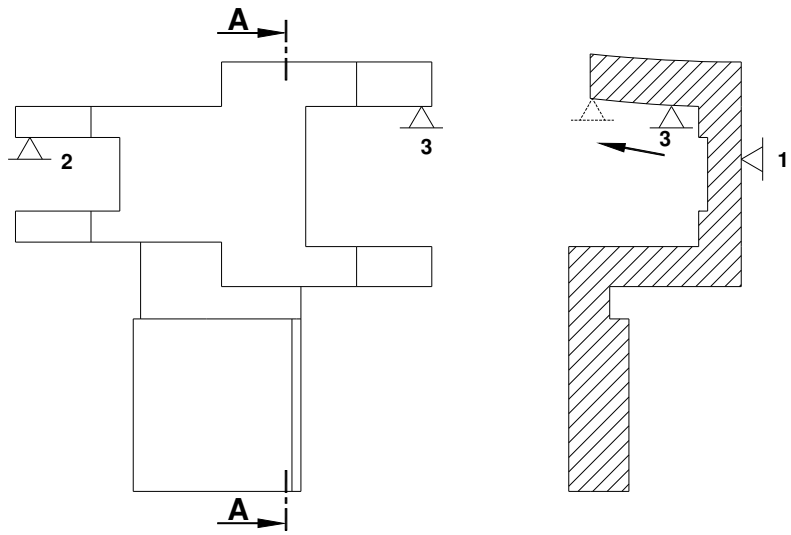
Iš 3.13 ir 3.14 pav. matyti, kad norint gaminti gaminius su šešių sigma koncepcija, reikia mažinti kintamuosius veiksnius, kurie įvardijami, kaip atsitiktinės priežastys. Vienas iš veiksnių, tokioms priežastims, įvardijau, kaip gaunamų medžiagų kokybė. Reikalavimas, kad tiekėjai atsiųstų tinkamos kokybės ruošinius, galėtų būti išseitis, kaip ilgalaikė investicija į gaminio kokybę.

Nustatyti reikalingi proceso pajėgumo indeksai ($C_{pk}=C_p$), gali padėti priimti sprendimą, dėl A ir C plokštumų (žr. 3.9 pav.) statmenumo tolerancijos. Literatūroje [2, 5], išskiriamas $C_{pk}=C_p=1,67$ rodiklis, kuris įvardijamas, kaip gera galimybė aptikti, blogai gaminamai produkcijai. Pagal 2.15 formulės išraišką, apskaičiuojame pageidautiną ruošinio statmenumo kitimo, kvadratinę nuokrypą, kuri lygi $\sigma=0,04$. Pagal 2.10 formulę galime nustatyti paviršiaus C statmenumo toleranciją A plokštumai $\boxed{\perp 0,24 A}$.

Gaunant ruošinius, pagal nurodyta plokštumų padėties sąlygą, sumažinama prioritentinė rizikos vertė, 14,5mm apdirbimo procesui, žiūrėti 3.7 lentelę. Prioritentinė rizikos vertė sumažinama 52 vienetais.

3.7 lentelė. Prioritetinė rizikos vertė sumažinus priežasties dydį

Procesas	Poveikis	Poveikio sunkumas	Priežastys	Priežasties atsiradimo dažnumas	Priežasties identifikavimas	PRK	Bendras PRK
			Nudilęs, nutrupėjęs įrankis	5	4	60	
			Ruošinių neatitikimas reikalavimams	1	1	3	
			Blogai įtvirtintas ruošinys	2	2	12	



3.15 pav. Ruošinio bazavimo schema

IŠVADOS

1. Pateikta matavimo (statistinė proceso kontrolė) atlikimo metodika, kuri susideda iš organizacinių ir metodologinių aspektų. Organizacijos dalyje išskiriama struktūra ir diegimo etapai, padedantys SPK integruoti į kokybės valdymo sistemą. Metodologinėje dalyje pateiktas septynių žingsnių metodas, efektyvesniam SPK panaudojimui, išskiriant konstrukcinio gaminio prioritetinius parametrus.
2. Nepriklausomai nuo specifinių reikalavimų, nustatytos proceso ribos ir būklė,— statistiškai kontroliuojamas.
3. Palyginus proceso galimybes su konstruktoriaus užduotais reikalavimais, nustatyta, kad procesas nepajėgus, konstrukcinio elemento parametro gamybai.
4. Esamo proceso veiksniume, apskaičiuotas procentinis tinkamos, konstrukcinio elemento parametrų, kiekis, kuris atitiktų ~37% ir ~43%.
5. Nustatyta priežastis, kaip netinkama ruošinių kokybė, dėl proceso pajėgumo neatitikimo, keliamiems reikalavimas.
6. Pasiūlyti korekciniai veiksmai, pašalinantys priežasčių atsiradimą arba jų ištaisymą, dėl blogo proceso pajėgumo.

