

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет

Кафедра геології та екології

**КВАЛІФІКАЦІЙНА
(МАГІСТЕРСЬКА) РОБОТА**

зі спеціальності 101 Екологія ОПП Екологія

на тему:

**«Дослідження та прогнозування негативного впливу на довкілля
використання геліоенергетичних установок в селітебних зонах
Німеччини»**

Виконала магістрант групи ЕО-23м

Медведев Михайло Едуардович

Науковий керівник

доктор біологічних наук

Бондаренко Анатолій Миколайович

Кривий Ріг

2024

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Кафедра геології та екології

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

за ступенем вищої освіти «Магістр»

зі спеціальності 101 Екологія ОПП Екологія

Тема роботи

«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА
ДОВКІЛЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК В
СЕЛІТЕБНИХ ЗОНАХ НІМЕЧЧИНИ»

Виконав

магістрант групи ЕО-23м

Михайло МЕДВЕДЄВ

Науковий керівник

Анатолій БОНДАРЕНКО

Нормоконтролер

В. о. завідувача кафедри

Світлана ПАНОВА

Кривий Ріг

2024

Криворізький національний університет

Гірничо-металургійний факультет

Кафедра геології та екології

Другий (магістерський) рівень вищої освіти

Спеціальність: 101 Екологія ОПП Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ В. о. завідувача кафедри

_____ Світлана ПАНОВА

«_19_» _____ 12 _____ 2024__ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну (магістерську) роботу Медведєв Михайло Едуардович

**Тема: «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НЕГАТИВНОГО
ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ВИКОРИСТАННЯ
ГЕЛІОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК В СЕЛІТЕБНИХ ЗОНАХ
НІМЕЧЧИНИ».**

Затверджена наказом по КНУ №

__42с__ від «22» _____ 01 _____

20__24__ р.

Термін подання здобувачем закінченої

роботи: «19» _____ 12 _____ 20_24__ р.

Вихідні дані по кваліфікаційній магістерській роботі:

4. Зміст пояснювальної записки:

Наказ №42с

5. Перелік графічного матеріалу:

7. Календарний план:

Етапи роботи	Термін виконання
Оцінка потенційних корисних та негативних навантажень роботи геліоенергетичних систем для навколишнього середовища	17.05.2024
Опис та аналіз ряду технічних можливостей геліоенергетичних установ	11.09.2024
Висновки з проведеної роботи	12.09.2024

Дата видачі завдання «_22_»

_____04_____ 20_24__ р.

Завдання видав

науковий керівник

Анаталій БОНДАРЕНКО.

Завдання отримав

магістрант

Михайло МЕДВЕДСЬ.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота: 56 сторінок, 4 таблиці, 25 малюнків,
37 літературних джерел.

Мета даної роботи: Аналіз з подальшим вивченням методологічного та теоретичного планування засад і розробок геліоенергетичних систем.

Для виконання установленої мети необхідно розібрати ряд завдань, а саме:

- 1) Оцінка потенційних корисних та негативних навантажень роботи геліоенергетичних систем для навколишнього середовища;
- 2) Опис та аналіз ряду технічних можливостей утилізації геліоенергетичних установ.

Предмет дослідження: Селітебні зони, що піддані потенційному негативному та корисному навантаженню геліоенергетичних установ.

Об'єкт дослідження: геліоенергетичні установи

Згідно з першою главою були проаналізовані потенційні корисні та негативні навантаження роботи геліоенергетичних систем навколишньому середовищу. Друга глава була присвячена опису та обговоренню технічних можливостей геліоенергетичних установ Третя глава присвячена аналізу методологічних процесів раціональної та доцільної переробки геліоенергетичних установ в межах переробного процесу

ГЕЛІОЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВА, ПОТЕНЦІЙНЕ КОРИСНЕ ТА НЕГАТИВНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, СЕЛІТЕБНА ЗОНА, ПРОЦЕС ПЕРЕРОБКИ

ВСТУП

Актуальність досліджуваної теми: За сучасних умов стабілізації екологічного сталого розвитку екологічних мереж у світі, а зокрема і у Європі, стала набирати оберти доцільність раціональної утилізації використаних систем, а саме геліоенергетичних установ, що у свою чергу

необхідно утилізувати з максимальною ефективністю задля повторного використання у майбутньому для уникнення негативного впливу на довкілля геліоенергетичними установами. З економічної точки зору, багаторазова утилізація одних і тих самих систем, може приносити потенційні прибутки у багато разів більші, ніж розроблення нових систем з найдешевших компонентів, що виправдовує витрачені сили на переробку та вилучення важливих елементів з геліоенергетичних установ.

Мета роботи: Передусім мета роботи являється розроблення комплексного підходу до аналізу щодо покращення екологічних ситуацій та становища навколишнього середовища в цілому через такі шляхи, як: ефективна утилізація та переробка геліоенергетичних установ та їх відходів, включаючи вже відпрацьовані геліоенергетичні установи, літієво-іонного акумулятора та його супутніми елементами. Основа задуму задля цієї роботи становить вивчення та аналіз шляхом оцінювання сучасними методами утилізування для подальшого збереження та використання у подальшому цінних елементів та інших компонентів, а також зменшення забруднення від нераціонального використання використаних компонентів установ, що у свою чергу дасть змогу контролювати увесь процес установ, від створення до утилізації непотрібних елементів системи.

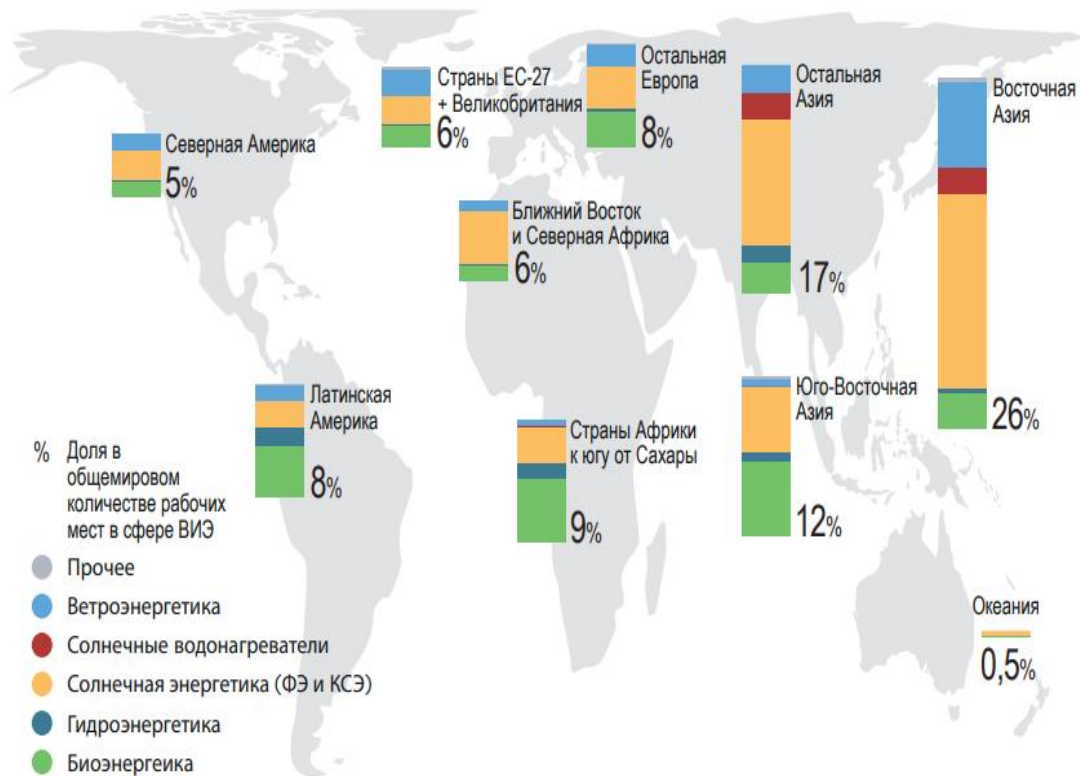
Задля виконання необхідних задач, що були поставлені, як ціллю дипломної роботи, перш за все треба дотриматись виконанню задач, а саме:

