



PAPRASTOJO KAŠTONO (*AESCULUS HIPOCASTANUM L.*) SĖKLŲ PANAUDOJIMO TYRIMAI VARIO ŠALINIMUI IŠ VANDENINIŲ TIRPALŲ

Andrius SKRIPKA¹, Vaida ŠEREVIČIENĖ²

VGTU AIF Aplinkos apsaugos katedra

El. paštas: ¹andrius.skripka@stud.vgtu.lt; ²vaida.sereviciene@vgtu.lt

Anotacija. Sunkiųjų metalų tarša, patenkanti į aplinką su nuotekomis, kelia labai rimtą pavojų augalams, gyvūnams, žmogui ir net ištiesoms ekosistemoms, todėl ieškoma pigių, efektyvių bei natūralių ir aplinkai nekenksmingų būdų šiems metalams iš gamybinių nuotekų pašalinti. Pastebėta, kad biologinės kilmės medžiagos gali turėti sunkiųjų metalų sorbcijos savybių, todėl tyrimais ieškoma pagrįstų įrodymų, kurie galėtų nurodyti tinkamiausius, efektyviausius ir universaliausius sorbentus ir jų panaudojimo bei efektyvumo didinimo metodus. Atlikti vario šalinimo iš vandeninių tirpalų tyrimai panaudojant skirtingais būdais paruoštus sorbentus iš paprastojo kaštono (*Aesculus Hippocastanum L.*) sėklų parodė, kad paprastojo kaštono sėklų luobelė yra tinkama kaip natūrali ar chemiškai modifikuota medžiaga vario sorbcijai iš vandeninių tirpalų, o joje esančios celiuliozės cheminis modifikavimas (fosforilinimas) gali padidinti sorbento sorbcijos efektyvumą iki 99,9 %.

Reikšminiai žodžiai: paprastasis kaštonas, sorbcija, sorbentas, sunkieji metalai, varis.

Įvadas

Sunkiųjų metalų jonai, pvz., Pb, Cd, Hg, Cr, Ni, Zn ir Cu, yra biologiškai neskaidūs (jiems nebūdinga biodegradacija), toksiški, kancerogeniški, net esant labai mažoms jų koncentracijoms, taigi jie kelia rimtą grėsmę aplinkai ir visuomenės sveikatai (Liu *et al.* 2008) bei yra linę kaupiant aplinkoje, todėl sunkieji metalai yra įvardijami kaip „amžinieji teršalai“, kurie greitai besivystant pramonės šakoms ir plečiantis energijos stotims gali būti išleidžiami į aplinką įvairiais būdais. Būta daug atvejų, kai sunkiųjų metalų toksiškumas atvedė iki masinių mirčių (Jaishankar *et al.* 2014).

Tradiciniai metodai, pašalinant dalį metalo jonų iš vandeninių tirpalų, apima cheminį nusodinimą, cheminę ir elektrokoaguliaciją, filtraciją, jonų mainus, elektrocheminį valymą, membranines technologijas, adsorbciją ir kt. Cheminio nusodinimo ir elektrocheminio apdoravimo metodai yra neveiksmingi, taip pat gamina didelius kiekius dumblo. Jonų mainai, membraninės technologijos ir aktyvuotosios anglies adsorbcijos procesas yra labai brangūs valant didelį kiekį vandens ar nuotekas, kuriose yra mažos koncentracijos sunkiųjų metalų, todėl negali būti naudojami dideliu mastu (Kotrba *et al.* 2011).

Pastaruju metu adsorbcija tapo vienu iš alternatyvių nuotekų, užterštų sunkiaisiais metalais, valymo būdų (Babel, Kurniawan 2003). Įrodyta, kad adsorbcija yra ekonomiškai ir efektyvus metodas daugelio metalų pašalinimui iš vandens. Be to, adsorbentas gali būti regeneruojamas pritaikius tinkamą desorbcijos metodą (Ihsanullah *et al.* 2016).

