

Принципи FAIR як основа наукової інфраструктури: бібліографічний огляд моделей для різних галузей досліджень

Катерина Осадча^{1*} 

¹Інститут цифровізації освіти НАПН України; м. Київ, Україна

*k.osadcha@iitlt.gov.ua

Анотація

У статті здійснено аналіз останніх досліджень щодо впровадження FAIR-принципів, які стають наріжним каменем наукової інфраструктури, у дослідження. У результаті чого констатовано, що у сфері освіти досі немає спільних рекомендацій щодо справедливого управління та розпорядження даними про освіту з урахуванням FAIR-принципів. Разом із тим, є приклади моделей FAIR-даних для різних галузей досліджень, які можуть слугувати підґрунтям для розробки такої моделі для наукових досліджень у галузі освіти. Тому метою статті є аналіз існуючих моделей FAIR-даних у різних галузях наук, порівняння їхніх підходів та визначення спільних рис й обмежень, які впливають на відшукуваність, доступність, сумісність та повторне використання даних. Для реалізації мети використано аналітичний і системний підходи, бібліометричний та контент-аналіз, метод інтерпретації для дослідження зарубіжних моделей FAIR-даних у різних галузях наук, метод узагальнення для підсумовування результатів наукового пошуку, методи систематизації та класифікації та структурно-функціональний аналіз. У результаті аналізу статей у базах даних Scopus та Web of Science, що описують існуючі моделі FAIR у різних галузях наук, виділено загальні та галузеві моделі. Загальні моделі (модель зрілості FAIR-даних, гнучка модель метаданих) розроблені і можуть бути застосовані (розширені, інтерпретовані) для досліджень у будь-якій галузі, а галузеві моделі мають відповідне спрямування на певну наукову галузь. У підсумку нами було визначено як приклади галузевих моделей, що інтегрують FAIR-принципи, такі: концептуальна модель відтворюваності та модель даних для компіляції гармонізованих баз даних (екологія), семантична (онтологічна) модель для представлення метаданих та їх схеми (метеорологія), концептуальна структура для документування (цистоскопія), модель даних цифрової журналістики (журналістика), концептуальна модель FAIR Digital Objects (інформаційні системи), SOLICIT (неінфекційні захворювання), HL7 FHIR (медицина), адаптивна та нормативна рамка для FAIR-метаданих БПЛА (військові науки), рамка робочого процесу управління даними (біологія), рамка управління даними та структура метаданих для навчальних матеріалів (освіта). Визначені галузеві моделі не суперечать одна одній, а формують широку екосистему різних наук.

Ключові слова:

FAIR, освітні науки, модель даних, стандартизація, наукові дослідження

Мова статті:

українська

Отримано:

17 березня 2026 р.

Прийнято:

11 травня 2026 р.

Опубліковано:

27 травня 2026 р.

Цитування:

Осадча, К. (2026). Принципи FAIR як основа наукової інфраструктури: бібліографічний огляд моделей для різних галузей досліджень. *Міжнародний науковий журнал «Університети і лідерство»*, 21, 65-79. <https://doi.org/10.31874/2520-6702-2026-21-65-79>

Вступ

У сучасній науці завдяки використанню цифрових технологій наразі відбувається експоненційне зростання обсягів даних (Shukla, Bisht, Tiwari & Bashir, 2023), різних форматів і з використанням різних інфраструктур. Дані великого обсягу і неоднорідної структури важко обробити, відтворити, масштабувати і використовувати для подальших досліджень. Це викликало широку дискусію (Villarreal, Muñoz, González et al., 2024), (Alma'aitah, Quraan, AL-Aswadi et al., 2024) в наукових колах щодо пошуку узгоджених підходів до організації та управління даними. Крім того, наразі дані стають стратегічним ресурсом науки, а також зростає потреба у відкритості наукових досліджень, що підтримує довіру до них. Ці зростаючі проблеми навколо великих даних впливають на розуміння того, що традиційні підходи до організації та управління даними досі обмежені, особливо у галузі освітніх наук, і не можуть впоратися з новими вимогами.

Як відповідь на ці виклики науковцями була запропонована концепція FAIR (FORCE11, n.d.), принципи якої – Findable (відшукуваність), Accessible (доступність), Interoperable (сумісність), Reusable (багаторазовість) – стали глобальними орієнтирами для побудови сучасного дослідження. Разом із тим, слід зазначити, що FAIR – це не стандарт, а рамка, яка потребує конкретизації у кожній галузі. Адже рамка пропонує загальні принципи, а не визначає конкретні формати. Її реалізація залежить від типів даних, усталених практик в певній галузі та інфраструктурних можливостей. Саме тому виникають різні моделі FAIR в різних галузях наук, які забезпечують більшу точність і релевантність. Аналіз існуючих моделей дозволить зрозуміти специфіку і підходи у різних галузях наук для їх узагальнення з метою формування моделі FAIR-даних для галузі освітніх наук.

Аналіз останніх досліджень. Перелік принципів FAIR містить 4 керівні принципи (відшукуваність, доступність, сумісність, багаторазовість) та 15 елементів. Керівні принципи FAIR описують окремі міркування для сучасних середовищ публікації даних щодо підтримки як ручного, так і автоматизованого депонування, дослідження, обміну та повторного використання (Wilkinson, Dumontier, Aalbersberg et al., 2016).

У дослідженнях останніх п'яти років спостерігається перехід від осмислення концепції FAIR до обговорення практичних прикладів у різних галузях наук. Зокрема, науковці (Jacobsen, de Miranda Azevedo, Juty, et al., 2020) вважають, що принципи FAIR сформульовані на високому рівні та можуть бути інтерпретовані та впроваджені по-різному. Проте вони також наголошують, що для справжньої сумісності потрібно підтримувати конвергенцію у варіантах реалізації, які є широкодоступними та повторно використовуваними. Для цього вони пропонують інтерпретацію керівних принципів FAIR та представляють зразкові варіанти та проблеми впровадження, які можуть надихнути розробників робити внесок у інфраструктуру, програмне забезпечення та послуги, що підтримують впровадження FAIR, а також надихнуть громади обрати свою конкретну спрямованість у процесі FAIRифікації, прагнучи досягти спільних цілей Інтернету даних та послуг FAIR.

Глобальне впровадження керівних принципів FAIR дослідили М. Ван Рейзен, М. Стокманс, М. Басаджа та ін. (van Reisen, Stokmans, Basajja, et al., 2020). Розглядаючи розширення впровадження керівних принципів FAIR, особливо те, як і в яких географіях (локаціях) та тематичних доменах відбувається впровадження, науковці зробили висновок, що воно відбувається переважно у Західній півкулі і міцно закріпилося в галузі біологічних та природничих наук. Проте вони також зазначили, що незважаючи на зусилля щодо інклюзивності, прийняття керівних принципів FAIR у різних наукових спільнотах є обмеженим, зокрема в аспекті забезпечення включення неєвропейських акторів та інших наукових сфер.

