

(19)



(10) **LT 5295 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(11) Patento numeris: **5295**

(51) Int. Cl.⁷: **C02F 1/28**
B01J 20/30

(21) Paraiškos numeris: **2004 026**

(22) Paraiškos padavimo data: **2004 03 08**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2005 09 26**

(45) Patento paskelbimo data: **2005 12 27**

(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: —

(72) Išradėjas:

Eduard OSIPOV, LT
Sergej OSIPOV, LT

(73) Patento savininkas:

Eduard OSIPOV, Musninkų g. 5-9, 07186 Vilnius, LT
Sergej OSIPOV, Musninkų g. 5-9, 07186 Vilnius, LT

(74) Patentinis patikėtinis:

—

(54) Pavadinimas:

Geriamo vandens sorbcinio valymo būdas

(57) Referatas:

Išradimas susijęs su geriamo vandens gavimu ir gali būti panaudotas vandentiekio ir gamtinio vandens sorbciniam valymui. Išradime kaip sorbentą naudoja kalnų uolieną šungitą iš anksto atliekant mechaninį šungito uolienos su 27-32 % anglies koncentracijos sodrinimą, atrenka šungitą, turintį 33 ± 1 % anglies, kurį susmulkinus gamina sorbentą, atrenkant daleles, mažesnes negu 1 μm dydį. Gautas sorbentas maišomas su valomu vandeniu ir po to paliekamas nusistovėti.

Išradimas susijęs su geriamo vandens gavimu gamtinių sorbentų iš susmulkintos kalnų uolienos, pavyzdžiui, šungito, dėka ir gali būti panaudotas vandentiekio ir gamtinio vandens sorbciniam valymui ir laikymui.

Žinomas būdas iš dalies sprendžiantis vandentiekio ir gamtinio vandens sorbcinio valymo problemą gamtiniais sorbentais iš smulkintos kalnų uolienos šungito (RU patentas Nr. 2056358, TPK⁶ C02F 1/28, skelbta 1996-03-20). Išradimo esmė: įrenginyje vandeniui valyti ir kondicionuoti įkrovos talpinamos talpoje paeiliui išdėstytais sluoksniais. Pirminio valymo įkrovos sluoksnį sudaro šungitas su aktyviųjų paviršiaus rūgščių grupių koncentracija intervale 1 – 15 $\mu\text{g-ekv/m}^2$, o kitą sluoksnį – karbonatų turinčios uolienos, apimančios Periodinės elementų sistemos šalutinių pogrupių mikroelementus, kurių kiekis - 0,001 – 0,1 % nuo uolienos masės. Pirminio vandens apdorojimo įkrovos sluoksnį sudaro susmulkintas šungitas, kurio dalelių dydis 1 – 5 mm, taip pat kaip ir tolesnio vandens apdorojimo įkrovos sluoksnis iš smulkintų dolomito turinčių uolienu, apimančių, procentais: kalcio – 20; magnio – 11; geležies - 0,002; vario – 0,01; kobalto – 0,001; nikelio – 0,002; cinko – 0,01; chromo – 0,002; vanadžio – 0,001. Tokio įrenginio talpa daroma iš dviejų išardomų dalių pirminiam ir tolesniam vandens apdorojimui. Bent dalis kiekvieno paviršiaus pagaminta iš porėtos medžiagos. Šis įrenginys valo vandenį, didina apdoroto vandens prisotinimo laipsnį kalcio, magnio druskomis, o taip pat mikrokiekiais elementų iš Periodinės elementų sistemos šalutinių grupių, esant jų nekintamam kiekiui tolesnio vandens laikymo procese.

