

УДК 331.108. 338.242

DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-4263/2024-1-3>**Карбовська Л.О.***кандидат економічних наук, доцент,
професор кафедри маркетингу**Приватного акціонерного товариства «Вищий навчальний заклад
«Міжрегіональна Академія управління персоналом»**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5333-1653>***Железняк К.Л.***кандидат економічних наук, доцент кафедри менеджменту
Державного вищого навчального закладу**«Національний транспортний університет»**ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4111-5210>***Karbovska Liubov***Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Professor at the Department of Marketing**Private Joint Stock Company “Higher Educational Institution
“Interregional Academy of Personnel Management”***Zhelezniak Kateryna***Candidate of Economic Sciences, Associate Professor at the
Department of Management**State Higher Educational Institution “National Transport University”*

ЦИФРОВІ РІШЕННЯ В УПРАВЛІННІ ЕЛЕКТРОННИМИ ВІДХОДАМИ

DIGITAL SOLUTIONS IN ELECTRONIC WASTE MANAGEMENT

АНОТАЦІЯ

Стаття присвячена актуальній проблемі щодо обґрунтування напрямів використання інноваційних цифрових рішень у поводженні з відходами електричного та електронного обладнання. Розглянуто структуру електронних відходів в розвинутих країнах у 2022 році та виявлено, що найбільшою є частка побутової великогабаритної техніки (52,7%). Проаналізовано динаміку утворення електронних відходів на душу населення в промислово розвинутих країнах у 2013–2022 рр. Розглянуто практику управління відходами в промислово розвинутих країнах. Так, переробкою електронних відходів найбільш активно займається Японія (18–25%). ЄС було розроблено стратегію – план дій із економіки замкнутого циклу, у якому скорочення електричних та електронних відходів є ключовим пріоритетом, подано ряд пропозицій щодо сприяння ремонту товарів. Обґрунтована роль цифровізації у поводженні з електронними відходами, яка полягає в збільшенні швидкості переробки відходів, та підвищення її економічної ефективності. Визначено напрями використання інноваційних цифрових рішень у поводженні з електронними відходами, як ось: робототехніка, штучний інтелект і нейронні мережі, Інтернет речей, хмарні рішення та аналітика даних.

Ключові слова: вибір цифрових рішень, цифровізація, цифрова трансформація, інноваційно-цифрова активність управління відходами, електронні відходи.

ANNOTATION

The article is devoted to the actual problem of substantiating directions for the use of innovative digital solutions in the management of waste electrical and electronic equipment. The structure of e-waste in developed countries in 2022, which includes IT and telecommunications devices, consumer devices and solar panels, power tools and medical devices, was analyzed and it was found that the largest share is household large-sized appliances (52.7%). Analysis of the dynamics of electronic waste generation per capita in industrialized countries in 2013–2022 showed that in 2022, each resident of Australia – 22.42 kg,

Canada – 20.58 kg, Israel – 14.56 kg of electronic waste was generated, Japan – 20.55 kg, Korea – 16.80 kg, Great Britain – 24.63 kg, USA – 21.50 kg, EU – 28.54 kg. Considered the practice of waste management in industrially developed countries. For example, Japan (18–25%) is most actively involved in the processing of electronic waste. The EU has developed a strategy – an action plan for the closed cycle economy, in which the reduction of electrical and electronic waste is a key priority, and a number of proposals have been submitted to promote the repair of goods. The well-founded role of digitalization in the management of electronic waste, which consists in increasing the speed of waste processing and increasing its economic efficiency. The areas of use of innovative digital solutions in electronic waste management are defined, such as: robotics, artificial intelligence and neural networks, the Internet of Things, cloud solutions and data analytics. The advantages of digitization in waste management are disclosed, which includes: automation in waste disposal; improvement of the recycling process; ensuring waste minimization and saving natural resources; creating opportunities to identify problem areas and assess the efficiency of electronic waste disposal; helps to save money, energy and time for waste collection and disposal. The directions for handling electrical and electronic equipment waste have been defined, which consist in preventing the generation of waste, its collection, separation, processing, extraction of secondary raw materials through reuse, recycling and other forms of recovery, which will contribute to the realization of the goals of sustainable production and consumption and the improvement of environmental indicators.