Siekiant išvalyti nuotekas nuo sunkiųjų metalų, bioadsorbentų naudojimas yra efektyvus metodas neužteršiant gruntinių vandenų, tuo pačiu metu panaudojant aplinkoje išmetamas nebereikalingas agrikulturnes atliekas. Šis metodas reikalauja nedidelių energijos sąnaudų, mažiau darbo ir investicijų, taip pat įrodyta, kad jis yra labai ekonomiškai, biodegraduojantis ir efektyvus lyginant su sintetiniais adsorbentais ir cheminėmis medžiagomis. Kartą panaudoti bioadsorbentai kurį laiką galėtų būti panaudojami dar kartą naudojant desorbcijos metodus, ir tai galėtų būti pritaikoma ateityje pramonėje (Jaishankar *et al.* 2014).

Vienas iš būdų norint pagerinti celiuliozę turinčių sorbentų sorbcines savybes yra fosforilinimas, kai daug hidroksilo grupių turinti celiuliozė paverčiama celiuliozės fosfatu. Mokslininkų tyrimuose fosforilinimas minimas,

kaip efektyvus cheminis celiuliozės modifikavimas, kuris padidina sorbento sunkiųjų metalų katijonų adsorbciją. Hemiceliuliozė ir ligninas trukdo celiuliozės fosforilinimui, nes tai labai tvirtos medžiagos, esančios sorbentuose, pagamintuose iš gamtinių medžiagų, tačiau sunkiųjų metalų adsorbentų tyrimai parodė, kad mėginiai, paruošti iš ryžių šiaudų ir cukranendrių išspaudų, kurie buvo papildomai apdoroti NaOH, parodė didžiausią fosforo sukaupimą mėginių medžiagoje bei leido pašalinti hemiceliuliozę ir ligniną iš sorbento medžiagos (Rungrodnimitchai 2014). Taip pat atlikti eksperimentai parodė, kad fosforilinimas gali būti pasiektas ir greitesniu būdu, t. y. pašildant mikrobangomis (Rungrodnimitchai 2014).

Viena iš pagrindinių pasaulinių vandenų taršos šaltinių sunkiaisiais metalais, tarp jų ir variu, yra kasyba, pesticidų pramonė bei chemijos pramonė. Varis taikomas daugelyje pramonės ir žemės ūkio procesų (Schwarzenbach *et al.* 2010; Ihsanullah *et al.* 2016).

Varis, kaip ir kai kurie kiti sunkieji metalai, yra svarbus mikroelementas, tačiau ir labai toksiškas, jeigu jo per daug. Geriamasis vanduo gali būti potencialus šaltinis intensyviai vario ekspozicijai (Ihsanullah *et al.* 2016), o varis geriamajame vandenyje yra labai toksiškas (Mosayebi, Azizian 2015; Ihsanullah *et al.* 2016). Pernelyg didelis kiekis vario atneša rimtų sveikatos sutrikimų, tokių kaip padidėjęs kraujo spaudimas, inkstų ir kepenų pažeidimai, traukuliai, mėšlungis, vėmimas ar netgi mirtis (Ihsanullah *et al.* 2016).

Sunkieji metalai, tarp jų ir varis, gali sudaryti netirpius hidroksidų junginius ir iškristi į nuosėdas, priklausomai nuo

vario koncentracijos, kitų anijonų ir katijonų buvimo, temperatūros bei laiko iki termodinaminės pusiausvyros. Yra nustatyta, kad netirpus vario hidroksidas ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) gali susiformuoti terpėje, kurios pH yra 6,5–12 ribose (Jensen 2003).

