



Могућности развоја сектора нанотехнологија на бази примарних и секундарних сировина у Републици Српској

Сунчица Сукур, Сузана Готовац Атлагић

Сажетак: Република Српска посједује значајне неискоришћене изворе сировина за производњу већ широко познатих примјењивих наноматеријала, међутим, овај потенцијал тек треба препознати. Анализира се потенцијал експлоатације таквих сировина, као и њихова доступност на терену. Највећи потенцијал лежи у отпаду из рударске индустрије и отпаду који садржи целулозу (пиљевина, дрвни отпад, воћне кошпе, отпад од кукуруза, итд.). Руднике метала, како активне тако и напуштене, одликују велике количине акумулисаног муља из којег је могуће издвојити металне јоне. Касније се ови екстраховани јони могу користити за производњу металних наночестица које могу имати бројне примјене. Помоћу стандардних поступака из целулозног отпада могуће је произвести активни нанопорозни угаљ, највише познат као материјал за филтрацију контаминисане воде и ваздуха. Из доступних података о овим ресурсима које су објавиле националне и међународне организације, ово поглавље сугерише да значајан потенцијал за индустријски развој у Републици Српској лежи у производњи високо

Цитирање: Сукур С, Готовац Атлагић С (2023) Могућности развоја сектора нанотехнологија на бази примарних и секундарних ресурса у Републици Српској. У: Матаруга М, Јањић В, Пржуљ Н (уредници) Природни ресурси у функцији развоја друштва XXI вијека. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIII:543–578

Cite as: Sukur S, Gotovac-Atlagić S (2023) Possibilities for the nanotechnology sector development on the bases of primary and secondary resources in the Republic of Srpska. In: Mataruga M, Janjić V, Pržulj N (eds) Natural resources for the development of society in the 21st century. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIII:543–578

квалитетних наноматеријала од отпадних материјала. Осим рјешавања низа еколошких проблема смањењем отпада, производња наноматеријала из домаћих сировина, попут рударског отпада и целулозних отпадних материјала о којима се овдје највише говори, даје могућности за подстицај локалног економског развоја. Ове индустрије могле би довести до стварања нових запослења, повећања ефикасности у искоришћењу сировина проширењем броја финалних производа који би се производили у Републици Српској са додатом вриједношћу много вишом од самих сировина.

Кључне ријечи: Сировине, наноматеријали, нанотехнологије, рударство, јаловишта, целулозни отпад, управљање отпадом, циркуларна економија

10.1. Увод

Историја експлоатације природних сировина у Републици Српској, било за традиционалне металуршке и хемијске употребе било за нанотехнологије о којима је ријеч у овом поглављу, неодвојива је у цјелини од погледа на историју ресурса Босне и Херцеговине. Подручја на којима живимо у новијој историји, прије Првог и Другог свјетског рата, била су оријентисана највише на аграр, шумарство и риболов. Индустрија је између Првог и Другог свјетског рата развијана на темељима које је успоставила аустроугарска власт. Иако је тадашња власт била окупаторска, ипак се може рећи да је индустријски сектор на просторима данашње Републике Српске од самих зачетака индустријске револуције нашао своје плодно тло. Историјски извори говоре о више стотина индустријских предузећа основаних на овим просторима у датом периоду, и то претежно базираних управо на дрвним и минералним ресурсима. Међутим, рудне сировине су на овим просторима експлоатисане и у доба Немањића. Најочитији примјер је рудник Сасе, у коме су чак живјеле популације радника досељеника из предјела данашње Њемачке (Gross *d. o. o.* 2013). Историја експлоатације соли у Тузланском базену сеже још даље и овај минерални ресурс је од најстаријих времена подстицао развој цијелог региона. Према неким изворима, врло је могуће да је со експлоатисана чак и у предримско доба (Неија 1974), али индустријска експлоатација је отпочела 1885. године, када је подигнута солана у Симинхану, а затим 1890. године и у Креки. Доказ за значај индустрије на овим просторима је и велики интерес њемачког окупатора у току Другог свјетског рата, нарочито за дрво, угаљ, боксит, жељезну руду и у том периоду већ постојећу хемијску и прехранбену индустрију. Ови историјски периоди су били компликовани и несумњиво

неповољни по приход домаћег становништва, генеришући приход за стране окупаторе. Међутим, прилике су данас другачије. Република Српска је данас суверен ентитет у оквиру Босне и Херцеговине, и без обзира на повремене дневнополитичке несугласице, чињеница је да постоји могућност да руководи сопственим ресурсима преко представника који су бирани у владајуће структуре. Најповољније за цијелу земљу било би када би се у будућности окренули полупроизводима или коначним производима умјесто још увијек доста заступљеног извоза сировина. Нарочито треба бити ријечи о обимном извозу металних руда и дрвета, два сировинска материјала о којима говори ово поглавље, а који могу бити прерађени и у наноматеријале (Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine, 2019; Slatinšek et al. 2019). Примјера ради, извоз металних руда и отпадака метала имао је вриједност изнад 446 милиона КМ у 2018. години. Ова цифра се односила претежно на извоз цинка, олова и жељеза. Само по извозу цинка Република Српска имала је ниво од 356.000 тона концентрата у 2018. години, што је било више од Канаде, Русије, Шведске и Казахстана (Bernhardt & Reilly 2020). Међутим, уколико би већи дио те количине био трансформисан у производе високе вриједности, попут наноматеријала од цинка, профит за Републику Српску би био много већи. Будућност треба да донесе правилан баланс између знања домаћих стручњака који ће развијати те производе у потпуности, од *know-how* до коначног производа у овој земљи. Међутим, иако је чињеница да овдје постоји велика разноликост сировина, не треба искључити ни опцију прераде увозних сировина до производа додате вриједности (Lessard et al. 2014; 2016; O'Regan & Moles 2006). У друге опције прије свега спада контролисано дозвољавање уласка страног капитала којим би брже били постављени индустријски капацитети за експлоатацију сировина које ова земља посједује. Заузврат, страни улагачи могу запослити већи број радника са задовољавајућим личним дохоцима, те државни буџет пунити накнадама за концесије или порезима. Од случаја до случаја, тачније од сировине до сировине или потенцијалног производа до потенцијалног производа, околности су другачије. Некада је разумљивије да држава уложи у напредак технологије, а некада напротив, да се допусти улазак страног инвеститора који ће донијети скупу технологију, а заузврат донијети поменуте финансијске бенефите као што је био случај у новијој историји у Естонији. Ова земља је након изласка из Совјетског Савеза била у лошој полазној позицији. Локална предузећа нису имала довољно ресурса али је макроекономски оквир постављен тако да су страни инвеститори третирани на исти начин као и домаћи. Овакав приступ омогућио је не само да стране инвестиције играју улогу прилива капитала, већ су страни инвеститори подржали трансфер знања и допринијели уласку нових технологија, усљед

чега је економија ове земље успјешно и брзо реструктурисана (Feldmann 2013; Laar 2008; Ratso 2005).

Ово поглавље ће настојати да скрене пажњу на могућност развоја сектора нанотехнологија, конкретно наноматеријала, који на тржишту у вријеме писања и објаве ове монографије могу достизати високе вриједности и до неколико хиљада долара по килограму (Nanomaterials 2021). Нанотехнологије су нова област индустрије, атрактивна тек од средине 1980-тих, а која има значајне специфичности и многе различитости од класичних технологија о којима ће у наставку бити детаљније ријечи. Међутим, и нанотехнологије се највећим дијелом ослањају на изворе природних сировина те стога завређују пажњу и спадају у ову монографију. Преглед могућности за развој нанотехнологија у Републици Српској стога обухвата преглед доступних примарних сировина, али и секундарних сировина на којима те технологије могу бити базиране.

10.2. Основни појмови о наноматеријалима

Дефиниције наноматеријала су још увијек предмет дискусије различитих међународних тијела за стандардизације. Најближе околностима у Републици Српској је свакако позивати се на ИСО стандарде, који кажу да је „наноматеријал материјал који има било коју вањску димензију на наноскали или има унутрашњу структуру на наноскали“ (ISO/TC 229 Nanotechnologies, 2015). Међутим, очекује се излазак новог стандарда у овој области који већ има дефинисан наслов (*ISO/AWI 80004-1*, n. d.). Чињеница је да је ова дефиниција доста свеобухватна, јер се према својим димензионим својствима наноматеријали најчешће сврставају у материјале чија је бар једна димензија испод 100 nm, иако је ова дефиниција још под лупом међународне научне заједнице јер посебна „нано“ својства често показују и материјали чија је једна од димензија испод 1000 nm. Више о разматрањима могућих класификација биће у наставку.

Већина књига које се баве нанотехнологијама започиње историјат ове области легендарним говором нобеловца професора Фејнмана, одржаним 1959. године, којим је визионарски прорекао да ће сићушне честице „тамо негдје на дну“ створити револуцију у медицинским третманима омогућавајући „молекуларним машинама“ приступ до болесних ћелија (Drexler 2004; Feynman 2003; Toumey 2008). Данас је то већ случај са функционализованим наночестицама које проналазе одређене фенотипове канцерогених ћелија и везујући се за њих „истоварају терет“ лијека специфично намијењеног да уништи баш тај тип канцера (Cho et al. 2008; De

Jong & Borm 2008; Haley & Frenkel 2008). Може се рећи да су то већ „молекуларне машине” чији је развој наслућивао професор Фејнман. Међутим, не знајући колико сићушним честицама рукују, људи су користили наноматеријале и кроз историју, нарочито у бојама за керамику у старом Египту и Мезопотамији, чак и у Риму, о чему је дат квалитетан преглед историје у раду *Jeevanandam* и сарадници (*Jeevanandam et al.* 2018). Један од историјски најразумљивијих примјера јесте управо ојачавање керамичких производа у времену прије нове ере, јединим природним нановлакнима, минералним влакнима азбеста.

У новијој историји, чак 1857. године, Мајкл Фарадеј је синтетизовао колоидне растворе злата, не знајући да је описао прву рецептуру за припрему наночестица. Фарадеју је ипак било јасно да се ради о нечему неуобичајеном јер је примијетио да су оптичка својства златног колоида значајно другачија од злата у чврстој и компактној маси (*Faraday* 1857; *Tweney* 2006). Неколико деценија касније, Мие је 1908. године детаљније описао разлоге зашто се у колоидима метала јављају тако специфичне боје (*Horvath* 2009; *Mie* 1908). Такође, још увијек недовољно схватајући да се ради о специфичној научно-технолошкој области, индустрије су отпочеле са примјеном наночестица за ојачавање других материјала, као што је ојачавање гуме наночестицама силицијум-диоксида (SiO_2) (*Z. Zhang et al.* 2018; *Zhao et al.* 2018). Данас су то широко развијене методологије: ојачавање, олакшавање, побољшавање проводљивости, антибактеријских и бројних других својстава материјала попут полимера, управо додавањем наночестица или нановлакна. У аутоиндустрији је то нарочито битно за појачавање адхезије точкова за пут, за добијање прозирних слојева на стаклу који дају својство одбијања мраза или кондензације паре, као и слојеве отпорне на огреботине и друго (*Nemati Giv et al.* 2018). Појављују се и технологије прилагодљиве оптике и магнетних огледала у астрономским телескопима напуњене ферофлуидима. Ферофлуиди су такође колоидни раствори у којима се наночестице поравнавају у правцу магнетног поља у коме се налазе (*Zahn* 2001). Као потпуни контраст оваквим примјенама јављају се медицинске нанотехнологије попут наночестица бјеланчевине албумина, које су биокомпатибилне, а које имају снажна адсорпциона средства према лијековима за третман чак и канцера (*Elzoghby et al.* 2012; *Irache et al.* 2005).

