

УДК 339.9

DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/191-73>

Матусяк С.К.

аспірант,

Західноукраїнський національний університет

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7619-5506>

Matusiak Serhii

West Ukrainian National University

## ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПІВ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ АВТОМОБІЛІВ: ДОСВІД ПРОВІДНИХ ЄВРОПЕЙСЬКИХ АВТОКОНЦЕРНІВ

Дана стаття є частиною дослідження тенденції зміни автомобільної промисловості, інших видів промисловості, логістики та електроенергетики, яка наразі відбувається у світі та суттєво змінює світову економіку. В ній відображені сучасні підходи до виробництва автомобілів, які ґрунтуються на збереженні навколишнього середовища під час всього циклу створення транспортних засобів – від виробництва до переробки відходів та повторного використання матеріалів, тобто впровадження принципів циркулярної економіки. Ці процеси вписуються в загальну тенденцію зниження викидів CO<sub>2</sub> до нуля як від використання транспорту, так і при його виробництві і утилізації. Для цього провідні автовиробники Європи вже зараз впроваджують безвідходне та безвуглецеве виробництво. В статті вивчається, якими методами це досягається та які з них найбільш ефективні.

**Ключові слова:** циклічна економіка, безвуглецеве виробництво, автомобільна промисловість, електричні автомобілі, екологічність.

## APPLICATION OF CIRCULAR ECONOMY PRINCIPLES IN CAR MANUFACTURING: THE EXPERIENCE OF LEADING EUROPEAN CAR MANUFACTURERS

This article is part of a study of the trend of changes in the automotive industry, other industries, logistics and electricity that is currently taking place in the world and is significantly changing the global economy. It reflects modern approaches to automotive production based on environmental protection throughout the entire car production cycle – from manufacturing to waste recycling and reuse of materials, i.e. the implementation of circular economy principles. These processes are in line with the general trend of reducing CO<sub>2</sub> emissions to zero from both the use of transport and its production and disposal. To this end, leading European automakers are already implementing zero-waste and carbon-free production. This article examines how to achieve this and what methods are most effective. The challenge is to identify the most effective methods of zero-carbon car production to reduce CO<sub>2</sub> emissions during production. After all, the automotive industry has many production, logistics and ancillary processes that have an impact on the environment. This diversity of raw materials is compounded by the wide range of parts they are used in. In addition, automotive production requires the assembly of components. All of these processes require significant energy consumption to operate plants that emit significant carbon emissions. Therefore, sustainability in the automotive industry is achieved through a large number of innovations and implementations. The purpose of the article is to study the main methods of production of passenger cars of such brands as Audi, BMW, Mercedes-Benz, Renault, Skoda, Volvo, and to analyse the most efficient methods that ensure carbon-free production. Conclusions were drawn on the effectiveness of these methods and the most advanced and efficient ones were identified. The study shows that leading automakers can achieve carbon-free production in the coming years to meet the EU's commitments to reduce its carbon footprint under the Fit for 5 programme. This is achieved through the use of energy-saving technologies, green energy, and recycling of used materials.

**Keywords:** circular economy, carbon-free production, automotive industry, electric cars, sustainability.

**JEL Classification:** F20, K32, L16, L23, Q43

**Постановка проблеми.** Шлях традиційної глобальної економіки до циркулярної найбільш складний у секторах наукомісткої та ресурсомісткої продукції, наприклад у автомобільній промисловості. Тут процес виробництва дуже складний та вимагає різноманітних ресурсів. Деякі з них можна використовувати повторно, тобто частини автомобілів після їх утилізації переробляють та знову виробляють схожі деталі. Проблема такої діяльності полягає у тому, що різні виробники йдуть власними шляхами у створенні циклічних ланцюжків. Тому важливо визначити найбільш ефективні методи безвідходного та безвуглецевого виробництва автомобілів задля глобального впрова-

дження їх у галузі та суттєвого зниження викидів CO<sub>2</sub> у Європі та світі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематика циркулярної економіки в автомобільному бізнесі описується в публікаціях Зварич І.Я. [2], Syed Abdul Rehman Khan, Muhammad Umar, Alam Asadov, Muhammad Tanveer and Zhang Yu. [4]. Ці дослідження відбувались кілька років тому, а в галузі сталого розвитку процес іде надшвидкими темпами. За цей час абсолютно нові методи застосування циркулярної економіки в автовиробництві показують Audi [5], Renault [7], Skoda [9], Volvo [10] та інші. Вони застосовують власну методику виробництва та повторного засто-

сування матеріалів, яка відрізняється в залежності від виробника. Тому її необхідно проаналізувати та виявити найбільш ефективні, щоб використовувати в галузі в цілому.

**Мета статті** полягає у вивченні можливості створення на заводах з виробництва легкових автомобілів підприємств з повністю безвуглецевим слідом. Для цього вивчаються інноваційні ланцюжки циркулярного виробництва таких лідерів галузі Європи, як Audi, BMW, Mercedes-Benz, Renault, Skoda, Volvo. Аналізуються найбільш ефективні методи, які дозволять максимально знизити вплив на навколишнє середовище. В статті зроблено висновки щодо ефективності цих засобів, визначено найбільш прогресивні та ефективні.

**Виклад основних результатів дослідження.** «Європейська зелена угода» [1], ухвалена Європейською комісією, разом з програмою Fit to 55, мають максимально конкретні терміни щодо декарбонізації континенту та затверджені кроки для впровадження цієї мети.

Головна мета «Європейської зеленої угоди» – зробити до 2050 року Європу першим кліматично нейтральним континентом. Для цього потрібно принаймні на 55% зменшити чисті викиди парникових газів до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року. Розроблені конкретні пропозиції, кроки та законодавчі ініціативи, щоб зробити кліматичну, енергетичну, транспортну та податкову політику ЄС придатною для скорочення чистих викидів парникових газів щонайменше на 55% до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року.

Згідно з даними Європейського агентства з охорони довкілля, транспортний сектор генерує близько 23% викидів парникових газів в ЄС, з яких 72% припадає на автомобільний транспорт. Саме тому серед завдань, які стоять перед урядами та промисловими гігантами континенту – перехід до екологічно чистих транспортних засобів, таких як електромобілі та транспортні засоби на водневому паливі. Головна мета – до 2035 року всі нові автомобілі та фургоны, зареєстровані в Європі, матимуть нульовий рівень викидів.

Водночас дослідники стверджують, що не лише використання транспорту та відстань мають вагомий внесок у викиди CO<sub>2</sub>. Життєвий цикл продукції, включаючи способи виробництва, також відіграє велику роль. Більше того, автомобільна галузь є пріоритетною сферою найбільшого залучення у глобальну інклюзивну циркулярну економіку [2].