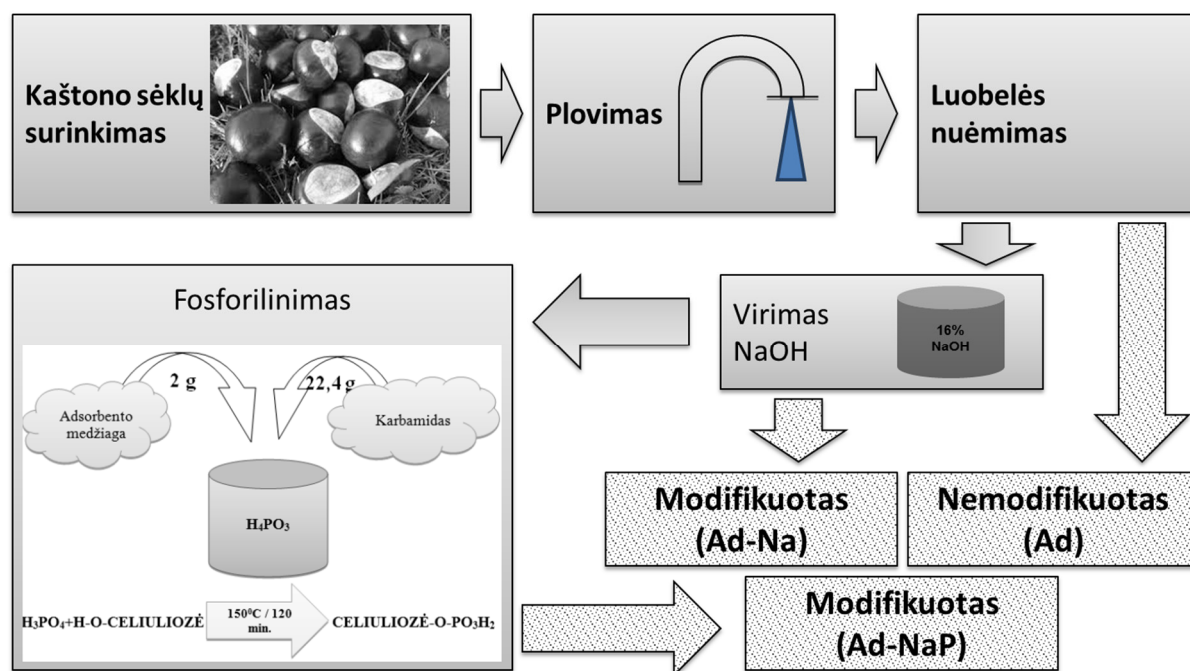
Pigių sorbentų tyrimai atskleidė, kad jeigu pradinis pH yra per didelis, vario jonai nespėja iškristi į nuosėdas, nes sorbcijos procesas kinetiškai vyksta greičiau nei iškritimas į nuosėdas (Amarasinghe, Williams 2007).

Aktyvuotosios anglies pudros, pagamintos iš paprastojo kaštono (*Aesculus Hippocastanum L.*) sėklų tyrimai parodė, kad toks sorbentas gali būti panaudotas sunkiųjų metalų šalinimui (Tzvetkov *et al.* 2016).

Darbo tikslas – įvertinti paprastojo kaštono (*Aesculus Hippocastanum L.*) sėklų tinkamumą vario jonams iš vandeninių tirpalų šalinti.

Metodika

Surinktos kaštono (*A. Hippocastanum L.*) sėklos buvo nuplautos vandeniu, kad būtų pašalinti nešvarumai. Po to nulupta kaštono sėklų žievelė, kuri nuplauta dejonizuotu vandeniu siekiant išvengti papildomų medžiagų priemaišų. Tolesnis sorbento paruošimas priklausė nuo to, koks buvo ruošiamas sorbentas. Eksperimentams buvo paruošti chemiškai nemodifikuoti ir modifikuoti sorbentai (1 pav.), kuriems tyrimų metu buvo priskirti šie žymenys: „Ad“ – nemodifikuotas; „Ad-Na“ – modifikuotas natrio šarmu; „Ad-NaP“ – modifikuotas natrio šarmu ir fosforilintas.



1 pav. Apibendrinta sorbentų paruošimo eksperimentams būdų schema

Chemiškai nemodifikuoto sorbento paruošimui paruošta luobelė buvo išdžiovinta iki sausos masės ir susmulkinta iki dalelių, kurių dydis neviršijo 400 μm.

Vienas iš chemiškai modifikuotų sorbentų buvo ruošiamas nuluptą luobelę verdant 16 % natrio šarmo tirpale 1 val. (1 pav.). Gauta medžiaga po poveikio natrio šarmu yra nuplauta dejonizuotu vandeniu ir džiovinta džiovavimo krosnyje 105 °C temperatūroje tol, kol buvo pasiekta pastovi masė. Išdžiovinta medžiaga yra smulkinama tol, kol gaunamos medžiagos dalelės neviršija 400 μm dydžio.