- 1) Дослідження світового кейсу процесу утилізації непотрібних компонентів геліоенергетичних установ, а також інших компонентів, як, наприклад, літієво-іонного акумулятора, шляхом визначення більш раціональної методики з утилізації елементів системи;

- 2) Екологічна та економічна доцільність використання геліоенергетичних установ у зв'язці з літійо-іонним акумулятором.

РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНИХ КОРИСНИХ ТА НЕГАТИВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ РОБОТИ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВ ДЛЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

У сучасних тенденціях розвитку енергетичного сектору, які розвиваються у геометричній прогресії, постає питання з використання джерел, що відновлюють енергію за мінімальні фінансові та екологічні збитки.

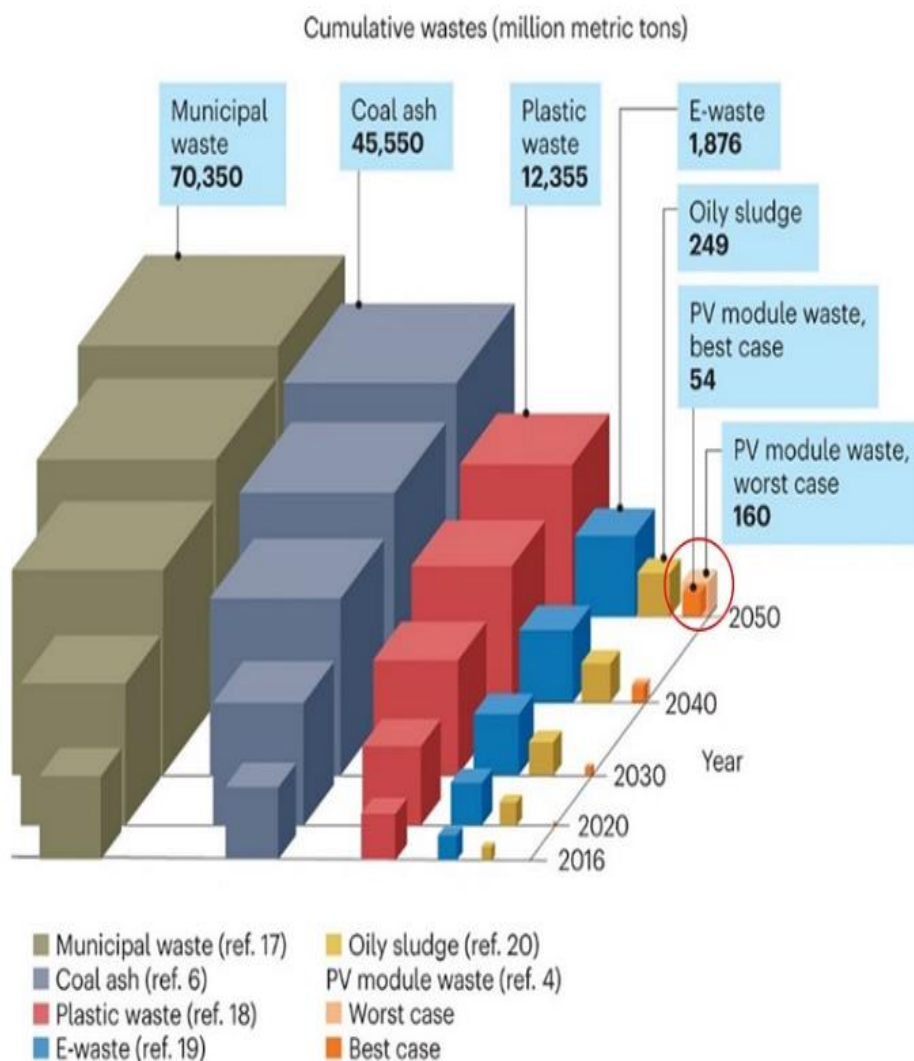


Примечание. «Прочее» включает геотермальные и приливно-волновые ресурсы.
 КСЭ = концентрированная солнечная энергия; ЕС = Европейский союз;
 ФЭ = фотоэлектрический.

Мал.1 Доля рабочих місць у сфері відновлювальних джерел енергії до 2050 року у світі

Згідно з малюнком, можна побачити, що доля, яка випадає на країни Європи, становить 14 відсотків робочих місць, що становить великий обсяг міжнародного трафіку з відновлювальної енергії, зокрема й геліоенергетичних установ, які мають велику роль у цій сфері з відновлювальних джерел енергії[1].

Однак, настільки швидке зростання геліоенергетичних установ має й негативну сторону медалі, а саме акумуляцією використаних компонентів геліоенергетичних систем, а також літєво-іонного акумулятора, який має прямий зв'язок із роботою усєї геоліоенергетичною установою в цілому.



Мал. 2 Акумуляція відходів з фотоелектричних модулів до 2050 року у світі

Як ми можемо бачити на малюнку, кількість відходів з фотоелектричних модулів збільшиться у рази до 2050 року. Тобто, при збільшенні виробничих потужностей, закономірно будуть збільшуватись й негативні наслідки у вигляді відходів тих самих геліоенергетичних установ у всьому світі[2].

Відновлювальна енергетика є багатообіцяючою альтернативою енергетиці на основі викопного палива, але її розвиток може вимагати складного

набору екологічних компромісів. Нещодавнє збільшення сонячних енергетичних систем, особливо великих централізованих установок, підкреслює терміновість розуміння їх взаємодії з навколишнім середовищем. Узагальнюючи літературу з багатьох дисциплін, ми розглядаємо прямі та непрямі впливи на навколишнє середовище - як корисні, так і несприятливі - розвитку сонячної енергетики в комунальному масштабі, включаючи вплив на біорізноманіття, землекористування та зміни ґрунтового покриву, ґрунти, водні ресурси та здоров'я людини. Крім того, ми розглядаємо зворотний зв'язок між інфраструктурою комунальних масштабів та взаємодією суші та атмосфери та потенціал комунальних систем для пом'якшення зміни клімату. Деякі характеристики та стратегії розвитку комунальних систем мають низький вплив на навколишнє середовище порівняно з іншими енергетичними системами, включаючи інші відновлювальні джерела енергії.