Досліджуючи, як змінилася б роль політик і регуляцій, пов'язаних із дослідницькими даними, якби вони дедалі більше включали цифрові FAIR-об'єкти, та переваги та ризики

від ширшого використання цифрових FAIR-об'єктів у робочих процесах з етики досліджень, Д. Мітчен (Mietchen, 2022) описує, як включити залежності дослідницьких цифрових об'єктів FAIR у робочі процеси FAIR Digital та їх оцінку або повторне використання.

Окремі дослідження присвячені підготовці майбутніх дослідників до роботи за FAIR принципами. Зокрема, Ю. Прісс-Бухгейт, Н. Ермекінг і Т. В. Д. Мебіус у своєму дослідженні (Priess-Buchheit, Hermeking & Möbius, 2025) розглянули ефективність навчання FAIR у вищій освіті. Вони відмітили позитивну кореляцію між наявністю університетських правових рамок на основі принципів FAIR та схильністю студентів до навчання FAIR. Також їхнє дослідження підкреслює потенціал навчання у переході до відкритих наукових дій у вищій освіті та демонструє, наскільки університетські правові рамки можуть сприяти такому навчанню. Важливими факторами навчання ефективного FAIR науковці відзначають створення безпечного простору, можливість студентам брати участь і заохочення студентів брати участь у навчанні. Однак дослідження також виявляє необхідність подальшого вдосконалення навчання, особливо для підвищення здатності студентів обґрунтовувати дії FAIR.

У рамках проекту FAIR-IMPACT публікуються реальні історії практичного впровадження принципів FAIR (FAIR-IMPACT, n.d.). Stories of practical implementation of the FAIR principles. <https://fair-impact.eu/use-cases>), які демонструють, практики, політики, інструменти та технічні специфікації, які допоможуть дослідникам, менеджерам репозиторіїв, дослідницьким організаціям, розробникам політик та громадянським науковцям у циклі управління даними FAIR. Ці кейси показують, що впровадження FAIR відбувається нерівномірно, але поступово охоплює різні типи організацій: від університетів до спеціалізованих дослідницьких центрів. Такі приклади дозволяють зрозуміти, як загальні принципи трансформуються у практичні інструменти та політики.

Аналіз останніх досліджень свідчить також про те, що в освітніх дослідженнях інтегрується концепція FAIR, особливо у сфері цифрових навчальних ресурсів та підготовки дослідників. Зокрема, Л. Гарсія, Б. Батут, М.Л. Берк, М. Кузак та ін. (Garcia, Batut, Burke, Kuzak, Psomopoulos et al., 2020) показують, як застосовувати принципи FAIR, щоб полегшити пошук, (повторне) використання та адаптацію навчальних матеріалів. Вони пропонують 10 правил для створення навчальних матеріалів на основі FAIR (Рис. 1). Крім цього, автори надають шаблон метаданих, що окреслює ключову інформацію, необхідну для полегшення повторного використання навчальних матеріалів.



Рис. 1. Правила для створення навчальних матеріалів на основі FAIR-принципів (Garcia, Batut, Burke, Kuzak, Psomopoulos et al., 2020).

У статті Л. Провост, Л. Безуйденхаут, Ш. Венкатарамана та ін. (Provost, Bezuidenhout, Venkataraman et al., 2024) представлено та проаналізовано вісім тематичних досліджень дисциплінарних спільнот, щоб дослідити мотивацію, виклики та можливості щодо FAIRифікації навчальних ресурсів. Автори підкреслюють, що тематичні дослідження базуються на роздумах, сформульованих у 2022 році. Узагальнення досвіду цих спільнот, процесів та викликів, з якими вони стикалися, щоб структурувати знання на різних навчальних платформах, допоможе передбачити покращення в майбутній політиці та управлінні даними. Також автори наголошують, що впровадження FAIR у навчальні ресурси сприяє їхній видимості, повторному використанню та інтеграції в міжнародні освітні екосистеми.

Г. Шанахан, Н. Хоебельхейнріх та А. Вайт (Shanahan, Hoebelheinrich & Whyte, 2021), дослідили існуючі та розробили освітні рамки FAIR4S, зосереджені на FAIR. FAIR4S – це структура навичок та можливостей FAIR щодо управління даними для науки та наукових досліджень, розроблена для того, щоб допомогти дослідницьким спільнотам та дослідницьким установам впроваджувати управління дослідницькими даними та FAIR у контексті відкритої науки та науки про дані. Ця структура навичок включає такий їх перелік: планування та розробка управління даними, збір та обробка даних і робочих процесів, виконання необхідних кроків для інтеграції та аналізу даних, оцінювання даних та налаштування їх збереження, виконання кроків для публікації FAIR результатів, виявлення інших результатів та забезпечення їх видимості, забезпечення дотримання принципів вищого рівня, забезпечення відповідності об'єктів та належного забезпечення ресурсами, внесок у ширшу FAIR спільноту.

Отже, FAIR-принципи стають фундаментом наукової інфраструктури, але їхня реалізація потребує інструментів, стандартів і координації між науковими спільнотами. Загальною тенденцією впровадження FAIR у наукових дослідженнях є те, що спостерігається поступовий перехід від декларативного прийняття до практичної реалізації. Також, як підкреслюється результатами роботи проєкту FAIR-IMPACT (<https://fair-impact.eu>), у період з 2022 по 2025 рік підвищилася довіра громадськості до науки та її відтворюваність, що змінило спосіб, у який дослідники обмінюються та використовують результати досліджень. Освітні дослідження інтегрують FAIR-принципи, а також у дослідженнях постають питання щодо викладання принципів FAIR у підготовці дослідників.

Метою статті є аналіз існуючих моделей FAIR-даних у різних галузях наук, порівняння їхніх підходів та визначення спільних рис й обмежень, які впливають на відшукуваність, доступність, сумісність та повторне використання даних.

Методи дослідження

Для аналізу існуючих моделей FAIR у різних галузях наук було здійснено пошук у Scopus за запитом ((TITLE-ABS-KEY("FAIR data" OR "FAIR principles") AND TITLE-ABS-KEY(model OR framework OR implementation OR assessment OR "domain model" OR "maturity model")) AND PUBYEAR > 2015) AND (LIMIT-TO(DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE, "re")). У результаті було отримано 1 243 документа. Надалі пошук було звужено із додаванням таких обмежень: фінальна стадія публікації, англomовна стаття, за ключовими словами (Fair Principles, Fair Data, Fair, Fair Principle, Fair Data Principles, Computer Model, Fairness, Conceptual Framework). Це дозволило зменшити кількість статей до 725 (Рис. 2). З цих статей було відібрано статті з відкритим доступом. Також їх було проаналізовано за змістом для того, щоб знайти в яких саме з них описано певну модель (рамки, концепцію) FAIR у одній з галузей наук. Це звужило аналіз до 37 статей, з яких було детально проаналізовано ті, що мають найбільшу практичну цінність.