REKOMENDACIJOS IR PASŪLYMAI

1. Nustatyti prioritetines rizikos reikšmes gamybos procesams ir taikyti statistinę proceso kontrolę, eliminuoti arba sumažinti jų reikšmes.
2. Apmokyti operatorius atlikti statistinę proceso kontrolę ir sudaryti sąlygas tarp savęs varžytas, dėl papildomo atlygio.
3. Procesams, kuriems pritaikyta SPK, fiksuoti kvadratinės nuokrypas ir nusistatyti potencialaus proceso pajėgumo rodiklius, kurie gali būti panaudoti nustatant matmens tolerancijos ribas, konstruojant.
4. Skatinti įmonės partnerius įgyvendinti statistinę proceso kontrolę, nes kaip parodė tyrimas, procesą veikiančios priežastys, gali atsirasti prieš ruošiniui patenkant pas rangovą.

LITERATŪRA

1. BARGELIS, Algirdas. *Integruotos gamybos pagrindai*. Kaunas, 1998. p. 11-22.
2. DALE, Barrie G.; WIELE, Ton van der; IVAARDEN Jos van. *Managing quality*. 2007. p. 441-467.
3. Antanas Juozas Bražiūnas. *Mašinu gamybos technologijos pagrindai*. Kaunas, 2004. p. 36-4.
4. Šiaulių universitetas [interaktyvus]. [Šiauliai]: ŠU [žiūrėta 2012 m. gegužės 15d.]. prieiga per internetą: <<http://techno.su.lt/~dalia/index.php?page=286>>
5. OAKLAND, John S. *Statistical process control*. Great Britain. 2008.
6. BERNOLAK, Imre. Succeeds with productivity and quality: how to do better with less. USA. 2009, p. 53-64.
7. BIRLIKOWSKA, Dudek M. Quality estimation of precess with usage control charts type X-R and quality capability of process C_p , C_{pk} . *Journal of Materials Processing Technology*. Nr. 162-163, 2005. p. 736-743.
8. MITRA, Amitava. *Fundamentals of quality control and improvment*. USA, 2008. p. 265-367.
9. Does R.J.M.M., Schippers W.A.J. Trip A. A framework for implementation of statistical process control. *International Journal of Quality Science*. Nr. 3(2), 1997. p. 181-198.
10. Palenskis, K., Maknys, V. *Atsitiktiniai vyksmai*. Vilnius. 1998, p. 145.
11. BUCKNER. M. R. *Statistical process management: an essential element of quality improvment*. South Karolina. 1992.

1 PRIEDAS. Koeficientai įvertinantys centrinės linijos ir trijų-sigma valdymo ribas

Pavyzdžių kiekis imtyje (<i>n</i>)	A	A2	D1	D2	D3	D4	A3	B3	B4	d2	c4
2	2,121	1,88	0	3,686	0	3,267	2,659	0	3,267	1,128	0,7979
3	1,732	1,023	0	4,358	0	2,574	1,954	0	2,568	1,693	0,8862
4	1,5	0,729	0	4,698	0	2,282	1,628	0	2,266	2,059	0,9213
5	1,342	0,577	0	4,918	0	2,114	1,427	0	2,089	2,326	0,94
6	1,225	0,483	0	5,078	0	2,004	1,287	0,03	1,97	2,534	0,9515
7	1,134	0,419	0,204	5,204	0,076	1,924	1,182	0,118	1,882	2,704	0,9594
8	1,061	0,373	0,388	5,306	0,136	1,864	1,099	0,185	1,815	2,847	0,965
9	1	0,337	0,547	5,393	0,184	1,816	1,032	0,239	1,761	2,97	0,9693
10	0,949	0,308	0,687	5,469	0,223	1,777	0,975	0,284	1,716	3,078	0,9727
11	0,905	0,285	0,811	5,535	0,256	1,744	0,927	0,321	1,679	3,173	0,9754
12	0,866	0,266	0,922	5,594	0,283	1,717	0,886	0,354	1,646	3,258	0,9776
13	0,832	0,249	1,025	5,647	0,307	1,693	0,85	0,382	1,618	3,336	0,9794
14	0,802	0,235	1,118	5,696	0,328	1,672	0,817	0,406	1,594	3,407	0,981
15	0,775	0,223	1,203	5,741	0,347	1,653	0,789	0,428	1,572	3,472	0,9823
16	0,75	0,212	1,282	5,782	0,363	1,637	0,763	0,448	1,552	3,532	0,9835
17	0,728	0,203	1,356	5,82	0,378	1,622	0,739	0,466	1,534	3,588	0,9845
18	0,707	0,194	1,424	5,856	0,391	1,608	0,718	0,482	1,518	3,64	0,9854
19	0,688	0,187	1,487	5,891	0,403	1,597	0,698	0,497	1,503	3,689	0,9862
20	0,671	0,18	1,549	5,921	0,415	1,585	0,68	0,51	1,49	3,735	0,9869
21	0,655	0,173	1,605	5,951	0,425	1,575	0,663	0,523	1,477	3,778	0,9876
22	0,64	0,167	1,659	5,979	0,434	1,566	0,647	0,534	1,466	3,819	0,9882
23	0,626	0,162	1,71	6,006	0,443	1,557	0,633	0,545	1,455	3,858	0,9887
24	0,612	0,157	1,759	6,031	0,451	1,548	0,619	0,555	1,445	3,895	0,9892
25	0,6	0,153	1,806	6,056	0,459	1,541	0,606	0,565	1,435	3,931	0,9896