Kitas chemiškai modifikuotas sorbentas buvo ruošiamas taip pat kaip pirmasis, tik po džiovavimo papildomai atliktas gautos medžiagos fosforilinimas (1 pav.). Fosforilinimas – tai cheminis celiuliozės modifikavimas, kurio metu celiuliozė paverčiama celiuliozės fosfatu. Toks cheminis modifikavimas atliktas proporcingai modifikuojamos medžiagos svoriui, kai 2,00 g sausos sorbento medžiagos modifikuoti reikia 22,4 g (0,37 mol) karbamido (urea) ir 16,8 ml fosforo rūgšties (0,29 mol). Gautas mišinys pašildomas 80 °C temperatūroje ir 120 min. kaitinamas 150 °C temperatūroje. Išdžiovinta ir atvėsinta modifikuota medžiaga yra praskiedžiama vandeniu iki neutralaus pH, praskalaujama acetonu ir džiovinama 80 °C temperatūroje. Po džiovavimo pamerkiama į 100 mL druskos rūgšties tirpalą (1,0 M) ir paliekama ne mažiau kaip 10 val. Po mirkymo gauta medžiaga išplaunama dejonizuotu vandeniu, išdžiovinama ir susmulkinama iki dalelių, kurių dydis neviršija 400 μm.

Visų sorbentų medžiaga buvo smulkinama porceliano grūstuvėje, vėliau sijota per 400 μm sietą ir taip atskirtos tyrimams naudojamos dalelės, kurių dydis neviršija 400 μm.

Sorbcijos eksperimentams atlikti naudojama 0,2 g pasirinkto sorbento. Šis sorbento kiekis naudojamas vario šalinimo efektyvumui nustatyti aktyviai maišant su 100 ml paruoštos koncentracijos vario tirpalo kiekiu. Sorbcijos eksperimentai atliekami 100 ml paruoštą žinomos koncentracijos vario tirpalą supilant į užsukamą indą ir suberiant 0,2 g sorbento. Indas užsukamas ir įdedamas į aktyvaus maišymo kratytuvą nustatytam išlaikymo laikui. Po nustatyto kontakto laiko mėginiai išimami iš aktyvios kratyklės ir sorbentas iš tirpalų atskiriamas tirpalą filtruojant per membraninius filtrus.

Sorbcijos efektyvumas apskaičiuotas taikant tokią lygtį:

$$X = \left(\frac{C_0 - C_{eq}}{C_0} \right) \times 100\%, \quad (1)$$

kur: X – šalinimo efektyvumas (%), C_0 – pradinė koncentracija tirpale (mg/l), C_{eq} – pusiausvyrinė metalo koncentracija tirpale (mg/l).

Tyrimų metu gauti duomenys susisteminti ir įvertinti statistiniais metodais naudojantis *Microsoft Office Excel 2016* programa. Skaičiavimai parodė, kad tyrimo rezultatų sklaida nedidelė, o nustatytos paklaidos neturi reikšmingos įtakos rezultatų patikimumui.

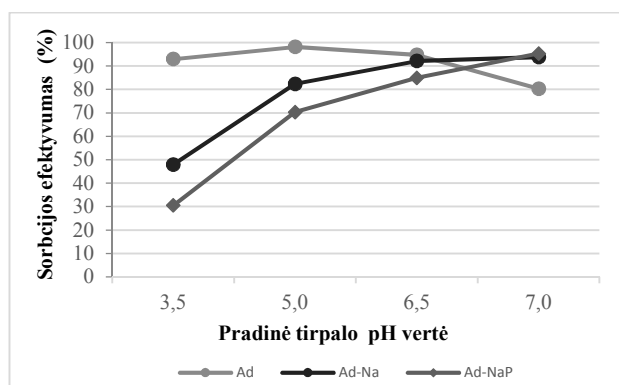
Rezultatai ir jų analizė

Atliktų eksperimentų rezultatai parodė, kad sorbentai neturi reikšmingo poveikio dejonizuoto vandens rūgštingumui, todėl negali turėti reikšmingos įtakos atliekamiems sorbcijos eksperimentams.