Documents by year

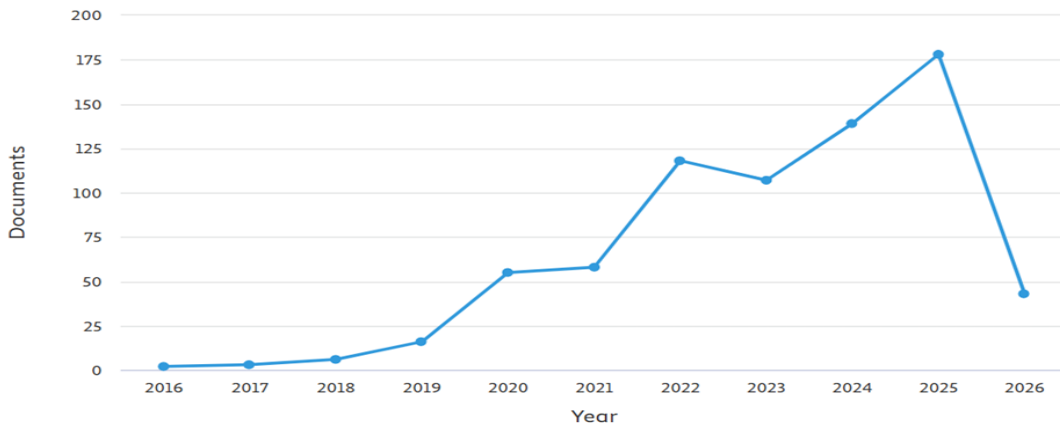


Рис. 2. Показники кількості статей по роках у Scopus

Як видно з рисунку 3 найбільше тема FAIR даних та принципів обговорюється у таких предметних областях, як комп'ютерні науки (271), медицина (201), біохімія, генетика та молекулярна біологія (134), соціальні науки (129), інженерія (76), науки про навколишнє середовище (76), сільськогосподарські та біологічні науки (73).

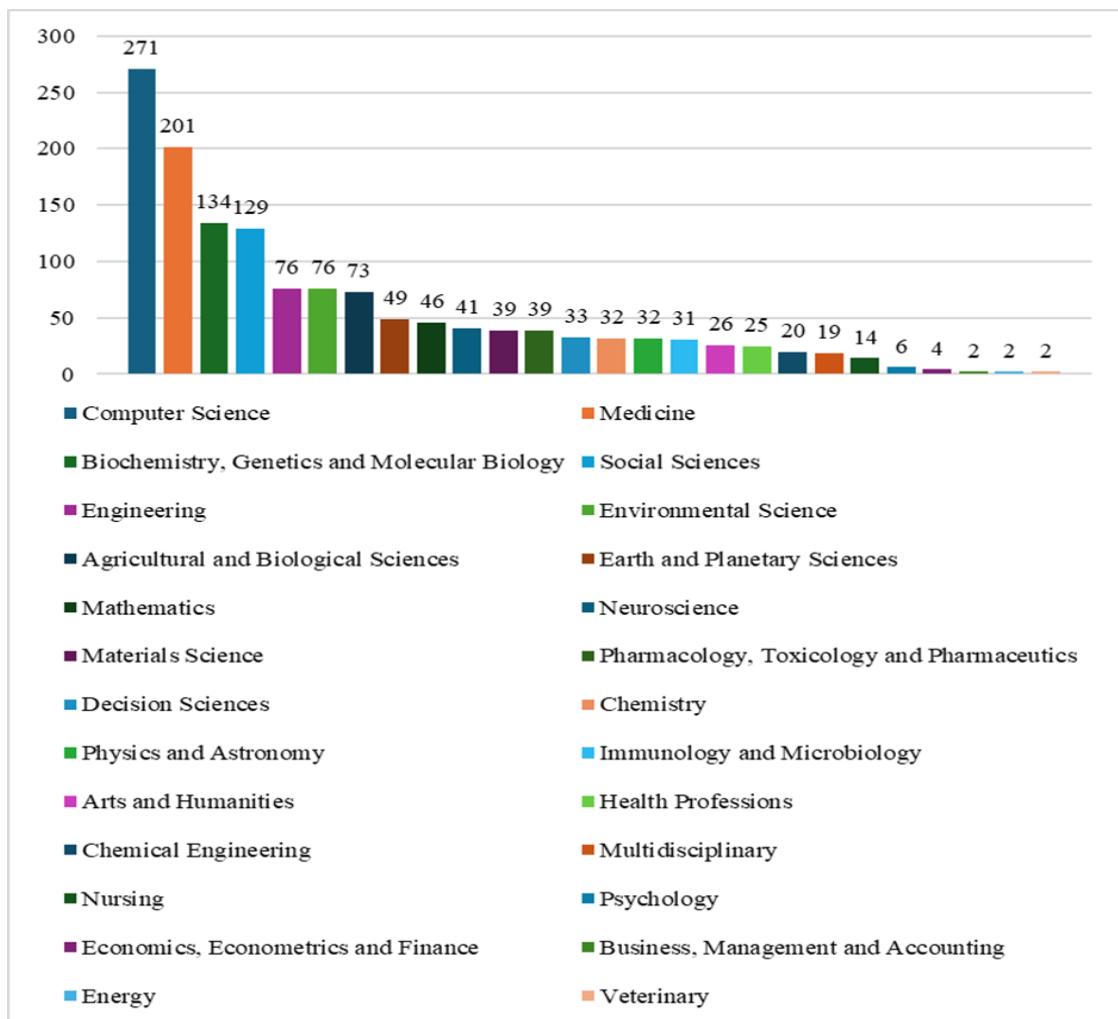


Рис. 3. Розподіл наукових статей з досліджуваної проблеми у базі даних Scopus за предметними областями

Для аналізу існуючих моделей FAIR у різних галузях наук було здійснено пошук у Web of Science за запитом ("FAIR data" OR "FAIR principles" OR "FAIR data model") AND ("domain model" OR "maturity model" OR model OR framework OR modeling OR "data model" OR "metadata model"). У результаті було отримано 1,102 документи. Надалі пошук було звужено із додаванням таких обмежень: відкритий доступ, англomовна стаття. Це дозволило зменшити кількість статей до 824 (Рис. 4). Також їх було проаналізовано за змістом для того, щоб знайти, в яких саме з них описано певну модель (рамку (фреймворк), концепцію, структуру) FAIR у одній з галузей наук. Це звужило аналіз до 33 статей, з яких було обрано ті, що мають найбільшу практичну цінність.