Мал.3 Встановлення фотоелектричних модулів у межах місцевої інфраструктури

Відновлювальна енергетика зростає, головним чином для того, щоб зменшити залежність від обмежених запасів викопного палива для пом'якшення кліматичних та глобальних змін навколишнього середовища. Виробництво електроенергії з сонячного світла безпосередньо (фотоелектричні) і опосередковано (концентрація сонячної енергії) протягом останнього десятиліття експоненціально зростає в усьому світі. Це не дивно, оскільки сонце може забезпечити понад 2500 терават (ТВт) технічно допустимої енергії на великих ділянках земної поверхні, а технології сонячної енергії більше не є непомірно дорогими. Фактично, технологія сонячної енергії на кілька порядків затьмарює потенціал інших технологій відновлювальної енергії, таких як енергія вітру та біомаси. Крім того, сонячна енергія має кілька позитивних аспектів - зменшення викидів парникових газів, стабілізація деградованих земель, підвищення енергетичної незалежності, можливості працевлаштування, прискорення електрифікації сільської місцевості та покращення якості життя в країнах, що розвиваються.



Мал.4 Вид згори на поле фотоелектричних модулів

Загалом технології сонячної енергії поділяються на дві широкі категорії: фотоелектричні (PV) і концентровані сонячні електростанції (CSP).

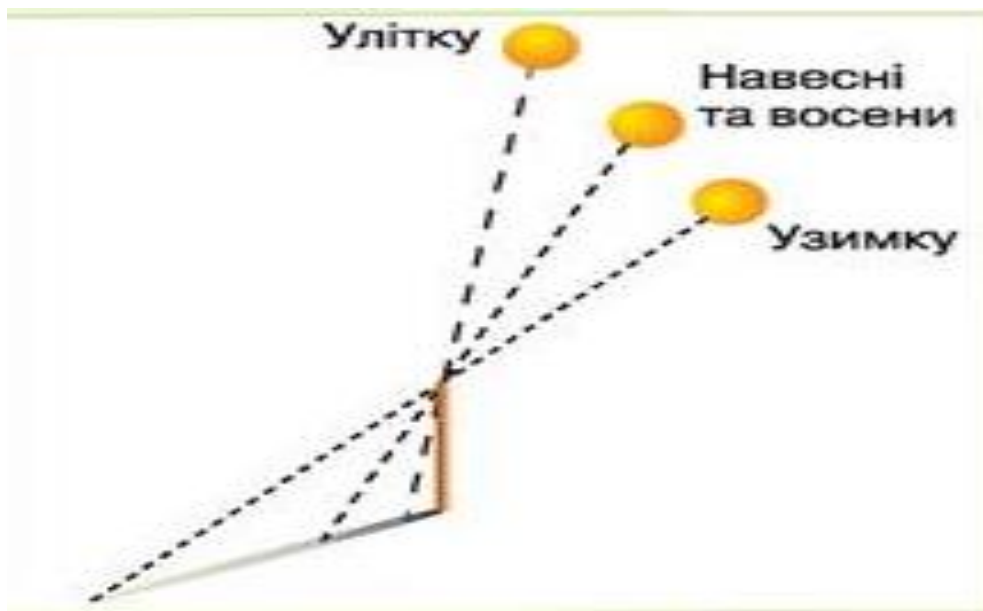


Мал. 5 Візуальний стан концентрованої сонячної електростанції



Мал.6 Візуальний стан фотогелектричної сонячної електростанції

Фотоелектричні елементи перетворюють сонячне світло в електричний струм, тоді як CSP використовує відбиваючі поверхні для фокусування сонячного світла в промінь для нагрівання робочої рідини в приймачі.



Мал. 7 Візуальний опис залежності куту нагрівання від пори року

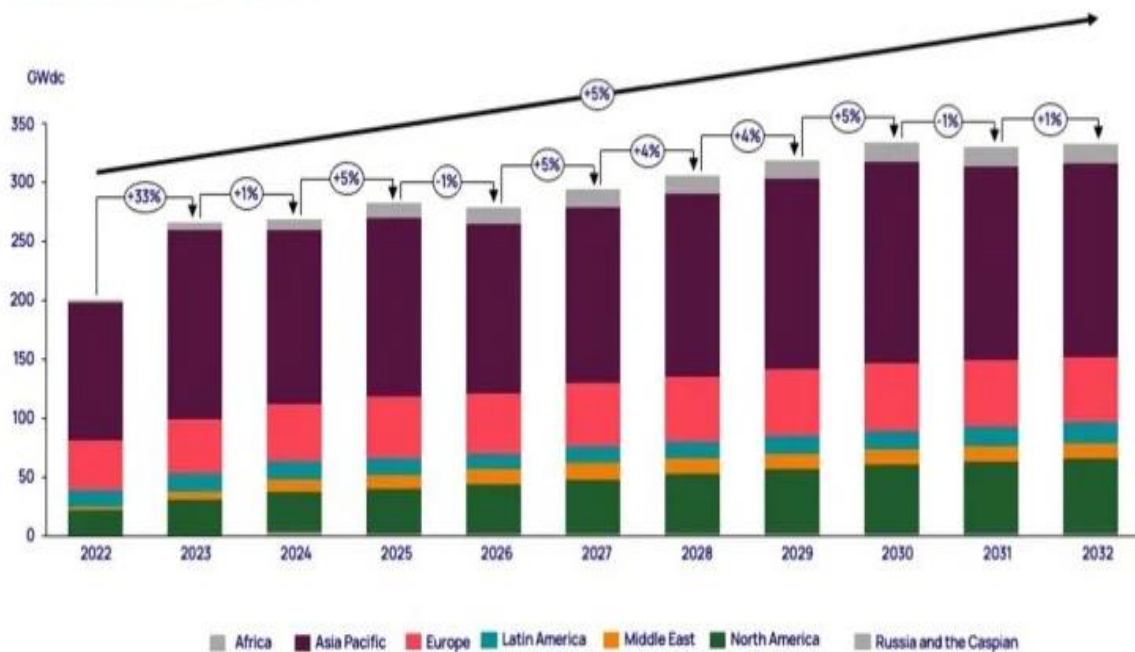
До таких дзеркальних поверхонь належать силові вежі геліостатів (плоскі дзеркала), параболічні жолоби (параболічні дзеркала) і блюдо Стірлінга

(чашоподібні дзеркала). Розмір і розташування сонячної електроустановки визначає, чи буде вона розподіленою чи з комунальними спорудами. Вони можуть функціонувати автономно від електромережі та часто інтегровані в архітектурне середовище (наприклад, на дахах житлових будівель, комерційних чи державних будівель, сонячні системи підігріву води, портативні пристрої на полі бою та наметові щити. Розподілена сонячна енергія розюче контрастує з підприємствами сонячної енергетики загального масштабу (USSE), оскільки останні мають відносно більший ефект масштабу, високу потужність (зазвичай > 1 МВт) і географічно централізовані - іноді на великих відстанях від місця споживання енергії. І далеко від населених пунктів. У сполучених штатах сонячна енергетика стабільно зростає протягом останнього десятиліття та стрімко зростає в останні роки. Потужність USSE в цій країні зросла в чотири рази в 2010 році порівняно з 2009 роком, тоді як як житлова, так і нежитлова потужність зросла більш ніж на 60% за той самий період. Подібне зростання USSE також спостерігалось в Австралії, КитаїЮ Німеччині, Індії, Італії та Іспанії.

