

Lietuvos
Respublikos
valstybinis
patentų biuras

(11) **LT 7089 B**

(51) Int. Cl. (2024.01):

H01M 4/96
C01B 32/05
H01M 8/0234

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2022 547**
(22) Paraiškos padavimo data: **2022-11-24**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2024-05-27**
(45) Patento paskelbimo data: **2024-09-10**

(73) Patento savininkas:
**Vilniaus Universitetas, Universiteto g. 3, 01513
Vilnius, LT**

(72) Išradėjas:
Simonas RAMANAVIČIUS, LT
Rokas ŽALNĖRAVIČIUS, LT
Vaclovas KLIMAS, LT
Urtė SAMUKAITĖ-BUBNIENĖ, LT
Arūnas JAGMINAS, LT
Arūnas RAMANAVIČIUS, LT

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
**Aušra PAKĖNIENĖ, 50, AAA Law, A. Goštauto g. 40B,
Verslo centras „Dvyniai“, LT-03163 Vilnius, LT**

LT 7089 B

(54) Pavadinimas:

Bioskaidžių elektrodų formavimo būdas ir bioskaidūs elektrodai

(57) Referatas:

Siekiant atpiginti elektrodus, naudojamus biokuro elementuose, kuriuose elektros energiją generuoja mikroorganizmai, juose tikslinga panaudoti pigią ir ekologiškai švarią anglį, pagamintą iš karbonizuotos medienos. Karbonizuota mediena yra biri, ir jos elektrinis laidumas priklauso nuo dalelių dydžio bei suspaudimo laipsnio, todėl prieš naudojimą ją reikia supresuoti. Kita vertus, karbonizuotos medienos laidumas priklauso nuo karbonizavimo temperatūros. Kaitinamos iki 300-500°C medienos masė sumažėja 60-70%, o anglies santykinė koncentracija atitinkamai padidėja, iki 70 ir 90%. Tačiau, pagrindiniai medžio masės komponentai suyra tik pasiekus 500°C temperatūrą. Šio proceso metu susidarę pirminiai irimo produktai yra ne elementinė anglis, o elektra nelaidžių dervų mišinys. Todėl karbonizuota tokioje temperatūroje mediena (medžio anglis) dar nėra laidi elektrai, o tai yra viena iš technologinių problemų, kuri neleidžia efektyviai panaudoti šios anglies kuro elementų elektroduose. Šioje patentinėje paraiškoje aprašyta technologija žymiai padidina suformuotų anglinių struktūrų elektrinį laidumą ir įgalina panaudoti karbonizacijos būdu gautą anglį biokuro elementuose.

TECHNIKOS SRITIS

Išradimas yra susijęs su bioskaidžių elektrodų formavimo iš medžio anglies būdu ir bioskaidžiais elektrodais.

TECHNIKOS LYGIS

Biokuro elementai gali būti naudojami kaip gana efektyvūs alternatyvios energijos šaltiniai [S. Ramanavicius, A. Ramanavicius. Charge transfer and biocompatibility aspects in conducting polymers based enzymatic biosensors and biofuel cells. *Nanomaterials* 2021, 11, 371; <https://doi.org/10.3390/nano11020371>]. Tačiau, šiuo metu biokuro elementų našumas, kuris yra apibrėžimas kaip generuojamos elektrinės galios santykis su efektyviu paviršiaus plotu, nėra didelis, o biokuro elementų konstrukcijose pagrinde yra naudojami metaliniai arba grafito elektrodai, kurie yra santykinai brangūs ir po naudojimo labai lėtai suyra. Todėl ieškoma būdų kaip atpiginti elektrodus ir juos padaryti iš lengvai aplinkoje degraduojančių medžiagų. Galimas šios problemos sprendimo būdas yra gaminti elektrodus iš karbonizuotos medienos.

Karbonizuota mediena yra vienas iš pigiausių ir dideliais kiekiais prieinamos ekologiškos anglies šaltinių. Karbonizuota mediena priklausomai nuo paskirties gali būti gaunama įvairiais būdais ir gali turėti skirtingą sudėtį. Pagrindinė karbonizacijos proceso funkcija yra trijų biomasės komponentų – hemiceliuliozės, celiuliozės ir lignino pirolizės ir santykinio anglies kiekio padidinimas.

Kadangi karbonizuota mediena yra biri, jos elektrinis laidumas priklauso nuo dalelių dydžio, jų formos ir suspaudimo laipsnio, nuo kurio priklauso kontaktinis dalelių plotas ir tuo pačiu elektrinis laidumas [A. Celzard, J.F. Maréché, F. Payot, G. Furdin. *Electrical conductivity of carbonaceous powders. Carbon* 40, 2801-2815 (2002)]. Karbonizuotos medienos elektrinis laidumas taip pat priklauso nuo karbonizavimo temperatūros.

