



# **SELECTED ASPECTS OF DIGITAL SOCIETY DEVELOPMENT**

Edited by Tetyana Nestorenko  
and Aleksander Ostenda

Series of monographs  
Faculty of Architecture,  
Civil Engineering and Applied Arts  
University of Technology, Katowice  
Monograph 45

**Publishing House of University of Technology, Katowice, 2021**

### **Editorial board :**

Marek Dziuk – University of Technology, Katowice

Paweł Mikos – University of Technology, Katowice

Tetyana Nestorenko – Professor WST, PhD, Berdyansk State Pedagogical University (Ukraine)

Aleksander Ostenda – Professor WST, PhD, University of Technology, Katowice

Iryna Ostopolets – PhD, Associate Professor, Donbas State Pedagogical University (Ukraine)

Magdalena Wierzbik-Strońska – University of Technology, Katowice

### **Reviewers :**

Nadiya Dubrovina – PhD, CSc, School of Economics and Management  
in Public Administration in Bratislava (Slovakia)

Sławomir Śliwa – PhD, the Academy of Management and Administration in Opole

Series of monographs Faculty of Architecture, Civil Engineering and  
Applied Arts, University of Technology, Katowice

Monograph · 45

The authors bear full responsible for the text, data, quotations and illustrations

Copyright by University of Technology, Katowice, 2021

**ISBN 978 – 83 – 960717 – 1 – 2**

### **Editorial compilation**

Publishing House of University of Technology, Katowice

43 Rolna str. 43 40-555 Katowice, Poland

tel. 32 202 50 34, fax: 32 252 28 75

## 2.8. NANOTECHNOLOGIES AS A COMPONENT OF EDUCATIONAL PROGRAMS FOR TRAINING SPECIALISTS IN THE FIELD OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

### 2.8. НАНОТЕХНОЛОГІЇ ЯК СКЛАДОВА ОСВІТНІХ ПРОГРАМ З ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ГАЛУЗІ НАУКИ ТА ТЕХНІКИ

Сьогодні нанонаука і нанотехнології відзначаються стрімким зростанням, їх досягнення призводять до прориву в енергетиці, медицині, фармації, біотехнології, екології та інших галузях. Характерною рисою перелічених галузей є їх міждисциплінарність, оскільки з метою вивчення та використання явищ у наномасштабі задіюється ряд таких традиційних предметів як хімія, фізика, біологія, фармакологія. Справді, одні й ті ж принципи і явища застосовуються на нанорівні в усіх дисциплінах, що призводить до підвищення злагодженості освітнього та технологічного середовища. Поступово світ усвідомлює, що нанотехнології стають важливою його частиною. Дійсно, нанорозмірним матеріалам можуть бути притаманні абсолютно інші властивості, ніж аналогам більшого чи меншого розміру, що відкриває вражаючі перспективи їх застосування<sup>301, 302, 303</sup>.

Одними з перших лідерів в області нанотехнологій були Сполучені Штати Америки, які ініціювали розвиток нанотехнологій в аспекті реалізації національної політики<sup>304, 305</sup>. Вони і зараз тримають передові позиції з точки зору інновацій, однак і такі країни як Англія, Німеччина, Корея, Японія та Китай також достатньо швидко просуваються вперед, вкладаючи значні кошти в дослідження за означеним прогресивним напрямком.

Європейський Союз зробив нанотехнології головним науковим пріоритетом, про що свідчать такі дослідницькі ініціативи як проєкт Graphene Flagship з бюджетом у 1 млрд Євро, метою якого було вирішення наукових й технологічних викликів епохи шляхом координації зусиль у галузі досліджень та розробок, що пов'язані з використанням унікальних можливостей графену. Не можна не відзначити швидке зростання нанотехнологій і в Азії, їх глобальну конкурентоспроможність. Примітно, що спостерігається збільшення кількості міжнародних колаборацій між дослідницькими групами, що взагалі є індикатором зростаючої в усьому світі уваги до передових досліджень та інновацій в області нанонауки і нанотехнологій. Отже, на даний час ми бачимо значну чисельність дочірніх компаній, заснованих на нанотехнологіях<sup>306</sup>.

Іншою визначальною рисою нанонаукових вивчень є скорочення часового проміжку між самим відкриттям і його застосуванням. Дійсно, в нанонауці та нанотехнологіях відмінність між даними двома складовими у порівнянні з іншими галузями більш штучна. Мікробіом, штучний інтелект, квантові точки, тканинна й регенеративна медицина та інші фундаментальні відкриття – лише деякі серед «успіхів» в галузі «нано», але вони володіють таким потужним потенціалом, що спроможні зробити наше життя більш ефективним та продуктивним. Нанорозмірна наука та інженерія надають «ключі» до розуміння і контролю матерії на фундаментальному рівні атомних і молекулярних структур, які є основою всіх живих систем і створених людиною продуктів. Ключовою метою нанотехнологій є прогрес в молекулярній медицині, доставка ліків, діагностика та лікування захворювань, розширення меж нанобіотехнологій<sup>307</sup>.

<sup>301</sup> Alvarez M. M. (2017): Emerging Trends in Micro- and Nanoscale Technologies in Medicine: From Basic Discoveries to Translation, p. 5196.

<sup>302</sup> Chang T. M. S. (2019): Artificial cell evolves into nanomedicine, biotherapeutics, blood substitutes, drug delivery, enzyme/gene therapy, cancer therapy, cell/stem cell therapy, nanoparticles, liposomes, bioencapsulation, replicating synthetic cells, cell encapsulation/scaffold, biosorbent/immunosorbent haemoperfusion/plasmapheresis, regenerative medicine, encapsulated microbe, nanobiotechnology, nanotechnology, p. 998.

<sup>303</sup> Pelaz B. (2017): Diverse Applications of Nanomedicine, p. 2359.