Як парадигма чистої та стійкої енергії для використання людиною, огляди впливу сонячної енергії на навколишнє середовище датуються 1970-ми роками. Наприклад, Vovins запропонував концептуальну основу, за якою позиція енергетичної схеми вздовж градієнта від м'якої (доброякісної), до жорсткої (шкідливої) визначається енергетичною стійкістю (або відходами) і збереженням (або порушенням) навколишнього середовища для його повне перетворення з вихідної форми на кінцеву форму кінцевого використання. Останні огляди впливу систем сонячної енергії на навколишнє середовище наголошують на фундаментальних елементах життєвого циклу (впливи на навколишнє середовище вище та нижче за течією, пов'язані з розвитком) або зосереджені на конкретних регіонах

(наприклад, Сербія) чи фауни інтерес. Спостережуване збільшення USSE та дослідження, що з'ясовують їх екологічні властивості, підкреслюють важливість розуміння взаємодії навколишнього середовища, пов'язаної з розвитком сонячної енергії, особливо в регіональному та глобальному масштабах, і того, як ці впливи можуть зменшувати, посилювати або взаємодіяти з рушійними силами глобальних екологічних змін.

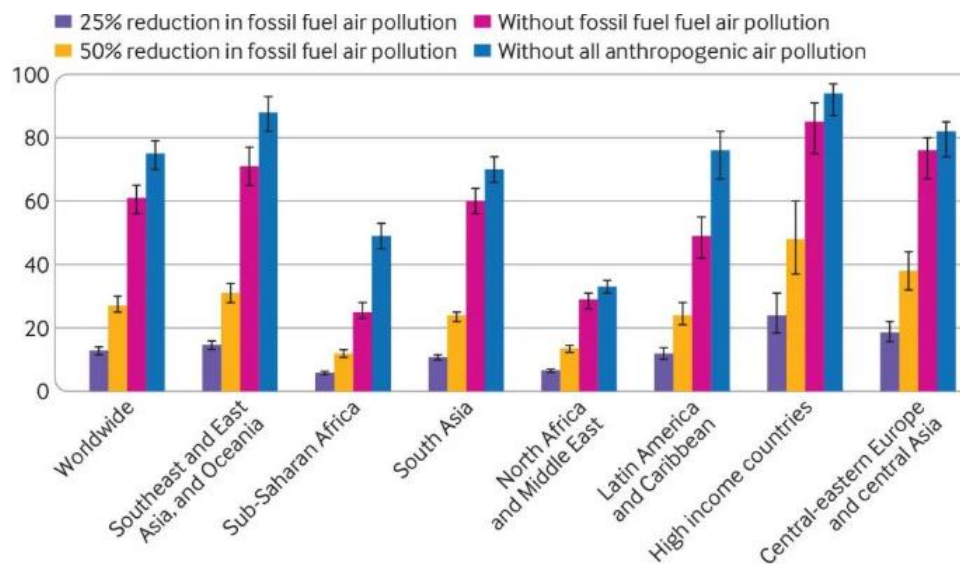
Global solar PV installations: China's share of buildout will fall to 30% by 2032 amid surging buildout in the US



Мал. 8 Тенденція глобального потенційного розвитку фотоелектричних модулів

Вплив сонячних енергетичних систем комунального масштабу на навколишнє середовище (повний перелік систем USSE може відбуватися з різною швидкістю та величиною протягом усього життєвого циклу (тобто будівництва, експлуатації та виведення з експлуатації) електростанції USSE. Спираючись на експерименти, що оцінюють прямий і непрямий вплив систем USSE, і дослідження, що оцінюють процеси, які порівнюються за схожістю з діяльністю USSE, ми обговорюємо впливи, пов'язані з біорізноманіттям, використанням і споживанням води,

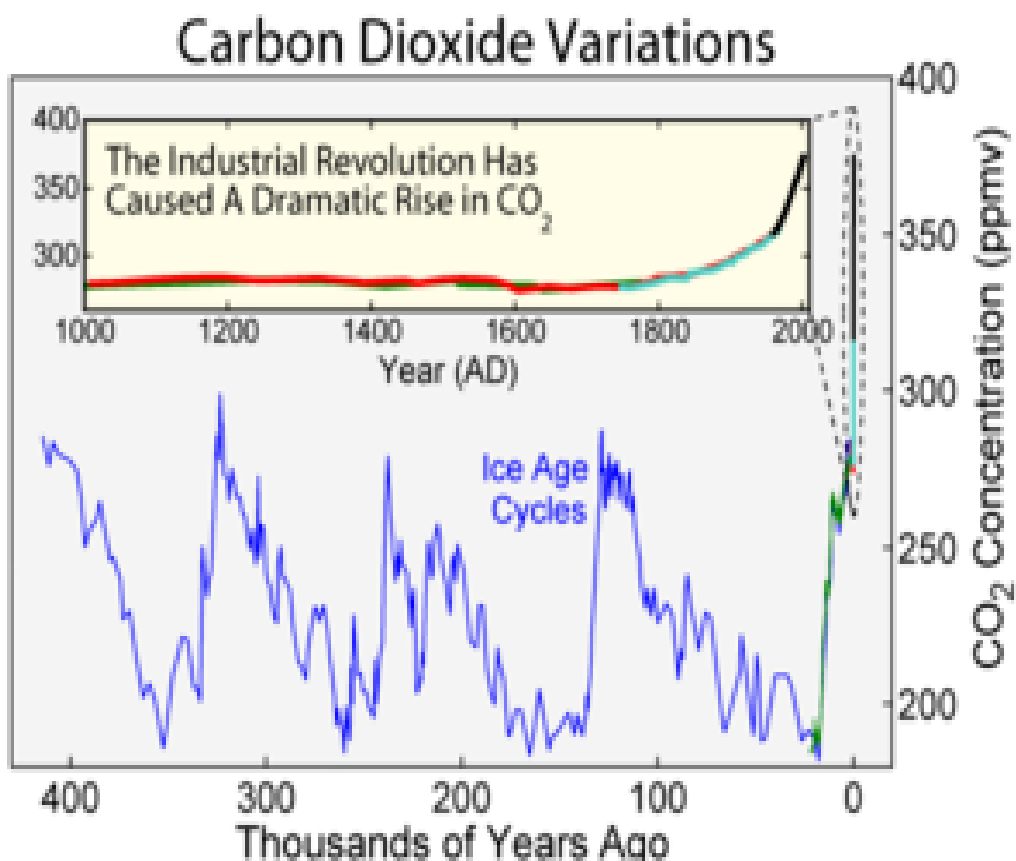
грунтами та Сонячна енергія загального масштабу, взаємодія суші та атмосфери та зміна клімату Оцінки впливу USSE на взаємодію суші та атмосфери, особливо тих, що мають кліматичні зворотні зв'язки, зростають. Незважаючи на те, що існує два основних типи сонячних технологій (тобто PV та CSP), останні дослідження атрибутів наземної атмосфери USSE зосереджені в основному на PV, враховуючи їх відносно ширше розгортання в усьому світі (65 ГВт PV проти 1, 5 ГВт CSP) Можливості попутної вигоди сонячної енергії в комунальному масштабі. Сонячна енергія розглядається також як особливо привабливий варіант пом'якшення кліматичних змін. Очевидні переваги сонячної енергії, такі як використання сонця, а також зменшення забруднення повітря та води викопним паливом, можуть бути доповнені додатковими можливостями спільної вигоди для навколишнього середовища. Можливості включають, але не обмежуються використанням деградованих земель, спільним розміщенням.