Kaitinamos iki 300-500 °C medienos masė sumažėja 60-70%, o anglies santykinė koncentracija atitinkamai padidėja iki 70-90% [F.R. Humphreys, G.E. Ironside. *Charcoal from New South Wales Species of Timber. Forestry Commission of New South Wales, Research Note No. 44, Sydney 1974, Third Edition 1980., A.*

Demirbas, W. Ahmad, R. Alamoudi, M. Sheikh. Sustainable charcoal production from biomass. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects 38, 1882-1889 (2016), DOI: 10.1080/15567036.2014.1002955.] Tačiau, pagrindiniai medžio masės komponentai suyra pasiekus 500°C temperatūrą. Šio proceso metu susidarę pirminiai irimo produktai yra ne elementinė anglis, o elektrai nelaidžių dervų mišinys, [*Sinha, S., Jhalani, A., Ravi, M.R. and Ray, A. (2000) Modelling of Pyrolysis in Wood and Sawdust: A Review. Journal of Solar Energy Society of India, 10, 41-62., H. Yang, R. Yan, H. Chen, C. Zheng, D.H. Lee, D.T. Liang. In-Depth Investigation of Biomass Pyrolysis Based on Three Major Components: Hemicellulose, Cellulose and Lignin. Energy & Fuels 20, 388-393 (2006), A. Sharma, V. Pareek, D. Zhang. Biomass pyrolysis - A review of modelling, process parameters and catalytic studies. Renewable and Sustainable Energy Reviews 50, 1081-1096 (2015).*]. Tokioje temperatūroje karbonizuota mediena (medžio anglis) dar nėra pakankamai laidi elektrai [*F.R. Humphreys, G.E. Ironside. Charcoal from New South Wales Species of Timber. Forestry Commission of New South Wales, Research Note No. 44, Sydney 1974, Third Edition 1980., K. Nishimiya, T. Hata, S. Ishihara. Preliminary Mechanism and Clarification of Electrical Conduction through Wood Charcoal. Wood research: bulletin of the Wood Research Institute Kyoto University 82, 34-36 (1995).*].

Mažas tokioje temperatūroje karbonizuotos medienos elektrinis laidumas yra viena iš technologinių problemų, kuri neleidžia efektyviai panaudoti šios anglies kuro elementų elektrodoose [*K. Mochizuki, F. Soutric, K. Tadokoro, M.J. Antal, M. Tóth, B. Zelei, G. Várhegyi. Electrical and Physical Properties of Carbonized Charcoals. Industrial & Engineering Chemistry Research. 42, 5140-5151 (2003).*].

Išradimas neturi aukščiau išvardintų trūkumų susijusių su suformuotų elektodų elektriniu laidumu, elektrodai pagaminti iš aplinkos neteršiančių medienos atliekų ir yra bioskaidūs.

IŠRADIMO ESMĖ

Išradimas yra elektrodo formavimo būdas iš karbonizuotos medienos ir tokiu būdu suformuotas elektrodas. Būdas apima terminį karbonizuotos medienos apdorojimą ir presavimą dideliame slėgyje. Šis būdas žymiai padidina suformuotų anglinių struktūrų elektrinį laidumą ir įgalina panaudoti karbonizacijos būdu gautą anglį

biokuro elementuose.

TRUMPAS BRĖŽINIŲ APRAŠYMAS

Išradimo, kuris yra naujas ir neakivaizdus, ypatybės yra pateikiamos apibrėžties punktuose. Tačiau išradimas gali būti geriausiai suprantamas remiantis šiuo išsamiu išradimo aprašymu, kuriame, neribojant išradimo esmės, aprašomi pavyzdiniai išradimo variantai yra pateikti kartu su pridedamais brėžiniais, kuriuose:

1 pav. yra pavaizduota kaitinamos argono atmosferoje komercinės medžio anglies masės (1.1), šilumos (1.2) ir išsiskiriančių produktų H₂O (1.3), CO₂ (1.4), CO (1.5), CH₄ (1.6) ir C₂H₆ (1.7), monitoringo rezultatai.

2 pav. yra pavaizduota kaitinamos argono atmosferoje popieržievio beržo anglies smulkiosios frakcijos masės (2.1), šilumos (2.2) ir išsiskiriančių produktų, H₂O (2.3), CO₂ (2.4) ir CO (2.5), monitoringo rezultatai.

3 pav. yra pavaizduota kaitinamos argono atmosferoje popieržievio beržo anglies smulkiosios (3.1) ir stikliškos (3.1') frakcijų mišinio masės ir išsiskiriančių produktų, CO₂ (3.2', 3.2''), CO (3.3', 3.3'') bei H₂O (3.4', 3.4''), monitoringo rezultatai.