<sup>304</sup> Khademhosseini A. (2019): Nanoscience and Nanotechnology at UCLA, p. 6127.

<sup>305</sup> Weiss P. S. (2021): How Do We Assess the Impact of Nanoscience and Nanotechnology?, p. 1.

<sup>306</sup> Blick R. H. (2019): Nanoscience and Nanotechnology at the Centennial of Universität Hamburg, p. 2.

<sup>307</sup> Warren Chan C. W. (2018): The 15th Anniversary of the U.S. National Nanotechnology Initiative, p. 10567.

Наука і технології в наномасштабі – важлива галузь сучасного життя, що може займати гідне місце у якості складової частини ряду освітніх програм. Сьогодні за кордоном представлені міждисциплінарні дидактичні пропозиції щодо включення нанонауки і нанотехнологій в поточні навчальні програми з розглядом розробки технологій нанопрепаратів, висвітлення досліджень фізико-хімічних властивостей ліків, їх фармакологічної дії. Стосовно мікробіома – це можливість досліджувати невідомі світи взаємодіючих видів рослин, тварин, землі, океану, атмосфери і людства, так як саме життя пов'язане з цими взаємодіями<sup>308</sup>.

Зараз в галузі освіти цілком виправданим є висвітлення інформації стосовно розробки нових ліків, стандартів лікування, зосередження уваги на перевагах і ризиках, пов'язаних з нанотехнологіями, а також розгляд соціальних та етичних питань. У ряді країн (Канада, Бразилія, Китай, США) для студентів, аспірантів, здобувачів пропонуються різні моделі теоретичного курсу, які знайомлять слухачів з основними поняттями нанотехнологій, характеристиками наноматеріалів, методами отримання нанопродуктів. Це формує чітке уявлення про нанонауку і нанотехнології, ознайомлює з основними аспектами наноматеріалів, їх фізико-хімічними властивостями і, у підсумку, спрямовує на можливе вирішення деяких екологічних проблем. Життя безпосередньо диктує попит на освіту в мульти- і міждисциплінарній галузі нанотехнологій, що є логічним наслідком і рушійною силою суспільства, тому й існує необхідність комплексного навчання фахівців для запобігання дефіциту знань.

Доцільним стає введення курсу нанобіотехнологій для слухачів інженерно-промислових спеціальностей. Вважається, що нанотехнологія і нанобіотехнологія повинні бути визначені в конкретному блоці в рамках навчальної програми, як це прийнято в ряді закордонних університетів (наприклад, в університеті у Флориді, на хімічному факультеті). В галузі макронанотехнологій це два нових інструменти, що призначені для підтримки та підвищення рівня знань фахівців інженерних спеціальностей в галузі біотехнологій і створення штучних клітин та кровозамінників. Дані курси розвивають критичне мислення та інтегровані навички навчання, одночасно знайомлять слухачів з технологічними, хімічними, біологічними, фармакологічними принципами, що лежать у підґрунті нанотехнологій<sup>309, 310</sup>. Яскравим прикладом останнього може бути створення, розуміння і пояснення мРНК вакцин від COVID-19. Використання нових технологій для створення вакцини проти SARS-CoV-2 засноване на задіянні клітинного механізму, що реалізує центральну догму молекулярної біології – передачу генетичної інформації. У той час як загальна система для цього процесу включає нові ідеї, що виходять за рамки молекулярної основи генетики, важливі компоненти системи все ж таки підпорядковуються правилу реалізації біологічної інформації. У зв'язку з тим, що важливість розробки та досліджень нановакцин для громадського здоров'я стає все більш очевидною, є потреба в приділенні викладанню та вивченню нанонауки, що виходить за рамки традиційного навчання, більшої уваги<sup>311</sup>.

Останнім часом спостерігається попит відомих компаній на співробітників, які здатні працювати в різних напрямках як універсали, що є наслідком як сучасного технологічного прогресу, так і результатом зникнення чи послаблення розмежувань між класичними дисциплінами. Вищезазначене вказує на «золоту середину» для навчальних програм з нанонауки, які повинні забезпечувати введення її в природничі дисципліни з певної спеціалізації на етапах додипломного навчання та, більшою мірою, втілення означеного на післядипломному рівні.

<sup>308</sup> De Melo N. F. S. (2017): Heightening Awareness for Graduate Students of the Potential Impacts of Nanomaterials on Human Health and the Environment Using a Theoretical–Practical Approach, p. 1473.

<sup>309</sup> Brinton T. J. (2013): Outcomes from a Postgraduate Biomedical Technology Innovation Training Program: The First 12 Years of Stanford Bidesign, p. 1807.

<sup>310</sup> Malsch I. (2014): Nano-education from a European perspective: nano-training for non-R&D jobs Nanotechnol., p. 213.

<sup>311</sup> Chauhan G. (2020): Nanotechnology for COVID-19: Therapeutics and Vaccine Research, p. 7769.

Для повної реалізації потенціалу нанотехнологій в суспільстві, важливо ще замислитися щодо впливу глобалізації на освітній процес та підготовку фахівців в галузі нанонаук, що, без сумніву, є важливим фактором при розробці сучасних освітніх програм<sup>312</sup>. Проте, більшість стратегій освіти і навчання в галузі нанотехнологій зосереджено на дизайні навчання і навчальних програмах, які частково відображають проблеми визначення загальних цілей навчання в галузі, яка постійно розвивається і стирає традиційні рамки предмету.

У той же час є потреба у більш широкому обговоренні, визначенні дорожньої карти того, як освіта в галузі нанотехнологій може сприяти розвитку кадрового потенціалу, готового успішно задовільнити не тільки технічні потреби, а й глобальні виклики 21 століття. Перелічене включає розширення доступу для диверсифікації кадрового резерву і, в кінцевому результаті діяльності, робочої сили<sup>313</sup>.

