

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
MECHANIKOS IR STATYBOS INŽINERIJOS KATEDRA

Algirdas Vileikis

RUTULINIO MALŪNO GLAISTO GAMYBAI
PARAMETRŲ TYRIMAS

Magistro baigiamasis darbas

Šiauliai 2015

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
MECHANIKOS IR STATYBOS INŽINERIJOS KATEDRA

RUTULINIO MALŪNO GLAISTO GAMYBAI
PARAMETRŲ TYRIMAS

Magistro baigiamasis darbas

Autorius – Algirdas Vileikis (MM-13 gr.)

Vadovas – doc. dr. A. Sabaliauskas

Recenzentas – doc. dr. D. Čikotienė

Katedros vedėja – doc. dr. L. Kelpšienė

Šiauliai, 2015

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
MECHANIKOS IR STATYBOS INŽINERIJOS KATEDRA

Algirdas Vileikis. RUTULINIO MALŪNO GLAISTO GAMYBAI PARAMETRŲ TYRIMAS. Magistranto baigiamasis darbas / **vadovas doc. dr. A. Sabaliauskas.**

SANTRAUKA

Rutulinis malūnas* yra dažnai naudojamas įrengimas, dirba po 10 val. beveik kiekvieną dieną. Pamainos darbo laikas yra 9 val. (su pietais). Malūno darbo laikas viršija pamainos darbo laiką, todėl reikalingas pastovus rutulinio malūno šildymas, tam kad masė nesustingtų, nes tuo metu kai rutulinis malūnas baigia darbą operatoriaus šale nėra. Atsiranda rutulinio malūno eksploatavimo nepatogumas, šioje vietoje taip pat atsiranda poreikis sumažinti rutulinio malūno darbo laiką, padidinus jo našumą ir sumažinus eksploatacines išlaidas.

Visą juodą darbą gaminant maistinį glaistą rutulineme malūne atlieka maistinio plieno (1,4301) rutuliai. Dar vienas svarbus veiksnys įtakojantis rutulinio malūno našumą – sukimosi greitis. Viso darbo esmė optimizuoti šiuos du pagrindinius parametrus, siekent sumažinti darbo laiką tuo pačiu padidinti rutulinio malūno darbo našumą.

*Rutulinis malūnas – įrengimas skirtas gaminti maistinį glaistą arba įrengimas skirtas įvairios maistinės masės ingredientų maišymui ir smulkinimui.

ŠIAULIAI UNIVERSITY
FACULTY OF TECHNOLOGY AND NATURAL SCIENCES DEPARTMENT
OF MECHANICAL AND STRUCTURAL ENGINEERING

Algirdas Vileikis. PARAMETRES INVESTIGATION OF GLAZE BALL MILL. Master final work / research advisor Assoc. doc. Dr. A.Sabaliauskas.

SUMMARY

A rotary mill is a often used machine which operates for ten hours almost every day. A shift is nine hours (including lunch time). So the mill exceeds the shift time limit. For that reason a constant heating process for the mill is required so that the mass inside it would not stiffen up. When the rotary mill finishes the milling operation there is no one to empty it. This is very inconvenient. That's why the operation time of the mill has to be lowered. Also the productivity index needs to be increased and operation costs lowered.

The steel (1,4301) balls get the biggest load when preparing the edible filler. Another important parameter for the rotary milling machine productivity index is its spinning speed. The main purpose for this thesis is to optimize these two parameters by lowering the operation time and increasing the productivity index of the rotary milling machine.

TVIRTINU
Mechanikos inžinerijos katedros vedėjas


2013 m. rugsėjo mėn. 27 d.

MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS

Išduota magistrantui Algirdui Vileikiui

Darbo tema: Rutulinio malūno glaisto gamybai parametrų tyrimas

Patvirtinta 2015 m. kovo mėn. 20 d. fakulteto dekanų potvarkiu Nr. TGMDP-02.

1. Darbo tikslas

Sutrumpinti rutulinio malūno darbo laiką, padidinti našumą

2. Darbo struktūra

Įžanga
Glaisto ir jo gamybos apžvalga.
Našumo koncepcija
Eksperimentinė dalis
Išvados
Literatūros šaltiniai


Darbo pateikimo terminas 2015 m. birželio mėn. 9 d.

Užduotį gavau Algirdas Vileikis
(magistranto vardas, pavardė)


(parašas, data)

2013-09-27

Vadovas doc.dr. Artūras Sabaliauskas
(pareigos, vardas, pavardė)


(parašas, data)

2013-09-27

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	7
PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS	8
IŽANGA	9
1. GLAISTO IR JO GAMYBOS ABŽVALGA	10
2. NAŠUMO KONCEPCIJA	11
2.1 Našumo svarba	11
2.2 Kokybės ir našumo santykis	11
2.3 Našumo skaičiavimas	12
2.4 Našumo koncepcinis modelis	14
3. EKSPERIMENTINĖ DALIS	16
3.1 Eksperimento įranga ir konstrukciniai skaičiavimai	16
3.1.1 Rutulinis malūnas	16
3.1.2 Dažnio keitiklis.....	17
3.1.3 Plokštelinis mikrometras	18
3.1.4 Penkių rūšių rutuliai	19
3.1.5 Pusašio stiprumo skaičiavimas	20
3.2 Eksperimentinė metodika ir rezultatai	24
3.2.1 Rutulinio malūno rutulių skersmens optimizavimas	24
3.2.2 Rutulinio malūno rutulių kiekio optimizavimas	26
3.2.3 Rutulinio malūno sukimosi greičio optimizavimas	29
3.2.4 Rutulinio malūno sukimosi laiko optimizavimas	31
IŠVADOS	35
LITERATŪRA	36

LENTELIŲ SĄRAŠAS

3.1	Rutulių katalogo lentelės fragmentas.....	20
3.2	Rutulių skersmens įtaka masės smulkumui.....	25
3.3	Rutulių kiekio įtaka masės smulkumui.....	27
3.4	Rutulinio malūno sukimosi greičio įtaka masės smulkinimui.....	30
3.5	Rutulinio malūno sukimosi greičio įtaka masės smulkumui.....	32
3.6	Rutulinio malūno ir optimizuotų parametrų rutulinio malūno parametrų palyginimas.....	34

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

2.1 pav. Našumo koncepcinis medis.....	15
3.1 pav. Rutulinis malūnas.....	17
3.2 pav. Dažnio keitiklis.....	17
3.3 pav. Plokštelinis mikrometras.....	18
3.4 pav. Plokštelinio mikrometro naudojimo principas.....	19
3.6 pav. Pusašio matmenys.....	21
3.7 pav. Simuliacijos parametrai.....	22
3.8 pav. Įtempių pasiskirstymo skaičiavimo rezultatai.....	22
3.9 pav. Išlinkimo pasiskirstymo pusašyje skaičiavimo rezultatai.....	23
3.10 pav. Atsargos koeficiento pasiskirstymo pusašyje skaičiavimo rezultatai.....	23
3.11 pav. Masės smulkumo priklausomybė nuo rutulių skersmens.....	25
3.12 pav. Rutulių kontaktinis plotas.....	26
3.13 pav. Rutulių tūrinis tarpelis.....	26
3.14 pav. Masės smulkumo priklausomybė nuo rutulių svorio.....	28
3.15 pav. Rutulinio malūno talpa.....	29
3.16 pav. Masės smulkumo priklausomybė nuo malūno sukimosi greičio.....	31
3.17 pav. Masės smulkumo priklausomybė nuo sukimosi laiko.....	33
3.18 pav. Vienetinė masės dalis (grūdelis).....	33
3.19 pav. Darbo našumas.....	34

IŽANGA

Rutulinis malūnas* yra dažnai naudojamas įrengimas, dirba po 10 val. beveik kiekvieną dieną, pamainos darbo laikas yra 9 val. (su pietais) malūno darbo laikas viršija pamainos darbo laiką, todėl atsiranda rutulinio malūno eksploatavimo nepatogumas. Pirmykštis šios problemos sprendimas buvo į rutulinio malūno elektrinę schemą įtraukta laiko relė, kuri išjungdavo rutulinį malūną po 10 val., tačiau ir išjungus rutulinį malūną (sustabžius smulkinimą) reikalingas pastovus rutulinio malūno šildymas, tam kad masė nesustingtų, operatorius ryte ją išpils ir pakraus maistinės masės ingredientus naujam ciklui. Toks problemos sprendimo būdas iššaukia nemenkas eksploatacines išlaidas ir nėra patogus rutulinio malūno operatoriui. Šioje vietoje atsiranda poreikis sumažinti rutulinio malūno darbo laiką, taip padidinus jo našumą ir sumažinus eksploatacines išlaidas.

Visą juodą darbą maišant ir smulkinant maistinės masės ingredientus rutulinio malūno talpoje atlieka maistinio plieno (1,4301) rutuliai, dar vienas svarbus veiksnys įtakojantis rutulinio malūno našumą – sukimosi greitis. Atsižvelgiant į šiuos pagrindinius veiksnius įtakojančius rutulinio malūno našumą, atliekant bandymus bus siekiama: sutrumpinti darbo laiką iki patogaus pamainai (minimum sutrumpinti 2 val.), padidinti našumą.

Darbo tikslas – sutrumpinti rutulinio malūno darbo laiką, padidinti našumą.

Darbo uždaviniai:

- trumpai apžvelgti teoriją susijusią su glaistu ir jo gamyba;
- trumpai apžvelgti teoriją susijusią su našumu;
- išsiaiškinti maistinio plieno rutulių optimalų skersmenį;
- išsiaiškinti maistinio plieno rutulių optimalų kiekį;
- išsiaiškinti rutulinio malūno talpos (būgno) optimalų sukimosi greitį;
- išsiaiškinti optimizuotų parametrų bendrą įtaką glaisto gamybai.

*Rutulinis malūnas – įrengimas skirtas gaminti maistinį glaistą arba įrengimas skirtas įvairios maistinės masės ingredientų maišymui ir smulkinimui.

1. GLAISTO IR JO GAMYBOS ABŪVALGA

Glaistas – konditerijos pusgaminis iš maistinių riebalų, cukraus ir kitų priedų, skirtas maisto produktų paviršiams padengti, taip pat naudojamas kaip kremas. Pagrindinės glaisto rūšys: kakavinis glaistas, baltasis glaistas, šokolado glaistas [14].