4 pav. yra pavaizduota kaitinamos oro atmosferoje popieržievio beržo anglies smulkiosios (4.1) ir stikliškos (4.1') frakcijų mišinio masės, šilumos (4.2, 4.2') ir išsiskiriančio CO₂ (4.3', 4.3'') monitoringo rezultatai.

5 pav. yra pavaizduota komercinės medžio anglies masės (5.1) ir popieržievio beržo anglies abiejų frakcijų (5.2) mišinio elektrinio laidumo priklausomybė nuo kaitinimo temperatūros. Kaitinimo laikas 2 h.

Komercinės medžio anglies (5.3), popieržievio beržo anglies (5.4), anglies suodžių (*carbon black*) (5.5) ir grafito miltelių (*graphite flakes*) (5.6) elektrinio laidumas kambario temperatūroje

6 pav. Komercinės medžio anglies ir popieržievio beržo anglies abiejų frakcijų mišinio laidumo priklausomybė nuo apdorojimo.

Tinkamiausi išradimo variantai yra aprašyti žemiau su nuorodomis į brėžinius.

IŠSAMUS IŠRADIMO ĮGYVENDINIMO APRAŠYMAS

Turėtų būti suprantama, kad daugybė konkrečių detalių yra išdėstytos, siekiant pateikti pilną ir

suprantamą išradimo pavyzdinio įgyvendinimo aprašymą. Tačiau srities specialistui bus aišku, kad išradimo įgyvendinimo pavyzdžių detalumas neapriboja išradimo įgyvendinimo, kuris gali būti įgyvendintas ir be tokių konkrečių nurodymų. Gerai žinomi būdai, procedūros ir sudedamosios dalys nebuvo detalai aprašyti, kad išradimo įgyvendinimo pavyzdžiai nebūtų klaidinantys. Be to, šis aprašymas neturi būti laikomas apribojančiu pateiktus įgyvendinimo pavyzdžius, o tik kaip jų įgyvendinimas.

Nors išradimo įgyvendinimo pavyzdžiai, ar jų aspektai, taip kaip parodyti ir aprašyti, apima daugybę komponentų, kurie yra pavaizduoti esantys tam tikroje bendroje erdvėje ar vietoje, kai kurie komponentai gali būti ir nutolę. Taip pat turėtų būti suprantama, kad pateikti pavyzdžiai neapsiriboja tik aprašytais komponentais ir apima ir kitus, jų funkcionavimui ir sąveikai su kitais komponentais, reikalingus elementus, kurių buvimas yra savaime suprantamas, todėl nedetalizuojamas.

Pagal išradimo įgyvendinimo pavyzdį, bioskaidžių elektrodų formavimo būdas apima medžio anglies parinkimą iš, bet neapsiribojant, anglies suodžių – *Carbon black super P*, 99+ % C (Alfa Aesar, Vokietija), grafito miltelių – *Graphite flake*, 99,8 % C (Alfa Aesar, Vokietija), komercinės medžio anglies – stambios ažuolo, buko, skroblo anglies frakcijos, popieržievio beržo (lot. *Betula papyrifera*) medienos anglies.

Komercinėje medžio anglyje yra: vandens -ne daugiau kaip 8%; pelenų – ne daugiau kaip 4%; anglies – ne mažiau kaip 80%; anglies frakcija – 30-80 mm. Kaitinant komercinę medžio anglį iki 1200 °C, ji netenka apie 31 % masės, iš kurios tik apie 1,5 % yra susikaupusios drėgmės vanduo. Temperatūros kėlimą virš 120 °C lydi H₂O, CO₂, CO, CH₄ ir C₂H₆ arba NO išsiskyrimas ir endoterminiai minimumai išsiskiriančių komponentų joninių srovių smailių temperatūrų intervaluose, liudijantys tolesnę bandinio sudėtinių dalių destrukciją (1 pav.). Tai nėra vieninteliai irimo komponentai, registruojami benzeno (m/z 78 ir 50-52), tolueno (m/z 91, 92 ir 50), SO₂ pėdsakai, produktai su m/z 55, 58, 105-108, tačiau jų kiekiai per maži MS identifikavimui. Didžioji masės nuostolio dalis tenka 200-850 °C temperatūrų intervalui. Masės nuostolio kreivės forma neleidžia išskirti atskirų laiptelių, nors atskirų išsiskiriančių elementų joninių srovių smailių temperatūros nesutampa, be to, joninės srovės turi po keletą

smailių, rodančių produkto daugiakomponentiškumą ir (arba) stadijinį irimą. Kadangi lignino irimo temperatūra yra aukščiausia, daroma prielaida, kad medžio anglis buvo kaitinta žemesnėje už 300 °C temperatūroje, o pagrindinė masės dalis yra apirusios celiuliozės ir lignino frakcijos ir, suprantama, sausasis (neorganinis) likutis.

