

(19)



(10) **LT 2010 032 A**

(12) **PARAIŠKOS APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2010 032**

(51) Int. Cl. (2006): **G01N 21/00**

(22) Paraiškos padavimo data: **2010 04 19**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2011 01 25**

(62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —

(85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —

(30) Prioritetas: —

(71) Pareiškėjas:

Andrius BUSKA, Erfurto g. 44-65, LT-04101 Vilnius, LT

(72) Išradėjas:

**Andrius BUSKA, LT
Romualdas MAČIULAITIS, LT**

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

Jurga PETNIŪNAITĖ, AAA Baltic Service Company, J.Jasinskio g. 16A, LT-01112 Vilnius, LT

(54) Pavadinimas:

Mineralinės vatos gaminių fizikinių ir mechaninių savybių nustatymo būdas

(57) Referatas:

Išradimas yra susijęs su mineralinės vatos kaip pluoštinės izoliacinės medžiagos struktūros tyrimais neardomaisiais būdais ir pagrindinių mineralinės vatos gaminių savybių prognozavimu. Siūlomas mineralinės vatos gaminių fizikinių ir mechaninių savybių nustatymo būdas, apimantis viso arba dalies skerspjūvio skenavimą per bandinio storį, nuskenuoto vaizdo apdorojimą programine įranga, naujas yra tuo, kad nustatius pluošto klogo judėjimo kryptį, skenuojami du bandinio skerspjūviai: lygiagretus klogo judėjimo kryptčiai (L) ir statmenas klogo judėjimo kryptčiai (C), nuskenuoti vaizdai analizuojami programine įranga, skirta vaizdų, objektų ir fonų analizei, skaičiuojamos pavienių kampų vertės ir jų vidutinis dydis, bandymo rezultatai išreiškiamami makrostruktūros rodikliu S. Jis nusako bandinio pjūvyje dominuojančių plaušų orientacijos kampų, išmatuotų pagrindinės ašies ir statmenos jai atžvilgiu, santykį. S skaičiuojamas atskirai pjūviams L ir C, atitinkamai SL ir Sc, mineralinės vatos gaminių fizikinių ir mechaninių savybių ir makrostruktūros rodiklių SL ir Sc funkcinė priklausomybė nustatoma pagal empirinę lygtį. Pagal makrostruktūros rodiklio SL-C dydžius galima spręsti apie gaminio struktūroje dominuojančių plaušų išsidėstymą pagrindinės (sutampančios su konvejerio judėjimo kryptimi) ašies atžvilgiu: kai $SL-C < 0,75$, tuomet turime tariamai horizontalią plaušų orientaciją; kai $SL-C = 0,76 - 1,09$, tuomet turime tariamai chaotišką plaušų orientaciją, ir kai $SL-C > 1,10$, turime tariamai vertikalią plaušų orientaciją.

Mineralinės vatos gaminių fizikinių ir mechaninių savybių nustatymo būdas

Technikos sritis

- 5 Išradimas yra susijęs su mineralinės vatos kaip pluoštinės izoliacinės medžiagos struktūros tyrimais neardomaisiais būdais ir pagrindinių mineralinės vatos gaminių savybių prognozavimu.

Technikos lygis

- 10 Struktūriškai mineralinė vata gali būti apibūdinama kaip erdvinė sistema, sudaryta iš daugybės tam tikra tvarka išsidėsčiusių vienas kito atžvilgiu ir persipynusių plaušų, tarpusavyje (dažniausiai plaušų kontaktų vietose) sujungtų rišikliu. Pavieniai elementarieji plaušai, jų erdvinės orientacijos gaminio tūryje pobūdis, rišančiųjų medžiagų buvimas nulemia termoizoliacinių medžiagų struktūrą
- 15 ir pagrindines gaminių savybes. Taigi mineralinės vatos gaminiai tiriami mikro- ir makrostruktūriniuose lygiuose.

- Mikrostruktūra paprastai tiriama naudojant mikroskopinius tyrimo metodus. Paprastai mikroskopinių tyrimų pagalba nustatomi mineralinės vatos pavienių plaušų linijiniai (storis, ilgis) matmenys, jų paviršiaus plotas, kontaktų (susiklijavimo
- 20 plotas, kampai ir pan.) ypatumai bei atliekami plaušų paviršių stebėjimai ir pokyčių fiksavimas įvairių bandymų (pvz.: tiriant jų ilgaamžiškumą) metu. Mineralinės vatos mikrostruktūra labiausiai įtakoja gaminių šiluminės savybes.

- Tačiau atliekant tyrimus įvairiais mikroskopiniais prietaisais susiduriama su analizuojamos struktūros riboto ploto problema. Atlikti stebėjimai leidžia nustatyti ir
- 25 apibūdinti tik smulkiausias pluoštinio gaminio mikrostruktūros ypatumus ir geriausiu atveju apimančius keliolika plaušų arba 3–5 mm² plotą.

Dėl to mineralinės vatos struktūroje dominuojančių plaušų ar kryptingos jų dalies išsidėstymą nepavyksta įžvelgti. Norint analizuoti pluoštinių medžiagų makrostruktūras, būtina pasitelkti kitus tyrimo metodus ir prietaisus.

- 30 Medžiagos makrostruktūra – tai sandara, kurios elementų ar porų dydžiai yra apie 10⁻⁵–10⁻³ m, todėl ji gali būti tiriama naudojant nedidelio didinimo optines priemones arba be jų. Vizualinė apžiūra leidžia atskirti mineralinės vatos gaminius pagal plaušų orientaciją struktūroje. Aiškiai įžiūrimas plaušų ar jų grupių kryptingumas, struktūros nevienalytiškumas (sritys su mažu kiekiu, ar visai be

organinių medžiagų) bei sukietėję didesni neišplaušintų dalelių intarpai. Pluoštinių medžiagų makrostruktūros fiksavimui ir analizavimui pasitelkiamos skaitmeninės ir kompiuterinės priemonės. Makrostruktūros (didesnių plotų) analizė gali būti atliekama paviršių skenavimo ir vaizdų analizavimo technika. Skenavimui naudojant

5 plokštinius skaitytuvus, o vaizdų analizei pasitelkiant sukurtas kompiuterines programas. Naudojantis įvairaus tipo skaitytuvais galima perkelti įvairaus dydžio (iki 420×210 mm) skenuotus vaizdus, taip išsprendžiama nepakankamo analizuojamo ploto problema.

Tarptautinėje paraiškoje WO 2003/054270 aprašytas mineralinio pluošto izoliacinio dviejų tankių plokščių gamybos būdas. Gaminio struktūrai aprašyti naudojami Tau (T) ir Kappa (K) rodikliai, apibūdinantys plaušų dominuojančią orientaciją. Rodikliai gaunami nuskenavus kiekvieno atitinkamo skerspjūvio dalis per visą sluoksnio storį ir atliekant duomenų greitąją Furjė transformaciją. Gamybos procesas reguliuojamas pagal parinktus Tau ir Kappa dydžius.

15 Rodikliai Tau ir Kappa ir jų apskaičiavimo bei nustatymo būdas nėra pakankamai tikslūs.

Tarptautinėje paraiškoje WO 1999/056112 aprašytas mineralinės vatos demblių plaušų struktūros nustatymo būdas. Šiuo būdu nustatant plaušų struktūrą atitinkama mineralinės vatos demblio vieta apšviečiama įstrižai, bent vienas šios zonos atvaizdas įrašomas vaizdo kameroje, įrengtoje statmenai jos paviršiui. Kiekvienam vaizdo taškui priskiriamas skaitmeninis signalas, atitinkantis jo šviesos tankį, skaitmeniniu jis paverčiamas tiesiog vaizdo kameroje arba toliau montuojamoje skaitmeninimo stadijoje. Tokiu būdu, naudojantis vaizdų apdorojimo sistema ir remiantis šviesos tankio skaitmeniniais signalais, nustatoma vertikalių plaušų procentinė dalis ir kryptis. Šis būdas taikomas gamyboje, siekiant gauti duomenis apie sąsają tarp mineralinės vatos demblio mechaninių ir (arba) šiluminių savybių ir nustatytų vertikalių plaušų procentinės dalies bei kryptingumo verčių ir siekiant automatizuoti mineralinės vatos demblių gamybą ir, remiantis surinktais duomenimis, automatiškai sureguliuoti perorientavimo mašinos išilginės kompresijos

25

30 greitį.

Ir šis plaušų struktūros nustatymo būdas nėra pakankamai tikslus.

Išradimo esmė

Išradimas sprendžia mineralinės vatos plaušų išsidėstymo nustatymo ir apskaičiavimo tikslumo problemą. Siūlomas išradimas įgalina nedestrukciniu metodu prognozuoti mineralinės vatos gaminių gniuždymo stiprio savybes ir makrostruktūros rodiklius panaudoti mineralinės vatos struktūros anizotropiškumo laipsniui išreikšti.