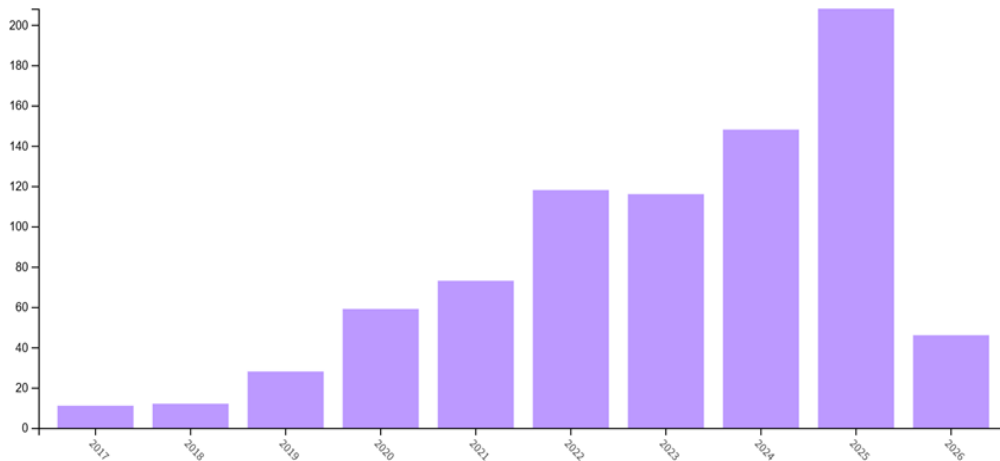


Рис. 4. Показники кількості статей по роках у Web of Science

Як видно з рис. 5 найбільше тема FAIR даних та принципів обговорюється у таких предметних областях, як інформаційні системи (124), міждисциплінарні програми інформатики (112), міждисциплінарні науки (87), медична інформатика (66), послуги з охорони здоров'я (54), методи теорії інформатики (51).



Рис. 5. Розподіл наукових статей з досліджуваної проблеми у базі даних Web of Science за категоріями

Методологію дослідження сформовано на основі аналітичного і системного підходів з урахуванням положень концептуальних документів, що репрезентують FAIR-принципи у наукових дослідженнях. Для опрацювання джерельної бази було використано бібліометричний та контент-аналіз; для дослідження зарубіжних моделей FAIR-даних у різних галузях наук – метод інтерпретації; для підсумовування результатів наукового пошуку – метод узагальнення, методи систематизації та класифікації; для виокремлення складових аналізованих моделей – структурно-функціональний аналіз.

Результати та їх обговорення

Аналіз наукових статей показав, що існують моделі, рамки (фреймворки), онтології та рекомендації для стандартизації FAIR-даних, які можуть бути застосовані у різних галузях наук, тобто загальні моделі. Одним із прикладів є розроблена М.Д. Вілкінсоном та ін. (Wilkinson et al., 2018) рамка (фреймворк), яка охоплює першу ітерацію основного набору показників FAIRness, які можна об'єктивно виміряти за допомогою напівавтоматизованого процесу, а також шаблон, якого можна дотримуватися в окремих наукових галузях для отримання специфічних для спільноти показників, що оцінюють важливі для них аспекти FAIR. Науковці вважають, що хороша FAIR-метрика повинна бути:

1. Зрозумілою: будь-хто може зрозуміти мету метрики.
2. Реалістичною: дотримання метрики для ресурсу не повинно бути надмірно складним.
3. Розбірливою: показник повинен вимірювати щось важливе для FAIRness; розрізняти ступінь, до якої цей ресурс відповідає цій меті, та мати можливість надати інструкції щодо того, що максимізує цю цінність.
4. Вимірюваною: оцінка може бути проведена об'єктивним, кількісним, машинно інтерпретованим, масштабованим та відтворюваним способом, що забезпечує прозорість того, що вимірюється та як.
5. Універсальною: метрика має бути застосовною до всіх цифрових ресурсів.

Запропонований авторами шаблон для створення FAIR-метрик містить 10 полів та опис кожного з них, зокрема, передбачено вказання ідентифікатора та назви метрики, приклади їх застосування до різних типів цифрових ресурсів та відповіді на такі питання: До якого принципу це застосовується? Що вимірюється? Чому ми повинні це вимірювати? Що необхідно забезпечити? Як ми це вимірюємо? Який результат вважається дійсним? Для якого(их) цифрового(их) ресурсу(ів) це застосовується? Отже, науковці розробили (і використали) шаблон для створення метрик, якого, на їх думку, повинні дотримуватися спільноти, що беруть участь у роботі з науковими даними.

Модель зрілості FAIR-даних (FAIR Data Maturity Model), що є найчастіше згадуваною у наукових статтях, є універсальною та міждисциплінарною. Вона представляє набір показників з пріоритетами та рекомендаціями, які забезпечують «спільну мову» (*lingua franca*), що може бути використана для порівняння результатів оцінки з використанням методологій та інструментів, що базуються на різних інтерпретаціях принципів FAIR. Модель є інструментом, який можуть використовувати дослідники, адміністратори даних, політичні та фінансові установи для отримання уявлення про поточну FAIR-відповідність даних, а також аспекти, які можна покращити для збільшення потенціалу повторного використання дослідницьких даних. Завдяки підвищенню ефективності та результативності вона сприяє дослідницькій діяльності, спрямованій на вирішення суспільних проблем та підтримку рішень, що ґрунтуються на фактичних даних (Bahim, Casorrán-Amilburu, Dekkers et al., 2020).

Французькими науковцями (Beretta, Desconnets, Mougenot et al., 2021) запропоновано гнучку модель метаданих, яка описує набори даних різних дисциплін, використовуючи спільну парадигму, засновану на концепції спостереження. Ця модель забезпечує ключове бачення для формулювання точки зору користувача та основних наукових областей. Для чого дослідники використали онтологію SOSA (сенсор, спостереження,

зразок та виконавчий механізм), щоб ефективно використовувати інші існуючі онтології для покращення виявлення та повторного використання наборів даних, що надходять зі спостережень за Землею та життям. Головною перевагою запропонованої моделі метаданих є те, що вона розширює технічний опис, який зазвичай надається існуючими моделями метаданих, описом контексту спостереження, що враховує потреби користувача. Більше того, дотримуючись принципів FAIR, модель метаданих визначає семантику своїх елементів за допомогою онтологій та словників, а також повторно використовує максимально можливі існуючі онтологічні та термінологічні ресурси.

Науковці (Sales, Barcelos, Fonseca et al., 2023) виділяють 141 модель, керованих онтологіями, за моделлю FAIR. Вони отримані з академічних та промислових джерел, створені моделерами з різними навичками моделювання, для різних областей та для різних цілей. Ці моделі доступні у двох машинозчитуваних форматах: JavaScript Object Notation (JSON) та Turtle і доступні через постійні уніфіковані ідентифікатори ресурсів (URI). Каталог цих моделей може надати високоякісні дані про те, чому, де та як використовуються підходи онтологічного концептуального моделювання, що може дозволити дослідникам зрозуміти еволюцію мови та її основи. Він також може слугувати сховищем для виявлення патернів та антипатернів, а також еталоном, за яким можна оцінювати мовні трансформації, алгоритми управління складністю та інші методи моделювання.