Medžio anglis, gaunama iš popieržievio beržo (lot. *Betula papyrifera*) medienos, beržo masę preliminariai iškaitinus 450°C temperatūros iki kol nustoja keistis kaitinamo mėginio, beržo anglies masė. Iš popieržievio beržo gauta anglis nėra vienalytė. Kartu su smulkia, panašia į nesulipusį pluoštą smulkia pirmąją frakcija, anglis apima blizgią balkšvo atspalvio ir panašios į lydalą struktūros antrąją frakcija. Abiejų frakcijų mišinys iki 1200 °C netenka 38,7 % masės ir, kaip ir komercinė medžio anglis, didžiosios masės dalies netenka kaitinant iki 850 °C temperatūros (2 pav.). Tačiau popieržievio beržo anglies pagrindinio masės nuostolio ir skilimo produktų emisijos pradžia yra artima 600 °C, o masės nuostolio laiptelis įgauna akivaizdžią antrąją dedamąją 850-1150 °C temperatūrų intervale. Kaip ir komercinės medžio anglies kaitinimo atveju, yra registruojamas H₂O, CO₂, CO išsiskyrimas ir išsiskyrusių lakių medžiagų mišinyje yra aptinkami benzeno, tolueno, SO₂ pėdsakai. Popieržievio beržo anglies skilimo produktuose nėra metano ir etano (m/z pėdsakai registruojami, tačiau jie registruojami ir deginant popieržievio beržo anglį ore, todėl priskirtini azotą turinčių produkto komponentų irimui). Skirtingai nuo komercinės medžio anglies, 600-800 °C (pirmoji masės sumažėjimo laiptelio dalis) vyraujančiu emituojamu produktu ir masės sumažėjimo pagrindine priežastimi yra CO₂ išsiskyrimas, o antrąją masės sumažėjimo „laiptelio“ dalį 800-1150 °C temperatūroje lemiantis skilimo produktas yra CO. Sumaišius 70% pirmos (smulkios) frakcijos ir 30% antrosios (blizgios balkšvo atspalvio ir panašios į lydalą struktūros) popieržievio beržo anglies frakcijos (3 pav.) CO joninė srovė padidėja, o CO₂ sumažėja visame temperatūrų intervale.

Tuo tarpu jokių kitų joninių srovių smailių neregistruojama. Kadangi CO joninė srovė padidėja ir pirmojoje masės nuostolio dalyje, galima teigti, jog dviejų frakcijų pirolizės sritys persikloja. Deginant popieržievio beržo anglį temperatūrų intervale iki 1400 °C (4 pav.) masės nuostolis yra 52,5 %, o „sausasis likutis“ yra bespalvė skaidri ir blizgi stikliška masė. Yra žinoma, kad lapuočių medienai sausas likutis yra 0,5 – 2,0 % [F.R. Humphreys, G.E. Ironside. Charcoal from New South Wales Species of Timber. Forestry Commission of New South Wales, Research Note No. 44, Sydney 1974, Third Edition 1980///, D.K. Shen, S. Gu, K.H. Luo, A.V. Bridgwater, M.X. Fang.

Kinetic study on thermal decomposition of woods in oxidative environment. Fuel 88, 1024-1030 (2009)].

Įprastai gaminant medžio anglį net masei sumažėjus 80% sausas likutis joje būtų tik 2,5 – 10%. Deginant įvairias medienos rūšis likutis neviršija 5%. Tai neorganinė liekana, o didelis jos kiekis indikuoja didelį neorganinių medžiagų kiekį bandinyje. Plaušelių tipo frakcijai degimo temperatūra yra 400 °C, CO₂ smailė sutampa su egzoterminiu maksimumu. Šių faktorių suma charakteringa heterogeniniam anglies degimo procesui. Praturtinus popieržievio beržo anglį antrąja, blizgia balkšvo atspalvio ir panašios į lydalą struktūros frakcija išryškėja papildoma CO₂ smailė 720 °C temperatūroje.

Kaitinama ore kaip ir argono atmosferoje popieržievio beržo anglis išlaiko masės sumažėjimo laiptelį 850-1150 °C temperatūrų intervale. Kadangi aukštesnėje už 850 °C temperatūroje galima įžiūrėti H₂O ir nėra CO₂ emisijos, šis laiptelis sietinas su neorganinės kilmės komponento, kaip pvz. silikato, kuris įnešamas su abiem frakcijomis ir kuris 1050-1100 °C temperatūroje pereina į SiO₂, buvimu. Endoterminis minimumas tokioje temperatūroje registruojamas kaitinant popieržievio beržo anglį tiek ore, tiek argono atmosferoje.