Автомобільна промисловість відіграє ключову роль в економіці Європейського Союзу, адже вона генерує близько 7% ВВП ЄС, забезпечує 13 мільйонів робочих місць, що становить 7% всіх робочих місць. Автопромисловість Євросоюзу виробляє 13,1 мільйонів автомобілів на рік, вона є найбільшим інвестором в НДДКР в ЄС, витрачаючи €59,1 мільярда щорічно [3].

Циркулярна економіка – це нова економічна модель, що пропонує альтернативу традиційному лінійному підходу «використати і викинути». Вона фокусується на забезпеченні циклічності ресурсів, матеріалів та продуктів протягом усього їхнього життєвого циклу.

Серед переваг циркулярної економіки – зменшення споживання ресурсів та енергії, зниження негативного впливу на довкілля, мінімізація утворення відходів, стимулювання інновацій тощо.

Автомобільна промисловість в Євросоюзі активно впроваджує принципи циркулярної економіки для підвищення екологічної стійкості та зниження негативного впливу на довкілля. Для цього використовуються такі основні принципи:

### 1. Дизайн без відходів

Автовиробники проєктують свої продукти так, щоб їх можна було легко ремонтувати, відновлювати та повторно використовувати. Це включає:

– Модульний дизайн, що дозволяє використовувати одну платформу для багатьох видів та типів автомобілів. Для збільшення різноманітності моделей, в тому числі в дизайні, змінюються лише окремі компоненти, а платформа залишається спільною.

– Використання стандартних матеріалів для полегшення їх переробки. Метали, пластмаси, скло використовуються повторно, тканні матеріали роблять з переробленої сировини.

### 2. Сегментація потоків

Розмежування матеріалів для забезпечення їх безпечного повернення до біосфери або повторного використання. Це передбачає:

– Використання біорозкладних матеріалів для деталей, що мають короткий термін служби.

– Застосування довговічних матеріалів для компонентів з тривалим терміном служби.

### 3. Чиста енергія

Для виробництва автомобілів використовуються відновлювані джерела енергії, що знижує залежність від викопних палив і зменшує викиди CO<sub>2</sub>. Зокрема:

– Сонячні та вітрові електростанції живлять виробничі підприємства.

– Зарядні станції для електромобілів також переважно працюють на чистій енергії.

### 5. Переробка та вторинне використання матеріалів

Автовиробники активно впроваджують технології переробки використаних автомобілів та їх компонентів. Серед них:

– Переробка акумуляторів електромобілів для повторного використання матеріалів, таких як літій та кобальт.

– Використання вторинних матеріалів у виробництві нових автомобілів.

### 6. Виробництво з відновлених компонентів

Автовиробники частково виробляють нові автомобілі з компонентів старих автомобілів, що дозволяє знизити споживання первинних ресурсів та енергії. Вони мають плани та стратегії, як збільшувати цю частку в нових автомобілях наступних моделей.

### 7. Відмова від надлишкового використання ресурсів

Автомобільна промисловість відмовляється від надмірного використання ресурсів, впроваджуючи економні технології та процеси. Це включає:

– Оптимізацію виробничих процесів для зниження відходів.

– Використання екологічних матеріалів у виробництві.

### 8. Підтримка інновацій та співпраця

Виробники співпрацюють з урядами, науковими установами та іншими зацікавленими сторонами для розвитку нових технологій та впровадження інновацій, що сприяють циркулярній економіці.

### 9. Виробництво енергії з матеріалів

Використання відходів та вторинних матеріалів для виробництва енергії, що забезпечує замкнутий цикл та знижує екологічне навантаження.

### 10. Користування замість споживання

Замість схеми продажу автомобілів впроваджуються програми, які передбачають більш ефективне та (або) ощадне використання автомобілів. Зокрема, спільне використання (оренда та каршеринг). Це дозволяє зменшити кількість нових автомобілів на дорогах та оптимізувати використання існуючих ресурсів.

Таким чином, автомобільна промисловість використовує принципи циркулярної економіки для зниження екологічного впливу, підвищення ефективності використання ресурсів та створення стійких бізнес-моделей.

Сучасна автомобільна промисловість Європейського Союзу використовує всі ці підходи циркулярної економіки. Причому деякі автовиробники мають кращі показники застосування цих принципів у одних принципах, інші – в інших.

Завдяки використанню цих принципів циркулярної економіки вже зараз досягається суттєве зниження витрат на ресурси та енергію. Також спостерігається підвищення конкурентоспроможності за рахунок інновацій та екологічної відповідальності.

Також відбувається зміцнення іміджу та лояльності клієнтів, які орієнтовані на збереження природних ресурсів.

Сучасний стан імплементації циркулярного виробництва в автопромі дуже високий та повинен стати прикладом для інших галузей у виробництві та способі використання і переробки продукції масового споживання.

Автомобільна промисловість має багато виробничих, логістичних та допоміжних процесів, які впливають на навколишнє середовище. Тому стійкість в автопромі досягається великою кількістю інновацій та впроваджень. Під час виробництва автомобілів використовується велика кількість матеріалів – різні метали та їх сполуки, пластмаси, гума, тканини, скло та інші численні синтетичні матеріали. Це різноманіття сировини ускладнюється ще й великим асортиментом деталей, в яких вони використані. До того ж автовиробництво потребує складання компонентів. Всі ці процеси вимагають значного споживання енергії для роботи установок, які викидають значні викиди вуглецю. Крім того, відходи під час процесу складання також негативно впливають на навколишнє середовище [4].

Загалом схема життєвого циклу електричних автомобілів з урахуванням принципів циклічної економіки виглядає так (див. схему 1).

Систему вхідної логістики представляють матеріали, необхідні для виробництва автомобілів, а також готові вузли та деталі.

На окремих підприємствах, які часто не належать автоконцерну та знаходяться поза територією основного виробництва, створюють продукти, які використовуються на складальних заводах. Це виробництво батарей або їх компонентів (хоча останнім часом фінальне складання тягових твердотілих батарей переносять на автозавод). Водночас АКБ, які живлять електросистему автомобіля, завжди робиться іншим заводом через використання небезпечних хімічних процесів та агресивних кислот.

Також підприємства інших галузей постачають на автозаводи природні матеріали, метали та полімери, з яких у спеціальних цехах завдяки різноманітним процесам та переробкам створюють елементи автомобілів.

До групи вузлів та деталей входять рідини, скло та електроніка. Вони виготовляються на замовлення автовиробників, але приходять на автозаводи повністю готовими елементами автомобілів. Такі ж елементи постачаються на ринки афтемаркету в якості запасних частин.

