

GAMINIO KOKYBĖS SIEKIMO SĄNAUDŲ PROGNOZAVIMAS

Dalia Čikotienė, Dirk Zwick

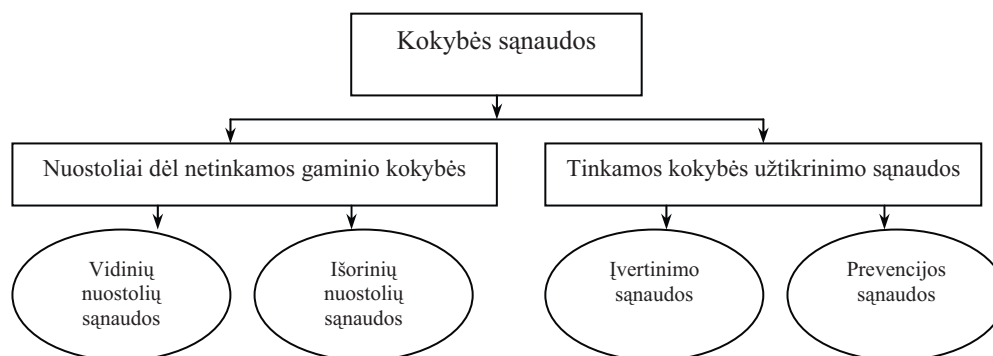
Šiaulių universitetas, Technologijos fakultetas

Įvadas

Tyrimų temos aktualumą lemia poreikis mažinti gaminio gamybos technologijos ir kokybės siekimo sąnaudas, bet garantuojant, kad gaminyje visiškai atitiktų vartotojo reikalavimus. Gamybos technologijos ir kokybės siekimo sąnaudos priklauso nuo gaminio sudėtingumo tipinių konstrukcinių elementų skaičiaus gaminyje, jų sudėtingumo, gaminio kiekybinių-kokybinių parametrų, taip pat jo gamybos technologijos. Kuo sudėtingesnis gaminys, tuo daugiau jame originalių detalių ir sudėtingų konstrukcinių elementų, tuo mažesnės leidžiamos tolerancijos, tuo didesnės bus jo gamybos, o kartu ir kokybės siekimo sąnaudos. Gera gaminių kokybė gali būti pasiekta tik nuolat gerinant gamybos sistemos veiklą [1].

Lietuvoje yra labai daug smulkių ir vidutinių įmonių, gaminančių įvairius gaminius bei jų dalis pagal vartotojo užsakymus. Gavus užsakymą, stengiamasi kuo greičiau jį įvykdyti ir laiku perduoti užsakovui, neskiriant laiko ir lėšų kokybės prevencijai bei per mažai lėšų skiriant gaminių kokybės įvertinimui. Kokybės siekimo sąnaudų modeliavimas yra pagrindinis kokybės užtikrinimo minimaliomis sąnaudomis veiksnys. Kokybės siekimo sąnaudos – tai sąnaudos prevencijai, kai užkertamas kelias defektams atsirasti, ir įvertinimo sąnaudos, kai vertinama, ar gaminys atitinka kokybės reikalavimus [2].

Sąnaudos kokybės prevencijai ir įvertinimui užtikrina aukštą gaminio kokybę (tai yra atitikimo sąnaudos), o vidiniai bei išoriniai nuostoliai įvertina gaminio kokybės netinkamumą (neatitikimo sąnaudos) (1 pav.).

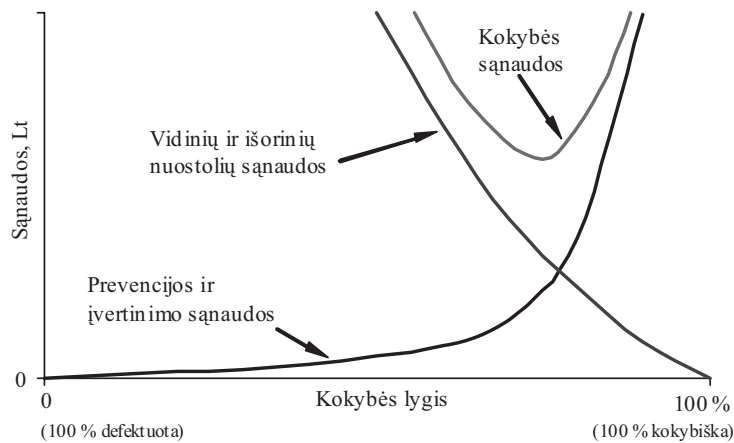


1 pav. Kokybės sąnaudų grupės

Pirmajame paveiksle išskirtos sąnaudų grupės reiškia:

- Prevencija – tai investavimas į veiklą, susijusią su kokybės sąnaudų mažinimu.
- Įvertinimas – tai medžiagų ir gaminio komponentų tikrinimas, kokybės tikrinimas gamybos procese bei pagaminus, gamybos kontrolė.
- Vidiniai nuostoliai – konstravimo klaidos, nekokybiški ruošiniai, įrengimų patikimumas bei galimybės, įrankių būklė ir patikimumas, darbininko klaidos.
- Išoriniai nuostoliai – užsakymo priėmimo netikslumai, neteisinga gaminio surinkimo instrukcija, gamybos nesėkmė, darbininko klaidos.

Pagrindinis Lundvall-Juran kokybės lygio kitimo modelio (2 pav.) teiginys tvirtina, kad gaminio sąnaudos bus mažiausios tame kokybės lygyje, kuriame bendros pajamos, gautos pridėjus vieną kokybės vienetą, bus lygios bendroms sąnaudoms, gautoms pridėjus vieną kokybės vienetą [3]. Bendros kokybės sąnaudos apibrėžiamos prevencijos bei įvertinimo sąnaudų ir vidinių bei išorinių nuostolių suma. Nustatyta, kad, didėjant gaminio kokybės lygiui, mažėja nuostolių sąnaudos, o prevencijos ir įvertinimo sąnaudos auga.



2 pav. Lundvall-Juran kokybės sąnaudų kitimo modelis

Iš šio modelio matyti, kad gaminio kokybės prevencijos ir įvertinimo sąnaudos bus lygios nuliui, kai gaminio kokybės atitikimo lygis bus nulinis. Kitaip tariant, jei gaminys visiškai neatitinka kokybės reikalavimų, vadinasi, jo kokybės prevencijai ir įvertinimui visiškai nebuvo skiriama lėšų.

Prevencijos sąnaudas sudaro [4, 5]:

- išlaidos kokybės inžinerijai ir technikai;
- išlaidos projektavimui ir įrangos gerinimui;
- išlaidos kitų funkcijų kokybės planavimui;
- išlaidos gaminių patikros įrangos priežiūrai ir kalibravimui;
- išlaidos patikimo tiekimo užtikrinimui;
- išlaidos kokybės administravimui, auditui ir tobulinimui.

Prevencijos sąnaudos turi būti prioritetingos, kadangi žymiai pigiau iš anksto užkirsti kelią defektams, negu koreguoti gaminį, kai defektai atsiranda. Valanda, sugaišta geresnio gaminio projektui sukurti, gali sutaupyti dešimt valandų, kurių pririnktų netinkamo gaminio konstrukcijai pakeisti.

Įvertinimo sąnaudas sudaro:

- išlaidos medžiagų ir gaminio komponentų, gautamų iš tiekėjų, tikrinimui;
- išlaidos kokybės tikrinimui gamybos proceso metu;
- išlaidos gaminių tikrinimui, testavimui;
- atsargų įvertinimo išlaidos;
- gamybos kontrolės išlaidos;
- kokybės kontrolės išlaidos.

Įvertinimo išlaidos skirtos nekokybiškiems gaminiams nustatyti prieš jiems pasiekiant vartotoją.

Vidinių nuostolių sąnaudos netiesiogiai paveikia vartotoją. Jos atsiranda dėl neteisingai suprastų vartotojo poreikių, dizaino pakeitimo, dėl pravaikštų, įrengimų gedimų, nekokybiškų medžiagų, perdirbimo.

Vidinių nuostolių sąnaudas sudaro:

- sugadintų gaminių kaina;
- perdirbimo kaina;
- atliekų kaina.

Sunkiausia nustatyti išorinių nuostolių sąnaudas, nes jos susiję su klientų ir rinkos dalies praradimu. Išorinių nuostolių sąnaudas apima prarastą vartotojo palankumą, gaminių gražinimą garantiniu laikotarpiu, laiko praradimą, gaminio pardavimo kainos mažėjimą.