Keywords: choice of digital solutions, digitalization, digital transformation, innovative and digital activity of waste management, electronic waste.

Вступ. Минуле століття відзначилося безпрецедентним зростанням обсягу використання природних ресурсів і матеріалів. Економічне зростання та підвищення добробуту населення збільшило сукупне споживання та

стимулювало попит на ресурси. А використання нових технологій і технічно складних виробничих процесів зумовило розробку матеріалів, які мають тривалий процес природного розкладання, що й призвело до накопичення відходів, кліматичних змін, забруднення навколишнього природного середовища та погіршення здоров'я населення.

Постановка проблеми. Вибір цифрових рішень має вирішальне значення для переходу від управління відходами до більш стійкого управління матеріалами. Цифрові технології спрощують використання вторинної сировини виробниками, покращують варіанти пошуку відходів для переробників, дають можливості приймати кращі рішення щодо сортування та переробки відходів.

Однак поточна ситуація в Європі неоднорідна, різні технології застосовуються в різних масштабах. Цифрова трансформація сектору поводження з відходами повинна узгоджуватися з планами ширшого використання цифрових технологій у напрямі розвитку циркулярної економіки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням цифровізації економіки, цифрової трансформації підприємств стали об'єктом дослідження ряду зарубіжних науковців. У своїй статті К. Швертнер представив можливості цифрової трансформації бізнесу як зміни, які пов'язані із застосуванням цифрових технологій у всіх аспектах бізнесу [1]. Метою дослідження Т. Байгаріна є розкриття суттєвих стимулів цифрової трансформації традиційних бізнес-моделей в сучасних умовах розвитку світової економіки та формування моделі цифрової трансформації торговельної діяльності компанії [2]. Група американських вчених Саймон Блекберн, Джефф Гелвін, Лаура ЛаБердж та Еван Вільямс визначила напрямки стимулювання диференціації бізнесу шляхом вибору цифрових рішень. Це або впровадження програмного забезпечення в основу бізнес-моделі та підходу до виходу на ринок, або створення нових цифрових платформ в рамках традиційних застарілих корпорацій [3]. Велика увага приділена проблемам цифровізації управління та переробки відходів. Так, автори джерела [4] дослідили можливість відповідно того, як за допомогою цифрових технологій додати економічну цінність переробленим відходам та запровадити економічні стимули, щоб уникнути утворення відходів. Роль та наслідки цифровізації для відновлення ресурсів детально розглянуто відповідно до чистого виробництва. У систематичному огляді досліджень представлено комплексний аналіз різних моделей і методів штучного інтелекту, що застосовуються в SWM, доменів додатків і параметрів продуктивності, а також програмних платформ, які використовуються для реалізації таких моделей [5].

Однак недостатньо дослідженими залишаються окремі питання щодо застосування цифровізації в переробці електричного та електро-

нного обладнання, які представляють загрозу майбутньому людству.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження структури та динаміки утворення електронних відходів на душу населення в промислово розвинутих країнах, виявлення проблем, пов'язаних з ними, та обґрунтування напрямів використання інноваційних цифрових рішень у поводженні з відходами електричного та електронного обладнання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Цифровізація охоплює все нові сфери економічної діяльності, включаючи сектор екологічних технологій. Цифрові технології забезпечують більш ефективне управління відходами. Вони дають можливість відновлювати цінні матеріали, які містяться у потоках відходів, отже зменшується кількість добувної або імпортованої сировини, та уникати відповідного впливу на навколишнє середовище та клімат. Цифровізація управління та обробки відходів наразі перебуває переважно на стадії інноваційно-цифрової активності. З'являються нові бізнес-моделі, такі як платформи для електронної торгівлі відходами, програмне забезпечення та бізнес-аналітика для утилізації відходів.

Зростання кількості твердих побутових відходів викликає занепокоєння, адже їх щорічно утворюється 2,01 млрд тонн. До найбільш зростаючої групи відходів належать відходи електричного та електронного обладнання (WEEE), або електронні відходи, які є наслідком розвитку науково-технічного прогресу та підвищення добробуту населення. Так, за оцінками, щороку утворюється близько 80 млн тонн електронних відходів. Крім того, близько 20 мільйонів тонн електронних відходів щорічно відправляються на звалища.