Використовуючи власні виробничі потужності, робочу силу, робототехніку, внутрішню логістику, електрику та пальне, автозавод виробляє основну продукцію – автомобілі. Далі він направляє її на дилерські підприємства всього світу для продажу чи реалізації за іншими схемами – лізинг, кершеринг, оренда чи спільне використання.

Після того, як автомобіль стає непридатним до експлуатації (через використання його ресурсу чи дорожньо-транспортну пригоду), він направляється на утилізацію. Там його розбирають, сортують та подрібнюють, а потім використовують окремі матеріали повторно. Ті матеріали, які неможливо використати ще раз, заходять чи спалюють. Таким чином досягається максимальне циркулярність використання матеріалів.

Різні автовиробники досягли неоднакових результатів у впровадженні циркулярної економіки під час виробництва та експлуатації автомобілів.

#### Audi AG

Свій підхід у повторному використанні перероблених матеріалів продемонструвала компанія Audi, преміальний підрозділ німецького автомобілебудівного концерну Volkswagen AG. Компанія тримає в полі

Таблиця 1

Цілі провідних європейських автовиробників щодо зменшення впливу на довкілля

Компанія	Припинення випуску авто з ДВЗ	Частка матеріалів, придатних до переробки	Повна кліматична нейтральність
Fit for 55*	2035	Відсутня дата	2050
Audi AG	2027 – електромобілі в кожному сегменті	Відсутня дата	2050
BMW Group	Не вказано	2040 (100%)	2050
Mercedes-Benz	2029	2030 (40% в нових авто)	2039
Renault Group	Не вказано	2030 (33% в нових авто)	2040
Skoda Auto	Не вказано	2025 (40 кг в авто)	2030
Volvo Cars	2030	Не вказано	2040

\*Програма Єврокомісії для Євросоюзу в цілому.

Джерело: зібрано автором

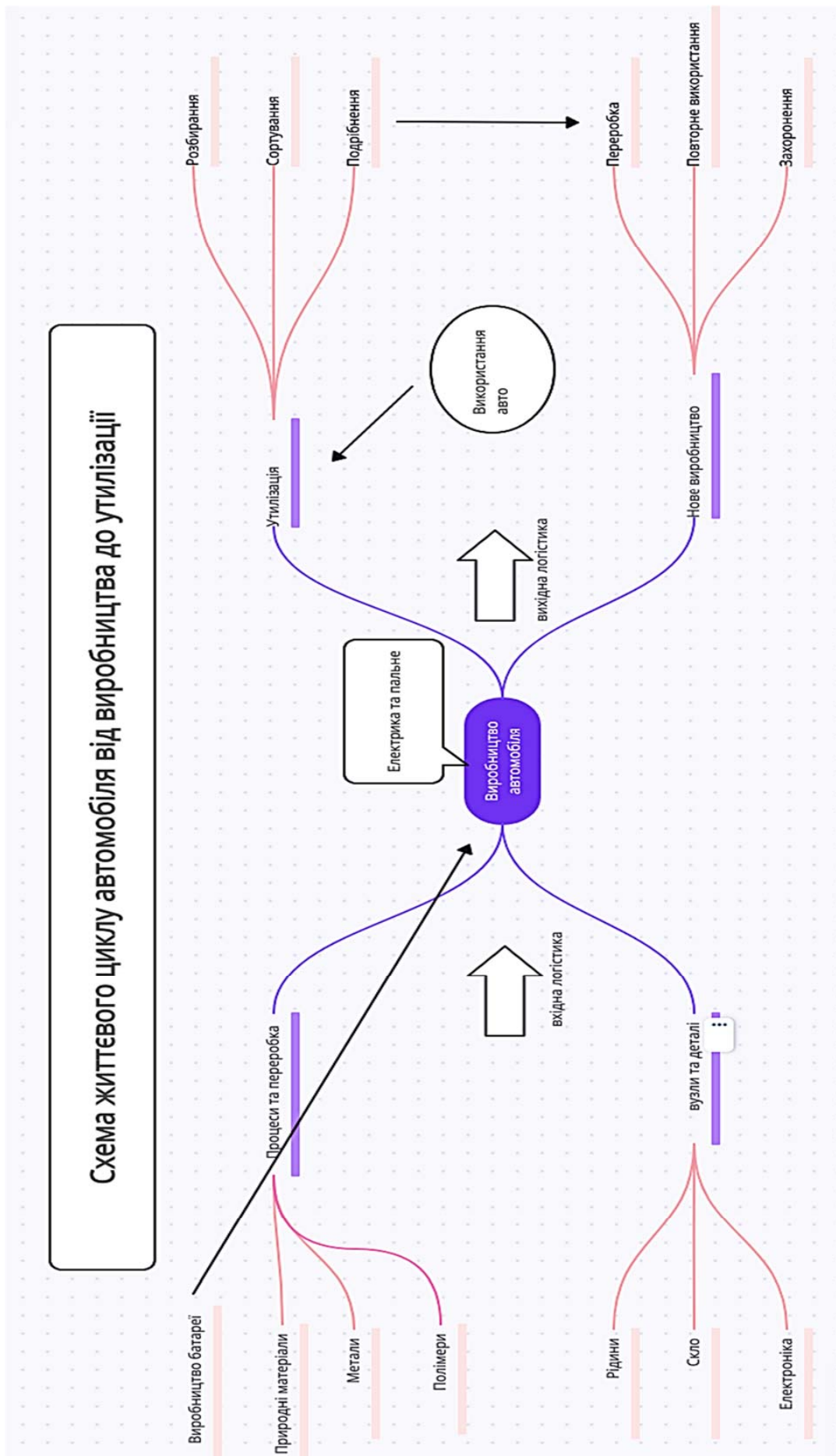


Рис. 1. Схема життєвого циклу автомобіля від виробництва до утилізації

Джерело: схема автора на основі [4]

зору всі свої процеси: постачання сировини, ланцюг її постачання та саме виробництво на додаток до фази утилізації та переробки або повторного використання в кінці життєвого циклу автомобіля. Амбітна мета полягає в досягненні чистого викиду вуглецю. Через свою екологічну програму «Місія: нуль» Audi консолідує всі відповідні заходи захисту навколишнього середовища. Основна увага зосереджена на чотирьох сферах діяльності: декарбонізація у виробництві та логістиці, використання води, ефективне використання ресурсів та біорізноманіття. Крім того, Audi вже знижує викиди на найбільш ранніх етапах ланцюжка поставок.