Обједињавањем историјских опсервација у области наука о материјалима прије развоја инструменталних техника за детекцију нано-димензија, оних са данашњих високософистицираних метода, данас се зна да поријекло наноматеријала може бити тројако (*Hochella et al.* 2019):

- Случајно настали наноматеријали: они који настају као споредни продукт индустријских или природних процеса или процеса који се одвијају у домаћинствима. Најтипичнији у овој групи су наноматеријали који се јављају у издувним гасовима, сублилатима приликом заваривања (Cena et al. 2014; McCarrick et al. 2019), процесима сагоријевања или чак процесима као што су шумски пожари.
- Инжењерски наноматеријали које производе људи како би имали тачно одређена својства намијењена такође тачно одређеним примјенама.
- Природно настали наноматеријали: они који се могу наћи у ткивима различитих организама: инсеката, биљака, животиња, а чак и људи (Carpenter et al. 2015; Rogers 2016).

Понекад је разлика између ове три класе материјала нејасна, јер се случајни материјали могу сматрати као једна од категорија природних наноматеријала. Молекули, сачињени од атома, и као основна јединица свих живих организама и неживућих материјала у природи, бивају више пута трансформисани како би креирали одређене наноматеријале, а који онда даље доприносе проношењу или развоју живота на земљи. Може се сматрати да се природно настали и случајно настали наноматеријали непрестано формирају и дистрибуишу кроз земљиште, површинске и подземне воде и саму атмосферу (Nochella et al. 2019). Најважнија разлика између случајних и инжењерских наноматеријала је у томе што морфологија инжењерских наноматеријала може бити много јасније и боље контролисана у поређењу са случајно насталим наноматеријалима. Додатно, инжењерски наноматеријали могу бити намјерно дизајнирани како би се максимално искористила нова својства која потичу управо од њихове мале величине. Међу најбитнијим својствима која се помињу највише се истичу физичко-хемијска као што су: тачка таљења, способност квашења, електрична и термална проводљивост, каталитичка активност, апсорпција и расипање свјетла и многа друга својства у поређењу са истим материјалима посматрано у маси (Seifi et al. 2020).

Наноматеријали се прије свега класификују према својој димензионалности. То не морају неминовно бити сићушне честице чији је пречник на нанометарској скали (то би типично били 0-димензионални, 1-димензионални и 2-димензионални). Напротив, наноматеријалима се сматрају и више врста 3-димензионалних материјала који могу бити привидно у маси гранула, штапића, полимерних маса и слично, међутим, унутар своје структуре посједују или нанопоре или наноаслојавања других

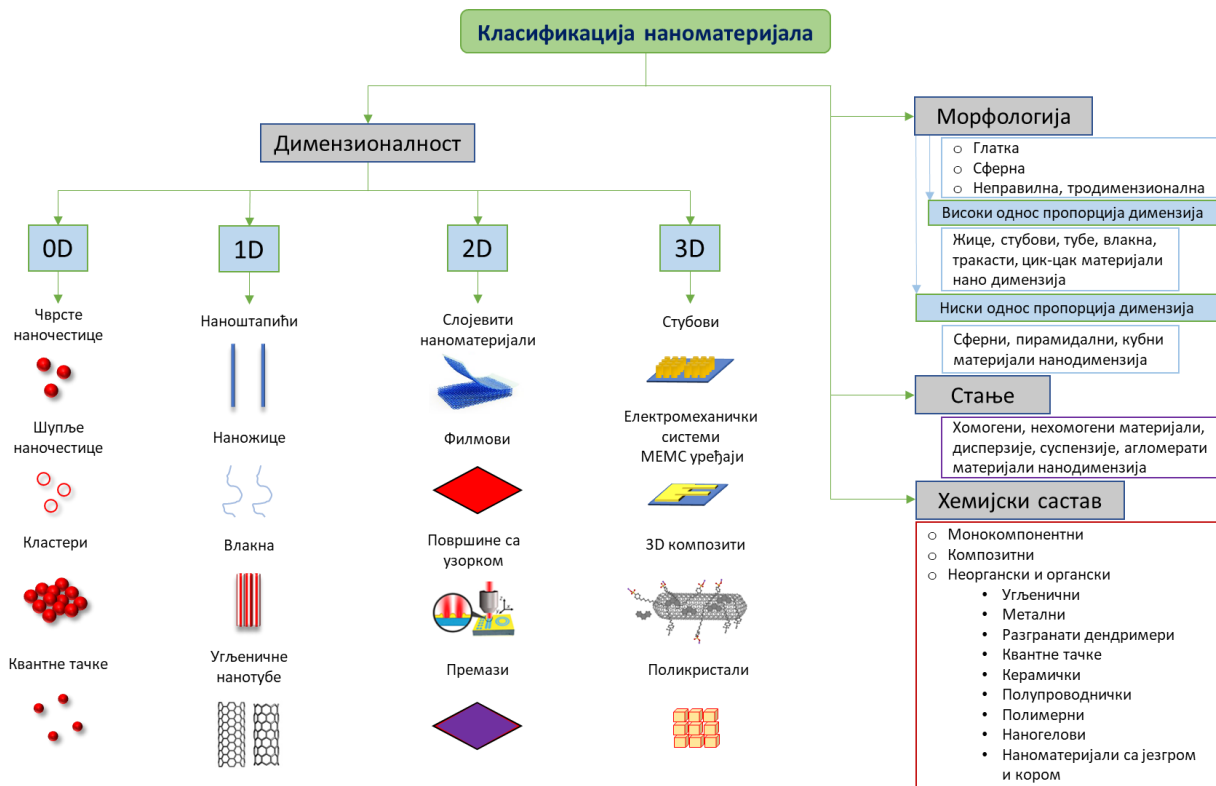
материјала, те можда центре нуклеације кристала који су нано димензија. Морфолошки гледано, могу да буду глатких површина (филмови, премази, други слојевити наноматеријали), сферни или врло неправилних, тродимензионалних облика са доста жљебова или неравнина. Однос димензија може бити такав да је дужина вишеструко већа од пречника или напротив, да су релативно сличних димензија у свим геометријским правцима. Стање наноматеријала не мора неминовно да буде чврсто, они такође могу бити и у виду суспензија, агломерата и мекших материјала, гдје су најактуелнији примјер метално-органске мреже.

Комерцијализовани наноматеријали најчешће се уско могу подијелити у сљедећих неколико класа, о чијим ће појединачним потенцијалима за производњу у Републици Српској бити више ријечи у наставку.

- Наноматеријали на бази угљеника: наноцјевчице (нанотубе), елипсоиди и сфере (фулерени), угљенична нановлакна, графен, чађ и други необични облици материјала изграђени скоро 100% од угљеника. Ови материјали се у индустријским условима најчешће добијају процесима ласерског топљења, лучног електричног пражњења и хемијског таложења паре.
- Неоргански наноматеријали: у ову класу наноматеријала прије свега се убрајају метали и метални оксиди, метални сулфиди, карбиди (керамички наноматеријали) и друга једињења. У овој класи су нарочито широко истраживане квантне тачке (наноматеријали са језгром и кором).
- Органски наноматеријали: овдје се убрајају наноматеријали који су углавном изграђени од органске материје, али искључујући горе описане угљеничне наноматеријале и чисто неогранске наноматеријале. Вјештим комбиновањем нековалентних (слабијих) међудјеловања између молекула и могућности самоорганозовања структуре, долази се до могућности трансформисања органских наноматеријала у жељене структуре, попут дендримера (фармацеутска индустрија нарочито), липозома, разних полимерних наночестица или наногелова.
- Композити са наночестицама: овдје спадају вишефазне наночестице или чврсти материјали у којима је једна фаза обавезно нанодимензија која се онда може комбиновати или са другим наноматеријалом или са материјалом у маси, при чему могу бити добијени материјали проткани нановлакнима или метално-органске мреже са варијацијама својстава. Композити тако још могу бити базирани на чисто угљеничним, металним или другим органским

наноматеријалима, а који се затим комбинују са металним, керамичким или полимерним материјалима у масу.

Сви ови поменути материјали могу имати различите морфологије као што и приказује слика 10.1. зависно од жељене примјене. Ово поглавље ће се прво бавити примарним, а затим више секундарним сировинама из рударске индустрије, примјенљивим за производњу наноматеријала. Затим ће се наставак дискусије тицати потенцијала за производњу угљеничних наноматеријала из отпадне биомасе, прије свега отпада који садржи висок проценат целулозе. Акцент ће бити стављен на производњу активног угљена, највише коришћеног филтер материјала за различите намјене. Нажалост, отпадни целулозни материјали су у Републици Српској и шире у региону углавном посматрани као обновљив извор енергије (биомаса за спаљивање). Оваква биомаса се јавља највише у пољопривреди (слама, окруњени клип кукуруза, кукурузовина...), затим из шумарске индустрије (дрвна сјечка различитог поријекла и морфологије, шишарке) те других сродних индустрија. Дефиниција биомасе је чак дата дефиницијом Директиве Европске уније 28/2009 (Document 32009L0028 2009). Производња активног нанопорозног угља на бази целулозног отпада је један од важних корака ка самоодрживости сваке земље па тако треба да буде и Републике Српске. Овај материјал обезбјеђује чисту воду, ваздух у радној средини, користи се за редуцију разних врста токсичних емисија, али и у прехранбеној индустрији за избистравање вина, сокова, отклањање кафеина из кафе и многим другим областима (Fernandez et al. 2003; Roy 1994)



Сл. 10.1. Један од приједлога класификације наноматеријала према различитим критеријумима, адаптирано из (Saleh 2020)

Fig. 10.1. One of the proposals for the classification of nanomaterials according to different criteria, adapted from (Saleh 2020)

10.3. Метални наноматеријали

Метални наноматеријали као класа неорганских материјала, у вријеме припреме ове монографије (2021. година), чине највише комерцијализовану групу наноматеријала. Методе њихових синтеза и начина експлоатације сваког дана су све бројније. Такође су све бројнији феномени необичног понашања на атомском нивоу који се код њих примјећују. Међутим, њихове цијене су понекад превисоке и вјероватно ће врло брзо постати кључан за њихову производњу проналазак нових ресурса. У складу с тим, ово поглавље монографије бави се управо једним таквим потенцијалним ресурсом за производњу наноматеријала, а то су јаловишта рудника метала. Јаловишта представљају језера препуна отпадне воде настале испирањем руде током процесуирања, при чему таква отпадна вода носи значајне количине муља који се таложу на дну језера, а вода се неријетко доста добро рециркулише и поново користи декантовањем. Овакав муљ могуће је у већем дијелу киселинским третманом растворити и превести у високо концентрован раствор препун јона метала. Затим је могуће коришћењем принципа класичне аналитичке хемије раздвојити метале и селективно доћи до жељеног метала. Такав раствор затим је могуће користити као сировину за производњу наноматеријала већ познатим методама синтеза или радити на развијању нових метода. Уколико се сепарација јона обави на задовољавајући начин, можда би могло бити могуће из оваквих сировина произвести наноматеријале употребљиве у катализама, оптици, соларним ћелијама, па можда чак и медицини. Примјена рударског отпада на овакав начин је у складу са најсавременијим трендовима у свијету који фаворизују валоризацију отпада апсолутном рециклажом, као и саму енергетску ефикасност. Кад се узме у обзир да је рударство област индустрије која троши огромне количине енергије, разумно је тежити и апсолутном искоришћењу сировина за чије ископавање је та енергија употријебљена. Ово поглавље ће продискутовати управо најновије проналаске из ове области у свијету, али и оне публиковане на бази истраживања спроведених у Републици Српској.