Сьогодні конвергенція знань і технологій на користь суспільства – базисна площина прогресу 21 століття, що деталізується як розширююча та перетворююча взаємодія між, здавалося б, різними дисциплінами, технологіями, спільнотами, сферами людської діяльності для досягнення взаємної сумісності, синергізму та інтеграції, а також для досягнення загальних цілей за допомогою даного процесу. Протягом останніх декількох десятиліть відмічалось поетапне прогресування конвергенції, починаючи з нанотехнології для матеріального світу, а потім конвергенції нанотехнологій, біотехнологій, медицини, фармації, інформації та когнітивних наук для нових технологій. Вона пропонує загальний процес задіяння інновацій, творчості та соціального прогресу, заснованого на основних принципах загального призначення: взаємозалежності всіх компонентів природи і суспільства, аналізі рішень для досліджень, розробок, що ґрунтуються на динамічній системно-логічній дедукції, підвищенні творчих здібностей та інновацій через еволюційні процеси конвергенції, що поєднують існуючі принципи і розбіжності та породжують нові корисності більш високого рівня для генерації нових рішень і підтримки передачі нових знань та цінностей, надихаючих на фундаментальні дослідження, які є розв'язанням грандіозних завдань. Все це дозволяє суспільству відповідати на питання і вирішувати проблеми, що є недоступними ізольованим галузям, а також створювати на цій основі нові компетенції, знання і технології. З'являються можливості для вирішення в наступних десятиріччях ключових соціальних проблем, підтримки основоположних нових технологій для проникнення на найважливіші платформи людської діяльності, створення нових галузей, поліпшення здоров'я протягом життя, досягнення персоналізованої й інтегрованої охорони здоров'я та освіти, а також забезпечення людства сталою якістю життя<sup>314, 315</sup>.

Слід зазначити, що, на жаль, достатньо часто включення останніх наукових відкриттів і передових технологій до навчальних програм відбувається із певним запізненням. Наука, як і раніше розділена на дисципліни, і ці довільні дисциплінарні поділи обумовлюють існування в науці певної кризи. Міждисциплінарний характер нанобіонауки, враховуючи паралельні проблеми, з якими зустрічається медицина, фармація, технологія спонукає до винесення їх конвергенції до окремої теми. А оскільки об'єднання декількох розрізнених галузей знань має потенціал значно більший, ніж їх ізольована робота, така конвергенція науки може призвести до поглибленого фундаментального розуміння «нано-біо», його взаємодії з медициною, технологією, фармацією та іншими природничими науками. Наприклад, міждисциплінарний підхід до матеріалів і ліків спрямовано на усунення основних медичних недоліків і проблем, з якими зустрічається традиційна медицина, а саме низькою біодоступністю та специфічністю, токсичністю, незадовільною діагностико-терапевтичною

<sup>312</sup> Chang R. P. H. (2006): A Call for Nanoscience Education, p. 6.

<sup>313</sup> De Melo N. F. S. (2017): Heightening Awareness for Graduate Students of the Potential Impacts of Nanomaterials on Human Health and the Environment Using a Theoretical-Practical Approach, p. 1475.

<sup>314</sup> Park E. J. (2019): Nanotechnology Course Designed for Non-Science Majors to Promote Critical Thinking and Integrative Learning Skills, p. 1279.

<sup>315</sup> Wenzel A. G. (2020): Science and Business of Medicinal Chemistry: A "Bench-to-Bedside" Course for Nonmajors, p. 416.

ефективністю. Інакше кажучи, клінічна медицина та біоматеріали – приклад двох галузей, які сприяють досягненню точної медицини в діагностиці та терапії різноманітних захворювань<sup>316, 317, 318</sup>. Тому доцільно сприяти поданню такого контенту, опрацювання розділених фундаментальних тем якого включатиме системне мислення, сприятиме безпосередній пов'язаності фундаментальних технологічних, хімічних, фізіологічних знань при включенні інформації стосовно інноваційних систем. Приклад означеного можна привести у фармацевтичній галузі, коли на лекційних та семінарських заняттях пропонуються завдання, що пов'язані з хімією, технологією ліків, медициною, біологією, а у групах під час дискусії й вирішення складних глобальних проблем, з якими найчастіше стикаються фахівці, відбувається навчання системному мисленню<sup>319</sup>. Критично важливо, щоб сьогоднішні особи, які навчаються, розвивали комплексні навички та когнітивні компетенції, які націлені на розвиток фундаментальних знань, логічного мислення та здійснення аналізу даних з метою їх подальшого використання. Міждисциплінарні модулі такого типу дієві для навчання інноваційних та різнобічно розвинених майбутніх професіоналів<sup>320, 321</sup>.

Сьогодні вочевидь, що освіта зміцнює світову економіку, вона вже здавна визнана важливим фактором розвитку нанонауки та нанотехнологій<sup>322</sup>. У багатьох країнах зростає зацікавлення до розробки освітніх програм для всіх рівнів навчання: від додипломного рівня до післядипломного<sup>323</sup>. Розробляються і випробовуються формальні і неформальні освітні практики, які сприяють загальному розумінню нанонауки і нанотехнологій, а також забезпечують поглиблене навчання і розвиток навичок, в тому числі здатність надати оцінку таким програмам. Через міждисциплінарний характер нанонауки спільною проблемою є розробка стандартних елементів навчальних програм з великою кількістю питань щодо ефективності інтеграції концепцій нанотехнологій у наявні теми в порівнянні зі створенням нових курсів з нанотехнологій<sup>324, 325</sup>.

Так, за кордоном існують програми, у яких простежується акцент на використання інноваційних моделей навчання майбутніх фахівців, одержання ними цілісних знань з медицини, біології, хімії, інженерії, менеджменту, а наприкінці опанування – виконання комплексної випускної роботи за вивченими дисциплінами. Хоча такі програми не орієнтовані суворо на нанотехнології, чимало випускників, спираючись на отримані знання, після навчання продовжують діяльність, яка пов'язана з нанотехнологіями<sup>326, 327</sup>.

