VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS IR MEDŽIAGŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Kristina Klepaitė

PAVIRŠINĖMS NUOTEKOMS VALYTI NAUDOJAMO ANGLIES FILTRO TYRIMAI RESEARCH OF CHARCOAL FILTER FOR SURFACE RUNOFF

Baigiamasis magistro darbas

Mechanikos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX047
Mechanikos inžinerijos studijų kryptis
Aplinkosauginių įrenginių projektavimo ir gamybos specializacija

Vilnius, 2019

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Mechanikos fakultetas
Mechanikos ir medžiagų inžinerijos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. 2
Data 2019-05-12

Antrosios pakopos studijų **Mechanikos inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **Paviršinėms nuotekoms valyti naudojamo anglies filtro tyrimai**

Autorius **Kristina Klepaitė**
Vadovas **Kristina Bazienė**

Kalba
[X] lietuvių
[ ] užsienio

Anotacija

Šiuo metu pasaulyje susiduriama su kietųjų atliekų dilema, už kurią atsakingi visi visuomenės elementai. Aplinkai priimtinas perteklinių padangų valdymas. Padangų savybės, ypač patvarumas, apsunkina jų utilizavimą ir perdirbimą. Aktyviosios anglies gamyba iš kietųjų atliekų yra laikoma viena iš mažiausiai aplinkai kenksmingų sprendimų, vertinant neigiamos vertės atliekas pagal vertingos medžiagos išgavimą. Pasaulyje pradėtas nagrinėti metodas, kai pirolizės būdu iš padangų išgaunama techninė anglis aktyvuojama ir panaudojama sprendžiant įvairias aplinkosaugos problemas. Aktyvuota anglis gali būti lengvai pritaikoma nuotekoms valyti adsorbciniuose filtruose kaip sorbcinė medžiaga. Baigiamajame darbe pateikiamas tokio filtro modelio panaudojimas ir pritaikomumas paviršinėms nuotekoms valyti.
Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, literatūros analizė, teorinis pagrindimas, eksperimentas ir jo analizė, išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas.
Darbo apimtis – 51 p. teksto be priedų, 36 iliustr., 5 lent., 56 bibliografiniai šaltiniai.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Reikšminiai žodžiai: panaudotos padangos, anglies filtras, paviršinės nuotekos, pirolizė, naftos produktai, įsisotinimas

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Mechanics
Department of Mechanical and Material Engineering

ISBN ISSN
Egz. sk. 2
Data 2019-05-12

Master Degree Studies **Mechanical Engineering** study programme Master Graduation Thesis 4

Title **Research of charcoal filter for surface runoff**

Author **Kristina Klepaitė**

Academic supervisor **Kristina Bazienė**

Kalba
[X] lithuanian
[ ] english

Anotacija

The modern world faces a dillema of solid waste and the responsibility for this matter foreshadows all the elements of society. Environmentally friendly management of excess tires is a must. Tire qualities such as sustainability is an obstruction in waste tire utilization and recycling. The production of activated charcoal from solid waste is perceived as one of the least environmentally harmful options with regard to the negative value waste by the production of usable material. A method of activation of charcoal which was produced by pyrolysis and its usage is analyzed worldwide. Activated charcoal can be easily adapted in use of purification of surface wastewater with adsorption filters as a sorbent material. In this work contains the usage and applicability of such model of a filter in purification of surface wastewater and an analysis of its useful for runoff.
Structure: introduction, literary analysis, theoretical justification, experiment and its analysis, conclusions and suggestions, references.
Thesis consist of: 51 p. text without appendixes, 36 pictures, 5 tables, 56 bibliographical entries. Appendixes included.

Keywords: waste tires, charcoal filter, surface wastewater, pyrolysis, oil products, saturation

Turinys

Paveikslų sąrašas 7
Lentelių sąrašas 9
ĮVADAS 11
1 Anglies išgavimas ir panaudojimas filtruose sprendžiant aplinkosaugines problemas 13
1.1 Techninės anglies išgavimas iš gumos gaminių 13
1.1.1 Gumos gaminiai 13
1.1.2 Padangų ir gumos apdorojimo būdai 14
1.1.3 Aktyvintos anglies išgavimas pirolizės metodu 17
1.2 Paviršinių nuotekų užterštumas 19
1.3 Adsorbciniai filtrai su anglies įkrova 21
2 Eksperimentinio tyrimo metodika ir teorinis pagrindimas 23
2.1 Aktyvintos anglies filtrų tyrimai 23
2.2 Modelio kūrimas (teorinis tyrimas) 32
3 Anglies filtro eksperimentinių tyrimų eiga ir rezultatų analizė 38
Išvados ir rekomendacijos 49
Literatūra 51
PRIEDAI 55

ĮVADAS

Problema

Šiuo metu pasaulyje susiduriama su kietųjų atliekų dilema, už kurią atsakingi visi visuomenės elementai. Aplinkai priimtinas perteklinių padangų valdymas. Padangų savybės, ypač patvarumas, apsunkina jų utilizavimą ir perdirbimą. Aktyviosios anglies gamyba iš kietųjų atliekų yra laikoma viena iš mažiausiai aplinkai kenksmingų sprendimų, vertinant neigiamos vertės atliekas pagal vertingos medžiagos išgavimą. Neseniai pasaulyje pradėtas nagrinėti metodas, kuomet pirolizės būdu iš padangų išgaunama techninė anglis, kuri aktyvuota gali būti panaudota įvairioms aplinkosaugos problemoms spręsti. Aktyvuota anglis (angl. *charcoal*) gali būti lengvai pritaikoma nuotekoms valyti adsorbciniuose filtruose, kaip sorbcinė medžiaga. Tačiau beveik nėra tyrinėtas iš padangų pagamintos aktyvuotos anglies valymo efektyvumas, pritaikomumas paviršinių nuotekų filtrams.

Tyrimo aktualumas

Naudotų padangų pirolizės metu susidaro trys frakcijos: kieta, skysta ir dujinė. Techninė anglis sudaro 30–40 % padangų svorio, 10–15 % plieno vielos, skysta frakcija apie 40–60 % (mazutas) ir likusi dalis 5–8 % – dujos. Skysta frakcija naudojama kaip krosninis kuras, o dujos deginamos ir išskiria šilumą. Tačiau šiuo metu vis dar yra neištirtų techninės anglies panaudojimo būdų. Vienas iš jų yra iš padangų gautos aktyvuotos anglies naudojimas paviršinių nuotekų užterštumui mažinti

Darbo tikslas ir uždaviniai

Pirolizės būdu iš panaudotų padangų išgaunama techninė anglis, kuri kaip užpildas, manoma, gali būti panaudota kaip adsorbcinė medžiaga filtre paviršinių nuotekų užterštumui mažinti. Todel ir daroma ši prielaida ir keliami šie uždaviniai:

1. Išanalizuoti mokslinės literatūros šaltinius, kuriuose nagrinėjamos techninės anglies išgavimas pirolizės būdu iš panaudotų padangų ir jos panaudojimas.
2. Išanalizuoti mokslinės literatūros šaltinius apie paviršinių nuotekų valymo filtrus su adsorbuojančia medžiaga, išvalymo laipsnį ir filtrų naudojimo laiką.
3. Išanalizuoti darbui tinkančias metodikas ir tyrimo būdus.
4. Atliekant tyrimus ir pasitelkiant modeliavimo programas ištirti tekėjimo greičio ir slėgio pokyčius poringoje terpėje.
5. Palyginti eksperimentinius rezultatus su teorine praktika, išanalizuoti panašumus ir skirtumus.

6. Suformuluoti išvadas ir rekomendacijas.

Temos naujumas

Padangų perdirbimas aktuali problema didėjant autotransporto srautams ir toliau vis daugėjančiam padangų atliekų kiekiui. Todėl bendrai nagrinėjamos bent kelios problemos, apimančios ne tik antrinio panaudojimo galimybes, beatliekes technologijas, bet ir aplinkos taršos,pavyzdžiui, paviršinių nuotekų užterštumas, kuris Lietuvoje dažnai pamirštamas. Atliekamas tyrimas leidžia panaudoti pirolizės metu susidariusią techninę anglį ir ją pritaikyti paviršinėms nuotekoms valyti.

Tyrimo metodai

Techninė anglis gaunama iš padangų atliekų naudojant pirolizės metodą. Tyrimo metu tiriamas skirtingo dydžio granuliuotas padangų pirolizės produktas – anglis (0,5 mm skersmens, 1,5 arba 3 mm ilgio) ir lyginamas su kitomis populiariomis adsorbcijai naudojamomis medžiagomis. Filtravimo medžiagų parametrai: paviršiaus plotas, hidraulinis laidumas esant tam tikrai užterštumo koncentracijai, efektyvus dydis. Nuotekų užterštumo koncentracijos pokytis prieš ir po adsorbcinių medžiagų naudojimą, medžiagos ir filtro efektyvumo tyrimai atliekami lyginamuoju būdu – lyginama su jau esamais duomenimis. Papildomai bus atliekamas medžiagos poringumo tyrimas, įvairių apkrovos režimų ir imitavimo modulių tyrimas.

Darbo mokslinė vertė

Atlikus tyrimą galima išsiaiškinti, ar pirolizės būdu iš padangų gauta techninė anglis yra tinkama naudoti filtruose, ištirtas jos gebėjimas adsorbuoti naftos produktus paviršinėse nuotekose bei numatytas regeneracijos būdas.

1 Anglies išgavimas ir panaudojimas filtruose sprendžiant aplinkosaugines problemas

Atvirai deginamos padangos išskiria nemažą kiekį kenksmingų medžiagų, kurios yra vienas iš pagrindinių oro teršalų šaltinių pasaulyje. Be to, padangų šalinimas tampa vis brangesnis, nes sąvartynuose smarkiai mažėja vietos (Kumar Jha and Subedi, 2011). Gumos atliekos sukelia vandens, oro ir dirvožemio taršą. Prastas gumos gaminių šalinimas visame pasaulyje tampa potencialia grėsme (Nuzaimah et. al., 2018). Tačiau vieną aplinkosauginę problemą galime išspręsti kita. Aktyvintos anglies išgavimas iš panaudotų padangų ne tik mažina atliekų kiekį ir skatina jas panaudoti, bet ji taip pat gali būti ir yra naudojama nuotekoms valyti. Iš padangų gauta aktyvuota anglis mokslinių tyrimu metu parodė potencialą sėkmingai adsorbuoti Cd (II) ir Pb (II) iš nuotekų ir paviršinio vandens (Dimpe et. al., 2017). Aktyvuota anglis yra laikoma geru adsorbentu, nes ji turi didelį paviršiaus plotą ir porų tūrį, kuris leidžia pašalinti skystos fazės teršalus, įskaitant organinius teršalus, bei pasiekti tinkamas organoleptines savybes. Be to, dėl didelio paviršiaus ploto (nuo 164 iki 1260) m^2/g) ir porų tūrio (iki 1,62 cm^3/g) padangų anglis laikoma potencialiu adsorbentu (Amri, 2008).

1.1 Techninės anglies išgavimas iš gumos gaminių

Sparčiai augant rinkos ekonomikai, didėjant automobilių mašinų skaičiui, bei guminių produktų poreikiui, naftos paklausa rinkoje vis labiau auga, o pirolizės pramonė plečiasi. Gaunamas mazutas, dujos, metalai, bei techninė anglis pirolizės būdu gali būti naudojama daugelyje pramonės šakų. Techninė anglis, kurią gamina besisukantis pirolizės reaktorius, gali būti naudojama kaip kuras arba žaliava. Taigi ji turi didelę rinkos paklausą ir plačias perspektyvas (Feasibility Analysis..., 2017).

1.1.1 Gumos gaminiai

Gumos pramonė yra labai senas ir sudėtingas sektorius, jam būdingi daugiau nei 25 skirtingi gumos tipai (pvz., natūralus kaučiukas, stireno-butadieno guma, nitrilo, etileno-propilendeno monomero guma, fluoro anglies guma, silikonas ir taip toliau), kurie naudojami daugybei produktų (žarnoms, sandarikliams, tarpikliams, diafragmoms ir pan.) gaminti. Tačiau nė vienas gumos gaminys nedominuoja rinkoje kaip padangos. Gumos gaminiai iškiriami į du atskirus sektorius: padangų sektorius ir bendrosios gumos prekės sektorius (Forrest, 2014).

ES, JAV ir Japonijoje per metus susidaro apie 6 mln. tonų panaudotų padangų. Lietuvoje 2013 m. pagaminta apie 4,67 mln. tonų padangų ir apie 2,57 mln. tonų kitų gumos prekių. Bendro pobūdžio gumos produktų ir padangų sektoriuje susidaro gana didelis atliekų kiekis. Pvz., 2012 m. nebetinkamų naudoti padangų kiekis siekė 2,765 tūkst. tonų (Europos sąjungos..., 2018). Su visu

tuo smarkiai susijusi auganti automobilių pramonė, dėl jos auga ir padangų atliejų kiekis, prognozuojama, jog ateityje jis tik išaugs. Todėl tai tampa didele aplinkosaugine problema. Kadangi nėra ekonomiškai efektyvios technologijos, kuri visiškai iš naujo panaudotų medžiagas, naudojamos padangų gamyboje, šalinimas sąvartynuose ir toliau lieka vienintelis sprendimas. Tačiau ši problema yra unikali. Padangos pasižymi ypač dideliu patvarumu, tai apsunkina utilizavimą ir perdirbimą (Baral and Kumar Jha, 2012). Jos struktūra pavaizduota 1.1 pav.

.



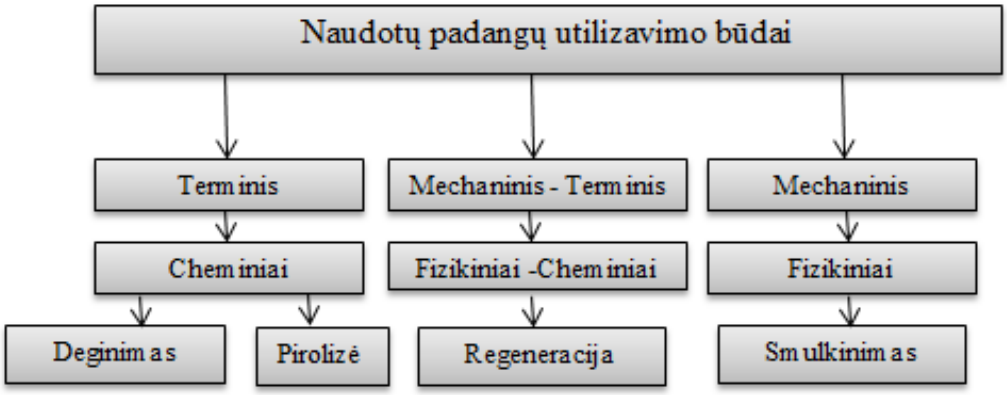
1.1 pav. Padangos struktūra: 1. protektorius; 2. nepertraukiamas vientisas paviršius; 3. plačių plieninių juostų sluoksnis; 4. tolygus karkaso sluoksnis; 5. labai tvirtas borto užpildas; 6. standus šoninis žiedas (Alkhatib, 2014)

Galima teigti, jog visų padangų struktūra yra labai panaši. Lyginant skirtingas autotransporto rūšis matyti, kad skiriasi tik kai kurios dalys (pvz., sluoksnių skaičius) (Aguiar-Moya et. al., 2016). Padangų sudėtyje yra vulkanizuoto kaučiuko bei audinio su sustiprintomis tekstilės virvėmis, plieninėmis arba audinių juostomis ir plieninės vielos karoliukais (Mastral et al., 2000).

1.1.2 Padangų ir gumos apdorojimo būdai

Naudotų gumos gaminių utilizavimo būdai pagal apdirbimo metu vykstančius reiškinius (1.2 pav.) skirstomi į:

- terminį apdirbimą;
- mechaninį ir terminį apdirbimą;
- mechaninį apdirbimą.



1.2 pav. Padangų utilizavimo būdai (Kerševičius, 2002)

Didžioji dalis naudotų gumos ir padangų atliekų dažniausiai paskutiniu metu yra skirtos gumos granulių gamybai, bei gaminami konkretūs produktai (1.3 pav.), tai:



1.3 pav. Gumos perdirbimo produktai (Gaminiai... 2019)

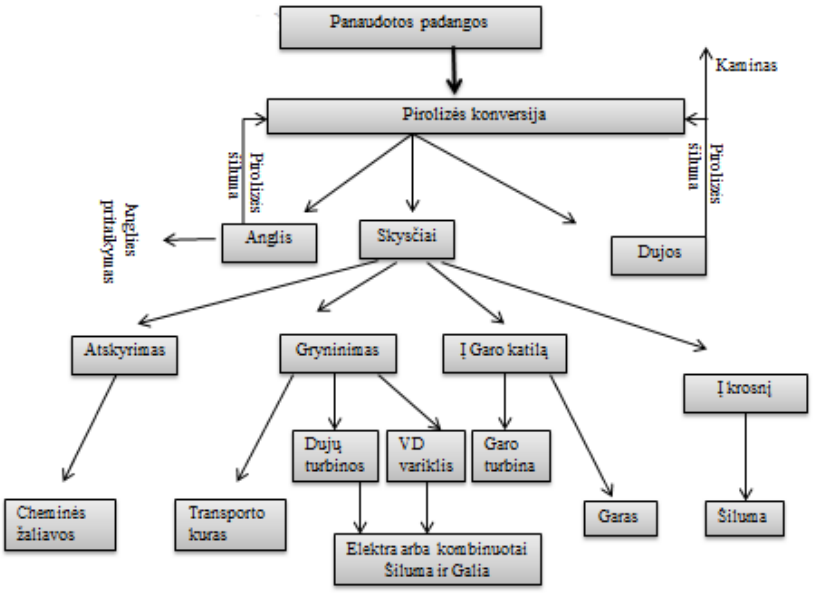
Guminės plytelės – jos atsparios oro pokyčiams, apsaugo nuo pavojingų kritimų, dekoratyvios, neslidžios, gerai tiek išorėje tiek viduje absorbuoja garsą. Jų matmenys siekia nuo: 1000 × 1000 mm iki 500 × 500 mm;, bei 1000× 250 mm, kurių storis atitinkamai svyruoja 20 – 90 mm, o tankis: 1,1 g/cm³ esant 20 °C (Gaminiai... 2019);

Mulčas - bufingas yra naudojamas sodų, darželių, parkų ir poilsio aikštelių aplinkos apipavidalinimui. Plačiai naudojamas ir kelkraščių, sporto aikštynų ar vaikų žaidimų aikštelių įrengimui. Jo pivalumai, jog jis atsparus klimato kaitai , nereikalauja jokios priežiūros ir yra saugus, dėl savo minkštumo jis absorbuoja ne tik smūgius, bet ir mažina triukšmą (Gaminiai... 2019).

Apsauginiai kilimai - gaminami iš naudotų sunkiasvorių mašinų padangų ir yra naudojami sprogdinimo vietovėse norint apsisaugoti nuo atsitiktinių nuolaužų. Esant sunkios pravažiavimo sąlygoms naudojami keloių tiesimo darbų metu. Tokių apsauginių kilumų matmenys siekia 3×5 m ar 3×6 m (Gaminiai... 2019).

Pirolizė

Pirolizė yra organinių medžiagų termocheminis skaidymas esant aukštai temperatūrai be oksidanto, paprastai svyruoja nuo 400 iki 800 ° C (Miandad ir kt., 2018). Palyginti su deginimu, atliekų padangų pirolizė laikoma ekologiškesniu ir ekonomiškesniu konkurenciniu metodu, kuriant tris vertingus produktus, pvz., degiąsias dujas, aliejus ir anglis (1.4 pav.) (Dai ir kt., 2018).



1.4 pav. Naudotų padangų (tarp jų ir gumos) pirolizės produktų panaudojimo galimybės (Hofman and Pieterzak, 2012)

Padangos kaip atlieka turi didelį lakiųjų medžiagų kiekį. Naudojant pirolizės technologiją, galima perdirbti ir panaudoti sunkiai sutvarkomas atliekas, tokias kaip plastiko gaminius, sintetines pakuotes, automobilių padangas bei išvalyti užterštus gruntus ar panaudotus automobilių tepalus. Taipogi, pirolizės gamykla gali priimti perdirbti ir rūšiuotas, ir nerūšiuotas atliekas. Gautas produktas naudojant pirolizę sudaro 30–40 % padangų gumos. Laikoma, jog aktyvintos anglies produktas, pagamintas iš padangų atliekų gali turėti komercinę vertę vandens valymui, pvz., organinės medžiagos ir toksiškų junginių išgryninimui, dehlorizavimui, dažikliu šalinimui, komunaliniam, geriamojo vandens valymui, taip pat oro valymui, pvz., lakiesiems neorganiniams ir organinis junginiams šalinti, tirpiklio regeneravimui, dujų desulfuracijai ir kt. (Hofman and Pieterzak, 2012).

Svarbiausi gautos anglies parametrai:

1. **Porų dydis**

Tinkamam adsorbcijos procesui palengvinti reikalingas porų dydžio pasiskirstymas, suteikiant adsorbcijos vietas ir atitinkamus kanalus, skirtus adsorbato transportavimui. Aktyvintos anglies poras galima suskirstyti į tris pagrindinius dydžius:

- Mikro poros (skersmuo mažesnis nei 2 nm);
- Meso poros (skersmuo nuo 2 iki 25 nm);
- Makro poros (skersmuo didesnis kaip 25 nm).

2. Jodo numeris

Jodo numeris yra pats svarbiausias parametras, naudojamas apibūdinti aktyvintos anglies efektyvumą, matuoti aktyvumo lygį (didesnis skaičius rodo didesnį aktyvinimo laipsnį) ir mikroporos (0-20 Å) kiekį. Šis skaičius yra lygus aktyvuotos anglies ploto kvadratiniam metrui nuo 900 iki 1100. Jodo numeris taip pat yra standartinė skystųjų fazių taikomųjų priemonių matavimo priemonė.

3. Kietumas / abrazyvinis skaičius

Aktyviosios anglies atsparumo dilimui matas. Tai svarbus aktyvintos anglies rodiklis, siekiant išlaikyti jos fizinį vientisumą ir atlaikyti trinties jėgas, kurias sukelia paviršiaus plovimas ir kt.

4. Pelenų kiekis

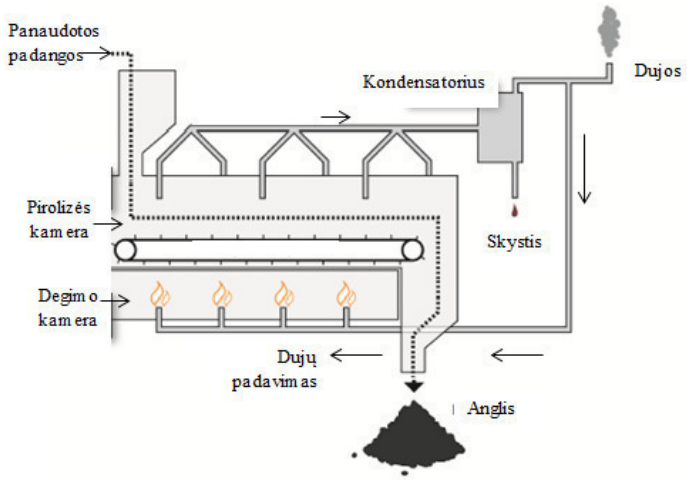
Sumažina aktyvų anglies kiekį. Sumažina reaktyvavimo efektyvumą. Metalai gali išplauti iš aktyvintos anglies, dėl to gali pasikeisti spalvos. Rūgštis / vandenyje tirpus pelenų kiekis yra reikšmingesnis už bendrą pelenų kiekį.