Мал. 9 Світова частка з видобування палива

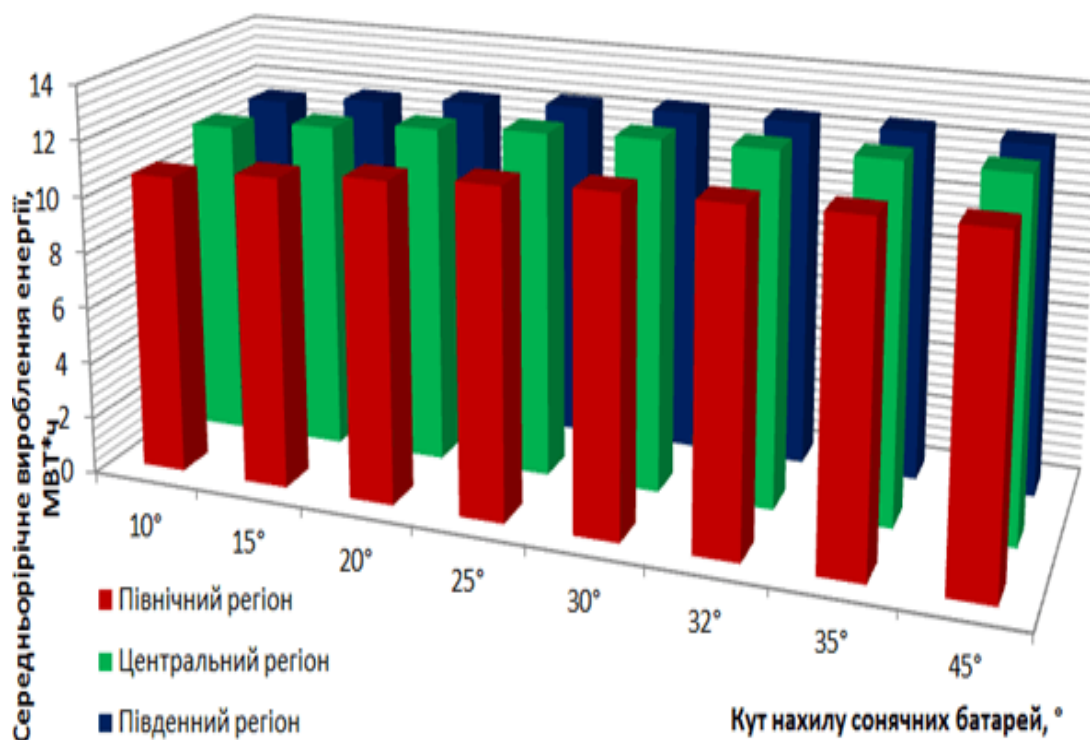
Дозволи та нормативні обмеження для USSE залежать від властності на землю (наприклад, державна чи приватна земля), екологічних характеристик (наприклад, непорушена чи раніше деградована, критичне

середовище існування для рідкісних видів) і культурного значення. З точки зору громадськості, переваги розвитку відновлюваної енергетики слід порівнювати з втратою екологічної функції, втратою публічного доступу та втратою незамінних культурних ресурсів. Системи сонячної енергії загального масштабу в усьому світі зростають, і це розширення спричинено технологічним прогресом, змінами політики та гострою потребою зменшити нашу залежність від вуглецевоємних джерел енергії та викидів парникових газів в атмосферу. Останнім часом серед науковців, розробників сонячної енергетики, землевпорядників і політиків з'явився зростаючий інтерес до розуміння впливу на навколишнє середовище - як корисного, так і несприятливого, від локального до глобального масштабів[3].



Мал. 10 Темпи збільшення вуглецю у атмосфері

Великомасштабні сонячні електростанції розробляються швидкими темпами, вони встановлюються для використання тисяч або мільйонів акрів землі по всьому світу. Проблеми навколишнього середовища, пов'язані з етапами встановлення та експлуатації таких установок, досі не розглядалися в літературі всебічно. Визначаються 32 наслідки цих етапів за такими темами, як інтенсивність землекористування, здоров'я та добробут людей, життя рослин та тваринного світу, геологічного та гідрологічного типів ресурсів та зміна клімату. Електроенергія, вироблена новими сонячними електростанціями, витіснить електроенергію з традиційних технологій виробництва електроенергії. Класифікується вплив за пріоритетністю та вважається, що усі впливи високого пріоритету є корисними. У кількісному вираженні великомасштабні сонячні електростанції займають стільки ж або менше площі на кВт/год, скільки життєві цикли вугільних електростанцій. Видалення лісів, щоб звільнити місце для сонячної енергії, спричиняє викиди CO₂ до 36 г CO₂ кВт/год, що є значним внеском у викиди CO₂ протягом життєвого циклу сонячної енергії, але все ще є низькими порівняно з викидами CO₂ від вугільної енергетики, електроенергії, що становить близько 1100 г CO₂ кВт/год



Мал. 11 Сонячна інсоляція в різних регіонах Європи

Виробництво електроенергії на сонячних батареях швидко розвивається. Поточна встановлена потужність у всьому світі становить понад 22 ГВт і збільшується на 40% на рік. Багато державних або провінційних урядових організацій запроваджують стандарти відновлювальної енергетики, вимагаючи, щоб певний відсоток електроенергії, що постачається комунальними підприємствами, надходив з відновлюваних джерел.