Glaistų yra daug rūšių, rūšis priklauso nuo glaistą sudarančių ingredientų:

- *kakavinis glaistas*,– glaistas iš kakavos produktų (kakavos miltelių, liesų kakavos miltelių, trintos kakavos, kakavos sviesto) ir kitokių nei kakavos sviestas riebalų (konditerinių riebalų, kakavos sviesto pakaitalų ir kt.) cukraus ir kitų priedų, skirtas konditerijos gaminiams formuoti ar jų paviršiams padengti.
- *šokolado glaistas* – kakavinis glaistas, turintis daug kakavos riebalų ir sausųjų medžiagų: apie 35 % kakavos sausųjų medžiagų, iš jų apie 31 % kakavos sviesto ir apie 2,5 % kakavos sausųjų neriebalinių medžiagų
- *pieninis kakavinis glaistas* – kaip ir kakavinis glaistas, bet turi pieno sausųjų medžiagų, gautų iš dalies ar visiškai dehidratuotų nenugriebto pieno, iš dalies ar visiškai nugriebto pieno, grietinėlės, sviesto ar pieno riebalų ir kitų priedų.
- *pieninio šokolado glaistas* – kaip ir pieninis kakavinis glaistas, bet turi daug kakavos riebalų: apie 31 % bendrųjų riebalų (kakavos sviesto ir pieno riebalų); apie 2,5 % kakavos sausųjų neriebalinių medžiagų; apie 12 % pieno sausųjų medžiagų, grietinėlės, sviesto ar pieno riebalų; ir apie 3,5 % pieno riebalų.
- *baltasis glaistas* – glaistas iš nekakavinių riebalų arba jų mišinio su kakavos sviestu, cukraus, pieno sausųjų medžiagų, grietinėlės, sviesto ar pieno riebalų, ir kitų maisto priedų [5].

Glaistas yra plačiai naudojama maistinė medžiaga konditerijos pramonėje. Didžiojoje daugumoje konditerijos produktų glaistas yra kaip pagrindinis akcentas suteikiantis gaminiui nepaprasto skonio toną. Glaistai gaminami su speciale įranga, kuri keletą valadų maišo ir trina jų sudedamąsias dalis (ingredientus). Vienas iš įrengimų skirtų glaisto gamybai yra rutulinis malūnas. Glaistas yra plačiai naudojamas konditerijos pramonėje, todėl labai svarbus įrengimo gaminančio glaistą našumas.

2. NAŠUMO KONCEPCIJA

2.1 Našumo svarba

Šiuolaikinkėse įmonėse našumas ir kokybė yra vieni iš pagrindinių rodiklių norint išlaikyti įmonės konkurencingumą. Dėl vis augančios konkurencijos ir kylančių kokybės reikalavimų šiuolaikinė įmonė negali nustoti gerinusi efektyvumo, našumo [1]. Našumas yra vienas iš organizacijos sėkmės rodiklių kaip ir efektyvumas, naudingumas, pelningumas. Šie rodikliai apibūdina santykį tarp gautų iš gamybos pajamų ir jos organizavimui išleistų išlaidų dydžiu. Efektyvumas yra santykinis rodiklis. Absoliutus rodiklis yra efektas. Tai yra konkreti pinigų suma – grynasis pelnas, kuris panaudojamas tolesnių įmonės tikslų įgyvendinimui t.y. senos įrangos modernizavimui, naujos įrangos pirkimui, plėtimuisi ir p.nš. [6].

Našumas ir kokybė yra neatsiejami rodikliai. Norint sėkmingai dirbti jie turi būti nuolat atnaujinami, prižiūrimi, palaikomi ir tobulinami. Nes esant tik vienam iš šių faktorių, t.y. gaminant našiai, bet nekokybišą produkciją arba priešingai, gaminant aukštos kokybės produkciją, su sąlyginai mažu našumu įmonei gresia garantuota nesėkmė.

Taigi, norint išlaikyti konkurencingumą įmonė turi:

- išlaikyti aukštą gaminio kokybę;
- išlaikyti didelį darbo našumą;
- išlaikyti žemas gaminamos produkcijos kainas.

2.2 Kokybės ir našumo santykis

Lygiai kaip ir našumas, kokybė yra neatsiejamas rodiklis nuo modernios, konkurencingos, pelningos įmonės. Kokybė yra netgi svarbesnis elementas. Taigi, kodėl yra svarbi kokybė? Tyrimais įrodyta, kad:

- produktų ir paslaugų kokybė yra esminis verslo pelningumo veiksnys;
- verslininkai, siūlantys geresnės kokybės produktus, užima didesnę rinkos dalį ir turi galimybių ją plėsti;
- kokybė tiesiogiai gerina investicijų efektyvumą, ir yra pamatas aukštesnei kainai nustatyti [10].

Moderni, konkurencinga įmonė turi nuolatos siekti aukšto našumo ir kokybės. Turi būti tobulinami šių rodiklių pasiekimo veiksmai. Priklausomai nuo esamos vidinės, išorinės situacijos įmonėje turi būti nusistatomi tikslai kokybei ir našumui siekti. Tačiau neužtenka turėti nustatytus tikslus reikia tų tikslų siekti, norint įgyvendinti aukštos kokybės ir našumo didinimo planą

2.3 Našumo skaičiavimas

Našumas yra santykinis matavimo vienetas parodantis kaip gerai organizacija (ar individas, pramonė, šalis) paverčia išteklius (darbą, medžiagas, mašinas ir t.t.) į prekes ar paslaugas [2]. Norint sužinoti kaip įmonė efektyviai dirba, reikia skaičiuoti našumą. Našumo apskaičiavimui reikalingi matai gali būti labai įvairūs, todėl yra gana sudėtinga charakterizuoti patį našumą. Trumpai tariant, našumas yra produkcija padalinta iš sąnaudų (1 formulė). [7].

$$N = \frac{PP}{GS} \quad (1)$$

čia:

N – našumas;

PP – pagaminta produkcija;

GS – gamybos sąnaudos.

Pagaminta produkcija yra pagamintos produkcijos vertė arba gali būti perskaičiuota į kainų normą. Produkcija paprastai priimta laikyti grynąjį pardavimą. Į gamybos sąnaudas gali būti įtraukiami įvairūs dalykai, priklausomai nuo to kaip našumas yra skaičiuojamas. Skirtingose šalyse šiek tiek skiriasi našumo skaičiavimo metodikos, todėl toks tarptautinis nesuderinamumas komplikuoja tiksliai palyginti šalių ar įmonių našumą. Vakarų šalyse našumas dažniausiai reiškia darbo našumą. Gamybos sąnaudos našumo formulėse reiškia tiesiogines darbo valandas, arba tiesioginio darbo kainą. Bet yra ir neatitikimas susijęs su darbo našumu kaip matu. Svarbiausias netikslumas yra tas, kad darbas sudaro tik apie 10 proc., vertės gaminant produktą. Todėl darbo efektyvumas nebūtinai reiškia, kad produkcija gaminama efektyviai.[7]

$$N = \frac{GP}{DUV} \quad (2)$$

čia:

GP – gamybos pajamos;

DUV – darbo užmokestis už darbo valandas.

Vienas iš Japonijoje naudojamų našumo skaičiavimo būdų – “idėtos” į gaminį vertės našumas. Šio principo esmė yra gauti kaip galima didesnę vertę per gamybos procesą. [7].

$$N = \frac{GP}{GS} \quad (3)$$

Suminis Našumo Koeficientas (SNK). SNK yra sudėtingesnis našumo skaičiavimo būdas, kadangi jį sudaro visi ištekliai įeinantys į gamybos procesą. Pavyzdžiui medžiagų kaina, mašinų kaina ir net pridėtinės išlaidos būna įtrauktos kartu su darbo kaina. SNK yra vertinamas kaip tiksliausias skaičiavimo metodas (4 formulė). [7].

$$SNK = \frac{GP}{DMEM} \quad (4)$$

čia:

SNK – suminis našumo koeficientas;

DMEM – darbo, medžiagų, energijos, mašinų ir kt. kainos.

SNK metodas reikalauja daug daugiau duomenų nei tradicinis skaičiavimo metodas (pagaminta produkcija per darbo valandas). Konkrečiai, reikia detalizuoti apskaitos duomenis lemiančius kainos dalį, dėl to šis metodas nėra populiarus [13].

Svarbiausių išteklių našumas (SIN) dėl savo paprastumo ir informatyvumo yra populiarus našumo nustatymo metodas.[7].

$$SIN = \frac{GP}{SIK} \quad (5)$$

čia:

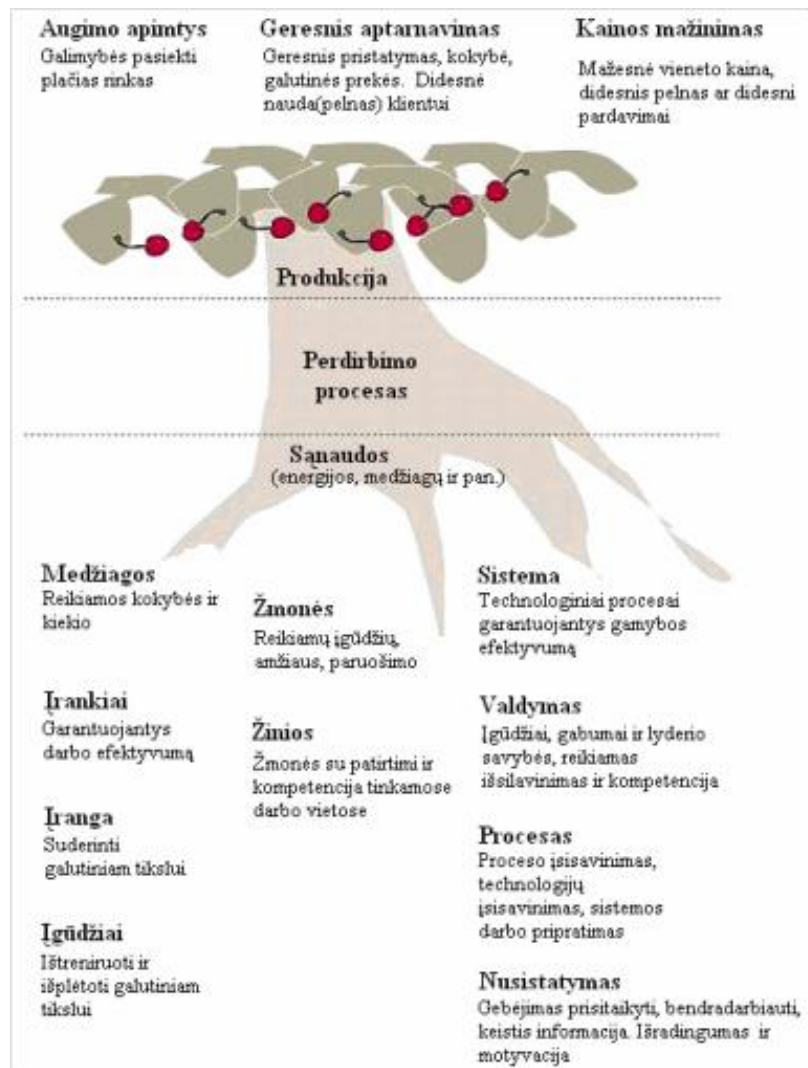
SIN – svarbiausių išteklių našumas;

SIK – svarbiausių išteklių kaina.