Разом із тим, багатьма вченими розроблені різні галузеві моделі структурування даних на основі FAIR-принципів. Дослідники у галузі екології М. Л. Монделлі, А. Таунсенд Петерсон та Л. М.Р. Гаделья (Mondelli, Townsend Peterson & Gadelha, 2019) пропонують концептуальну модель відтворюваності, її основні атрибути та властивості, а також структуру, яка дозволяє знайти, доступно, сумісно та повторно використовувати обчислювальні експерименти. Модель представлена у вигляді діаграми «сутність-зв'язок», де аспекти, які визначили науковці як важливі, відображені як сутності. Основна ідея моделі та зв'язків між її сутностями полягає в такому: користувач визначає та запускає свій експеримент з операційної системи (ОС) за допомогою певного обладнання. У цій ОС встановлено деякі пакети, наприклад, R або Python. Експеримент визначається за допомогою скрипта з існуючого пакета в ОС і може містити виклики визначених користувачем функцій або процедур, які є частиною певного мовного пакета або модуля (script package). Функції включають виконані дії експерименту, які використовували та виробляли вхідні та вихідні дані відповідно. Параметри також можуть використовуватися як вхідні дані для функцій і, отже, становлять атрибут відношення споживання. Запис аспектів, описаних через сутності запропонованої моделі, може підтримувати процес відтворюваності на різних рівнях. Ці рівні також були визначені у цьому дослідженні, а саме: повторюваний, повторно запущений, портативний, розширюваний, змінний. Основна ідея розроблених науковцями рамок (сценарій, у якому користувач реалізував експеримент за допомогою скриптової мови) полягає в тому, що, дотримуючись запропонованих кроків, користувач зможе поділитися експериментом з достатньою кількістю інформації, яка відповідає, навіть мінімально, принципам FAIR. Наведемо ці кроки: 1) упаковка, що полягає в імпорті експерименту та використаних пакетів або бібліотек у віртуальну машину за допомогою стандартної ОС; 2) валідація – використання віртуальної машини для повторного виконання експерименту в цьому новому середовищі, що вимагає взаємодії з користувачем, який відповідає за перевірку отриманих результатів; 3) публікування – має на меті зібрати базу даних походження, отриманої на попередньому кроці, експеримент та специфікації віртуальної машини для публікації. Публікація може бути здійснена в репозиторії, що дозволяє обмінюватися результатами досліджень.

У галузі метеорології дослідниками (Annane, Kamel, Trojahn et al., 2022) запропоновано семантичну (онтологічну) модель для представлення як метаданих, так і схеми даних метеорологічних даних. Ця модель використовує існуючі FAIR-сумісні словники

(GeoDCAT²AP, CSVW, RDF Data Cube, SOSA, ENVO, SWEET, QUDT) та містить нові сутності для повнішого опису даних. Вона є модульною, FAIR-орієнтованою та побудованою на повторному використанні існуючих онтологій. Вона дозволяє формально описати структуру та семантику метеорологічних даних, забезпечити інтероперабельність, підвищити придатність даних до повторного використання.

Зокрема, О. Емінагою, Т.Ч. Лі та ін. (Eminaga, Lee, Ge et al., 2023) було розроблено концептуальну структуру для документування цистоскопії у стандартизований спосіб з трьома основними розділами: управління даними, управління анотаціями та управління використанням. Автори також визначили інфраструктуру, необхідну для впровадження розробленої ними структури, з урахуванням принципів FAIR. Запропонована структура спрощує зберігання візуальної документації стандартизованим способом та дозволяє використовувати FAIR-дані для освіти та досліджень штучного інтелекту.

С. Такан та Д. Ергюн Такан (Takan & Ergün Takan, 2023) розробили модель даних цифрової журналістики, яка, окрім забезпечення принципів FAIR, створює надійну мережу соціальних мереж, дозволяючи новинним елементам мати логічні зв'язки один з одним та дозволяючи відстежувати новини протягом усього їхнього процесу. Для вирішення проблеми підтримки графових структур, що містять великі дані, ця модель та дані розділені, а також підтримуються механізми індексування. Якщо порівняти цю модель для цифрової журналістики та модель даних технології блокчейну, то вона є більш придатною з точки зору часової та просторової складності, а також стійкості та витрат на обслуговування.

Нідерландські науковці у сфері інформаційних систем запропонували концептуальну модель FAIR Digital Objects, керовану онтологіями (Da Silva Santos, Sales, Fonseca & Guizzard, 2023). Вона охоплює аспекти цифрових об'єктів, що стосуються принципів FAIR, такі як розмежування між метаданими та цифровим об'єктом, який вони описують, класифікація цифрових об'єктів з точки зору їхньої інформаційної цінності та формату їх обчислювального представлення, а також зв'язок між різними типами цифрових об'єктів FAIR.

Австралійські вчені (Wenk, Bal, Coleman et al., 2024) розуміють поняття моделі даних або стандарту даних як опис змінних у базі даних та зв'язків між змінними, де ці змінні та зв'язки зіставляються з раніше опублікованими термінами (словниками), що полегшує розуміння та повторне використання моделі даних. Ґрунтуючись на цьому, вони розробили модель даних для компіляції гармонізованих баз даних екологічних ознак з різних джерел. Ця модель даних вміщує всі метадані та контекстні дані, пов'язані з вимірюванням ознаки та дотримується найкращих практик, викладених біоінформатичною спільнотою, зокрема: визначає всі змінні у вихідній структурі, документує семантичні зв'язки між змінними бази даних, використовує раніше опубліковані терміни, коли це можливо, публікує модель даних як формальну онтологію, тобто у машинозчитуваному форматі. Разом із тим, слід зазначити, що сама модель даних не позиціонується авторами як така, що є FAIR-орієнтованою. Проте вони зазначають, що її розробка надає простий шлях до створення нової бази даних ознак, яка відповідає принципам FAIR.

Представлена інтернаціональною групою науковців (Štötl, Carinci, Fava et al., 2025) концепція підходу до використання загальної системи метаданих дозволяє здійснювати змістовне порівняння показників між регіонами та країнами. У концептуальній моделі SOLICIT реалізовано вибір необхідних елементів для створення структури, яка забезпечує семантичне зв'язування всіх описових компонентів, завдяки чому досягається взаємодія з іншими моделями метаданих, що використовують принципи FAIR. Така структура забезпечує FAIR-основу для ефективного сховища індикаторів. Модель також дозволяє використовувати універсальні засоби для опису якості даних та інтеграції стандартних структур якості даних в галузі неінфекційних захворювань, спираючись на принципи FAIR.