Atlikus vario šalinimo iš vandeninių tirpalų priklausomybės nuo pH vertės tyrimus buvo nustatyta, kad sorbentas daro didesnę įtaką vario tirpalo rūgštingumo pH vertei nei kontakto su dejonizuotu vandeniu atvejais. Eksperimento duomenys parodė, kad esant 5 mg/l vario koncentracijos tirpalui, 20 °C temperatūrai ir 1 val. trukmės kontakto laikui, sorbentai rūgštinę tirpalo terpę šarmino, o šarminę rūgštino.

Vario tirpalo rūgštingumas po kontakto su natūraliu nemodifikuotu sorbentu svyravo 5,8–6,2 pH intervale nepriklausomai nuo pradinio tirpalo pH.

Vario sorbcijos efektyvumo priklausomybės nuo pradinės tirpalo rūgštingumo vertės tyrimų rezultatai parodė, kad mažiausios vario koncentracijos tirpaluose liko esant 7,0 pH pradiniam tirpalui, kai buvo panaudoti modifikuoti sorbentai ir 5,0 pH pradiniam tirpalui, kai buvo panaudotas nemodifikuotas sorbentas (2 pav.).

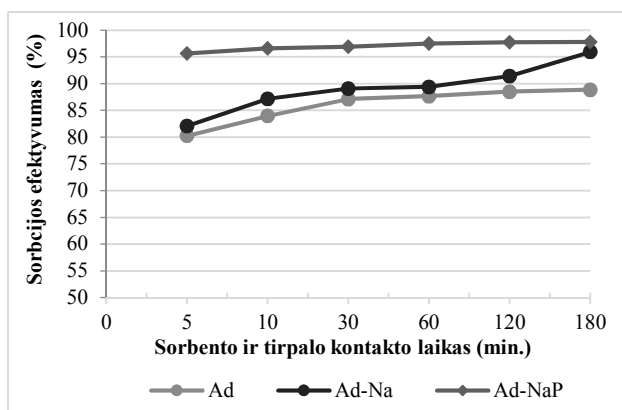


2 pav. Vario sorbcijos efektyvumo priklausomybė nuo pradinės tirpalo pH vertės ir sorbento esant 20 °C temperatūrai, 1 val. trukmės kontaktui 100 ml 5 mg/l koncentracijos vario tirpalo su 0,2 g sorbento (Sorbentai: Ad – nemodifikuotas, Ad-Na – modifikuotas NaOH, Ad-NaP – fosforilintas)

Chemiškai nemodifikuotas sorbentas didžiausiu sorbcijos efektyvumu (98,2 %) pasižymėjo rūgštinėje terpėje (esant 5 pH pradinei tirpalo rūgštingumo vertei), o modifikuoti sorbentai natrio šarmu ir fosforilinant (sorbcijos efektyvumas atitinkamai 93,8 % ir 95,4 %) – neutralioje,

esant 7 pH pradinei tirpalo rūgštingumo vertei (2 pav.). Taip pat nemodifikuotas sorbentas pasižymėjo didesniu sorbcijos efektyvumu visuose tyrimuose, kai pradinio tirpalo pH buvo tarp 3,5 ir 6,5.

Vario šalinimo efektyvumo priklausomybės nuo kontakto laiko su adsorbentu tyrimai atlikti esant 5, 10, 30, 60, 120 ir 180 min. trukmės sorbento išlaikymui nustatytos koncentracijos vario tirpaluose. Šių tyrimų rezultatai parodė, kad esant 5 mg/l vario koncentracijos ir 7,0 pH pradinio tirpalo, jau po 5 min. yra pasiekiamas didelis vario šalinimo efektyvumas, kai tirpaluose vario koncentracija sumažėja iki mažiau nei 1 mg/l. Po to sorbcijos efektyvumas kinta labai nežymiai (3 pav.). Geriausiu sorbcijos efektyvumu pasižymėjo fosforilintas sorbentas (jo efektyvumas kito nuo 95,6 % iki 97,8 %), o prasčiausiai nemodifikuotas, kurio sorbcijos efektyvumas kito nuo 80,2 % iki 88,8 % (3 pav.).