Siūlomas mineralinės vatos gaminių fizikinių ir mechaninių savybių nustatymo būdas, apimantis viso arba dalies skerspjūvio skenavimą per bandinio storį, nuskenuoto vaizdo apdorojimą programine įranga, naujas yra tuo, kad nustačius pluošto klodo judėjimo kryptį, skenuojami du bandinio skerspjūviai: lygiagretus klodo judėjimo kryptį (L) ir statmenas klodo judėjimo kryptį (C), nuskenuoti vaizdai analizuojami programine įranga, skirta vaizdų, objektų ir fonų analizei, skaičiuojamos pavienių kampų vertės ir jų vidutinis dydis, bandymo rezultatai išreiškiami makrostruktūros rodikliu S. Jis nusako bandinio pjūvyje dominuojančių plaušų orientacijos kampų, išmatuotų pagrindinės ašies ir statmenos jai atžvilgiu, santykį. S skaičiuojamas atskirai pjūviams L ir C, atitinkamai S_L ir S_C , mineralinės vatos gaminių fizikinių ir mechaninių savybių ir makrostruktūros rodiklių S_L ir S_C funkcinė priklausomybė nustatoma pagal lygtį:

$$\sigma_e = -107,77 + 0,51 \cdot \rho_s + 5,93 \cdot M + 54,81 \cdot S_C + 7,02 \cdot S_L,$$

kur σ_e – gniuždymo ribinis įtempis,

ρ_s – tankis,

M – organinių medžiagų kiekis.

Kadangi kai kuriuose bandiniuose L ir C pjūviuose dominuojančių plaušų kampai skiriasi, tai ir apskaičiuoti makrostruktūros rodikliai kiekviename pjūvyje yra skirtingo dydžio. Tuo atveju, kai nėra galimybės nustatyti konvejerio judėjimo kryptį ir teisingai pažymėti pjūvių kraštines, gali būti skaičiuojamas makrostruktūros rodiklių S_L ir S_C vidurkis S_{L-C} , o mineralinės vatos gaminių fizikinių ir mechaninių savybių ir makrostruktūros rodiklio S_{L-C} funkcinė priklausomybė nustatoma pagal lygtį:

$$\sigma_e = -140,66 + 0,55 \cdot \rho_s + 8,06 \cdot M + 82,35 \cdot S_{L-C}.$$

Pagal makrostruktūros rodiklio S_{L-C} dydžius galima spręsti apie gaminio struktūroje dominuojančių plaušų išsidėstymą pagrindinės (sutampančios su konvejerio judėjimo kryptimi) ašies atžvilgiu: kai $S_{L-C} \leq 0,75$, tuomet turime tariamai horizontalią plaušų orientaciją; kai $S_{L-C} = 0,76 - 1,09$, tuomet turime tariamai

chaotišką plaušų orientaciją, ir kai $S_{L-C} \geq 1,10$, turime tariamai vertikalią plaušų orientaciją.

Trumpas brėžinių aprašymas

- 5 Išradimas paaiškinamas brėžiniais, kuriuose:
- 1 pav. pavaizduota bandinių paviršių žymėjimo ir skenavimo schema;
 - 2 pav. – bandinio paviršiaus nuskaitymas skaitytuvu;
 - 3 pav. – programos „Image Tool“ lango vaizdas: 1 – skenuotame paviršiuje pažymėti analizuojami objektai (charakteringi plaušai ir jų grupės); 2 – skaičiavimo rezultatai: apskaičiuoti kampai ir jų vidutinis dydis;
 - 10 4 pav. – bandinio pjūvyje L skenavimo schema: a – pluošto klodo judėjimo kryptis; b – plaušų posvyrio kampo x ašies atžvilgiu nustatymo kryptis; c – plaušų posvyrio kampo x' ašies atžvilgiu nustatymo kryptis;
 - 5 pav. – apskaičiuotų makrostruktūros rodiklio S_{L-C} dydžių pasiskirstymas
 - 15 visų tipų bandiniams;
 - 6 pav. – gniuždymo ribinio įtempio priklausomybės nuo makrostruktūros rodiklio ir tankio diagrama;
 - 7 pav. – apkrovos–deformacijos kreivių priklausomai nuo gniuždančiosios apkrovos veikimo krypties grafikas: 3 – išilgai pluošto klodo judėjimo krypties (bandinys MW-1.4/8), 4 – statmenai pluošto klodo judėjimo kryptčiai (bandinys MW-1.3/7), 5 – statmenai gaminio paviršiui (bandinys MW-1.2/5).
 - 20

Išradimo įgyvendinimo aprašymas

- 25 Plaušų ir jų grupių orientacijos dominavimas struktūroje nustatytas makrostruktūros skaitmeninio fiksavimo ir analizavimo principu. Mineralinės vatos plokščių paviršiaus per storį fragmentai buvo skenuojami, o užfiksuoti vaizdai perkeliama į kompiuterį. Tuomet kompiuterizuotu skaitmeninių vaizdų analizės metodu tiriamas plaušų išsidėstymas.

- 30 Bandiniai iš plokščių išpjaujami lygiais kraštais ir taip, kad būtų kuo mažesnis „paviršiaus pašaušimas“. Prieš skenuojant pageidautina nustatyti pluošto klodo judėjimo konvejeriu kryptį ir pagal tai sužymėti paviršius: pjūvis L – lygiagrečiai judėjimo kryptčiai, pjūvis C – statmenai judėjimo kryptčiai (1 pav.). Pluošto judėjimo kryptis pažymėta rodykle.

Bandinio kraštai buvo skenuojami plokščiuoju skaitytuvu (naudotas „Hewlett Packard ScanJet 7400C“), perkeliant paviršinį vaizdą į skaitmeninį paveikslą. Bandinys ant skaitytuvo uždedamas taip, kad tiriamojo bandinio kraštinė x ašyje sutaptų su skaitytuvo nuskaitymo kryptimi, o kita bandinio kraštinė būtų statmena

5 skaitytuvo skleidžiamos šviesos kryptiai (2 pav.). Nuskaitymas vyksta skenuojant visą ar dalį skerspjuvio per bandinio storį. Analizuojami paviršiai skenuoti, esant 120–400 dpi raiškai juodai–baltu režimu, o vaizdas išsaugomas 100×500 pikselių ar kito dydžio BMP, TIF, GIF ar JPEG formato paveikslu. Vaizdų apdorojimui atlikti panaudota programa UTHSCSA Image Tool 3.0 for Windows, kuri skirta vaizdų,

10 objektų ir fono analizei mikroskopijos, medicinos, metalurgijos ir daugelį kitų sričių. Šią programą galima surasti internete adresu:

<http://ddsdx.uthscsa.edu/dig/download.html/>.

Kadangi vertinami nespalvoti vaizdai, tai jų spalvingumą pilkoje spalvų gamoje sudaro spalvos: nuo juodos spalvos (0 reikšmė) iki baltos spalvos (255).

15 Kompiuteriu tiriamajame vaizde pažymimi visi objektai, išsiskiriantys pilkoje spalvų gamoje, o jų užimti plotai nusako makrostruktūros sudedamąsias (karkasą ir poras). Balta spalva žymini plaušai ir (arba) jų grupės, o poros ir tuštumos yra juodos spalvos. Paprastai balta spalva pažymimi plaušai, betarpiškai kontaktuojantys su skaitytuvo paviršiumi, kintantis spalvingumas parodo objektų nutolimą nuo

20 paviršiaus arba perėjimą iš vienos struktūrinės sudedamosios dalies į kitą.

Prieš pradėdant darbą būtina programoje „Image Tool“ pasirinkti atitinkamus nustatymus punkte (*Settings* → *Preferences*).

Vaizdai buvo apdorojami tokia tvarka:

- a) paleidus kompiuteryje instaliuotą programą „Image Tool“, atsidariusiame
- 25 lange įkeliamas analizuojamas paveikslas;
- b) atliekamas vaizdo automatinis ryškumo ir kontrasto reguliavimas;
- c) paveiksle objektai surandami ir pažymimi;
- d) atsidariusiame *Find Objects* lange pažymima *Automatic*;
- e) programai skaičiais pažymėjus kiekvieną objektą (3 pav., analizuojamas
- 30 objektas 1), analizė tęsiama skaičiuojant kampų;
- f) baigus skaičiavimus, lange pasirodo gauti pavieniai išmatuotų kampų rezultatai ir jų vidutinis dydis (3 pav., kampų vertės 2).

Toliau atliekame 90° kampu pasukto bandinio paveikslo analizę, vadovaujantis aukščiau aprašytais a) – f) punktais.