Одним із найяскравіших прикладів практичної реалізації FAIR-принципів є HL7 FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources). Це сучасний стандарт для обміну медичними даними (Wiedekopf, Ohlsen, Kock-Schoppenhauer et al., 2025). Рішення FHIR побудовані з набору модульних компонентів, які називаються «Ресурсами». Ці ресурси можна легко зібрати в робочі системи, що вирішують реальні клінічні та адміністративні проблеми за ціною, значно нижчою за вартість існуючих альтернатив. FHIR підходить для використання в широкому спектрі контекстів – додатки для мобільних телефонів, хмарний зв'язок, обмін даними на основі електронних медичних карток, зв'язок із серверами у великих установах охорони здоров'я та багато іншого (hl7.org, n.d.).

Ф.Й. Ельсассер та А. Нікузе (Ellsäßer & Nikuze, 2026) запропонували початкову структуру, яка забезпечує адаптивну та нормативну рамку (фреймворк) для FAIR-метаданих безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Охоплюючи ключові аспекти як збору, так і обробки даних, вона підтримує повний життєвий цикл даних БПЛА, допомагаючи виробникам даних ефективно документувати набори даних і забезпечуючи надійне повторне використання для досліджень і застосувань. Вона включає 3 розділи (описовий та адміністративний, обсяг набору даних та рівні обробки даних), які містять 7 категорій в описовому та адміністративному розділі (контекстна інформація, доступ і ліцензування, класифікація, видавництво та фінансування, пов'язані ресурси, просторово-часовий зміст, формат і структура), 3 категорії в розділі «Обсяг набору даних» (просторові характеристики, тимчасові характеристики, платформа, прилади та датчики) та 5 рівнів обробки даних (необроблені дані, основні калібровані дані, геореференційовані та мозаїчні дані, оброблені та проаналізовані дані, синтезовані дані та моделі).

У дослідженні (Vitalis, Vidal, Samineni, Fontanarrosa & Myers, 2026) науковці запропонували рамку (фреймворк) робочого процесу управління даними, яка підвищує статус даних до FAIR. Рамки мають шість етапів (ресурс, проектування, моделювання, побудова, тестування та навчання), які взаємодіють за допомогою стандартів через репозиторій. На етапі «Ресурси» інформація про використані ресурси, закодована за допомогою SBOL, завантажується до сховища. На етапі «Проектування» ці ресурси компонується для створення проєктів генетичних схем. На етапі «Моделювання» за допомогою SBOL і SBML створюються обчислювальні моделі, а симуляції кодуються за допомогою SED-ML і знову зберігаються разом із проєктами у сховищі. На етапі побудови до сховища додаються плани складання, закодовані в SBOL, та експериментальні протоколи, закодовані в LabOP. На етапі «Тестування» до сховища додаються метадані, експериментальні протоколи та дані вимірювань. Нарешті, на етапі навчання SBOL та SBML, що використовуються для моделювання, дані оновлюються за допомогою вимірних параметрів.

Незважаючи на те, що заклики до створення справедливих дослідницьких даних зростають, освітня сфера досі не має спільних рекомендацій щодо управління даними у сфері освіти та управління ними. На усунення цієї прогалини науковці з США (Bowers & Choi, 2023) пропонують рамку управління освітніми даними, що поєднує FAIR та CARE-принципи (Collective benefits (колективні вигоди), Authority to control (повноваження щодо контролю), Responsibility (відповідальність), Ethics (етика)). Вона необхідна для забезпечення рівності та інтероперабельності даних у школах та ілюструє важливість освітніх FAIR-даних.

Колективом авторів (García, Batut, Burke et al., 2020) було запропоновано структуру метаданих для навчальних матеріалів. Адже на їх думку, метадані, що поширюються разом із навчальними матеріалами, повинні надавати контекст і достатньо деталей, щоб інші могли оцінити, чи є матеріали доречними та чи можна їх адаптувати до їхніх власних умов. Вони надали загальні рекомендації щодо типу інформації, яку слід включати в метадані (Таб 1).

Таблиця 1. Метадані для навчальних матеріалів (Garcia, Batut, Burke et al., 2020)

Тип метаданих	Що включає
Назва	Назва навчального матеріалу
Контактна інформація	Ім'я та контактна інформація автора(ів)
Інформація про ліцензування та (повторне) використання	Ліцензія, за якою поширюються матеріали, а також правила та умови (повторного) використання та внеску
Бажане цитування	Інструкції щодо цитування матеріалу
Опис	Огляд теми, цілей навчання та мови, якою проводиться
Результати навчання	Твердження, що вказують на те, що слухачі повинні вміти
Цільова аудиторія	Визначена аудиторія, її необхідні знання та навички, зага-
Необхідний ресурс	Технічні ресурси та пов'язані матеріали (вимоги до програмного забезпечення, набори даних, вимоги до інфраструк-
Ключове слово	Ключове слово або фраза, що визначає тему матеріалів
Структура і тривалість	Опис структури матеріалів та умови їх подання, включаючи
Додаткова інформація	Елементи, що надають додаткову інформацію про (повторне) використання та подання матеріалів
Посилання та джерела	Посилання та джерела, що стосуються змісту, але не обо-
Останній перегляд	Дата останнього перегляду матеріалів та версії

Така структура може бути використана для розробки моделей FAIR-даних для галузі освітніх наук.

Обговорення. FAIR-принципи не є стандартами, це орієнтири, які можуть бути основою для різних моделей FAIR-даних. Роль метастандартів виконують такі загальні моделі як FAIR Data Maturity Model, гнучка модель метаданих (Beretta, Desconnets, Mougnot, et al., 2021), шаблон для окремих наукових галузей для отримання специфічних показників (Wilkinson et al., 2018). Проте у кожній галузі є своя специфіка, і галузеві моделі є локальними адаптаціями, які конкретизують вимоги FAIR під специфіку наукових підходів, процесів збору даних, самих даних, дослідних методів та інфраструктур, які для цього використовуються. Отже, універсальну модель FAIR-даних неможливо створити, і галузева фрагментація є потрібною. У різних галузях наук FAIR-принципи інтерпретуються по-різному, залежно від типів даних, вимог безпеки, рівня стандартизації, наявності міжнародних ініціатив, технологічної зрілості галузі тощо. Разом із тим, використовуючи FAIR як парадигму, можна виділити спільні риси між моделями, а саме: орієнтація на метадані як основу FAIRness, прагнення до семантичної сумісності (онтології, тезауруси,

таксономії), використання схем (структур, рамок) метаданих, акцент на відтворюваності, намагання апробувати, стандартизувати і впровадити розроблені моделі у відповідній галузі, розвиток цифрових технологій для організації та публікування FAIR-даних. Отже, галузеві моделі не суперечать одна одній, а формують широку екосистему різних наук.