5. Matomas tankis

Didesnis tankis užtikrina didesnį tūrinį aktyvumą ir paprastai rodo geresnės kokybės aktyvintą anglį (Adsorbtion parameters... 2018).

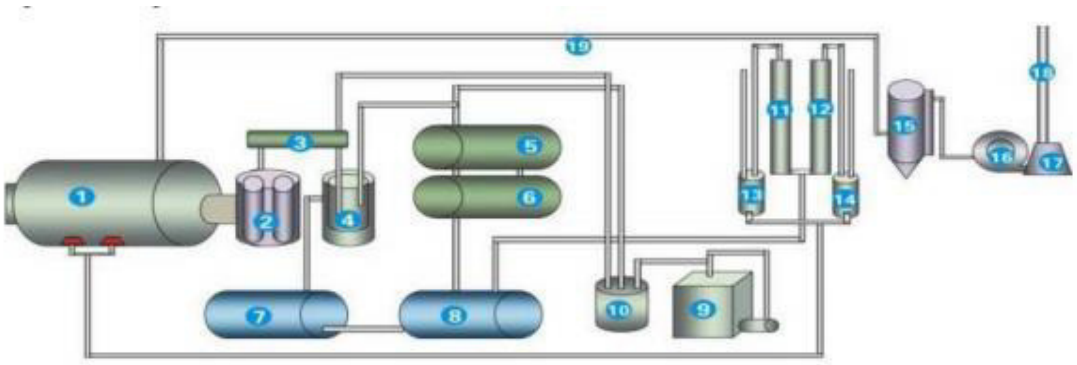
1.1.3 Aktyvintos anglies išgavimas pirolizės metodu

Pirolizinės produktai gali būti naudojami kaip kelių bitumo priedas. Aktyvuota anglis plačiai naudojama vandeniui ar orui valyti ar kaip kuro elementas. Be to, norint iš gumos ir padangų atliekų išgauti didesnį anglies kiekį pirolizė atliekama didesnio dydžio dalims. Esant mažesniam šilumos laidumui šiluma gali tekėti tik tam tikrame gylyje. Taigi didesnių gabalų šerdis tampa karbonizuota ir (arba) negali visiškai suskaidyti produkto, dėl to padidėja anglies kiekis ir sumažėja skysčio ir dujų kiekis (Alkhatib, 2014). Taip pat siekiant išgauti didenį anglies kiekį pirolizės proceso metu reikia vykdyti „lėta“ pirolizę, t. y. kai pirolizės proceso temperatūra yra ne aukštesnė nei 500℃ ir medžiaga išlaikoma 30 % ilgesnį laiką nei esant 800–900℃ temperatūrai (Thomsen et. al., 2011). Pirolizės proceso įrenginiai pateikiami 1.5 pav. ir 1.6 pav.



1.5 pav. Pirolizės krosnies supaprastinta veikimo schema (Thomsen et. al., 2011)

1.6 pav. vaizduojamas sertifikuotas įrenginys, kuris iš gumos, bei senų padangų pirolizės būdu gamins sintetinę naftą. Vienas iš jos likutinių produktų yra techninė anglis. Siekiant užtikrinti atliekų mažinimo politikos sąlygas visos žaliavos perdirbimui yra tiekiamos iš regioninio atliekų sąvartyno bei stambiagabaritinių atliekų surinkimo punktų. Vaizduojamos įrangos pajėgumas – 10 t perdirbamos žaliavos per parą.



1.6 pav. Pirolizės proceso schema: 1 – kaitinimo talpa, kurioje konvejeriu kraunama žaliava (naudotos gumos ir padangų atliekos) ir jos talpa hermetiškai uždaroma; 2 –pirminio separatoriaus kamera; 3 – aušinimo įrenginys; 4 – vandens-naftos separatorius; 5–6 – šilumokaičių sistema; 7 – sunkiosios sintetinės naftos talpykla; 8 – lengvosios sintetinės naftos talpą; 9–10 – sumažinto slėgio įrenginys; 11-12 – dujų aušinimo įrenginys ; 13–14 – hidraulinė užtvara sauganti nuo sprogimo; 15–17 – filtrai pro kuriuos praeina kaitinimo kameros dūmai; 16 – ventiliatorius; 18 – kaminas (UAB „Ekobaltika“ 2016)

Padangos yra supjaustomos iš abiejų šoninių pusių ir papildomai susmulkinamos iki mažesnio nei 5 mm dydžio su plieninėmis vielomis, kurios vėliau yra atskiriamos magnetiniu būdu. Tada padangų trupiniai karbonizuojami karbonizavimo krosnyje esant 773 K (500 ° C) (Danny et. al., 2004). Šilumokaičio garai nukreipiami į aktyvinimo krosnį kaip aktyvinimo medžiagą esant

aukštai temperatūrai (1123 K) ir slėgiui (40 atm). Aktyvintos anglies produktas yra atšaldomas ir sumalamas iki tam reikiamo dydžio prieš parduodant (Danny et. al., 2004).

Kadangi nustatyta, jog dėl padangose esančių priemaišų gali mažėti iš padangų išgautos anglies poringumas ir adsorbcinis efektyvumas, padangos gali būti net padalinamos į skirtingas dalis. Manoma, jog padangų dalis, kurioje yra didesnis kiekis tekstilės priemaišų, mažina aktyvintos anglies sorbcinę gebą (Wang et. al., 2019).

Išgaunamos elementinės anglies kiekis priklauso nuo pirolizės temperatūros (1.1 lentelė).

1.1 lentelė. Anglies kiekio priklausomybė nuo pirolizės proceso temperatūros (Teng et. al., 2000).

Pirolizės temperatūra	Anglies kiekis (%)	Porų pasiskirstymas	Porų tūris (cm^3/g)
600	26	116	0,22
700	16	474	0,38
800	12	411	0,57
900	11	306	0,45

Išgaunama kelių rūšių anglis: aktyvuota anglis, anglis ir *Boudouard* anglis. *Boudouard* anglis išgaunama, kai pirolizės procesas vyksta 900 °C temperatūroje su galimybe pakartotinai į reaktorių įleisti dalį pirolizinės alyvos siekiant padidinti anglies, bei dujų kiekį. Anglis aktyvinama gamyboje naudojant CO_2 srautą 900 ° C temperatūroje (Alkhatib 2014). Be to, pridėtinė techninės anglies vertė labai maža (apie 40 Eur/t), palyginant su tuo, kas gali būti gauta, jei ją būtų galima pakartotinai panaudoti gamybai (nuo 500 iki 600 EUR už toną). Vienas iš tiesioginių techninės anglies panaudojimo būdų yra aktyvintos anglies gamyba.

1.2 Paviršinių nuotekų užterštumas

Paviršinių nuotekų susidarymas priklauso nuo žemės naudojimo paskirties, pavyzdžiui, gyvenamųjų namų kvartalai, komerciniai pastatai, pramoniniai rajonai. Teršalų koncentracijos ir apkrovos gali skirtis atsižvelgiant ne tik į žemės naudojimą, bet ir atliekamos veiklos rūšis. Į nuotekas gali pakliūti įvairių teršalų, nuo organinių atliekų (aliejai, valymo priemonės, pesticidai) iki maistinių medžiagų, bakterijų, suspenduotų kietųjų dalelių ir sunkiųjų metalų (Maziliauskas et al., 2010).

Šių nuotekų užterštumas dažniausiai priklauso nuo daugelio meteorologinių sąlygų: lietaus intensyvumo, debito, sausrų, taip pat užterštumas priklauso nuo paviršinių nuotekų susidarymo vietos, automobilių srauto intensyvumo, atmosferos užterštumo ir paviršiaus dangų savybių.

Pagrindiniai į vandenį išleidžiami teršalai yra:

- halogenų organiniai junginiai ir medžiagos, galinčios sudaryti tokius junginius vandenyje, alavo, fosforo organiniai junginiai;

- medžiagos ir preparatai, pasižymintys kancerogeninėmis ir mutageninėmis sąvybėmis,
- patvarūs organiniai teršalai;
- bioakumuliacinių sąvybių turinčios organinės toksiškos medžiagos;
- cianidai, metalai ir jų junginiai;
- arsenas ir jo junginiai;
- biocidai ir augalų apsaugos produktai;
- skendinčios medžiagos;
- medžiagos sukelenčios eutrofikacijos procesus, bendrasis azotas ir fosforas, jų neorganiniai junginiai, organinės medžiagos (Lietuvos Respublikos... 2006).

Didžiausios leistinos koncentracijos (DLK) yra nurodytos Lietuvos respublikos aplinkos ministro 2006 m. gegužės 17 d. įsakyme Nr. D1-236 „Dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“ 2 priede. Ten nurodoma, kad į aplinką išleidžiamų paviršinių nuotekų užterštumas negali būti didesnis kaip: skendinčiųjų medžiagų vidutinė metinė koncentracija – 30 mg/l, didžiausia momentinė koncentracija – 50 mg/l, BDS_5 vidutinė metinė koncentracija – 25 mg O_2/l, didžiausia momentinė koncentracija – 50 mg O_2/l, naftos produktų vidutinė metinė koncentracija – 5 mg/l, didžiausia momentinė koncentracija – 7 mg/l taip pat nurodomos ir kitų vandens užterštumui kenksmingų medžiagų didžiausios leidžiamos koncentracijos.

Nuotekų valymui naudojami mechaninio valymo būdai, kai valymo metu atskiriamos neištirpusios mineralinės ir organinės priemaišos. Valymo įrengimai:

- Smėliagaudės naudojamos sunkesnėms už vandenį skendinčioms dalelėms nusodinti. Jos būna įvairių tipų: horizontalios, vertikalios ir trapų pavidalo.
- Sėsdintuvas naudojamas iš nuotekamųjų vandenų atskirti didesnes kaip 0,25 mm mineralines ir organines daleles. Jame dalelės veikiamos gravitacijos jėgos nusodinamos ant dugno arba išplaukia į paviršių.
- Gravitacinis naftos atskirtuvas su papildomomis naftos sulaikymo grandimis (kolisenciniai atskirtuvai, sorbciniai filtrai, flotatoriai, biosorbciniai reaktoriai ar pan.). Purvo ir naftos gaudyklės statomos naftos produktams, emulsijoms ir skendinčioms medžiagoms iš lietaus paviršinių nuotekų atskirti. Tokios gaudyklės naudojamos degalinėse, automobilių stovėjimo aikštelėse, autocentruose, garažuose ir automobilių plovykluose, bei autoservisuose (Baltrėnas et al., 2008).
- Nuotekų užterštų sunkiaisiais metalais valymui naudojamos tokios technologijos, kaip sorbciniai, jonų mainų, koaguliacijos, elektrokoaguliacijos, membraninai valymo metodai ir kitos technologijos (Malamis and Katsou, 2013).

1.2 lentelė. Aktyvuotos anglies struktūra ir panaudojimo galimybės (Aktyvintos anglies... 2018)

Žaliava	Akyta strūktura	Panaudojimas	Pavyzdys
Bituminė anglis	Didelis akytumas, mezoporų persvara	Skystosios fazės adsorbcija	Vandens gerinimas Nuotekų valymas Dirvožemių remediacija
Rudoji anglis	Mažas akytumas makroporų persvara	Skystosios fazės adsorbcija	Produktų blukinimas
Kokoso riešuto kevalas	Labai didelis akytumas, mikroporų persvara	Skystosios ir dujų fazės adsorbcija	Vandens gerinimas chloro ir ozono liekanų šalinimas, LOJ adsorbcija
Antracitas	Labai mažas poringumas mezoporų persvara	Dujų fazės adsorbcija	LOJ adsorbcija
Mediena	Labai didelis akytumas, makroporų persvara	Skystosios fazės adsorbcija	Produktų blukinimas geriamojo vandens gerinimas

Aktyvintos anglies kilmė lemia jos poringumą, bei gebėjimą būti panaudotai įvairiuose pramoniniuose procesuose. 2.1 lentelėje yra apibendrintos populiariausios žaliavos skirtos aktyvintos anglies gamybai ir medžiagos pramonėje panaudojimo priklausomybė nuo jos vidaus struktūros (Aktyvintos anglies... 2018).

1.3 Adsorbciniai filtrai su anglies įkrova

Adsorbcinio vandens valymo privalumai:

- Aukštas valymo lygis;
- Nelieka atliekų (jei įkrovą galima regeneruoti);
- Neužteršiama įranga;
- Palaikomas stabilus valymo lygis net esant dideliems srautams užteršto vandens;
- Ekonomiškas susijęs su daugkartiniu sorbento naudojimu.

Sorbentus galima pasirinkti atitinkamai valyti organinėms arba neorganinėms medžiagoms. Organinių medžiagų sorbcijai naudojama korėta anglies įkrova – aktyvuota anglis, įvairios organinės kilmės smulkintos medžiagos: anglis, koksas, kuro šlakai, sorbentai celiuliozės ir gumos pagrindu, sintetiniai polimerai. Poliarinės hidrofilinės medžiagos: jonitai, molis, silikageliai, aliumageliai, ciolitai, oksidai, hidroksidai skirti organinių medžiagų adsorbcijai mažai tinkami dėl sąveikos su vandens molekulėm. Šios hidrofilinės medžiagos naudojamos iš vandens valyti neorganinėms medžiagoms kai jos yra jonų forma (Очистка воды…, 2016).

Anglį suaktyvinti galima dviem metodais:

1. fiziniu anglies aktyvinimu – kuomet anglis pereina pro oksiduojančią aukštos

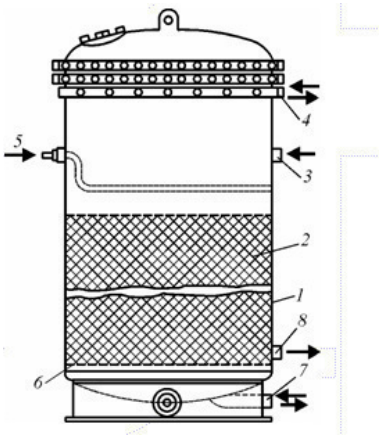
temperatūros dujų terpę (garas, anglies dioksidas, oras);

2. cheminiu anglies aktyvinimu – kai anglis impregnuojama neorganinės druskos tirpalu, vėliau karbonizuojama žemoje temperatūroje ir yra praplaunama rūgštiniame tirpale (Onyeji and Aboje, 2011).

Adsorbcinį vandens valymą galima naudoti miltelių arba grūdelių pavidalo adsorbentais periodiniam ir nenutraukiamame procese. Labiausiai paplites vandens valymas milteliniais adsorbentais (aktyvuota anglimi) ypač geriamam vandeniui. Panaudotas adsorbentas regeneruojamas arba utilizuojamas pakeičiant jį kitu.

Pagal paprasčiausią vienpakopį variantą vanduo sumaišomas su aktyvuota anglimi ir išlaikomas maišant maišytuve, po to atskiriamas vanduo ir panaudota anglis.

Tipinis adsorberis pavaizduotas 2.1 pav.



1.7 pav. Adsorberis su aktyvintos anglies įkrova: 1 – įrenginio korpusas; 2 – anglies įkrova; 3 – anglies pakrovimo liukas; 4 – nuotekų padavimas; 5 – vandens padavimas įkrovos paviršiaus praplovimui; 6 – grotelės; 7 – išvalytų nuotekų nuleidimas ir vandens padavimas įkrovos praplovimui; 8 – panaudotos įkrovos šalinimo liukas (Очистка воды…, 2016).

Tokioje schemoje adsorberis veikia periodiškai ir vanduo valomas nenutrūkstamai. Susikaupusios sulaikytos medžiagos periodiškai pašalinamos nuplaunant vandeniu bėgančiu per aktyvuotos anglies sluoksnį iš apačios į viršų. Prieš šią stadiją paprastai atliekamas paviršių plovimas nuo smulkių dalelių.

2 Eksperimentinio tyrimo metodika ir teorinis pagrindimas

Šiame skyriuje pateikiami iš padangų gautos aktyvuotos anglies panaudojimas nuotekų valymui, atlikti tyrimai, taikyti bandymų stendai, jų struktūra bei naudojama matavimų įranga. Remiantis ankščiau atliktais tyrimais susidaroma pagal tema būdinga metodika.

Pagrindinis tyrimo tikslas yra iš padangų gautą techninę anglį išbandyti kaip adsorbentą paviršinių nuotekų valymui adsorbciniame filtre. Išnagrinėti fizikines ir chemines savybes, sorbcijos gebą, pH, slėgio, pratekėjimo greičio pokyčius..

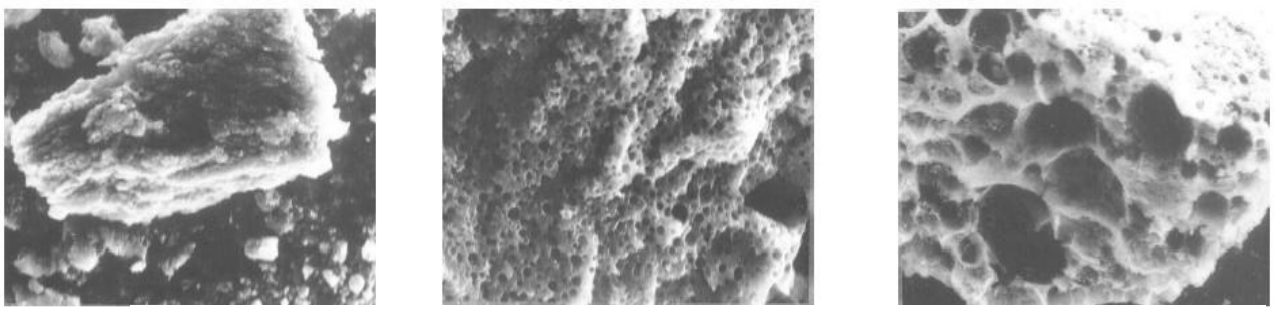
2.1 Aktyvintos anglies filtrų tyrimai

Siekiant gauti vidutinio poringumo aktyvuotą anglį ji impregnuojama KOH tirpalu (1.8 pav.). Paruoštų adsorbentų elementinė analizė vaizduoja 2.2 pav.

Activated Carbon Sample	C	H	N	S
TA-KOH0.5	65.00	3.19	1.6	0
TA-KOH1	64.51	2.35	1.4	0
TA-KOH3	88.26	2.44	1.5	0
TA-KOH4	88.02	2.78	0.62	0
TA-KOH3-700	69.67	5.37	2.25	0.53
TA-KOH3-800	83.97	4.58	1.76	0.55
TA-K_2CO_3	87.02	3.61	1.52	0.39
TA-NaOH	80.01	3.04	1.52	0.38
TA-Na_2CO_3	76.20	3.37	1.25	0.27

2.1 pav. Adsorbentų elementinės analizės rezultatai (Teng et. al., 2000)

Norint pasiekti didžiausią elementinės anglies kiekį naudojamas KOH_3 ir KOH_4 tirpalai. Anglies poringumas nagrinėjamas pasitelkiant skenuojantį elektroninį mikroskopą (SEM) (2.2 pav.) 2.2 pav. vaizduojamas anglies paviršius po aktyvinimo. Rezultatai gauti naudojant SEM.



a) b) c)

2.2 pav. Aktyvuotos anglies poringumas po pirolizės (nuotraukos padatyros naudojant SEM) a) pirolizės techninė anglis; b) ir c) chemiškai impregnuota KOH (Teng et. al., 2000)

Įprastinės optinės mikroskopijos atveju bandinio apžiūrai naudojami regimosios šviesos spinduliai, kurių bangos ilgis 380-760 nm. Naudojant tokio bangos ilgio spindulius dėl tokių apribojimų kaip šviesos difrakcija, dispersija ir kt. maksimalus didinimas yra apie 1 000 kartų. Tokio didinimo užtenka iki kelių šimtų mikrometrų dydžio objekto analizei.



2.3 pav. Skenuojantis elektroninis mikroskopas (SEM)

Elektroninio mikroskopo veikimo pagrįstas elektrono kaip dalelės-bangos dualumo egzistavimu. Elektronas yra dalelė turinti neigiamą krūvį e^-, jo masė apytiksliai lygi 1/1836 protono masės, o elektrono bangos-dalelės dualumą. Judanti materija gali būti apibūdinta kaip banga, kurios bangos ilgis λ su judesio kiekio momentu susijęs kaip:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \tag{2.1}$$

Čia: h - Planko konstanta, m – masė, v – greitis. Šis sąryšis parodo, kad įgreitinti elektronai elgiasi kaip dalelė ir kaip bangos.

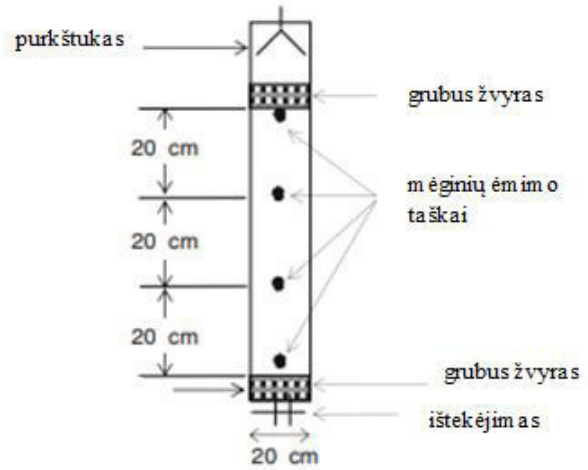
Mesoporų tūris ir vidutinis porų skersmuo paprastai padidėja su pirolizės temperatūra, KOH ir padangų santykiu, bei laikymo trukme. Rekomenduojama naudoti KOH santykiu 4, pirolizės temperatūra - 700 ° C ir nuline laikymo trukmę (Teng et. al., 2000).

Tačiau atsižvelgiant į aktyvinimo kaštus bei laiką procesui atlikti –dažniausiai atliekamas fizinis anglies aktyvinimas (Kumar Jha and Subedi, 2011). Gauta techninė anglis (2.3 pav. a) turi

mažą poringumą ir mažą paviršiaus plotą. Manoma jog iš padangų gauta aktyvuota anglis turi mažesnį paviršiaus plotą lyginant su iš kitų produktų gauta aktyvuota anglimi, ar bioanglimi, anglimi gauta iš biomasės. Viena iš pagrindinių priežasčių yra – priemaišos. Todėl tai gali būti tolimesnių tyrimų objektas.