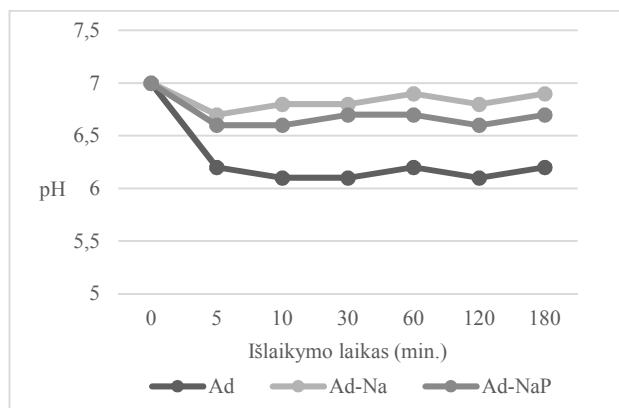


3 pav. Vario sorbcijos efektyvumo priklausomybė nuo sorbento išlaikymo laiko esant 20 °C temperatūrai, 100 ml 5 mg/l koncentracijos vario tirpalui ir 0,2 g sorbento (Sorbentai: Ad – nemodifikuotas, Ad-Na – modifikuotas NaOH, Ad-NaP – fosforilintas)

Ekspertimentų metu gauti sorbento įtakos pradinio tirpalo pH vertei duomenys patvirtino, kad pH pokytis įvyksta per pirmąsias 5 min., o vėliau kinta labai nežymiai (4 pav.). Tai pat visuose atliktuose tyrimuose po kontaktų su adsorbentu vario tirpalų pH vertės kito 6,0–7,0 pH ribose.

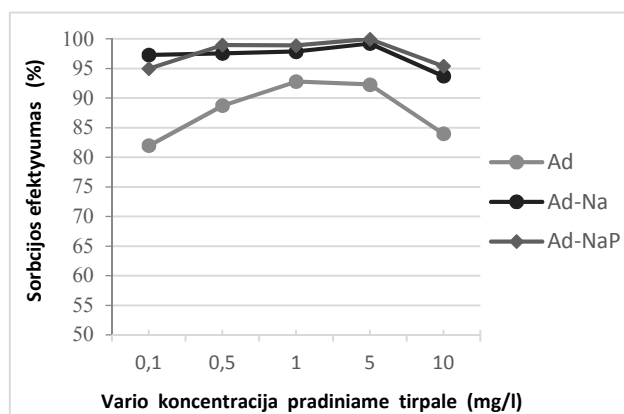
Vario koncentracijos tyrimai parodė, kad modifikuoti sorbentai išlaiko sorbcijos efektyvumą virš 90 %, kai vario tirpalo koncentracija kinta nuo 0,1 mg/l iki 10 mg/l, o natūralus sorbentas panašų sorbcijos efektyvumą pasiekia tik tada, kai vario tirpalo koncentracija svyruoja tarp 1–5 mg/l. Šis tyrimas atskleidė, kad nustatytas maksimalus visų tirtų sorbentų vario šalinimo efektyvumas pradeda mažėti, jeigu vario koncentracija tirpale viršija 5 mg/l, todėl 0,2 g sorbento yra minimalus sorbento kiekis, kuris reikalingas efektyviam vario šalinimo efektyvumui pasiekti

100 ml ir 5mg/l vario koncentracijos vandeninguose tirpaluose. Taip pat modifikuoti sorbentai yra tinkamesni esant mažoms 0,1 ir 0,5 mg/l vario koncentracijoms nei nemodifikuoti (5 pav.).