Tradiciniu gamybos technologijos būdu gaminant mineralinę vatą dauguma plaušų ant konvejerinio tinklo išsidėstyto horizontalia kryptimi. Tačiau visuomet dėl gamybos proceso ypatumų tam tikra dalis plaušų yra orientuoti „atsitiktine kryptimi“. Mineralinės vatos ir kitų pluoštinių medžiagų savybės yra plaušų orientacijos funkcija, nes jų išsidėstymo kryptis įtakoja gaminių fizikinių-mechaninių rodiklių dydį.

Pluoštinės struktūros valdymas – reguliuojant plaušų išsidėstymo kryptį pluošto klode gamybos technologinio proceso stadijoje leidžia gaminti norimų šiluminių, stipruminių ir deformacinių savybių mineralinės vatos gaminius.

Dominuojančių plaušų orientacijos gaminio struktūroje nustatymas pasitelkus makrostruktūros rodiklius leidžia kiekybiškai vertinti mineralinės vatos gaminius pagal plaušų orientaciją.

Kadangi visų pavienių plaušų orientacijos struktūroje, esant sąlyginai dideliame plotui, išmatuoti beveik neįmanoma, priimta, kad matuojamas makrostruktūroje dominuojančių plaušų grupių vidutinis posvyrio kampas tiriamos ašies atžvilgiu.

Autorių (Склизов 1966; Бобров 1987) nuomone pluoštinė struktūra gali būti vaizduojama kaip sudėtinga ryšinė sistema sudaryta iš daugybės elementarių sistemų, sudėtų viena ant kitos (grafiškai dviejų koordinatų ašyje galima pavaizduoti kaip trikampį), kurioje kampai α ir β svyruoja nuo 0 iki 180°. Kiekviena tokia sistema susideda iš struktūrinių elementų: plaušo, mažų organinės medžiagos dalelių ir neplaušinių lydalo intarpų.

Darbe (Pourdeyhimi and Kim 2002) teigiama, kad plaušų orientacija neaustinėse medžiagose gali būti nusakoma orientacijos pasiskirstymo funkcija ψ , todėl ir ψ yra kampo α funkcija. Šios funkcijos ψ integralas tarp kampų α_1 ir α_2 yra lygus tikimybei, kad plaušas yra išsidėstęs tarp kampų α_1 ir α_2 .

Šaltinyje (Rao *et al.* 1991) randame, kad pavienių plaušų orientacija gali būti išreikšta krypties vektoriumi $\vec{p}$. Šis vektorius atitinka plaušo geometrinę padėtį atitinkamos ašies atžvilgiu. Kadangi plaušų orientacija analizuojama plokštumoje (2D) tai krypties vektorių sudaro komponentai p_1 ir p_2 atitinkantys posvyrio kampą ϕ ašies x atžvilgiu:

$$\vec{p} = \begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cos \phi \\ \sin \phi \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Taigi keičiantis plaušų orientacijos kampui iš karto keičiasi ir vektoriaus komponentų padėtys ašių atžvilgiu.

Dominuojančiai plaušų orientacijai ir kryptingumui išreikšti naudojamas makrostruktūros rodiklis (S). Jis nusako bandinio plokščiajame pjūvyje (per storį) dominuojančių plaušų ir jų grupių orientacijos kampų išmatuotų pagrindinės ašies (x) ir statmenos jai (x') ašyse santykį. Šiuo atveju x' ašis gaunama to paties bandinio plokštumą pasukant 90° kampu. Priimta, kad pagrindinė ašis x sutampa su pluošto klogo judėjimo konvejeriu kryptimi, todėl plaušų orientacija gaminyje apibūdinama atsižvelgiant į tai (4 pav. a).

10 Makrostruktūros rodiklis (S) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$S = \frac{\alpha_x}{\alpha_{x'}}$$

čia: α_x – pjūvyje dominuojančių plaušų išsidėstymo x ašies atžvilgiu vidutinio kampo dydis;

$\alpha_{x'}$ – pjūvyje dominuojančių plaušų išsidėstymo statmenai x ašiai vidutinio kampo dydis.

15 Makrostruktūros rodiklio išreiškimas per kampų santykį padidina matavimo tikslumą (ypač chaotiškos plaušų orientacijos gaminiuose), nes dominuojantys plaušų kampai matuojami dviem kryptimis: lygiagrečiai (4 pav. b) ir statmenai (4 pav. c) x ašiai. Esant kryptingai plaušų orientacijai jų išsidėstymas ašių atžvilgiu akivaizdesnis. Kai kuriuose bandiniuose matėsi skirtingas plaušų išsidėstymas abiejuose pjūviuose (lygiagrečiai (L) ir statmenai (C) pluošto klogo judėjimo kryptiai), todėl ir makrostruktūros rodikliai skaičiuoti atskirai, juos pažymint atitinkamomis pjūvio raidėmis (L ar C).

25 Kadangi apskaičiuoti S_L ir S_C dydžiai tam pačiam bandiniui skiriasi, tai siekiant pašalinti tikimybę gauti klaidingą rezultatą, jei netinkamai būtų pažymėtos bandinių kraštinės, vietoj makrostruktūros rodiklių atskiriems pjūviams buvo apskaičiuojamas rodiklių vidurkis ir pateikiamas vienas dydis S_{L-C} .

30 Šių tyrimų metu tirti homogeniškos struktūros kryptingos ir chaotiškos plaušų orientacijos mineralinės vatos gaminiai, kurių tankis $33\text{--}200\text{ kg/m}^3$ ribose. Vizualiai apžiūrint bandinius galima matyti plaušų grupių atsitiktinį (chaotišką) arba kryptingą išsidėstymą struktūroje.

Eksperimentinių tyrimų metu išmatuotų ir apskaičiuotų dominuojančių plaušų posvyrio kampų bei makrostruktūros rodiklių vidutiniai dydžiai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Plaušų posvyrio kampų bei makrostruktūros rodiklių vidutiniai dydžiai visų tipų bandiniams

Bandinio tipas	Pjūvis L		Pjūvis C		S_L	S_C	S_{L-C}
	α_x°	$\alpha_{x'}^\circ$	α_x°	$\alpha_{x'}^\circ$			
MW-1.1	32,12	52,20	31,96	51,96	0,62	0,62	0,62
MW-1.2	41,02	45,38	37,68	49,05	0,90	0,77	0,84
MW-1.3	46,16	39,48	48,12	37,53	1,17	1,28	1,23
MW-1.4	45,78	40,77	40,44	45,73	1,12	0,88	1,00
MW-1.5	42,35	43,68	49,16	35,94	0,97	1,37	1,17
MW-1.6	37,07	46,51	35,23	48,62	0,80	0,73	0,76
MW-1.7	39,48	44,82	36,84	48,13	0,89	0,77	0,83

Iš 1 lentelėje pateiktų rezultatų matome, kad apskaičiuoti vidutiniai kampai x ir x' ašių atžvilgiu skirtingo tipo bandiniams skiriasi. Didžiausi kampų skirtumai išmatuoti bandiniams, kuriems ir apžiūrint vizualiai matomas aiškiai išreikštas plaušų kryptingumas. MW-1.1 bandiniams skirtumas tarp vidutinių α_x ir $\alpha_{x'}$ kampų sudarė 20,08°. O MW-1.5 bandiniams vidutinio kampo skirtumas tarp α_x ir $\alpha_{x'}$ siekė 13,22°. Iš visų bandinių didžiausias kampų skirtumas buvo išmatuotas vienam iš MW-1.1 tipo bandiniui (pjūvyje C) ir siekė 29,19°.

Toliau pateiksime 7 vizualinius aprašymus vieno bandinio (kurio apskaičiuoti kampai ir makrostruktūros rodikliai artimi to tipo vidurkiui) iš kiekvieno MW-1.1–MW-1.7 bandinių tipo.

Vizualiai apžiūrėjus MW-1.1/1 tipo bandinį buvo matyti, kad struktūroje dominuoja horizontali plaušų orientacija, o ir abiejose pjūviuose (L ir C) plaušų išsidėstymas x ašies atžvilgiu yra panašus. Tai patvirtina išmatuoti artimi α_x kampų dydžiai (31,3° pjūvyje L ir 33,48° pjūvyje C). Tuo tarpu $\alpha_{x'}$ kampai nežymiai skiriasi: pjūvyje L išmatuotas vidutinis $\alpha_{x'} = 52,54^\circ$, o pjūvyje C $\alpha_{x'}$ buvo 49,89°. Apskaičiavus makrostruktūros rodiklius atitinkamame pjūvyje gauti panašūs dydžiai: abiejų pjūvių ($S_L = 0,6$ ir $S_C = 0,67$). Toliau skirtingo tipo bandinių plaušų išsidėstymo ypatumams aprašyti naudojami tik makrostruktūros rodikliai, o ne skaitiniai kampų dydžiai.