На сьогоднішній день лише деякі матеріали, які використовуються у виробництві нових автомобілів, отримують зі старих автомобілів. Сталь, наприклад, після завершення процесу переробки транспортних засобів, не йде на виробництво нових. Audi хоче змінити це і в майбутньому повертати вторинні матеріали, отримані зі старих автомобілів, у виробництво інших автомобілів. Але Audi – преміальний бренд, тому в компанії хочуть запобігти процесу даунсайкліну, тобто такому процесу переробки, коли перероблені матеріали стають нижчої якості, ніж оригінальні.

Audi співпрацює з 15 промисловими та дослідницькими організаціями та запустила проєкт MaterialLoop у жовтні 2022 року, щоб провести поглиблені випробування близько 100 автомобілів до кінця квітня 2023 року [5]. Вони зосереджені на перероблених матеріалах із подальшим потенціалом, розробці нових технічних процесів та методів переробки, які вже сьогодні є економічно та екологічно доцільними. Їхня мета полягає в тому, щоб у майбутньому закрити більше матеріальних петель для матеріалів, які можна переробити в автомобільній промисловості. Йдеться про сталь, алюміній, пластик або скло, яким потрібно дати «друге життя».

Хоча пілотний проєкт ще триває, учасники проєкту вже почали повертати матеріали назад у виробництво автомобілів. Велика частина сталі, переробленої в рамках проєкту, може бути використана у виробництві нових моделей. Audi має намір використати значну частину сталі, переробленої в рамках проєкту MaterialLoop, для виробництва до 15 000 деталей внутрішніх дверей серії Audi A4.

Що стосується вторинної переробки пластику та скла, проєкт став на крок ближче до того, щоб зробити основну концепцію відчутною для клієнтів: скляні гранули з пошкоджених вікон автомобіля, які більше не підлягають ремонту, розплавляються, переробляються в пласке скло та перетворюються на нове автоскло для Audi Q4 e-tron.

У проєкті GlassLoop компанії-партнери та Audi перевірили, як виготовляти нове лобове скло з бракованого автоскла. В результаті співпраці з вересня 2023 року для серійного виробництва Audi Q4 e-tron використовуються вітрові скла, виготовлені з перероблених матеріалів. Для їх лобових вікон використовується скло, що складається до 30 відсотків із перероблених матеріалів із непоправно пошкоджених вікон автомобіля. У співпраці зі своїми компаніями-партнерами Audi є першим виробником автомобілів преміум-класу, який встановив такий цикл виробництва скла.

Змішані автомобільні пластикові відходи використовуються для виробництва накладок на пряжки ременів безпеки для нового Audi Q8 e-tron. У новій

електричній моделі Audi Q4 e-tron є до 27 деталей із переробленого матеріалу. Головне при цьому, що використання вторинних матеріалів не повинно суперечити стандартам високої якості Audi.

### BMW Group

У 2021 році BMW Group приєднався до кампанії Business Ambition for 1,5° C, яка була започаткована ініціативою Science Based Targets. В рамках цієї ініціативи BMW Group зобов'язався досягти мети повної кліматичної нейтральності в усьому ланцюжку створення вартості автомобілів не пізніше 2050 року [6].

BMW Group використовує підхід «спочатку вторинне», щоб поступово збільшувати відсоток перероблених і повторно використовуваних матеріалів, що використовуються в автомобілях нової електричної серії NEUE KLASSE. Мета – у 2040 році випускати автомобілі повністю з вторинних матеріалів і відновленої сировини, придатних для переробки.

Реалізація стратегії електрифікації BMW Group є ключовим рушієм її постійних зусиль зі скорочення викидів у всьому автопарку. З більш ніж 15 повністю електричних моделей в лінійці BMW Group прагне продовжити успішне зростання BEV у 2024 році. Цього року кожен п'ятий з нових автомобілів компанії повинен мати повністю електричну трансмісію; до 2025 року це має бути кожен четвертий.

На додаток до збільшення електрифікації автопарку BMW Group, безперервний подальший розвиток звичайних трансмісій також допоможе знизити викиди CO<sub>2</sub>.

BMW Group розглядає постійне скорочення викидів у своєму автопарку як невід'ємну частину своєї стратегії сталого розвитку. До 2030 року компанія планує скоротити загальні викиди CO<sub>2</sub> принаймні на 40 відсотків на автомобіль порівняно з рівнем 2019 року. Мета полягає в тому, щоб досягти цього по всьому ланцюжку створення вартості – від ланцюга постачання до виробництва до етапу використання. BMW Group планує стати кліматично нейтральним не пізніше 2050 року.

BMW Group систематично впроваджує свої кліматичні цілі для мережі постачальників і значно скорочує вуглецевий слід від джерел постачання сталі. Після початкових контрактів з європейськими постачальниками BMW Group уклала подальші угоди про постачання сталі зі зниженим викидом CO<sub>2</sub> у США та Китаї.

У середньостроковій перспективі BMW Group збільшить економію викидів CO<sub>2</sub> завдяки угодам з додатковими постачальниками сталі та таким чином послідовно просуватиме декарбонізацію своєї мережі постачальників. Приблизно 20 відсотків викидів CO<sub>2</sub> у ланцюзі поставок для повністю електричного автомобіля середнього розміру припадає на сталь, яка займає третє місце після акумуляторних елементів та алюмінію.

З 2026 року планується використовувати сталь Salzgitter AG з низьким вмістом CO<sub>2</sub> у серійному виробництві автомобілів на європейських заводах BMW Group. У жовтні минулого року BMW Group вже підписала угоду зі шведським стартапом H2 Green Steel. Компанія постачатиме на європейські заводи BMW Group сталь, вироблену виключно з використанням водню та електроенергії з відновлюваних джерел енергії.

BMW Group також встановила замкнуті цикли обробки матеріалів для відходів листової сталі з кіль-

кома постачальниками сталі. Коли вони доставляють сталеві рулони на заводи, виробники забирають із собою залишки сталі, наприклад ті, що штампуються після пресів кузовних деталей, і використовують цей матеріал для виробництва нової сталі. Потім ця сталь повертається на заводи BMW Group. Таким чином, сировину можна багаторазово використовувати в циклічній економіці, зберігаючи таким чином природні ресурси.

На додаток до пошуку сталі зі зниженим викидом CO<sub>2</sub>, BMW Group також інвестувала в інноваційний метод виробництва сталі без CO<sub>2</sub>, розроблений американським стартапом Boston Metal через свій фонд венчурного капіталу BMW і Ventures. Boston Metal використовує електрику для своєї нової технології, яка за допомогою електролізної камери виробляє розплавлений чавун, який пізніше переробляється на сталь. Якщо для цього процесу використовується електроенергія з відновлюваних джерел енергії, то виробництво сталі майже не містить CO<sub>2</sub>. У найближчі роки Boston Metal планує розширити новий метод виробництва сталі в промислових масштабах.