2.4 Našumo koncepcinis modelis

Vienas pirmųjų ir paprasčiausių kelių suprasti našumą verslo organizacijoje yra susipažinti su našumo modeliu. Našumas yra santykinis matavimo vienetas. Jis parodo kaip greitai įmonė, organizacija paverčia išteklius (darbą, medžiagas ir t.t.) į prekes ar paslaugas. Tai dažniausiai išreiškiama kaip santykis tarp pagamintos produkcijos ir gamybos sąnaudų [4]. Našumo koncepcinis modelis parodytas „našumo medyje“ (žr. 2.1 pav.). Šaknys vaizduoja sąnaudas, kamienas – perdirbimo procesą, o lapai ir vaisiai – produkciją [4].

Norint sumažinti sąnaudas (energiją, medžiagas ir pan.) reikia tobulinti, atnaujinti įrangą, įrankius, žinias valdymą ir kt. Visų procesų tobulinimas mažinant gamybos sąnaudas reikalauja nemažų investicijų. Vienas iš daug investicijų nereikalaujančių būdų didinti produkcijos pagaminimo našumą tuo pačiu mažinant sąnaudas – senos įrangos atnaujinimas, didinant įrengimo darbinės galimybes.



2.1 pav. Našumo koncepcinis medis [4]

3. EKSPERIMENTINĖ DALIS

3.1 Eksperimento įranga ir konstrukciniai skaičiavimai

Pagrindinė eksperimento įranga ir įrankiai:

- rutulinis malūnas;
- dažnio keitiklis;
- plokštelinis mikrometras;
- penkių rūšių rutuliai.

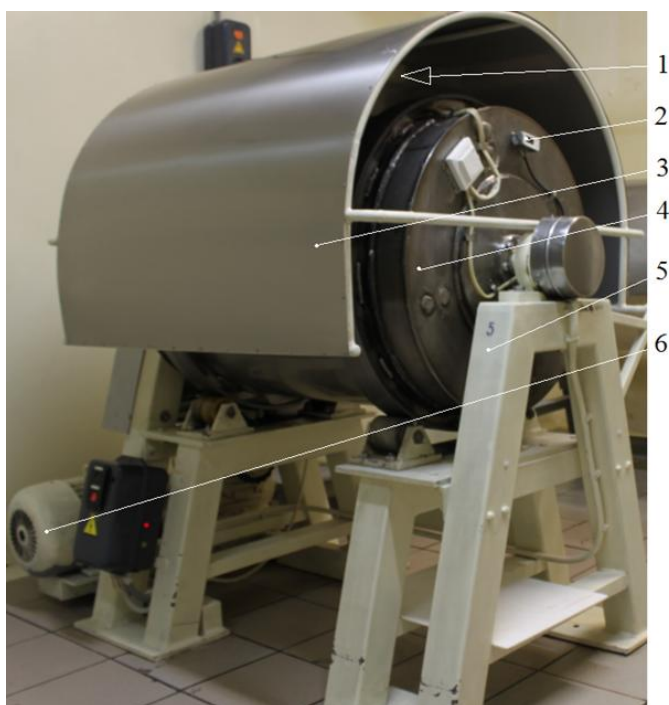
3.1.1 Rutulinis malūnas

Rutulinis malūnas – įrengimas skirtas gaminti maistinį glaistą arba įrengimas skirtas įvairios maistinės masės ingredientų maišymui ir smulkinimui. Veikimo principas – supilti masės ingredientai į rutulinį malūną dėl pastovaus rutulinio malūno sukimosi ir kontakto su rutuliais masės ingredientai yra maišomi ir trinami kol gaunama vienalytė masė, esantys skersiniai rutulinio malūno talpoje didina rutulių judėjimą malūne taip gerina maišymą ir smulkinimą (žr. 3.1; 3.15 pav.).

Panaudojimas bandymų metu. Naudojamas kiekvieno bandymo metu masės ingredientų maišymui ir smulkinimui.

Pagrindiniai rutulinio malūno parametrai (nominalūs režimai):

- sukimosi greitis 15 aps/min;
- sukimosi laikas 10 val.;
- rutulių skersmuo 15 mm;
- rutulių masė 350 kg
- susmulkinamos masės svoris 160 kg
- susmulkintos masės smulkumas tarp 25 – 30 μm .



3.1 pav. Rutulinis malūnas: 1 – įpilimo anga (įpilimo anga po pakeliamu dangčiu); 2 – temperatūrinio jutiklio vaizduoklis; 3 – pakeliamas dangtis; 4 – talpa; 5 – korpusas; 6 – variklis

3.1.2 Dažnio keitiklis

Dažnio keitiklio paskirtis suformuoti keičiamo dažnio ir įtampos trifazį tinklą, prie kurio prijungus asinchroninį elektros variklį, jo apvijomis tekėtų sinuso formos srovės ir jos būtų tokio dažnio, fazės ir dydžio, kad variklio rotorius sukėtųsi norimu greičiu, norima kryptimi ir turėtų reikiamą sukimo momentą.[X]

Panaudojimas bandymų metu. Naudojamas tik viename bandyme tiriant sukimosi greičio įtaką masės ingredientų maišymui ir smulkinimui.



3.2 pav. Dažnio keitiklis [3]

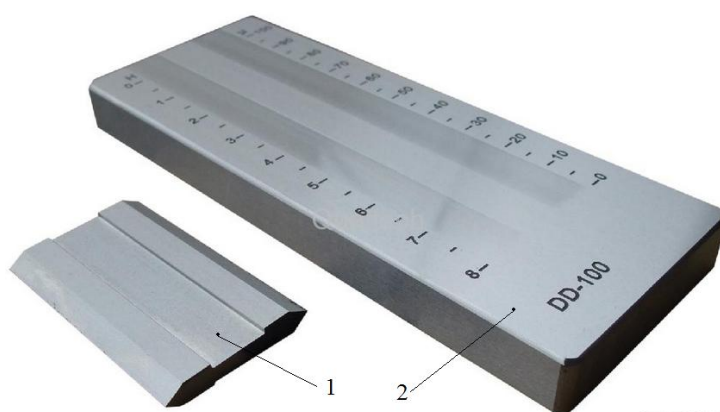
3.1.3 Plokštelinis mikrometras

Plokštelinis mikrometras – matavimo prietaisas skirtas tiksliai išmatuoti skystų medžiagų dalelių dydį, pvz.: dažų, lakų, pigmentų, užpildų, šokolado ir t.t.. Dauguma plokštelių matavimo priemonių turi kelias matavimo skales, taip matuojama skirtingais matavimo vienetais, dažniausiai pasitaikančios skalės mikrometrai. Matavimo plokštė ir nubraukimo plokštelė pagamintos iš nerūdijančio plieno. Įrankis matuoja 2 μm tikslumu (žr. 3.3 pav.) [8].

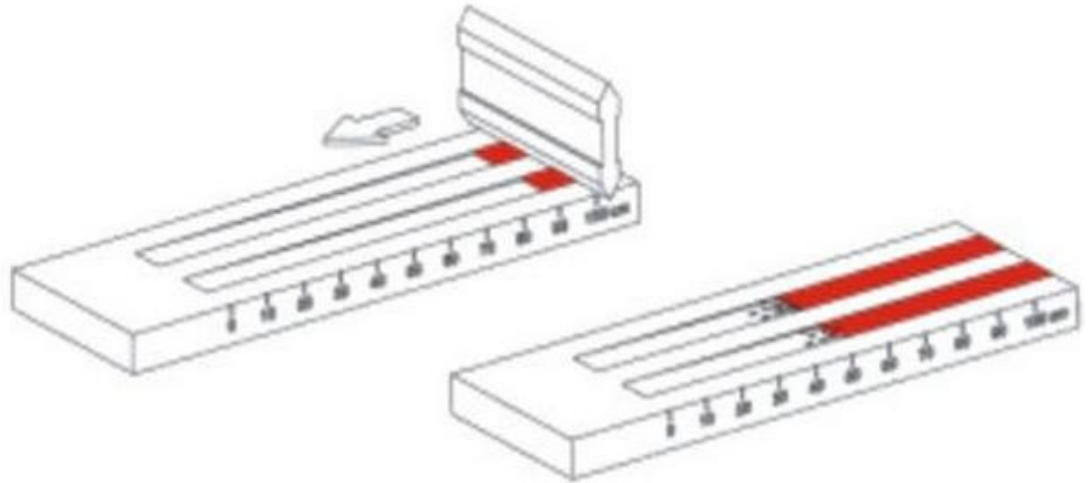
Plokštelinio mikrometro naudojimas:

- keli lašai matuojamos masės užlašinami ant matavimo plokštelės darbinio paviršiaus viršutinės dalies (dalis kur matavimo skalė rodo maksimumą). Jei masė greitai stingstanti reikia matavimo plokštelę pašildyti iki matuojamos masės temperatūros.
- su masės nubraukimui skirta plokštele užlašinti lašai nubraukiami (braukiama iš viršaus į apačią matavimo skalės mažėjimo kryptimi), braukiant nubraukimo plokštelė laikoma sąlyginai statmenai matavimo plokštelės atžvilgiu. Braukiant masė tolygiai pasiskirsto matavimo plokštės darbinio paviršiaus grioveliuose.
- vieta kurioje braukiama masė nutrūksta rodo matuojamos masės smulkumą (žr. 3.3; 3.4 pav.).