Висновки

Узагальнюючи наукові джерела, можна констатувати, що існують такі моделі: загальні (наприклад, модель зрілості FAIR-даних (FAIR Data Maturity Model), гнучка модель метаданих) та галузеві моделі. На основі аналізу наукових джерел у статті було визначено такі приклади галузевих моделей, що інтегрують FAIR-принципи: концептуальна модель відтворюваності та модель даних для компіляції гармонізованих баз даних (екологія), семантична (онтологічна) модель для представлення метаданих та їх схеми (метеорологія), концептуальна структура для документування (цистоскопія), модель даних цифрової журналістики (журналістика), концептуальна модель FAIR Digital Objects (інформаційні системи), SOLICIT (неінфекційні захворювання), HL7 FHIR (медицина), адаптивна та нормативна рамка для FAIR-метаданих БПЛА (військові науки), рамка робочого процесу управління даними (біологія), рамка управління даними та структура метаданих для навчальних матеріалів (освіта). Варто зазначити, що у галузі природничих наук (екологія, біологія) розробники моделей прагнуть підтримувати відтворюваність і гармонізацію даних. Медицина та охорона здоров'я рухаються до стандартизованих інтероперабельних форматів, що продиктовано специфікою галузі. В освітній галузі та журналістиці розробляються моделі, що фокусуються на структуруванні контенту та метаданих, а у військових науках та галузі інформаційних систем акцентується увага на цифрових об'єктах та керуванні життєвим циклом даних. У проаналізованих моделях також виявлено обмеження, які впливають на відшукуваність, доступність, сумісність та повторне використання даних, а саме: технічні (відсутність єдиних стандартів метаданих, складність інтеграції різних форматів, потреба у спеціалізованих інструментах), семантичні (неоднозначність термінів), відсутність узгоджених онтологій, тезаурусів, таксономій), етичні та правові (дотримання принципів конфіденційності та нерозповсюджуваності персональних даних, авторські права на дані, питання доступності та відкритості).

Перспективи подальших досліджень можна окреслити в трьох напрямках: розробка таксономії FAIR-даних для наукових досліджень у галузі освіти, вивчення інструментів зберігання та опрацювання наукових даних у галузі освітніх наук, створення моделі стандартизації FAIR-даних для галузі освітніх наук.

References

- Alma'aitah, W.Z., Quraan, A., AL-Aswadi, F.N., Alkhaldeh, R.S., Alazab, M. & Awajan, A. (2024). Integration Approaches for Heterogeneous Big Data: A Survey. *Cybernetics and Information Technologies*, 24(1), 3-20. <https://doi.org/10.2478/cait-2024-0001>.
- Annane, A., Kamel, M., Trojahn, C., Aussenac-Gilles, N., Comparot, C. & Baehr, C. (2022). Towards the FAIRification of Meteorological Data: A Meteorological Semantic Model. In E. Garoufallou, M. A. Ovalle-Perandones & A. Vlachidis (Eds.), *Metadata and Semantic Research. MTSR 2021*. (Communications in Computer and Information Science, vol 1537). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98876-0_7.
- Bahim, C., Casorrán-Amilburu, C., Dekkers, M., Herczog, E., Loozen, N., Repanas, K., Russell, K. & Stall, S. (2020). The FAIR Data Maturity Model: An approach to harmonise FAIR assessments. *Data Science Journal*, 19. <https://doi.org/10.5334/dsj-2020-041>.
- Beretta, V., Desconnets, J., Mougnot, I., Arslan, M., Barde, J. & Chaffard, V. (2021). A user-centric metadata model to foster sharing and reuse of multidisciplinary datasets in environmental and life sciences. *Computers & Geosciences*, 154, 104807. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2021.104807>.
- Bowers, A. J. & Choi, Y. (2023). Building school data equity, infrastructure, and capacity through FAIR

- data standards: findable, accessible, interoperable, and reusable. *Educational Researcher*, 52(7), 450–458. <https://doi.org/10.3102/0013189x231181103>.
- Da Silva Santos, L. O. B., Sales, T. P., Fonseca, C. M. & Guizzardi, G. (2023). Towards a conceptual model for the FAIR Digital Object framework. *Frontiers in artificial intelligence and applications*. <https://doi.org/10.3233/faia231131>.
- Ellsäßer, F.J. & Nikuze, A. (2026). Towards a FAIR metadata framework for drone and uncrewed aerial vehicle data. *Scientific Data*, 13, 57 <https://doi.org/10.1038/s41597-025-06376-9>.
- Eminaga, O., Lee, T. J., Ge, J., Shkolyar, E., Laurie, M., Long, J., Hockman, L. G. & Liao, J. C. (2023). Conceptual framework and documentation standards of cystoscopic media content for artificial intelligence. *Journal of Biomedical Informatics*, 142, 104369. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2023.104369>.
- FAIR-IMPACT. (n.d.). Stories of practical implementation of the FAIR principles. <https://fair-impact.eu/use-cases>.
- FORCE11. (n.d.). *Guiding principles for findable, accessible, interoperable and re-usable data publishing* (version b1.0). <https://force11.org/info/guiding-principles-for-findable-accessible-interoperable-and-re-usable-data-publishing-version-b1-0>.
- Garcia, L., Batut, B., Burke, M.L., Kuzak, M., Psomopoulos, F., Arcila, R., et al. (2020). Ten simple rules for making training materials FAIR. *PLoS Computational Biology*, 16(5), e1007854. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007854>.
- hl7.org. (n.d.). Introducing HL7 FHIR. <https://www.hl7.org/fhir/summary.html>.
- Jacobsen, A., de Miranda Azevedo, R., Juty, N., Batista, D., S. Coles, S., Cornet, R. et al. (2020). FAIR principles: Interpretations and implementation considerations. *Data Intelligence*, 2 (1-2), 10–29. https://doi.org/10.1162/dint_r_00024.
- Mietchen, D. (2022). FAIRifying the dependencies of FAIR Digital Objects within and beyond the research ecosystem. *Research Ideas and Outcomes*, 8, e96118. <https://doi.org/10.3897/rio.8.e96118>.
- Mondelli, M. L., Townsend Peterson, A. & Gadelha, L. M. R. (2019). Exploring reproducibility and FAIR principles in data science using ecological niche modeling as a case study. In G. Guizzardi, F. Gailly & R. Suzana Pitangueira Maciel (Eds.), *Advances in conceptual modeling. ER 2019* (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 11787). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34146-6_3.
- Priess-Buchheit, J., Hermeking, N. & Möbius, T. (2025). Training to Act FAIR: A Pre-Post Study on Teaching FAIR Guiding Principles to (Future) Researchers in Higher Education. *Journal of Academic Ethics*, 23, 849–865. <https://doi.org/10.1007/s10805-024-09547-2>.
- Provost, L., Bezuidenhout, L., Venkataraman, S., van der Lek, I., van Gelder, C., Kuchma, I., Leenarts, E., Azevedo, F., Brvar, I.V., Paladin, L., Clare, H. & Braukmann, R. (2024). Towards FAIRification of learning resources and catalogues – lessons learnt from research communities. *Frontiers in Education*, 9, 1390444. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1390444>.
- Sales, T. P., Barcelos, P. P. F., Fonseca, C. M., Souza, I. V., Romanenko, E., Bernabé, C. H., Da Silva Santos, L. O. B., Fumagalli, M., Kritz, J., Almeida, J. P. A. & Guizzardi, G. (2023). A FAIR catalog of ontology-driven conceptual models. *Data & Knowledge Engineering*, 147, 102210. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2023.102210>.
- Shanahan, H., Hoebelheinrich, N. & Whyte, A. (2021). Progress toward a comprehensive teaching approach to the FAIR data principles. *Patterns*, 2(10), 100324. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100324>.
- Shukla, S., Bisht, K., Tiwari, K. & Bashir, S. (2023). Navigating the Data Deluge: Challenges and Opportunities. In *Data Economy in the Digital Age. Data-Intensive Research*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7677-5_2.
- Štotl, I., Carinci, F., Fava, S., Lavens, A., Lepikson, J., Massi Benedetti, M., Poljičanin, T., Cunningham, S., Sándor, J. & Nicholson, N. (2025). FAIR foundations of a novel indicator vault for non-communicable diseases in the European Union: feasibility study for effective contextualisation of indicators. *Frontiers in Digital Health*, 7, 1685733. <https://doi.org/10.3389/fgth.2025.1685733>.
- Takan, S. & Ergün Takan, D. (2023). FAIR prensipleriyle uyumlu gözlemlenebilen ve izlenebilen sosyal medya tabanlı dijital habercilik veri modeli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 39(2), 1153-1166. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1129533>.
- van Reisen, M., Stokmans, M., Basajja, M., Ong'ayo, A. O., Kirkpatrick, C. & Mons, B. (2020). Towards the Tipping Point for FAIR Implementation. *Data Intelligence*, 2 (1-2), 264–275. <https://doi.org/10.1162/>