Tuo tarpu MW-1.2/5 tipo bandinio L ir C pjūviuose buvo matomas skirtingas plaušų išsidėstymas: pjūvyje L dominuoja labiau chaotiškos orientacijos plaušai, o pjūvyje C stebimas didesnis horizontaliai išsidėsčiusių plaušų kiekis. Todėl atitinkamai skiriasi ir apskaičiuoti makrostruktūros rodikliai (0,9 pjūviui L, o 0,78 pjūviui C).

MW-1.3/7 tipo bandiniui išmatuotų α_x ir α_x' kampų ir apskaičiuotų S_L ir S_C rodiklių dydžiai buvo labai dideli (1,16 ir 1,32), lyginant su prieš tai analizuotų bandinių (MW-1.1 ir MW-1.2) apskaičiuotais makrostruktūros rodikliais. Bandinyje abu pjūviai rodo kryptingą vertikaliai išsidėsčiusių plaušų dominavimą struktūroje.

- 5 MW-1.4/8 bandinio abu pjūviai pakankamai skirtingi: L pjūvyje aiškiai matoma vertikalia kryptimi (nes $S_L = 1,11$) išsidėsčiusių plaušų orientacija, o C pjūvyje nėra aiškiai išreikšto dominuojančių plaušų pasiskirstymo kažkurios nors vienos ašies atžvilgiu, todėl makrostruktūros rodiklis $S_C = 0,89$.

- 10 MW-1.5/8 tipo bandinio struktūroje vyrauja plaušų išsidėstymas labai artimas kaip buvo ir MW-1.3 tipo bandiniuose. MW-1.5 bandinio L pjūvyje dominuoja plaušų struktūrinis chaotiškumas ($S_C = 0,96$), o C pjūvyje – labai aiškiai matoma pakankamai tvarkingai vertikalia kryptimi išsidėsčiusių plaušų orientacija. Tai patvirtina ir apskaičiuotas makrostruktūros (tame pjūvyje) rodiklio didžiausias dydis (1,4).

- 15 Bandinių MW-1.6/2 ir MW-1.7/2 abiejuose (L ir C) pjūviuose buvo matoma chaotiška plaušų orientacija. Nors kaip matyti iš apskaičiuotų nedidelių (0,75; 0,77) makrostruktūros rodiklių stebima „horizontalėjanti“ plaušų išsidėstymo tendencija.

Apskaičiuotų makrostruktūros rodiklių vidurkiai, standartiniai nuokrypiai ir mažiausių–didžiausių dydžių pasiskirstymas pateikiamas 5 paveiksle.

- 20 5 paveiksle pavaizduotų S_{L-C} dydžių pasiskirstymas rodo, kad dominuojančių plaušų išsidėstymo kryptis struktūroje gali būti apibūdinama makrostruktūros rodikliu. MW-1.1 bandinių, kurių struktūroje dominuoja daugiau horizontalios orientacijos plaušai S_{L-C} rodiklis yra mažas (0,5–0,73), o apskaičiuotas variacijos koeficientas svyruoja $\pm 14,8$ % ribose. O MW-1.3 ir MW-1.5 bandiniuose, kur 25 dominuoja vertikalios orientacijos plaušai, S_{L-C} yra didelis (1,12–1,31), bet variacijos koeficientas pakankamai mažas $\pm 3,5$ – $4,4$ %. Iš tokių variacijos koeficiento dydžių galime teigti, kad vertikalios plaušų orientacijos bandinių struktūra vienalytiškesnė. Likusių, chaotiškos struktūros, bandinių S_{L-C} rodiklis kinta ir išsidėsto tarp kryptingos struktūros minimalaus ir maksimalaus rodiklio dydžių (0,76–1,09) dėl aiškiai 30 išreikštos plaušų orientacijos nebuvimo.

Taigi galime teigti, kad makrostruktūros rodikliai S_L , S_C , S_{L-C} yra tinkami kiekybiškam plaušų orientacijos mineralinės vatos struktūroje įvertinimui. Pagal gautus rodiklių dydžius galima nustatyti dominuojančių plaušų pasiskirstymą.

Homogeniškos struktūros gaminių skirstymas grindžiamas struktūriniais skirtumais, kuriuos sąlygoja plaušų orientacija. To įrodymui naudojami makrostruktūros rodiklio skaitiniai dydžiai apskaičiuoti pagal eksperimentinių tyrimų metu gautus rezultatus, išbandžius skirtingos orientacijos ir struktūros gaminius.

- 5 Pagal makrostruktūros rodiklio dydžius skirtingos struktūros gaminiams galime taikyti sąlyginę klasifikaciją, atsižvelgiant į struktūroje dominuojančių plaušų išsidėstymą pagrindinės ašies atžvilgiu (2 lentelė).

2 lentelė. Skirtingos struktūros mineralinės vatos gaminių skirstymas į grupes pagal makrostruktūros rodiklio dydį

„Tariamai horizontalios orientacijos“	„Tariamai chaotiškos orientacijos“	„Tariamai vertikalios orientacijos“
kai $S_{L-C} \leq 0,75$	kai $S_{L-C} = 0,76-1,09$	kai $S_{L-C} \geq 1,10$

- 10 Plaušų padėties gaminio struktūroje apibūdinimas buvo pasirinktas atsižvelgiant į dominuojančių plaušų padėtį gniuždymo apkrovų veikimo krypties atžvilgiu ir pluošto klogo judėjimo konvejeriu kryptį (gamybinės linijos kryptis). Pavyzdžiui, horizontalios kryptingos orientacijos plaušai gaminio struktūroje yra išsidėstę statmenai apkrovos veikimo kryptčiai, o dominuojančių plaušų kryptis
- 15 sutampa su pluošto klogo judėjimo, t.y. horizontalia kryptimi.

- Iš 2 lentelės matome, kad skirtingos struktūros gaminiai, kuriose daugiausia plaušų išsidėstę lygiagrečiai x ašiai – gali būti vadinami „tariamai horizontalios orientacijos“. Gaminiai, kuriose dominuoja statmeni x ašiai plaušai – vadinami „tariamai vertikalios orientacijos“. O gaminiai su atsitiktinai išsidėsčiusiais ar su
- 20 aiškiai neapibrėžtos krypties ir (arba) orientacijos plaušais – vadinami „tariamai chaotiškos orientacijos“. Bendrai priimtas pluoštinės struktūros skirstymas yra labiau sąlyginis, kadangi greičiausiai idealių vienos ar kitos struktūros gaminių praktiškai nepagaminama.

- Taigi nuskenavus gaminio paviršius ir atlikus gauto vaizdo analizę bei
- 25 apskaičiavus dominuojančių plaušų struktūroje išsidėstymo vidutinius kampus ir apskaičiavus makrostruktūros rodiklį galima kiekybiškai apibrėžti gaminio tipą pagal plaušų struktūros orientaciją.

- Klasifikacija palengvina atitinkamai vertinti skirtingos struktūros mineralinės vatos gaminius, sprendžiant tradicinių termoizoliacinių medžiagų efektyvumo
- 30 didinimo problemas. Kadangi pluoštinės struktūros valdymas, plaušų išsidėstymo krypties keitimas bei skirtingų tankių ir (arba) sluoksnių įvedimas gamybos procese

lemia pagrindines mineralinės vatos gaminių stiprumines ir deformacines savybes (3 lentelė).

Bandymų metu išmatuoti vidutiniai tankio, gniuždymo ribinio įtempio, organinių medžiagų kiekio ir makrostruktūros rodiklių dydžiai pateikti suvestinėje 3 lentelėje. Gniuždymo ribinio įtempio (σ_e) nustatymas pasirinktas todėl, kad esant skirtingos struktūros bandiniams jie deformuosi skirtingai: vieniems matuojamas σ_{10} , o kitiems σ_m dydis.

3 lentelė. Bandinių tankio, gniuždymo ribinio įtempio, organinių medžiagų kiekio ir makrostruktūros rodiklių vidutiniai dydžiai

Bandiniai	Tankis (gniuždymo bandymuose) (ρ_s), kg/m ³	Gniuždymo ribinis įtempis (σ_e), kPa	Organinių medžiagų kiekis (M), %	Makrostruktūros rodikliai		
				S_L	S_C	S_{L-C}
MW-1.1	48,9	2,6	4,15	0,62	0,62	0,62
MW-1.2	95,2	11,5	3,70	0,90	0,77	0,84
MW-1.3	98,8	46,8	3,66	1,17	1,28	1,23
MW-1.4	97,1	20,4	3,63	1,12	0,88	1,00
MW-1.5	108,0	52,6	4,18	0,97	1,37	1,17
MW-1.6	119,7	21,1	4,26	0,80	0,73	0,76
MW-1.7	178,8	59,3	4,01	0,89	0,77	0,83

Vidutiniai išmatuoti tankių dydžiai svyruoja plačiame intervale: mažiausias vidutinis tankis išmatuotas MW-1.1 bandiniams siekia 48,9 kg/m³, o didžiausias MW-1.7 bandiniams 178,8 kg/m³. Kadangi MW-1.1 tipo bandiniai buvo nedidelio tankio (33,3–67,4 kg/m³) ir jiems paprastai nenustatinėjamas bei nedeklaruojamas gniuždymo įtempis, o mūsų išmatuoti dydžiai labai maži (1,1–3,5 kPa), tai šių bandinių šiose skaičiavimuose nevertinsime. Apskaičiuoti ρ_s variacijos koeficientai (δ) kiekvieno tipo bandiniams skiriasi ir kinta 5,7–10,2 %. Vidutiniai M dydžiai svyruoja 3,63–4,26 % ribose, o apskaičiuotas $s = 0,05$ –0,88 %.