Išorinių nuostolių sąnaudas sudaro:

- gedimų nustatymo kaina;
- gaminio remonto ar gražintų gaminių kaina;
- garantinio remonto kaina;
- reputacijos praradimo kaina;
- dalies vartotojų ir rinkų praradimas.

Pripažinus kokybės nuostolių išorėje reikšmingumą, atsirastų perspektyva pereiti nuo gaminio kokybės iki visiško vartotojų pasitenkinimo gaminiu, kuris turėtų būti pagrindinis kokybės mato vienetas [6].

Gaminio kokybės siekimo sąnaudų vertinimas

Gaminio kokybės siekimo sąnaudos Q_k aprašomos kaip funkcija nuo visų gaminio gamybos sąnaudų H :

$$Q_k = f(H). \quad (1)$$

Gaminio kokybės siekimo sąnaudos priklauso nuo gaminio konstrukcijos sudėtingumo, gamybos technologijos, naudojamų įrengimų ir įrangos ir nuo proceso organizavimo tobulumo. Kuo paprastesnė gaminio konstrukcija, tuo gaminio kokybės sąnaudos bus mažesnės.

Gaminio kokybės siekimo sąnaudos paprastai skirstomos į keturias kategorijas: prevenciją, įvertinimą, vidinius nuostolius ir išorinius nuostolius. Kokybės prevencija – tai gaminio projekto peržiūra, darbuotojų kvalifikacijos kėlimas, tiekėjų įvertinimas, specifikacijų peržiūra, kokybės auditas, profilaktinė įrengimų priežiūra, inžineriniai pakeitimai, gaminio patikimumas ir pridėtinės išlaidos [7]. Kokybės mo-

mentinis įvertinimas apima pardavimų priežiūrą, gaunamų komponentų patikrinimą, gaminio priimtinumą, procesų kontrolę, kontrolinius tikrinimus, kokybės tikrinimo darbą, testavimą, kokybės tikrinimo, įrengimų kainą. Vidiniai nuostoliai – tai prastovos, inžineriniai gaminių ir procesų pakeitimai, papildomi komponentai ir brokuotų gaminių sąnaudos organizacijos viduje. Išoriniai nuostoliai apima vartotojų skundus, gaminių atsisakymą, pakartotinį aptarnavimą, produkto patikimumą, prarastą rinkos dalį, pristatymo atidėjimą.

Gaminio kokybės siekimo sąnaudos gali būti išreikštos formule:

$$Q_k = \sum_{i=1}^n (Q1)_i + \sum_{j=1}^m (Q2)_j + \sum_{k=1}^p (Q3)_k + \sum_{l=1}^r (Q4)_l; \quad (2)$$

čia: $Q1$ – kokybės prevencijos sąnaudos; $Q2$ – kokybės įvertinimo sąnaudos; $Q3$ – vidiniai nuostoliai; $Q4$ – išoriniai nuostoliai.

Kiekvieną gaminio kokybės siekimo sąnaudų kategoriją sudaro daugybė parametru, kuriuos galima užrašyti kaip atskiras funkcijas.

Kokybės prevencijos sąnaudos:

$$B \quad Q1 = f(x_1, x_2, x_3, x_4); \quad (3)$$

čia: x_1 – užsakymo patikrinti kokybės ir gamybos proceso kainą, Lt; x_2 – kokybės audito kainą, Lt; x_3 – prevencinės priežiūros kainą, Lt; x_4 – darbuotojų kvalifikacijos kėlimo kainą, Lt.

Kokybės įvertinimo sąnaudos:

$$Q2 = f(y_1, y_2, y_3, y_4, y_5); \quad (4)$$

čia: y_1 – gautos patikros sąnaudos; y_2 – gaminio priėmimo sąnaudos; y_3 – patikros darbo sąnaudos; y_4 – proceso kontrolės sąnaudos; y_5 – kokybės kontrolės įrangos sąnaudos.

Vidiniai kokybės nuostoliai $Q3$:

$$Q3 = f(z_1, z_2, z_3); \quad (5)$$

čia: z_1 – prastovų nuostoliai; z_2 – pakartotinos patikros sąnaudos; z_3 – atliekų, atsiradusių dėl defektų, kainą, Lt.

Išorinių nuostolių sąnaudos $Q4$:

$$Q4 = f(v_1, v_2, v_3); \quad (6)$$

čia: v_1 – vartotojų skundų kainą, Lt; v_2 – pristatymo atidėliojimo kainą, Lt; v_3 – kitų išorinių nepasiekimų nuostoliai, Lt.