10.3.1. Примарни ресурси за производњу металних наноматеријала

Историја рударства је у значајној мјери дефинисала развој човјечанства, чак су и ере добијале назив према металу или легури која је у то вријеме примјењивана и која је довела до огромног побољшања људског живота. Данас историја пише о бакарном добу, бронзаном добу, итд. Хронологија проналазака у области обраде метала може се наћи широко документована

у археолошкој литератури, с тим да се већина аутора (Heskel 1983; Pigott 1999) слаже у сљедећем редослиједу:

1. Злато, (око) 6000. година п. н. е. – Човјек из каменог доба израђује накит од злата.
2. Бакар, (око) 4200. година п. н. е. – Употреба бакра била је значајнија од употребе злата, с обзиром на чињеницу да су први алати, оруђа и оружја израђивани од бакра.
3. Сребро, (око) 4000. година п. н. е. – Сребро је имало широку употребу кроз историју као основа за монетарне системе Римског и Кинеског царства.
4. Олово, (око) 3500. година п. н. е. – Могуће је да је топљење олова започело прије најмање 9.000 година.
5. Калај, (око) 1750. година п. н. е. – Прво топљен у комбинацији са бакром око 3500. п. н. е. да би се добила бронза.
6. Гвожђе, (око) 1500. година п. н. е. – Откриће топљења око 3000. године п. н. е. водило је почетку жељезног доба око 1200. године п. н. е. са широком употребом гвожђа за алате и оружје.

Сви побројани метали су изузетно важни за развој нанотехнологија примјењивих у различитим областима индустрије и свакодневног живота. Још из ране људске историје познато је да је Босна и Херцеговина земља која има веома густу дистрибуцију рудника метала и угља у односу на површину земље (Schumacher 1954). Мањи и већи рудници метала који су и даље у експлоатацији са потенцијалом за нанотехнологију:

- „Милићи”, боксит Al_2O_3
- „Посушје”, боксит Al_2O_3
- „Читлук”, боксит Al_2O_3
- „Широки Бријег”, боксит Al_2O_3
- „Рудник боксита Сребреница”, боксит Al_2O_3
- „Јајце”, боксит Al_2O_3
- „Омарска”, Fe
- „Сасе”, Сребреница, Pb, Zn, Ag
- „Босанска Крупа”, боксит Al_2O_3
- „Мачкаре”, Горњи Вакуф, Cu, Au
- „Бужим”, Mn

Међутим, ова историја рударства металних сировина и присуство активних рудника, осим за класичну металургију, постаје данас важна са сасвим другог аспекта. Наиме, сви ови рудници су „оставили” иза себе јаловишта (Edraki et al. 2014). Ефикасност екстракције метала несумњиво се повећавала кроз историју, међутим, и данас је формирање јаловишта неизбјежна посљедица

рударства. Посматрање јаловишта формираних од индустријске револуције до првих деценија 21. вијека нешто је једноставније, с обзиром на то да има више података и таква јаловишта су обично физички приступачнија. Међутим, за неке области рударства, чак и прастара јаловишта могу имати значај, посебно кад се узме у обзир могућност да нека од њих садрже критичне или ријетке земљане метале, чија је примјена у технологијама добила на значају тек посљедњих деценија. Сумарно, јаловишта постају веома важна класа секундарних металних ресурса и зато ће ово поглавље нарочито да истакне њихов значај и потенцијал.

10.3.2. Секундарни ресурси за производњу металних наноматеријала

Убрзан развој рударских технологија неизбјежно води људску расу ка исцрпљивању рударских ресурса, барем оних који су доступни у вишим дијеловима Земљине коре и који се могу релативно сигурно експлоатисати. Рециклажа металног отпада (дијелова машина, грађевинског отпада, свакодневног отпада из домаћинства, итд.) такође се брзо развија. У Републици Српској, као и у другим земљама са вишим средњим бруто националним дохотком (или нижег степена развоја), рециклажа је успорена усљед лошег оперативног система за спровођење прописа у области рециклирања. Такође, постоје техничке потешкоће у рециклирању попут присуства превише састојака у легури, а чије је одвајање скупо или чак немогуће. Стога би очигледан избор за повећање ефикасности експлоатације у рударству био повећано истраживање о рударском отпаду (јаловиштима). Међутим, на овом подручју није учињено много у Републици Српској осим текућих истраживања појединих научних група (Gotovac Atagić et al. 2015; Tankosić, et al. 2020; Gotovac Atagić & Pavlić 2018; Smiljanić et al. 2018; Stević et al. 2014, 2016; Tomašević et al. 2018).

Ријетко се могу видјети добре праксе рециклирања металног отпада из јаловишних акумулација у нанотехнологији. Међутим, један добар примјер је рад компаније „Magnetation” из САД, која се фокусира на стара јаловишта за експлоатацију жељеза, односно напуштене залихе отпада и јаловишта из 18. вијека и тај отпад претвара у употребљиво техничко жељезо (Magnetation, <https://magnetation.com>). Свој успех дугују чињеници да магнетно одвајање малих честица раније није било развијено, док су технологије 20. вијека отвориле врата за то. Ова технологија, иако је вриједна и постиже резултате, има и ограничења у величини честица или врсти жељезне руде (магнетна или не). Било би пожељно да јаловишта свих рудника метала буду на овај или

сличне начине очишћена од металних компоненти, а затим и рекултивисана како би се проширило пољопривредно земљиште, спријечило испирање металних јона у земљу и у подземне изворе питке воде. Иако је рекултивација и ремедијација оваквих загађених локација без сумње приоритет сваке земље са аспекта заштите околине, ипак, такође, треба напоменути да ни економски дио таквог искоришћавања није нимало занемарљив. Савршен сценарио савременог и „зеленог“ (еколошки прихватљивог) рударства би био: искоришћење 100% метала који су допремљени из дубоког подземља уз велике количине енергије и рада. То ће бити могуће једино изналажењем специфичних технологија потпуне екстракције металних јона из свих јаловишта.

Стога би најзанимљивија јаловишта за нанотехнологије базирана на металима могла бити код напуштених рудника:

1. „Смрека“ Вареш, Fe (хематит, сидерит, лимонит)
2. „Веовача“ Вареш, Pb, Zn, Ba, Ag (HgS)
3. „Олово“ Олово, Pb (церузит)
4. „Чемерница“ Фојница, Sb, Ag (HgS)
5. „Баковићи“ Фојница, Au, Ag (Fe)
6. „Дубраве“ Крешево, Ba, Cu, Ag
7. „Виховићи“ Мостар, мрки угаљ

Ова монографија се, међутим, фокусира на ресурсе Републике Српске, те би у складу са тим било значајно истаћи неколико локација на којима су међународни пројекти и пратеће публикације показали да садржај јаловишта има потенцијале у нанотехнологијама. То су рудник жељеза у Омарској, рудник олова и цинка у Сасама и јаловиште црвеног муља из прераде боксита у Каракају код Зворника под управом компаније „Алумина“.

На сваком од ових јаловишта, осим неискоришћених количина примарног метала, често се могу наћи значајне количине других метала у траговима. Екстракција тих метала, који ће бити споменути у наставку и од којих већина налази значајне примјене у различитим индустријама, захтијева развој посебних технологија. Типичан примјер је жељезо у руднику „Омарска“ које прате значајне количине мангана. Одређене количине литијума (Palinkaš et al. 2016) измјерене су у области Љубије, недалеко од Приједора, те присуство ријетких земљаних метала у траговима не може бити искључено ни у јаловиштима рудника Омарска, што указује на потребу за систематским истраживањем о овој теми.

Након истицања важности рударења метала за људску историју, у наставку је важно нагласити зашто су нанодимензије метала тако атрактивне и зашто се

толико разликују од метала у маси. На садашњем нивоу развоја наноматеријала, метални наноматеријали нису најшире проучавани ако се посматра са становишта броја јавних међународних публикација, јер су доминантнији угљенични и друге врсте наноматеријала. Истраживање металних наноматеријала је ипак резултовало највећим бројем патената и они су најкомерцијалнија група наноматеријала. На глобалном тржишту наноматеријала, вриједност наноматеријала је у 2019. години износила је око 8,5 милијарди америчких долара (Global Nanomaterials Market Size Report 2020), са најкомерцијализованијим металним наноматеријалима: цинк-оксид (ZnO), титан-оксид (TiO₂) и металоид силицијум-диоксид (SiO₂). Реалне предикције тржишних стручњака говоре да ће тржиште цинк-оксида само у Кини бити вриједно и до 1,4 милијарде америчких долара до 2022. године (Singh Sahu 2016).

ZnO је полупроводник са широким енергетским процјепом (3,37 eV) и великом енергијом везивања ексцитона од 60 meV на собној температури. Због тога његове наночестице апсорбују ултраљубичасто, видљиво и блиско инфрацрвено зрачење, што их чини корисним у војним и комерцијалним апликацијама као „невидљиви” материјал високих перформанси за апсорпцију милиметарских таласа изузетно високе фреквенције. Такође, захваљујући овом својству, широко се користе и у производима за заштиту коже и косе од сунчевих зрака. Његова корисност протеже се и на радиоактивну заштиту за мобилне телефоне и друге уређаје. Наноматеријал ZnO је истражен и у технолошким примјенама, од каталитичких, електричних и фотохемијских поља. У облику танког филма, ZnO се користи за равне екране и могао би да се користи као алтернатива TiO₂ наноструктурираној електроди у фотоћелијама типа *Grätzel*. Такође, комерцијално би била исплатива производња ZnO намијењеног за израду ефикасних ЛЕД диода, као и УВ диода и ласера за рад на собној температури (Bodea et al. 2013).

Из наведених података несумњиво је да је потенцијал Републике Српске у цинку за нанотехнологије велики. Наиме, рудник „Грос” у мјесту Сасе крај Братунца у 2020. години је произвео 281.088 тону руде цинка. Несумњиво је дакле да Република Српска има озбиљне залихе цинка (у виду олово/цинк руде). Међутим, научна истраживања би такође требало да се фокусирају и на јаловиште које се налази уз овај рудник, а које би могло имати потенцијал као ресурс за нанотехнологије. Важно је напоменути да се ради о друштвено одговорној компанији, те је јаловиште максимално обезбијеђено, санирано и земљиште око њега рекултивисано (Слика 10.2). Међутим, прерадом јаловине, која већ представља фино уситњени материјал, могла би се додатно смањити количина овог отпадног материјала и утицај на околину свести на минимум, па можда чак и потпуно елиминисати само јаловиште.