Багато університетів сьогодні вже об'єднали інженерну освіту з бізнесом, додавши до неї важливі компоненти з інших програм з метою сполучення передових технологій та бізнесу для вирішення важливих соціальних, медичних, фармацевтичних, технологічних, екологічних проблем. Такі програми і курси розроблені в Стенфордському університеті, університеті Пенсільванії, школі бізнесу Уортона. У технологічному університеті Наньян в Сінгапурі розроблена програма Renaissance Engineering Programme з метою підготовки

<sup>316</sup> Holme T. A. (2020): The Winding Path toward Research-Informed Teaching Practices, p. 312.

<sup>317</sup> Kondo A. E. (2017): Insight into the Chemistry Skills Gap: The Duality between Expected and Desired Skills, p. 305.

<sup>318</sup> Weiss P. S. (2017): Upcoming Tenth Anniversary at ACS Nano, p. 5189.

<sup>319</sup> Avila-Bront L. G. (2020): An Experiential Learning Chemistry Course for Nonmajors Taught through the Lens of Science Fiction, p. 3590.

<sup>320</sup> Bretz S. L. (2019): Evidence for the Importance of Laboratory Courses, p. 193.

<sup>321</sup> De Jong T. (2013): Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education, p. 306.

<sup>322</sup> Park E. J. (2019): Nanotechnology Course Designed for Non-Science Majors to Promote Critical Thinking and Integrative Learning Skills, p. 1280.

<sup>323</sup> Parak W. J. (2015): Grand Challenges for Nanoscience and Nanotechnology, p. 6637.

<sup>324</sup> Simon L. E. (2020): Learning Postdisruption: Lessons from Students in a Fully Online Nonmajors Laboratory Course, p. 2434.

<sup>325</sup> Weiss P. S. (2016): Opportunities for Nanoscience and Nanotechnology in Studying Microbiomes, p. 1.

<sup>326</sup> Holme T. A. (2021): Should Chemistry Education Be Doing More to Support the Teaching of the Central Dogma of Molecular Biology?, p. 255.

<sup>327</sup> Newman D. L. (2016): Development of the Central Dogma Concept Inventory (CDCI) Assessment Tool, p. 12.

«інженерних лідерів майбутнього». Слід також зазначити, що відомі програми стипендій Черчіля, Фулбрайта, Маршала і Гейтса-Кембриджа є відмінними моделями, які можуть використовуватися для розвитку цільових освітніх можливостей студентів, інтернів, слухачів в галузі нанотехнологій<sup>328, 329, 330</sup>.

Крім представлених педагогічних особливостей є невирішені питання щодо напрямків нанонауки і нанотехнологічної освіти в цілому. Існує пропозиція, що полягає у зосередженні щодо розробки ефективних навчальних платформ для навчання молодих поколінь. Але такі зусилля вимагають довгострокових стратегій, що включають більш індивідуальні підходи до отримання освіти<sup>331, 332</sup>. Дійсно, успішне зростання сектора нанотехнологій вимагає більш вдосконаленого підходу до навчання навичкам підготовки студентів і слухачів різних професій для подальшої їх роботи. У той час як нанонаука і освіта в галузі нанотехнологій на більш високих рівнях традиційно орієнтовані на вчених та інженерів на певних посадах, зростання нанотехнологій як економічної сили включатиме ширше коло осіб з різним науковим і ненауковим досвідом і потребами в навчанні<sup>333, 334</sup>. Відзначається, що в майбутньому доцільною буде розробка скоординованої освітньої структури, яка пропонує плани підвищення кваліфікації персоналу для всієї галузі, включаючи розвиток лідерства. У багатьох організаціях лідери без наукового досвіду несуть відповідальність за прийняття важливих рішень щодо проектів в галузі нанотехнологій, і є значні можливості для удосконалення цих характеристик за рахунок розвитку майбутніх наукових лідерів, які поєднують в собі досвід технічної роботи в області нанотехнологій з підготовкою менеджерів, що володіють загальними знаннями<sup>335</sup>.

З цієї точки зору проблеми нанонауки і освіти в області нанотехнологій в глобальному світі є багатограними, і для задоволення цих потреб потрібні творчі та новаторські моделі навчання, які поєднуються з міжнародним досвідом та засновані на програмах, що передбачають основу для можливого застосування на різних рівнях для безлічі цілей.

Щодня ми спостерігаємо впровадження нанотехнологій в наше життя: від появи нових комп'ютерних технологій до успішної імплементації в медицині методів лікування онкозахворювань, де нанонаука відіграє ключову роль, пропонуючи інноваційні рішення. Тому важливе сприяння розвитку творчих здібностей особистості, підкреслення розуміння глобальності впливу нанонауки і нанотехнологій у сучасному житті та висвітлення перерахованого при розгляді тем. Особи, які навчаються, на семінарських заняттях на курсах повинні формувати загальне уявлення про нанонауку та її потенціал, а практика навчання повинна починатися з «захоплення» уваги контингенту, що навчається<sup>336, 337</sup>. Для досягнення даної мети першочерговим є доведення до широкого загалу особливостей нанонауки, але велике значення при цьому має проста і зрозуміла форма подання інформаційного матеріалу. Серія наукових публікацій з нанотехнологій і видані два томи монографії «Нанотехнології в медицині і фармації» є прикладом базисної складової програми, що адресована

<sup>328</sup> Mahaffy P. G. (2019): Can Chemistry Be a Central Science without Systems Thinking?, p. 2680.

<sup>329</sup> Reed J. J. (2017): What We Don't Test: What an Analysis of Unreleased ACS Exam Items Reveals about Content Coverage in General Chemistry Assessments, p. 420.

<sup>330</sup> Verhoeff R. P. (2018): The Theoretical Nature of Systems Thinking. Perspectives on Systems Thinking in Biology Education, p. 3.