Biologiškai aktyvinta anglis yra perspektyvi medžiaga siekiant pašalinti ne vieną biologiškai neskaidomą medžiagą, ir ji gali būti naudojama dviem būdais. Pirmiausia bioanglis pakeičia kitas filtruojančias medžiagas ir naudojamas kaip filtravimo terpė, kurią skatina vienalaikis biologinis skilimas ir adsorbcija (*kaip BC-active-bio-fi lmtreatment*). Antra, gali būti naudojamas kaip antrojo etapo (arba po valymo) žingsnis, kurio tikslas pašalinti neskaidomas medžiagas po organinių medžiagų ir maistinių medžiagų pašalinimo. Tačiau prieš pradedant taikyti bioanglį reikia atlikti papildomus įvairių pakrovimo režimų ir imitavimo modulių tyrimus (Dalahmeh et. al., 2018).

Kito tyrimo metu dvi skirtingo dydžio granuliuotos medžio anglys (1,5 mm skersmens, 1,5 arba 3-5 mm ilgio) buvo lyginamos su kitomis populiariomis adsorbcijai naudojamomis medžiagomis. Kai kurios medžio anglies granulės buvo susmulkintos, kad gautas dalelių dydis būtų mažesnis nei 1,5 mm, 1,5 mm, 3-5 mm ir susmulkintos frakcijos buvo sumaišytos santykiu 1: 3: 1, tam, kad būtų gautas vienodumo koeficientą ir panašus efektyvus dydis kaip ir smėlio. Etilo polioletinis poliuretanas („*FiltrTM*“ putplastis) buvo naudojamas su 1,0-1,6 mm poromis. Principinė tyrimo maketo schema pateikta 2.3 pav.



2.4 pav. Tyrimui naudoto stendo schema (Dalaghmeh et. al., 2012)

Tyrimo metu lyginta Ph, tūrinis tankis, dalelių tankumas, akytumas, pastovusis hidraulinis laidumas ir nustatytas tam tikras paviršiaus plotas tenkantis tos medžiagos filtrui. Naudotas Brunauer–Emmett–Teller (BET) metodas. Poringumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$p = 100 \cdot \frac{\rho_b}{\rho_p} \quad (2.1)$$

Čia:

p *yra poringumas procentais iš viso tūrio,*

ρ_b *- yra tūrinis tankis,*

ρ_p *- dalelių tankumas.*

Gauti rezultatai pateikti 2.2 lentelėje.

2.1 lentelė. Tyrime naudotų filtravimo medžiagų gauti parametrai (Dalaghmeh et. al., 2018)

Parametras	Žievė	Anglis	Putplastis	Smėlis
pH	5,1	10,4	5,6	7,9
Praradimas užsidegus, %	90	90	100	<1
Efektyvus dydis, mm	1,4	1,4	1-1,6	1,4
Vienodumo koefc.	2,3	2,3	-	2,2
Tūrinis tankis, kg/m^{-3}	365	283	21	1690
Dalelių tankis, kg/m^{-3}	1340	1900	-	2570
Poringumas, %	73	85	-	34
Paviršiaus plotas, m^2/g^{-1}	0,734	>1000	0,05	0,136
Hidraulinis laidumas, cm/h^{-1}	330	500	500	360

Filtrus panaudojus nuotekų vandens valymui nustatyta, jog žievės ir medžio anglies filtrams buvo būdingas didelis pradinio BDS_5 sumažinimas. Metodo efektyvumas siekė > 99 %. Smėlio filtras buvo panašaus efektyvumo kaip ir žievės ir medžio anglies, bet pasiekė žemesnį BDS_5 išvalymo lygį, nors pradžioje šio metodo efektyvumas siekė 62 % (Dalaghmeh et. al., 2018).

Svarbūs veiksniai, susiję su adsorbcija:

1. Paviršiaus plotas ir porų dydis.

Paviršiaus plotas ir porų dydis yra svarbūs veiksniai, lemianti adsorbatų adsorbcijos vietų prieinamumą. Dažniausiai yra atvirkštinis santykis tarp paviršiaus ploto ir porų dydžio, kitaip tariant, kuo mažesnės poros atsižvelgiant į tam tikrą sugeriančio tūrio dydį, tuo didesnė yra galimybė naudoti paviršiaus plotą adsorbcijos procese.

2. Fono matricos efektas.

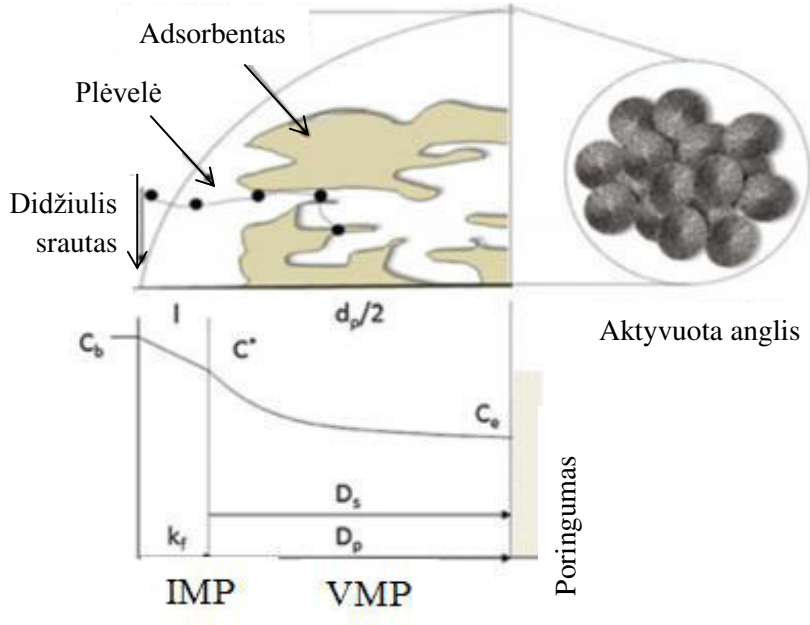
Vienas iš veiksnių, turintis poveikį tikslinio junginio adsorbcijos efektyvumui, yra vandens matrica. Natūraliai ar antropogeniškai koncentracijai padidėjus fazinės matricos junginiai sumažins

tikslinio junginio adsorbcijos gebos, dėl konkurencinės adsorbcijos, vietas.

Junginio pašalinimas adsorbentais yra trijų pakopų procesas:

- išorinis masė pernešimas (IMP),
- vidinis masės perkėlimas (VMP),
- adsorbcija (2.5 pav.).

Abu IMP ir VMP laikomi difuziniais procesais, o varomoji jėga yra adsorbato koncentracijos gradientas. Skirtumas tarp masinės koncentracijos ir vidinės koncentracijos pusiausvyroje.

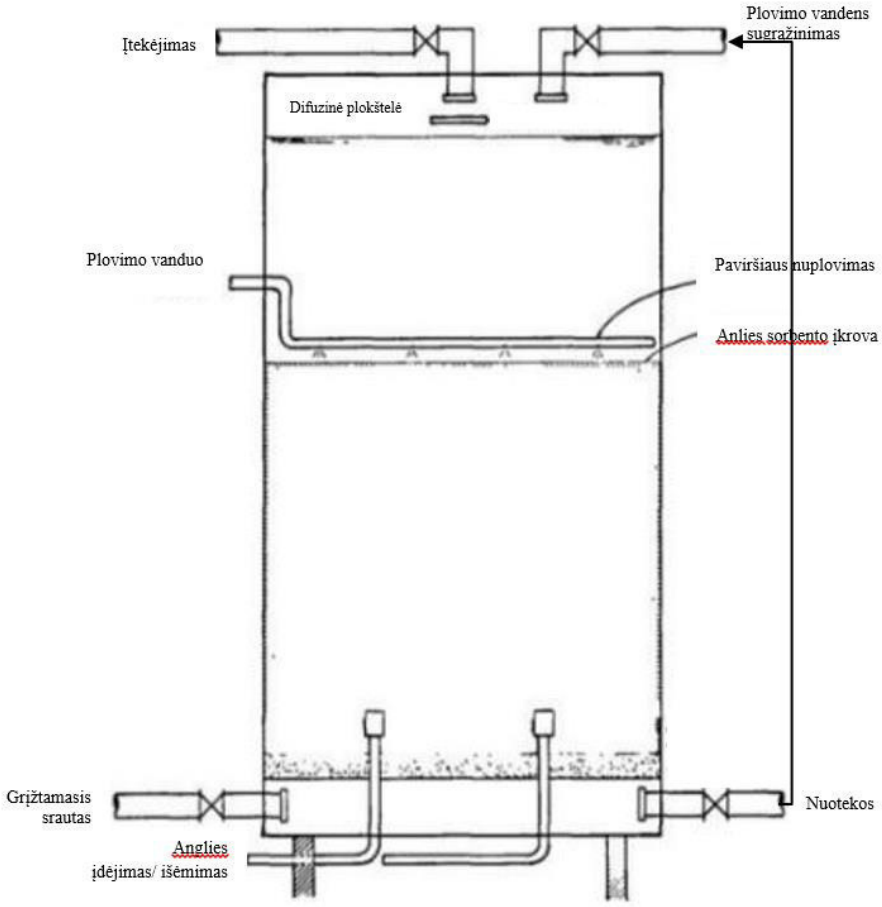


2.5 pav. Masės pernešimo ir adsorbcijos procesų iliustracija. (Cb) – masės koncentracija, (Ce) – vidinės koncentracijos pusiausvyroje, (Dp) - porų difuziją ir (Ds) –paviršiaus difuziją (Liang et. al., 2014)

Šiuos difuzinius procesus kontroliuoja porų struktūra arba adsorbuojančios savybės. Pirmajame žingsnyje IMP arba plėvelės difuzija junginyje iš birios ir skystos fazės vyksta per hidrodinaminį sluoksnį, kuris supa adsorbentą. Po IMP atsiranda ir patenka iš adsorbato į išorinį adsorbento paviršių. VMP atsiranda arba per poras su skysčiu arba per porų sieneles esant porų ir paviršiaus difuzijai. Šie difuziniai procesai kontroliuojami porų struktūros arba adsorbato savybėmis. VMP dažnai yra lėčiausias ir todėl kontroliuoja bendrą adsorbato įsisavinimą (Liang et. al., 2014).

Aktyvuota anglis pašalina organines chemines medžiagas ir sumažina kai kurių nuotekų toksiškumą, kad būtų galima saugiai išleisti į paviršinius vandenis ir yra plačiai pripažinta

technologija organinių medžiagų, laisvojo chloro, spalvų ir daugelio kitų priemaišų valymui ir šalinimui. Kai kurioms pramoninėms nuotekoms gali prireikti antrinio apdorojimo po aktyvintos anglies. Dažnai naudojamos dalelės praeinančios per 80 akių sietą (0,177 mm) ir mažesnės. Plačiausiai naudojama pramonės objektų nuotekų valymo įrenginiuose, ypač naftos perdirbimo padaliniuose, siekiant išspręsti teršiamos aplinkos taršos problemas (Fares et. al., 2018). Įvairiomis gamybos sąlygomis vidinės porų struktūros sukuriamos suteikiant unikalias kiekvienai prekei būdingas adsorbcijos savybes. Konkrečios paskirties pasirinkimas skiriasi dėl skirtingų priemaišų ir patentuotų procesų sąlygų. Aktyvuota anglis paprastai dozuojama tiesiai į srautą arba laikymo talpyklą, kad pašalintų teršalus iš srauto ir vėliau filtruojant (2.6 pav.). Todėl yra reikalingos filtravimo sistemos, arba sklaidiklis, arba rotacinis vakuuminis filtras.



2.6 pav. Slėginio adsorbcinio filtro maketas (Wagner and Jula, 2013)

Srauto kondensatoriai gali būti tiek slėginio, tiek gravitacinio tipo, tačiau slėginės sistemos yra labiau paplitusios. Įprastas slėgis adsorbcinio filtro maketas vaizduojamas 2.6 pav. Sistemoje yra išvalyto vandens ir vienodo skysčio paskirstymo, įleidžiamos linijos skirstytuvo, paviršiaus

plovimo ir priešpriešinės sistemos. Įrenginys susideda iš įleidžiamo ir išleidžiamo nuotekų kolektoriaus, anglies pripildymo kameros ir tiekimo vožtuvo bei anglies pašalinimo sistemos (Wagner and Jula, 2013).

Aktyvuota anglis naudojama įvairių nuotekų valymui. Miltelių pavidalo aktyvuotos anglies privalumas yra lankstumas dozavimui pagal vandens taršą. Nuotekų valymas paprastai atliekamas naudojant fizinį procesą (pašalinant šiurkščias medžiagas), pirminį skaidiklį, biologinį ir galutinė adsorbcija / flokuliacija kontaktiniame reaktoriuje. Dalis aktyvuotos anglies atskiriama nuo nuotekų sedimentacijos būdu ir gali būti grąžinta atgal. Aktyvintos anglies ir dumblo sąlyčio laikas dažnai būna 20 iki 60 minučių ir paprastai pridedama 10 mg / l PAC dozė. Aktyvintos anglies milteliai gali gerokai sumažinti organinių mikroelementų ir labai mažų teršalų koncentraciją, lyginant su kitais produktais (Activated carbon..., 2018).

2.3 lentelėje pateikiami aktyvuotos anglies pagrindiniai parametrai kintantys priklausomai nuo frakcijos dydžio.

2.1 lentelė. Anglies specifikacija (High Quality..., 2018)

Parametrai	**Aktyvuota anglis**			
Dydis (mm)	0,9 mm,1,5 mm,	2 mm, 3 mm,	4 mm, 5 mm,	8–12 mm
Absorbcija (mg/g)	≥700	≥800	≥900	≥1000
Specifinis paviršiaus plotas (m2/g)	900	1000	1100	1200
Kietumas (%)	≥90	≥92	≥95	≥95
Anglies tetrachlorido aktyvumas (%)	≥45	≥55	≥60	≥65
Drėgmė (%)	≤8	≤8	≤8	≤8
Peleningumas (%)	≤12	≤12	≤11	≤10
Įkrovos tankis (g/l)	580-620	550-570	540-550	500-520

Didelės anglies poros ir didelis paviršiaus plotas daro ją ypač tinkama fiziniai adsorbcijai ir kitiems valymo metodams. Pašalinamas platus organinių medžiagų asortimentas ir galima pagerinti vandens kokybę iki tinkamos išleidimui ar pakartotiniam naudojimui. Manoma, kad anglis gali būti pakartotinai panaudota, be to ją išgavus iš panaudotų padangų pirolizės būdų iš atliekų sukuriamas aplinką tausojantis produktas. Nors dažnai gali būti ekonomiškesnis mažesniems valymo tikslams

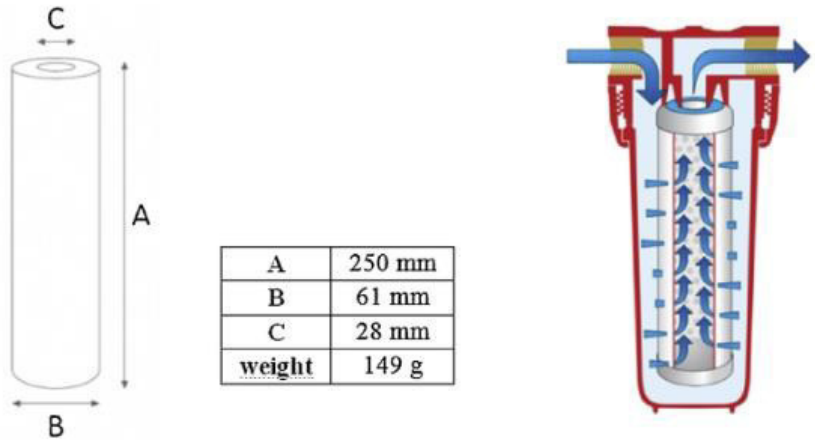
pasiekti, ji gali būti vėl aktyvuojama (regeneruojama), sumažinamos galimos šalinimo išlaidos ir ilgalaikės atsakomybės išlaidos, susijusios su šalinimu į sąvartynus. Dauguma valstybinių sveikatos departamentų mano, kad anglies adsorbcija yra priemonė, skirta daugeliui organinių medžiagų pašalinti ir paviršiniame vandenyje (Activated carbon..., 2017).

Pirolizės būdų išgauta anglis ypatingai porėta ir turi didelę trauką organinėms dalelėms. Porų dydį ir adsorbcines medžiagos savybes nusako sąlygos kuriomis gaminama aktyvinta anglis. Po naudojimo regeneracija atliekama kaitinant aukštoje temperatūroje arba naudojant cheminius reagentus. Tačiau manoma, kad kaitinimas yra pranašesnis, kadangi organiniai teršalai yra sunaikinami. Medžiaga yra kompaktiška ir lengvai integruojama, bei nėra jautri koncentracijų svyravimams. Vienas iš metodo trūkumų jog didelės koncentracijos užteršia filtrą ir metalų nuosedos pagreitina aktyvuotos anglies prisotinimą. Anglis turi didelį potencialą adsorbuoti As, Cr, Sn, Hg, Ag (Užterštų teritorijų..., 2009). Be to, ji yra tinkamas adsorbentas Cd (II) ir Pb (II) pašalinimui vandens mėginiuose ir turi potencialą, kuris gali būti naudojamas realiuose mėginiuose (Dimpe et. al., 2017).

Porėta medžiaga turi turi didelę trauką organinėms molekulėms. Porų dydį ir absorbcines savybes lemia kaip aktyvuota anglis gaminama. Aktyvuotą anglį kaitinant arba naudojant cheminius reagentus galima regeneruoti. Kaitinimo pranašumas tas, jog yra sunaikinami porose esantys organiniai teršalai.

Šis metodas labiausiai pasiteisina valant naftos produktus, kurių koncentracija siekia iki 1000 µg/l. Metodo valymo efektyvumas siekia net 99%. Kai aktyvuotos anglies poros prisipildo teršalais ir pasiekiamas prisotinimo lygį, anglis keičiama nauja, o panaudota sunaikinama arba regeneruojama. Filtrų įkrova labai greitai užsiteršia jei valoma aukštų koncentracijų tarša ar prieš tai nuotekoms nebuvo atliktas pirminis valymas. Prisotinimą lemia ir biologinėmis medžiagomis ar metalų nuosėdomis užterštos nuotekos (Užterštų teritorijų..., 2009).

Norint pasiekti didžiausia filtro efektyvumą dažniausiai naudojamas uždaras slėginis filtras (2.7 pav.). Siekiant užtikrinti optimalų ir efektyvų įkrovos kiekį pasirenkant anglį, keli aktyvintosios anglies filtrai yra prijungiami nuosekliai, nes tada galima pasiekti maksimalią apkrovą pirmame filtre. Priemaišos, kurių nebegalima adsorbuoti į pirmąjį filtrą, yra adsorbuojamos kituose filtruose ir todėl negali grįžti į vandens ciklą. Granuliuoto aktyvintosios anglies naudojimas fiksuoto sluoksnio filtruose taip pat suteikia galimybė įterpti aktyvintą anglį vėliau. Tai yra aplinkai nekenksminga ir taupanti alternatyva išlaikant švaresnę aplinką (Evangelista et. al., 2019).



2.7 pav. Uždaras slėginis filtras (Evangelista et. al., 2019)

Apvalios formos ir skirtingo dydžio aktyvintos anglies grūdeliai pasirenkami, kad būtų išvengta sanglaudos ir prasto pralaidumo, taip sumažinant slėgio nuostolius, atsirandančius dėl filtravimo per adsorbentą.



2.8 pav. Filtro kasetė užpildyta aktyvosios anglies grūdeliais (Evangelista et. al., 2019)

Tokio tipo filtai (2.8 pav.) turi galimybę derinti mechaninį filtravimą ir vandens valymą, dvi sąlygas, kurias paprastai atlieka skirtingi produktai Čia aktyvuota anglis yra terpiama tarp filtro kasetės ir filtro stiklinio gaubto. Tačiau šie filtrai yra veiksmingi tik tada, kai išpildyti tokie reikalavimai kaip: vidinis stabilumas, atviras poringumas, suapvalintų formų medžiagos, apsaugotos filtrais, tinkamas hidraulinis pralaidumas, nesandarūs komponentai, tinkamas sorbento nusodinimas. Filtre yra inertinė sintetinė PET plėvele, kuri skirta sulaikyti mažesnias daleles nepažeidžiant hidraulinio pralaidumo.

Skeleto pralaidumas, kuris, skirtingai nei poringumas, yra vektorius, kuris išreiškia jo gebėjimą kirsti skysčius, susijusius su poringos terpės mikroskopine struktūra (pavyzdžiui jų forma ir porų dydžiu). Todėl poringumas ir pralaidumas yra dvi savybės, kurios, nors ir susijusios, yra skirtingos ir painiojamos, nes vienas anglies grūdas yra, pavyzdžiui, poringas ir nepralaidus, kietas

skeletas, susidaręs sujungus daugiau tos pačios medžiagos grūdų, vietoj to yra akytas ir pralaidus. Todėl reikėtų rinktis apvalių grudelių pavidalo sorbentus, siekiant skatinti hidraulinį pralaidumą.

Litifikacijos proceso metu, kai vyksta nenuosėkliųjų nuosėdų transformacijos į koherentinias arba didelio nuoseklumo, kurios gali atsirasti dėl mechaninių veiksmų (porų sumažinimo, pagrinde užimamų vandeniu arba oru, mechaninės kompresijos būdu sukeliant apimties sumažėjimą) ir cheminių reakcijų (tolimesnis apimties sumažinimas kai intersticiniai vandenys lemia medžiagų nusodinimą nuosėdų porose), dažna filtru problema, medžiagos porų užsikimšimas kitomis. Dažnai užsikimšimas fiksuojamas ne nuo norimų sulaikyti teršalų dalelių. Stambiausios medžiagos poros, užsikemša smulkesnės medžiagos dalelėmis, iki tokio lygio, kad yra sumažinamas hidraulinis efektyvumas. Būtinos sąlygos gaminant mechaninius filtrus yra tokios, kad filtras turi gebėti išlaikyti vidutinius nuostolius net esant dideliam užsikimšimo lygiui (Evangelista et. al., 2019).

2.2 Modelio kūrimas (teorinis tyrimas)

Pirmuoju požiūriu klasikinės skysčių mechanikos sąvokos buvo naudojamos siekiant sukurti ryšį tarp hidraulinio laidumo ir porėtos terpės savybių. Apžvalga apsiriboja tik klampių atsparumo modelių, skirtų prognozuoti grūdėtos akytosios terpės prisotintą hidraulinį laidumą (Singh and Verma, 2010).