Истраживања су у току на Природно-математичком факултету Универзитета у Бањој Луци.



Сл. 10.2. Поређење статуса јаловишта рудника цинка у Сасама прије и после реставрације (уступљене фотографије, компанија „Грос“, Градишка)

Fig. 10.2. Comparison of the status of zinc mine tailing in Sase before and after restoration (provided photos, "Gross" company, Gradiška)



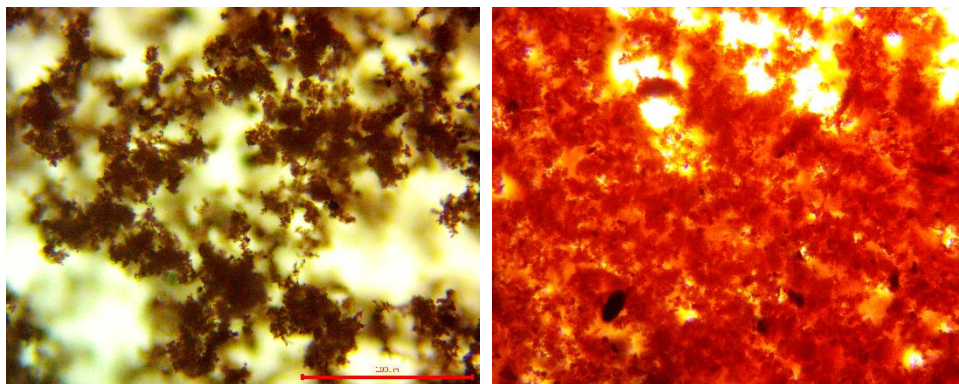
Сл. 10.3. Локација јаловишта црвеног муља у Каракају код Зворника, фотографија са терена, архива аутора

Fig. 10.3. Location of red mud tailing in Karakaj near Zvornik, photographs from the field, author's archive

Сљедећи по значају секундарни ресурс за нанотехнологије металних материјала могао би бити црвени муљ. Ради се о јаловини која настаје прерадом боксита. У мјесту Каракај налази се јаловиште црвеног муља домаће индустрије (компанија „Алумина“) процијењено на 19 милиона тона (0). Боксит се у ову индустрију допрема из више региона у Босни и Херцеговини, али претежно из Милића (D. Smiljanić, personal communication, 2020).

Црвени муљ као јаловина садржи како алуминијумски, тако и значајне количине жељезних оксида. Наночестице алуминијума су високо ефикасни катализатори. Када се додају у чврсто ракетно гориво, помажу у побољшању брзине сагоријевања и знатно повећавају топлоту и стабилност сагоријевања. Брзина горења чврстог горива може бити 5–20 пута већа уколико се користе нанопрахови од алуминијума у односу на прахове већих величина честица (Babuk et al. 2009). Додавање око 5–10% наночестица алуминијума у нормални алуминијумски прах побољшава процесе синтеровања керамике са високим перформансама преноса топлоте, повећаном густином и побољшаном топлотном проводљивошћу синтера. Наночестице алуминијума имају добру способност синтеровања чак и при ниским температурама због велике површине и односа површинских атома. С друге стране, осим потенцијала да се евентуално истражи могућност производње наночестица алуминијума из овог јаловишта, веома је битан и потенцијал присуства жељеза. Садржај жељезних оксида у црвеном муљу може досегнути и вриједности значајно преко 50% (подаци компаније „Алумина“). Овај оксид је у форми хематита, стабилног и биокompatибилног материјала. Величина његових честица је у области микро односно ултрамикро димензија (0).

Чак и као такви би могли бити изузетно атрактивни, али нарочито би било корисно превести их у зону нанодимензија. Познати су резултати неколико истраживања у свијету у којима се оксид хематит преводи у облик магнетита различитим методама оксидације (Betancur et al. 2003; Popomar et al. 2019). У овом случају, код црвеног муља, уколико би било могуће превести честице хематита у облик магнетита, то би омогућило њихово веома једноставно издвајање из масе муља од других присутних честица (силикатних, алуминијумских, титанијумских и других оксида). Дакле, примијенила би се магнетна поља која би привукла ове честице и селективно омогућила њихово одвајање. Кад се каже да су честице хематита и магнетита чак обећавајуће у технологијама литијумских батерија као анодни материјал, схвата се о колико значајном потенцијалу се овдје ради.



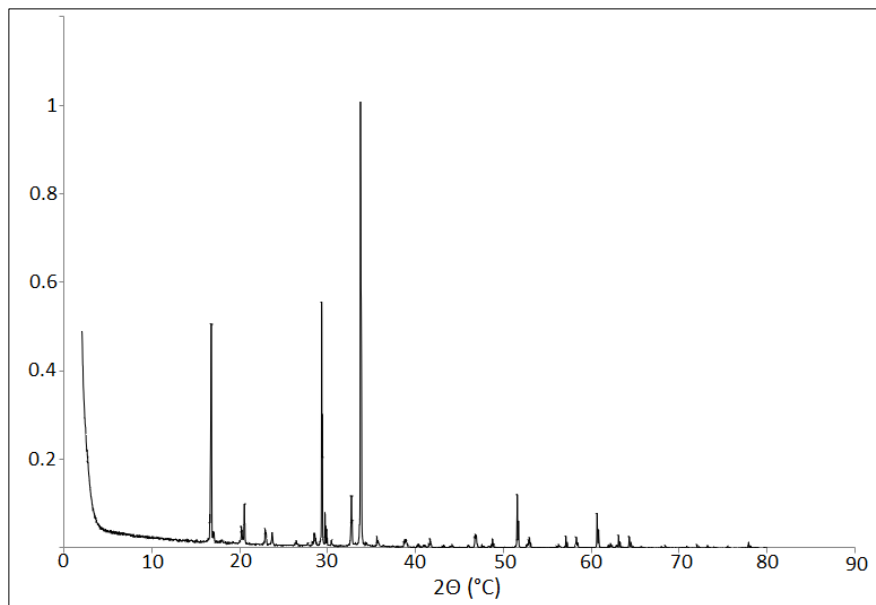
Сл. 10.4. Изглед честица у црвеном муљу узоркованом у Каракају, сложена оптичка микроскопија (Gotovac Atlagić et al. 2020; Sukur et al. 2021)

Fig. 10.4. The appearance of particles in red mud sampled in Karakaj, complex optical microscopy (Gotovac Atlagić et al. 2020; Sukur et al. 2021)

У току 2020. године отпочео је међународни пројекат финансиран од стране Европског института за иновације и технологију од 1,9 милиона евра и 20 партнера, који се бави управо и овом темом и у коме учествује 5 индустријских и академских партнера из Босне и Херцеговине, између осталих и Универзитет у Бањој Луци. Истраживања су у току и биће објављивана у наредним годинама.

Резултати истраживачких група Универзитета у Бањој Луци показују да јаловишта рудника жељеза носе сигуран потенцијал као извор сировина за нанотехнологије (Gotovac Atlagić et al. 2014; Stević et al. 2014; 2016). Ове истраживачке активности тренутно су усредсређене на рудник гвожђа „Омарска” на сјеверозападу земље, гдје се количина руде процјењује на више од 60 милиона тона, а само јаловиште „Међеђа” садржи око 6 милиона тона јаловине, и у току је пуњење новог јаловишта. Током процеса прања руде, према резултатима, много ситних, немагнетних честица гвожђа пролази у акумулационо језеро заједно са осталим компонентама муља. Стевић и сар. пронашли су да поред гвожђа постоје и значајне количине садржаног мангана (Stević 2014). Узимајући у обзир да манган постаје дефицитаран, чак се и наводи да постепено постаје један од критичних метала, онда је очигледна вриједност таквог додатног и доступног извора мангана. Овај ресурс би се могао користити за производњу наночестица манган-оксида корисних у многим примјенама (Schladt et al. 2009). Прелиминарни експериментални резултати су показали да је могуће синтетизовати на јефтин начин савршено кристалан манган-сулфат *p. a.* чистоће, само на бази филтрата заосталог након отклањања жељеза из

дигестираног муља. Слика 10.5. приказује управо рендгенски дифрактограм тог резултата, на коме се уочава да је тако синтетизован манган-сулфат на бази секундарног ресурса у потпуности идентичне структуре као и чист намјенски произведен комерцијални производ.



Сл. 10.5. Рендгенска дифрактометрија манган-сулфата ($MnSO_4$) синтетизованог на бази јаловине из рудника Омарска (Stević 2014)

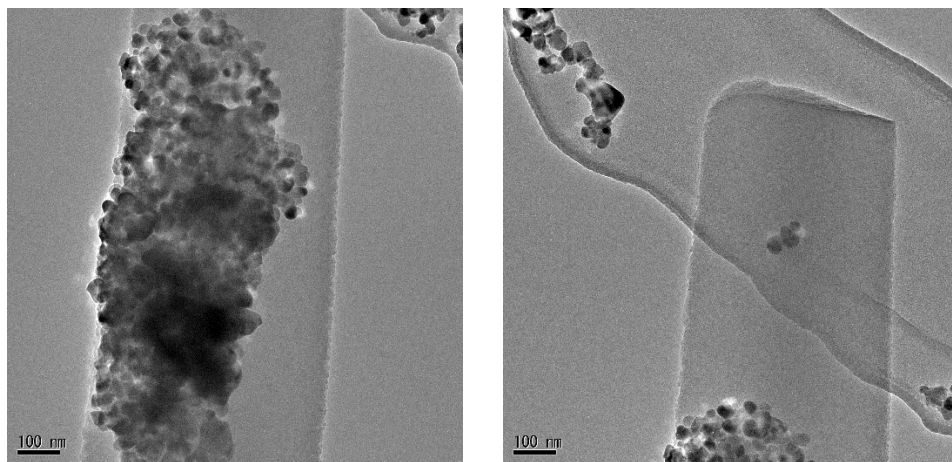
Fig. 10.5. X-ray diffraction of manganese sulfate ($MnSO_4$) synthesized on the basis of tailings from the Omarska mine (Stević 2014)

Екстракција метала обавља се различитим методама киселинске дигестије, а затим се припрема мјешовити јонски раствор из екстрахованих метала у води и врши се одвајање метала класичним аналитичким хемијским методама. Гвожђе се прво екстрахује помоћу амонијум-хидроксида и амонијум-хлорида.

Презентација резултата привукла је велику пажњу на признатим међународним конференцијама (Gotovac Atlagić et al. 2014; Gotovac Atlagić et al. 2015), јер се ниједна група на свијету тренутно не бави таквом темом на сличан начин. Квалитет недавно добијених честица окарактерисан је и процијењен у сарадничкој лабораторији у Нагану у Јапану и показао је тржишне вриједности до 1.580 €/kg што директно показује потенцијал идеје. Додатно, метали се екстрахују киселинском дигестијом уз потпуну могућност рециклирања киселине, што указује на еколошку страну ове методе, с

обзиром на то да се добија углавном нетоксична силикатна шљака (Слика 10.6).