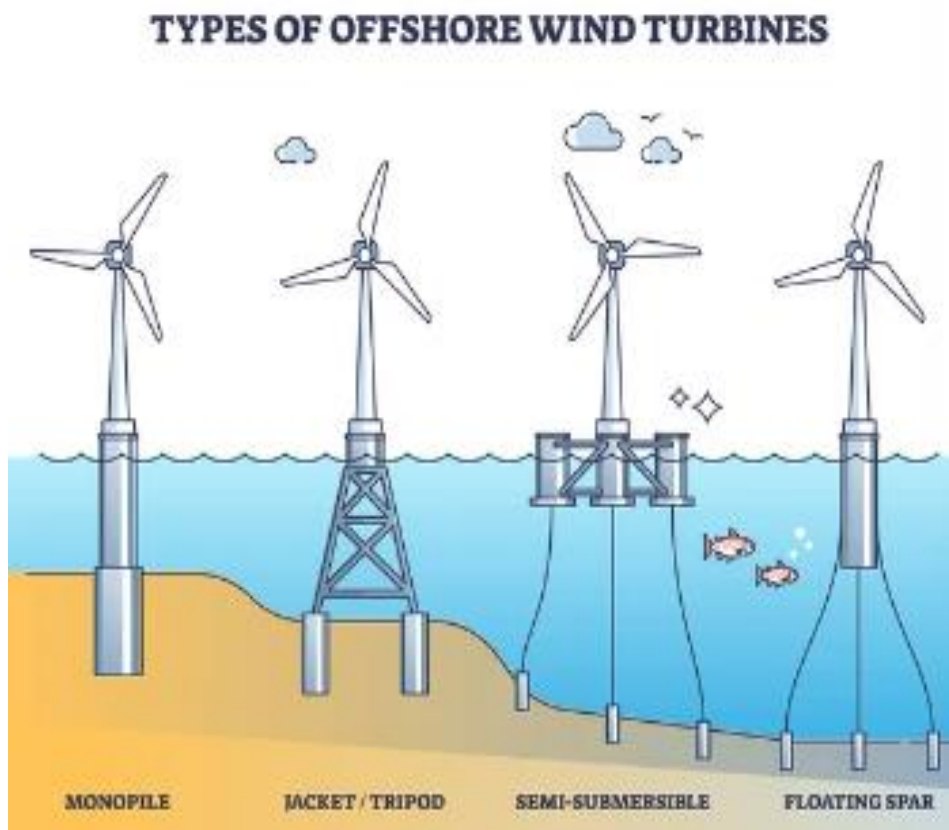
Отже, масштабні сонячні проекти поширюються на широкий спектр місць і екосистем. Наприклад, Нью-Джерсі прагне до 22,5% відновлюваної енергії. Нью-Йорк прагне до 24% відновлюваної енергії і незабаром завершить будівництво фотоелектричної батареї потужністю 37МВт на Лонг-Айленді.

У канадській провінції Онтаріо вже працює сонячна електростанція потужністю 80МВт. Опубліковані дослідження дозволяють добре розуміти вплив на навколишнє середовище від етапів виробництва та завершення

терміну служби сонячного енергетичного обладнання, але це не стосується етапів встановлення та експлуатації, де було проведено мало наукових досліджень.

Ця нестача інформації особливо актуальна для сонячної енергії, яка використовується в лісистих регіонах. Є багато мотивації покращити цю ситуацію. Уроки, отримані під час швидкого розширення вітрових турбін, підкреслюють переваги глибокого розуміння впливу на навколишнє середовище на етапах встановлення та експлуатації.

Крім того, кроком, який обмежує швидкість будівництва великомасштабних сонячних електростанцій, є процес отримання дозволів на етапи встановлення та експлуатації. Затримки у видачі дозволів відбуваються здебільшого тому, що наслідки не були вивчені або не зрозумілі.



Мал. 12 Різновиди вітрових турбін

Більшість опублікованих досліджень впливу сонячної енергії на навколишнє середовище використовують систему оцінки життєвого циклу (LCA) і зазвичай зосереджуються на викидах парникових газів і часу окупності енергії. Менша кількість робіт розглядає інші впливи, наприклад, викиди небезпечних матеріалів, інтенсивність землекористування, використання води, вплив на дику природу та ефект альбедо.

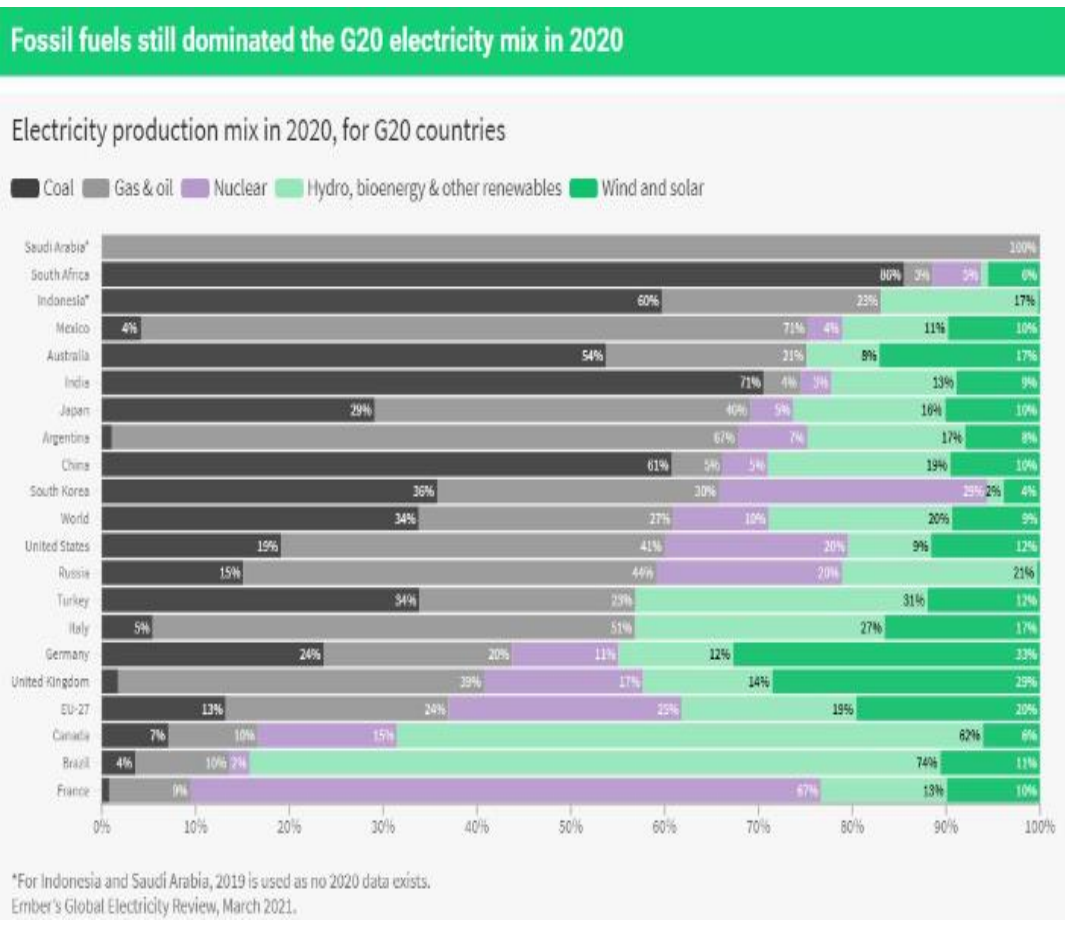
Метод LCA детально описує масові та енергетивні потоки протягом життєвого циклу продукту, від видобутку сировини до виробництва необхідного обладнання, до етапів встановлення та експлуатації протягом життєвого циклу приділяли мало наукової уваги. Кілька існуючих досліджень фази операції, є короткими і не містять кількісної інформації. Кілька інформативних заяв про вплив на навколишнє (EIS) були опубліковані за останні роки, особливо відома програма BLM США та DOE. Програмна заява про вплив на навколишнє середовище (PEIS). Оскільки в найближчі роки десятки тисяч акрів США планується засвоїти під сонячну енергетику, вплив на навколишнє середовище від етапів встановлення та експлуатації заслуговує всебічного дослідження та розуміння. Наприклад, найновіші результати LCA для викидів CO₂ становлять 16-40 г CO₂ кВтгод, але ці цифри не враховують викиди CO₂, які виникають, якщо електростанція встановлена в лісистому регіоні, де у разі видалення рослинності під час монтажу потрібно розглянути.