Nurodyto būdo trūkumai yra šie:

- 1) retai pasitaikančio šungito su didele aktyviųjų paviršiaus rūgščių grupių koncentracija, intervale 1–15 $\mu\text{g-ekv/m}^2$, panaudojimas kaip sorbento. Toks didelis aktyviųjų paviršiaus rūgščių grupių kiekis būdingas migraciniams šungitams (Š-1) su anglies kiekiu apie 90 %, kurių paplitimas sudaro tik procentines dalis nuo labiau paplitusių šungitų (Š-3) su anglies kiekiu apie 30 %. Aktyviųjų rūgšties grupių buvimas ant anglies paviršiaus sąlygoja žymią šios modifikacijos šungito hidrofiliją, o tai reiškia ir mažesnę adheziją ir sorbcinę gebą (Шунгиты – новое углеродное сырье. – Петрозаводск: leidykla Карелия, 1984);

2) didelis gauto po pirminio apdorojimo vandens rūgštingumas ($\text{pH} = 3$ ir mažiau). Jo neutralizavimui antriniame vandens apdorojime prireikia naudoti karbonato turinčias uolienas;

3) didelė vandens valymo kaina dėl sudėtinės sorbento sudėties (šungitas, dolomitas ir kvarcinis smėlis) ir reikalingos įrangos (porėtos medžiagos ir sudėtinga indų forma);

4) didelis dalelių dydis ($1 - 5 \text{ mm}$) ir didelis filtruojančios medžiagos svoris (trys sluoksniai po 2 kg);

5) nedidelis išvalymo laipsnis: $0,48 \text{ mg/l}$ sunkiųjų metalų (iš kurių didžioji dalis – geležis) vietoj $0,005 \text{ mg/l}$ pagal pareiškiamą būdą; chloro neišvalo, tuo tarpu, kai pagal pareiškiamą būdą išvalymo nuo chloro laipsnis sudaro 98% ;

6) dezinfekavimo efektyvumo nebuvimas.

Artimiausias pagal techninę esmę ir bendrus požymius pareiškiamam būdai yra techninis sprendinys, aprašytas RU patente Nr. 2191748, TPK C02F 1/28, skelbtame 2002-10-27. Šiame išradime tikslas pasiekiamas tuo, kad sorbentą gamina iš kalnų uolienos šungito, turinčio $27 - 32 \%$ anglies, kurio smulkinimo proceso metu eliminuoja priemaišų patekimą į jį, atrenka daleles, kurių dydis nuo $0,5 \text{ mm}$ iki $0,5 \mu\text{m}$, vykdo jų magnetinį separavimą ir iš karto hermetizuoja, o panaudoja sumaišant sorbentą su valomu vandeniu santykiu $1:(500 - 1000)$ pagal tūrį ir po to praleidžia jį per valomą vandenį, esantį bet kurioje tinkamoje talpoje, kurioje po to tą vandenį nustovina iki visiško skaidrumo arba palieka ilgam laikymui, pritraukinant ant to paties sorbento visą laiką iki vartojimo momento. Galimas žinomo būdo įgyvendinimo variantas, naudojant šungitą, iš anksto modifikuotą virinimu vandeniniame šarmo tirpale. Bet dėl šungito modifikavimo būdo padidėjusio sudėtingumo padidėja sorbento kaina ir pablogėja jo mechaninės charakteristikos.

Prototipo trūkumai yra šie:

1) nėra išankstinio šungito uolienos mechaninio sodrinimo, tai neleidžia vėliau atrinkti šungitą su didesniu anglies kiekiu, esant mažesniai peleningumui negu pradinės uolienos;

2) sorbentas gaminamas iš šungito su mažu $28 - 32 \%$ anglies kiekiu. Tai, kaip paaiškėjo (Osipov E.V., Reznikov V.A., Carbon, 2002; 40, Issue 6, 961-5 p.), nevysiškai atitinka pilną anglies matricos perėjimą į silikatinę, tai reiškia nepasiekia mažiausios jo mechaninio atsparumo reikšmės ir labai įtakoja galutiniam dalelių dispersiškumui;

3) dideli nuo 5 mm dalelių dydžiai ir, atitinkamai, didelis svoris ir didelė vienam litrui pradinio vandens reikalingo serbento 1:(500 – 1000) kaina.

Pareiškiamo išradimo tikslas – nurodytų trūkumų pašalinimas, o būtent: gamtinio sorbento masės ir kainos sumažinimas, nepabloginant vandens valymo efektyvumo.