Panaudojimas bandymų metu. Naudojamas kiekvieno bandymo metu masės smulkinimui nustatyti po masės smulkinimo ir maišymo.



3.3 pav. Plokštelinis mikrometras: 1 – masės nubraukimui skirta plokštelė; 2 – matavimo plokštė [9]



3.4 pav. Plokštelinio mikrometro naudojimo principas [9]

3.1.4 Penkių rūšių rutuliai

Rutuliai pagaminti iš nerūdijančio maistinio plieno 1,4301. Rutuliai rutuliniame malūne kaip pagrindinė priemonė masės maišymui ir smulkinimui.

Panaudojimas bandymų metu. Naudojami kiekvieno bandymo metu atskirai pagal savo rūšį (šiuo atveju rūšis pagal skersmenį) kaip pagrindas masės maišymui ir smulkinimui (žr. 3.1 lentelę).



3.5 pav. Nerūdijančio maistinio plieno 1,4301 rutuliai [11]

Rutulių katalogo lentelės fragmentas [12]

Skersmuo		Skersmuo		Skersmuo	
inch	mm	inch	mm	inch	mm
1/8	3	31/64	12	1	25.4
-	3.5	1/2	12.7	1 1/16	26
5/32	3.9	17/32	13	1 1/8	28
-	4	9/16	14	1 3/16	30
-	4.5	-	15	1 1/4	31
3/16	4.7	19/32	15	1 5/16	33
-	5	5/8	15.8	1 3/8	34
7/32	5	21/32	16	1 7/16	36
15/64	5.5	11/16	17	1 1/2	38
-	6	23/32	18	1 5/8	41
1/4	6.3	3/4	19	1 3/4	44
17/64	6.7	25/32	19	1 7/8	47
9/32	7	-	20	2	50
5/16	7	13/16	20	2 3/16	55
11/32	8	27/32	21	2 1/4	57
5/16	9	7/8	22	2 5/16	58
-	10	29/32	23	2 1/2	63
13/32	10	15/16	23	2 3/4	69
7/16	11	31/32	24	3	76
15/32	11	-	25	4	101.6

Bandymams atlikti pasirenkami 15, 20, 25, 30 ir 36 skersmens rutuliai, dėl savo mažesnės kainos, lyginant su kitokio skersmens rutuliais.

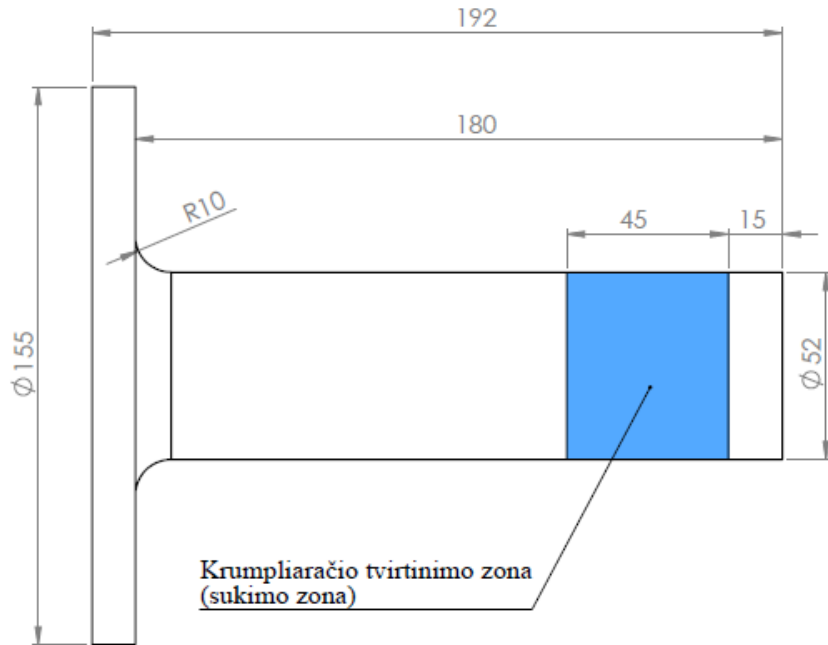
3.1.5 Pusašio stiprumo skaičiavimas

Bandymų metu gali būti naudojamos didesnės aprovos nei yra naudojamos dabartinio rutulinio malūno veikimo metu. Todėl privalu žinoti kokį maksimalų sukimo momentą gali atlaikyti rutulinio malūno pusašis.

Skaičiavimai atliekami programa „SolidWorks“. Maksimali skaičiuojamojo momento reikšmė gaunama bandymo būdu programos aplinkoje pridėdant vis didesnę sukimo momentą, siekiant kad atsargos koeficientas būtų ~ 2.

Reikalingi parametrai skaičiavimams su programa „Solidwoks“:

- pusašio plieno markė – C45;
- pusašio matmenys, jėgos pridėjimo ir atramų pridėjimo zonos ir jų matmenys (žr. 3.6 pav.).

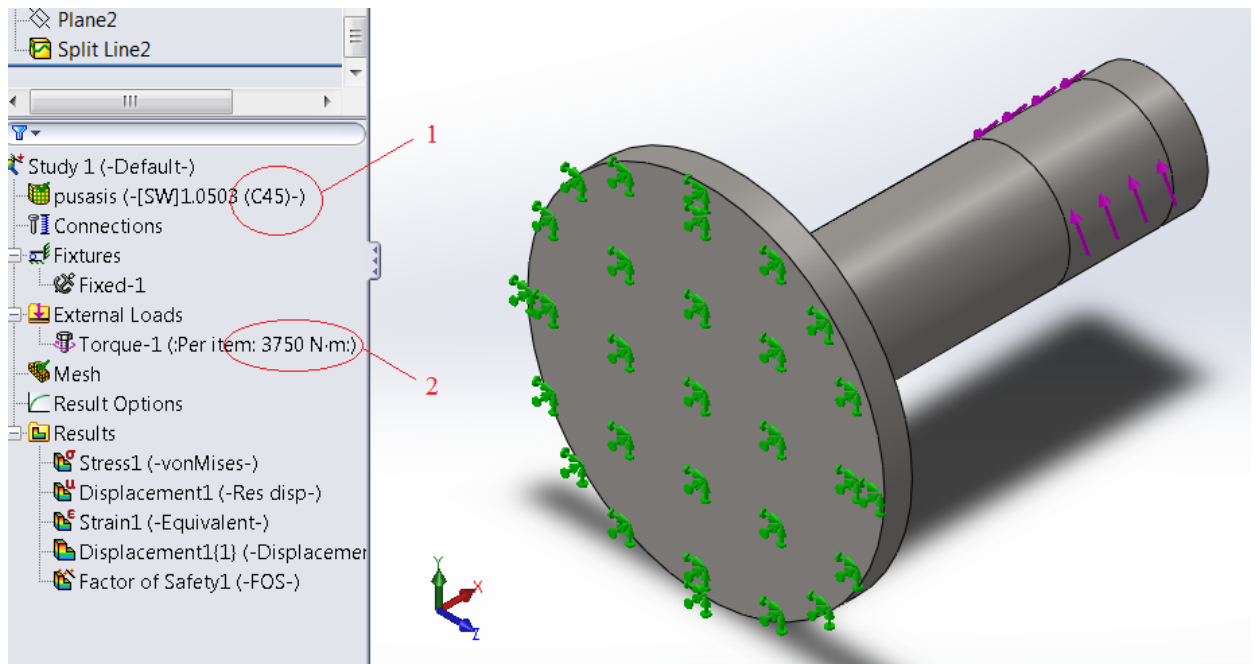


3.6 pav. Pusašio matmenys

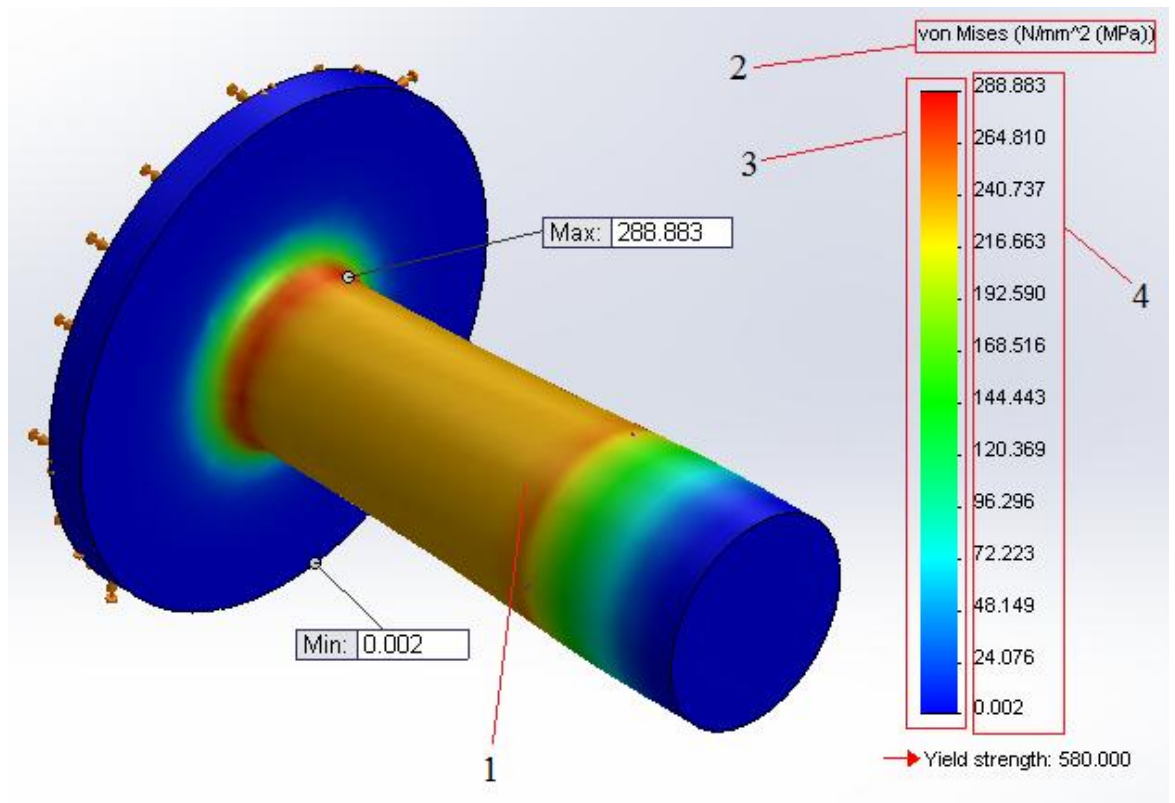
Taupant energiją laiką ir kitus svarbius išteklius rodomi tik optimalaus bandymo rezultatai.