Крім того, щодо впливу на дику природу відомий лише один звіт, у якому зібрано первинні дані про вплив сонячної електростанції, наприклад, Ref. Незважаючи на відсутність попередніх досліджень, існує значна потреба в розумінні впливу на навколишнє середовище. Будівництво великомасштабних сонячних електростанцій зараз є вузьким місцем через

необхідні дозволи від місцевих установ, які займаються впливом на навколишнє середовище. Аналіз роботи виконує наступне: визначає впливи, оцінює кожен вплив відносно традиційного виробництва електроенергії, класифікує кожен вплив як корисний або шкідливий і оцінює вплив відносно традиційного виробництва, класифікує кожен вплив встановлення та експлуатації сонячної енергії в різних кліматичних умовах і дають першу картину впливу сонячної енергії в лісистих регіонах.

Сонячні електростанції розробляються в різних місцях і екосистемах, починаючи від лісів Англії, до пустелі в Каліфорнії, до майже тропічних місць у флориді та інших місцях. Вплив сонячної електростанції на навколишнє середовище змінюється залежно від її розташування. Цьому розділі ми описуємо відповідні характеристики розташування установки, класифіковані за біомами як ліси, луки, пустельні чагарники, справжні пустелі та сільськогосподарські угіддя. Технології виробництва електроенергії найкраще порівнювати за допомогою методів LCA із узгодженими та прозорими показниками для кожної категорії впливу.

Метрика - це елемент, який відстежується за допомогою аналізу життєвого циклу (LCA), і містить фізичну одиницю вимірювання, методи збору даних і методи аналізу даних. Для створення точних порівнянь LCA вкрай важливо, щоб показники були максимально об'єктивними та послідовними.



Мал. 13 Енергетичний мікс країн G20

Земна поверхня отримує 1366 Вт/м² прямої сонячної радіації, яка зменшується через атмосферу до максимальної нормальної поверхневої радіації приблизно 1000 Вт/м² на рівні моря в ясний день. Це робить сонце потужним, надійним джерелом виробництва енергії з величезною екологічною перевагою перед звичайними джерелами та певною технічною перевагою перед іншими відновлюваними джерелами енергії залежно від ареалу розташування. Фортифікація геліоенергетичних установ, зокрема, потребує більших технологічних інвестицій, ніж інші процеси будівництва електростанцій, через вплив будь-якого непередбачуваного або знехтуваного фактора ґрунту/землі на послідовність, ефективність та продуктивність системи протягом усього терміну служби. Тому зазвичай потрібні значні зміни ландшафту, такі як

видалення рослинності, вирівнювання землі, ущільнення ґрунту, видалення непотрібних доріг та будівництво основних під'їзних шляхів.

РОЗДІЛ 2. ОПИС ТА АНАЛІЗ РЯДУ ТЕХНІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ УТИЛІЗАЦІЇ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВ

Прайс загальнодоступних кристалічних і тонкоплівкових модулів гарантують максимальне зниження ефективності на 10% за 10 або 12 років і на 20% за 25 років. У найстаріших установках реальне падіння ефективності після 20 років - це ще менше, близько 6-8%. Основна причина видалення модуля з PV енергетичних установок є його механічне пошкодження під час транспортування, монтажу або деградаційний вплив під час його операція. Однак слід зазначити, що механічна стійкість панелей відносно висока. Фотоелектричні системи (PV системи) не утворюють відходів або викидів під час виробництва електроенергії. З іншого боку, фотоелектричні системи повинні бути виготовлені, встановлені та повторно демонтовані в кінці їх роботи термін корисного

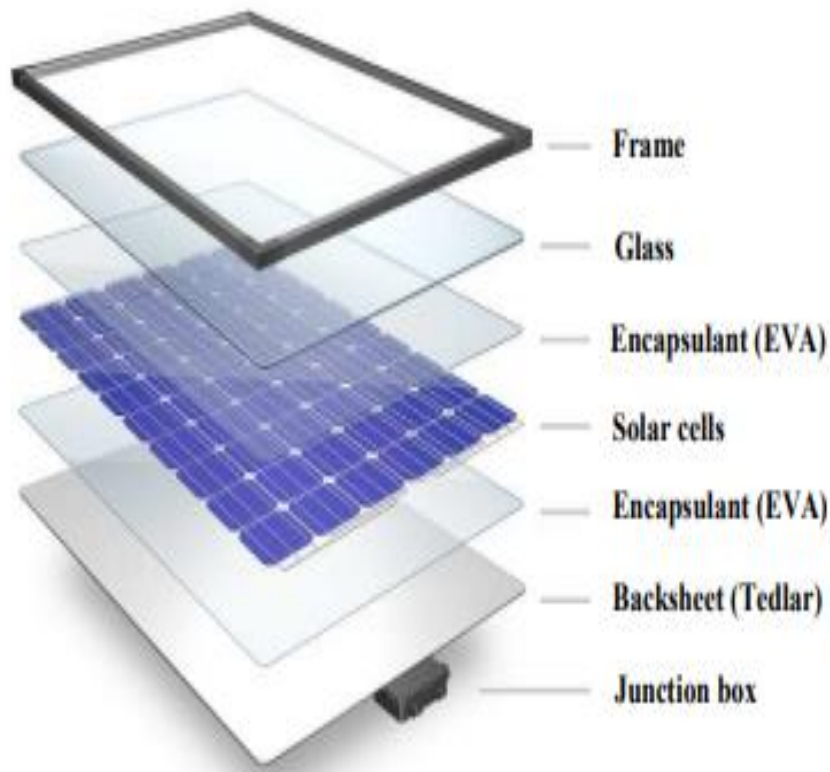
використання, що впливає на навколишнє середовище. Переробка фотоелектричних модулів ще не була настільки важливою для науково-дослідні установи та промислові підприємства.