#### **Mercedes-Benz Cars**

Компанія Mercedes-Benz активно працює над досягненням цілей циркулярної економіки в автомобільній промисловості. Вона збільшує використання перероблених матеріалів, розробляє методи переробки акумуляторів і проектує автомобілі, які після експлуатації будуть легкі в демонтажі та переробці. Крім того, компанія інвестує в відновлювані джерела енергії для своїх виробничих потужностей і співпрацює з постачальниками для забезпечення сталих практик у всьому ланцюгу постачання. Ці зусилля спрямовані на зменшення відходів, скорочення викидів вуглецю та повторне використання ресурсів протягом життєвого циклу автомобілів. Серед цілей компанії – до кінця цього десятиліття випускали виключно електричні автомобілі, досягти частки перероблених матеріалів в кожній новій машині до 40% та добитись повної кліматичної нейтральності до 2039 року [7].

Mercedes-Benz підписав меморандум про взаєморозуміння з TSR Recycling GmbH & Co. задля посилення власної стратегії циркулярності щодо автомобілів, що вийшли з експлуатації шляхом так званого «міського видобутку». За допомогою цього проекту Mercedes-Benz розраховує отримати глибше розуміння потенціалу споживчих матеріалів у Європі, зосереджуючись на сталі, алюмінії, полімерах, міді та склі. Разом дві компанії планують проаналізувати попит і джерела вторинних матеріалів і провести комерційну оцінку. Таким чином, Mercedes-Benz робить ще один крок до встановлення справжнього замкнутого підходу до транспортних засобів, що вийшли з експлуатації.

Ця діяльність забезпечить доступ до матеріальних потоків, які в іншому випадку експортувалися б в інші сектори та країни. Мета полягає в тому, щоб уникнути так званого downcycling, у результаті якого перероблені матеріали втрачають якість. Одним з поточних прикладів є запланована співпраця з TSR та іншим постачальником першого рівня переробленого алюмінію. Цей перший у своєму роді матеріал містить 86 відсотків переробленого алюмінію та зменшує викиди CO<sub>2</sub> на 73 відсотки. Перші прес-випробування деталей прототипу пройшли успішно.

#### **Renault Group**

Французька Група Renault та її дочірня компанія The Future Is NEUTRAL відновлює деталі до електричних силових агрегатів. Власники електромобілів тепер можуть обирати між новими оригінальними запчастинами та якісними відновленими, які є більш доступними (до 30% дешевшими) та допомагають обмежити вплив на ресурси та викиди CO<sub>2</sub>.

Група Renault пропонує такі деталі та вузли для своїх електромобілів: відновлений електродвигун (ZOE, Twingo E-Tech, Kangoo E-Tech та Master E-Tech), силову електроніку (ZOE та Kangoo E-Tech) та тягову батарею (ZOE, Twingo E-Tech та Megane E-Tech). З 2024 року The Future Is NEUTRAL матиме можливість виробляти понад 3 000 відновлених деталей для електромобілів на заводі у Флінсі (Франція).

Група Renault розгортає промислову екосистему рішень циркулярної економіки [8]. Ця екосистема побудована навколо чотирьох взаємодоповнюючих аспектів, починаючи від деталей і продуктів і закінчуючи трансформацією навичок:

**Переобладнання.** Продовження терміну служби транспортних засобів за допомогою відновлення вживаних автомобілів усіх марок. Програма включає кузовний ремонт важких транспортних засобів та переобладнання легких комерційних автомобілів Master III з двигунів внутрішнього згоряння на електричні у партнерстві з TOLV.

**Ре-енергетика:** виробництво, зберігання та управління зеленою енергією завдяки експертному центру з ремонту акумуляторних батарей (CERBF). Майстерня з ремонту акумуляторів Групи Renault (30 центрів по всьому світу) для діагностики та ремонту акумуляторів. Повторне використання акумуляторів у концепції накопичувачів енергії в рамках проєктів під керівництвом Mobilize: від мобільних і модульних накопичувачів, які можуть замінити забруднюючі генератори, до великомасштабних стаціонарних сховищ, які вже мають понад 20 МВт-год ємності на акумуляторних фермах у Франції та Німеччині.

**Повторний цикл:** переробка та повторне використання деталей і матеріалів; Діяльність з відновлення та реконструкції деталей.

**Перезапуск:** підтримка змін та структурування циркулярної економіки та сектору сталої мобільності. Центр відкритих інновацій The Future Is NEUTRAL підтримує стартапи, які роблять свій внесок у вирішення кліматичних проблем, за допомогою інкубаційної програми, орієнтованої на циркулярну економіку, та пропозиції індустріалізації "під ключ" на базі Refactory.

Перехід та успіх цих нових видів діяльності, забезпечений розвитком навичок співробітників, тепер охоплює широкий спектр циркулярної економіки для продовження терміну служби транспортних засобів та деталей, їх ремонту, реконструкції та переробки. Ця діяльність зробить ключовий внесок у досягнення цілей Групи Renault щодо використання 33% матеріалів з циркулярної економіки в нових автомобілях до 2030 року та досягнення «чистого нульового вуглецевого сліду» для всієї своєї діяльності в Європі до 2040 року та в усьому світі до 2050 року.

#### **Skoda Auto**

Чеський виробник автомобілів Skoda Auto, який входить до складу німецького автомобільного кон-

церну Volkswagen Group AG, розвиває екологічно свідоме виробництво. Її мета – досягнення вуглецевої нейтральності всіх заводів у Чеській Республіці до 2030 року. Наприклад, на одному з своїх чеських підприємств у Врхлабі вже у 2020 році створено CO<sub>2</sub>-нейтральне виробництво. Вже зараз до 90% електроенергії, що використовується на заводі в Квасинах, виробляється з відновлюваних джерел. Станом на 2022 рік Skoda скоротила споживання води на вироблений автомобіль на 29,3% порівняно з 2010 роком, нові технології значно зменшили споживання води у фарбувальному цеху. А з 2020 року усі заводи компанії зобов'язані забезпечити відсутність звалищ. Це досягається створенням автомобілів та компонентів з якомога меншим впливом на навколишнє середовище [7].

Skoda впровадила комплексний підхід до переробки використаних матеріалів, який базується на принципах циркулярної економіки. Спочатку визначено стратегію GreenFuture, яка встановила цілі щодо циркулярної економіки та ресурсів, включаючи зменшення відходів на вироблений автомобіль.