У оквиру овог истраживања, синтетизоване су и честице које представљају јефтине и лако добијене хематитне језгре металних наночестица са угљеничним кошуљицама, округлог су облика и са доказаном примјенљивошћу у производњи батерија. Наиме, постоје примјери наночестица магнетита хибридованих са угљеником за примјену у батеријама (He et al. 2013). Сматра се да су наночестице Fe_3O_4 хомогено уграђене у дводимензионални (2D) порозни графитни омотач, трајни анодни литијум-јонски акумулаторски материјал са великом брзином пуњења (858, 587 и 311 mAh/g при 5, 10 и 20 C респективно, 1 C = 1A/g) и изузетно одличне учинковитости при великим брзинама (само 3.47 % губитка капацитета након 350 циклуса при великој брзини од 10 s). Такође, откриће које иде у прилог овој примјени је редуковани композит графен- оксид / Fe_2O_3 који се користи као анодни материјал за Li-јонске батерије. Њихов композит показује капацитет пражњења и пуњења од 1.693 и 1.227 mAh/g, уз добру учинковитост и брзину (Zhu et al. 2011).



Сл. 10.6. Примјери висококвалитетних наночестица жељезног оксида хематита добијени из јаловине рудника Омарска, ХРТЕМ слике, необјављене слике везане за публикацију (Stević et al. 2016), архива аутора

Fig. 10.6. Examples of high-quality hematite iron oxide nanoparticles obtained from tailings of the Omarska mine, HRTEM images, unpublished images related to the publication (Stević et al. 2016), author's archive

Поред примјене у батеријама, наночестице жељезног оксида налазе своје мјесто у многим областима науке и технологије, углавном у магнетним медијима за снимање (Grecu et al. 2008; Mikhaylova et al. 2004). Такође су веома вриједни као катализатори за методу хемијског наношења паре као једне од метода за синтезу вишеслојних угљеничних нанотуба (Li et al. 2001) и за санацију онечишћења из отпадних вода (Lien & Zhang 2001; Ponder et al. 2000). Исплатива, поуздана технологија могла би се заснивати на жељезу због његове ефикасности у дехалогенизацији и бенигног утицаја на околину (Kim & Carraway 2000).

Укратко, употреба наночестица жељеза или жељезног оксида умјесто традиционалних, токсичнијих пуњења за батерије или каталитичких материјала, узбудљива је инвестициона прилика у којој би Република Српска са својим природним и људским потенцијалима могла играти важну улогу у Европи.

Истраживање Готовац Атлагић и сар. се даље фокусира на развој детаљног поступка за екстракцију јона гвожђа из муљева са различитих локација и различитог квалитета, као и на поступке таложења наночестица гвожђа (Gotovac Atlagić et al. 2014; Stević et al. 2016). Затим слиједи искоришћавање потенцијала за проширење и неке од апликација које је могуће тестирати на постојећим лабораторијским капацитетима сарадничких лабораторија ове групе у Европи и Азији. Уколико би се муљ могао користити за производњу наночестица гвожђа у индустријским размјерама, истовремено би се рјешавала два проблема: загађење околине (које тренутно постоји у рударском подручју због велике количине отпадне воде из рудника) и економичност (укупна експлоатација гвожђа у руднику била би ефикаснија). Штавише, детаљна анализа и проучавање руде и отпадних вода први пут ће дати укупни потенцијал овог рудника, будући да потенцијал за присуство других елемената постоји, али никада прије није искоришћен. Такође, од велике важности је детектовање ријетких земљаних елемената због свеукупне велике потребе управо за тим елементима и тренутне зависности свјетског тржишта од азијских добављача.

10.4. Угљенични наноматеријали / активни угаљ

Угљенични наноматеријали представљају „породицу” материјала заснованих на претежно sp^2 -хибридизованој хексагоналној структури. Најквалитетнији у погледу механичких особина и у погледу електропроводљивости јесте графен, који се може сматрати проширеним неограниченим полиароматичним системом гдје су слојеви наслагани један

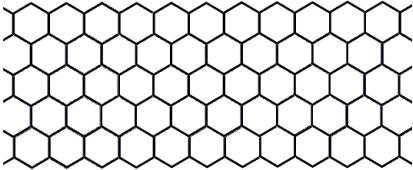
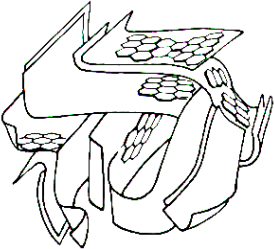
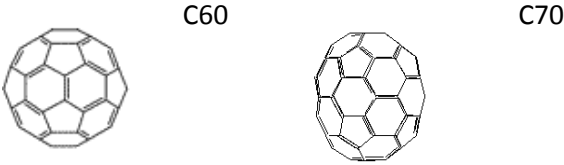
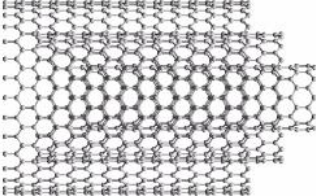
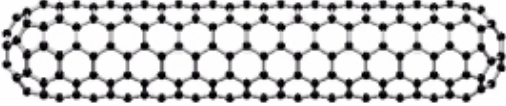
на други, али нису повезани. Његова једноставнија структура је графит код кога су слојеви нешто мањи и повезани благим Ван дер Валсовим силама, те због тога представља изванредан лубрикант и користи се у те сврхе већ деценијама (Bollmann & Spreadborough 1960; Zhang et al. 2014). Вјероватно најшире проучаван вишедимензионални ароматични угљенични материјал током 20. вијека био је нанопорозни угљеник или комерцијално називани активни угаљ. Овај важни филтер-материјал се припрема пиролизом и активацијом природних целулозних материјала и састоји се од система графичких слојева оријентисаних у наизмјеничним правцима. Због овакве структуре, може се рећи да је нанопорозни угаљ верзија полиароматичног система гдје су прстенови састављени не само у једној димензији већ и вишедимензионално. Вишедимензионални угљенични материјали, сродни структурално, а који се састоје од слојева графена, доживјели су процват открићем фулерена (1980-их) и нове породице наноугљених материјала откривених током 1990-их, што је резимирано приказом ових структура у табели 10.1.

10.4.1. Примарни ресурси за производњу активног угља

Од примарних ресурса за производњу активног угља подесни су угаљ типа лигнит и дрво. Садашње геолошке резерве угља износе око 5.647 милијарди тона, од чега је билансних 2.540 милијарди тона, и то 1.437 милијарде лигнита и 1.103 милијарде мрког угља. Неопходна су велика средства како би се потенцијалне резерве истражиле и превеле у билансне, којих је свега 45%. У вријеме припреме ове монографије, ови напори у проширењу експлоатације угља су оријентисани примарно на електроенергетски сектор. Наиме, истражена лежишта мрког угља су релативно доброг квалитета, просјечне топлотне вриједности од око 16.750 kJ/kg. Такође, лигнит је висококвалитетан, чист, топлотне вриједности у интервалу 7.500 – 12.600 kJ/kg и генерише много мање токсичних гасова у току сагоријевања, нарочито мање сумпорних, а који су иначе изражени код мрког угља. Укупне резерве лигнита у Републици Српској износе: Гацко око 404 милиона тона, а Станари око 110 милиона. Овакве резерве указују да би вјероватно било економично и не би умањивало прилив сировине термоелектранама уколико би се дио ових резерви користио за производњу активног угља. Наиме, у 2020. години потребе за активним угљем у Републици Српској су износиле око 400 тона. Увозна цијена једне тоне овог материјала износи у вријеме припреме ове монографије просјечно око 3.000 евра, што повлачи да би било значајно да се овај материјал производи у домаћој индустрији и из домаћих сировина.

Таб. 10.1. Шеме структура вишедимензионалних угљеничних наноматеријала

Tab. 10.1. Structure schemes of multidimensional carbon nanomaterials

Графен	
Нанопорозни угаљ (активни угаљ)	
Фулерени	
Вишезидне угљеничне нанотубе	
Једнозидне угљеничне нанотубе	

Употреба чистог и квалитетног дрвеног материјала за производњу активног угља је могућа, при чему се добија висококвалитетан, механички стабилан филтер материјал, вишеструко рециклабилан (Musa et al. 2019; Ratnani et al. 2019). Међутим, употреба чистог дрвеног материјала није етички оправдана, с обзиром на то да се активни угаљ високог квалитета може добијати и од

секундарних сировина. Такође, још једна етичка компонента јесте очување шума, чему би се доприносило управо употребом секундарних целулозних сировина за производњу активног угља за домаће потребе и извоз.

10.4.2. Секундарни ресурси за производњу активног угља

Развој технологија за производњу активног угља је прије свега важан за технологије пречишћавања вода, а дјелимично и ваздуха, нарочито у радним срединама. Важно је напоменути да се у земљама које су у развоју, посебно оне попут Републике Српске, које су биле погођене ратом или природним катастрофама, технологије за пречишћавање вода уводе споро. Иако се значајан ниво индустријског развоја биљежи у посљедњим годинама, нажалост, развој не прате и рјешења за пречишћавање отпадних вода. Неке фабрике, углавном у прехрамбеној и папирној индустрији у власништву страних компанија обрађују више пажње и посједују постројења за биолошки третман отпадних вода. У исто вријеме, због опсежног искоришћавања шума и бројних фабрика хране, велике количине целулозних материјала постају отпад. Више десетина хиљада тона дрвне сјечке годишње настаје у фабрикама намјештаја. Такође, кошпе трешње или шљиве свакодневно се одбацују у фабрикама које прерађују воће. Ови отпадни материјали могли би се намјенски трансформисати у нанопорозни активни угљ добро познатим техникама пиролизе и активације (Budinova et al. 2006). Целулозни материјал се процесуира загријавањем до температуре 550–800 °С или више, у инертној атмосфери без ваздуха. Међутим, у једном тренутку процеса намјенски се уводе активирајући гасови попут CO₂ или водене паре у пећ и помажу у стварању ефекта микро, мезо и нанопорозности односно до значајног повишења вриједности специфичне површине (Bansal et al. 1988). Такав нанопорозни угљ се деценијама користи за пречишћавање воде и ваздуха и пречишћавање отпадних вода тако што веома ефикасно адсорбује токсичне молекуле или јоне. Умјесто да постану отпад, на овај начин целулозни материјали се искоришћавају за производњу наноматеријала. Република Српска би могла на овај начин, самоодрживим ресурсима, да подигне ниво заштите домаћих вода, као и слива Дунава, коме наше сјеверне ријеке припадају. Ово је начин на који би се залихе отпадних целулозних материјала могле употријебити како би се заштитили водени ресурси. Нема потребе за високотехнолошким истраживањима производње активног угља од целулозних материјала. Неопходно је само мобилизовати постојеће сировине и разрадити на њима ову већ међународно познату технологију.