Išorinius nuostolius galima sumažinti daugiau dėmesio skiriant kokybės prevencijai ($Q1$) ir įvertinimui ($Q2$).

Strateginė kokybės gerinimo kryptis yra kokybės išlaidų optimizavimas – siekiama, kad būtų

užtikrintos gaminio projekte numatytos geros kokybės charakteristikos. Kokybės užtikrinimas apima visas gaminio stadijas – nuo jo projektavimo ir gamybos iki eksploatacijos, techninės priežiūros ir remonto darbų [8].

Efektyvaus kokybės sąnaudų modelio diegimas leistų daugeliui gamintojų sumažinti atliekų ir perdirbimų kiekį, kartu mažinant nuostolius dėl prastos gaminio kokybės [9].

Gaminių klasifikavimas

Konstravimo, siekiant idealumo (angliškai *design for excellence* DFX), metodologija, taikoma gamybos situacijai be papildomų investicijų pagerinti, yra žymiai efektyvesnė, kai tai susiję ne su visais įmanomais gaminiiais, bet atskiromis jų klasėmis. Šiuo atveju produkto koncepcijos stadijoje vartojami bendri metodai, rekomendacijos bei praktika, o siekiant idealumo ypatybių, gilesnės konstravimo žinios apibrėžiamos konkrečiai gaminių klasei ir atitinkamam procesui [10]. Kurdami efektyviai ir tiksliai veikiantį modelį proceso kokybei siekti, atlikome mechaninių ir elektromechaninių produktų, gaminamų Lietuvoje, klasifikavimą (1 lentelė).

1 lentelė. **Gaminių klasifikavimas**

Gaminio klasė	Gaminio tipas
1	CNC staklės ir jų komponentai
2	Preciziniai įrenginiai
3	Dviračiai
4	Šaldytuvai
5	Žemės ūkio technika
6	TV komponentai
7	Vėdinimo ir šildymo įrenginiai
8	Liejiniai ir štampai
9	Lakštinio metalo gaminiai
10	Vientiso metalo ir plastiko detalės

Proceso modeliavimas kokybei pasiekti mažiausiomis sąnaudomis apibrėžiamas atskirose gaminių klasėse. Gaminio G , susidedančio iš originalių detalių P ir standartinių komponentų PI , kokybės požymis I gali būti apibrėžiamas tokia lygybe:

$$I = \bigcup_{i=1}^n (\{F_{ij}\}_{j=1}^m, \{E_{ik}\}_{k=1}^l, \{A_{ip}\}_{p=1}^r); \quad (7)$$

čia: F_{ij} – kokybės reikalavimai gaminio G_i funkcionalumui; E_{ik} – kokybės reikalavimai gaminio G_i parametrui; A_{ip} – kokybės reikalavimai gaminio G_i tikslumui; n – gaminio G_i kokybės požymių skaičius.

Proceso modeliavimo kokybei garantuoti užduotis prasideda nuo pradinio detalės P ruošinio parinkimo, operacijų ir įrengimų pagal kokybės po-

žymius I , kurie yra sistematizuojami ir randami proceso modeliavimo žinių bazėje (KB). Kitas modeliavimo žingsnis yra proceso alternatyvų kūrimas pagal operacijų eiliškumą ir gamybos bei kokybės sąnaudų apibrėžimą. Trečiasis modeliavimo žingsnis yra proceso alternatyvų įvertinimas ir geriausio proceso su minimaliomis gamybos sąnaudomis parinkimas.

Mechaninių gaminių gamybos ir kokybės siekimo sąnaudų prognozavimas

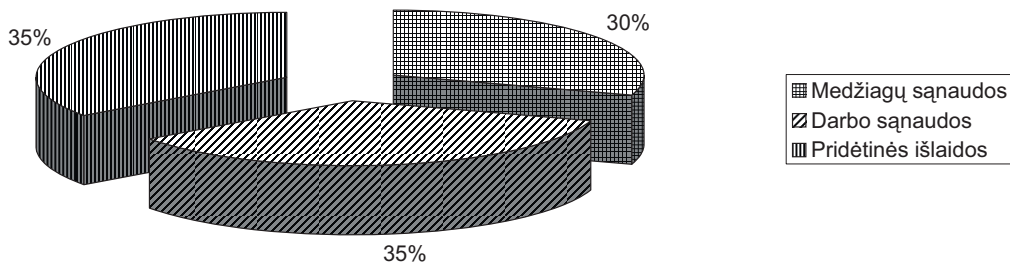
Labai dažnai naujo gaminio technologija ir gamybos sąnaudos turi būti nustatomos jau ankstyvoje konstravimo ar jo gamybos užsakymo įvertinimo stadijoje, kai reikiami parametrai nežinomi. Tokiu atveju būtina turėti gamybos sąnaudų prognozavimo modelį.