Структура електронних відходів в розвинутих країнах у 2022 році представлена на рис. 1.

До електронних відходів належить: побутова великогабаритна техніка (пральні машини чи електричні плити, холодильники); ІТ та телекомунікаційні пристрої (комп'ютери, ноутбуки, принтери), споживчі пристрої та сонячні панелі (відеокамери, люмінесцентні лампи), дрібна побутова техніка (пилососи, тостери) і мобільні телефони, а також електроінструменти та медичні прилади.

У 2022 році було утворено електронних відходів кожним жителем Австралії – 22,42 кг, Канади – 20,58 кг, Ізраїлю – 14,56 кг, Японії – 20,55 кг, Кореї – 16,80 кг, Великобританії – 24,63 кг, США – 21,50 кг, ЄС – 28,54 кг, причому їх кількість зростає. Так у 2022 році, в порівнянні з 2013 роком, кількість відходів зросла в промислово розвинених країнах від 9,3% (найменше) в Японії до 70,1% (найбільше) в країнах ЄС [2] (табл. 1).

Країни розробили різні стратегії управління відходами. Переробка відходів, відповідна утилізація та обробка, законодавство та пов'язані закони про переробку електроніки та інші методи використовувалися для збалансування

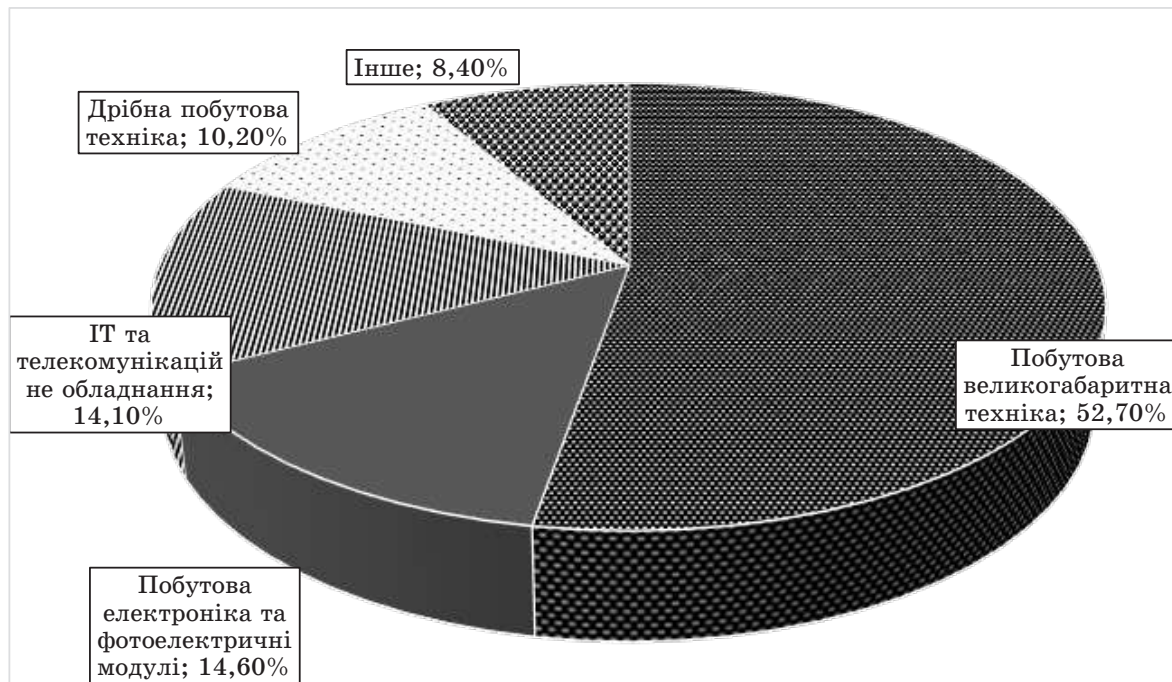


Рис. 1. Структура електронних відходів в розвинутих країнах у 2022 році

Джерело: побудовано авторами на основі [6]

Таблиця 1

Динаміка утворення електронних відходів на душу населення в промислово розвинутих країнах у 2013–2022 рр. (кг/особу)