Tirtos komercinės medžio anglies varža viršija 10⁹ Ω cm (t.y., elektrinis laidumas yra mažesnis nei 10⁻⁸ S cm⁻¹). Popieržievio beržo anglis laidesnė – jos varža 3,7 10⁴ Ω cm (laidumas 2,7 10⁻⁵ S cm⁻¹). Palyginimui: tuo pačiu būdu nustatytos grafito miltelių (flakes) ir anglies suodžių (carbon black) varžos yra, atitinkamai, 7,4 10⁻³ Ω cm (laidumas 135,1 S cm⁻¹) ir 9,4 10⁻² Ω cm (laidumas 10,6 S cm⁻¹).

Kaitinant komercinę medžio anglį ir popieržievio beržo anglį jų laidumai didėja, tai patvirtina 5 pav. ir 1 lentelė). Nors pakaitinus 600 °C temperatūroje popieržievio beržo anglies laidumas ir tampa 50 kartų didesnis už analogiškai apdorotos komercinės medžio anglies elektrinį laidumą, tačiau lieka 2500 kartų mažesniu už „carbon black“ laidumą. Kaitinant 800°C temperatūroje abiejų tipų anglių laidumai susilygina, o skaitinė vertė jų dydžiai tampa tos pačios eilės kaip ir „carbon black“ laidumas. Pirolizės argone požūriui ši laidumo didėjimo stadija siejama su komponento, kurio dalinės destrukcijos produktai yra CO₂ ir H₂O, karbonizacijos proceso pabaiga.

Iš karbonizuotos anglies elementinės sudėties tyrimų seka, kad 800 °C temperatūroje karbonizacija yra vykdoma tik iki amorfinės hidrogenizuotos anglies (α-

C:H), o laidumo didėjimas aukštesnėse temperatūrose sietinas su karbonizacijos lygio ir su aromatinės/alifatinės anglies santykio didėjimu. Laidumo didėjimas sietinas su grafito kristalizacijos procesais vyksta aukštesnėse už 1800 °C temperatūrose [K. Nishimiya, T. Hata, S. Ishihara. Preliminary Mechanism and Clarification of Electrical Conduction through Wood Charcoal. Wood research: bulletin of the Wood Research Institute Kyoto University 82, 34-36 (1995) // K. Mochidzuki, F. Soutric, K. Tadokoro, M.J. Antal, M. Tóth, B. Zelei, G. Várhegyi. Electrical and Physical Properties of Carbonized Charcoals. Industrial & Engineering Chemistry Research. 42(2003) 5140-5151.]. Didesnis neapdorotos ir kaitintos 600°C popieržievis beržo anglies laidumas lyginant su komercine medžio anglimi greičiausiai susijęs su dideliu neorganinių medžiagų kiekiu popieržievis beržo anglyje.

Anglies presavimas į elektrodus, pagal vien įgyvendinimo pavyzdį, apima 20-50 mg karbonizuotos anglies miltelių presavimą veikiamą pastovia 21,9 MPa jėga, cilindriname inde, pavyzdžiui stikliniame 0,27 cm vidinio skersmens, tarp dviejų vario strypų. Gaunamo elektrodo tankis yra, pavyzdžiui 0,75-0,84 g/cm³.

ELEKTRODŲ PARUOŠIMO PAVYZDŽIAI

Pritaikant supresuotus cilindro formos elektrodus prie jų briaunos, naudojant sidabro pastą, pritvirtinama kontaktinė 0,5 mm storio titano viela. Kontaktinė vieta padengiama izoliatoriaus sluoksniu siekiant išvengti sidabro jonų difuzijos į elektrolito tirpalą. Tokiu būdu suformuoti elektrodai gali būti pritaikomi įvairių dydžių kuro elementų celėse. Siekiant išvengti elektrodo fizinės degradacijos naudojama aplinkai nekenksmingi polimeriniai junginiai, tokie kaip krakmolo kleisteris, ryžių kleisteris, gliukozė, želatina arba sukrozė, kurie suriša anglies daleles ir tokiu būdu užtikrina jo vientisumą. Tuo tikslu, prieš elektrodų presavimą, anglies pluoštas yra disperguojamas 1-5 % (masės procentų) rišiklio tirpale, ir išdžiovinamas 40 °C temperatūroje. Paruošti bioskaidūs elektrodai patalpinami į H formos mikrobinio kuro elemento celę, kuri užpildyta mitybinės terpės ir druskų mišiniu bei praturtinta elektro-aktyviais mikroorganizmais

[R. Žalnėravičius, A. Paškevičius, U. Samukaitė-Bubnienė, S. Ramanavičius, M. Vilkienė, I. Mockevičienė, A. Ramanavičius Microbial fuel cell based on nitrogen-fixing Rhizobium anhuiense bacteria. Biosensors, 2022 12(2022) 113-128].