<sup>331</sup> Chan W. W. C. (2016): Nanoscience and Nanotechnology Impacting Diverse Fields of Science, Engineering, and Medicine, p. 10615.

<sup>332</sup> Kagan C. R. (2016): Nano Day: Celebrating the Next Decade of Nanoscience and Nanotechnology, p. 9100.

<sup>333</sup> Flynn A. B. (2019): Future Directions for Systems Thinking in Chemistry Education: Putting the Pieces Together, p. 3003.

<sup>334</sup> Luxford C. J. (2015): What Do Conceptual Holes in Assessment Say about the Topics We Teach in General Chemistry?, p. 1000.

<sup>335</sup> Holme T. (2020): Using the chemistry of pharmaceuticals to introduce sustainable chemistry and systems thinking in general chemistry, p. 1.

<sup>336</sup> Björnalm M. (2016): Increasing the Impact of Materials in and beyond Bio-Nano Science, p. 13454.

<sup>337</sup> Chan W. W. C. (2016): Nanoscience and Nanotechnology Impacting Diverse Fields of Science, Engineering, and Medicine, p. 10615.

громадськості, а також представляє інструмент для розширення дидактичного уявлення про цю тему для провізорів і фармацевтів, що проходять тематичне удосконалення, навчаючись на циклах в Інституті підвищення кваліфікації спеціалістів фармацевції Національного фармацевтичного університету (м. Харків). Необхідно чітко відстежувати останні події, новини, здобутки, всю актуальну інформацію, що з'являється за напрямком та вносити корегування до вже розроблених програм та планів для більш повного висвітлення останніх досягнень, контролю отриманих дисциплінарних знань, сформованих компетентностей. Прийшов час враховувати нові можливості в багатьох галузях науки та техніки, зокрема фармацевції, медицини, біології, оскільки кінцевий результат впливає на загальну професійну активність фармацевтичних працівників. Отримані уявлення і навички мислення, придбані в результаті навчання, можуть бути корисними у роботі та спілкуванні поза дисциплінарними кордонами<sup>338, 339, 340, 341</sup>.

Наноконкурентноздатні продукти програм, що розробляються, є ідеальним випробувальним полігоном для реалізації та оцінки запропонованих інклюзивних стратегій навчання слухачів та інтернів, для розвитку у них критичного мислення і створення міждисциплінарного середовища в галузі нанотехнологій, розуміння питань розробки безпечних і стійких передових наноматеріалів для виробництва та технологій наступного покоління ліків, а також розуміння того, що галузь нанотехнологій велика і заснована на конвергенції традиційних дисциплін для створення, вивчення і застосування матеріалів у наномасштабі. Також доречно пам'ятати, що процес підвищення кваліфікації складний, а опанування матеріалу у конкретній галузі знань повинно бути засноване на розвитку набору необхідних навичок, для чого нерідко потрібна удосконалювати знання і / або навички, задіювати мотивацію щодо вивчення запланованих практичних елементів<sup>342, 343</sup>.

Ознайомлення з новим багатогранним матеріалом за «нано» темами, одержані знання дають сьогодні інструменти, що необхідні суспільству, виявляють і заповнюють існуючі прогалини в обізнаності слухачів та інтернів в галузі системного мислення, оцінки генетичної грамотності, переломлення біологічних і медичних концепцій до сучасної науки. Крім того, ці знання допомагають встановити пов'язаність між ключовими темами нанотехнології, фармакології, хімії, фармакогнозії, біології, медицини, менеджменту, особливо в контексті інформаційного потоку, що розвиває здатність слухачів адаптувати, систематизувати отримані знання з розробки, застосування, фармакологічної дії лікарських препаратів під час професійної діяльності<sup>344</sup>.

В черговий раз слід зазначити, що на сьогодні за кордоном освіта в галузі нанонауки і нанотехнологій значною мірою розвивається завдяки розробленим навчальним освітнім програмам за напрямком. На жаль, у нас суспільне сприйняття і розуміння нанонауки і нанотехнологій залишаються проблематичними в тому сенсі, що відсутня обізнаність у слухачів щодо їх перспектив та можливостей. Тому завданням сьогодення є взаємодія з контингентом, який навчається (слухачами, інтернами), роз'яснення ролі нанонауки, обговоренні ключових проблем щодо наукових досліджень, технологій, медицини, наноматеріалів, регенеративної, тканинної інженерії, безпеки, комерціалізації продукції, що,

---

<sup>338</sup> Bothun G. D. (2019): Using "nano tools" as the basis for a hands-on experiential course in nanotechnology. *Exposure to Engineered Nanomaterials in the Environment*, p. 291.

<sup>339</sup> Holland L. A. (2018): Enhancing research for undergraduates through a nanotechnology training program that utilizes analytical and bioanalytical tools, p. 6042.

<sup>340</sup> Mekid S. (2019): Dedicated instruments for nano-engineering education: Integrated nano-manipulation and micro-nanomachining, p. 62.

<sup>341</sup> Weiss P. S. (2016): *Launching the Microbiome Initiative*, p. 5589.

<sup>342</sup> Lungeanu A. (2015): The effects of diversity and network ties on innovations: the emergence of a new scientific field, p. 550.

<sup>343</sup> Nicola-Richmond K. (2018): Threshold concepts in higher education: a synthesis of the literature relating to measurement of threshold crossing, p. 103.

<sup>344</sup> Gentile J. (2017): *National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine*, p. 10.



як наслідок, призведе до розкриття основ, а конкретні досягнення заповнять порожнечу, що вигадана фантастикою<sup>345, 346</sup>.

Анкетування й інтерв'ювання слухачів показало, що для більш чіткого розуміння матеріалу фахівцям необхідно опанувати та користуватися правильною термінологією, оновлювати та доповнювати словниковий запас за фахом, задіювати базові знання та знання з суміжних дисциплін, що дозволить отримати концептуальні знання за конкретними темами з нанотехнологічного напрямку<sup>347</sup>.