Pusiausvyros ir nuo laiko priklausantys adsorbcijos pajėgumai buvo apskaičiuojami pagal šias lygtis:

Adsorbcijos geba:

$$Q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \cdot V \tag{2.1}$$

Adsorbcijos procentinė dalis buvo apskaičiuota naudojant toliau nurodytus metodus ir lygtis.

$$Q_e = \frac{C_0 - C_t}{C_0} = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \cdot 100\% \tag{2.2}$$

Čia:

C_0, C_t, C_e – atitinka adsorbatų koncentracijas (mg/L) atitinkamai pradžioje, laiku t ir pusiausvyroje, A_0 ir A_t – adsorbatų absorbciją koncentracijose C_0 ir C_t, Q_e – adsorbcijos pajėgumas pusiausvyrą ir laiku, m – adsorbento masę, V – tirpalo tūri (Islama et. al. 2018).

Fluido tekėjimas poringoje teprėje matematiškai išreiškiamas diferencialinių lygčių sistema – *Darsy* dėsniu ir masės balanso lygtimi:

$$\vec{q} = -K(S) \cdot (\nabla p + \rho g \nabla z) \tag{2.3}$$

Čia 2.3 lygtis gali būti užrašyta taip:

$$\frac{\partial(nS)}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{u} = q \quad (2.4)$$

Čia:

$\vec{q}$- *Darsy* greitis (tekėjimas), K- hidraulinis laiduma, S – teršalų kiekio santykis su kietos medžiagos, kurioje sorbuojami teršalai, kiekiu, p – slėgis, ρ – tankis, g- laisvojo kritimo pagreitis, z – aukštis, n – poringumas, $\vec{u}$ – vidutinis skysčio tekėjimo greitis.

Toliau šias lygtis išreiškia ryšys tarp prisotinimo ir slėgio, kuris nusakomas remiantis Van Genuchten kreive:

$$S(p) = \frac{1}{(1+\alpha|p|^m)^{\frac{m-1}{m}}}, kai\ p \leq 0 \quad (2.5)$$

Nuo prisotinimo laidumo priklausomybė nustatoma santykio:

$$K(S) = K \cdot S^3 \quad (2.6)$$

Medžiagos dispersija esant pastoviam vidutiniam savitajam tankiui, vykstant sorbcijai:

$$div(k \cdot gradc) - div(vc) = \frac{\partial c}{\partial t} + \rho_S \frac{1-n}{n} \frac{\partial S}{\partial t} \quad (2.7)$$

Čia:

c - teršalų koncentracija, k – dispersijos koeficientas, n – poringumas, S- teršalų kiekio santykis su kietos medžiagos kiekiu, v – greitis porose, t – laikas, ρ_S – santykinė kietos medžiagos masė (Baltrėnas ir Vaišis, 2007).

Vienas iš svarbiausių bedimensinių konstantų hidrodinamikoje yra Reinoldso skaičius. Esant mažiems Reinoldso skaičiams srautas yra laminarinis, o prie didelių Reinoldso skaičių jis tampa turbulentišku. Jis naudojamas, kartu su Oilerio skaičiumi, aprašant srautų judėjimo panašumą.

Reinoldso skaičiaus išraiška:

$$Re = \frac{pv_s^2/L}{\mu v_s/L^2} = \frac{pv_sL}{\mu} = \frac{v_sL}{\nu} \quad (2.8)$$

Čia: vs – tai skysčio greitis, (m s^{-1}); L – charakteringas sistemos ilgis, (m) μ – skysčio dinaminės klampos koeficientas, (N s m^{-2}) arba (Pa s); ν – skysčio kinematinės klampos koeficientas; ρ – skysčio tankis, (kg m-3).

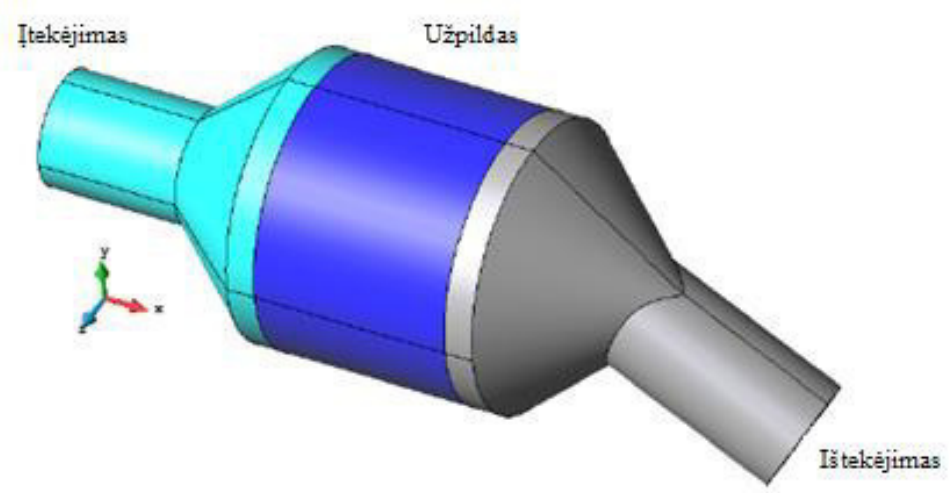
Iki Re < 2200 srautas yra laminarinis.

Ties Re = 2200 srautas alternuoja tarp turbulentiniu ir laminarinio. Tai taip vadinamas pereinamasis srautas.

Virš Re > 2200 srautas visiškai turbulentinis.

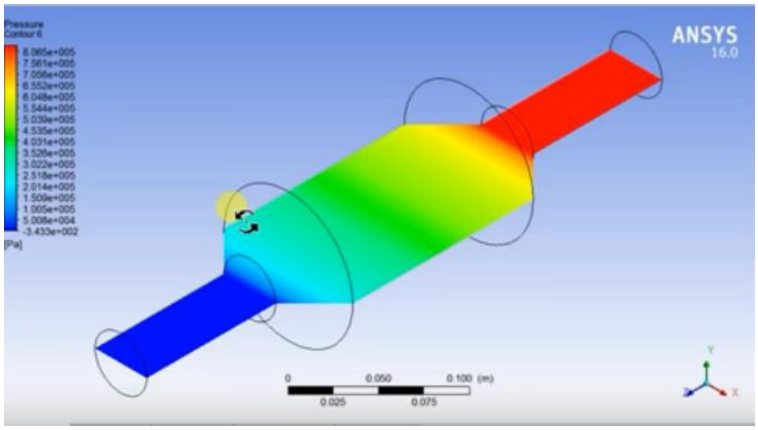
Hidraulinis laidumas yra vienas iš kintamiausių ir dar svarbiausių aplinkos inžinerijos parametrų, įvertinant užterštumo trukmę vandenyje. Be to, tai yra vienas iš sunkiausių parametrų, kuriuos reikia nustatyti, ir kuris tiesiogiai veikia vandens tėkmę. Hidraulinis laidumas yra fizinė savybė, kuri žymi medžiagos gebėjimą leisti vandens srautą, esant hidrauliniam gradientui. Šią savybę įtakoja skysčio tankis ir klampumas, sodrumo laipsnis ir medžiagos pralaidumas. Hidraulinis laidumas apibrėžiamas kaip greičio santykį su taikomu hidrauliniu gradientu.

Norint stebėti aktyviosios anglies hidraulinį laidumą sukurtas „ANSYS Fluent Flow“ poringos terpės filtro modelis remiantis „ANYSYS“ modelių kūrimo metodika (2.6 pav.).



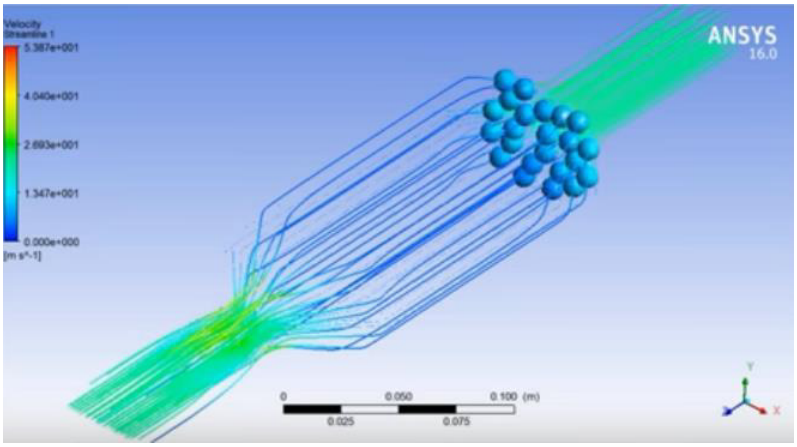
2.9 pav. Kuriamo filtro modelis (Modeling flow..., 2009)

Akytasis terpės modelis gali būti naudojamas įvairioms vienfazėms ir daugiafazėms problemoms, įskaitant srautą per uždarus latakus, filtravimo popierių, perforuotas plokštes, srauto skirstytuvus ir įvairius vamzdžius. Naudodami šį modelį, apibrėžiate porų zoną, kurioje taikomas porėtos terpės modelis, o srauto nuostoliai yra nustatomi naudojant pasirinktas įvestį.



2.10 pav. Slėgio veikimas porėto užpildo modelyje (Modeling flow..., 2009)

Kadangi fiziškai esantis tūrio užsikimšimas nėra pateikiamas modelyje, pagal nutylėjimą „ANSYS FLUENT“ naudoja ir praneša apie paviršinį greitį porėtos terpės viduje, remdamasi tūrio srautu, kad užtikrintų greičio vektorių tęstinumą per porėtą terpę. Kaip tikslesnę alternatyva, galima nurodyti „ANSYS FLUENT“ naudoti tikrąjį (fizinį) greitį akytojoje terpėje.



2.11 pav. Tekėjimo greičio pokytis porėto užpildo modelyje (Modeling flow..., 2009)

Skysčių tekėjimo greitis taip pat įtakoja skysčių savybes, nes esant lėtai tėkmei inerciją galima ignoruoti. Šis tekėjimo rėžimas yra labai svarbus mažų dalelių tėkmei, kaip tekėjimas akytoje medžiagoje. Kai tekėjimo greitis didėja, inercija tampa svarbi, bet kiekviena skysčio dalelė juda tiesia. Didinant tėkmės greitį, tėkmė tampa nestabili ir tai generuoja daug atsitiktinių tekėjimo tipų vadinamu turbulencija. Pirmas žingsnis skysčių tekėjimo modeliavime yra apsibrėžti ir sukurti skysčio tėkmės geometriją. Geometrija iš esmės aprašo kokiu kontūru tekės skystis, taip pat dažnai braižant geometriją jau žinoma ir tekėjimo kryptis – į ką atsižvelgiama jau braižant geometriją – ją atitinkamai optimizuojant. Skysčių modeliavimo rezultatai dažniausiai pateikiami grafiškai, kad būtų lengviau įžvelgti vykstančius procesus ir gautų rezultatų prasmę, nes dažniausiai tik skaitinės

rezultatų reikšmės neapibūdina vykstančių procesų, nes net ir pats rezultatas dažniausiai pateikiamas kaip kontūras. Modelio kūrimo žingsniai pateikiami Prieduose.

Su „COMSOL Multiphysics“ programa sudaromas porų modelis. Imituojant srautą akytose terpėse, gali būti veiksmingai sukurtas supaprastintas tikros porėtos medžiagos geometrinis modelis naudojant homogenizuotą makroskopinį metodą. Poringumas čia apibrėžiamas kaip porų erdvės tūrio dalis,kuri nustato paviršinį vidutinį greitį. Sprendžiant Navier-Stokeso lygtis (arba jos linijinį aproksimavimą mažiems Reynoldso skaičiams, vadinamiems Stokso srautu arba „lėtu“ srautu), mikroskopo geometrijoje, gali būti išgaunama porėtos terpės poringumas ir pralaidumas. Medžiagos 2D skerspjūvis gali būti gautas naudojant pvz., skenuojančio elektronų mikroskopo (SEM) vaizdą. Jeigu geometrija yra pernelyg sudėtinga arba ji yra ribota ir turi įtakos skiriamajai gebai, pasirenkamas jau esamas tos medžiagos modelis, tačiau priimama, jog modelis nebetampa toks tikslus.

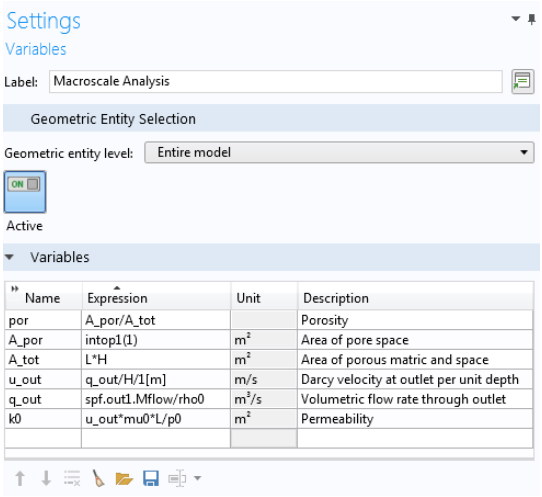
Poringumo apskaičiavimas

Pirmiausia apskaičiuojamas poringumas sudarytame 2D pavyzdyje. Apskaičiuojamas tiek bendras plotas, tiek plotas, kuris atvaizduoja skaičiavimo sritis.

Bendras plotas gali būti apskaičiuojamas kaip kintamasis:

$$A_tot = L*H \tag{2.8}$$

Kad nustatyti porų erdvės plotą, A_por, galima integruoti per srauto sritį. Tai galima lengvai pasiekti naudojant integracijos komponento sujungimą - pasirinktinį operatorių, kuris gali integruoti bet kurią išraišką per domenus, ribas ir dar daugiau. A_tot, A_por ir por skaičiavimui naudojami nustatymai pateikti žemiau 2.14 pav.



2.12 pav. Kintamųjų, naudojamų skaičiuojant poringumą ir pralaidumą, aprašymai

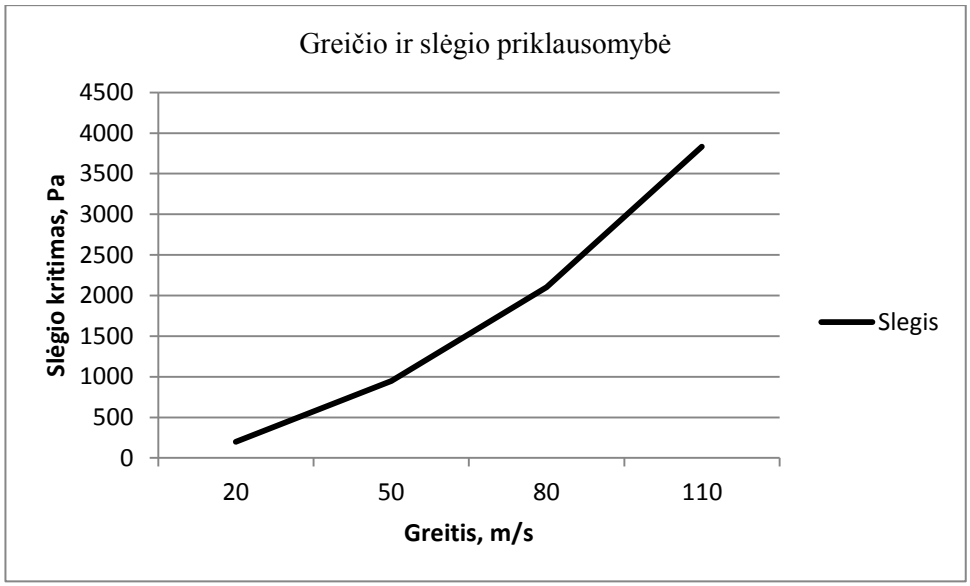
„Spf.out1.Mflow“ kintamasis apibrėžia masės srautą per išleidimo ribą, kurį galima padalyti pagal pastovų tankį ρ0, kad būtu galima gauti tūrinį srautą. Tai gali būti padalinta iš poringos terpės aukščio ir gautas „Darcy“ greitis x kryptimi.

Norint pasiekti slėgio kritimą per porėtą terpę, poringos terpės koeficientai nustatomi šios formulės pagalba:

$$\Delta p=0{,}27394v^2+4{,}68816v \tag{3.1}$$

Čia:

Δp – slėgio kritimas, Pa; v – greitis, m/s.

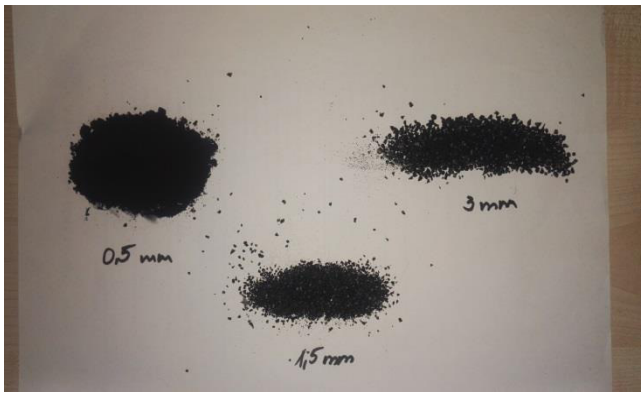


2.13 pav. Greičio ir slėgio mažėjimo priklausomybe

Slėgio kritimas yra proporcingas skysčio greičiui (arba greičiui kvadratu). Slėgio kritimas apibrėžiamas kaip skirtumas tarp dviejų taškų skysčių perdavimo tinkle. Slėgio kritimas atsirado, trinties jėgų sukeltų srauto į paviršius. Slėgio sumažėjimą taip pat lemia ir vamzdžių šiurkštumas. Dėl didelio skysčių klampumo ir didelių srauto greičių gali sumažėti slėgis. Akivaizdu, kad filtrai, suprojektuoti pašalinti daleles ir kitas kliūtis iš skysčio, turės įtakos slėgio kritimui. Slėgio kritimo padidėjimas priklausys nuo tokių veiksnių kaip pvz., naudojamo sieto tipo ir užsikimšimo (Pereira et. al., 2016). Todėl filtro užsikimšimą galima sekti pagal slėgio kritimą.

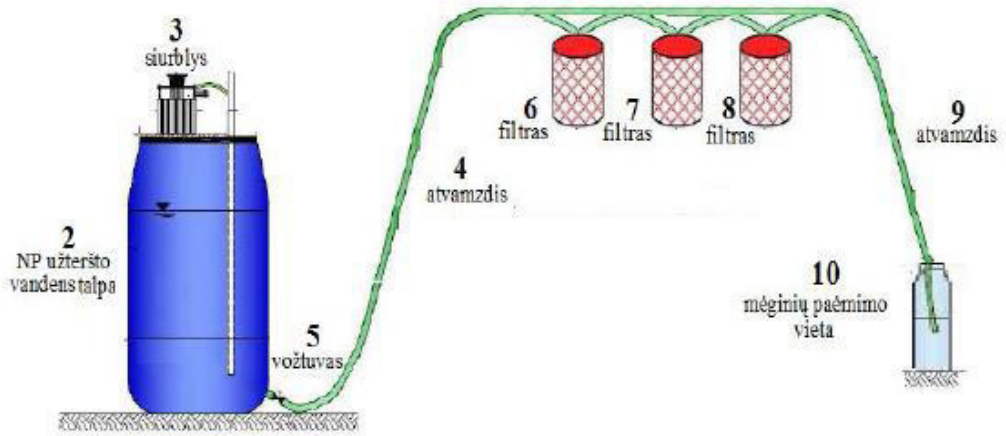
3 Anglies filtro eksperimentinių tyrimų eiga ir rezultatų analizė

Tyrimui buvo naudojama iš panaudotų padangų pirolizės būdu gauta aktyvuota anglis (3.1 pav.). Frakcija atskirta sietu iki 0,5 mm, 1,5 mm ir 3 mm. Frakcijos pasirinkimą tyrimui lėmė išnagrinėti ankščiau pasaulyje atlikti tyrimai.



3.1 pav. Skirtingos frakcijos aktyvuota anglis

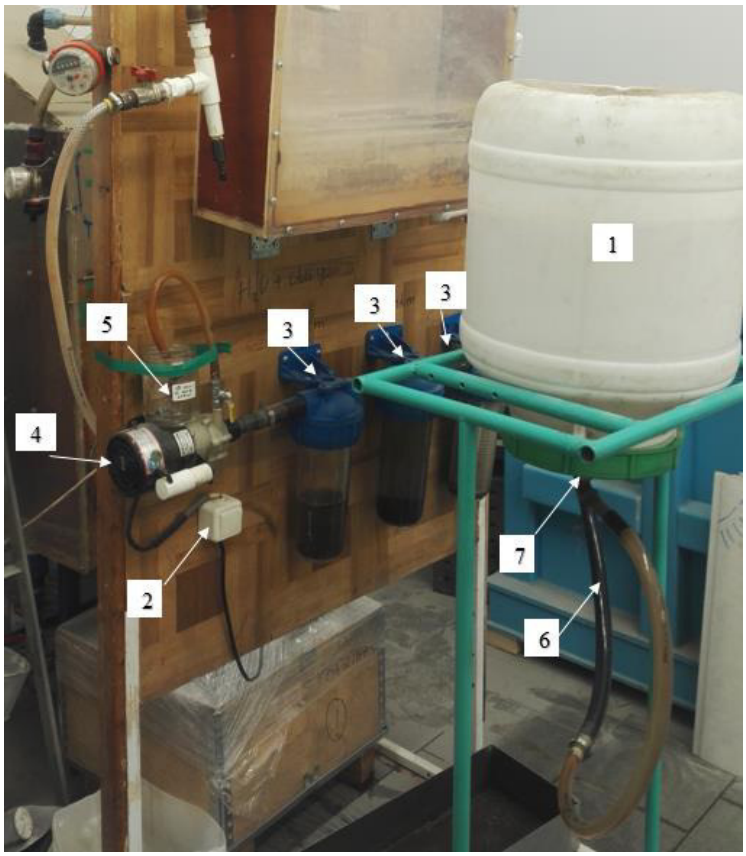
Pasirinkta principinę stendo schema (3.3 pav.), vandens ir naftos produktų (toliau nuotekos) mišinys laikomas talpoje (1), kurioje pastoviai maišomas tam, kad naftos produktai tolygiai pasiskirstytu vandenyje. Srovės ištekėjimo greitis vožtuvo (5) pagalba palaikomas vienodas. Nuotekos siurbliu (4) tiekiamas per atvamzdį (4) į filtrą (iš viršaus į apačią) su sorbentų užpildu (6,7,8), kurio masė bus sveriama su svarstyklėmis. Stendas parinktas pagal 3.2 pav. pavaizduotą schemą.



3.2 pav. Principinė stendo schema: 2 – NP užteršto vandens talpa; 3 – siurblys; 4 – atvamzdis (lanksti žarna); 5 – vožtuvas; 6 – pirmasis filtras; 7 – antrasis filtras; 8 – trečiasis filtras; 9 – atvamzdis; 10 – mėginių paėmimo vieta

Tyrimai buvo atlikti VGTU Mechanikos inžinerijos katedros Aplinkosauginių sistemų mokomojoje laboratorijoje, kur buvo panaudotas ankščiau laboratoriniams darbams atlikti specialus stendas imituojama vandens tarša (3.3 pav.). Stendas buvo perrinktas pagal poreikį ir pritaikytas numatytam paviršinių nuotekų užterštumo tyrimui.