За почетак, важно је истаћи потенцијал Републике Српске у воћним кошпама који би се могао широко искористити у технологијама активног угља. Једна свеобухватна студија на ову тему извршена је у Швајцарској и показала да је већина природних кошпи заиста изврсна сировина у овој области (Fernandez Ibanez 2003). Ова публикација је докторска дисертација одбрањена у лабораторији коју је водио проф. Stoeckli, свјетски познати експерт за активни угљ. Приказано је како је повећаван волумен пора активних угљева различитог природног поријекла контролисањем процеза пиролизе и како су овако добијени материјали погодни као адсорбенс за уобичајене индустријске загађиваче, нарочито фенолна једињења.

Укупна површина пољопривредног земљишта у Републици Српској износи 1.008.000 ха, што покрива око 42% њене територије (Statistički Godišnjak Republike Srpske 2020). Велики удио у укупној површини чине обрадиве површине, насеља и воћњаци. Пољопривреда је увијек играла важну улогу у локалној економији, историјски пружајући запослење и за око 40% становништва. Воћњаци се простиру на око 97.000 ха. Најважније воћне културе чије кошпе би се могле користити за производњу угљеничних наноматеријала су шљива, трешња, вишња, кајсија и бресква. Количине воћа произведене у Републици Српској у 2019. години, прије пандемије вируса корона, приказане су у табели 10.2, заједно са процијењеним просјечним количинама воћних кошпи које постају отпад.

Таб. 10.2. Преглед количине кошпи као једне од сировина за производњу активног угља у Републици Српској

Tab. 10.2. Overview of the amount of baskets as one of the raw materials for the production of activated carbon in the Republic of Srpska

Култура	Производња/годишње	Маса кошпе (%)	Количина кошпи (t)
Шљива	102265	3.3	3374.+++74
Трешња	9093	18.8	1709.48
Вишња	3680	5.11	188.05
Кајсија	1012	4.9	49.58
Бресква	9251	27.8	2571.77

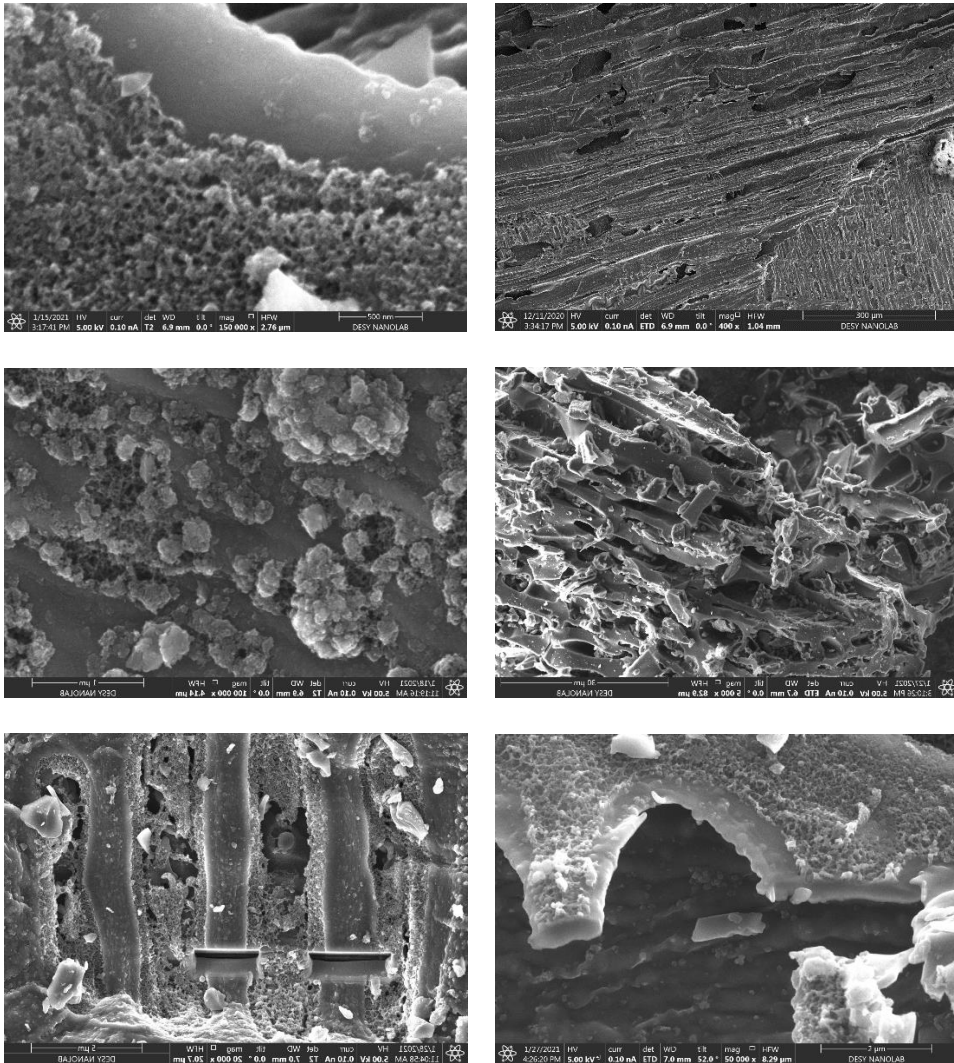
Као што је већ наведено у уводу, постоји још један истакнуто важан потенцијални сировински материјал за производњу нанопорозног угља у Републици Српској. Наиме, један од најважнијих извора целулозе је и шумска биомаса (огрев и дрвни остаци), као и ситни отпад из дрвно-прерађивачке индустрије. Шуме су овдје један од основних природних ресурса и Република Српска спада у умјерено богате земље са становишта покривености шумом и

разноликости у односу на укупну површину земље. Површина Републике Српске износи 2.505.300 ха, од чега је више од 50% покривено шумом. То је упоредиво са шест држава чланица ЕУ које у посљедњој деценији имају више од половине свог копна под шумом: Финска, 77%, Шведска 76%, Словенија 63%, Летонија 56%, Шпанија 55% и Естонија 54%. Најмањи удио шума забиљежен је на Малти (мање од 0,5%), Холандији 11%, Ирске и Великој Британији (по 12%) и Данској 14% (Allen & Urhausen 2011). Годишња производња дрвних остатака у цијелој Босни и Херцеговини од шумских остатака и дрвног отпада од пилана, процјењује се на 1,28 милиона м³ према подацима UNDP-а (UNDP 2011). Иако дуже времена није урађена овако детаљна студија, ипак, ови подаци су одличан показатељ, с обзиром на то да су ове количине већ у 2011. години биле импресивне (Таб. 10.3). Данас је, међутим, вјероватно вишеструко више ових количина и било би значајно обновити процјену на основу нових података из бројних индустријских субјеката који се баве дрветом а велики број њих отворен је у периоду 2011–2021, нарочито кроз инвестиције и сарадњу са Италијом.

Таб. 10.3. Годишње количине дрвних остатака, процјена из (UNDP 2011)
Tab. 10.3. Annual quantities of wood residues, estimated from (UNDP 2011)

Дрвни отпад	Количина (t)
Шумски отпад	498.395
Пиљевина у пиланама	Пиљевина: 428.527 Сјечка: 357.702
УКУПНО	1.284.624

Производња дрвног отпада код пилане је велика због мале ефикасности процеса обраде у пиланама. Процјењује се да крајњи производ пилане (дрвне грађе) представља 40–45% од трупца (добро управљани погон у Европи има ефикасност и до 50%). Међутим, хиљаде тона произведене пиљевине и дрвне сјечке представљају значајну прилику за производњу наноматеријала. Биомаса је важна као један од кључних ресурса за осигурање стабилног снабдијевања и одрживе енергије у контексту све веће зависности Европе од фосилних горива (Gvero et al. 2013; Luque & Balu 2014; Rentizelas et al. 2014). Међутим, може се јасно видјети како се у свим тим ресурсима налазе значајни потенцијали када се анализирају цијене активног угља и пелета за потребе гријања за које се та маса тренутно највише користи (UNDP 2011). Такође квалитет домаће дрвне сјечке је несумњив. У току је пројекат финансиран од стране компаније „Дестилација” Теслић и Министарства за научнотехнолошки развој, високо образовање и информационо друштво Републике Српске (фонд „Синергија”).



Сл. 10.7. Високорезолуциона скенинг електрон микроскопија са приказима нанопорозности структуре дрвеног угља компаније „Дестилација” на нивоу развоја технологије у 2021. години, необјављивани материјал (податке обезбиједио Desy институт из Хамбурга кроз NFFA Horizon2020 пројекат, апликација за мјерења број 919)

Fig. 10.7. High-resolution scanning electron microscopy showing the nanoporosity of the „Destilacija” company charcoal structure at the level of technology development in 2021, unpublished material (data provided by the Hamburg Desy Institute through the NFFA Horizon2020 project, measurement application number 919)

Наиме, тренутни процес производње дрвеног угља и сирћетне киселине у овој компанији представља технологију која је само један корак од производње нанопорозног активног угља. Прелиминарни, необјављени подаци о квалитету угља који се добија у овом процесу приказани су на слици 10.7. Недавно је извршена и детаљна студија примјене микронизованог дрвеног угља као адитива за мирнодопске експлозиве који би се користили у сврхе нискоградње и рударства. Добијени су обећавајући резултати који само микронизацијом овог материјала који се већ производи у Републици Српској могу водити према вишеструко вреднијем производу.

Цијене пелета за гријање износе 280 \$/t, док тржишна цијена угљених наноматеријала врхунског квалитета може досегнути 1.200 \$/kg, што јасно показује профитабилност ове друге класе производа. Прво улагање у опрему за покретање производње угљеничних наноматеријала у малој творници могло би коштати око 125.000 \$. Наноматеријали умјереног квалитета коштају око 3 \$/kg. Мала фабрика има капацитет за производњу око 1,5 т наноматеријала дневно. Дакле, чак и уз производњу наноматеријала умјереног квалитета, улагање у опрему би се вратило доста брзо. Оно што је најважније, након потпуне хармонизације домаће легислативе са оном из Европске уније, бројне фабрике ће имати повећану потребу за активним угљеним материјалима. Они се користе у филтрацији ваздуха, нарочито индустрије, у којима се користи много растварача и боја, као што су обућарска и индустрија намјештаја, а које су широко распрострањене у Републици Српској. Уз бројне друге примјене нанопорозног угљена, као што је пречишћавање воде, а такође и пречишћавање вина, сирћета и сличних производа, те домаћа индустрија која се у великој мјери ослања на прераду хране, постоји тржиште за ову врсту наноматеријала, који се тренутно искључиво увози. Такође, употреба активног угља је веома важна за побољшање квалитета воде у малим руралним водоводима, те у центрима за дијализу бубрежних болесника гдје вода за процес дијализе мора бити непријекорно чиста и без присуства икаквих јона и молекула, нарочито не токсичних (Bolasco 2020; Mineshima et al. 2018).