Mechaninio gaminio sąnaudos H prognozuojamos pagal tokią išraišką:

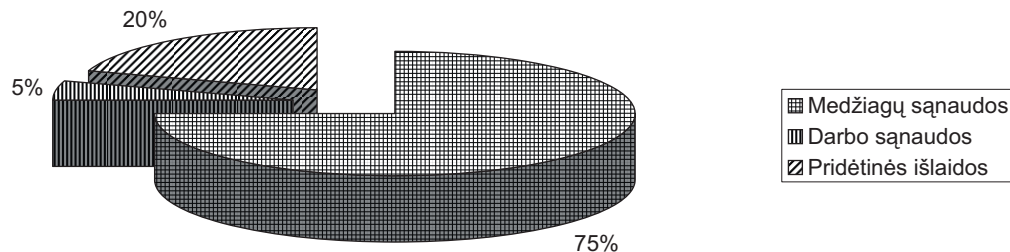
$$H = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k \sum_{e=1}^q M_i D_j P_e; \quad (8)$$

čia: M_i – medžiagų sąnaudos; D_j – darbo sąnaudos; P_e – pridėtinės išlaidos.

Atlikti tyrimai Lietuvos gamybos sistemose parodė, kad kuo gaminyje sudėtingesnis, tuo daugiau sąnaudų tenka darbo užmokesčiui, įrengimų ir įrankių investicijoms ir išlaidoms, o mažesnė dalis sąnaudų – medžiagoms (3 pav.). Paprastam gaminiui didesnė dalis sąnaudų tenka medžiagoms, o darbo užmokesčio, įrengimų ir įrankių nusidėvėjimo sąnaudos, pridėtinės išlaidos mažėja (4 pav.).



3 pav. Apytikslis sudėtingo (1–3 klasė) gaminio sąnaudų pasiskirstymas



4 pav. Apytikslis nesudėtingo (8–10 klasė) gaminio sąnaudų pasiskirstymas

Turėdami gaminio G gamybos sąnaudas H , galime prognozuoti, kokios bus to gaminio kokybės siekimo sąnaudos, t. y. jų priklausomybę nuo visų gamybos sąnaudų (1 formulė). Gaminio kokybės siekimo sąnaudos susideda iš kokybės prevencijos, kokybės įvertinimo sąnaudų bei vidinių ir išorinių nuostolių (2 formulė).

Prognozavome reikalingas kokybės siekimo įvairiems gaminiams sąnaudas. Modeliavome atskiras kokybės siekimo sąnaudų dalis (prevencijos, įvertinimo, vidinių bei išorinių nuostolių sąnaudas) skirtingoms gaminių sudėtingumo klasėms. Rezultatai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. *Kokybės siekimo sąnaudų prognozavimo rezultatai*

Gaminio klasė	Q1, Lt	Q2, Lt	Q3, Lt	Q4, Lt	Q, Lt
9	6,11	8,55	35,21	12,22	62,09
9	35,83	50,16	206,43	71,66	364,08
8	17,44	24,42	93,56	34,89	170,31
7	4,51	6,32	24,20	9,02	44,05
6	62,16	87,02	256,41	124,32	529,91
5	114,09	159,73	423,84	228,18	925,84

Prognozuojamos kokybės sąnaudos tirtiems gaminiams sudaro 4,1–5,0% visų gamybos sąnaudų. Prognozuojamoms gaminių gamybos bei kokybės

šnaudoms įtakos turi konstravimo, technologijos, gamybos klaidų bei žmogiškieji veiksniai. Visa tai reikia įvertinti norint kuo tiksliau prognozuoti produkto gamybos bei kokybės sąnaudas.