Pusašio atsparumo skaičiavimas programa „SolidWorks“, simuliacijos paveikslėlių „skaitymo“ būdas

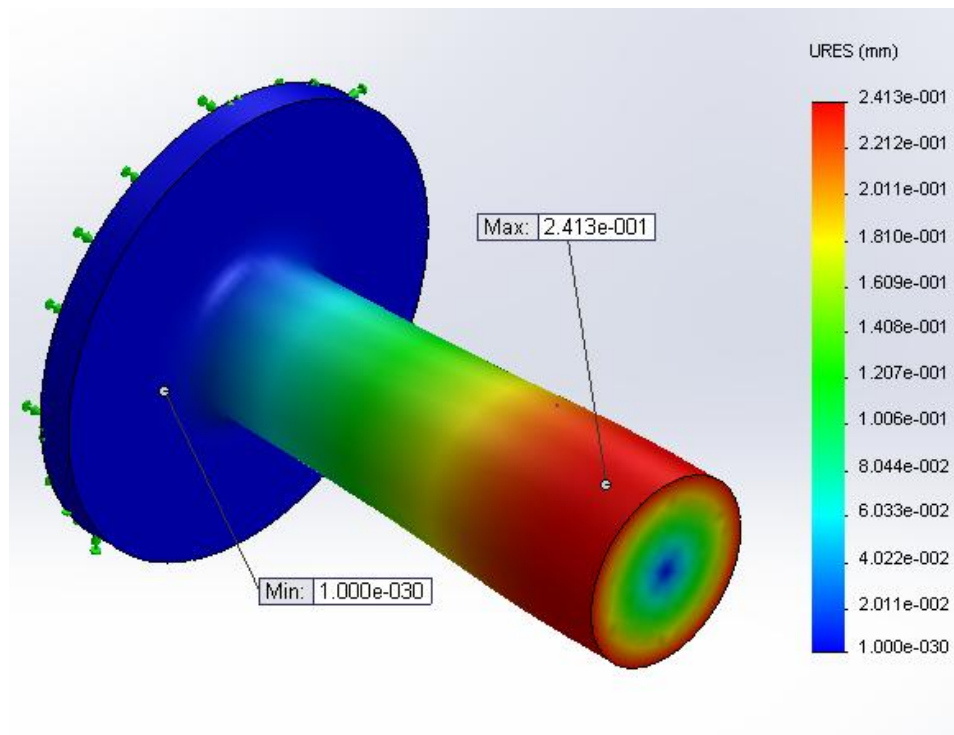
Kiekvieno paveikslėlio dešinėje pusėje yra spalvų paletės stulpelis, stulpelio dešinėje pusėje surašytos skaičiavimo rezultatų reikšmės, stulpelio viršuje užrašyti skaičiavimo rezultatų matavimo vienetai. Kylant nuo stulpelio apačios iki stulpelio viršaus skaičiavimo rezultatų reikšmės didėja. Kiekviena spalva spalvų paletės stulpelyje turi ją atitinkančią spalvą testuojamo pusašio 3D detalėje, spalva užima tam tikrą plotą 3D detalėje, tame plote veikia tokios skaitinės reikšmės (tam tikro matavimo vieneto) kokios yra surašytos spalvų paletės stulpelio dešinėje pusėje (žr. 3.8 pav.)



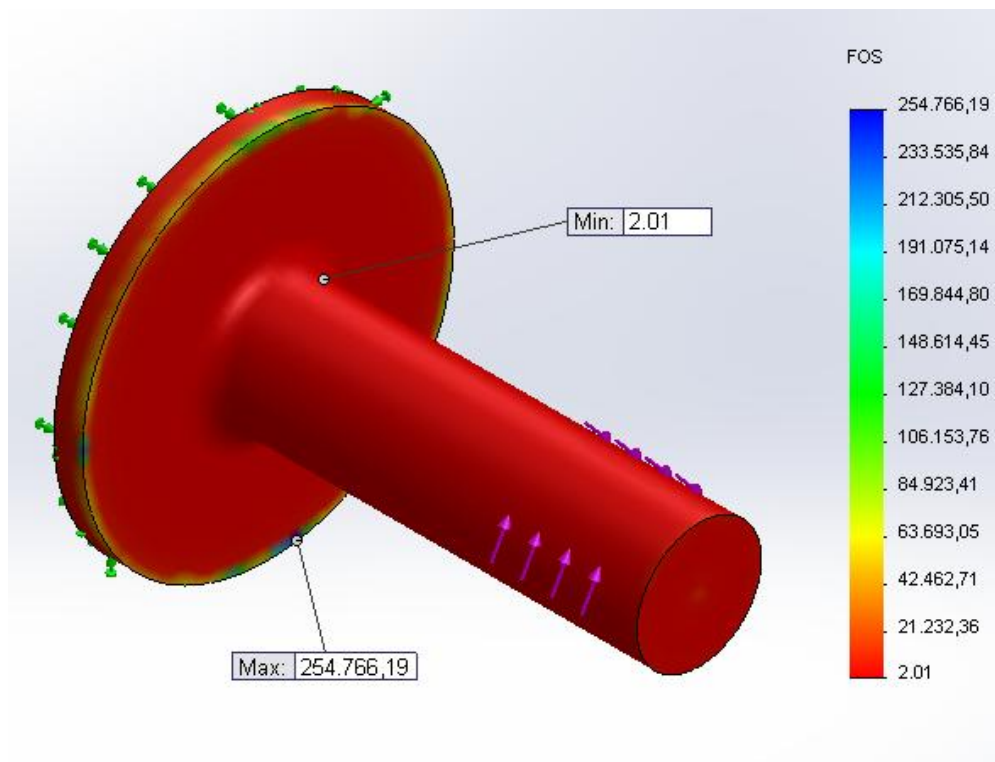
3.7 pav. Simuliacijos parametrai: pusašio plieno markė (1), pridėto momento dydis (2), pridėto momento zona (violetinės rodyklės) ir įtvirtinimo paviršius (žalios rodyklės)



3.8 pav. Įtempių pasiskirstymo skaičiavimo rezultatai: 1 – pusašis (3D detalė); 2 – matavimo vienetai; 3 – spalvų paletės stulpelis; 4 – skaičiavimo rezultatų reikšmės



3.9 pav. Išlinkimo pasiskirstymo pusašyje skaičiavimo rezultatai



3.10 pav. Atsargos koeficiento pasiskirstymo pusašyje skaičiavimo rezultatai

Išvada. Apskaičiuotas maksimalus momentas (3750 Nm) kurį atlaiko pusašis, kai minimalus atsargos koeficientas 2,01, maksimalus įtempimas 288,9 MPa, maksimalus poslinkis 0,2 mm. (žr. 3.7; 3.8; 3.9; 3.10 pav.)

3.2 Eksperimentinė metodika ir rezultatai

3.2.1 Rutulinio malūno rutulių skersmens optimizavimas

Trumpinant bandymo laiką ir išlaidas, ieškant optimalaus rutulių skersmens, trumpinamas sukimosi laikas, mažinami rutulių ir smulkinamos masės svoriai (nominalių režimų atžvilgiu (žr. 3.1 skyrelį). Analogiškai bus atliekami ir kiti bandymai siekiant sumažinti bandymų išlaidas, kiekvieno bandymo metu bus naudojamas tos pačios rūšies glaistas (*baltasis glaistas*).

Šiuo bandymų siekiama rasti optimaliausią rutulio skersmenį (kitų rutulių skersmens atžvilgiu) prie kurio išgaunamas didžiausias masės smulkumas.

Bandymo metu reikia patikrinti tik rutulių dydžio įtaką masės smulkinimui. Todėl įvedamos rutulių svorio, masės svorio ir laiko konstantos (malūno sukimosi greitis pastovus, talpa šildoma (30 °C)):

- laikas – 4 val.;
- rutulių svoris 120 kg;
- smulkinamos masės svoris 40 kg.

Būtina sąlyga – rutulių dydis ir kiekis neturi ardyti ar kaip nors kitaip pažeisti esamos konstrukcijos.

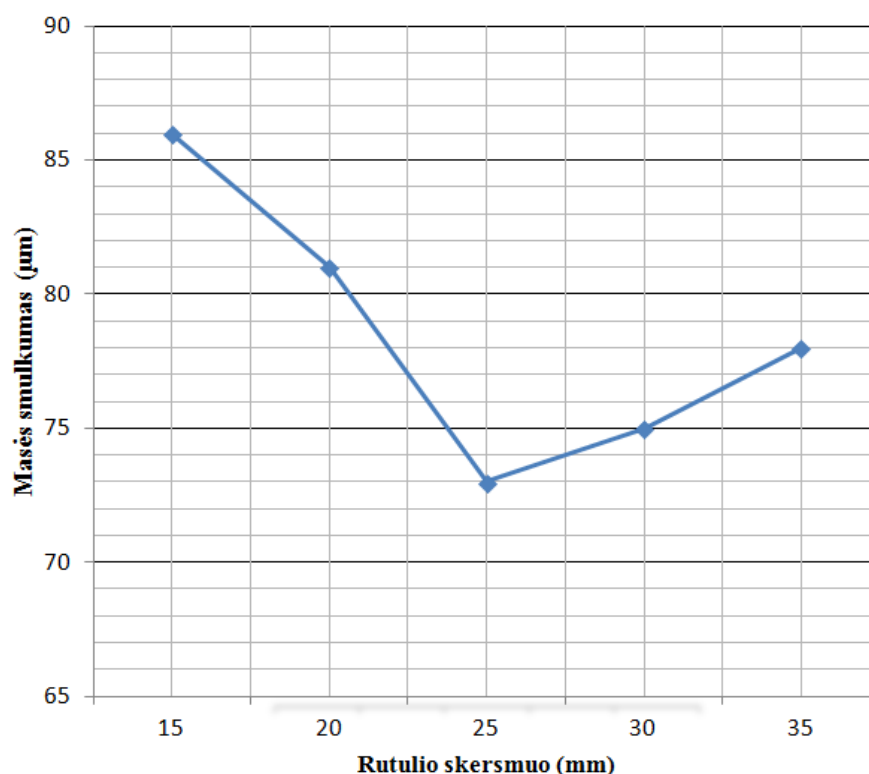
Bandymas atliekamas su 15, 20, 25, 30, 36 skersmens rutuliais (žr. 3.1 lentelę).