10.5. Закључак

Република Српска, као и већина земаља свијета, историјски је базирала свој развој на природним ресурсима, нарочито рудним и шумским. Како би развој земље био интензивираан, у будућности ће бити значајно што више се оријентисати према извозу готових, финалних производа и постизати вишу вриједност на међународном тржишту. Ово поглавље се осврнуло на неке од

најважнијих минералних ресурса Републике Српске попут жељеза, боксита и цинка, као и на опште податке о шумским богатствима. Преглед је дат у сврху скретања пажње на развој индустрије наноматеријала, нове класе мултифункционалних материјала који су у центру пажње науке и индустрије посљедњих неколико деценија. Разлика је очигледна јер тржишна вриједност једног килограма квалитетних наночестица жељезног оксида или цинковог оксида може превазићи и цијену тоне одговарајуће руде. Међутим, осим самог потенцијала за производњу наноматеријала из концентрата руда, веома важан потенцијал посједују и јаловишта, акумулациона језера која садрже отпадне муљеве из процеса прераде руде често богате сасвим неочекиваним јонима метала од оних који су примарно дефинисали саму руду. Према најновијим истраживањима, у самој Републици Српској али и у другим земљама које посједују ове ресурсе, јаловишта могу представљати лако доступне сировине за нанотехнологије, чија је велика предност у томе што не захтијевају много енергије за прераду. Наиме, ископавања која су енергетски најзахтјевнија су већ завршена а сами материјали су у виду муљева који се састоје од веома финих микро или ултрамикрочестица.

Осим секундарних сировина из рударства, важан и готово непресушан извор сировина за нанотехнологије у Републици Српској могу бити и отпадни целулозни материјали. Са овим материјалима био би затворен потпун круг управо према захтјевима савремене циркуларне економије. Наиме, отпадни целулозни материјали из шумарства, прераде дрвета и пољопривреде су основна сировина за производњу активног угља, филтер материјала неопходног за технологије пречишћавања воде и ваздуха у радној средини, а такође и различите методе дораде производа у прехранбеној индустрији. Коришћењем сопствених ресурса у овој области, а уједно користећи и осавремене капацитете хемијске индустрије за суву дестилацију дрвета коју већ посједује, Република Српска би могла постати самоодржива у овој области, а уједно развити и палету сопствених активних угљева које би могла понудити земљама у региону а могуће и шире. За развој нанотехнологија, било на бази примарних било секундарних сировина, потенцијал је несумњиво ту, те је важно у скоријој будућности радити на окупљању кадровског потенцијала који може подржати истраживања и развој ових производа, прије свега кадрова који су образовање у овој области стекли у водећим свјетским лабораторијама из области нанотехнологија.

Литература

- Allen T, Urhausen J (2011) Forests cover around 40% of the EU27 land area. Eurostat 2
- Atlagić SG, Biessikirski A, Kuterasiński Ł, Dworzak M, Twardosz M, Sorogas N, Arvanitidis J (2020) On the investigation of microstructured charcoal as an ANFO blasting enhancer. *Energies* 13(18):4681
- Babuk V, Dolotkazin I, Gamsov A, Glebov A, DeLuca LT, Galfetti L (2009) Nanoaluminum as a solid propellant fuel. *Journal of Propulsion and Power* 25(2):482–489
- Bansal RC, Donnet JB, Stoeckli F (1988) Active carbon. M. Dekker, New York, USA.
- Bernhardt D, Reilly I (2020) Mineral commodity summaries 2020. US Geological Survey
- Betancur JD, Restrepo J, Palacio CA, Morales AL, Mazo-Zuluaga J, Fernández JJ, Pérez O, Valderruten JF, Bohórquez A (2003) Thermally driven and ball-milled hematite to magnetite transformation. *Hyperfine Interactions* 148(1):163–175
- Biessikirski A, Gotovac-Atlagić S, Pytlik M, Kuterasiński Ł, Dworzak M, Twardosz M, ... & Napruszewska BD (2021) The Influence of Microstructured Charcoal Additive on ANFO's Properties. *Energies* 14(14):4354
- Bodea MA, Sbarcea G, Naik GV, Boltasseva A, Klar TA, Pedarnig JD (2013) Negative permittivity of ZnO thin films prepared from aluminum and gallium doped ceramics via pulsed-laser deposition. *Applied Physics A* 110(4):929–934
- Bolasco P (2020) The production of on-line dialysis water for extracorporeal dialysis: Proposals for an increased safety upgrade: a viewpoint. *Journal of Nephrology* 33(3):405–415
- Bollmann W, Spreadborough J (1960) Action of Graphite as a Lubricant. *Nature* 186(4718):29–30
- Budinova T, Ekinci E, Yardim F, Grimm A, Björnbom E, Minkova V, Goranova M (2006) Characterization and application of activated carbon produced by H₃PO₄ and water vapor activation. *Fuel Processing Technology* 87(10):899–905
- Carpenter AW, de Lannoy CF, Wiesner MR (2015) Cellulose Nanomaterials in Water Treatment Technologies. *Environmental Science & Technology* 49(9):5277–5287
- Cena LG, Keane MJ, Chisholm WP, Stone S, Harper M, Chen BT (2014) A novel method for assessing respiratory deposition of welding fume nanoparticles. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 11(12):771–780
- Cho K, Wang XU, Nie S, Shin DM (2008) Therapeutic nanoparticles for drug delivery in cancer. *Clinical Cancer Research* 14(5):1310–1316
- De Jong WH, Borm PJ (2008) Drug delivery and nanoparticles: Applications and hazards. *International Journal of Nanomedicine* 3(2):133–149

- Directive 28/2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. (2009). The European Parliament and the council of the European Union
- Drexler KE (2004) Nanotechnology: From Feynman to Funding. *Bulletin of Science, Technology & Society* 24(1): 21–27
- Edraki M, Baumgartl T, Manlapig E, Bradshaw D, Franks DM, Moran CJ (2014) Designing mine tailings for better environmental, social and economic outcomes: A review of alternative approaches. *Journal of Cleaner Production* 84:411–420
- Elzoghby AO, Samy WM, Elgindy NA (2012) Albumin-based nanoparticles as potential controlled release drug delivery systems. *Journal of Controlled Release* 157(2):168–182
- Faraday M (1857) X The Bakerian Lecture.—Experimental relations of gold (and other metals) to light. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 147:145–181
- Feldmann M (2013) From the ruble zone to the euro zone: The political economy of Estonian macroeconomic policy. *Post-Soviet Affairs* 29(4):354–370
- Fernandez E, Gotovac S, Hugi-Cleary D, López-Ramón V, Stoeckli F (2003) Phenol adsorption from dilute aqueous solutions by carbons. *Chimia International Journal for Chemistry* 57(10):616–618
- Fernandez Ibanez E (2003) Etude de la carbonisation et de l'activation de précurseurs végétaux durs et mous [PhD Thesis]. Université de Neuchâtel.
- Feynman RP (2003) There's Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics. *Handbook of Nanoscience, Engineering and Technology* p 9
- Global Nanomaterials Market Size Report, 2020-2027 (2020) Grand View Research. Доступно на: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/nanotechnology-and-nanomaterials-market>, Приступљено:23.4.2021
- Gotovac Atlagić S, Pavlić V (2018) Ever-Expanding Application Potentials for Iron-Based Nanomaterials: Catalyses and Biomedicine. In *Commercialization of Nanotechnologies—A Case Study Approach* Springer pp 299–315
- Gotovac Atlagić S, Malina J, Mionić Ebersold M (2014) From mud to bud-recovering Bosnian forgotten iron. *Proceedings from the 8th European Waste Water Management Conference and Exhibition, Aqua Enviro, Manchester* pp 7–8
- Gotovac Atlagić S, Smiljanić D, Hajdarević I, Babajić E (2020) Metal mining tailings as an emerging secondary material for nanotechnology applications. *ECOpole Conference: Ecological chemistry and engineering society, Krakow, Poland*.
- Gotovac Atlagić S, Stević D, Čađo M, Hattori Y, Sagisaka K, Kukobat R, Kaneko K (2015) Hybrid Nanometallic/Carbon Materials Prepared with Metal Ions Recovered from Mining Waste Water

- Gotovac Atlagić S, Tankosić L, Pržulj S, Mirošljević D (2020) Recent Patents in Reuse of Metal Mining Tailings and Emerging Potential in Nanotechnology Applications. *Recent Patents on Nanotechnology*.
- Greco VV, Constantinescu S, Greco MN, Olar R, Badea M, Turcu R (2008) Magnetic characterization of some nanometric iron oxides. In *ICAME 2007* Springer. pp 377–386
- Gross d.o.o. (2013, May 30). *Istorija*. Доступно на <http://www.gross-doo.com/istorija/>, Приступљено: 12.07.2022
- Gvero P, Petrovic S, Papuga S, Kotur M (2013) Biomass as potential sustainable development driver—case of Bosnia and Herzegovina. In *Biomass Now—Sustainable Growth and Use*. IntechOpen.
- Haley B, Frenkel E (2008) Nanoparticles for drug delivery in cancer treatment. *Urologic Oncology: Seminars and Original Investigations*, 26(1):57–64
- He C, Wu S, Zhao N, Shi C, Liu E, Li J (2013) Carbon-encapsulated Fe₃O₄ nanoparticles as a high-rate lithium ion battery anode material. *ACS Nano*, 7(5):4459–4469
- Helja K (1974) Razvoj industrije u Bosni i Hercegovini do Drugog svjetskog rata. *Acta Historicoeconomica Iugoslaviae*, 1 p 33
- Heskel DL (1983) A Model for the Adoption of Metallurgy in the Ancient Middle East. *Current Anthropology* 24(3):362–366
- Hochella MF, Mogk DW, Ranville J, Allen IC, Luther GW, Marr LC, McGrail BP, Murayama M, Qafoku NP, Rosso KM, Sahai N, Schroeder PA, Vikesland P, Westerhoff P, Yang Y (2019) Natural, incidental, and engineered nanomaterials and their impacts on the Earth system. *Science*, 363:(6434)
- Horvath H (2009) Gustav Mie and the scattering and absorption of light by particles: Historic developments and basics. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 110(11):787–799
- Irache JM, Merodio M, Arnedo A, Camapanero MA, Mirshahi M, Espuelas S (2005) Albumin nanoparticles for the intravitreal delivery of anticytomegaloviral drugs. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 5(3):293–305
- ISO/AWI 80004-1 (n.d.) International Organization for Standardization. Доступно на: <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/07/95/79525.html>, Приступљено: 12.07.2022
- ISO/TC 229 Nanotechnologies, TC (Ed.) (2015) ISO/TS 80004-1:2015. International Organization for Standardization. Доступно на: <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/06/80/68058.html>, Приступљено:12.07.2022
- Jeevanandam J, Barhoum A, Chan YS, Dufresne A, Danquah MK (2018) Review on nanoparticles and nanostructured materials: History, sources, toxicity and regulations. *Beilstein Journal of Nanotechnology* 9(1):1050–1074 Доступно на: <https://doi.org/10.3762/bjnano.9.98>, Приступљено: 21.05.2021