Išvados

1. Sukurtos funkcinės priklausomybės kokybės prevencijos, momentinio įvertinimo bei vidiniams ir išoriniams nuostoliams nustatyti.
2. Eksperimentinis tyrimas parodė, jog kokybės siekimo sąnaudos sudaro 4,1–5,0% nuo visų gamybos sąnaudų; tyrimais įrodyta, jog, taikant efektyvią kokybės prevencijos sistemą, minėtas sąnaudas galima sumažinti iki 3,0–3,5%.
3. Sukurtas prognozavimo metodas mechaninių gaminių kokybės siekimo sąnaudoms įvertinti ankstyvoje gaminio konstravimo stadijoje gali padėti operatyviai įvertinti kiekvienos gamybos sistemos galimybes kuriant ir gaminant naujus gaminius.

Literatūra

1. Tatikonda L., Tatikonda R., 1996, Measuring and reporting the cost of quality. *Production and inventory management journal*. No. 37 (2). P. 1–77.
2. Sower V. E., Ross Q., Broussard E., 2007, Cost of quality usage and its relationship to quality system

maturity. *International journal of quality and reliability management*. No. 24 (2). P. 121–140.

3. Juran J. M., 1981, Quality control handbook. New York: McGraw-Hill. P. 518.
4. Wen-Hsien T., 1998, Quality cost measurement under activity-based costing. *International journal of quality and reliability management*. No. 15 (7). P. 719–752.
5. Donaldson K. M., Ishii K., Sheppard S. D., 2006, Customer value chain analysis. *Research in engineering design*. P. 174–183.
6. Gullu A., Motorcu A. R., 2003, Elimination of the quality problems encountered during mass production by using statistical quality control. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*. No. 27. P. 83–93.
7. Setijono D., Dahlgaard J., 2008, The value of quality improvement. *International journal of quality and reliability management*. No. 25 (3). P. 292–312.
8. Heinz E., Bargelis A., 2006, Product quality reliability in plant with mixed logistics system, *ICIL Proceedings of the 8th Int. Con. On Industrial logistics*. Kaunas. P. 108–119.
9. Kaulio M. A., 1997, Customer-focused product development. A practice-centered perspective. *Chalmers University of Technology management and Economics*. Goteburg. P. 3–27.
10. Bargelis A., 2004, Design for process capability and capacity at the product conception stage. *19th International conference on production research*.

FORECASTING OF COST OF SEEKING PRODUCT QUALITY

Dalia Čikotienė, Dirk Zwick

Summary

Analysis of costs of prevention and appraisal of quality of product and internal and external losses is presented in the paper. Costs of seeking quality are costs for quality prevention when the way for defects to occur is blocked, as well as appraisal costs when product conformance to requirements is assessed. Costs of losses are internal (when too much of unusable product is manufactured) and external (these are related to complaints of consumers, decrease of number of customers and market share). To compete in the market successfully it is necessary to reduce internal and external losses to minimum and give more attention to costs of prevention and appraisal of product quality. Results of theoretical research into quality costs are supported by experimental research data.

Keywords: quality prevention cost, quality appraisal cost, internal losses, external losses.

GAMINIO KOKYBĖS SIEKIMO SĄNAUDŲ PROGNOZAVIMAS

Dalia Čikotienė, Dirk Zwick

Santrauka

Straipsnyje analizuojamos gaminio kokybės prevencijos ir įvertinimo bei vidinių ir išorinių nuostolių sąnaudos. Kokybės siekimo sąnaudos yra sąnaudos kokybės prevencijai, kai užkertamas kelias defektams atsirasti, bei vertinimo sąnaudos, kai vertinamas gaminio atitikimas reikalavimams. Nuostolių sąnaudos yra vidinės, kai pagaminama per daug niekalo, bei išorinės, kurios susijusios su vartotojų skundais, vartotojų bei rinkos dalies sumažėjimu. Norint sėkmingai konkuruoti rinkoje, reikia iki minimumo sumažinti vidinius bei išorinius nuostolius ir skirti daugiau dėmesio gaminio kokybės prevencijai bei įvertinimo sąnaudoms. Teorinių kokybės sąnaudų tyrimų rezultatai patvirtinti eksperimentais.

Prasminiai žodžiai: sąnaudos kokybės prevencija, kokybės įvertinimo sąnaudos, vidiniai nuostoliai, išoriniai nuostoliai.