5 Iškeltas tikslas pasiekiamas tuo, kad valant geriamą vandenį sorbciniu būdu, apimančiu gamtinio sorbento panaudojimą ir gavimą iš kalnų uolienos šungito, kurio smulkinimo proceso metu eliminuoja priemaišų patekimą į sorbentą, atlieka sorbento magnetinį separavimą ir hermetizuoja, o panaudoja sumaišant sorbentą su valomu vandeniu, po to nustovina, iš anksto atlieka mechaninį šungito uolienos su 27 – 32 %
10 anglies koncentracija sodrinimą, atrenka šungitą, turintį 33 ± 1 % anglies, iš kurio susmulkinus gamina sorbentą, naudojant mažesnes negu $1 \mu\text{m}$ dydžio daleles.

Pirmuoju skiriamuoju pareiškiamo išradimo požymiu palyginus su prototipu yra išankstinis šungito uolienos su 27 – 32 % anglies koncentracija mechaninis sodrinimas. Šungito uolienos skirtingos pagal apraiškos formą, susiformavimo laiką, genezę,
15 medžiaginę ir izotopinę sudėtį, šungito medžiagos agregatinę ir struktūrinę būklę (Шунгиты – новое углеродное сырье. – Петрозаводск: leidykla Карелия, 1984). Tokiu būdu, kad būtų gautas sorbentas su užsiduotomis savybėmis, reikalingas kruopštus pirminių šungito uolienu parinkimas. Labiausiai tinkami išankstiniam mechaniniam sodrinimui ir pareiškiamo būdo realizavimui pasirodė esą labiausiai paplitę gamtiniai
20 stratifikuoti šungitai, turintys vidutiniškai 27 – 32 % anglies, apie 65 % SiO_2 ir iki 6 % Al_2O_3 (Шунгиты – новое углеродное сырье. – Петрозаводск: leidykla Карелия, 1984). Rūgščių aktyviųjų grupių buvimas ant tokio šungito paviršiaus, kurį sudaro daugiausia mineralinis komponentas (65 – 70 % SiO_2), minimalus (daug mažiau negu $1 \mu\text{g-ekv/m}^2$), tai turi principinę reikšmę išsaugant valyto vandens rūgštingumą tose ribose,
25 kurios užduotos standartu. Be to, tai duoda didesnę adheziją ir sorbcinę gebą. Taip, pavyzdžiui, esant chloro sorbcijai, didžiausia 27 – 32 % anglies turinčio šungito sorbcinė geba visa eile didesnė negu analogiška migracinių šungitų geba (Шунгиты – новое углеродное сырье. – Петрозаводск: leidykla Карелия, 1984). Tai leidžia tiek kartų sumažinti reikiamo sorbento masę litrui pradinio vandens. Būtent šiame anglies kiekio
30 šungituose diapazone pradeda vykti nešančiosios matricos keitimasis iš mineralinės į anglies. Tačiau, kad būtų visiškai pereita iš mineralinės į anglies matricą, reikalingas uolienos sodrinimas.

Tarp mechaninių šungito uolienos sodrinimo būdų svarbiausi praktinės vertės požiūriu yra būdai, pagrįsti elektrinio laidumo panaudojimu. Tai yra radiometrinis

sodrinimas indukciniu radiorezonansiniu būdu, paremtu gabalinės žaliavos dalinimu, ir magnetinis hidrostatinis separavimas, kurio šaltinis yra šungitas, susmulkintas iki stambumo ne daugiau kaip 1 mm. Šungito uolienų sodrinimas šiais metodais leidžia gauti šungitą, praturtintą anglimi, kuris pasižymi puresne anglies matrica su nevienalyte

5 struktūra ir sumažintu mechaniniu tvirtumu, o koncentratai su pelenų priemaisomis yra du kartus mažesni, negu pradinėse uolienose (B.A. Мокроусов, В.А. Лилеев. Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд. – М., 1979 ir В.Н. Шохин, А.Г. Лопатин. Гравитационные методы обогащения. – М., 1980).