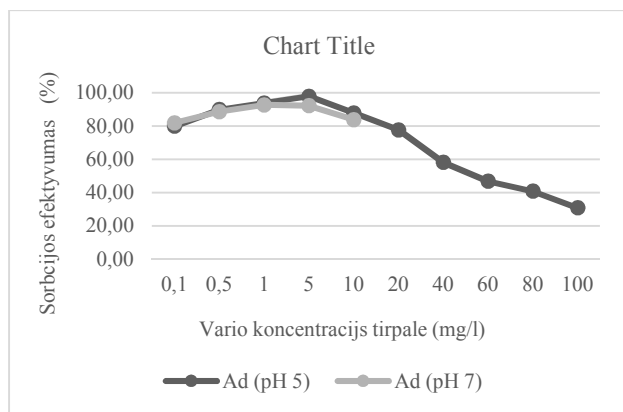
4 pav. Vario tirpalų pH pokyčio priklausomybė nuo sorbento išlaikymo laiko esant 20 °C temperatūrai, 100 ml 5 mg/l koncentracijos vario tirpalui ir 0,2 g sorbento (Sorbentai: Ad – nemodifikuotas, Ad-Na – modifikuotas NaOH, Ad-NaP – fosforilintas)

Modifikuotų sorbentų sorbcijos efektyvumas siekė nuo 95 % iki 99,9 % ir svyravo mažiau nei nemodifikuoto – 82 % iki 92 %. Mažesnis nemodifikuoto sorbento sorbcijos efektyvumas galėjo būti nulemtas pradinio tirpalo pH vertės, kuri eksperimentų metu buvo 7,0 pH.



5 pav. Vario sorbcijos efektyvumo priklausomybė nuo pradinės vario koncentracijos tirpale, kai yra 20 °C temperatūra, 0,2 g sorbento, 1 val. išlaikymo laikas bei 7 pH (Sorbentai: Ad – nemodifikuotas, Ad-Na – modifikuotas NaOH, Ad-NaP – fosforilintas)

Palyginus nemodifikuoto sorbento vario sorbcijos efektyvumą esant skirtingoms pradinėms vario tirpalų pH vertėms paaiškėjo, kad didžiausias efektyvumas (98,2 %) yra esant 5,0 pH ir 5 mg/l vario koncentracijai. Taip pat tyrimų rezultatai parodė, kad vario šalinimo efektyvumas reikšmingai nesiskyrė nuo gautų rezultatų, kai tirpalai buvo neutralūs (6 pav.).



6 pav. Nemodifikuoto sorbento vario sorbcijos efektyvumo priklausomybė nuo pradinės vario koncentracijos tirpale, kai skirtingos pradinės rūgštingumo vertės, o kitos sąlygos nekinta: 20 °C temperatūra, 0,2 g sorbento kiekis, 1 val. išlaikymo laikas

Atliktų tyrimų analizė parodė, kad tiek modifikuoti, tiek ir nemodifikuoti sorbentai yra efektyvūs šalinant vario jonus iš vandeninių tirpalų. Taip pat nemodifikuotas sorbento efektyvumas esant 5 mg/l vario koncentracijai tirpale, kai 5,0 pH yra beveik toks pats kaip modifikuotų sorbentų efektyvumas tos pačios koncentracijos tirpaluose, bet prie 7,0 pH. Geriausiu sorbcijos efektyvumu, esant skirtingiems vario koncentracijos tirpalams, pasižymėjo modifikuoti sorbentai, jų sorbcijos efektyvumas siekė nuo 95 % iki 99,9 %. Nemodifikuoto sorbento geriausias sorbcijos efektyvumas (98,2 %) buvo nustatytas esant 5,0 pH pradiniam vario tirpalo rūgštingumui bei ne didesnei nei 0,5 mg/l vario koncentracijai esant 1 val. trukmės kontakto laikui (6 pav.).

Išvados

1. Tyrimų rezultatai parodė, kad paprastojo kaštono sėklų luobelė yra tinkama kaip natūrali ar chemiškai modifikuota medžiaga vario sorbcijai iš vandeninių tirpalų, o joje esančios celiuliozės cheminis modifikavimas (fosforilinimas) gali padidinti sorbento sorbcijos efektyvumą.

2. Geriausią sorbcijos efektyvumą 95 % iki 99,9 % parodė chemiškai modifikuoti natrio šarmu ir fosforilinti sorbentai.

3. Efektyviai, virš 80 % sorbcijai pasiekti pakanka 5 min. kontakto laiko, jeigu vario koncentracija tirpale neviršija 5 mg/l, o pradinis tirpalo pH yra tarp 5,0–7,0 pH verčių.