- Kim YH, Carraway ER (2000) Dechlorination of pentachlorophenol by zero valent iron and modified zero valent irons. *Environmental Science & Technology* 34(10):2014–2017
- Laar M (2008) Leading a Successful Transition: The Estonian Miracle. *European View* 7(1):67–74
- Lessard J, de Bakker J, McHugh L (2014) Development of ore sorting and its impact on mineral processing economics. *Minerals Engineering*, 65:88–97
- Lessard J, Sweetser W, Bartram K, Figueroa J, McHugh L (2016) Bridging the gap: Understanding the economic impact of ore sorting on a mineral processing circuit. *Minerals Engineering* 91:92–99 Доступно на: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2015.08.019> Приступљено:13.06.2022
- Li Y, Liu J, Wang Y, Wang ZL (2001) Preparation of monodispersed Fe- Mo nanoparticles as the catalyst for CVD synthesis of carbon nanotubes. *Chemistry of Materials* 13(3):1008–1014
- Lien HL, Zhang W (2001) Nanoscale iron particles for complete reduction of chlorinated ethenes. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 191(1–2):97–105
- Luque BR, Balu AM (2014) Producing fuels and fine chemicals from biomass using nanomaterials. *American Society of Mechanical Engineers Digital Collection*.
- Magnetation (2021) Magnetation. Доступно на: <https://magnetation.com/> Приступљено:23.06.2022
- McCarrick S, Wei Z, Moelijker N, Derr R, Persson KA, Hendriks G, Odnevall Wallinder I, Hedberg Y, Karlsson HL (2019) High variability in toxicity of welding fume nanoparticles from stainless steel in lung cells and reporter cell lines: The role of particle reactivity and solubility. *Nanotoxicology*, 13(10):1293–1309
- Mie G (1908) Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen. *Annalen der Physik* 330(3):377–445
- Mikhaylova M, Kim DK, Bobrysheva N, Osmolowsky M, Semenov V, Tsakalagos T, Muhammed M (2004). Superparamagnetism of magnetite nanoparticles: Dependence on surface modification. *Langmuir* 20(6):2472–2477
- Mineshima M, Kawanishi H, Ase T, Kawasaki T, Tomo T, Nakamoto H, on behalf of the Subcommittee on the Function and Efficacy of Blood Purification Therapy, the SAC of the JS for DT (2018) 2016 update Japanese Society for Dialysis Therapy Standard of fluids for hemodialysis and related therapies. *Renal Replacement Therapy* 4(1):15
- Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine (2019) Analiza vanjskotrgovinske razmjene Bosne i Hercegovine. *Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine*.
- Musa KM, Rushdi SA, Hameed K (2019) Synthesis of Activated Carbon of Lote Wood and Study its Physical Properties. *Journal of Physics: Conference Series* 1362:012117.
- Nanomaterials (2021) Sigma Aldrich. Доступно на: <https://www.sigmaaldrich.com/materials-science/nanomaterials.html>, Приступљено: 26.04.2021

- Nemati Giv A, Ayatollahi M R, Ghaffari SH, da Silva LFM (2018) Effect of reinforcements at different scales on mechanical properties of epoxy adhesives and adhesive joints: A review. *The Journal of Adhesion*, 94(13):1082–1121
- O'Regan B, Moles R (2006) Using system dynamics to model the interaction between environmental and economic factors in the mining industry. *Journal of Cleaner Production* 14(8):689–707
- Palinkaš L, Borojević Šoštarić S, Strmić Palinkaš S, Prochaska W, Pécskay Z, Neubauer F, E Spangenberg J (2016) The Ljubija geothermal field: A herald of the Pangea break-up (NW Bosnia and Herzegovina). *Geologia Croatica* 69(1):3–30
- Pigott VC (1999) *The Archaeometallurgy of the Asian Old World*. UPenn Museum of Archaeology
- Ponder SM, Darab JG, Mallouk TE (2000) Remediation of Cr (VI) and Pb (II) aqueous solutions using supported, nanoscale zero-valent iron. *Environmental Science & Technology* 34(12):2564–2569
- Ponomar VP, Brik OB, Cherevko YI, Ovsienko, VV (2019) Kinetics of hematite to magnetite transformation by gaseous reduction at low concentration of carbon monoxide. *Chemical Engineering Research and Design* 148:393–402
- Ratnani RD, Purbacaraka FH, Hartati I, Syafaat I (2019) Activated carbon from teak wood, jackfruit wood, and mango wood pyrolysis process. *Journal of Physics: Conference Series*, 1217:012055
- Ratso MS (2005) *Miracle of Estonia: Entrepreneurship and Competitiveness policy in Estonia*, p 15
- Rentizelas AA, Tolis AI, Tatsiopoulou IP (2014) Optimisation and investment analysis of two biomass-to-heat supply chain structures. *Biosystems Engineering* 120:81–91
- Rogers MA (2016) Naturally occurring nanoparticles in food. *Current Opinion in Food Science* 7:14–19 Доступно на:<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.005> Приступљено:06.12.2021
- Roy GM (1994) *Activated carbon applications in the food and pharmaceutical industries*. CRC press.
- Saleh TA (2020) Nanomaterials: Classification, properties, and environmental toxicities. *Environmental Technology & Innovation*, 20:101067 Доступно на: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101067>, Приступљено: 26.06.2022
- Schladt TD, Graf T, Tremel W (2009) Synthesis and characterization of monodisperse manganese oxide nanoparticles- evaluation of the nucleation and growth mechanism. *Chemistry of Materials* 21(14):3183–3190
- Schumacher F (1954) The ore deposits of Jugoslavia and the development of its mining industry. *Economic Geology* 49(5):451–492
- Seifi H, Gholami T, Seifi S, Ghoreishi SM, Salavati-Niasari M (2020) A review on current trends in thermal analysis and hyphenated techniques in the

- investigation of physical, mechanical and chemical properties of nanomaterials. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* p 104840
- Singh Sahu Y (2016) Nano Zinc Oxide Market Analysis | Global Industry Report 2022 p 99 [Market research]. Доступно на: <https://www.alliedmarketresearch.com/nano-zinc-oxide-market>, Приступљено:14.03.2022
- Slatinšek G, Čubro A, Halilović-Hasić A (2019) Robna razmjena BiH sa inostranstvom 2018. Agencija za statistiku Bosne i Hercegovine.
- Smiljanić D (2020) Questionnaire for the Framework for a Roadmap of a regional innovation scheme in the zero waste AI-value chain-SWOT analyses [Personal communication].
- Smiljanić S, Ostojić G, Došić A (2018) Examination of the influence of treatments and mineral composition on the point of zero charge of red mud. *Zaštita Materijala*, 59(1):7–20
- Statistički godišnjak Republike Srpske (2020) Zavod za statistiku Republike Srpske. Доступно на: https://www.rzs.rs.ba/static/uploads/bilteni/godisnjak/2020/StatistickiGodisnjak_2020_WEB_II.pdf, Приступљено: 12.07.2022
- Stević D (2014) Precipitation of the Crystalline Nanoparticles from the Iron Mine Waste Sludge by Microemulsion Method Using Cationic Surfactants [Graduation thesis]. University of Banja Luka, Faculty of Technology.
- Stević D, Kaneko K, Hattori Y, Sagisaka K, Kukobat R, Šurlan I, Atlagić SG (2014) Precipitation of the highly crystalline iron nanoparticles from the iron mine waste water. *Proceedings from the International Student Conference of Environmental Protection and Related Sciences Applicable Environmental Protection*, University of Novi Sad, Novi Sad, pp 14–16
- Stević D, Mihajlović D, Kukobat R, Hattori Y, Sagisaka K, Kaneko K, Atlagić SG (2016) Hematite Core Nanoparticles with Carbon Shell: Potential for Environmentally Friendly Production from Iron Mining Sludge. *Journal of Materials Engineering and Performance* 25(8):3121–3127
- Sukur S, Gotovac Atlagić S, Smiljanić D, Oljača Đ, Petrićević S, Angelopoulos P (2021) Study of transformative potential of hematite ultramicro particles as a dominant phase in red mud. VII International Congress „Engineering, Environment and Materials in process industry,” Jahorina.
- Tomašević D, Došić A, Kerkez D, Slijepčević N, Dalmacija B, Gligorić M, Bečelić-Tomin M (2018) Characterization of sludge from the tailings with fly ash and red mud after the process of solidification/stabilization. *Zaštita Materijala*, 59:82–91
- Toumey CP (2008) Reading Feynman Into Nanotechnology: A Text for a New Science. *Techné: Research in Philosophy and Technology* 12(3):133–168. Доступно на: <https://doi.org/10.5840/techne20081231>, Приступљено:20.12.2021
- Tweney RD (2006) Discovering discovery: How Faraday found the first metallic colloid. *Perspectives on Science*, 14(1):97–121

- UNDP (2011) Analiza potencijala drvnih ostataka u BiH, sa posebnim fokusom na opštine Srebrenica, Bratunac i Milići. UNDP Bosnia and Herzegovina, Global Environmental Facility
- Zahn M (2001) Magnetic fluid and nanoparticle applications to nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 3(1):73–78 Доступно на: <https://doi.org/10.1023/A:1011497813424>, Приступљено:26.06.2022
- Zhang Z, He X, Wang X, Rodrigues AM, Zhang R (2018) Reinforcement of the mechanical properties in nitrile rubber by adding graphene oxide/silicon dioxide hybrid nanoparticles. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(14):46091. Доступно на: <https://doi.org/10.1002/app.46091>, Приступљено: 12.07.2022
- Zhang ZJ, Simionesie D, Schaschke C (2014) Graphite and Hybrid Nanomaterials as Lubricant Additives. *Lubricants* 2(2):44–65
- Zhao S, Xie S, Liu X, Shao X, Zhao Z, Xin Z, Li L (2018) Covalent hybrid of graphene and silicon dioxide and reinforcing effect in rubber composites. *Journal of Polymer Research* 25(10):225
- Zhu X, Zhu Y, Murali S, Stoller MD, Ruoff R S (2011) Nanostructured reduced graphene oxide/Fe₂O₃ composite as a high-performance anode material for lithium ion batteries. *ACS Nano* 5(4):3333–3338

Possibilities for the nanotechnology sector development on the bases of primary and secondary resources in the Republic of Srpska

Sunčica Sukur, Suzana Gotovac Atlagić

Summary

Republic of Srpska has significant unexploited sources of raw materials for the production of already widely known applicable nanomaterials, however, this potential has yet to be recognized. The potential of exploitation of several such raw materials is analyzed, as well as their availability in the field. The greatest potential lies in the mining industry waste and waste containing cellulose (sawdust, wood waste, fruit baskets, corn waste, etc.). Metal mines, both active and abandoned, are characterized by large amounts of accumulated sludge from which it is possible to extract metal ions. Later, these extracted ions can be used to produce metal nanoparticles that could have many applications. Utilizing standard processes, it is possible to produce activated nanoporous carbon from cellulose waste, known mostly as a material for filtration of contaminated water and air. From the available data on these resources, published by national and international organizations, this chapter strongly suggests that significant potential for industrial development in Republic of Srpska lies in the production of high-quality nanomaterials from waste materials. In addition to solving a number of environmental problems by reducing waste, the production of nanomaterials from domestic raw materials such as mining waste and cellulose waste materials, which are mostly discussed here, provides opportunities to stimulate local economic development. These industries could lead to the creation of new jobs, increase the efficiency in the use of raw materials by expanding the number of final products that could be produced in the Republic of Srpska with added value, much higher than the raw materials themselves.

Key words: raw materials, nanomaterials, nanotechnologies, mining, tailings, cellulose waste, waste management, circular economy