Karbonizuotos medienos anglis sumaišoma su krakmolo kleisteriu arba kitu panašiu rišikliu, tokiu kaip ryžių kleisteris, sausos masės santykiu: karbonizuotos medienos anglis - 95-99%; krakmolai arba kitas panašus riškis 1-5%, derinant tarpusavyje sudarant 100%; Tada presuojama >10 MPa slėgiu. Po supresavimo presavimo metu nepasišalinęs vanduo išgarinamas 25-80 °C temperatūroje.

KRAKMOLO KLEISTERIO PARUOŠIMO PAVYZDYS

Elektrodei formuoti reikalingas krakmolo kiekis, 1-5 % karbonizuotos anglies kiekio, brinkinamas šaltame vandenyje, pavyzdžiui 80-98% vandens ir 2-20% krakmolo, 10-60 minučių, po to pašildoma iki 55-75 °C ir maišoma kol mišinys tampa homogenišku. Gautas kleisteris sumaišomas su paruoštu karbonizuotos medienos anglies kiekiu.

Stebint elektrodų atviros grandinės potencialo kitimą, galima konstatuoti, kad paruošti elektrodai gali būti sėkmingai naudojami elektroaktyvių mikroorganizmų savaiminiam bioplėvelių formavimui ant paruoštų elektroaktyvių ir bioskaidžių elektrodų paviršiaus.

Nors išradimo aprašyme buvo išvardinta daugybė charakteristikų ir privalumų, kartu su išradimo struktūrinėmis detalėmis ir požymiais, aprašymas yra pateikiamas kaip pavyzdinis išradimo išpildymas. Gali būti atlikti pakeitimai detalėse, ypač medžiagų formoje, dydyje ir išdėstyme nenutolstant nuo išradimo principų, vadovaujantis plačiausiai suprantamomis apibrėžties punktuose naudojamų sąvokų reikšmėmis.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Bioskaidžių elektrodų formavimo būdas, apimantis anglies paruošimą, karbonizuojant medieną, didinant hemiceliuliozės, celiuliozės, lignino pirolizės laipsnį bei santykinį anglies kiekį, ir elektrodo struktūros suformavimą presuojant, b e s i s k i r i a n t i s t u o, kad anglis prieš presavimą yra kaitinama iki 800 - 1300°C, 2 valandas, ir sumaišoma su elektrodo fizinę degradaciją mažinančiais, aplinkai nekenksmingais polimeriniais junginiais, kurie yra rišiklio tirpalas.

2. Būdas pagal 1 punktą, kur mediena karbonizuojama argono, azoto arba kitų inertiškų dujų atmosferoje aplinkoje.

3. Būdas pagal bet kurį ankstesnį punktą, kur karbonizacija yra vykdoma iki amorfinės hidrogenizuotos anglies (α -C:H).

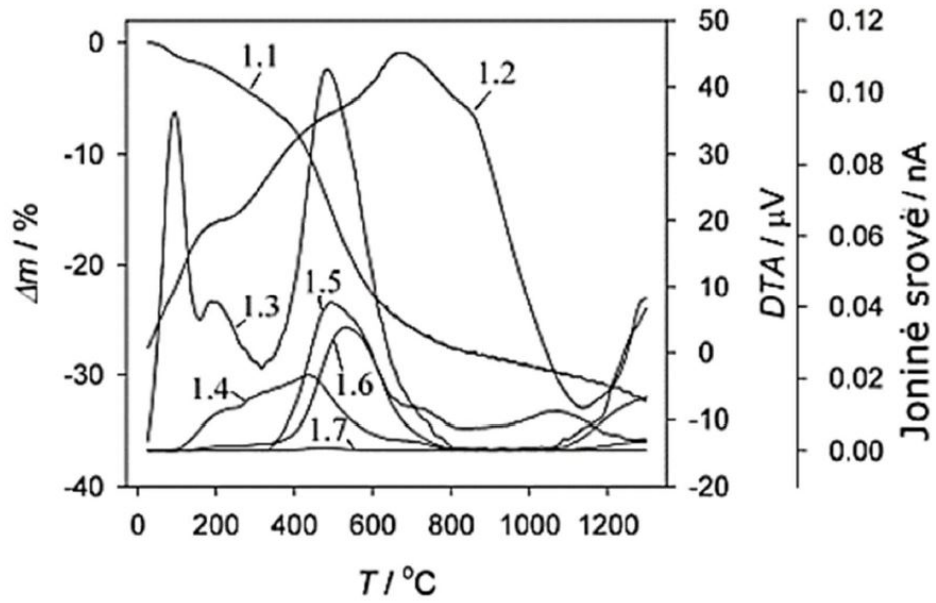
4. Būdas pagal bet kurį ankstesnį punktą, kur mediena yra popieržievio beržo mediena.