4. Nemodifikuoto sorbento geriausias sorbcijos efektyvumas 98,2 % buvo nustatytas esant 5,0 pH pradiniam vario tirpalo rūgštingumui bei ne didesnei nei 0,5 mg/l vario koncentracijai esant 1 val. trukmės kontakto laikui.

5. 0,2 g modifikuoto sorbento pakanka išlaikyti vario šalinimo efektyvumą (virš 90 %) skirtinguose vario koncentracijos tirpaluose iki 10 mg/l, kai pradinio tirpalo 7,0 pH, o nemodifikuoto sorbento to paties kiekio pakanka tirpaluose, kurių vario koncentracija yra nuo 0,5–1 mg/l, kai pradinis tirpalo rūgštingumas – 5,0 pH.

Literatūra

- Amarasinghe, B. M. W. P. K.; Williams, R. A. 2007. Tea waste as a low cost adsorbent for the removal of Cu and Pb from wastewater, *Chemical Engineering Journal* 132(2007): 299–309. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.01.016>
- Babel, S.; Kurniawan, T. A. 2003. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review, *Journal of Hazardous Materials* B97(2003): 219–243. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00263-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00263-7)
- Ihsanullah, Abbas, A.; Al-Amera, A. M.; Laouib, T.; Al-Marric, M. J.; Nasserc, M. S.; Khraisheh, M.; Atiehe, M. A. 2016. Heavy metal removal from aqueous solution by advanced carbon nanotubes: critical review of adsorption applications, *Journal of Separation and Purification Technology* 157(8), January 2016: 141–161. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.11.039>
- Jaishankar, M.; Mathew, B. B.; Shah, M. S.; Krishna Murthy, T. P.; Sangeetha Gowda, K. R. 2014. Biosorption of few heavy metal ions using agricultural wastes, *Journal of Environment Pollution and Human Health* 2(1)(2014): 1–6.
- Jensen, J. 2003. *Aquatic chemistry*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Kotrba, P.; Macek, T.; Mackova, M. 2011. Microbial biosorption of metals, in Chapter 2. *Potential of Biosorption technology*. Springer Science + Business Media B. V.
- Liu, C.; Bai, R.; San Ly, Q. 2008. Selective removal of copper and lead ions by diethylenetriamine-functionalized adsorbent: behaviors and mechanisms, *Water Research* 42(6–7): 1511–1522. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.10.031>
- Mosayebi, E.; Azizian, S. 2015. Study of copper ion adsorption from aqueous solution with different nanostructured and microstructured zinc oxides and zinc hydroxide loaded on activated carbon cloth, *Journal of Molecular Liquids* 214 (2016): 384–389. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.11.036>
- Rungrodnimitchai, S. 2014. Rapid preparation of biosorbents with high ion exchange capacity from rice straw and bagasse for removal heavy metals, *The Scientific World Journal Volume* 2014, Article ID 634837. 9 p.
- Schwarzenbach, R. P.; Egli, T.; Hofstetter, T. B.; Urs von Gunten, Wehrli, B. 2010. Global Water Pollution and Human Health, *Annual Review of Environment and Resources* 35: 109–36. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125342>
- Tzvetkov, G.; Mihaylova, S.; Stoitchkova, K.; Tzvetkov, P.; Spassov, T. 2016. Mechanochemical and chemical activation of lignocellulosic material to prepare powdered activated carbons for adsorption applications, *Powder Technology* 299 (2016): 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.05.033>

RESEARCH OF COPPER REMOVAL FROM AQUEOUS SOLUTIONS USING HORSE CHESTNUT (*AESCULUS HIPOCASTANUM L.*) SEEDS

A. Skripka, V. Šerevičienė

Summary

Some of natural materials could be used as cheap, effective, natural and environmentally friendly sorbents for contaminant removal from water or waste water. This study shows that horse chestnut (*Aesculus Hipocastanum L.*) seeds could be a good and effective sorbent for removal of copper from water solution. The study results show that the chemical modification (phosphorylation) of cellulose can increase the sorbent efficiency up to 99.9%.

Keywords: horse chestnut, sorption, sorbent, heavy metals, copper.