Дослідження та розробки в галузі нанотехнологій дійсно глобальні. Сьогодні Європейський Союз поставив ряд серйозних завдань, у яких нанонаука та нанотехнології можуть бути використані для вирішення проблем відновлення навколишнього середовища, біоекогеніки, чистої води, продовольчих товарів, мікробіома, наномедицини, розробки та раціональної доставки ліків, діагностики, тераностіки, розробки і тестування нових наноматеріалів, доставки і прецизійного втручання в біологічні системи, подальшого розвитку регенеративної і тканинної медицини, геноміки, протеоміки, моделювання людського мозку. Природно, все це необхідно, щоб революціонізувати існуючі підходи, сприяти науковому прогресу і вдосконаленню нашого світу<sup>348, 349, 350</sup>.

Нарешті, одна з найсильніших сторін спільнот нанонауки і нанотехнологій полягає в тому, що ми вчимося спілкуватися в різних сферах, вивчати і використовувати підходи один одного, вирішувати ключові проблеми в безлічі напрямків, частіше розглядати як вирішуються проблеми в науці та технологіях, які розробляються нові інструменти, матеріали, методи і які можливості вони пропонують. Знайомство з цим аспектом означеної галузі серед інтернів, слухачів на усіх рівнях значно вплине на навколишній світ і здатність робити його краще<sup>351, 352</sup>.

**Висновки.** Таким чином, попереду величезні можливості поліпшення освіти в галузі нанонауки і нанотехнологій, розширення їх впливу та втілення в реальність, ознайомлення з цим слухачів і, як наслідок, підготовка освічених щодо можливостей майбутнього прогресу, як у дослідженні нових невидимих світів, так і у вирішенні проблем, з якими стикається світ, фахівців. Наноосвіта має відігравати особливу роль у розвитку освітнього досвіду, зверненні до громадськості, обміні ідеями про те, що працює, а що ні. Слід також розвивати особливі здібності в спілкуванні в різних сферах науки, в обміні підходами та проблемами в застосуванні інструментів за межами певної галузі знань. Об'єднавши разом наукові, інженерні, медичні, фармацевтичні, фармакологічні та інші галузі за допомогою нанонауки і нанотехнологій, а також шляхом цілеспрямованого перехресного навчання підходам і комунікаціям, ми також будемо впливати на них.

Навчальні програми повинні розроблятися таким чином, щоб надавати слухачам інструменти для підвищення наукової та професійної грамотності, а також критичної оцінки запропонованого матеріалу. Напрямок будь-якої точки перегину в навчальній траєкторії буде визначатися тими, хто стикається з проблемами, що виникають і можливостями відповідати на них<sup>353</sup>. Сьогодні спільнота медичної та фармацевтичної освіти вже продемонструвала дивовижну стійкість і креативність у такий незвичайний і складний період. Оскільки під час пандемії триває навчання за змішаною формою, попереду нас чекають захоплюючі моменти і

<sup>345</sup> Gkika D. A. (2018): Balancing nanotoxicity and returns in health applications: The Prisoner's Dilemma, p. 85.

<sup>346</sup> Kargozar S. (2018): Nanotechnology and Nanomedicine: Start small, think big, p. 15495.

<sup>347</sup> Sangeetha J. (2017): Agricultural Nanotechnology: Concepts, Benefits, and Risks, p. 2.

<sup>348</sup> Hersman, M. C., Lee, S. T., Nel, A. E. et. al. (2015): Big Roles for Nanocenters, p. 8639.

<sup>349</sup> Roco M. C. (2011): The Long View of Nanotechnology Development: The National Nanotechnology Initiative at 10 years, p. 429.

<sup>350</sup> Zhao Y. (2019): Nano as a Rosetta Stone: The Global Roles and Opportunities for Nanoscience and Nanotechnology, p. 10853.

<sup>351</sup> Blonder R. (2015): The making of Nanotechnology: Exposing High-School Students to Behind-the-Scenes of Nanotechnology by Inviting Them to a Nanotechnology Conference, p. 103.

<sup>352</sup> Pitruzzella G. (2015): Inspiration Is All around You, p. 652.

<sup>353</sup> Björnalm M. (2016): Increasing the Impact of Materials in and beyond Bio-Nano Science, p. 13454.

дискусії стосовно розробки, обговорення та створення різних можливих варіантів майбутніх курсів і програм, що висвітлюють і нанотехнологічний напрямок.