Iš 3 lentelės galime matyti, kad σ_e dydis labiausiai priklauso nuo tankio ir makrostruktūros rodiklių. Kadangi kai kuriuose bandiniuose L ir C pjūviuose dominuojančių plaušų kampai skiriasi, tai ir apskaičiuoti makrostruktūros rodikliai kiekviename pjūvyje skirtingo dydžio. Siekiant nustatyti fizikinių ir mechaninių savybių ir makrostruktūros rodiklių tarpusavio funkcines priklausomybes buvo atlikti statistiniai daugialypės regresijos skaičiavimai ir sudaryta empirinė lygtis:

$$\sigma_e = -107,77 + 0,51 \cdot \rho_s + 5,93 \cdot M + 54,81 \cdot S_C + 7,02 \cdot S_L \quad (2)$$

Sudarytos empirinės lygties statistiniai rodikliai pateikti 4 lentelėje. Iš šios lentelės duomenų matyti, kad lygties determinacijos koeficientas $R^2 = 0,9161$ daug didesnis už 0,7, taigi galime teigti, kad parinktas matematinis modelis yra teisingas.

4 lentelė. σ_e ir tiriamųjų rodiklių (ρ , M , S_C ir S_L) funkcinės priklausomybės ir reikšmingumai

R	R^2	s_e	Stjudento kriterijaus reikšmės			
			ρ_s	M	S_C	S_L
0,9571	0,9161	5,83	13,94	3,35	15,19	2,27

5

Iš 4 lentelės matome, kad visi tiriamieji rodikliai: tankis, organinių medžiagų kiekis, L ir C pjūvių makrostruktūros rodikliai yra reikšminiai, kadangi visų jų apskaičiuotos (2,27–15,19) Stjudento kriterijaus reikšmės didesnės nei kritinis lentelinis dydis (2,021). Tačiau makrostruktūros rodikliai skirtingai įtakoja σ_e : S_C rodiklis labiau įtakoja nei S_L , kadangi S_C rodiklio Stjudento kriterijaus dydis yra daugiau kaip šešis kartus didesnis nei S_L rodiklio. Tai sąlygota plaušų išsidėstymų gamybos proceso metu, nes bandinių kraštinės buvo pažymėtos pagal pluošto klogo judėjimo konvejeriu kryptį: pjūvis L – lygiagrečiai judėjimo kryptčiai, pjūvis C – statmenai judėjimo kryptčiai. Tačiau realiose sąlygose ir (arba) turint nedidelį tiriamos medžiagos fragmentą gali būti pakankamai sudėtinga nustatyti konvejerio judėjimo kryptį ir teisingai pažymėti pjūvių kraštines. O neteisingai pažymėti pjūviai iškreips skaičiavimo rezultatus.

Todėl siekiant išvengti netikslumų matavimų metu atliksime papildomus statistinius skaičiavimus (5 lentelė), kurių metu įvertinsime abiejų makrostruktūros rodiklių vidutinio dydžio, tankio ir organinių medžiagų įtaką gniuždymo ribiniam įtempiui.

5 lentelė. S_{L-C} , ρ_s ir M įtakos σ_e dydžiui funkcinės priklausomybės ir reikšmingumai apskaičiuoti daugialypės regresijos metodu

R	R^2	s_e	Stjudento kriterijaus reikšmės		
			ρ_s	M	S_{L-C}
0,9492	0,9006	7,22	12,43	3,79	14,03

Palyginę 4 ir 5 lentelių duomenis matome, kad daugialypės koreliacijos, determinacijos koeficientų ir vidutinio standartinio nuokrypio dydžiai skiriasi nedaug, todėl galime sudaryti lygtį, kurioje vietoj makrostruktūros rodiklių atskiriems pjūviams panaudojus vieną rodiklį (jų vidutinį dydį) rezultatų tikslumas bus pakankamas. O tokiu būdu pašalinama tikimybė gauti klaidingą rezultatą, jei netinkamai būtų pažymėtos bandinių kraštinės.

25

Iš 5 lentelės matome, kad ρ_s ir S_{L-C} labiausiai įtakoja σ_e , kadangi apskaičiuotos didelės Stjudento kriterijaus reikšmės (12,43; 14,03). Taigi reikšmingiausių rodiklių priklausomybė gali būti pavaizduota grafiškai naudojantis paviršine diagrama (6 pav.).

- 5 Ryšiui tarp visų reikšminių rodiklių pateiktų 5 lentelėje ir 6 paveiksle aprašyti apskaičiuota patikslinta empirinė lygtis:

$$\sigma_e = -140,66 + 0,55 \cdot \rho_s + 8,06 \cdot M + 82,35 \cdot S_{L-C} \quad (3)$$

- Šios lygties daugialypės koreliacijos R , determinacijos R^2 koeficientai, vidutinis standartinis nuokrypis s_e ir Stjudento kriterijaus reikšmės pateiktos 5 lentelėje. Sudarytos empirinės lygties determinacijos koeficientas yra didesnis nei 10 0,7 (5 lentelė), todėl matematinis tiesinės daugialypės regresijos modelis parinktas teisingai.

- Iš 6 paveikslo, 3 lygties ir 5 lentelės duomenų galima spręsti, kad gniuždymo ribinį įtempį labiausiai įtakoja makrostruktūros rodiklis S_{L-C} (didžiausias Stjudento kriterijaus dydis 14,03), kadangi jis apibūdina plaušų struktūroje kryptingumą.
- 15 Didėjanti šio rodiklio skaitinė išraiška rodo, kad didėja vertikalčiai išsidėsčiusių plaušų kiekis (kurių kryptis sutampa su išorinės spaudimo jėgos veikimo kryptimi). Tokiu būdu struktūroje dominuojantys vertikalios orientacijos plaušai labiau priešinasi gniuždančiajai apkrovai bei mažai deformuojasi. Jei $S_{L-C} < 0,75$, tai struktūroje dominuoja horizontaliai išsidėsčiusę plaušai ir jų grupės, kurie dėl apkrovos veikimo
- 20 poveikio lengviau deformuojasi, nes tik nedidelė dalis vertikalčiai kryptimi ar chaotiškai struktūros tūryje pasiskirsčiusių plaušų priešinasi suspaudimui. Reikšminga tankio įtaka stebima ir gniuždymo įtempiui (nes Stjudento kriterijaus dydis 12,43), taigi didėjant tankiui didėja ir stipris. Šiuo atveju tankis turi tiesiogines sąsajas su makrostruktūros rodikliu, nes nusako plaušų kiekį tūrio vienetu. Todėl
- 25 didėjant plaušų kiekybiniam skaičiui (t.y. tankiui) ir jų aiškiai išreikštam kryptingumui veikiančios apkrovos atžvilgiu didėja mechaninės savybės. Organinių medžiagų kiekio reikšmingumas (nes Stjudento kriterijus 3,79) rodo, kad yra svarbi ir jungiančioji fazė pluoštinėje struktūroje. Esant didesniai rišklio kiekiui, susidaro daugiau suklijuotų kontaktų plaušų sąlyčio vietose, todėl veikiant apkrovai ji tolygiau
- 30 pasiskirsto suklijuotų plaušų grupėms ir veikia visame plote.

Naudojantis apskaičiuota empirine lygtimi (3) galima 90 % tikslumu apskaičiuoti mineralinės vatos gaminio gniuždymo ribinio įtempio dydį (su $\pm 7,2$ kPa paklaida), nustatius makrostruktūros rodiklių vidutinį dydį, gaminio tankį (70–200

kg/m³) bei organinių medžiagų kiekį. Taigi, net neturint specialios bandymų gniuždymui skirtos įrangos, kiekvienoje laboratorijoje galima pakankamai greitai nustatyti apytikrį σ_e dydį. Tai būtų pirmasis nedestrukcinis mineralinės vatos gniuždymo stiprio nustatymo metodas. Ankstesni bandymai susieti destruktinių (gniuždymo) bandymų metu gautus dydžius su nedestrukciniu metodu (pasitelkus virpesių slopinimo bandinio struktūroje metodu) aprašyti (Järlevä *at el.* 1984) publikacijoje, tačiau jie nesulaukė praktinio pritaikomumo ir nebuvo plačiai naudojami.