Pradžioje siekiant nustatyti pastovų tekėjimo greitį ir sureguliuoti sistema, ji buvo išbandyta naudojant paprastą švarų vandenį. Srauto reguliavimas buvo atliekamas naudojant ultragarsinį debitomatį. Matavimai atliekami ant išorinės vamzdžio sienelės, be tiesioginio kontakto su vandeniu. DFX ultragarso Doplerio srauto matuoklis matuoja skysčių srautus, kuriuose yra suspenduotų dalelių. Suspensijos dalelės atspindi ultragarso energiją. DFX srauto matuoklis veikia perduodant ultragarso bangas į srautą ir matuojant atspindėtos bangos dažnį. Matuoklis pasirinktas dėl konstravimo paprastumo.



3.3 pav. Eksperimentinio stendo nuotrauka: 1 – NP užteršto vandens talpa; 2 – įjungimo/išjungimo mygtukas; 3 – nuosekliai sujungti filtrai; 4 – siurblys; 5 – mėginių paėmimo vieta; 6 - lanksti žarna, kuria NP užterštas vanduo tiekiamas į filtrus; 7 – vožtuvas

Pasiekti didelei naftos produktų koncentracijai buvo pasirinkta mašininė alyva ir lašinama į vandentiekio vandenį. Didžiausia leistina naftos ir jos produktų koncentracija 5 mg/l. Pagal

Lietuvoje taikomų tipinių nuotekų valymo įrenginių techninę dokumentaciją tyrimams pasirinktas vidutinis 15 m/h filtravimo greitis (atitinkamai pagal sorbcinę medžiagą 1–30 m/h). Į 50 litrų talpą (3.3 pav.) (2) įpilama 30 litrų vandens, bei 100 ml naftos produktų. Naudojant siurblį (4) paruoštos nuotekos tiekiamos lanksčia žarna (6) į paruoštus ir užpildytus filtrus (3) filtruojant per 100 mm aukščio filtrą su iš padangų pagamintos aktyvintos anglies užpildu. Filtras iš viršaus ir apačios, kad sorbento dalelių neišplautų, ribojamas 0,02 mm tinkleliu. Filtravimo eksperimentai buvo kartojami po tris kartus siekiant rezultatų patikimumo.

Remiantis panašiais atliktais tyrimais pH buvo matuojamas „Ag/AgCl SympHony pH“ elektrodu (3.4 pav.). Masinis tankis buvo nustatomas padalinant sauso svorio filtro terpę pagal apimtį. Dalelių tankis nustatytas 25 g mėginio dalijant atitinkamu daleliu tūriu, išskyrus poras. Dalelių tūris, išskyrus poras, buvo nustatytas naudojant skysčio panardinimo metodą, kai dejonizuoto vandens tūrį pakeitė matuotos dalelės.

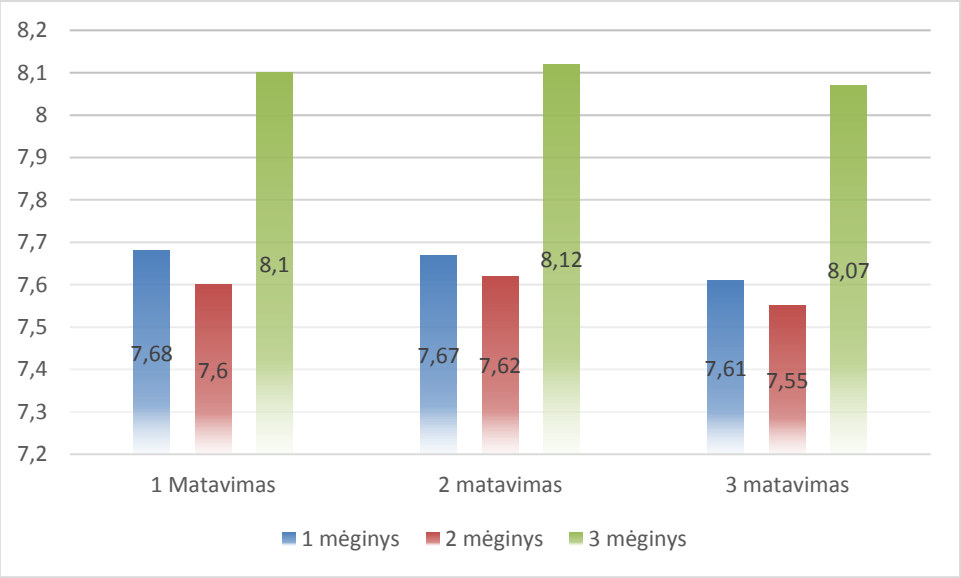


3.4 pav. „Ag/AgCl SympHony pH” elektrodas

Visi minėti tyrimai atlikti akredituotoje vandens tyrimų laboratorijoje UAB „Ekometrija“.

PH turi labai svarbų poveikį adsorbcijos procesams skystoje fazėje. PH iš tiesų turi įtakos paviršiaus chemijai ir paviršiaus įkrovimui. Pavyzdžiui, esant žemam pH, paviršius yra teigiamai įkrautas, todėl adsorbcijos katijonų veikimas bus mažas dėl atitinkamo elektrostatinio slopinimo. Paprastai rekomenduojama neutralizuoti adsorbento pH po jo paruošimo. Adsorbcijos procesas yra labai jautrus pH ir veikia pH. Taigi, prieš naudodamiesi aktyvintomis anglimis kaip adsorbentas bet kokiame procese, jis turėtų būti neutralizuotas. Jei naudojate tą patį adsorbentą, bus sunku atskirti, ar adsorbcijos reiškinį veikia adsorbento pH arba tirpalo pH. Darbinio tirpalo šarmingumas ir rūgštingumas daro didelį poveikį adsorbcijos procesui, tačiau jis priklauso tik nuo adsorbato.

Apskritai pastebima, kad maksimali adsorbcija vyksta rūgštinėje terpėje. Šio tyrimo metu gauti rezultatai pateikiami 3.2 pav.



3.5 pav. pH pokytis vandens mėginiuose

PH pokytis matuotas 3 skirtinguose vandens ėminiuose. 1 mėginys imtas krano vandens, 2 mėginys imtas vandenį užteršus naftos produktais ir 3 mėginys imtas po vandens valymo aktyvuota anglimi. Gauti rezultatai nors ir nežymiai rodo, jog pH didėja valymo metu į šarminę pusę.

Paimti mėginiai pristatyti į akredituotą vandens tyrimų laboratoriją UAB „Ekometrija“. Mėginiai buvo imami kas 5 min remiantis ankstesne tokių tyrimų praktika. Tyrimų rezultatai pateikiami 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Nuotekų užterštumo naftos produktais tyrimų rezultatai

Bandymo numeris / **Mėginio numeris**	**1 bandymas (3 mm) mg/l**	**2 bandymas (1,5 mm) mg/l**	**3 bandymas (0,05 mm) mg/l**
1 (po 5 min)	0,12	0,10	0,08
2 (po 10 min)	0,17	0,16	0,14
3 (po 15 min)	0,28	0,26	0,22
4 (po 20 min)	0,35	0,31	0,25

Atlikus nuotekų užterštumo naftos produktais tyrimus nustatyta, kad naftos produktų koncentracija vandenyje kinta ir laiko ir užpildo frakcijos dydžio atžvilgiu. Nustatyta jog didžiausias išvalymo efektyvumas pasiektas po 5 min su 0,05 mm frakcijos aktyvuota anglimi, o mažiausias su 3 mm anglimi po 20 min.

3.2 lentelė. Adsorbcinės gebos rezultatai

Aktyvuotos anglies frakcija (mm)	**Sorbcinė geba, (g/g)**			
	5 min	**10 min**	**15 min**	**20 min**
0,50	4,81	4,78	4,62	4,15
1,50	4,95	4,82	4,73	4,55
3,00	**5,25**	5,21	5,01	4,77

Nustatyta didžiausia aktyvintos anglies sugėrties geba yra – 5,25 g/g, kai frakcija siekia 3 mm. Tačiau teoriškai aktyviosios anglies adsorbcija beveik visada pagerėja dėl ilgesnio kontakto laiko. Rezultatų įtakai turi tekėjimo greitis

Atsižvelgiant į laiko kaitą, didžiausia adsorbcinė geba pasiekiama ties 5 minutėmis, po to aktyvinta anglis ima įsisotinti ir sorbcinė geba mažėja. Paskaičiuojamas išvalymo efektyvumas:

$$E = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

Čia:

C_{in}- įtekančio teršalo koncentracija, C_{out}- ištekančio teršalo koncentracija.

$$E = \frac{2600 - 0{,}15}{2600} \cdot 100\% = 99{,}994\ \%$$

Aktyvuota anglis po panudojimo filtre buvo regeneruojama. Regeneracijos būdas pasirenkamas pagal ankščiau išnagrinėtą literatūrą.

Iš filtro paimti aktyvintos anglies mėginiai buvo kaitinami elektrinėje laboratorinėje krosnyje SNOL 30/1100 Aplinkos inžinerijos fakulteto Vandentvarkos laboratorijoje. Bandiniai buvo deginami 400 ℃ temperatūroje 30 min. Po to paliekami atvėsti 2 val.

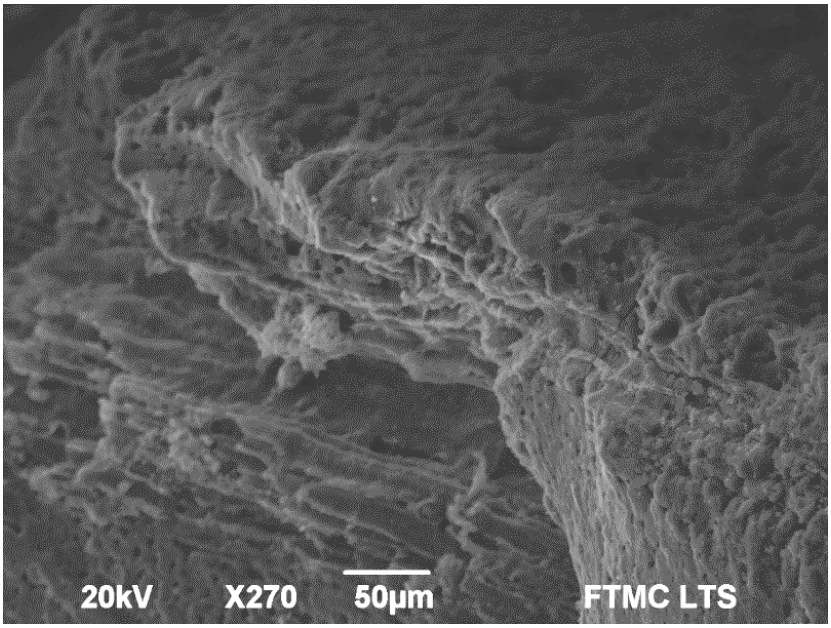


3.6 pav. Elektrinė krosnis SNOL 30/110

Bandiniai buvo sveriami prieš ir po deginimo ir fiksuojamas aktyvintos anglies masės pokytis. Nustatyta, jog po bandinio regeneracijos (deginimo) jo masė sumažėjo 3,2402 g.

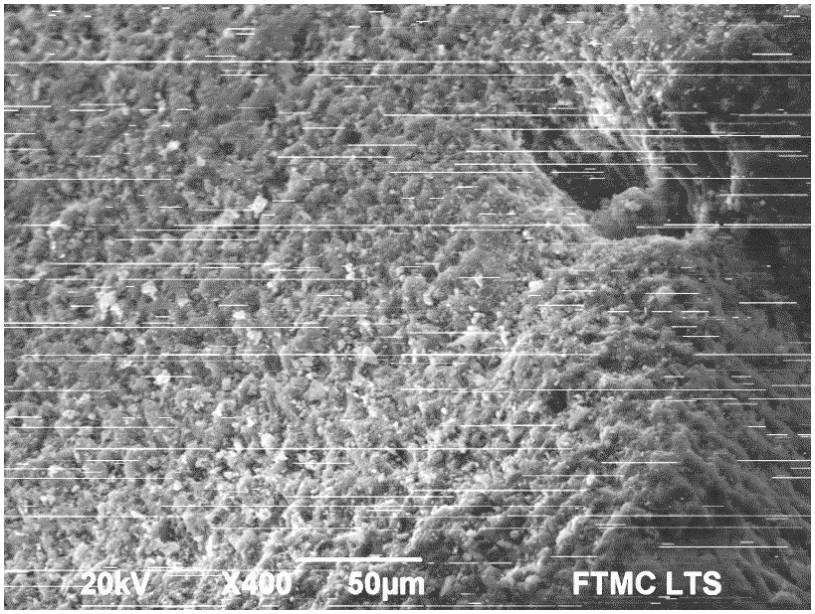
Vidutiniai porų skersmenys siekė nuo 58,1 iki 76,9 μm. Jų paviršiaus plotas svyruoja nuo 413 iki 416 m2 g^{-1}, o bendras porų tūris svyravo nuo 0,201 iki 0,204 cm3 g^{-1}, aktyvintos anglies paviršiuje dominavo mikroporų kiekis, tai sudarė apie 60% visų porų. Anglies įkrova turi stiprų atsparumą karščiui ir atsparumą korozijai, bei ją yra labai sunku degraduot.

Norint stebėti aktyvintos anglies porų pokyčius po naftos produktais užterštų nuotekų filtravimo ir po regeneracijos buvo panaudotas skenuojantis elektroninis mikroskopas (SEM). Rezultatai vaizduojami 3.7–3.9 pav.



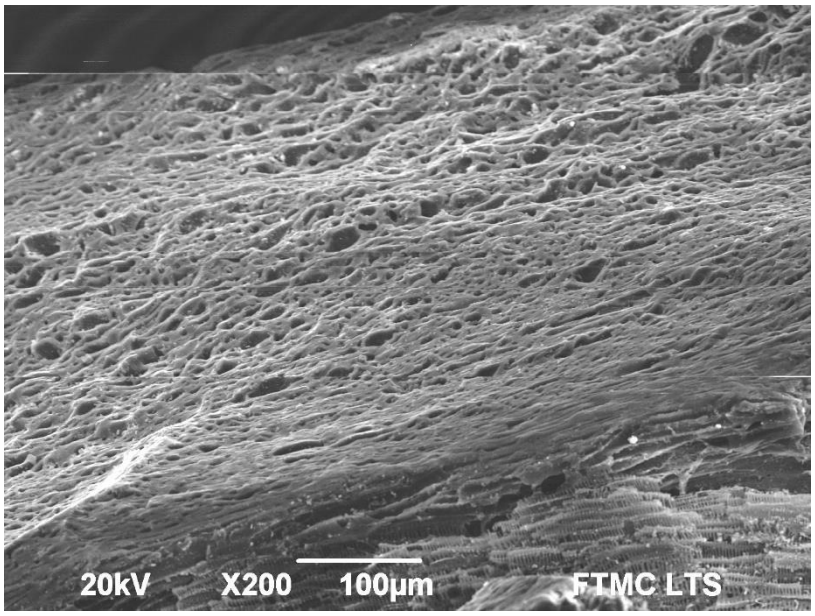
3.7 pav. Aktyvuota anglis prieš naudojimą filtre (naudojant SEM)

Iš SEM atliktos nuotraukos matoma, jog aktyvuotos anglies grūdeliai yra pakankamai porėti ir tinkami užterštų nuotekų valymui. Tačiau lyginant su 2.3 pav. matomu aktyvintos anglies poringumu (kai anglis aktyvinta KOH tirpalu) šiame tiriamame objekte jis vizualiai mažesnis.



3.8 pav. Aktyvuota anglis po naudojimo filtre (naudojant SEM)

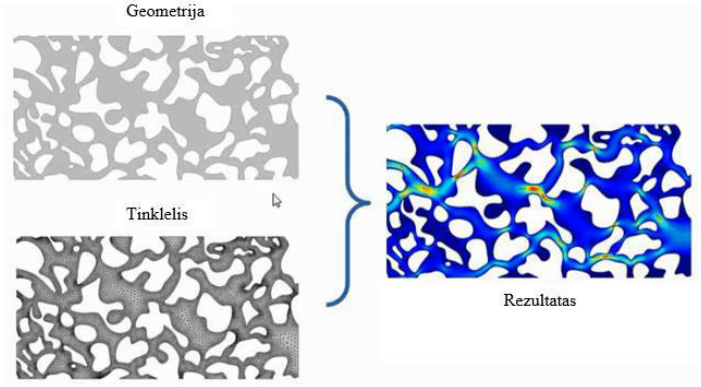
Aktyvintos anglies porų užsikimšimas naftos produktais fiksuojamas 3.8 pav. Dėl didelio paviršiaus šiurkštumo ir elektronų lauko atsiranda trukdžių norint užfiksuoti kokybišką vaizdą. Nuotraukoje vizualiai fiksuojamos naftos dalelės aktyvintos anglies paviršiuje.



3.9 pav. Aktyvuota anglis po regeneracijos (naudojant SEM)

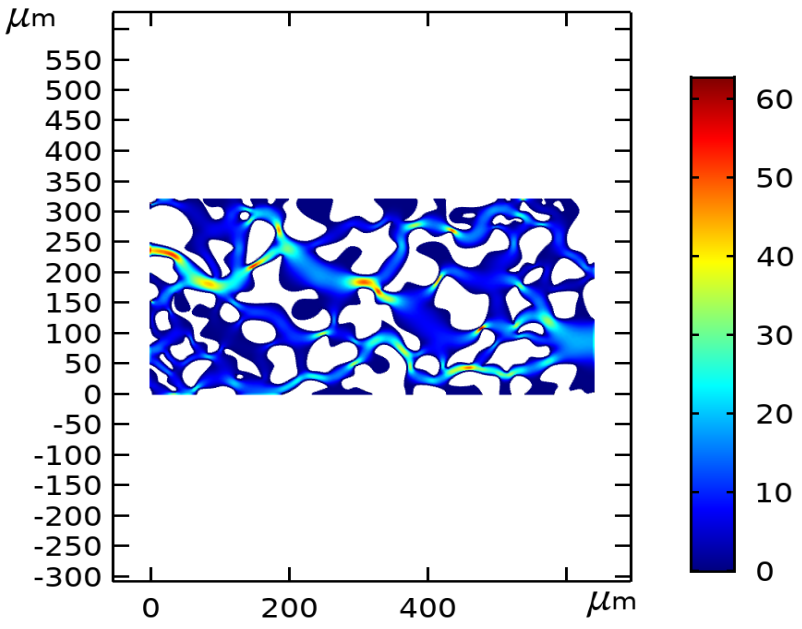
3.9 pav. Aktyvuota anglis po regeneracijos. Regeneracija atlikta 400 ℃ temperatūroje kaitinant slėginėje krosnyje apie 30 min. Pasiektas rezultatas SEM nuotraukoje matomas ryškiai. Naftos produktų teršalai nebefiksuojami aktyvintos anglies porose. Galima teigti, jog aktyvinta anglis pakartotinai gali būti panaudojama paviršinių nuotekų filtruose.

Tolesnis tyrimas atliktas naudojant „COMSOL Multiphysics“ sudarant poringos terpės modelį. Dažniausiai siekiant tikslesnių rezultatų modelio geometriją galima nusibraižyti panaudojus SEM gautas nuotraukas. Šiuo atveju dėl modelio geometrijos sudarymo sudėtingumo pasirenkamas standartinis porų struktūros modelis. Vizualiai modelis yra mažiau tikslus, tačiau įvesties parametrai leidžia gauti tikslius rezultatus.



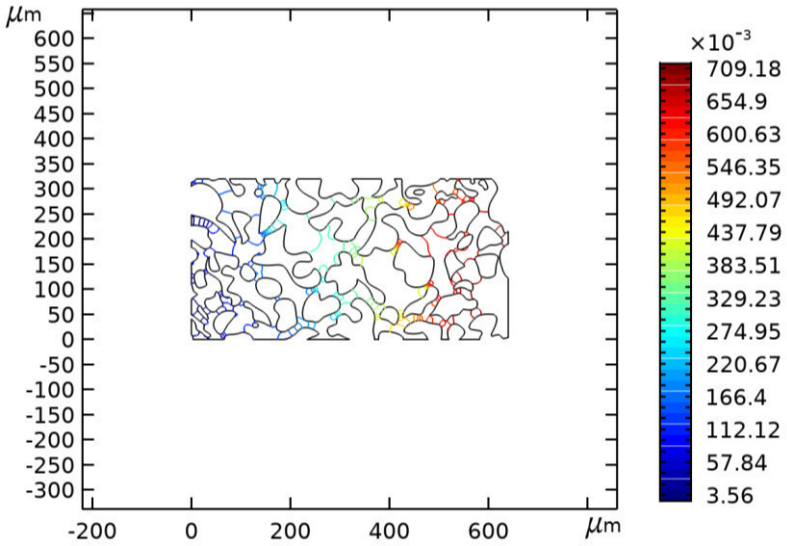
3.10 pav. Kairėje: Porėtos medžiagos geometrija, žemiau sudarytas tinklelis ir Dešinėje: greičio dydis nusakomas spalvų gama su raudona rodykle, atspindinčia srauto kryptį per porėtą erdvę

Slėgio kritimas taikomas iš dešinės į kairę, naudojant įėjimo ir išleidimo sąlygas. Kadangi šis modelis yra reprezentatyvus porėtos terpės, kurią norima apibūdinti, skerspjūvis, išilgai ribų, nustatoma simetrijos ribos. Dešinėje pusėje esantis vaizdas rodo rezultatus, vaizduoja naudotą greičio dydžio spalvų diagramą su srauto krypties rodyklėmis (2.13 pav.).



3.11 pav. Tekėjimo greičio pasiskirstymas poringoje medžiagoje ($\mu m/s$)

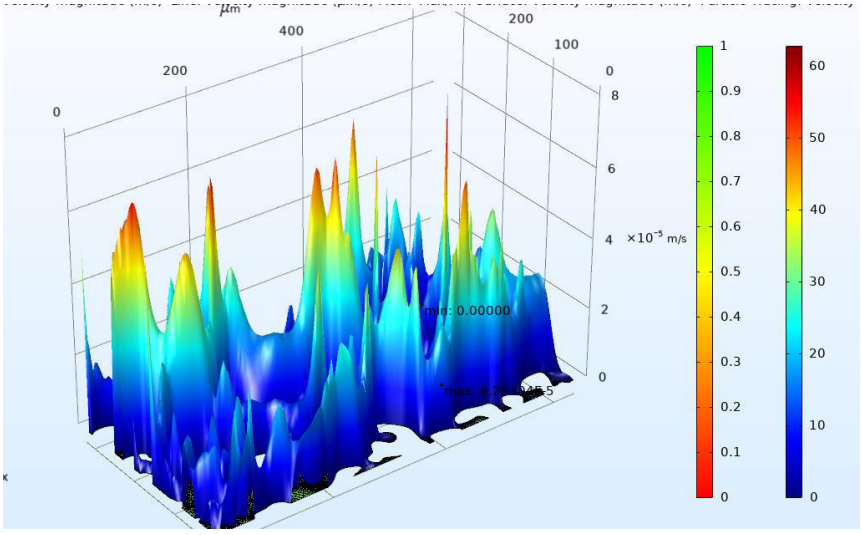
Pateikiami modelio rezultatai skysčio tekėjimo greičio atžvilgiu poringoje terpėje. Maksimalus tekėjimo greitis apie 60 $\mu m/s$ fiksuojamas modelio viduryje ir juda iš dešinės į kairę, kaip ir modelyje vyksta slėgio kritimas. Vadinasi tekėjimo greitis yra proporcingas slėgio kritimui.