Bandymo eiga:

- supilamas reikiamas kiekis rutulių į rutulinį malūną;
- supilama masė į rutulinį malūną;
- įjungiamas rutulinis malūnas, masė maišoma ir smulkinama 4val.;
- po 4 val. malūnas išjungiamas;
- masė išpilama iš malūno;
- išmatuojamas masės smulkumas plokšteliu mikrometru, rodmenys užrašomi;
- supilama kita dar nesmulkinta masė ir bandymas kartojamas (su kiekvienais skirtingais rutuliais bandymas atliekamas 5 kartus);
- atlikus 5 bandymus su vieno dydžio rutuliais malūnas yra ištuštinamas;
- supilami kitos rūšies rutuliai;
- ciklas kartojamas kol atliekami visi bandymai su skirtingais rutuliais;
- gauti duomenys surašomi į lentelę.

Rutulių skersmens įtaka masės smulkumui

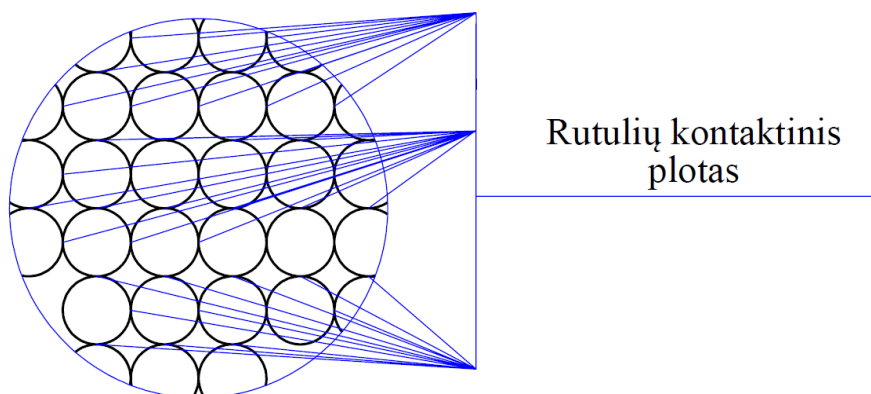
Bandymo nr.	Rutulių skersmuo (mm)				
	15	20	25	30	36
	Smulkumas (μm)				
1	88	79	73	76	75
2	86	83	75	72	80
3	82	83	69	78	78
4	84	82	74	75	76
5	91	76	75	72	81
Vidurkis	86	81	73	75	78



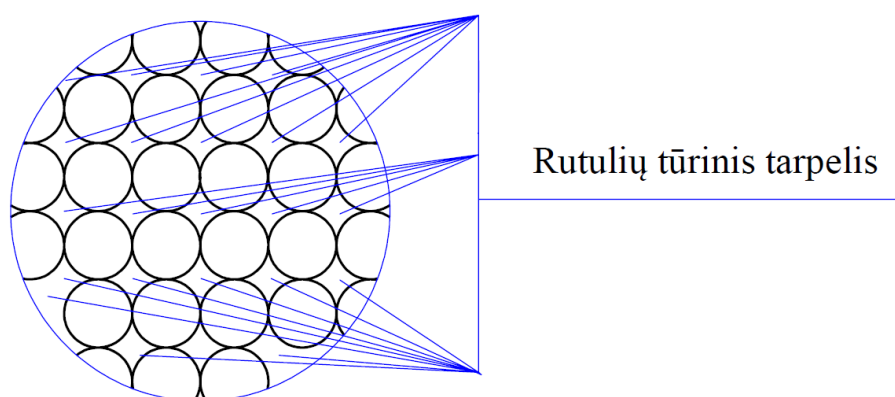
3.11 pav. Masės smulkumo priklausomybė nuo rutulių skersmens

Išvada. Optimalus rutulių skersmuo prie kurio išgaunamas didžiausias masės smulkumas (kai rutulių svoris, masės svoris, sūkimosi laikas konstantos) – $\varnothing 25\text{ mm}$. Keliaujant grafiku nuo optimalaus skersmens į kairę kai rutulių skersmuo mažėja masės smulkumas stambėja, nors ir didėja kontaktinis rutulių lietimosi plotas (tai plotas kuriame trinama masė (žr. 3.12 pav.)), tačiau

mažėjant rutulių skersmeniui mažėja tūriniai tarpeliai (žr. 3.13 pav.) tarp rutulių, todėl mažėja, masės kiekis ir letėja masės keitimasis (maišymasis) tarp jų. Dėl šių priežasčių prastėja masės maišymo ir smulkinimo efektyvumas. Keliaujant grafiku nuo optimalaus skersmens į dešnę kai rutulių skersmuo didėja, masės smulkumas tai pat stambėja, nes didinant skersmenį mažėja kontaktuojančių rutulių plotas, o tarpelių tūrinis dydis ir masės maišymosi efektyvumas išsikvepia (nebeduoda tokios didelės naudos smulkinimui). Todėl optimalus balansas tarp rutulių kontaktinio ploto ir masės keitimosi tarp jų esamomis sąlygomis yra kai rutulių $\varnothing 25 \text{ mm}$.



3.12 pav. Rutulių kontaktinis plotas



3.13 pav. Rutulių tūrinis tarpelis

3.2.2 Rutulinio malūno rutulių kiekio optimizavimas

Būtinios sąlygos:

- rutulių kiekis neturi ardyti ar kaip nors kitaip pažeisti esamos konstrukcijos;
- masės kiekis rutuliniame malūne negali būti mažesnis nei 140 kg.

Bandymo metu reikia patikrinti tik rutulių kiekio įtaką masės smulkinimui. Todėl įvedamos masės svorio ir laiko konstantos (malūno sukimosi greitis pastovus, talpa šildoma (30 °C)):

- laikas – 4 val.;
- masės svoris 140 kg.

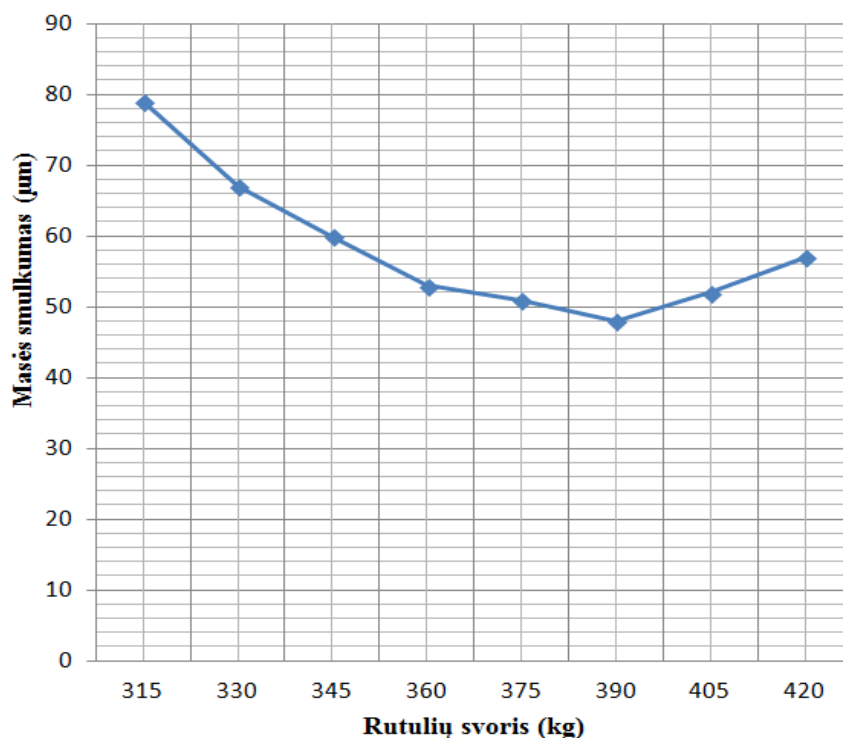
Bandymo eiga:

- rutulinis malūnas papildomas minimaliu masės kiekiu;
- pilami rutuliai kol masės kilimas pasiekia kritinę ribą (žr. 3.15 pav. a);
- rutulinis malūnas įjungiamas;
- po 4 val. rutulinis malūnas išjungiamas;
- išpilama masė ir išmatuojamas masės smulkumas plokšteliu mikrometru, duomenys užrašomi;
- supilama nauja masė ir bandymas kartojamas (su kiekvienu skirtingu rutulių kiekiu bandymas atliekamas 5 kartus);
- atlikus bandymą 5 karus, nuimamas rutulių kiekis ir ciklas kartojamas su mažesniu kiekiu rutulių;
- gauti duomenys surašomi į lentelę.