Kaip jau buvo rašyta, mineralinės vatos plaušų orientacija struktūroje išreiškiama ir kitais rodikliais. WO 2003/054270 paraiškoje autoriai plaušų orientacijai išreikšti panaudojo rodiklius Tau (T) ir Kappa (K), nusakančius struktūros kryptingumą ir dominuojančių plaušų pasiskirstymo laipsnį.

Siekiant palyginti makrostruktūros rodiklius (S_C , S_L) su aukščiau aprašytais ir autorių naudotais T ir K rodikliais, atlikome palyginamuosius skaičiavimus. Palyginę skirtingais metodais apskaičiuotų makrostruktūros rodiklių (S_{L-C} , $T_Y:T_X$, $K_Y:K_X$) daugialyčių koreliacijos ir determinacijos koeficientų bei vidutinių standartinių nuokrypių dydžius, gavome, kad visi makrostruktūros rodikliai koreliuoja su σ_e rodikliu. Tačiau funkcinės priklausomybės stiprumas priklauso nuo naudojamų makrostruktūros rodiklių. Stipriausias tarpusavio ryšys stebimas tarp σ_e ir S_{L-C} (nes $R = 0,9492$), o pagal empirinę (3) lygtį gniuždymo ribinio įtempio dydžius galima apskaičiuoti su $\pm 7,2$ kPa paklaida. Statistiniai skaičiavimai rodo, kad $T_Y:T_X$ ir $K_Y:K_X$ rodikliai su σ_e koreliuoja silpniau ($R = 0,7065$), o naudojantis šiais rodikliais apskaičiuoti gniuždymo ribinio įtempio dydžiai bus $\pm 14,3$ kPa paklaidos ribose. Pagal apskaičiuotus determinacijos koeficiento dydžius (5 lentelė) matome, kad to paties bandinio gniuždymo ribinio įtempio dydį 90 % tikslumu apskaičiuosime naudojantis S_{L-C} rodikliu, ir 49,9 % tikslumu pasitelkus $T_Y:T_X$ ir $K_Y:K_X$ rodiklius. Taigi galime tvirtinti, kad makrostruktūros rodiklis (S_{L-C}) tiksliau nei kiti rodikliai apibūdina funkcinį ryšį tarp makrostruktūros ir fizinių-mechaninių savybių.

Plaušų dominavimas kurios nors vienos krypties atžvilgiu keičia įvairių medžiagos charakteristikas (Берестова, 2006), nes erdvinės plaušinės struktūros medžiagų savybės įvairiomis kryptimis nevienodos. Konvejeriniu būdu (Strazdas and Eidukevičius, 1985) gaminamuose mineralinės vatos gaminiuose dauguma plaušų yra išsidėstę horizontalia kryptimi, todėl nuo apkrovos veikimo krypties priklauso bandinių gniuždymo stipris. Žinant dominuojančių plaušų išsidėstymo

struktūroje kryptingumą ir tai susiejus su mechaninėmis-deformacinėmis charakteristikomis, galima reguliuojanti plaušų orientaciją. Tai leidžia optimizuoti gamybos procesus ar gaminti norimų stipruminių (deformacinių) savybių gaminius pasinaudojus aiškiai išreikštu kryptingumu.

5 Siekiant nustatyti akmens vatos gaminių gniuždymo stiprio struktūros anizotropiškumą ir deformatyvumą nustatėme makrostruktūros rodiklius ir išmatavome gniuždymo stiprį priklausomai nuo apkrovos veikimo krypties pluošto klogo judėjimo konvejeriu atžvilgiu. Dėl skirtingo plaušų išsidėstymo struktūroje šių bandymų metu be gniuždymo įtempio esant 10 % deformacijai ir stiprio gniuždant 10 buvo išmatuoti ir gniuždymo ribinio įtempio dydžiai. Norint objektyviai palyginti visų bandinių tipų gniuždymo stiprio savybes, būtina lyginti σ_e vertinant išmatuotą dydį tamprumo zonos pabaigoje (nes viršijus šį dydį, prasideda irimas). Taip pat atlikome palyginamuosius skaičiavimus, kurių metu palyginti bandiniams išmatuoti ir pagal empirinę (3) lygtį apskaičiuoti gniuždymo ribinio įtempio dydžiai. MW-1.2 bandiniams 15 išmatuotas vidutinis σ_e siekia 11,6 kPa. Todėl į (3) lygtį įstačius atitinkamų parametru dydžius: tankio – 95,2 kg/m³, organinių medžiagų kiekio – 3,70 % ir makrostruktūros rodiklio – 0,84, gauname apskaičiuotą 10,7 kPa gniuždymo ribinio įtempio dydį. Tą patį atlikus su MW-1.3 ir MW-1.4 tipo bandiniais, gauti: $\sigma_e = 44,5$ kPa MW-1.3 ir $\sigma_e = 24,4$ kPa dydžiai MW-1.4 bandiniams. Palyginę apskaičiuotus dydžius su realiai 20 išmatuotais, matome, kad skirtumas nėra didelis ir neviršija vidutinio standartinio nuokrypio (5 lentelė). Taigi galima teigti, kad apskaičiuota empirinė (3) lygtis tinkama naudoti norint prognozuoti mineralinės vatos gaminių gniuždymo stiprio savybes.

Atliktų tyrimų metu gauti rezultatai rodo, kad anizotropiškumo laipsnis gali būti objektyviai ir kiekybiškai išreikštas naudojantis makrostruktūros rodikliu, nuo 25 kurio dydžio priklauso akmens vatos gaminių mechaniniai rodikliai.

Pramoninis pritaikomumas

1. Mineralinės vatos plaušų išsidėstymas struktūroje gali būti nusakomas makrostruktūros rodikliais S_L , S_C arba S_{L-C} . Pasitelkus skaitinius makrostruktūros 30 rodiklių dydžius homogeniškos struktūros gaminius galime suskirstyti taip: gaminiai, kuriose daugiausiai plaušų išsidėstę lygiagrečiai x ašiai – vadinami „tariamai horizontalios orientacijos“, o jų $S_{L-C} \leq 0,75$. Gaminiai, kuriose dominuoja statmeni x ašiai plaušai vadinami „tariamai vertikalios orientacijos“ ir jų $S_{L-C} \geq 1,10$. O gaminiai

su atsitiktinai išsidėsčiusiais ar su aiškiai neapibrėžtos krypties ir (arba) orientacijos plaušais – vadinami „tariamai chaotiškos orientacijos“, kai jų $S_{L-C} = 0,76-1,09$.

2. Įrodyta, kad tarp akmens vatos gaminių gniuždymo ribinio įtempio ir makrostruktūros rodiklių, tankio ir organinių medžiagų kiekio egzistuoja labai stiprus funkcinis ryšys, nes daugialypio koreliacijos koeficiento reikšmė 0,9492. Nustatyta, kad pasiūlytas makrostruktūros rodiklis S_{L-C} ir jo nustatymo bei apskaičiavimo metodas beveik du kartus tikslesnis lyginant su kitu metodu.

3. Pateikta empirinė lygtis, kurią naudojantis galima apskaičiuoti σ_e dydį $\pm 7,2$ kPa tikslumu, žinant makrostruktūros rodiklių vidutinį dydį, gaminio tankį (70–200 kg/m³ ribose) bei organinių medžiagų kiekį. Tai įgalina nedestrukciniu metodu prognozuoti mineralinės vatos gaminių gniuždymo stiprio savybes.

4. Mineralinės vatos struktūros anizotropiškumo laipsniui išreikšti gali būti panaudoti makrostruktūros rodikliai. Skaitiniais dydžiais įrodyta, kad apkrovos veikimo kryptis ir plaušų išsidėstymas gaminio struktūroje žymiai keičia akmens vatos plokščių gniuždymo stiprio savybes.

Išradimo apibrėžtis

- 5 1. Mineralinės vatos gaminių fizikinių ir mechaninių savybių nustatymo būdas, apimantis viso ar dalies skerspjuvio skenavimą per bandinio storį, nuskenuoto vaizdo apdorojimą programine įranga, besiskiriantis tuo, kad nustato pluošto klodo judėjimo kryptį, skenuoja lygiagretų klodo judėjimo kryptį (L) skerspjuvį ir statmeną klodo judėjimo kryptį (C) skerspjuvį, vaizdus analizuoja
- 10 programine įranga, skirta vaizdų, objektų ir fonų analizei, skaičiuoja pavienių kampų vertes ir jų vidutinį dydį, bandymo rezultatus išreiškia makrostruktūros rodikliu S, nusakančiu bandinio plokščiame pjūvyje dominuojančių plaušų orientacijos kampų, išmatuotų pagrindinės ašies ir jai statmenos atžvilgiu, santykį, S skaičiuoja atskirai pjūviams L ir C, atitinkamai S_L ir S_C , mineralinės vatos gaminių fizikinių ir mechaninių
- 15 savybių ir makrostruktūros rodiklių S_L ir S_C funkcinę priklausomybę nustato pagal lygtį:

$$\sigma_e = -107,77 + 0,51 \cdot \rho_s + 5,93 \cdot M + 54,81 \cdot S_C + 7,02 \cdot S_L,$$

kur σ_e – gniuždymo ribinis įtempis,

ρ_s – tankis,

- 20 M – organinių medžiagų kiekis.