- dint_a_00049.
- Villarreal, V., Muñoz, L., González, J., Fontecha, J., Dobrescu, C.C., Nielsen, M., Concepción, D. & Rodríguez, M. (2024). A methodological approach for data standardization and management of Open Data portals for scientific research groups: a case study on mobile and ubiquitous ecosystems. *Frontiers in Computer Science*, 6, 1420709. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2024.1420709>.
- Vitalis, C., Vidal, G., Samineni, S. P., Fontanarrosa, P. & Myers, C. J. (2026). A framework for a Standard-Enabled FAIR data Management workflow for synthetic biology. *ACS Synthetic Biology*, 15(1), 1–8. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.5c00813>.
- Wenk, E., Bal, P., Coleman, D., Gallagher, R., Yang, S. & Falster, D. (2024). Traits.build: A data model, workflow and R package for building harmonised ecological trait databases. *Ecological Informatics*, 83, 102773. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102773>.
- Wiedekopf, J., Ohlsen, T., Kock-Schoppenhauer, AK. et al. (2025). BabelFSH – a toolkit for an effective HL7 FHIR-based terminology provision. *Journal of Biomedical Semantics*, 16, 19. <https://doi.org/10.1186/s13326-025-00343-4>.
- Wilkinson, M. D. et al. (2018). A design framework and exemplar metrics for FAIRness. *Scientific data*, 5, 180118. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.118>.
- Wilkinson, M., Dumontier, M., Aalbersberg, I. et al. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific data*, 3, 160018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>.

Конфлікт інтересів

Автором підтверджено відсутність конфлікту інтересів під час проведення дослідження та підготовки до публікації його результатів.

Відомості про автора

Катерина Осадча, доктор педагогічних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу відкритих освітньо-наукових інформаційних систем Інституту цифровізації освіти НАПН України, м. Київ, Україна, k.osadcha@iitlt.gov.ua

Інформація про наукове періодичне видання

Міжнародний науковий журнал «Університети і лідерство» (International Scientific Journal of Universities and Leadership) внесено до категорії «Б» Переліку наукових фахових видань України за спеціальністю «011 Освітні, педагогічні науки» відповідно до наказу МОН України від 17 березня 2020 р. № 409.

Науковий журнал представлено у таких базах даних, реєстрах і пошукових системах: Crossref, Наукова періодика України (Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського), Directory of Open Access Journals (DOAJ), Educational Research Abstracts Online (ERA), European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences (ERIH PLUS), The Central European Journal of Social Sciences and Humanities (CEJSH), Library of Science (University of Warsaw), Index Copernicus International тощо.

The FAIR principles as the foundation of research infrastructure: a literature review of models for various research fields

Kateryna Osadcha ^{1,*} 

¹ Institute for Digitalisation of Education of the National Academy of Educational Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*k.osadcha@iitlt.gov.ua

Abstract

This article analyses recent research on the implementation of the FAIR principles, which are becoming a cornerstone of research infrastructure. As a result, it has been established that, in the field of education, there are still no common guidelines for fair management and handling of educational data in accordance with the FAIR principles. At the same time, there are examples of FAIR data models for various fields of research that could serve as a basis for developing such a model for scientific research in the field of education. Therefore, the aim of this article is to analyse existing FAIR data models across various scientific disciplines, compare their approaches, and identify common features and limitations that affect the discoverability, accessibility, interoperability and reusability of data. To achieve this aim, analytical and systematic approaches were employed, bibliometric and content analysis, an interpretative method for studying foreign FAIR data models in various scientific fields, a generalisation method for summarising the results of scientific research, methods of systematisation and classification, and structural-functional analysis. As a result of analysing articles in the Scopus and Web of Science databases describing existing FAIR models in various scientific fields, general and sector-specific models have been identified. General models (the FAIR data maturity model, the flexible metadata model) have been developed and can be applied (extended, interpreted) to research in any field, whilst domain-specific models are tailored to a specific scientific discipline. As a result, we identified the following examples of sector-specific models that integrate FAIR principles: a conceptual model of reproducibility and a data model for compiling harmonised databases (ecology), a semantic (ontological) model for representing metadata and its schemas (meteorology), a conceptual structure for documentation (cystoscopy), a digital journalism data model (journalism), a conceptual model for FAIR Digital Objects (information systems), SOLICIT (non-communicable diseases), HL7 FHIR (medicine), an adaptive and normative framework for FAIR metadata for UAVs (military sciences), a data management workflow framework (biology), a data management framework and metadata structure for educational materials (education). The identified sectoral models do not contradict one another but rather form a broad ecosystem of various sciences.

Author details

Kateryna Osadcha, DSc (Pedagogy), Full Professor, Leading Researcher of the Department of Open Education and Scientific Information Systems of the Institute for Digitalisation of Education of the National Academy of Educational Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, k.osadcha@iitlt.gov.ua

Keywords:

FAIR, educational sciences, data model, standardisation, scientific research

Language:

Ukrainian

Citation:

Osadcha, K. (2026). The FAIR principles as the foundation of research infrastructure: a literature review of models for various research fields. *International Scientific Journal of Universities and Leadership*, 21, 65-79. <https://doi.org/10.31874/2520-6702-2026-21-65-79> (in Ukrainian)