Країни	Рік										Відхилення 2022 до 2013 рр, %
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Австралія	15,68	16,63	17,50	18,27	18,91	19,41	19,84	15,83	20,43	22,42	43,0
Канада	18,37	18,88	19,31	19,69	19,88	20,02	20,10	20,14	20,29	20,58	12,0
Ізраїль	12,39	12,84	13,25	13,58	13,86	14,104	14,30	14,53	14,80	14,56	17,5
Японія	18,81	19,26	19,64	19,92	20,105	20,21	20,28	20,36	20,40	20,55	9,3
Корея	11,93	12,58	13,17	13,74	14,29	14,85	15,33	15,80	16,28	16,80	40,8
Великобританія	21,62	22,05	22,42	22,77	23,03	23,33	23,60	23,92	24,27	24,63	13,9
США	18,97	19,51	19,94	20,27	20,49	20,67	20,86	21,07	21,20	21,50	13,3
ЄС	16,78	17,26	17,76	18,10	19,126	20,36	23,04	25,16	27,64	28,54	70,1

Джерело: побудовано авторам на основі [7]

виробництва та управління відходами. Наразі в Японії переробляється від 18 до 25% електронних відходів (рис. 2).

Відходи електричного та електронного обладнання містять потенційно шкідливі матеріали, які забруднюють навколишнє середовище та підвищують ризики для людей, які займаються переробкою електронних відходів. Для боротьби з цією проблемою ЄС запровадив законодавство, яке забороняє використання певних хімічних речовин, таких як свинець. Багато рідкісних мінералів, необхідних для сучасних технологій, походять із країн, де не дотримуються прав людини. Щоб запобігти фінансуванню збройних конфліктів і порушенням прав людини, депутати Європарламенту прийняли правила, які вимагають від імпортерів рідкоземельних металів з ЄС проводити належну перевірку своїх постачальників.

Для зменшення електричних та електронних відходів ЄС було розроблено стратегію. У березні 2020 року Комісія представила новий план дій із економіки замкнутого циклу, у якому скорочення електричних та електронних відходів є ключовим пріоритетом. Пропозиція, зокрема, включала безпосередні цілі, такі як «право на ремонт» і покращення багаторазового використання в цілому, запровадження уніфікованого зарядного пристрою та системи стимулів для сприяння переробці електронних пристроїв. До кінця 2024 року USB-роз'єм типу C стане звичайним зарядним портом для більшості електронних пристроїв у ЄС. Ноутбуки повинні бути оснащені портом USB Type C до 28 квітня 2026 року [8].

У березні 2023 року Комісія представила нову пропозицію щодо сприяння ремонту товарів. Згідно з юридичною гарантією, продавці повинні