2. Mineralinės vatos gaminių fizikinių ir mechaninių savybių nustatymo būdas, apimantis viso ar dalies skerspjuvio skenavimą per bandinio storį, nuskenuoto vaizdo apdorojimą programine įranga, besiskiriantis tuo, kad,
- 25 skenuoja skerspjuvį (L) ir jam statmeną skerspjuvį (C), vaizdus analizuoja programine įranga, skirta vaizdų, objektų ir fonų analizei, skaičiuoja pavienių kampų vertes ir jų vidutinį dydį, bandymo rezultatus išreiškia makrostruktūros rodikliu S, nusakančiu bandinio plokščiame pjūvyje dominuojančių plaušų orientacijos kampų, išmatuotų pagrindinės ašies ir statmenos jai atžvilgiu, santykį, S skaičiuoja atskirai
- 30 pjūviams L ir C, atitinkamai S_L ir S_C , apskaičiuoja makrostruktūros rodiklių S_L ir S_C vidurkį S_{L-C} , ir mineralinės vatos gaminių fizikinių ir mechaninių savybių ir makrostruktūros rodiklio S_{L-C} funkcinę priklausomybę nustato pagal lygtį:

$$\sigma_e = -140,66 + 0,55 \cdot \rho_s + 8,06 \cdot M + 82,35 \cdot S_{L-C},$$

kur σ_e – gniuždymo ribinis įtempis,

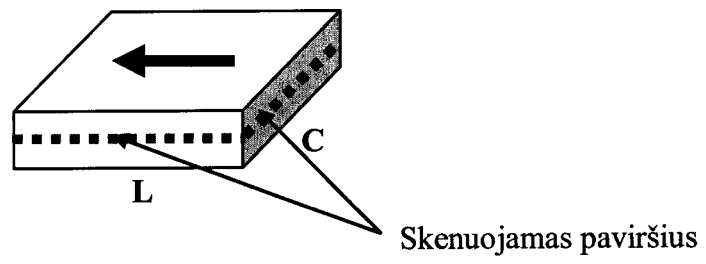
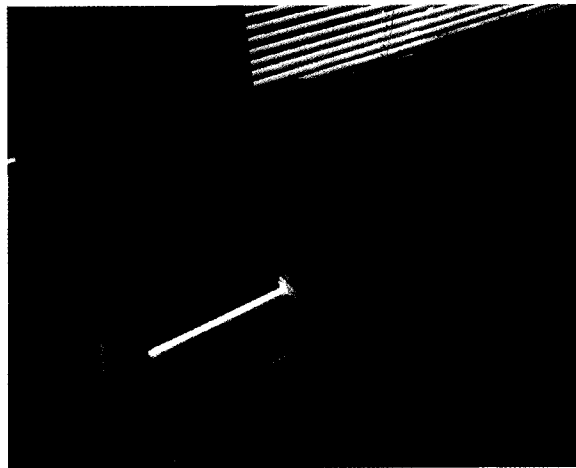
ρ_s – tankis,

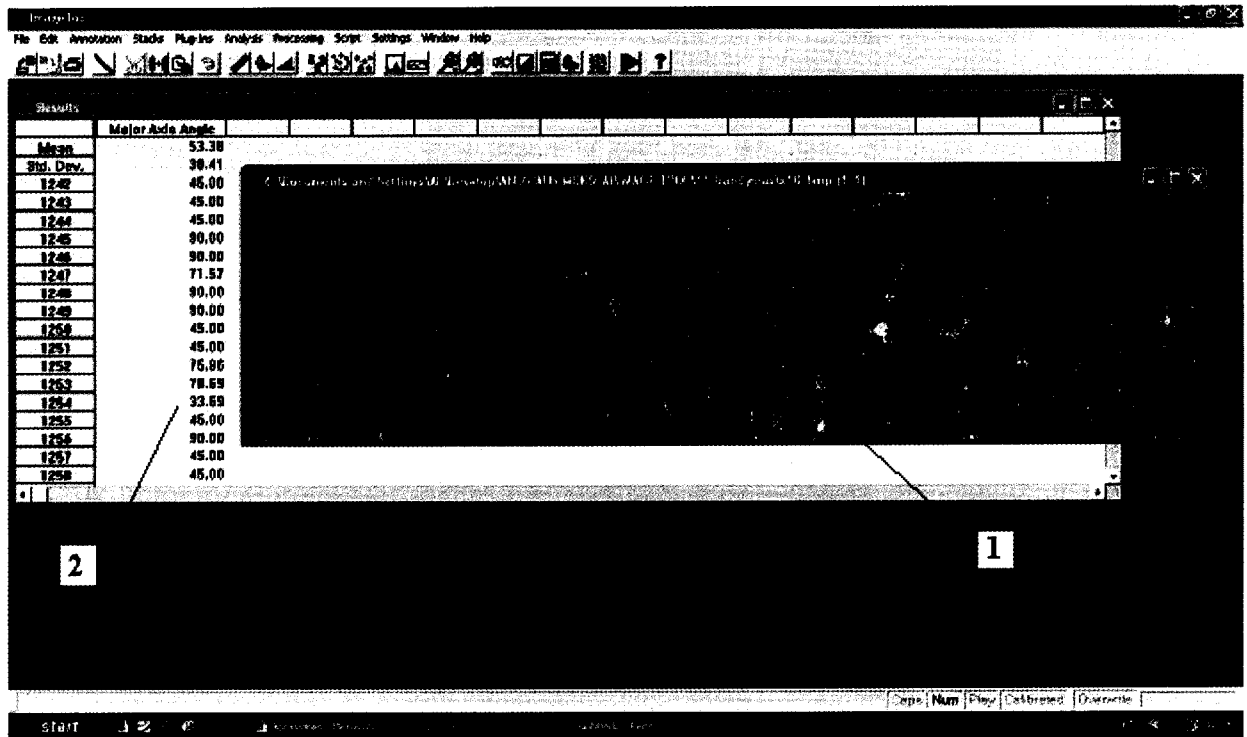
M – organinių medžiagų kiekis.

3. Mineralinės vatos gaminių fizikinių ir mechaninių savybių nustatymo
5 būdas pagal 1 arba 2 punktą, besiskiriantis tuo, kad makrostruktūros rodiklis $S_{L-C} \leq 0,75$ apibrėžia tariamai horizontalų gaminio struktūroje dominuojančių plaušų išsidėstymą pagrindinės ašies atžvilgiu.

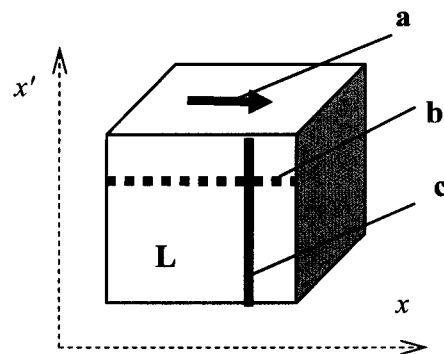
4. Mineralinės vatos gaminių fizikinių ir mechaninių savybių nustatymo
10 būdas pagal 1 arba 2 punktą, besiskiriantis tuo, kad makrostruktūros rodiklis $S_{L-C} = 0,76 - 1,09$ apibrėžia tariamai chaotišką gaminio struktūroje dominuojančių plaušų išsidėstymą pagrindinės ašies atžvilgiu.

5. Mineralinės vatos gaminių fizikinių ir mechaninių savybių nustatymo
15 būdas pagal 1 arba 2 punktą, besiskiriantis tuo, kad makrostruktūros rodiklis $S_{L-C} \geq 1,10$ apibrėžia tariamai vertikalų gaminio struktūroje dominuojančių plaušų išsidėstymą pagrindinės ašies atžvilgiu.