Antruoju pareiškiamo būdo skiriamuoju požymiu palyginus su prototipu yra $33 \pm$

10 1 % anglies turinčio šungito panaudojimas kaip sorbento. Būtent šiame anglies kiekio šungituose diapazone baigiasi nešančiosios matricos pasikeitimas iš mineralinės į anglies. Mineraliniu komponentu yra silikatai (~2/3 masės), iš kurių 80 % yra silicio dioksidas. Atlikti infraraudonųjų spektrų tyrimai parodė, kad spektro tipas šungituose su skirtingais anglies kiekiais yra skirtingas (opalo, agato ir kitų), bet nematyti aliumosilikato juostų. Iš

15 to seka išvada: aliumosilikato fazė tarpusavyje susieta su anglies faze ir pasižymi elektriniu laidumu, tai ir leidžia efektyviai vykdyti sodrinimo procesą. Tačiau infraraudonuosiuose spektruose matomas tik amorfinis silicio dioksidas, t.y. šiuo atveju silicio dioksido matrica silpnai susieta su anglies, ir silpniausias mechaninis ryšys būtent

20 esant 32 – 35 % anglies. Todėl būtent šis šungito uolienos tipas pasižymi mažiausiu mechaniniu atsparumu, didžiausia anglies ir mineralinio komponento dispersija ir labiausiai tinka vienalytėms frakcijoms, kurių dalelių dydis mažesnis negu 1 μm , gauti.

Atliekant siūlomą būdą, gamtinis devynių komponentų kompozitas šungitas yra specialiai apdorota ir fulerenais praturtinta dispersinė sistema, kurioje dispersinė fazė (fulereno turinti šungito anglis ~ 1/3 masės) tolygiai paskirstyta nanodalelių pavidalu

25 dispersinėje terpėje (silikatai ~ 2/3 masės, iš kurių 80 % sudaro silicio dioksidas). Todėl sorbentas turi didelio efektyvumo adsorbento, koagulianto, flokulianto ir jonito savybes; pasižymi sorbcinėmis, katalizinėmis ir baktericidinėmis savybėmis.

Trečiuoju pareiškiamo išradimo skiriamuoju požymiu palyginus su prototipu yra tai, kad susmulkinus 33 ± 1 % anglies turintį šungitą, sorbentą gamina, naudojant tik

30 mažesnes negu 1 μm dydžio daleles, o ne pradėdant nuo 500 μm kaip prototipe. Žinoma (Л.А. Кульский. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. – Киев: Наукова Думка, 1983), kad stambios dalelės su vandeniu nesudaro stabilių heterogeninių sistemų, kadangi veikiamos gravitacinių jėgų greitai nusėda ant dugno. Sedimentacijos greitis priklauso nuo dalelių formos, vedančios prie jų nusėdimo svorio

jėgos santykio su šiam procesui trukdančios trinties jėgos. Vandens dispersijos, kurių dalelių dydis ne daugiau kaip $10\ \mu\text{m}$, kaip taisyklė, yra visiškai kinetiškai nestabilios. Sumažėjus dalelių dydžiui iki $1 - 0,1\ \mu\text{m}$, susidaro heterogeninės sistemos, kurioms būdingas palyginus nedidelis lyginamasis dispersinės fazės paviršius, dalelių šiluminio judėjimo silpnas intensyvumas. Tokioms sistemoms priklauso suspensijos, emulsijos ir putos.

Dalelių dydžių $0,1 - 0,01\ \mu\text{m}$ intervalas atitinka koloidinių ir dispersinių sistemų su stipriai išvystytu tarpfaziniu paviršiumi, pakankamai intensyviu dalelių judėjimu ir santykinai dideliu kinetiniu stabilumu egzistavimo sritį. Dėl koloidinių sistemų didelio tarpfazinio paviršiaus didžiausią reikšmę joms turi reiškiniai, vykstantys ribiniuose paviršių sluoksniuose (dvigubų elektrinių sluoksnių, solvatacinių apvalkalų susidarymas, molekulinės sąveikos jėgų tarp koloidinių dalelių, o taip pat tarp dalelių ir dispersinės terpės pasireiškimas ir kt.). Pagrindinė kliūtis didžiausiam dalelių dispersiškumui gauti yra mechaninis uolienos tvirtumas, kurį šungito uolienos sodrinimo dėka pavyko sumažinti iki minimumo.