3.12 pav. Slėgio pasiskirstymas poringoje medžiagoje (Pa)

Eksperimentiniai duomenys, gauti esant slėgio kritimui prieš greitį per porėtą komponentą, gali būti ekstrapoliuoti, kad būtų galima nustatyti porėtos terpės koeficientus.

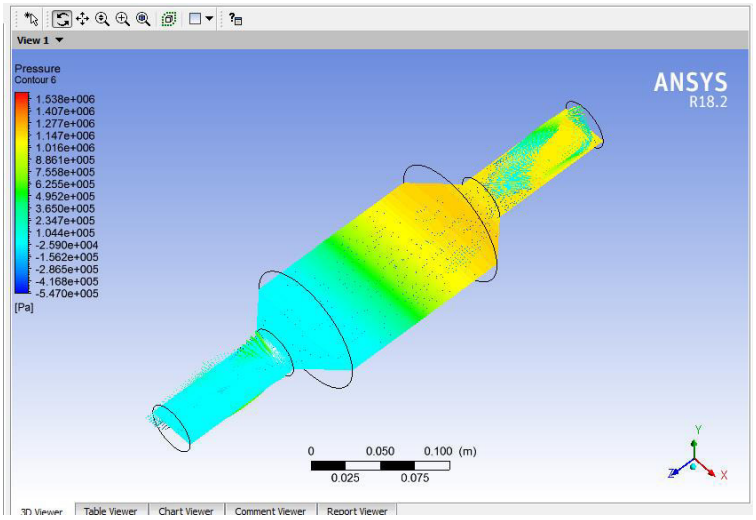
3.13 pav. vaizduojamas 3D skysčio tekėjimo greičio pasiskirstymas poringoje terpėje. Iš kairės į dešinę pirma skalė vaizduoja srauto bangos aukštį μm, o antra skalė greičio pasiskirstymą $\mu m/s$



3.13 pav. 3D skysčio tekėjimo greičio pasiskirstymas poringoje medžiagoje

Remiantis visais gautais rezultatais sudaromas ir pačio filtro matematinis modelis su „ANSYS“ programa. Parenkant fizikinį 3D modelį pradedama fizikinės problemos analizė.

Nustatomos medžiagos savybės fluidui ir užduodamos atitinkamos pradinės ir kraštinės sąlygos. Pasirinktas modelis diskretizuojamas ir gaunamas rezultatas yra srautų laukų grafinis atvaizdavimas. Grafiniui atvaizdavimui naudojami kontūro, vektorinių, pjūvių paveikslėliai. Detalus modelio sudarymo ir parametrų parinkimo aprašas pateikiamas Prieduose.

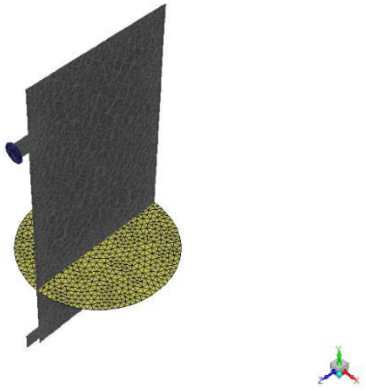


3.14 pav. 3D skysčio slėgio pasiskirstymas principinio filtro modelyje

Pagal gautus duomenis sudarytas modelis patvirtina teorinio tyrimo metu gautus rezultatus. Vizualiai filtre fiksuojamas slėgio kritimas per porėtą terpę, kurį patvirtino ir „COMSOL Multiphysics“ sudarytas modelis. Atitinkamai pagal 3.13 pav. dešinėje yra įtekėjimas, o kairėje ištekėjimas.

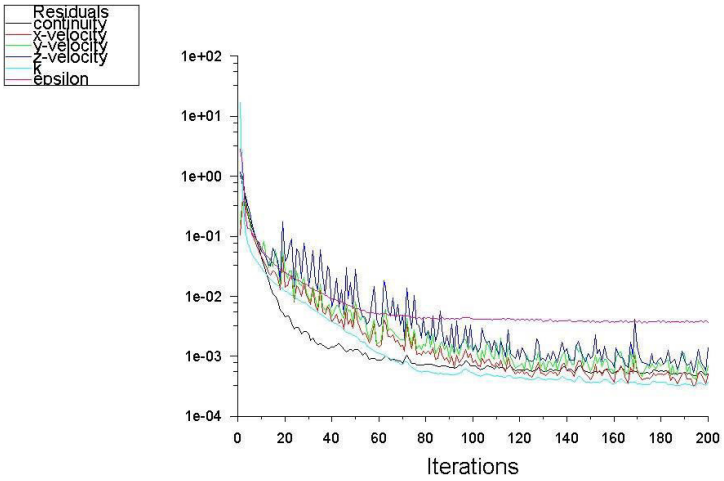
Modelis analogiškai sukuriamas kaip pirmasis. Geometrija nubraižoma „SolidWorks“ programa ir Geometry lange importuojama į ANSYS. Siekiant padidinti modelio tikslumą atsižvelgiama į įtekėjimo angos diametrą ir slėgį.

Siekiant sukurti kuo realesnį paviršinių nuotekų filtrą buvo pasirinktas realesnis filtro modelis (3.15 pav.).



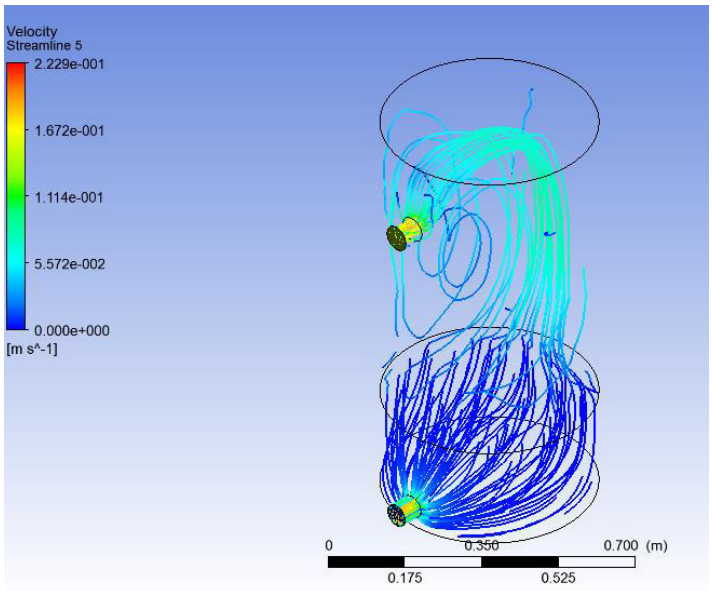
3.15 pav. Modelio pjūvis (Viršuje įtekėjimas, apačioje ištekėjimas)

Modelis sudarytas iš dviejų atskirų dalių. Viršutinė dalis talpa, o apatinė dalis imituoja filtrą. Programa paskaičiuojamos ir grafiškai pavaizduojamos iteracijos (pasirinkta 200 iteracijų). Iš 3.16 pav. esančio grafiko matyti, jog reakcija nusistovi.



3.16 pav. Iteracijos

Vizualiai tekėjimo greitis per porėtą terpę vaizduojamas (3.17 pav.).



3.17 pav. Skysčio tekėjimo kryptys

Pagal gautus rezultatus matyti tekėjimo greičio mažėjimas pasiekus porėtos terpės (filtro) aktyviąją zoną. Modelyje pasirinktas įtekėjimo greitis pasirinktas pagal paviršinėms nuotekoms rekomenduojamą įtekėjimo greitį į įrenginius ($v = 15m/s$).

Išvados ir rekomendacijos

Nuotekų valymas labai svarbus bet kurio pramoninio proceso metu. Jis užtikrina, kad vanduo atitiktų į aplinką išleidžiamų nuotekų reikalavimus, bei keliamus reikalavimus vandens pakartotiniam naudojimui įrenginiuose. Vandens pakartotinis naudojimas tampa vis svarbesnis, todėl aktyvioji anglis taps pagrindiniu vandens valymo elementu dėl savo universalumo. Kai kurioms pramoninėms nuotekoms prieš pakartotinį naudojimą arba išleidimą į paviršinius vandens telkinius gali prireikti papildomų valymo priemonių, tokių kaip UV dezinfekcija, atvirkštinis osmosas arba ultrafiltracija.

Rezultatai patvirtino, kad iš padangų pagaminta aktyvuota anglis gali būti naudojama žinomoms teršalų koncentracijoms šalinti. Teršalų koncentracija nuo 2,6 g/l sumažėjo iki 0,08 mg/l. Tai rodo jog aktyvintos anglies valymo efektyvumas siekia 99,994 %. Be to, šie rezultatai parodė, kad būtent tokia aktyvuota anglis yra tinkamas adsorbentas naftos produktams pašalinti vandens mėginiuose ir turi potencialą būti taikoma tikruose mėginiuose. Tyrimo metu pastebėta, jog adsorbcijos greitis yra greitesnis pradiniais laiko periodais. Literatūrinės analizės metu nustatyta, jog aktyvinta anglis gali būti naudojama aukštoje temperatūroje arba veikiant rūgščių, šarmų, alyvų tirpalais. Kadangi aktyvuota anglis filtruose linkusi dideti į šarminę pusę (7>pH).

Aktyvintos anglies adsorbentų, kuriuos gaunama fiziškai suaktyvinant CO_2, nėra gerai išvystyta poringa struktūra ir paviršiaus plotas. Tyrimai turėtų būti orientuoti į tekstūros optimizavimo parametrus. Tačiau dėl sistemos prisotinimo adsorbcijos pajėgumas ir veikimas sumažėjo. Be to po naftos produktų adsorbcijos aktyvintos anglies sorbentas gali būti regeneruojamas naudojant aukštą (>400℃ ne trumpiau 30 min.), tai rodo SEM atliktas aktyvintos anglies dalelių lyginamasis tyrimas. Pagal gautus rezultatus sudarius „COMSOL Multiphysics“ poringos terpės modelį pasitvirtino greičio ir slėgio pokyčio proporcingumas. Mažesnės frakcijos aktyvota anglis mažino vandens tekėjimo greitį. Esant 0,5 mm aktyvuotos anglies frakcijai vandens laidumas sumažėjo beveik 1,5 karto lyginant su 3 mm aktyvintos anglies užpildo laidumu. Filtro užsikimšimo laikas gali būti sekamas pagal slėgio kritimą filtre.

Atsižvelgiant į pasirinktos iš padangų pirolizės būdu gautos aktyvintos anglies tyrimo metu gautus parametrus svarbu:

- Atkreipti dėmesį į medžiagos aktyvinimo būdą;
- Vengti skendinčiomis medžiagomis užterštų paviršinių nuotekų dėl porų užsikimšimo, todėl privalo prieš filtrą būti atliktas pirminis nuotekų valymas;
- Norint pasiekti didžiausia filtro efektyvumą naudoti uždarą slėginį filtrą;
- Rinktis apvalesnes formos ir skirtingo dydžio aktyvintos anglies grūdelius;

- Naudoti slėgio kritimo jutiklius/matuoklius siekiant nustatyti filtro įkrovos keitimo laiką;
- Aktyvintos anglies regeneravimą atlikti kaitinant ją aukštoje temperatūroje (>400 ℃).

Literatūra

Activated Carbon for Waste Water Treatment. (n.d). Retrieved from https://www.donau-carbon-us.com/Downloads/Waste-Water-E.aspx

Activated carbon options. Water technology. (n.d). Retrieved from https://www.watertechonline.com/activated-carbon-options-0517/

Adsorption Parameters of Activated Carbon. (n.d). Retrieved from https://www.ecologixsystems.com/product-activated-carbon/

Aguiar-Moya, J.P., Vargas-Nordcbeck, A and Leiva-Villacorta, F. (2016). *Technology & Engineering. The Roles of Accelerated Pavement Testing in Pavement Sustainability.* Costa Rica: Springer.

Aktyvintos anglies gamyba. (2019). Prieiga per internetą http://www.sorbotech.lt/53,aktyvintos_anglies_gamyba

Aktyvuotos anglies rūšys ir panaudojimas. (2019). Prieiga per internetą http://www.sorbotech.lt/56,aktyvuotos_anglies_rūšys_ir_panaudojimas

Alkhatib, R. (2014). *Environmental Engineering: Development of an alternative fuel from waste of used tires by pyrolysis*. English: Ecole des Mines de Nantes.

Al-Rahbi A.S. and Williams P. T. (2016). Production of activated carbons from waste tyres for low temperature nox control. *Waste Management,* 10(1), 188–195.

Amri, N. B. (2008). *Reparation of activated carbons from waste tyres char impregnated with potassium hydroxide and carbon dioxide gasification*. Malaysia: Universiti Sains.

ANSYS Inc. (2009). Modeling Flow through Porous Media (version Release 12.0). Retrieved from http://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/tg/node126.htm

Aque filter. (n.d). Retrieved from http://aquafilter.com/en/

B. Jia and L. Zou. (2012). Graphene nanosheets reduced by a multi-step process as high-performance electrode material for capacitive deionisation. *Carbon 50,* (6) 2315–2321.

Baltrėnas P., Butkus D., Oškinis V., Vasarevičius S. ir Zigmontienė A. (2008). *Aplinkos apsauga*. Vilnius: Technika.

Baltrėnas, P. ir Vaišis, V. (2007). *Naftos produktų sorbentai aplinkosaugoje*. Vilnius: Technika.

Baral, D.R. and Kumar Jha, V. (2012). Preparation of activated charcoal adsorbent from waste tire. Scientific World. *Journal of Nepal Chemical Society*, Vol. 10, 80–81.

Bet surface area analysis of activated carbon. (n.d.). Retrieved from https://www.desotec.com/en/carbonology/carbonology-academy/bet-surface-area-analysisactivated-carbon

Dalahmeh, S., Ahrens, L., Gros, M., Wiberg, K. and Pell, M. (2018). Potential of biochar filters for onsite sewage treatment: Adsorption and biological degradation of pharmaceuticals in laboratory filters with active, inactive and no biofilm. *Science of the Total Environment,* 612 (1), 192–201.

Danny, C.K. Ko., Mui, L.K.E., Lau, K.S.N. and McKay, G.. (2004). Production of activated carbons from waste tire – process designand economical analysis. *Waste Management*, 24 (1), 875–888.

Dimpe, K. M., Ngila, J. C. and Nomngongo, P. N. (2017). Application of waste tyre-based activated carbon for the removal of heavy metals in wastewater. *Jurnal Cogent Engineering*, 4.

Europos Sąjungos oficialusis leidinys: Komisijos pranešimas – Atliekų klasifikavimo techninės gairės (2018), Vilnius.

Evangelista, S., Viccione, G. and Siani, O. (2019). A new cost effective, long life and low resistancefilter cartridge for watertreatment. *Journal of water process engineering* 27, 1–14.

Fares, R., Aissa, A., Bouadi, A. and Lounis, M. (2018). Biological Treatment of Wastewater by Addition of Activated Carbon Powder (CAP). *Journal of Waste Recycling,* 3, 1–2.

Feasibility Analysis Report on Extracting Carbon Black and Oil from Small Rubber Pyrolysis Plant. (2017). Retrieved from https://bestonpyrolysisplant.com/feasibility-analysis-report-extracting-carbon-black-oil-small-rubber-pyrolysis-plant/

Forrest, M. J. (2014). Recycling and Re-use of Waste Rubber. *Research gate publication,* 10(1), 241–250.

Gaminiai UAB „Metaloidas“. (n.d.). Prieiga per internetą http://www.metaloidas.lt/gumos-gaminiai/

Gupta, V. K., Ali, I., Saleh, A. T., Siddiqui, M. N. and Agarwal, A. (2012). Chromium removal from water by activated carbon developed from waste rubber tires. *Environmental Science and Pollution Research,* 3,1261–1268.

High Quality Activated Charcoal for Waste Water Treatment in Stock. (2017). Retrieved from https://shanxihiram.en.made-in-china.com/product/oXVEbzOcElRk/China-High-Quality-Activated-Charcoal-for-Waste-Water-Treatment-in-Stock.html>

Islama,Md. T., Saenz-Aranaa,R., Hernandeza, C., Guintoa,T., Ahsana, M. A., Bragga,D. T., Wangc, H., Alvarado-Tenoriod, B. A. and Noverona, J. C. (2018). Conversion of waste tire rubber into a high-capacity adsorbent for the removal of methylene blue, methyl orange, and tetracycline from water. *Journal of Environmental Chemical Engineering,* 6, 3070–3082.

Kazlauskienė, A. (2007). *Kelių priežiūrai naudojamų druskų įtakos aplinkai tyrimai ir vertinimas*. Daktaro disertacija. Vilnius: VGTU.

Kerševičius, V. (2002). *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba. Gumos atliekos – statybinių medžiagų žaliava: techniniai ir ekonominiai utilizavimo aspektai*. Vilnius: Technika.

Kumar Jha, V. and Subedi, K. (2011). *Preparation of Activated Charcoal Adsorbent from Waste Tire*. Central Department of Chemistry, Tribhuvan University.

Liang, R., Hu, A., Hatat-Fraile, M. and Zhou, N. (2014). *Fundamentals on adsorption, membrane filtration, and advanced oxidation processes for water treatment.* Lecture Notes in Nanoscale Science and Technology, vol 22: Springer.

Lietuvos geologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos. (2009). *Užterštų teritorijų valymo metodų apžvalga*.Vilnius.

Lietuvos respublikos aplinkos ministro 2006 m. gegužės 17 d. įsakymas Nr. D1–236 „Dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“, *Valstybės žinios, Nr. 59–2103*.

Malamis, S.and Katsou, E. (2013). A review on zinc and nickel adsorption on natural and modified zeolite, bentonite and vermiculite: Examination of process parameters, kinetics and isotherms. *Journal of Hazardous Materials.* 428-461.

Martínez, J. D., Murillo, R. and García, T. (2013). *Production of carbon black from the waste tires pyrolysis*. Spain: Instituto de Carboquímica Miguel Luesma Castán.

Mastral, A.M., Murillo, R., Callen, T., Carcia, T. and Snape, C.E.. (2000). Influence of process variables on oils from tire pyrolysis andhydropyrolysis in a swept fixed bed reactor. *Energy & Fuels* 14 (4), 739–744.

Maziliauskas A., Adamonytė I., Gegužis R. ir Grinis V. (2010). *Paviršinių nuotekų tvarkymas ir jo poveikis vandens telkiniams.* ISSN 1648–116XLŽUU Mokslo darbai. Nr. 87 (40).

Nisa, D. E. and Nisa, E. (2017). Enhanced Salt-removal Percentage in Capacitive Deionization of NaCl Solutions with Modified Activated Carbon Electrodes by HNO_3. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering,* 214.

Nuzaimah,M., Sapuan, S. M., Nadlene, R. and Jawaid, M. (2018). Recycling of waste rubber as fillers: A review. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering,* 368.

Pereira, T. W. C., Marques, B. F., Pereira, F. de A. R., Ribeiro, D. da C., Rocha, S. M. S. (2016). The influence of the fabric filter layout of in a flow mass filtrate. Journal of Cleaner Production, Part A, 117–124.

Porous Media Conditions. ANSYS. Retrieved from http://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/node233.htm?fbclid=IwAR2xSnlx24zvigTP99DLbsF_iFslfptZLk0gap3l5cSDt_roOk0eG1TMjK4

Purakayastha, P.D., Pal, A. and Bandyopadhyay, M. (2005). Adsorbent selection for anionic surfactant removal from water. *Indian Journal of Chemical Technology*. Vol. 12, 281–284.

Sakellariou-Makrantonaki, M., Angelaki, A. and Evangelides, C. (2016). Experimental Determination of Hydraulic Conductivity at Unsaturated Soil Column. *International Conference on Efficient & Sustainable Water Systems Management toward Worth Living Development*. Greece: Springer.

Singh, R. S. and Verma, C. L. (2010). A viscous resistance model for estimating hydraulic conductivity of soils. *Proc Indian Natn Sci Acad,* 76, 41–52.

Smithers Rapa 3 Overview of the World Rubber Recycling Market. Retrieved from https://www.smithersrapra.com/SmithersRapra/media/Sample-Chapters/Recycling-and-Re-use-of-Waste-Rubber.pdf>

Sun, J., Wang, W. and Ma, C. (2012). Kinetic Study of the Pyrolysis of Waste Printed Circuit Boards Subject to Conventional and Microwave Heating. *Energies,* 5(12), 3295–3306.

Teng, H., Lin, Y. C. and Hsu, L. Y. (2000). Production of Activated Carbons from Pyrolysis of Waste Tires Impregnated with Potassium Hydroxide. *J. Air & Waste Manage. Assoc*. 50, 1940–1946.

Thomsen, T., Hauggaard-Nielsen, H., Bruun, E., and Ahrenfeldt, J. (2011). The potential of pyrolysis technology in climate change mitigation – influence of process design and – parameters, simulated in SuperPro Designer Software. *Roskilde: Danmarks Tekniske Universitet, Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi. Denmark.Forskningscenter Risoe,* 2, 425–431.

Tire/rubber pyrolysis plant. (n.d). Retrieved from http://www.tirerecyclemachine.com/tyre-pyrolysis-plant/

Wagner, N. J. and Jule, R. J. (2013). *Activated carbon adsorption for wastewater treatment*. Bhetnagar: Bentham e Books.

Wanga, M., Zhanga, L., Lia, A., Irfana, M., Dub, Y. and Di, W. (2019). Comparative pyrolysis behaviors of tire tread and side wall from waste tireand characterization of the resulting chars. *Science Direct Journal of Environmental Management journal,* Volume 232, 364–371.

Wilson, P. and Strock, J.M. (1996). Efects of waste tires, waste tire facilities, and waste tire projects on the environment. *The California Integrated Waste Management Board*, 4–9.

Очистка воды примесей. (n.d.) Retrieved from http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/10_protsessy_i_apparaty_khimicheskikh_tekhnolog

PRIEDAI

Modelio kūrimo eiga:

Daugiafazio srauto sistemoje visos fazės yra vienodos. Poringos terpės poveikis turbulencijos laukui yra tik artimas. Apskritai, ANSYS FLUENT poringa terpės modelis, tiek vienfazis, tiek daugiafazis, daro prielaidą, kad poringumas yra izotropinis ir gali skirtis priklausomai nuo erdvės ir laiko. Paviršinio greičio formulavimas ir fizinio greičio formulavimas yra prieinami daugiafazėms poringoms terpėms. Kiekvienoje fazėje atskirai apskaičiuojamos akytosios medžiagos momento varžos ir šilumos šaltinio sąlygos. Sąveikos tarp porėtos terpės ir smūginių bangų neatsižvelgiama.