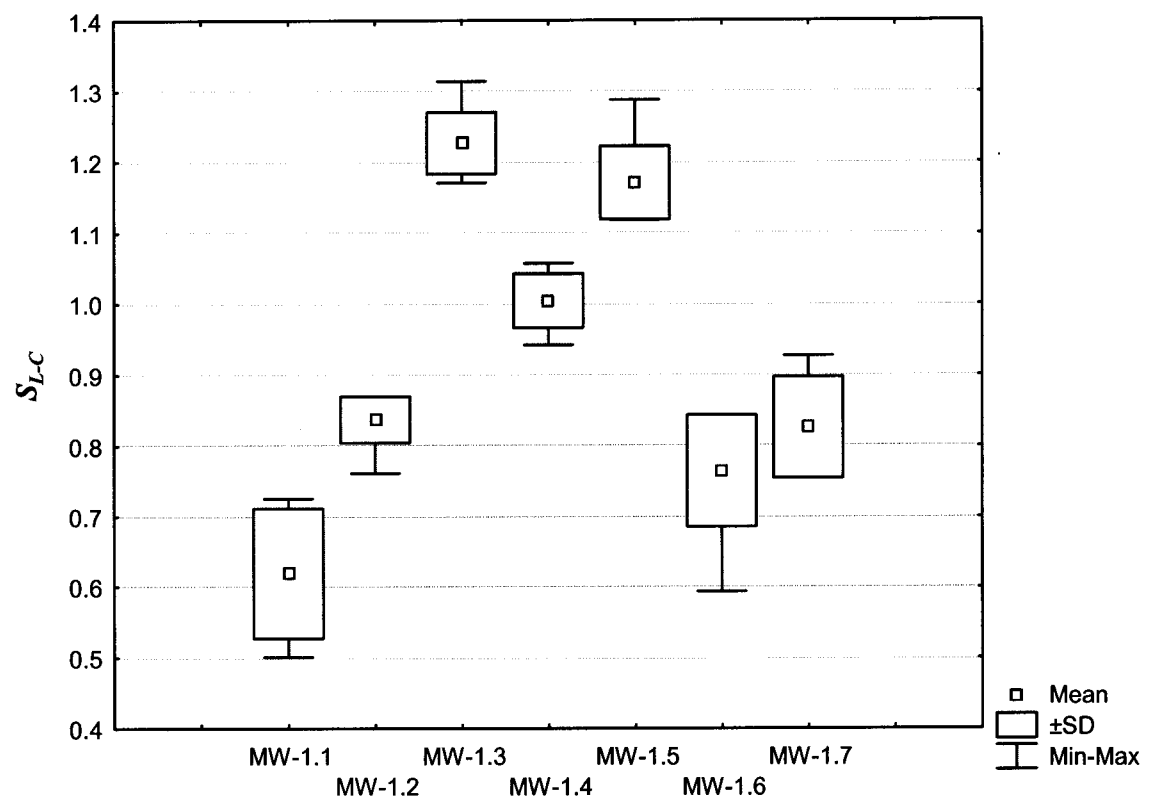
**1 pav.****2 pav.**



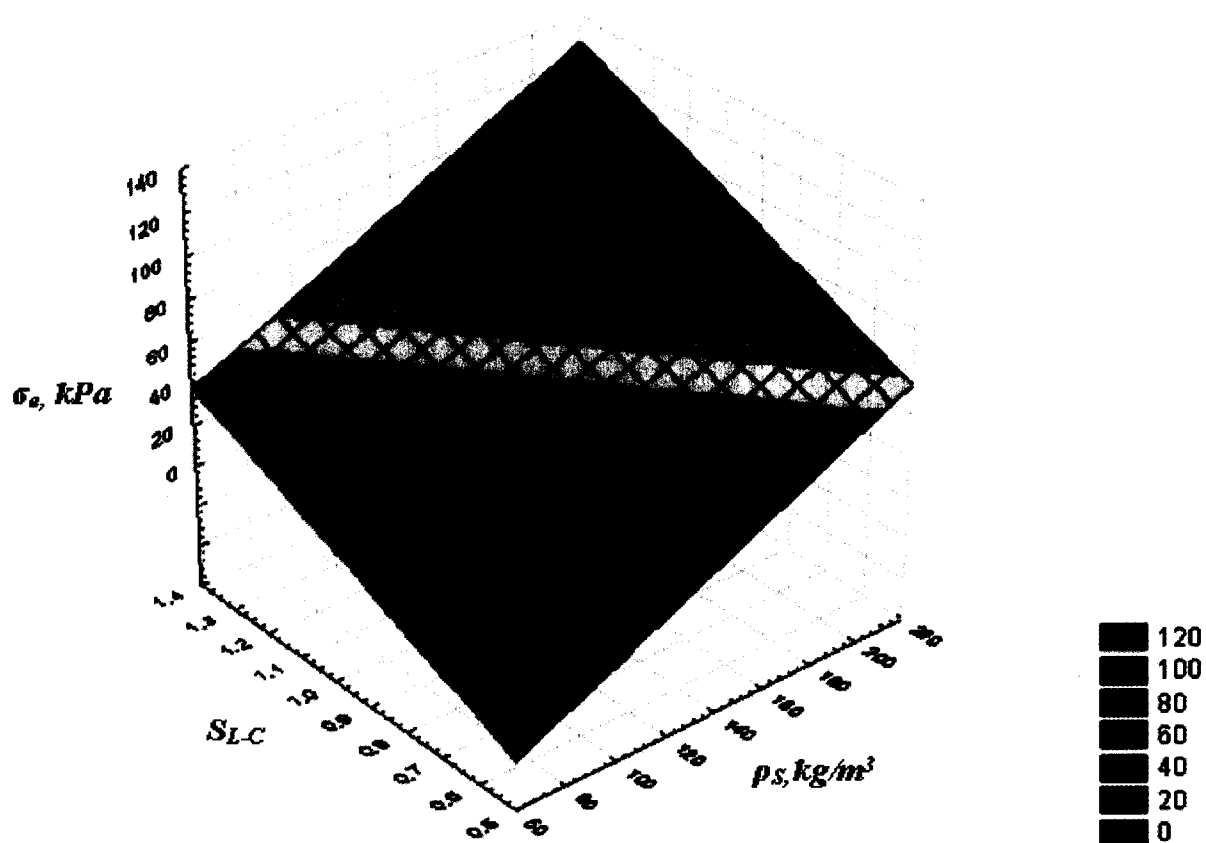
3 pav.



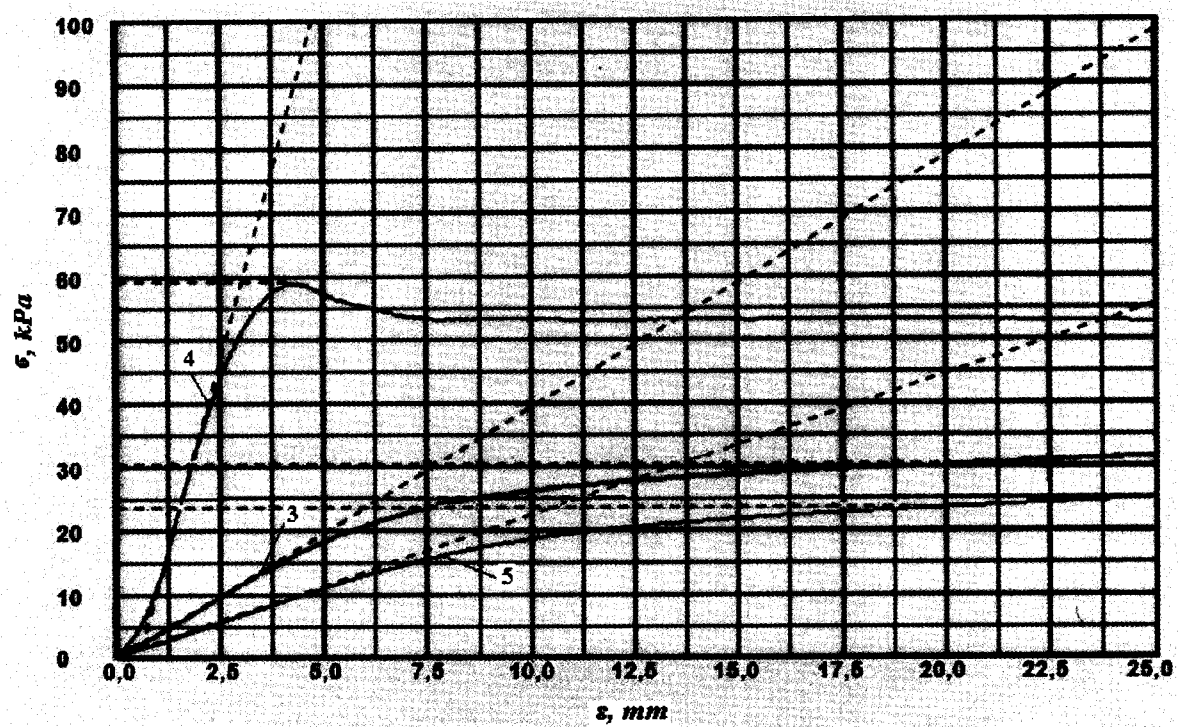
4 pav.



5 pav.



6 pav.



7 pav.