Atrinktoms dalelėms, kurių dydis mažiau negu $1\ \mu\text{m}$, taikomas specialus apdorojimas, kuris pašalina galimybę toliau patekti į jas priemaišoms. Tai daugiausiai susiję su žymaus geležies kiekio susmulkintose kalnų uolienose buvimu, kurio buvimas malinyje susietas su standartinės įrangos, pagamintos iš geležies turinčių lydinių, naudojimu šungito gavimo vietose pradiniam smulkinimui nuo $\sim 500\ \text{mm}$ iki $\sim 5\ \text{mm}$. Pramonėje visuotinai pripažinta geležies kiekio reikšmė malinyje lygi maždaug kilogramui metalo kiekvienai tonai susmulkintos medžiagos (t.y. $\sim 1\ \text{mg/g}$). Be to, geležies kiekis malinyje tik didėja, jei reikia smulkiau susmulkinti šungitą, ypač smulkiau negu $1\ \text{mm}$.

Magnetinio separavimo panaudojimas šungito apdorojimo procese leido pašalinti iš sorbento magnetines priemaišas, likusias šungite pirminio smulkinimo metu gavybos vietoje arba atsitiktinai patekusias visos technologinės grandinės eigoje iki pat hermetizavimo. Tai leido apsaugoti sorbento adsorbcinę gebą, laikant ilgai iki pat realizavimo momento. Todėl pareiškiamo būdo įgyvendinimui panaudotas sūkurinis smulkinimas, eliminuojantis papildomų priemaišų patekimą į jį. Tokios aukštos technologijos panaudojimas leido gauti frakcijas, kurių dalelių dydis mažesnis negu $1\ \mu\text{m}$.

Nepertraukiamos technologinės grandinės sudarymas, nuo antrinio smulkinimo (po pirminio karjero) iki gatavo sorbento hermetizavimo, leido iki minimumo sumažinti priverstinio sorbento kontakto su supančia aplinka laiką. Tuo pačiu pavyko žymiai

padidinti valomųjų ir kondicionuojančių sorbento savybių, sąlygotų esminės smulkiai sumalto šungito adsorbicinių savybių priklausomybės nuo prabėgusio nuo smulkinimo momento iki panaudojimo momento laiko, stabilumą ir pasikartojimą.

Žemiau pateikiami techninio sprendimo pagal pareiškiamą būdą pavyzdžiai.

- 5 Būdo realizavimas vyksta dviem etapais. Pirmajame - atlieka šungito uolienos, turinčios 27 – 32 % anglies, mechaninį sodrinimą būdu, pagrįstu elektrinio laidumo panaudojimu. Panaudojus svarbiausią praktinės vertės požiūriu radiometrinį sodrinimo būdą indukcinio radiorezonansiniu metodu, paremtu gabalinės žaliavos skaldymu, atrenka 33 ± 1 % anglies turintį šungitą. Po to, kad gautų frakciją su dalelių dydžiais mažesniais kaip $1 \mu\text{m}$, naudoja sukurinio smulkinimo įrenginį. Magnetinį separavimą naudoja frakcijai, kurios dalelių dydžiai, mažesni negu $1 \mu\text{m}$, po to gatavą sorbentą pakuoja į hermetiškus paketus. Antrajame etape, kai sorbentą naudoja vandens valymui ir laikymui, paketo turinys paskaičiuojamas ne daugiau 0,5 g/l (priklauso nuo vandens užterštumo laipsnio ir sorbento dalelių dydžio), tai atitinka sorbento ir pradinio vandens kiekio pagal
- 10 tūrį santykį ne mažesnį negu 1: 2000. Vandenį valo aukštame stikliniame, emaliuotame arba iš maistui tinkamo polietileno pagamintame inde. Į indą (paprastai aukštą plastikinį butelį) supila pakelio turinį, pripila vandens, gerai išmaišo, vartydami butelį taip, kad milteliai kelis kartus pereitų vandenį. Pusiau atidarytą butelį vertikalčiai stato į šaldytuvą ir leidžia nusistovėti apie 12 valandų. Nusėdusios ir išplaukusios nuosėdos turi ant sorbento
- 15 adsorbuotus teršalus. Jais atsikratyti galima dviem būdais:
- 20

Pirmasis būdas. Nuskaidrintą viduriniąją vandens dalį atsargiai sifono vamzdeliu nupila į švarų indą ir naudoja vaistams ir biologiškai aktyviems papildams užgerti. Nuosėdas kartu su apie 2 cm sluoksniu vandens nupila į atskirą indą ir surenka atidurbusius miltelius, kad vėliau panaudotų kaip pastą, esant odos, sąnarių, radikulito ir

25 kitokiems susirgimams.