Akytosios terpės modeliuojamos pridedant momento šaltinio terminą standartinėms skysčio srauto lygtims. Laminariniuose srautuose per porėtą terpę slėgio kritimas paprastai yra proporcingas greičiui ir konstanta gali būti laikomas nuliu. Nepaisydamas konvekcinio pagreičio ir difuzijos, poringas medijos modelis sumažėja iki Darcy lygtį:

$$\nabla p = \frac{\mu}{\alpha}\vec{v} \tag{1.1}$$

Tuomet slėgio sumažėjimas, kurį ANSYS FLUENT apskaičiuoja kiekvienoje iš trijų (x, y, z) koordinačių krypčių poringame regione. Modeliuojant poringą regioną, vienintelės papildomos problemos nustatymo įvestys yra tokios:

1. Apibrėžti porėtą zoną;
2. Nustatyti akyto greičio formuluotę ląstelių zonos sąlygų užduoties puslapyje;
3. Nustatyti skysčio medžiagą, tekančią per porėtą terpę;
4. Jei reikia, įjungti poringas zonos reakcijas ir pasirinkti reakcijos mechanizmą;
5. Įgalinti santykinio greičio pasipriešinimo formulę. Pagal numatytuosius nustatymus ši parinktis jau yra įjungta ir atsižvelgiama į judančias akytas laikmenas;
6. Nustatyti klampius atsparumo koeficientus ir inerciškumo varžos koeficientus, bei nustatyti kryptinius vektorius, kuriems jie taikomi. Arba nurodyti galios teisės modelio koeficientus;
7. Nurodyti porėtos terpės poringumą;
8. Pasirinkti porėtoje terpėje esančią medžiagą (reikalinga tik modeliams, kuriuose yra šilumos perdavimo);
9. Nustatyti tūrio šilumos generavimo greitį ne kietoje poringos terpės dalyje (arba bet kokiuose kituose šaltiniuose, pvz., Masėje arba impulsuose);

10. Nustatyti bet kurias tirpiklių kintamųjų reikšmes skysčio regione (pasirinktinai);

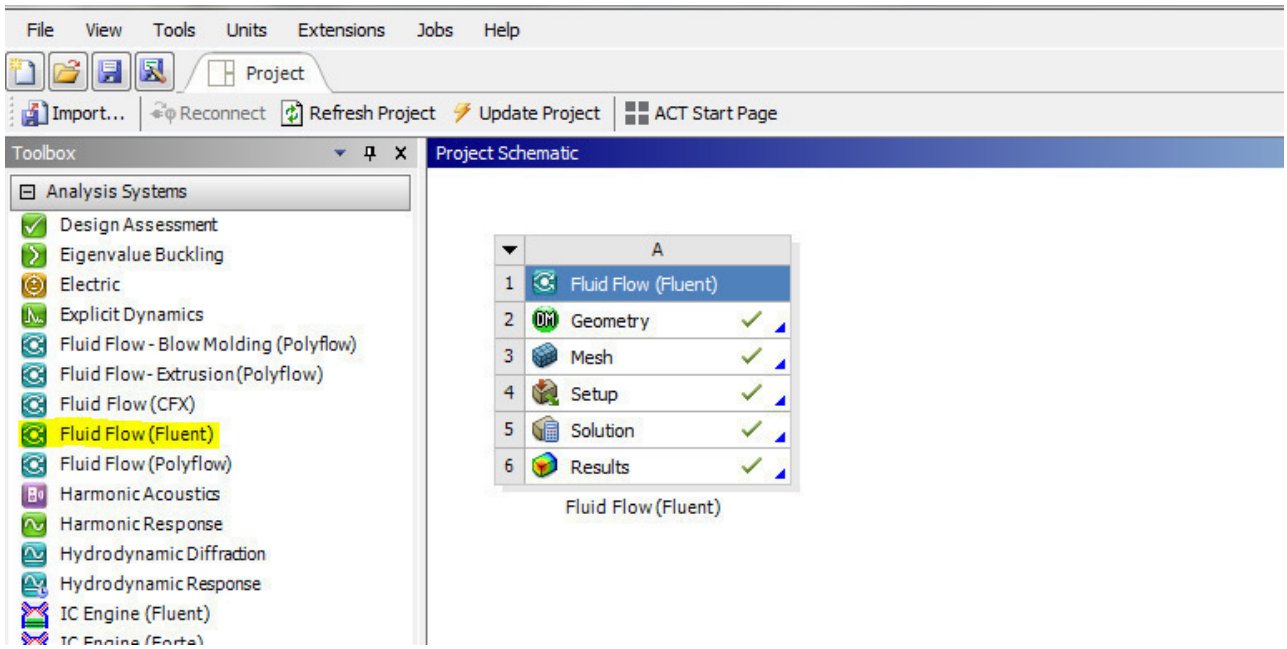
11. Jei reikia, slopinti porėtos srities turbulentinį klampumą;

12. Jei reikia, nurodyti sukimosi ašį ir (arba) zonos judesį;

Turbulentiniuose srautuose latakai modeliuojami naudojant pralaidumo ir inercinį nuostolių koeficientą. Viena iš metodų, leidžiančių nustatyti atitinkamas konstantas, apima Ergun lygtį (1.2), pusiau empirinę koreliaciją, taikomą daugeliui Reynoldso numerių ir daugelio tipų modeliams (Porous media... 2009).

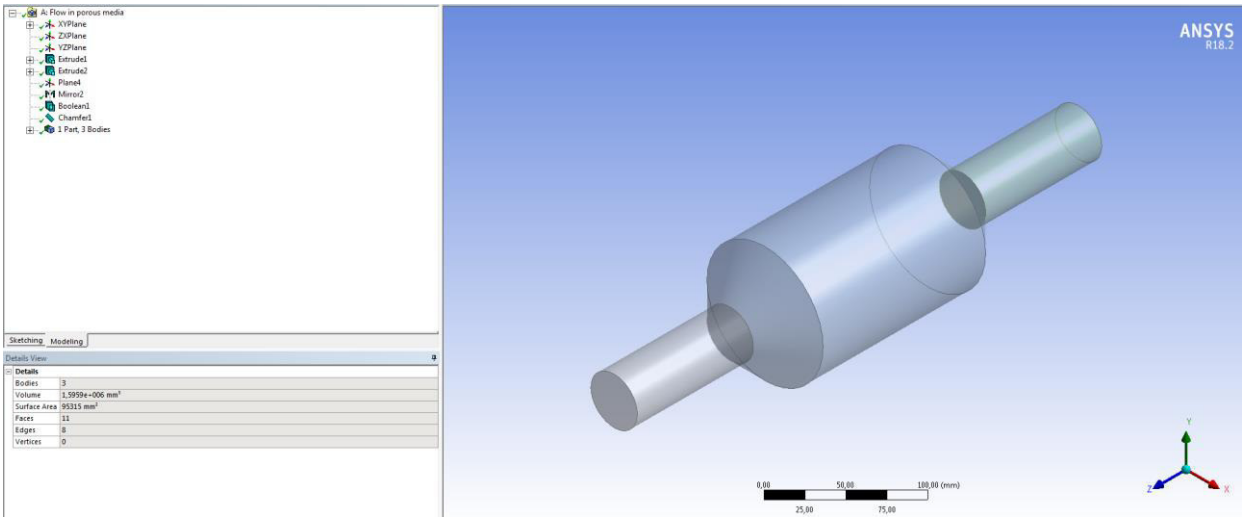
$$\frac{|\Delta p|}{L} = \frac{150\mu(1-\varepsilon)^2}{D_p^2\,\varepsilon^3}\,v_\infty + \frac{1.75\rho(1-\varepsilon)}{D_p\,\varepsilon^3}v_\infty^2 \qquad (1.2)$$

ANSYS programa sukuriamas modelis pasirenkant sistemą *Fluid Flow (Fluent)* (1 pav.):



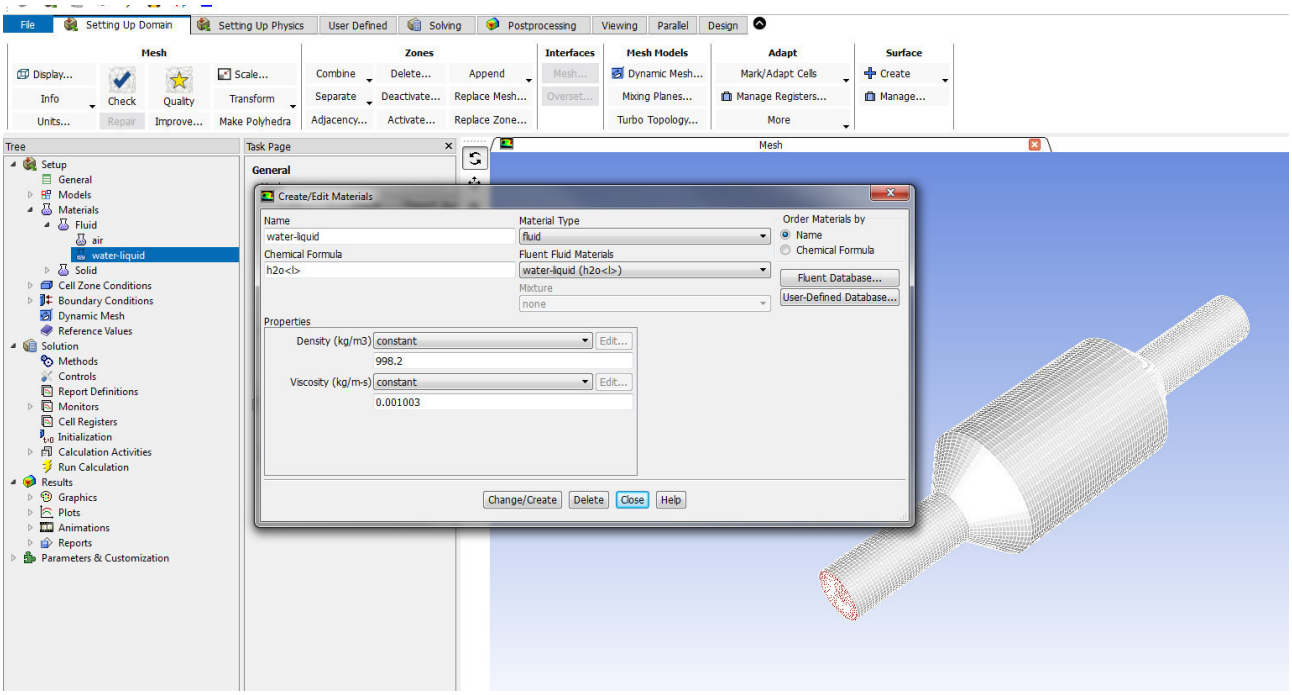
1 pav. Pradžios langas (pasirenkama Fluid Flow (Fluent)

Sudaromas supaprastintas adsorbcinio filtro modelis pasirenkant skysčio tekėjimą per poringą terpę. Pirmiausia parenkama geometrija *DesignModeler* (2 pav.).



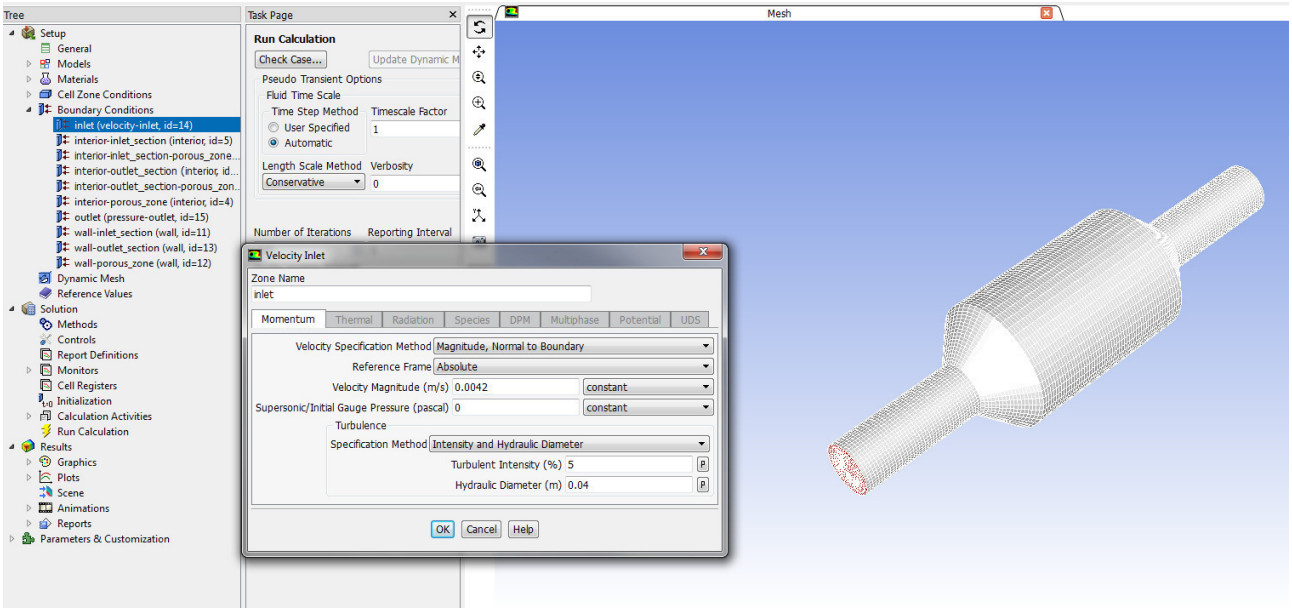
2 pav. Pasirinkta filtro geometrija

Nustatomos medžiagos savybės. Klampos koeficientas panaudojamas apskaičiuoti Re skaičiui (3 pav.).



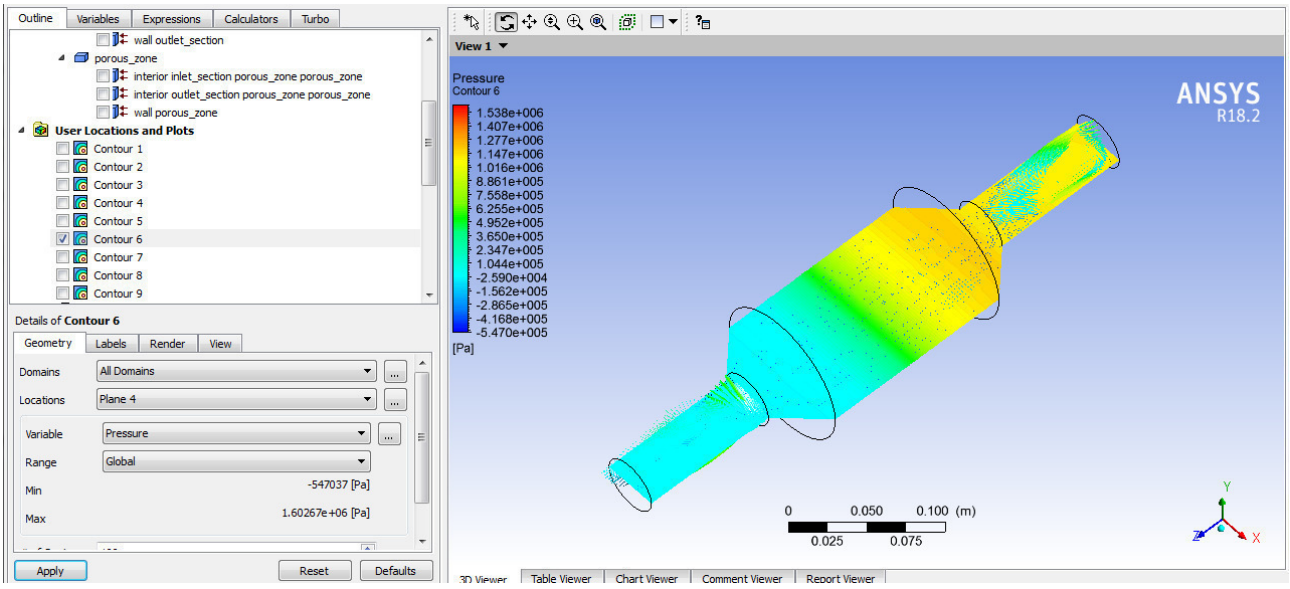
3 pav. Parametrų įvestis

Kraštinėse sąlygose pagal metodika parenkamas įtekėjimo greitis v=0,0042 m/s (4 pav.)



4 pav. Įtekėjimo greičio parinkties langas

Gautu rezultatų atvaizdavimui padaromi trys vidiniai pjuviai prie įtekėjimo, per vidurį ir prie ištekėjimo (5 pav.)



5 pav. Rezultatų analizė

Pagal suformuotą modelį gauname slėgio ir greičio pasiskirstymą poringoje terpėje. Rezultatai aptariami 3 skyriuje.

Panaudotų padangų anglies filtro, paviršinėms nuotekoms, tyrimas

Kristina Klepaitė[1], Kristina Bazienė[2]

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

El. p. [1]kristina.klepaite@stud.vgtu.lt; kristina.baziene@vgtu.lt

Anotacija. Šiuo metu pasaulyje susiduriama su kietųjų atliekų dilema, už kurią atsakingi visi visuomenės elementai. Aplinkai priimtinas perteklinių padangų valdymas. Padangų savybės, ypač patvarumas, apsunkina jų utilizavimą ir perdirbimą. Aktyviosios anglies gamyba iš kietųjų atliekų yra laikoma viena iš mažiausiai aplinkai kenksmingų sprendimų, vertinant neigiamos vertės atliekas pagal vertingos medžiagos išgavimą. Pasaulyje pradėtas nagrinėti metodas, kuomet pirolizės būdų iš padangų išgaunama techninė anglis aktyvuojama ir panaudojama sprendžiant įvairias aplinkosaugos problemas. Aktyvuota anglis (*charcoal*) gali būti lengvai pritaikoma nuotekų valymui adsorbciniuose filtruose, kaip sorbcinė medžiaga. Straipsnyje pateikiamas tokio filtro modelio panaudojimas ir pritaikomumas paviršinių nuotekų valymui, bei tiriamas jo tarnavimo laikas.

Reikšminiai žodžiai: panaudotos padangos, anglies filtras, paviršinės nuotekos, pirolizė, naftos produktai, įsisotinimas.

Įvadas

Remiantis Aplinkos Apsaugos agentūros duomenimis Lietuvoje kasmet susidaro apie 20-28 tūks. tonų **panaudotų padangų**, iš kurių kaip pvz. 2017 m. tik apie 6,5 tūkst. tonų buvo panaudota/perdirbta, o likusi dalis eksportuota (Aplinkos Apsaugos... 2018).

Didžioji dalis naudotų gumos ir padangų atliekų dažniausiai yra skirtos gumos granulių gamybai, bei gaminami konkretūs produktai kaip pvz.: guminės plytelės, mulčas, apsauginiai kilimai (Metaloida...2019).

Tačiau tai nėra vienintelis gumos atliekų panaudojimo būdas. Laikoma, jog ekonomiškai naudingiausias ir Lietuvoje perspektyviausias gumos atliekų panaudojimo būdas yra deginimas, tai yra gumos atliekų apdirbimas aukštoje temperatūroje – **pirolizė** (Gavrilov ir Sivilevičius 2011).

Pirolizės proceso metu gaunami įvairių frakcijų kietieji, skystieji ir dujiniai produktai. Naudojant pirolizės technologiją, galima perdirbti ir panaudoti ne tik gumos atliekas, bet ir plastiko gaminius ar sintetines pakuotes, išvalyti gruntą ar panaudotą automobilių tepalą. Taipogi, pirolizę vykdančios gamyklos gali priimti perdirbti ir rūšiuotas, ir nerūšiuotas atliekas (Feasibility Analysis... 2017).

Pirolizės produktai naudojami kaip kelių bitumo priedai, susidariusios alyvos yra laikomos pakaitalu naftos produktams. Aktyvuota anglis plačiai naudojama vandens valymui, oro valymui ir kaip kuro elementas. Be to norint iš gumos ir padangų atliekų išgauti didesnį anglies kiekį pirolizė atliekama visiškai nesusmulkinant padangų, paliekant didesnes jų atplaišas iškart po pjaustymo ir metalų ištraukimo (Alkhatib 2014).

Gautas produktas naudojant pirolizę sudaro 30–40 % padangų gumos. Laikoma, jog aktyvintos anglies produktas, pagamintas iš padangų atliekų gali turėti komercinę vertę vandens valymui, pvz., organinės medžiagos ir toksiškų junginių išgryninimui, dehlorizavimui, dažikliu šalinimui, komunaliniam, geriamojo vandens valymui, taip pat oro valymui, pvz., lakiesiems neorganiniams ir organinis junginiams šalinti, tirpiklio regeneravimui, dujų desulfuracijai ir kt. (Hofman and Pieterzak 2012; Imam et. al. 2018).

Anglies produktas po pirolizės yra atšaldomas ir sumalamas iki reikiamo dydžio (0,5 mm; 1 mm; 3 mm) prieš parduodant (Danny et. al. 2004).

Išgaunamos elementeinės anglies kiekis priklauso nuo pirolizės temperatūros (1 lentelė).

1 lentelė. Anglies kiekio priklausomybė nuo pirolizės proceso temperatūros (Teng et. al. 2000).

Table 1 Dependency of charcoal quantity on the temperature of the process of pyrolysis.

Pirolizės temperatūra	**Anglies kiekis (%)**	**Porų pasiskirstymas**	**Porų tūris (cm^3/g)**
600	26	116	0,22
700	16	474	0,38
800	**12**	**411**	**0,57**
900	11	306	0,45

Aktyvuota anglis miltelių ar grūdeliu pavidalu vandens valymui naudojama kaip adsorbentas filtre periodinio ir nenutraukiamo proceso metu. Labiausiai paplites vandens valymas milteliniu adsorbentu, ypač geriamajam vandeniui. Panaudotas adsorbentas dažniausiai regeneruojamas arba utilizuojamas pakeičiant jį kitu (Очистка воды… 2016).

Pagal Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerijos 2007 m. balandžio 2 d. įsakymą „Dėl paviršinių nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“ paviršinės nuotekos, susidariusios ant galimai teršiamų

teritorijų, kurių plotas (nuotekų surinkimo plotas) didesnis kaip 0,01 ha, prieš išleidžiant į aplinką turi būti valomos nuotekų valymo įrenginiuose (privaloma: smėlio (purvo) sėsdintuvas, gravitacinis naftos atskirtuvas, papildoma naftos sulaikymo grandis (kolisenciniai atskirtuvai, sorbciniai filtrai, flotatoriai, biosorbciniai reaktoriai ar pan.). Pagrindiniai sulaikomi teršalai yra skendinčios medžiagos ir naftos produktai. (Lietuvos Respublikos... 2007).