У 2013 році Škoda Auto реалізувала програму GreenFuture для контролю за діяльністю, пов'язаною з охороною навколишнього середовища. Вона охоплює заходи на рівні виробництва (GreenFactory), продукту (GreenProduct) і роздрібної торгівлі (GreenRetail). Пізніше додалась стратегія логістики GreenLogistics. Всі ці заходи мають привести до конкретних цілей – збереження клімату та ресурсів, захисту екосистем та забезпечення ековідповідності (див. схему 2).

В рамках цих стратегій було впроваджено такі кроки:

#### Відповідність директивам та стандартизація.

Усі моделі автомобілів, що виробляються компанією Skoda, омологовані відповідно до вимог Директив 2005/64/EC та 2009/1/EC. Це забезпечує високі стандарти переробки використаних матеріалів.

#### Маркування деталей та спрощення сортування.

Skoda використовує маркування компонентів автомобілів для надання інформації про використані матеріали. Це допомагає визначити склад кожної частини та спрощує подальше сортування і переробку відходів за різними групами матеріалів.

**Використання перероблених матеріалів.** Skoda активно використовує перероблені та екологічно чисті матеріали, такі як матеріали на біологічній основі та біорозкладні матеріали, що мають ті ж якості, що й первинні матеріали. Це дозволяє зменшити загальний вплив на навколишнє середовище та знизити використання первинної сировини. Наприклад, у моделях Skoda Scala та Kamiq використовуються деталі з переробленого пластику. Планується, що у нових моделях з 2025 року вміст переробленого пластику подвоїться до приблизно 40 кг нетто ваги.

**Правила поводження з відходами.** Всі відходи передаються уповноваженим особам, зважуються, реєструються і документуються. Перевага надається тим покупцям відходів, які можуть забезпечити вищий рівень поводження відповідно до ієрархії відходів.

**Переробка акумуляторів.** Використовуються два основні методи переробки акумуляторів: пірометалургія та гідрометалургія. Пірометалургія базується на високотемпературному розділенні матеріалів, тоді як гідрометалургія використовує хімічні розчинники, що дозволяє зменшити енерговитрати та підвищити ефективність процесу.

**Інновації та місцева сировина.** Skoda надає перевагу використанню місцевої сировини з меншими викидами вуглецю порівняно з основними матеріалами, що сприяє екологічній стійкості та зниженню логістичних витрат.

Ці заходи дозволяють Skoda значно знизити екологічний вплив виробництва автомобілів, підвищити ефективність використання ресурсів та інтегрувати принципи циркулярної економіки у свої бізнес-процеси [7].

#### Volvo Cars

Для Volvo Cars сталий розвиток не менш важливий, ніж безпека. Компанія планує досягти нульових викидів парникових газів до 2040 року, впроваджуючи принципи циркулярної економіки та відповідального ведення бізнесу.

Окрім того, Volvo Cars планує стати повністю електромобільною компанією до 2030 року і буде супроводжувати випуск кожного електромобіля з акумулятор-

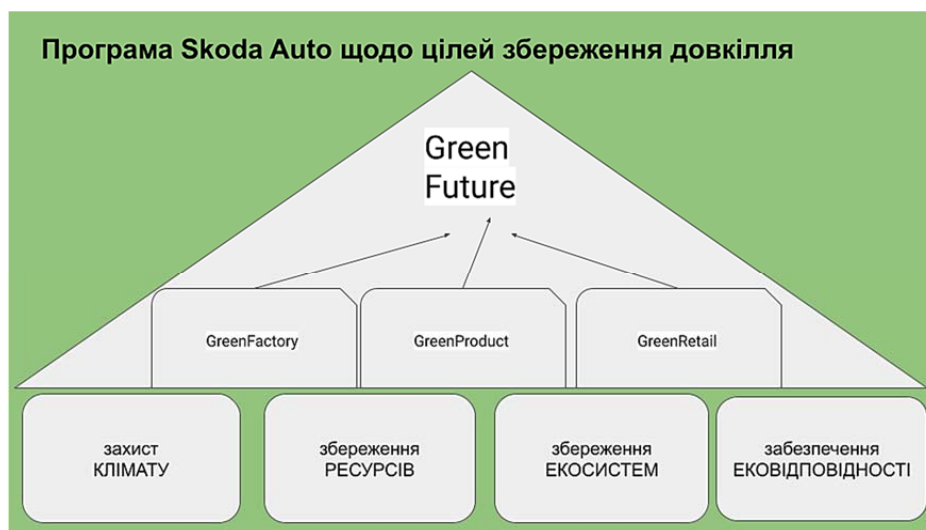


Рис. 2. Екологічні цілі та засоби для їх досягнення у Skoda Auto

Джерело: схема автора на основі [5]

ною батареєю (BEV) комплексною оцінкою життєвого циклу (LCA) його вуглецевого сліду.

Наприклад, повністю новий електричний автомобіль Volvo EX30 з 2023 року має вуглецевий слід, значно нижчий, ніж у будь-якої з попередніх повністю електричних моделей.

Компанія оцінює вуглецевий слід автомобіля протягом усього його життєвого циклу - від видобутку та переробки сировини до рішень, пов'язаних із закінченням терміну експлуатації (EoL). У звіті компанії Volvo Cars [10] використовується методологія LCA на основі стандарту ISO 14067, щоб зосередитися виключно на викидах парникових газів і потенціалі глобального потепління (ГПП) на при пробігу автомобіля у 200 000 кілометрів. Оцінка життєвого циклу відповідає головним принципам Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК, 2021).

Згідно з досліджень впливу електромобіля на викиди парникових газів протягом усього його життєвого циклу, у досліджуваних сценаріях найбільший вплив має глобальна структура електроенергетики.

Модель EX30 поставляється з двома варіантами акумуляторів: літій-залізо-фосфатна (LFP) батарея ємністю 51 кВт-год і нікель-кобальт-марганцевий акумулятор (NMC) ємністю 69 кВт-год.

Якщо розглядати автомобіль Volvo EX30, оснащений батареєю NMC, то при використанні для її виробництва та експлуатації електроенергію, що виробляється в Європі (європейський електричний мікс), спостерігається 23-відсоткове скорочення викидів парникових газів у порівнянні з використанням глобальної структури електроенергії.

При використанні електроенергії, виробленої з енергії вітру, спостерігається 40-відсоткове скорочення на етапі використання на 40 відсотків під час фази використання, у порівнянні з використанням глобального балансу електроенергії.