5. Būdas pagal bet kurį ankstesnį punktą, kur elektrodo fizinę degradaciją mažinantis, aplinkai nekenksmingas polimerinis junginys, rišiklio tirpalas yra krakmolo kleisteris.

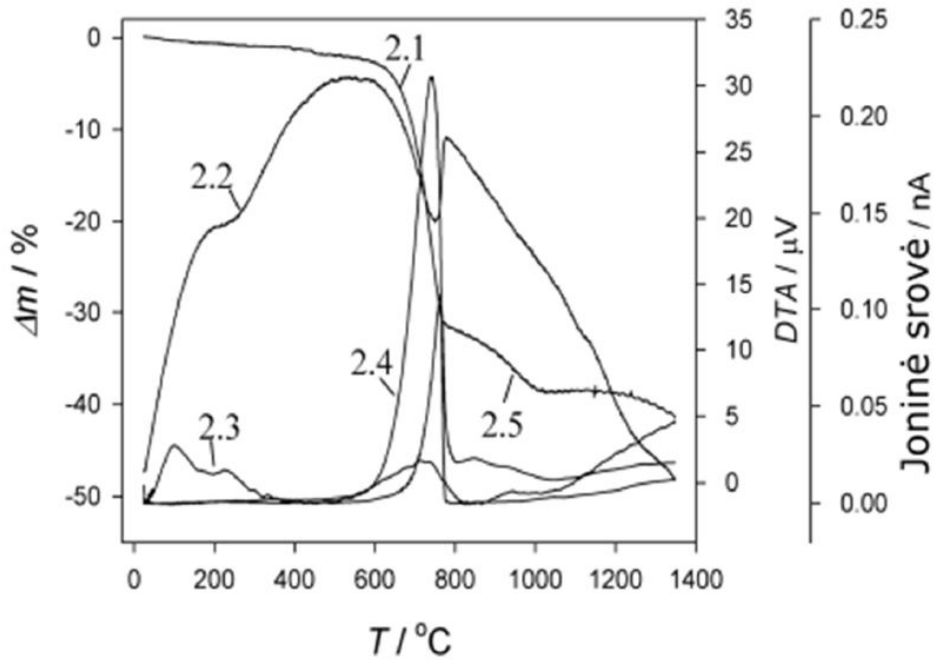
6. Būdas pagal 5 punktą, kur po kaitinimo ir prieš presavimą karbonizuota medienos anglis sumaišoma su krakmolo kleisteriu masės santykiu: karbonizuotos medienos anglis - 95-99%; krakmolas arba kitas panašus rišiklis 1-5%.

7. Būdas pagal 6 punktą, kur presuojama >10 MPa presu, o po supresavimo presavimo metu nepasišalinęs vanduo išgarinamas 25-80°C temperatūroje.

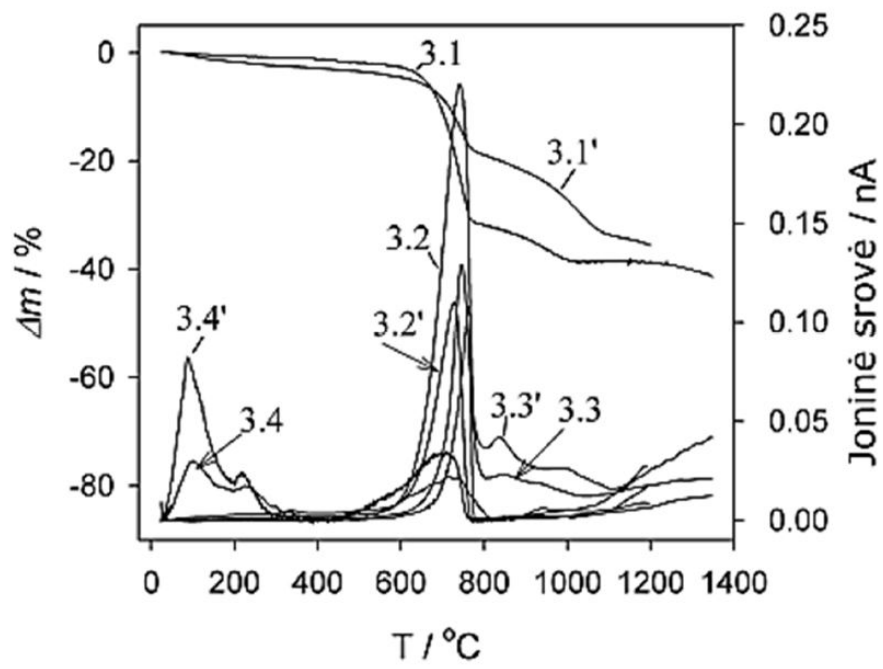
8. Bioskaidus elektrodas, gautas būdu pagal bet kurį ankstesnį punktą.