**Конфлікт інтересів** відсутній.

### Література

1. Alvarez, M. M., Aizenberg, J., Analoui, M. et. al. (2017). Emerging Trends in Micro- and Nanoscale Technologies in Medicine: From Basic Discoveries to Translation. *ACS Nano*, 11 (6), 5195-5214. doi: 10.1021/acsnano.7b01493.
2. Avila-Bront, L. G. (2020). An Experiential Learning Chemistry Course for Nonmajors Taught through the Lens of Science Fiction. *J. Chem. Educ.*, 97 (10), 3588-3594. doi: 10.1021/acs.jchemed.0c00264.
3. Björnmalm, M., Faria, M., Caruso, F. (2016). Increasing the Impact of Materials in and beyond Bio-Nano Science. *J. Am. Chem. Soc.*, 138 (41), 13449-13456. doi: 10.1021/jacs.6b08673.
4. Blick, R. H., Graener, H., Mews, A. et. al. (2019). Nanoscience and Nanotechnology at the Centennial of Universität Hamburg. *ACS Nano*. 13 (1), 1-3. doi: 10.1021/acsnano.9b00223.
5. Blonder, R., Sakhnini, S. (2015). The making of Nanotechnology: Exposing High-School Students to Behind-the-Scenes of Nanotechnology by Inviting Them to a Nanotechnology Conference. *Nanotechnol. Rev.*, 4 (1), 103-116. doi: 10.1515/ntrev-2014-0016.
6. Bothun, G. D., Oyanedel-Craver, V., Park, K. (2019). Using "nano tools" as the basis for a hands-on experiential course in nanotechnology. *Exposure to Engineered Nanomaterials in the Environment*. Elsevier, 291-305. doi: 10.1016/B978-0-12-814835-8.00011-X.
7. Bretz, S. L. (2019). Evidence for the Importance of Laboratory Courses. *J. Chem. Educ.*, 96 (2), 193-195. doi: 10.1021/acs.jchemed.8b00874.
8. Brinton T. J., Kurihara, C. Q., Camarillo et. al. (2013). Outcomes from a Postgraduate Biomedical Technology Innovation Training Program: The First 12 Years of Stanford Biodesign. *Ann. Biomed. Eng.*, 41 (9), 1803-1810. doi: 10.1007/s10439-013-0761-2.
9. Chan, W. W. C., Chhowalla, M., Glotzer, Sh. et. al. (2016). Nanoscience and Nanotechnology Impacting Diverse Fields of Science, Engineering, and Medicine. *ACS Nano*, 10 (12), 10615-10617. doi: 10.1021/acsnano.6b08335.
10. Chang, R. P. H. (2006). A Call for Nanoscience Education. *Nano Today*, 1 (2), 6-7. doi: 10.1016/S1748-0132(06)70028-7.
11. Chang, T. M. S. (2019). Artificial cell evolves into nanomedicine, biotherapeutics, blood substitutes, drug delivery, enzyme/gene therapy, cancer therapy, cell/stem cell therapy, nanoparticles, liposomes, bioencapsulation, replicating synthetic cells, cell encapsulation/scaffold, biosorbent/immunosorbent haemoperfusion/plasmapheresis, regenerative medicine, encapsulated microbe, nanobiotechnology, nanotechnology. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 47 (1), 997-1013. doi: 10.1080/21691401.2019.1577885.
12. Chauhan, G., Madou, M. J., Kalra, S. et. al. (2020). Nanotechnology for COVID-19: Therapeutics and Vaccine Research. *ACS Nano*, 14 (7), 7760-7782. doi: 10.1021/acsnano.0c04006.
13. De Jong, T., Linn, M. C., Zacharia, Z. C. (2013). Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education. *Science*, 340 (6130), 305-308. doi: 10.1126/science.1230579.
14. De Melo, N. F. S., Fraceto, L. F., Grillo, R. (2017). Heightening Awareness for Graduate Students of the Potential Impacts of Nanomaterials on Human Health and the Environment Using a Theoretical-Practical Approach. *J. Chem. Educ.*, 94 (10), 1471-1479. doi: 10.1021/acs.jchemed.7b00087.
15. Flynn, A. B., Orgill, M., Felix, M. et. al. (2019). Future Directions for Systems Thinking in Chemistry Education: Putting the Pieces Together. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 3000-3005. doi: 10.1021/acs.jchemed.9b00637.
16. Gentile, J., Brenner, K., Stephens, A. (2017). National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Undergraduate Research Experiences for STEM Students: Successes, Challenges, and Opportunities. Washington, DC: The National Academies Press, 278 p. doi: 10.17226/24622.

17. Gkika, D. A., Magafas, L., Cool, P., Braet, J. (2018). Balancing nanotoxicity and returns in health applications: The Prisoner's Dilemma. *Toxicology*, 393, P. 83-89. doi: 10.1016/j.tox.2017.11.008.
18. Hersman, M. C., Lee, S. T., Nel, A. E. et. al. (2015). Big Roles for Nanocenters. *ACS Nano*, 9 (9), 8639-8640. doi: 10.1021/acsnano.5b05779.
19. Holland, L. A., Carver, J. S., Veltri, L. M. et. al. (2018). Enhancing research for undergraduates through a nanotechnology training program that utilizes analytical and bioanalytical tools. *Anal. Bioanal. Chem.*, 410 (24), 6041-6050. doi: 10.1007/s00216-018-1274-5.
20. Holme, T. (2020). Using the chemistry of pharmaceuticals to introduce sustainable chemistry and systems thinking in general chemistry. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 16, 100234. doi: 10.1016/j.scp.2020.100234.
21. Holme, T. A. (2020). The Winding Path toward Research-Informed Teaching Practices. *J. Chem. Educ.*, 97 (2), 311-312. doi: 10.1021/acs.jchemed.0c00060.
22. Holme, T. A. (2021). Should Chemistry Education Be Doing More to Support the Teaching of the Central Dogma of Molecular Biology? *J. Chem. Educ.*, 98 (2), 255-256. doi: 10.1021/acs.jchemed.1c00054.
23. Kagan, C. R., Fernandez, L. E., Gogotsi, Y. et. al. (2016). Nano Day: Celebrating the Next Decade of Nanoscience and Nanotechnology. *ACS Nano*, 10 (10), 9093-9103. doi: 10.1021/acsnano.6b06655.
24. Kargozar, S., Mozafari, M. (2018). Nanotechnology and Nanomedicine: Start small, think big. *Materials today: Proceedings*, 5 (7), 15492-15500. doi: 10.1016/j.matpr.2018.04.155.
25. Khademhosseini, A., Nel, A. E., Bunje, H. et. al. (2019). Nanoscience and Nanotechnology at UCLA. *ACS Nano*, 13 (6), 6127-6129. doi: 10.1021/acsnano.9b04680.
26. Kondo, A. E., Fair, J. D. (2017). Insight into the Chemistry Skills Gap: The Duality between Expected and Desired Skills. *Journal of Chemical Education*, 94 (3), 304-310. doi: 10.1021/acs.jchemed.6b00566.
27. Lungeanu, A., Contractor, N. S. (2015). The effects of diversity and network ties on innovations: the emergence of a new scientific field. *Am Behav Sci.*, 59 (5), 548-564. doi: 10.1177/0002764214556804.
28. Luxford, C. J., Holme, T. A. (2015). What Do Conceptual Holes in Assessment Say about the Topics We Teach in General Chemistry? *J. Chem. Educ.*, 92 (6), 993-1002. doi: 10.1021/ed500889j.
29. Mahaffy, P. G., Ho, F. M., Haack, J. A., Brush, E. J. (2019). Can Chemistry Be a Central Science without Systems Thinking? *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 2679-2681. doi: 10.1021/acs.jchemed.9b00991.
30. Malsch, I. (2014). Nano-education from a European perspective: nano-training for non-R&D jobs *Nanotechnol. Rev.*, 3 (2), 211-221. doi: 10.1515/ntrev-2013-0039.
31. Mekid, S. (2019). Dedicated instruments for nano-engineering education: Integrated nano-manipulation and micro-nanomachining. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 49 (1), 60-71. doi: 10.1177/0306419019846591.
32. Newman, D. L., Snyder, C. W., Fisk, N., Wright, L. K. (2016). Development of the Central Dogma Concept Inventory (CDCI) Assessment Tool. *CBE–Life Sci Educ.*, 15 (2), ar 9, 1-14. doi: 10.1187/cbe.15-06-0124.
33. Nicola-Richmond, K., Pepin, G., Larkin, H., Taylor, C. (2018). Threshold concepts in higher education: a synthesis of the literature relating to measurement of threshold crossing. *Higher Education Research & Development*, 37 (1), 101-104. doi: 10.1080/07294360.2017.1339181.
34. Parak, W. J., Nel, A. E., Weiss, P. S. (2015). Grand Challenges for Nanoscience and Nanotechnology. *ACS Nano*, 9 (7), 6637-6640 doi: 10.1021/acsnano.5b04386.
35. Park, E. J. (2019). Nanotechnology Course Designed for Non-Science Majors to Promote Critical Thinking and Integrative Learning Skills. *J. Chem. Educ.*, 96 (6), 1278-1282. doi: 10.1021/acs.jchemed.8b00490.