2 PRIEDAS. Normaliojo skirstinio lentelė

z	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,1	0,03983	0,0438	0,04776	0,05172	0,05567	0,05962	0,06356	0,06749	0,07142	0,07535
0,2	0,07926	0,08317	0,08706	0,09095	0,09483	0,09871	0,10257	0,10642	0,11026	0,11409
0,3	0,11791	0,12172	0,12552	0,1293	0,13307	0,13683	0,14058	0,14431	0,14803	0,15173
0,4	0,15542	0,1591	0,16276	0,1664	0,17003	0,17364	0,17724	0,18082	0,18439	0,18793
0,5	0,19146	0,19497	0,19847	0,20194	0,2054	0,20884	0,21226	0,21566	0,21904	0,2224
0,6	0,22575	0,22907	0,23237	0,23565	0,23891	0,24215	0,24537	0,24857	0,25175	0,2549
0,7	0,25804	0,26115	0,26424	0,2673	0,27035	0,27337	0,27637	0,27935	0,2823	0,28524
0,8	0,28814	0,29103	0,29389	0,29673	0,29955	0,30234	0,30511	0,30785	0,31057	0,31327
0,9	0,31594	0,31859	0,32121	0,32381	0,32639	0,32894	0,33147	0,33398	0,33646	0,33891
1	0,34134	0,34375	0,34614	0,34849	0,35083	0,35314	0,35543	0,35769	0,35993	0,36214
1,1	0,36433	0,3665	0,36864	0,37076	0,37286	0,37493	0,37698	0,379	0,381	0,38298
1,2	0,38493	0,38686	0,38877	0,39065	0,39251	0,39435	0,39617	0,39796	0,39973	0,40147
1,3	0,4032	0,4049	0,40658	0,40824	0,40988	0,41149	0,41308	0,41466	0,41621	0,41774
1,4	0,41924	0,42073	0,4222	0,42364	0,42507	0,42647	0,42785	0,42922	0,43056	0,43189
1,5	0,43319	0,43448	0,43574	0,43699	0,43822	0,43943	0,44062	0,44179	0,44295	0,44408
1,6	0,4452	0,4463	0,44738	0,44845	0,4495	0,45053	0,45154	0,45254	0,45352	0,45449
1,7	0,45543	0,45637	0,45728	0,45818	0,45907	0,45994	0,4608	0,46164	0,46246	0,46327
1,8	0,46407	0,46485	0,46562	0,46638	0,46712	0,46784	0,46856	0,46926	0,46995	0,47062
1,9	0,47128	0,47193	0,47257	0,4732	0,47381	0,47441	0,475	0,47558	0,47615	0,4767
2	0,47725	0,47778	0,47831	0,47882	0,47932	0,47982	0,4803	0,48077	0,48124	0,48169
2,1	0,48214	0,48257	0,483	0,48341	0,48382	0,48422	0,48461	0,485	0,48537	0,48574
2,2	0,4861	0,48645	0,48679	0,48713	0,48745	0,48778	0,48809	0,4884	0,4887	0,48899
2,3	0,48928	0,48956	0,48983	0,4901	0,49036	0,49061	0,49086	0,49111	0,49134	0,49158
2,4	0,4918	0,49202	0,49224	0,49245	0,49266	0,49286	0,49305	0,49324	0,49343	0,49361
2,5	0,49379	0,49396	0,49413	0,4943	0,49446	0,49461	0,49477	0,49492	0,49506	0,4952
2,6	0,49534	0,49547	0,4956	0,49573	0,49585	0,49598	0,49609	0,49621	0,49632	0,49643
2,7	0,49653	0,49664	0,49674	0,49683	0,49693	0,49702	0,49711	0,4972	0,49728	0,49736
2,8	0,49744	0,49752	0,4976	0,49767	0,49774	0,49781	0,49788	0,49795	0,49801	0,49807
2,9	0,49813	0,49819	0,49825	0,49831	0,49836	0,49841	0,49846	0,49851	0,49856	0,49861
3	0,49865	0,49869	0,49874	0,49878	0,49882	0,49886	0,49889	0,49893	0,49896	0,499

3 PRIEDAS. Detalės brėžinys. Žiūrėti kitame puslapyje.