Dažnai **naftos produktų** koncentracija **paviršinėse nuotekose** viršija didžiausią leistiną Lietuvoje 5 mg/l koncentraciją (2 lentelė).

2 lentelė. Pavojingų ir kitų kontroliuojamų medžiagų didžiausios leistinos koncentracijos

Table 2 Maximum levels of hazardous and other controlled subtances.

Medžiagos pavadinimas	**Matavimo vienetai**	**DLK, į gamtinę aplinką**
Nafta ir jos produktai	mg/l	**5**
Sunkieji metalai		
Kadmis	mg/l	0,04
Varis	mg/l	0,5
Švinas	mg/l	0,1
Cinkas	mg/l	0,4
Chromas – bendras	mg/l	0,5

Dažniausiai tai pasitaiko teritorijose, kuriuose vykdoma intensyvi pramoninės veikla (Rumpytė 2010). Galimai teršiama teritorija laikomos didesni kaip 0,5 ha technikos kiemai, autotransporto, bei kitų mechanizmų remonto, ardymo, techninės priežiūros, dažymo teritorijos, naftos produktų ir kitų kenksmingųjų medžiagų perpylimo, perkrovimo ar sandėliavimo vietos, didesnė kaip 0,5 ha autotransporto stovėjimo aikštelė, degalinės, naftos bazės, degalų ir kitų naftos produktų pilstymo vietos, naftos perdirbimo (Lietuvos respublikos… 2007). Pavyzdžiui degalinių užterštumas naftos produktais priklauso nuo degalinės ploto, kalonėlių skaičiaus, autotransporto skaičiaus, kritulių kiekio ir geografinės padėties, bei joje esančių valymo įrenginių eksploatacijos (Meškauskaitė ir Marčiulaitienė 2016).

Didžioji dalis sunkiųjų metalų, tai cinkas, kadmis, varis, švinas bei kt. (jų koncentracija į gamtinę aplinka pateikta 2 lentelėje), į paviršinius vandenis patenka lietaus ar sniego tirpsmo pagalba esant kuro ar tepalų pratekėjimui tiesiai iš automobilių ar įvykus avarijai (Davis et al. 2001; Sorme et al. 2002).

Sunkieji metalai negali būti sunaikinti ar kitaip prarasti pavojingas ir kenksmingas savybes, jie mitybos grandine patenka į gyvus organizmus ir juose kaupiasi – tokiu būdu daroma žala didėja (Lee et al. 2006; Brannvall et al. 2007).

Kuo didesnis adsorbento paviršius ir kuo daugiau aktyviųjų centrų tuo adsorbcijos procesas yra intensyvesnis. Bene labiausiai žinomo adsorbento (aktyvosios anglies) savitasis paviršius gali siekti iki 1500 m^2/g (Activated carbon... 2019). Šį dydį lemia adsorbento porėtumas (Baltrėnas et. al. 2007).

Be paviršiaus ploto, aktyvios anglies filtrai turi skirtingas galimybes, atsižvelgiant į jų pašalinamų teršalų dydį. Aktyvintos anglies filtraisvyruoja nuo 50 mikronų iki 0,5 mikrono. Mažesnės poros gali sumažinti vandens srautą. Kai skystis teka per aktyviosios anglies filtrus, skystyje esančios medžiagos prilimpa prie anglies. Filtro valymo efektyvumas priklauso ne tik nuo porų dydžio pasiskirstymas, terpės pH ir kontakto laikas, bet yra dar ir nuo vandens srauto ir temperatūros (Nunes et. al. 2011).

Todėl mažesni aktyviosios anglies filtrai turi būti naudojami su mažu slėgiu ir šaltu vandeniu. Nustatyta, jog aktyvintos anglies filtrai gali veiksmingai pašalinti ne mažiau kaip 81 cheminę medžiagą, įskaitant šalutinius chloro produktus (Activated carbon... 2019). (Nunes et. al. 2011).

Kai aktyvuotos anglies poros prisipildo teršalais ir pasiekia įsisotinimo lygį, anglis keičiama nauja, o panaudota sunaikinama arba regeneruojama. Filtrų įkrova labai greitai užsiteršia jei valyma aukštų koncentracijų tarša ar prieš tai nuotekoms nebuvo atliktas pirminis valymas. Prisotinimą lemia ir biologinėmis medžiagomis ar metalų nuosėdomis užterštos nuotekos (Užterštų teritorijų... 2009).

Dažnai liūčių metu dėl nepatogios reljefo formos patvinsta miestų gatvės. Lietaus nauotakynas nespėja apdoroti iškritusių kritulių kiekio (Klepaitė et. al. 2017). Todėl reikia atsižvelgti į tai, kad esant poreikiui paviršinių nuotekų įrenginiai turi pasižymėti geru hidrauliniu laidumu.

Hidraulinio laidumo tyrimai gali būti paremti Darsi teorija.

Hidraulinį laidumą aprašo pagrindinė formulė, taikant Constant Head metodą:

$$k = \frac{VL}{Aht}$$

čia: k – hidraulinio laidumo koeficientas; V – nuotekų tūris, L – filtro ilgis, A – filtro paviršiaus plotas, h –

aukščių skirtumas, t – laikas, per kurį paviršiuje nebelieka vandens.

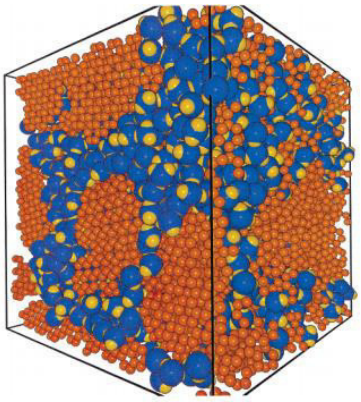
Svarbu žinoti pasirinktos medžiagos paviršiaus plotą ir matuoti laiką per kurį infiltruojasi nuotekos (Meškauskaitė ir Marčiulaitienė 2016)

Dinaminio tyrimo metodu nuotekų ar užteršto vandens tekėjimas per sorbento sluoksį pagrįsstas naftos produktų sulaikymu tame sluoksnyje (Brennan et. al. 2002).

Naftos produktai iš nuotekų gali būti šalinami naudojant ceolito užpildą, kurio dalelių dydis siekia 2,5 – 3,0 mm; 1,5 – 2,0 mm; 0,63 – 1,0 mm.

Paviršinių nuotekų tyrimų srityje tikslinga atlikti daugiau tyrimų, nes praktikoje tenka šalinti naftos produktus iš nuotekų, kurių debitai ir tekėjimo greičiai būna nepastovūs ir būna dideli (Rimkutė ir Mažeikienė 2011).

Nagrinėjant porų įsisotinimą molekulės vienodai užpildo turimą porų erdvę. Nors vandens ir anglies sąveika yra silpna, didelis masės fazės slėgis sukelia porų pripildymą pavaizduota 1 paveiksle.



1 pav. Anglies adsorbuoto vandens nuotrauka (poringumas). Mėlynos spalvos rutuliai – deguonies atomai, o geltonieji – vandenilio atomai, o anglies atomai – rudieji (Brennan et. al. 2002).

Fig. 1 Photo of carbon adsorbed water (porosity). Blue balls are oxygen atoms, yellow - hydrogen atoms, and carbon atoms are brown.

Aktyvuotos anglies filtravimo savybes sustiprina tiek porėtumas, tiek ir aktyvavimo būdas. Kuriamos kalibravimo kreives, kuriomis galima prognozuoti aktyvios anglies medžiagos likutinį tarnavimo laiką realiu laiku įvertinanat regeneravimo galimybes (Mason et. al. 2014).

Buvo įrodyta, kad anglies bioregeneracija vyksta nuotekų valymo procesų metu. Bioregeneracija priklauso nuo kelių veiksnių, įskaitant biologinį skaidomumą, sorbato adsorbciją ir desorbciją, aktyvintos anglies savybes ir proceso konfigūraciją, ir ją galima optimizuoti keičiant eksploatavimo sąlygas (Aktaş and Çeçen 2007).

Buvo atliktas eksperimentas su sorbentu pagamintu iš antrinės žaliavos – smulkintų naudotų padangų. Tyrimo metu siekta išsiaiškinti panaudotų padangų sorbento sorbcine naftos produktų geba lyginant su kitais sorbenetais. Išskirtos trys frakcijos:

- 0,63-1,00 mm frakcijos didžiausias efektyvumas užfiksuotas po 5 min filtro darbo laiko siekė 93,40 %;
- 1,00-1,50 mm frakcijos didžiausias efektyvumas užfiksuotas po 5 min filtro darbo laiko siekė 94,6 %;
- 1,50-3,00 mm frakcijos didžiausias efektyvumas užfiksuotas po 5 min filtro darbo laiko ir siekė 94,6 % (Pachtusova ir Tetsman 2017).

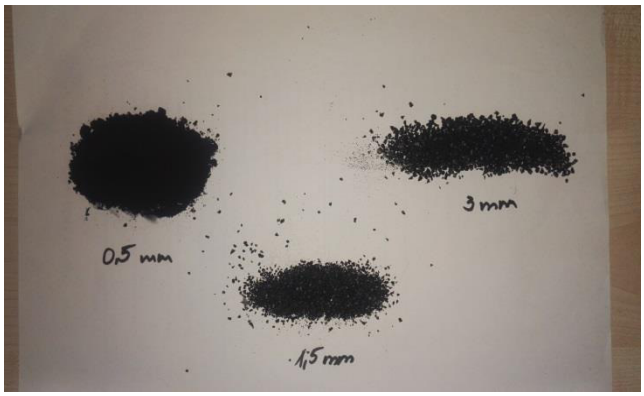
Tyrimu siekiama išnagrinėti ir iš padangų gautos aktyvuotos anglies hidraulinį laidumą paviršinėms nuotekoms nustatant filtro įkrovos užsikimšimo laiką, aktyvuotos anglies prisisotinimo laiką.

Tyrimo metodas

Norint pasiekti didžiausia filtro efektyvumą dažniausiai naudojamas uždaras slėginis filtras. Siekiant užtikrinti optimalų ir efektyvų įkrovos kiekį pasirenkant anglį, keli aktyvintosios anglies filtrai yra prijungiami nuosekliai, nes tada galima pasiekti maksimalią apkrovą pirmame filtre. Priemaišos, kurių nebegalima adsorbuoti į pirmąjį filtrą, yra adsorbuojamos kituose filtruose ir todėl negali grįžti į vandens ciklą.

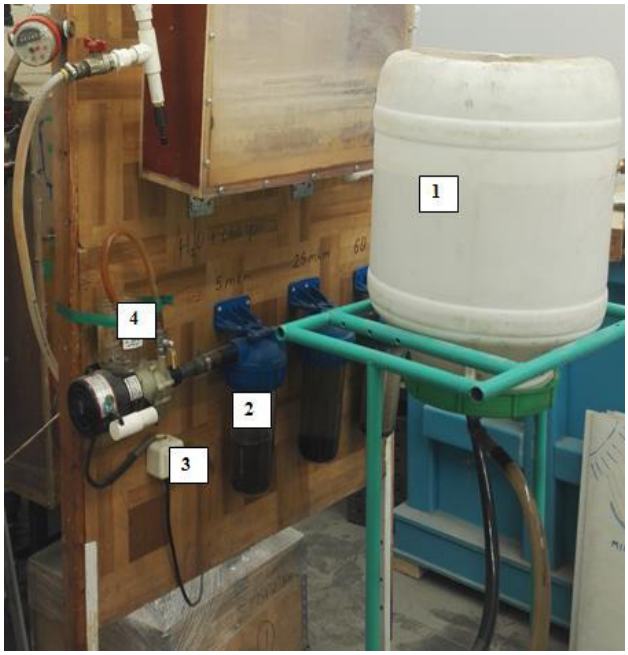
Tyrimams buvo paruoštos naftos produktais užterštos nuotekos. Pasirinktas ilgiausias kontaktavimo laikas tarp vandens ir sorbento (aktyvintos padangų anglies) – 25 min. Eksperimentas buvo atliekamas kambario temperatūroje (23 ℃).

Techninė anglis buvo gauta pirolizės būdu iš padangų atliekų, bei aktyvinta aukštos temperatūros CO_2 dujomis. Tyrimo metu tirta skirtingų frakcijų granuliuota anglis (iki 0.5, iki 1,5 ir iki 3 mm ilgio) ir lyginama su kitomis tirtomis adsorbcijai naudojamomis medžiagomis.



2 pav. Aktyvintos anglies frakcija
Fig. 2 Activated charcoal fraction

Filtravimo medžiagų gauti parametrai: hidraulinis laidumas esant tam tikrai užterštumo koncentracijai, efektyvus dydis, aktyvintos anglies įkrovos prisisotinimo laikas. Gauti tyrimo rezultatai lyginami su jau ištirtais parametrais. Nustatomas teršalų koncentracijos pokytis prieš filtrą su užpildu ir po.



3 pav. Eksperimentinio stendo nuotrauka:1- užteršto vandens talpa; 2 – nuosekliai sujungti filtrai su aktyviosios anglies užpildu; 3 – įjungimo/išjungimo migtukas; 4 – mėginių paėmimo vieta.

Fig. 3 Photo of the experimental stand: 1 - capacity for contaminated water; 2 - sequentially combined filters with activated carbon filler; 3 - power on / off switch; 4 - sampling point.

Eksperimentinio tyrimo eiga ir rezultatai

Į 50 l talpą (1) buvo įpilta 30 l vandens ir 100 ml naftos produktų, norint pasiekti didesnę naftos produktų koncetraciją siekiant išnagrinėti filtro porų įsisotinimo laiką. Nuotekos į filtrus patenka siurblio pagalba, bei tekėjimo greitis išlaikomas vienodas vožtuvo pagalba (15m/h greitį). Filtras užpildomas 10 cm sorbentu (aktyvuota anglimi). Filtras ribojamas tinklu atsižvelgiant į sorbento frakcijos dydį (0,5 mm).



4 pav. Susidariusi naftos plėvelė mėginio viršuje
Fig. 4 Oil film on top of sample

Siekiant palaikyti pastovią užteršto vandens koncentraciją inde ir neleisti susidaryti naftos plėvelei (4 pav.) talpoje (1) esantis skystis buvo nuolat maišomas mechaniškai.

Mėginiai buvo imti 5, 10, 15 min intervalais, bei ištekėjus visam skysčiui. Nufiltruotų nuotekų mėginiai buvo semiami į tamsiai rudus 0,5 l plačiagurklius stiklinius butelius, kurie buvo užpildyti maždaug 90 %.

Siekiant užtikrinti tyrimo tikslumą tyrimas buvo pakartotas 3 kartus pakeičiant filtro užpildą. Naftos produktų sorbcijai iš vandens tirpalo ištirti pasirinkta iš panaudotų padangų išgauta anglis siekiant ištirti jos sorbcinę gebą bei porų įsisotinimą, koncentracijos ir sorbcijos laiko įtaką.

Naftos produktų vandenyje kiekis nustatytas mėginius pristačius į akredituotą vandens tyrimų laboratoriją. Laboratoriniai tyrimai atlikti remiantis LST EN ISO 9377-2:2002 tyrimo metodika spektrofotometrijos metodu nustatant C10-C40 angliavandenilius.

Gauti rezultatai ir jų analizė

Nuotekų tyrimų rezultatai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Nuotekų užterštumo naftos produktais tyrimų rezultatai

Table 3 Results of research on wastewater pollution by oil products

Bandymo numeris / Mėginio numeris	1 bandymas (3 mm) mg/l	2 bandymas (1,5 mm) mg/l	3 bandymas (0,05 mm) mg/l
1 (po 5 min)	0,12	0,10	0,08
2 (po 10 min)	0,17	0,16	0,14
3 (po 15 min)	0,28	0,26	0,22
4 (visas)	0,35	0,31	0,25

Atlikus nuotekų užterštumo naftos produktais tyrimus nustatyta, kad naftos produktų koncentracija vandenyje kinta ir laiko ir užpildo frakcijos dydžio atžvilgiu. Nustatyta jog didžiausias išvalymo efektyvumas pasiektas po 5 min su 0,05 mm frakcijos aktyvuota anglimi, o mažiausias su 3 mm anglimi ištekėjus visam skysčiui.

Nustatyta didžiausia aktyvintos anglies sugėrties geba yra – 5,25 g/g, kai frakcija siekia 3 mm.

4 lentelė. Adsorbcinės gebos rezultatai

Table 4 Results of adsorbtion capacity

Aktyvuotos anglies frakcija (mm)	Sorbcinė geba, (g/g)			
	5 min	10 min	15 min	visas
0,50	4,81	4,78	4,62	4,15
1,50	4,95	4,82	4,73	4,55
3,00	**5,25**	5,21	5,01	4,77

Atsižvelgiant į laiko kaitą, didžiausia adsorbcinė geba pasiekiama ties 5 minutėmis, po to aktyvinta anglis įsisotina ir sorbcinė geba mažėja.

Išvados

1. Pirolizės būdų iš padangų gauta aktyvinta anglis gali būti naudojama naftos produktais užterštų paviršinių nuotekų valymui, kadangi paėmus naftos produktais užteršto vandens mėginius po pratekėjimo pro filtrą teršalų koncentracija sumažėjo ne tik iki leistinos, bet ir siekė mažiausiai 0,08 mg/l koncentraciją (leistina į gamtinę aplinką 5mg/l).
2. Naftos produktų šalinimo efektyvumas priklauso nuo sorbento frakcijos, sorbuojančiosios medžiagos sąvybių, bei filtravimo laiko.
3. Atlikus aktyvintos anglies užpildo panaudojimo naftos produktų sorbcijai tyrimą nustatyta, jog geriausiai naftos produktai buvo adsorbuoti po 5 min ir sorbcinė geba siekė 5,25 g/g.
4. Mažesnės frakcijos aktyvota anglis mažino vandens tekėjimo greitį. Esant 0,5 mm aktyvuotos anglies frakcijai vandens laidumas sumažėjo beveik 1,5 karto lyginant su 3 mm aktyvintos anglies užpildo laidumu.

Literatūra

Activated carbon adsorption. [online]. [cited 15 March 2019]. Available from internet: <https://www.lenntech.com/library/adsorption/adsorption.htm>.

Aktaş, O.; Çeçen, F. 2007. Bioregeneration of activated carbon: A review. International Biodeterioration & Biodegradation, Volume 59, Issue 4, June 2007, Pages 257-272.

Aplinkos Apsaugos agentūra. Naudoti nebetinkamų padangų atliekos. [interaktyvus] 2018. Žiūrėta 2019 m. kovo 12 d. Prieiga per internetą: <http://atliekos.gamta.lt/cms/index?rubricId=79c5831b-7e9b-42da-9341-310046d7c20f>.

Baltrėnas, P.; Vaišis, V. 2007. Naftos produktų sorbentai aplinkosaugoje. Vilnius: Technika.

Berman, J. K.; Thomson, K. T.; Gubbis, K. T. Adsorption of Water in Activated Carbons: Effects of Pore Blocking and Connectivity. Department of Chemical Engineering, North Carolina State University, Langmuir 2002, 18, 5438-5447.

Feasibility Analysis Report on Extracting Carbon Black and Oil from Small Rubber Pyrolysis Plant. 2017 <https://bestonpyrolysisplant.com/feasibility-analysis-report-extracting-carbon-black-oil-small-rubber-pyrolysis-plant/>.

Gavrilov, J.; Sivilevičius, H. 2011. Transporto priemonių naudotų padangų utilizavimo ir regeneravimo technologijų analizė. „Mokslas – Lietuvos ateitis“, Vilnius, Lietuva, 110-117.

Imam, S.; Jaseem, A. S.; Mohamend, A.; Singh, M.; Sesha, N. 2018. Studies on Activated Carbon Produced From Waste Tires. IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC), 71-74.

Klepaitė, K.; Aleknaitė, J.; Šerevičienė, V.; Paliulis, D. 2017. Anykščių miesto paviršinių nuotekų užterštumo vertinimas iš 20-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminė konferencija, Vilnius, Lietuva.

Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerijos 2007 m. balandžio 2 d. įsakymas Nr.D1-193 „Dėl paviršinių nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“ Valstybės žinios, 42-1594.

Mason, A.; Korostynska, O.; Wylie, S.; Al-Shamma‘a, A.I. 2014. Non-destructive evaluation of an activated carbon using microwaves to determine residual life. Carbon Volume 67, February 2014, Pages 1-9.

Meškauskaitė, L.; Marčiulaitienė, E. 2016. Degalinių paviršiniųnuotekų tarša skendinčiomis medžiagomis ir naftos produktais, iš 19-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų kon-ferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, 2016 m. balan-džio 7 d., Vilnius, Lietuva, 123–129.

Metaloidas. Tyre recycling. [interaktyvus] 2018. Žiūrėta 2019 m. kovo 12 d. Prieiga per internetą: <http://www.metaloidas.lt/>.

Nunes, M. R.; Perez, G. M; Loguercio, L. F.; Alves, E, W.; Neftali L. V.; Martinsb, J. L.; Garcia, I. T. S. 2011. Active Carbon Preparation from Treads of Tire Waste for Dye Removal in Waste Water. J. Braz. Chem. Soc., Vol. 22, No. 11, 2027-2035.

Pachtusova, K.; Tetsman, I. 2017. Nuotekų valymas sorbentais tyrimas, 20-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminė konferencija.

Pyrzyńska, K.; Bystrzejewski, M. 2010. *Comparative study of heavy metal ions sorption onto activated carbon, carbon nanotubes, and carbon-encapsulated magnetic nanoparticles*. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. Volume 362, 102-109

Rimkutė, D.; Mažeikienė, A. 2011. Naftos produktais užterštų nuotekų valymo metodai, iš 14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „mokslas – Lietuvos ateitis“, Vilnius, Lietuva.

Rumpytė, L. 2010. Panevėžio miesto paviršinių nuotekų įtaka Nevėžio upės vandens kokybei. Magistratūros studijų baigiamasis darbas, Lietuvos Žemės ūkio universitetas.

Очистка воды примесей [interaktyvus] 2016. Žiūrėta 2019 m. sausio 28 d. Prieiga per internetą: <http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/10_protsessy_i_apparaty_khimicheskikh_tekhnologiy_chast_II/7088>.

RESEARCH OF WASTE TIRE CHARCOAL FILTER FOR SURFACE WASTEWATER

K.Klepaitė, K. Bazienė

Summary

The modern world faces a dillema of solid waste and the responsibility for this matter foreshadows all the elements of society. Environmentally friendly management of excess tires is a must. Tire qualities such as sustainability is an obstruction in waste tire utilization and recycling. The production of activated charcoal from solid waste is perceived as one of the least environmentally harmful options with regard to the negative value waste by the production of usable material. A method of activation of charcoal which was produced by pyrolysis and its usage is analyzed worldwide. Activated charcoal can be easily adapted in use of purification of surface wastewater with adsorption filters as a sorbent material. The article contains the usage and applicability of such model of a filter in purification of surface wastewater and an analysis of its useful lifespan.

Keywords: waste tires, charcoal filter, surface wastewater, pyrolysis, oil products, saturation.