36. Pelaz, B., Alexiou, C., Alvarez-Puebla, R. A. et. al. (2017). Diverse Applications of Nanomedicine. *ACS Nano*, 11 (3), 2313-2381. doi: 10.1021/acsnano.6b06040.
37. Pitruzzella, G. (2015). Inspiration Is All around You. *Nat. Nature Nanotech.*, 10 (7), 652. doi: 10.1038/nnano.2015.145.
38. Reed, J. J., Villafane, S. M., Raker, J. R. et. al. (2017). What We Don't Test: What an Analysis of Unreleased ACS Exam Items Reveals about Content Coverage in General Chemistry Assessments. *J. Chem. Educ.*, 94 (4), 418-428. doi: 10.1021/acs.jchemed.6b00863.
39. Roco, M. C. (2011). The Long View of Nanotechnology Development: The National Nanotechnology Initiative at 10 years. *J. Nanopart. Res.* 13, 427-445. doi: 10.1007/s11051-010-0192-z.
40. Sangeetha, J., Thangadurai, D., Hospet, R. et. al. (2017). Agricultural Nanotechnology: Concepts, Benefits, and Risks. In book: *Nanotechnology: An agricultural Paradigm*, Chapter 1. Ed.: Prasad, R., Kumar, M., Kumar, V. Springer Group, 1-17. doi: 10.1007/978-981-10-4573-8\_1.
41. Simon, L. E., Genova, L. E., Kloepper, M. L., Kloepper, K. D. (2020). Learning Postdisruption: Lessons from Students in a Fully Online Nonmajors Laboratory Course. *J. Chem. Educ.*, 97 (9), 2430-2438. doi:10.1021/acs.jchemed.0c00778.
42. Verhoeff, R. P., Knippels, M.-C. P. J., Gilissen, M. G. R., Boersma, K. T. (2018). The Theoretical Nature of Systems Thinking. *Perspectives on Systems Thinking in Biology Education. Front. Educ.*, 3, 1-11. doi: 10.3389/educ.2018.00040.
43. Warren Chan C. W., Chhowalla M., Farokhzad O. et al. (2018). The 15th Anniversary of the U.S. National Nanotechnology Initiative. *ACS Nano*, 12 (11), 10567-10569. doi:10.1021/acsnano.8b08676.
44. Weiss, P. S. (2016). Launching the Microbiome Initiative. *ACS Nano*, 10 (6), 5589-5590. doi: 10.1021/acsnano.6b04029.
45. Weiss, P. S. (2017). Upcoming Tenth Anniversary at ACS Nano. *ACS Nano*, 11 (6), 5189-5190. doi: 10.1021/acsnano.7b04198.
46. Weiss, P. S. (2021). How Do We Assess the Impact of Nanoscience and Nanotechnology? *ACS Nano*, 15 (1), 1-2. doi: 10.1021/acsnano.1c00391.
47. Weiss, P. S. (2016). Opportunities for Nanoscience and Nanotechnology in Studying Microbiomes. *ACS Nano*, 10 (1), 1-2. doi: 10.1021/acsnano.6b00319.
48. Wenzel, A. G., Casper, S., Galvin, C. J., Beck, G. E. (2020). Science and Business of Medicinal Chemistry: A "Bench-to-Bedside" Course for Nonmajors. *J. Chem. Educ.*, 97 (2), 414-420. doi: 10.1021/acs.jchemed.9b00691.
49. Zhao, Y., Bai Ch., Brinker, C. J. et. al. (2019). Nano as a Rosetta Stone: The Global Roles and Opportunities for Nanoscience and Nanotechnology. *ACS Nano*, 13 (10), 10853-10855. doi: 10.1021/acsnano.9b08042.