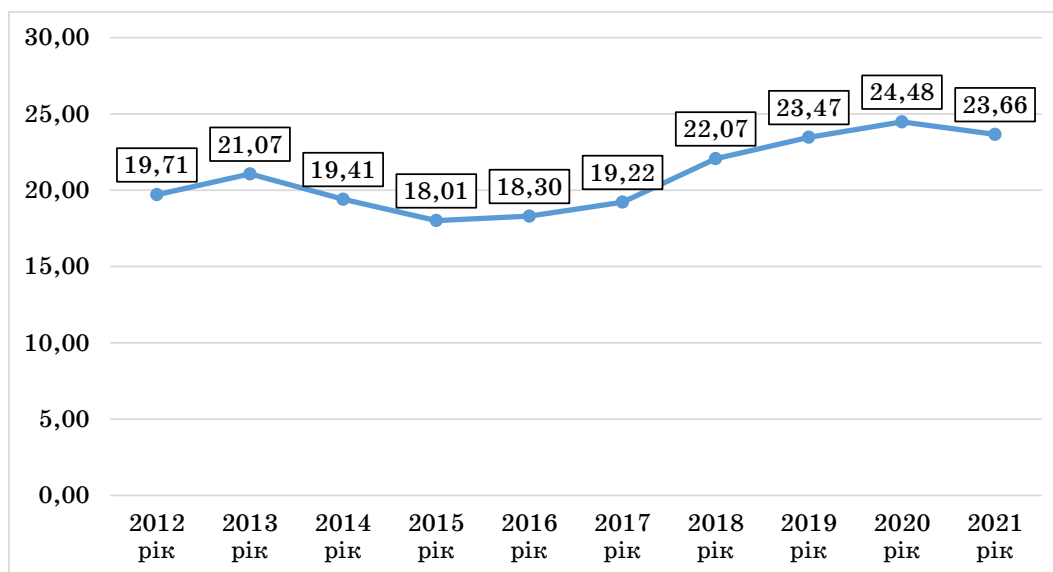


Рис. 2. Частка перероблених відходів електричного та електронного обладнання в Японії у 2013–2022 рр., %

Джерело: побудовано авторам на основі [7]

будуть відремонтувати продукти, якщо їх заміна не буде дешевшою. Крім гарантії, пропозиція надає права зробити ремонт легшим і дешевшим.

Однак для досягнення зеленої планети потрібна більш досконала технологія управління відходами. Отже, цифровізація стала тенденцією у поводженні з електронними відходами від рідкокристалічних дисплеїв, плоских екранів, дисплеїв моніторів та інших пристроїв. Цифровізація збільшила швидкість переробки відходів і зробила її більш економічно ефективною та безпомилковою.

Приклади конкретних цифрових технологій, які зараз використовуються та які, як очікується, матимуть значний вплив у майбутньому на ефективність галузі утилізації відходів, включають робототехніку, Інтернет речей, хмарні обчислення, штучний інтелект та аналітику даних (табл. 2).

Поява цифровізації принесла з собою ряд позитивних змін у сфері утилізації електронних відходів. Переваги, які цифровізація приносить для управління відходами, включають автоматизацію, кращу переробку, кращий збір даних, нижчі витрати та більшу ефективність.

Автоматизація є однією з головних переваг цифровізації в утилізації відходів. Весь процес поводження з відходами може бути автоматизований, від збору до утилізації. Крім того, автоматизація зменшує ручну працю, що призводить до більш ефективної системи управління електронними відходами. Автоматизація також допомагає зменшити помилки та затримки, ще більше покращуючи управління відходами.

Використання цифрових технологій покращило роботу з переробки відходів. Спростивши процес переробки РК-екранів та інших електронних пристроїв, можливо переробити більше електронних пристроїв і уникнути їх

потрапляння на звалище. Переробка електронних пристроїв допомагає мінімізувати відходи та використовувати менше природних ресурсів. Окрім зменшення нашого впливу на навколишнє середовище, збільшення ефективності та обсягу центрів переробки електронних відходів є благом для планети.

Ще одним позитивним ефектом цифровізації для управління відходами є підвищення ефективності збору даних. Полегшене відстеження та аналіз відходів допомагає виявити проблемні області та оцінити ефективність утилізації електронних відходів. Ця інформація може бути використана для оптимізації та вдосконалення практики управління відходами.

Використання цифрових технологій в управлінні відходами також сприяє економії коштів. Оскільки переробка вимагає менше часу та зусиль, цифровізація допомагає заощадити гроші під час утилізації електронних відходів. Витрати на обладнання, транспортування, утилізацію тощо можна зменшити шляхом цифровізації утилізації відходів.

І останнє, але не менш важливе: цифровізація підвищує ефективність поводження з відходами. Підвищення ефективності управління відходами є прямим результатом збільшення можливостей цифровізації для моніторингу в режимі реального часу та управління діяльністю з управління електронними відходами. Завдяки цій підвищеній продуктивності витрачається менше часу та енергії на збір та утилізацію відходів.

Висновки з проведеного дослідження. Ресурси не безмежні. Економічний бум, особливо в промислово розвинених країнах, створив значний тиск на навколишнє середовище. Сталість і ефективне використання ресурсів стають все більш важливими, тому слід надавати перевагу