Для порівняння: скорочення викидів парникових газів у моделі, оснащеної ДВЗ, становить приблизно 26 відсотків при виборі європейського балансу електроенергії та 45% при використанні вітрової енергії під час експлуатації, порівняно з використанням глобального балансу електроенергії.

Виходячи з дослідження [10], оцінка життєвого циклу (ОЖЦ) Volvo EX30 становить від 0,11 до 0,18 кг CO<sub>2</sub>-екв/км (від 22 до 36 тонн CO<sub>2</sub>-екв на 200 000 км)

для моделі, оснащеної NMC, і від 0,089 до 0,16 кг CO<sub>2</sub>-екв/км (від 18 до 31 тонн CO<sub>2</sub>-екв на 200 000 км) для моделі, оснащеної LFP.

В середньому, модель, оснащена батареєю LFP, має на 16 відсотків менший вуглецевий слід, ніж NMC. Ці відмінності зумовлені споживанням енергії у виробництві матеріалів на етапах придбання, переробки та використання, кожен з яких впливає на інтенсивність викидів вуглецю.

Джерела електроенергії на етапі використання суттєво впливають на вуглецевий слід автомобіля. Електроенергія, вироблена вітром, значно зменшує вуглецевий слід у порівнянні з глобальними або європейською електроенергією. Це підкреслює необхідність прискорення глобальних інвестицій в інфраструктуру відновлюваної енергетики.

Майбутнє скорочення вуглецевого сліду в нашому ланцюжку постачання акумуляторів може ще більше пом'якшити загальний вплив автомобіля на навколишнє середовище. До 2025 року постачальники акумуляторів для Volvo Cars планують скоротити викиди від виробництва батареї LFP на 20 відсотків і на 46 відсотків у випадку батареї NMC на 46 відсотків у випадку з батареєю NMC.

Процес утилізації починається з етапу розбирання старого автомобіля для видалення небезпечних компонентів. Після цього розібрані частини обробляються, а решта транспортного засобу подрібнюється. Залежно від типу матеріалу, отримані фракції фракції йдуть або на вторинну переробку, або на спалювання, або на звалище.

На етапі розбирання з транспортного засобу видаляються небезпечні та/або цінні компоненти:

- акумулятори, колеса, шини;
- рідини: охолоджуючі рідини, антифриз, гальмівна рідина;
- газ для кондиціонера, рідина для амортизаторів та омивач вітрового скла;
- оливи: трансмісійні та гідравлічні оливи;
- масляні фільтри;
- зняття подушок безпеки та переднатягувачів ременів безпеки.

З глобальної точки зору переробка моторної оливи, мастил та охолоджувальної рідини, як правило, полягає у спалюванні. Шини можуть бути врятовані для відновлення гуми, причому потенційно 55 відсотків

### Склад автомобіля Volvo EX30 за матеріалами при виробництві

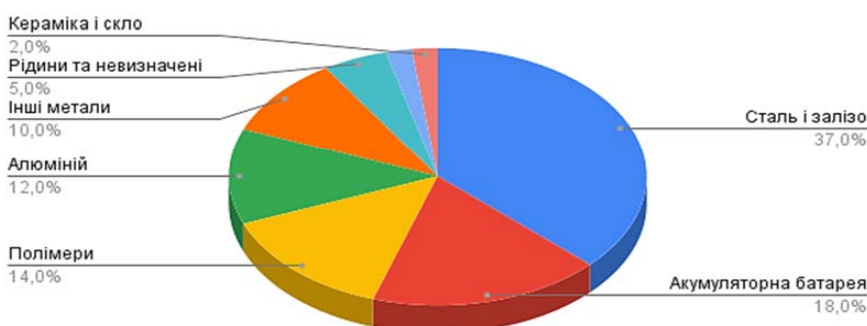


Рис. 3. Склад автомобіля Volvo EX30 за матеріалами при виробництві

Джерело: складено автором на основі [10]



#### Відсоток маси автомобіля при переробці в кінці його життєвого циклу

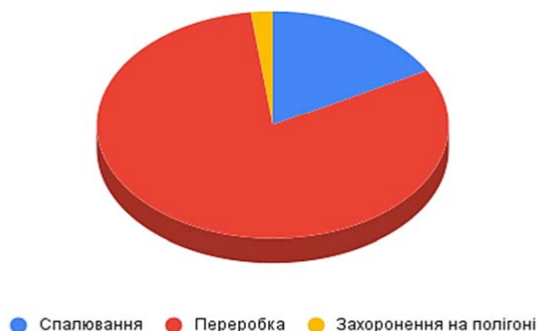


Рис. 4. Відсоток маси автомобіля при переробці в кінці його життєвого циклу

Джерело: [10]

шин можуть бути перероблені. У випадку свинцевих акумуляторів – вони можуть бути відправлені на відновлення свинцю. Масляні фільтри, а також подушки безпеки та натягувачі ременів безпеки, демонтуються з міркувань безпеки, а не з огляду на їхню потенційну цінність для вторинної переробки.

Припускається, що літій-іонну батарею виймають з автомобіля і відправляють на переробку, враховуючи, що батареї містять цінні матеріали. Видобуток та переробка цих матеріалів є ресурсоемними та економічно затратними.

Всі інші частини транспортного засобу відправляються на подрібнення. Після цього вони розділяються на фракції, залежно від різних фізичних і магнітних властивостей.

Потреба в електроенергії для подрібнення моделюються за допомогою глобального плану балансу електроенергії.

Типовими фракціями є:

- чорні метали (сталь, чавун, нержавіюча сталь тощо);
- кольорові метали (алюміній, мідь тощо);
- легка фракція подрібнювача (пластик, кераміка тощо);

Металеві фракції можуть бути відправлені на подальшу переробку і, в решті-решт, на вторинну переробку. Горюча частина легкої фракції може бути спалена або вся фракція може потрапити на звалище.

**Висновки.** Автомобільні виробники досягають цілей сталого розвитку через впровадження принципів циркулярної економіки, включаючи використання відновлюваних матеріалів, розробку модульних дизайнів для легкого ремонту та переробки, використання відновлюваних джерел енергії в процесах виробництва. Такі підходи дозволяють зменшити викиди CO<sub>2</sub>, мінімізувати відходи, сприяють повторному використанню

ресурсів. Інновації, співпраця з постачальниками та інвестиції в екологічні технології є ключовими складовими успішного переходу до циркулярної економіки в автомобільній промисловості.

Більшість європейських автовиробників поставили перед собою досягти вуглецевої нейтральності виробництва до 2040 року. Це стане можливим від впровадження кількох етапів циркулярної економіки. Першим є перехід до випуску повністю електричних транспортних засобів до кінця цієї декади, тобто до 2030 року. Втім, через охолодження ринку електромобілів та зростання конкуренції з боку китайських виробників деякі автоконцерни вже не так впевнено говорять про цю дату.