Antrasis būdas. Butelį su nuskaidrintu vandeniu vertikalčiai patalpina šaldiklyje. Visiškai užšaldžius, iš butelio pašalina ledo stulpelį ir nuvalo jo viršų (~ 1 cm išmeta) ir apačią (~ 2 cm išsaugo atskirame inde, kad vėliau panaudotų kaip pastą, esant odos, sąnarių, radikulito ir kitokiems susirgimams). Likusią vidurinę ledo dalį patalpina

30 švariame inde, kad ištirpintų ir vėliau panaudotų vaistam ir biologiškai aktyviems papildams užgerti.

Toks būdas struktūrizuoja valomą vandenį ir išsaugo jame visus organizmui naudingus elementus, bet pašalina pakibusias medžiagas, chlorą, naftos produktus,

geležies ir sunkiųjų metalų jonus, paviršiaus aktyviausias medžiagas, organinius junginius, nitratus, fosfatus, amonio druskas, radionuklidus.

Vandens valymo šiuo būdu rezultatai pateikti lentelėje.

Ribinių reikšmių patvirtinimui atlikti bandymai, kurių rezultatai pateikti lentelėje.

- 5 Bakteriologinius tyrimus atliko membraninių filtrų metodu, nustatant bendrą bakterijų kiekį 1 ml vandens ir žarnyno lazdelės bakterijų grupės (koli-indeksas) kiekį 1 litre. Šungito dezinfekavimo efektyvumo tyrimai buvo atliekami, praleidžiant natūraliai bakterijomis *E.coli* ($1,2 \times 10^5$ μ l/l) apkrėstą vandenį. Iš lentelės seka, kad esant dalelių dydžiams, mažesniems negu 1 μ m, sorbento ir vandens tūrių santykis sumažėja penkis
- 10 kartus palyginus su prototipu ir atitinkamai sumažėja gamtinio sorbento masė ir kaina, nepabloginus vandens valymo efektyvumo.

- Be to, organizmui kenksmingi elementai (geležis ir chloras) efektyviausiai pašalinami, o naudingi (kalcis, magnis) lieka išvalytame vandenyje. Ne didesnių negu 1 μ m dydžio dalelių panaudojimas sąlygotas neefektyviu reikiama sorbento masės
- 15 padidėjimu dėl žymaus jo sorbcinės gebos sumažėjimo, toliau didinant dalelių dydį.

Sorbentų ir pareiškiamu būdu gauto vandens pagrindinių parametrų palyginimas

lentelė

Tiriamas parametras	Pradinis vanduo	Iš anksto sodrintas 33 ± 1 % anglies turintis šungitas				Prototipas
Sorbento ir vandens tūrių santykis		1:100	1:100	1:1000	1:5000	1:(500-1000)
Dalelių dydis, μ m		<100	<10	<1	<1	500-0,5
Geležis, mg/l	1,4	0,05	0,05	0,01	0,005	0,01-0,05
Chloras, mg/l	1,1	0,2	0,15	0,04	0,02	0,04-0,15
pH	6,86	5,6	6,42	6,9	6,9	6,9
Kalcis, mg/l	7,8	9,6	8,1	7,8	7,6	7,8-7,6
Magnis, mg/l	1,4	2,1	1,5	1,4	1,3	1,4-1,3
<i>E.coli</i> , μ l/l	$1,2 \times 10^5$	<1	<3	<12	<80	<12-80

Išradimo apibrėžtis

5 Geriamo vandens sorbcinio valymo būdas, apimantis gamtinio sorbento panaudojimą ir gavimą iš kalnų uolienos šungito, kurio smulkinimo proceso metu
eliminuoja priemaišų patekimą į sorbentą, atlieka sorbento magnetinį separavimą ir
hermetizuoja, o panaudoja sumaišant sorbentą su valomu vandeniu ir po to nustovina,
besiskiriantis tuo, kad iš anksto atlieka mechaninį šungito uolienos su 27 – 32 %
10 anglies koncentracija sodrinimą, atrenka šungitą, turintį 33 ± 1 % anglies, iš kurio
susmulkinus gamina sorbentą, naudojant mažesnes negu $1 \mu\text{m}$ dydžio daleles.