Таблиця 2

Використання інноваційних цифрових рішень у поводженні з електронними відходами

Робототехніка	Штучний інтелект і нейронні мережі	Інтернет речей	Хмарні рішення	Аналітика даних
Застосування технологій автоматизації в процесі сортування сміття дозволяє виділяти певні потоки відходів високої чистоти (більше 90%).	Використання автоматизованих систем з програмним забезпеченням, заснованих на нейронних мережах та ШІ, є ефективним та точним способом сортування відходів; розпізнавання різних типів матеріалів на основі зображень або сенсорних даних.	Оскільки все більше і більше пристроїв підключається до Інтернету або інших мереж, контейнери з підтримкою датчиків можуть збирати дані і передавати їх на центральні пристрої.	Збір та обробка даних датчиків і хмарні програмні рішення дозволяють легко оптимізувати робочі процеси і документувати збої при зборі, сортуванні або виявленні неоплачених сміттєвих баків.	Обробка та аналіз даних відіграють важливу роль в індустрії вторинної переробки для отримання інформації виявлення закономірностей і тенденцій або калібрування моделей. Ці знання важливі для оцінки різних варіантів переходу до циркулярної економіки
Роботи здатні до ідентифікації та сортування вторинної сировини і критично важливих матеріалів за допомогою розпізнавання зображень/ІЧ-сканування. Системи нічного бачення при демонтажі вживаних телефонів/електроніки	Автономні підмітальні машини, сміттєвози	Інтелектуальні сміттєві баки з системами ідентифікації, зважування, датчиками температурного режиму, програмним забезпеченням для оптимізації логістики	Хмарне програмне забезпечення для :підключення, стандартизації та оптимізації внутрішніх процедур; Управління замовленнями в режимі реального часу – планування та оптимізація маршрутів, самообслуговування клієнтів, відстеження та оцінка замовлень	Електронна підтримка розташування транспортних засобів для збору відходів; Оцінка даних датчиків для автоматизованих сортувальних установок Управління сміттєспалювальними установками Збір даних на звалищах за допомогою безпілотників

Джерело: побудовано авторам на основі [9]

безвідходному виробництву. Зростання кількості відходів електричного та електронного обладнання вимагає дій від урядів, муніципальних утворень, підприємств і населення, що полягають у запобіганні утворення відходів, їх зборі, розділенні, обробці, вилученні вторинної сировини шляхом повторного використання, переробки та інших форм відновлення, що сприятиме реалізації цілей сталого виробництва та споживання й покращення екологічних показників.

Процеси управління відходами зазвичай включають численні технічні, кліматичні, екологічні, демографічні, соціально-економічні та правові параметри. Такі складні процеси важко моделювати, прогнозувати та оптимізувати, використовуючи традиційні методи. Останнім часом набули поширення, пропонуючи альтернативні обчислювальні підходи до вирішення проблем поводження з (SWM).

Перспективи подальших досліджень у цій сфері полягають у дослідженні можливостей використання технологій штучного інтелекту (ШІ) в управлінні екологічною безпекою та поводженні з твердими відходами.

REFERENCES:

- Schwertner K. (2017) Digital transformation of business. Business, Computer Science. *The Journal of Supercomputing*, no. 15, pp. 388–393. DOI: <https://doi.org/10.15547/tjs.2017.s.01.065>
- Baigarin T. (2021) Approaches to changes in business-model by applying digital technologies. *Central Asian Economic Review*.
- Blackburn S., Galvin J., LaBerge L., Williams E. Three new mandates for capturing a digital transformation's full value Available at: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/strategy-for-a-digital-world>
- Kurniawan T. A., Dzarfan Othman M. H., Hwang G. H., Gikas P. (2022) Unlocking digital technologies for waste recycling in Industry 4.0 era: A transformation towards a digitalization-based circular economy in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, no. 357.
- Abdallah M., Abu Talib M., Feroz S., Nasir Q., Abdalla H., Mahfood B. (2020) Artificial intelligence applications in solid waste management: A systematic research review. *Waste Management*, no. 109, pp. 231–246.
- Elektro- und Elektronikschrott in der EU: Zahlen und Fakten (Infografik). Available at: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20201208STO93325/elektroschrott-in-der-eu-zahlen-und-fakten-infografik>
- OECD (2023) Environmental risks and health/Municipal waste, Generation and Treatment. Available at: <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MUNW#>
- Circular economy action plan. An official website of the European Union. Available at: https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en
- Digital technologies will deliver more efficient waste management in Europe. Available at: <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/waste-management/digital-technologies-will-deliver-more>