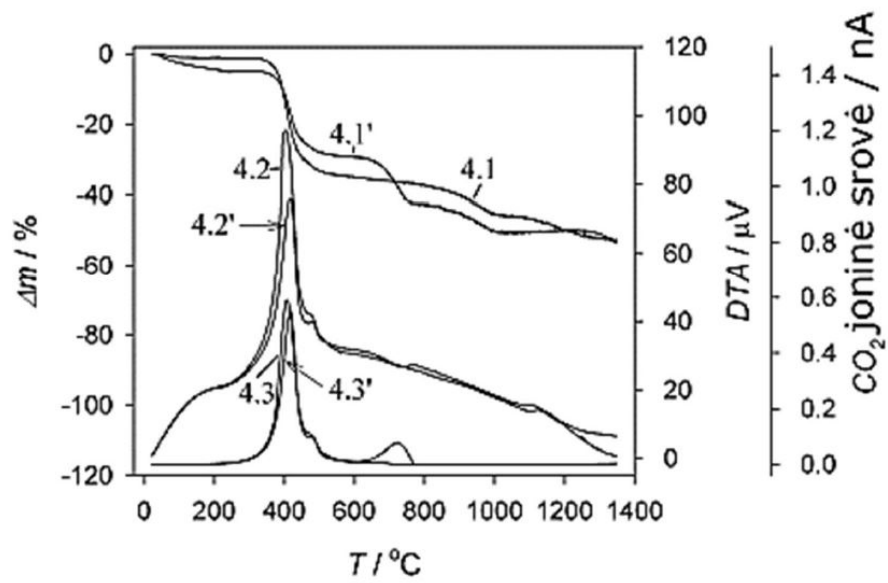
Pav. 1



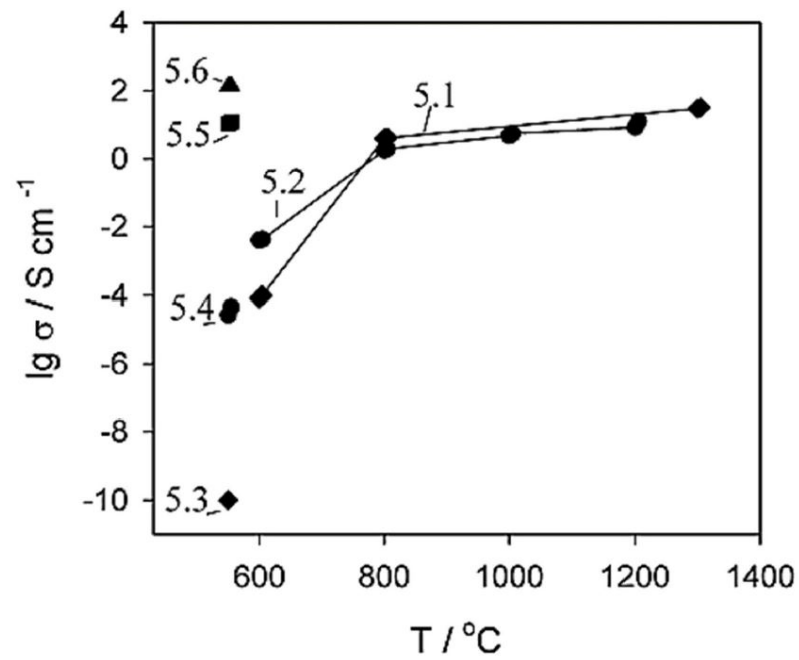
Pav. 2



Pav. 3



Pav. 4



Pav. 5

Anglies tipas	Laidumas, S cm ⁻¹ po apdorojimo					
	Kaip gauta	600 °C	800 °C	1000 °C	1200 °C	10 °C min ⁻¹ iki 1300 °C
Medžio anglis	< 10 ⁻⁸	8.2 · 10 ⁻⁵	4.1			31.2
Popieržievio beržo anglis	2.7 · 10 ⁻⁵	4.2 · 10 ⁻³	1.98	4.81	10.6	
Carbon black	10.6					
Grafitas	135.1					

Pav. 6