3.3 lentelė

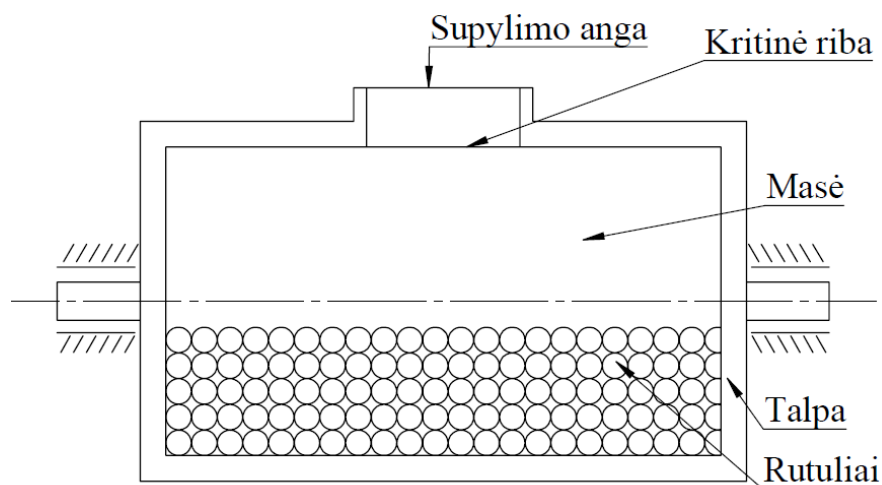
Rutulių kiekio įtaka masės smulkumui

Bandymo nr.	Rutulių kiekis (kg)							
	315	330	345	360	375	390	405	420
	Smulkumas (μm)							
1	77	69	62	53	49	46	51	54
2	81	67	59	51	51	51	54	58
3	82	65	62	56	49	46	53	57
4	75	68	58	52	52	48	49	58
5	78	68	59	54	53	50	52	56
Vidurkis	79	67	60	53	51	48	52	57

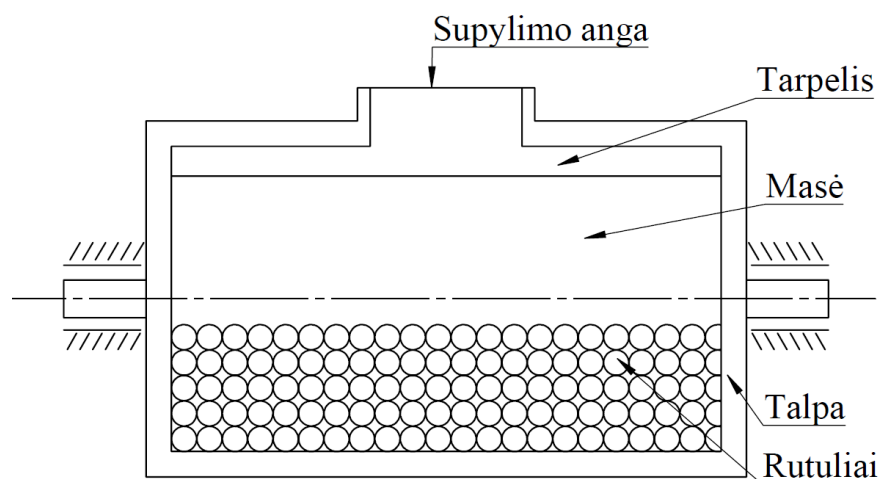


3.14 pav. Masės smulkumo priklausomybė nuo rutulių svorio

Išvada. Optimalus rutulių kiekis prie kurio išgaunamas didžiausiai masės smulkumas (masės svoris ir sukimosi laikas konstantos) – 390 kg. Keliaujant grafiku nuo optimalaus rutulių kiekio į kairę (kai rutulių svoris mažėja) masės smulkumas stambėja, nes mažėjant rutulių kiekiui mažėja kontaktinis rutulių lietimosi plotas, mažėjant kontaktiniam lietimosi plotui letėja masės smulkinimo procesas. Keliaujant grafiku nuo optimalaus rutulių kiekio į dešnę (kai rutulių kiekis tuo pačiu ir svoris didėja) masės smulkumas po truputi stambėja, nes atsiranda oro tarpelio (žr. 3.15 pav. b) sumažėjimo įtaka masės maišymuisi. Šiuo bandymu ne tik randamas optimalus rutulių kiekis bet ir optimalus tarpelis reikalingas masės maišymuisi (masės keitimuisi kontaktuojančių rutulių plote).



a



b

3.15 pav. Rutulinio malūno talpa: a – rutulinio malūno talpa su kritiniu tarpeliu, b – rutulinio malūno talpa su optimaliu tarpeliu.

3.2.3 Rutulinio malūno sukimosi greičio optimizavimas

Bandymo metu reikia patikrinti tik sukimosi greičio įtaką masės smulkinimui. Todėl įvedamos masės svorio, rutulių svorio ir laiko konstantos (talpa šildoma (30 °C)):

- masės svoris 140 kg;
- rutulių svoris 390 kg;
- laikas – 4 val..

Būtinios sąlygos:

- sukimosi greitis neturi būti didesnis nei to reikia kad palaikyti pastovią temperatūrą 30°C (technologų nusatyta maksimali leistina temperatūra kuriai esant maišoma ir smulkinama masė nepakinta). Žinoma iš chemijos, kad molekulės jungiasi greičiau esant aukštesniai temperatūrai, todėl maksimalios leidžiamos temperatūros palaikymas yra svarbus šiam procesui;
- sukimosi greitis turi būti toks, kad neardytų ar kaip nors kitaip nepažeistų esamos konstrukcijos.

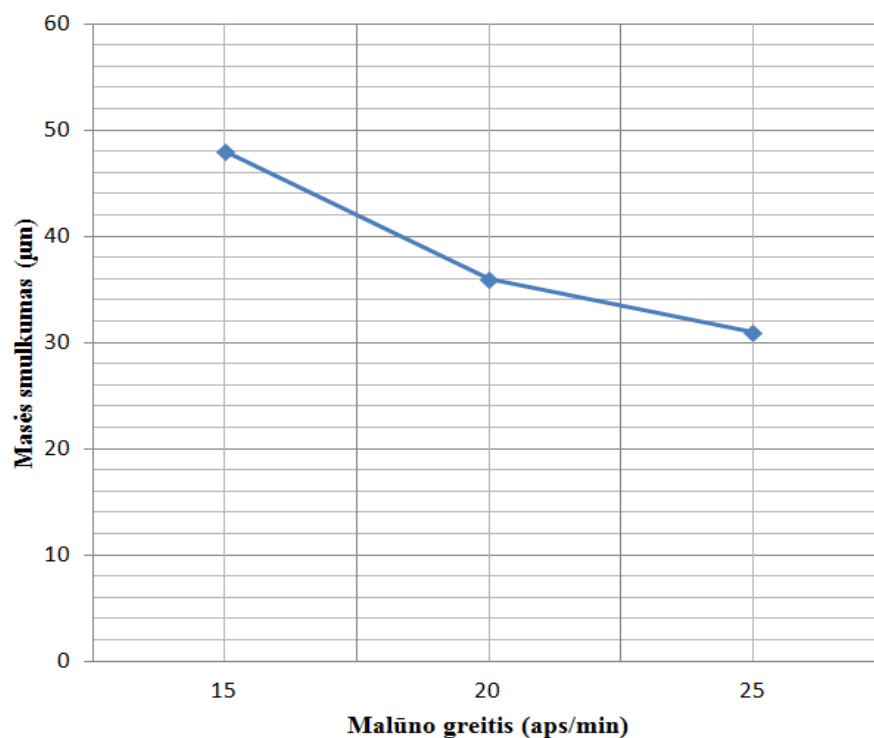
Bandymo eiga:

- supilamas reikiamas kiekis rutulių į rutulinį malūną;
- supilama masė į rutulinį malūną;
- įjungiamas rutulinis malūnas, masė maišoma ir smulkinama 4val.;
- po 4 val. malūnas išjungiamas;
- masė išpilama iš malūno;
- išmatuojamas masės smulkumas plokšteline mikrometru, rodmenys užrašomi;
- supilama kita dar nesmulkinta masė ir bandymas kartojamas (su kiekvienu apsisūkimo greičiu bandymas atliekamas 5 kartus);
- ciklas kartojamas kol atliekami visi bandymai su skirtingais apsisukimų greičiais
- gauti duomenys surašomi į lentelę.

3.4 lentelė

Rutulinio malūno sukimosi greičio įtaka masės smulkinimui

Bandymo nr.	Malūno greitis (aps/min)		
	15	20	25
	Smulkumas (μm)		
1	46	34	30
2	51	36	32
3	46	35	<i>Viršijama leistina temperatūra, bandymas nutraukiamas</i>
4	48	39	
5	50	37	
Vidurkis	48	36	31



3.16 pav. Masės smulkumo priklausomybė nuo malūno sukimosi greičio

Išvada. Optimalus sukimosi greitis 20 aps/min, pasiekiamas vidutinis smulkumas – 36 μm . Padidinus greitį nuo 20 iki 25 aps/min bandymo metu buvo gautos perteklinės temperatūros dėl trinties rutulių kontaktų zonose ir rutulių kontakte su rutulinio malūno talpa, todėl bandymas buvo nutrauktas.

3.2.4 Rutulinio malūno sukimosi laiko optimizavimas

Bandymo metu reikia patikrinti tik sukimosi laiko įtaką masės smulkinimui. Todėl įvedamos masės svorio, rutulių svorio, malūno sukimosi greičio konstantos (talpa šildoma (30 °C)):

- masės svoris 140 kg;
- rutulių svoris 390 kg;
- sukimosi greitis 20 aps/min.

Būtina sąlyga – masės smulkumas turi būti tarp 30 ir 22 μm .

Pastaba. Atliekant optimalaus rutulinio malūno sukimosi greičio bandymą nustatytas optimalus sukimosi greitis 20 aps/min. ir vidutinis smulkumas (iš 5 bandymų smulkinant po 4 h) yra 36 μm (žr. 3.4 lentelę) (reikalingas smulkumas nuo 30 iki 25 μm). Šio bandymo dalies

rezultatus panaudosime ieškant optimalų sukimosi laiką, todėl optimalaus laiko nustatymo bandymą pradėsime nuo 4 h (iki šio laiko duomenys yra žinomi iš optimalaus sukimosi greičio nustatymo bandymo).