Наприклад, Skoda Auto не говорить про повний перехід на електромобілі, адже припускає, що випускатиме класичні ДВЗ для країн, що розвиваються. Таким чином, вони матимуть дві модельні лінійки – екологічно чисті BEV для ринку Євросоюзу та ДВЗ для країн, що розвиваються (наприклад, Східної Європи, включаючи Україну, а також Індії).

В більшості процесів виробництва та утилізації автомобілів задля сталого розвитку найбільші автовиробники використовують власні розробки та ноу-хау. Однак в деяких питаннях покладаються на рішення сторонніх виробників. Зокрема, їхньої експертності не вистачає під час організації процесу збирання і переробки металів та пластику, утилізації рідин тощо. Для цього в систему циркулярної економіки включаються організації з переробки, дослідники, стартапи та підприємства з переплавки сталі і пластику. Таким чином, організація процесів циркулярної економіки у виробництво та утилізацію автомобілів залучає нові галузі та робочі місця, що сприяє розвитку економіки Євросоюзу, збільшенню доданої вартості при зменшенні собівартості електромобілів.

#### Список використаних джерел:

1. Підходить для 55. Європейський зелений курс. Європейська Рада. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
2. Зварич І.Я. Парадигма глобальної інклюзивної циркулярної економіки : дис. д-ра екон. наук : 08.00.02. Тернопіль : ТНЕУ, 2019. 512 с. URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/handle/316497/38554>

3. Факти про автомобільну промисловість. ACEA. URL: <https://www.acea.auto/fact/facts-about-the-automobile-industry/>
4. Саїд Абдул Рехман Хан, Мухаммад Умар, Алам Асадов, Мухаммад Танвір та Чжан Юй. Технологічна революція та практики циркулярної економіки. *Механізм зеленої економіки*. 2022, № 14(8). DOI: <https://doi.org/10.3390/su14084524>
5. Проект MaterialLoop: Перетворення старого на нове. Надя Ріаз-Ахмед. Audi AG. Інгольштадт 2024. URL: <https://www.progress.audi/progress/en/turning-old-into-new-with-the-materialloop-project.html>
6. Звіт BMW Group за 2023 рік. Мануела Хойманн. BMW Group. Мюнхен 2024. URL: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/attachment/T0440520EN/613262>
7. Changenow 2024: Renault Group і майбутнє – нейтральне прискорення в циркулярній економіці. Група Renault. URL: <https://media.renaultgroup.com/download?pn=ChangeNow%202024:%20Renault%20Group%20and%20The%20Future%20Is%20NEUTRAL%20accelerate%20in%20the%20circular%20economy&picid=233904>
8. Звіт зі сталого розвитку за 2023 рік. Mercedes-Benz Group, Штутгарт, 2024. URL: <https://group.mercedes-benz.com/documents/sustainability/reports/mercedes-benz-sustainability-report-2023.pdf>
9. Звіт зі сталого розвитку Škoda Auto за 2023 рік. Skoda Storyboard. Прага 2024. URL: [https://cdn.skoda-storyboard.com/2024/03/Skoda\\_Auto-Sustainability\\_Report-2023\\_EN\\_72a324ed.pdf](https://cdn.skoda-storyboard.com/2024/03/Skoda_Auto-Sustainability_Report-2023_EN_72a324ed.pdf)
10. Звіт про вуглецевий слід Volvo EX30. Крістін Франссон, Лорена Губер, Карл-Генрік Хагдал, Дженніфер Девіс, Якоб Неслунд. URL: [https://www.volvocars.com/images/v/-/media/Project/ContentPlatform/data/media/sustainability/volvo\\_ex30\\_carbonfootprintreport\\_A4.pdf](https://www.volvocars.com/images/v/-/media/Project/ContentPlatform/data/media/sustainability/volvo_ex30_carbonfootprintreport_A4.pdf)

### References:

1. Fit for 55. European Green Deal. European Council. Available at: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
2. Zvarych I. Ya. (2019). Paradigm of the global inclusive circular economy: dissertation. Dr. Econ. Sciences: 08.00.02. Ternopil: TNEU, 512 p. Available at: <http://dspace.wunu.edu.ua/handle/316497/38554>
3. Facts about the automotive industry ACEA. Available at: <https://www.acea.auto/fact/facts-about-the-automobile-industry/>
4. Syed Abdul Rehman Khan, Muhammad Umar, Alam Asadov, Muhammad Tanveer and Zhang Yu. (2022) Technological Revolution and Circular Economy Practices. *A Mechanism of Green Economy*, no. 14(8). DOI: <https://doi.org/10.3390/su14084524>
5. The MaterialLoop Project: Turning Old Into New. Nadia Riaz-Ahmed. Audi AG. Ingolstadt 2024. Available at: <https://www.progress.audi/progress/en/turning-old-into-new-with-the-materialloop-project.html>
6. BMW Group Report 2023. Manuela Heumann. BMW Group. Munich 2024. Available at: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/attachment/T0440520EN/613262>
7. Changenow 2024: Renault Group And The Future Is Neutral Accelerate In The Circular Economy. Renault Group. Available at: <https://media.renaultgroup.com/download?pn=ChangeNow%202024:%20Renault%20Group%20and%20The%20Future%20Is%20NEUTRAL%20accelerate%20in%20the%20circular%20economy&picid=233904>
8. Sustainability Report 2023. Mercedes-Benz Group, Stuttgart, 2024. Available at: <https://group.mercedes-benz.com/documents/sustainability/reports/mercedes-benz-sustainability-report-2023.pdf>
9. Škoda Auto's 2023 Sustainability Report. Skoda Storyboard. Prague 2024. Available at: [https://cdn.skoda-storyboard.com/2024/03/Skoda\\_Auto-Sustainability\\_Report-2023\\_EN\\_72a324ed.pdf](https://cdn.skoda-storyboard.com/2024/03/Skoda_Auto-Sustainability_Report-2023_EN_72a324ed.pdf)
10. Carbon footprint report for Volvo EX30. Kristin Fransson, Lorena Huber, Karl-Henrik Hagdahl, Jennifer Davis, Jacob Näslund. Available at: [https://www.volvocars.com/images/v/-/media/Project/ContentPlatform/data/media/sustainability/volvo\\_ex30\\_carbonfootprintreport\\_A4.pdf](https://www.volvocars.com/images/v/-/media/Project/ContentPlatform/data/media/sustainability/volvo_ex30_carbonfootprintreport_A4.pdf)