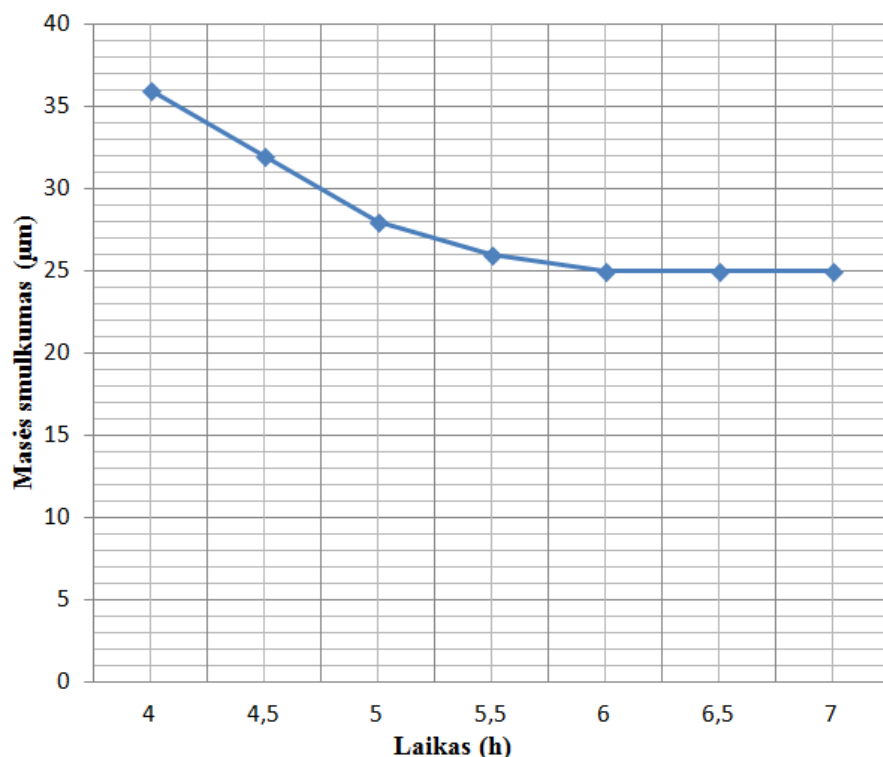
Bandymo eiga:

- supilama masė į rutulinį malūną;
- įjungiamas rutulinis malūnas, masė maišoma ir smulkinama 4,5 val.;
- po 4,5 val. malūnas išjungiamas;
- paaimamas nedidelis masės kiekis ir išmatuojamas jos smulkumas plokšteliu mikrometru, rezultato duomenys užrašomi;
- įjungiamas rutulinis malūnas, masė maišoma ir smulkinama 0,5 val.;
- po 0,5 val. malūnas išjungiamas;
- paaimamas nedidelis masės kiekis ir išmatuojamas jos smulkumas, matavimo duomenys užrašomi;
- masės smulkumo matavimo ciklas kartojamas kas 0,5 val nuo 4,5 iki 6,5 val.;
- po to susmulkinta masė išleidžiama;
- supilama nauja masė;
- ciklas kartojamas 5 kartus;
- gauti duomenys surašomi į lentelę.

3.5 lentelė

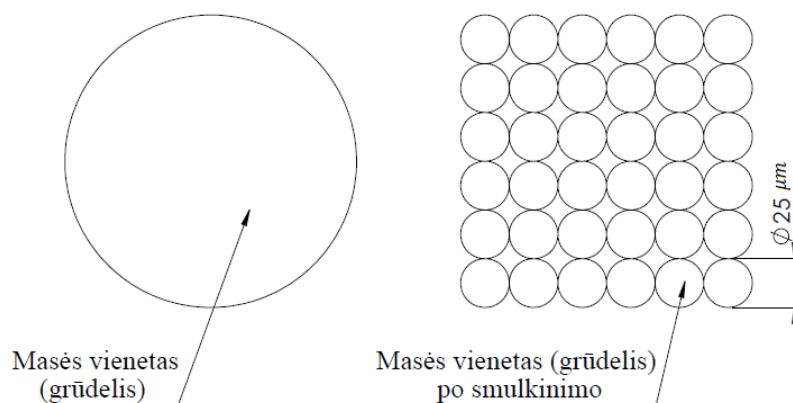
Rutulinio malūno sukimosi greičio įtaka masės smulkumui

Bandymo nr.	Malūno sukimosi laikas (h)						
	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
	Smulkumas (μm)						
1	34	32	30	28	25	27	24
2	36	33	26	25	23	25	26
3	35	32	29	25	26	23	28
4	39	30	25	26	24	23	24
5	37	31	29	28	28	26	24
Vidurkis	36	32	28	26	25	25	25



3.17 pav. Masės smulkumo priklausomybė nuo sukimosi laiko

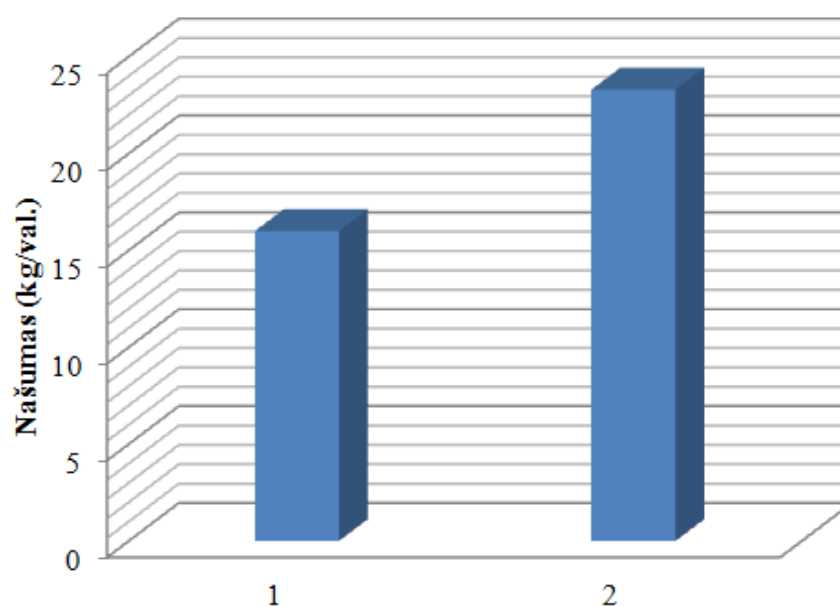
Išvada. Optimalus sukimosi laikas prie kurio išgaunamas didžiausias masės smulkumas – 6 h. Keliaujant grafiku nuo 4 – 6 h masė smulkėja tačiau ne proporcingai, po kiekvienos 0,5 h smulkinimo intensyvumas mažėja kol pasiekiamas optimalus 6 h laikas. Taip vyksta, nes ilgėjant masės smulkinimo laikui smulkėja masės vienetas (vienetinė masės dalis – grūdelis (žr. 3.18 pav.)) tuo pačiu didėja masės vienetų kiekis, kuo daugiau masės vienetų ir kuo jie smulkesni, tuo sunkiau jiems visiem patekti į rutulių kontakto zoną per tą patį laiką (0,5 h). Keliaujant grafiku nuo optimalaus (6 h) laiko į dešnę smulkinimo intensyvumas sumažėjo iki 0, nes masės vienetas pasiekia kritinę ribą, kai esamomis sąlygomis masės vienetas nebesumulkinamas (masės vienetas nepatenka į rutulių kontaktinį plotą) ilgiau smulkinti neefektyvu.



3.18 pav. Vienetinė masės dalis (grūdelis)

Rutulinio malūno ir optimizuotų parametų rutulinio malūno parametų palyginimas

Parametras	Rutulinis malūnas	Optimizuotas rutulinis malūnas
Rutulių skersmuo (mm);	15	25
Rutulių svoris (kg)	350	390
Sukimosi greitis (aps/min);	15	20
Sukimosi laikas (h);	10	6
Susmulkinamos masės kiekis (kg)	160	140
Susmulkintos masės smulkumas (μm).	25 – 30	23 – 28
Darbo našumas (kg/val)	16	23,3



3.19 pav. Darbo našumas: 1 – rutulinio malūno darbo našumas; 2 – optimizuotų parametų rutulinio malūno darbo našumas

Darbo našumas padidėjo 1,46 karto arba 45,6% ($23,3/16=1,456$ karto).

IŠVADOS

1. Atlikus bandymus išsiaiškintas optimalus maistinio pieno rutulių skersmuo – 25 mm (buvo 15 mm).
2. Atlikus bandymus išsiaiškintas optimalus maistinio pieno rutulių svoris – 390 kg (buvo 350 kg).
3. Atlikus bandymus išsiaiškintas rutulinio malūno talpos (būgno) optimalus sukimosi greitis – 20 aps/min (buvo 15 aps/min).
4. Atlikus bandymus išsiaiškinta optimizuotų parametrų bendra įtaka glaisto gamybai – rutulinio malūno darbo laikas vienam darbo ciklui sutrumpėjo 4 val.. Optimizuotų parametrų rutulinio malūno darbo laikas – 6 val. (buvo 10 val.), našumas padidėjo 1,46 karto.

LITERATŪRA

1. Bargelis A. Integruotos gamybos pagrindai. Kaunas, 1998 KTU.
2. Cover Feature Of Productivity Digest. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-02-04]. Prieiga per internetą: http://www.spring.gov.sg/portal/newsroom/epublications/pd/2001_08/Perserverance_01.htm.
3. Dažnio ketiklis. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-05-04]. Prieiga per internetą: <http://katalogas.lenze.lt/SMD-daznio-keitiklis-ESMD222X2SFA>.
4. Employee motivation, the organizational environment and productivity. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-03-03]. Prieiga per internetą: <http://www.accel-team.com/motivation/index.html>.
5. Lietuvos standartizacijos departamentas. *Konditerija. Cukrinė konditerija. Terminai ir apibrėžtys*. Vilnius, 2005.
6. Našumo valdymas. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-02-04]. Prieiga per internetą: <http://www.straipsniai.lt/articles.php?id=2768>.
7. Plenert G. *International Operations Management 2002*. ISBN 8763000687.
8. Plokštelinis mikrometras. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-12]. Prieiga per internetą: <http://www.tqc.eu/en/products/article/grindometers-fineness-of-grind-gauges>.
9. Plokštelinis mikrometras. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-12]. Prieiga per internetą: <http://gardnerlaboratories.com/2013/12/31/practical-use-of-grind-gage/>.
10. Respublikinės konferencijos pranešimo medžiaga. Kaunas, 2001. (Vanagas P. Visuotinės kokybės vadybos vaidmuo, Lietuvai integruojantis į Europos Sąjungą).
11. Rutuliai. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-17]. Prieiga per internetą: <http://www.vksteelball.co.in/304l-stainless-steel-balls-1196437.html>.
12. Scheerer. Sphere product catalog.
13. Townsend D.N., Stern P.A. Productivity and price cap. Regulation: Theory and Practice. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-03-03]. Prieiga per internetą: http://www.ntc.gov.ph/cd_on_retail_appx-c.pdf.
14. Valstybinė lietuvių kalbos komisija. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-01]. Prieiga per internetą: <http://www.vlkk.lt/lit/4068>.