Термін служби фотоелектричної системи довший, ніж для звичайних товарів і кількості модулів, які підлягають переробці, все ще мало - лише кілька сотень тонн на рік у всьому ЄС. Згідно з Weibull's моделювання, кількість відходів PV може бути оцінена приблизно в 100 000 – 545 000 тонн у Чеській Республіці до 2025. Існує два підходи до переробки - переробка фотоелектричних модулів незалежно від технологія виробництва та фінансування високих інвестиційних витрат. Дослідження щодо програм переробки показує, що до 97% матеріалів, які використовуються під час тонкої Процеси виробництва плівкових фотоелектричних модулів можуть бути вилучені та повторно використані шляхом термічної переробки. Переробка кремнієвих фотоелектричних модулів є більш складною, оскільки необхідно розібрати модулі механічно або вручну.

Така процедура передбачає видалення окремих компонентів і їх подальше використання або подрібнення. Цей процес менш ефективний, ніж термічна рециркуляція, але ефективність рециркуляції все ще може досягти до 95%. Підраховано, що з панелі вагою 20 кг можна переробити до 19 кг корисного матеріалу. Ця кількість більшість, якщо буде розроблено більш ефективний метод переробки кремнію через те, що кремній не відділяється від скла - цей матеріал часто закінчується як відходи. У разі успішної переробки фотоелектричних модулів можуть бути знижені вимоги до майнінгу та обробка необхідних для їх виготовлення елементів. Таким чином, наступний текст стосується матеріали, необхідні для виготовлення фотоелектричних модулів, і можливості їх переробки. Кілька методів переробки будуть

прирівнюватися та оцінюватися, а їхній вплив буде оцінено з екологічної точки зору.

Основні цілі переробки фотоелектричних модулів полягають у зменшенні кількості відходів, що залишаються максимізувати відновлений матеріал для подальшого виробництва. Процес виготовлення виглядає наступним чином: На передній частині фотоелектричного модуля розміщено загартоване скло, Скло має високу ударостійкість і витримує відносно великий град. Плівка EVA (етиленвініланцетат) наноситься на скло, а на ній розміщуються з'єднані фотоелементи. Плівка EVA знову наноситься на фотоелектричні елементи, а задня частина зазвичай ламінована полівінілфторидом. Повітря випускається з простору міжсклом і тедларом, і модуль нагрівається вище плавлення. EVA плавиться в просторі між переднім склом і заднім ламінатом як ущільнювач з'єднання. Модулі обрамлені та закріплені силікованим герметиком в алюмінієві профілі та оснащені розподільна коробка з вихідним контактами. Термін служби високоякісних фотоелектричних модулів на основі кристалічних напівпровідників коливається від 20 до 30 років. Основними переробленими матеріалами з них є скло, алюміній, пластик, фотоелектричні елементи та важкі метали. Сировина, отримана шляхом переробки фотоелектричних модулів.



Мал.14 Структура геліоенергетичної установи

Найбільшу масову частку кристалічних модулів становлять скло (60 – 70%) та алюмінієвий каркас (близько 20%). Для тонкошарових модулів частка скла та алюмінію становить понад 95%. Обидва ці матеріали зазвичай переробляються. Інші металеві матеріали є дорогими товарами варто отримати з відходів. Пластмасу можна переробляти лише частково або взагалі не переробляти.

Алюміній - первинне виробництво фотоелектричних модулів. Алюміній можуть бути легко перероблені з дуже низьким споживанням енергії - 8 МДж/кг (особливо теплової енергії). Вихідність алюмінію наближається до 100%. Алюміній є третім за поширеністю елементом у земній корі. За останніми наявними даними, 7, 5-8, 3% земної кори. Його концентрація в морській воді дуже низька, лише 0,01 мг Al/л. Найпоширеніша порода на основі алюмінію є боксит. Боксити видобувають у великих відкритих шахтах, які часто спричиняють масове заняття території потреба місцевого

розселення та витіснення сільського господарства та природної рослинності. Джерела бокситів частозустрічається в екваторіальних районах. Тому його видобуток здебільшого по'язаний із знищенням великих площ тропіків тропічні ліси. Світові запаси бокситів оцінюються в 28 млрд. Тонн. Оксид алюмінію отримують з видобутий боксит, з якого сам алюміній виробляється електрохімічним шляхом на нафтопереробних заводах при температурі близько 950 С. З чотирьох тонн видобувного бокситу можна отримати близько однієї тонни чистого алюмінію. Один із відходів У великих кількостях при виробництві алюмінію є токсичні відходи, відомі як червоний шлам. Скло або інший прозорий матеріал є основним компонентом, який не можна замінити або уникнути. Скло переробка може зменшити споживання енергії для його виробництва приблизно на 40%. Однак, більш важливим є зменшення вимог до потужностей видобутку та звалищ. У більшості випадків можна використовувати перероблене скло використовується для виготовлення того самого продукту. Вапняно-натрієве скло є найпоширенішим у фотоелектричних модулях. Типове вапняно-натрієве скло складається з 71-75% діоксиду кремнію (SiO_2 , переважно з піску), 12-16% оксиду натрію (Na_2O , з кальцинованої соди, Na_2CO_3), 10-15% оксиду кальцію (CaO з карбонату кальцію, CaCO_3). Кремній не зустрічається природно в чистому вигляді, але тільки в його сполуках. Після кисню кремній є другим найбільш представленим елементом в земній корі. Згідно з останніми доступними даними, кремній міститься в земній корі від 26 до 28%. У морській воді його концентрація відносно низька, лише 3 мг Si/л.

Пластикові компоненти - через їх деградацію через кліматичні умови їх важко переробити. Проте при їх спалюванні можливе використання теплової енергії.

Важкі метали - вони представляють незначні елементи з точки зору ваги, ціни та споживання енергії для PV виготовлення модулів. Свинець становить лише 0,12% ваги фотоелектричного модуля, срібло 0,14%, олово 0,12% і мідь 0,37%. Енергетичні та матеріальні потреби переробки можна порівняти з їх виробництвом первинна сировина. Переробка важких металів необхідна з інших причин. Важкі метали токсичні і тому повинні бути відокремлені від навколишнього середовища. Крім того, особливо у випадку срібла, експлуатація запасів можна очікувати найближчим часом, що призведе до підвищення витрат на видобуток. В даний час у світі всього срібла оцінюються в 540 тис. Тонн. У цю суму також входить срібло, якого зараз немає доступні через недостатню техніку. Вихід срібла з руди в даний час коливається від 40% до 65%. Згідно з прогнозом поточного збільшення темпів видобутку, все срібло буде зібрано приблизно через 17 років. Після цього буде тільки одне джерело срібла. І це з процесів переробки. Світові запаси міді оцінюються в 720 млн. Тонн. Вихід міді з переробленої проводки становить від 78% до 100%, а технологія обробки дуже передова. Фотоелектричні елементи мають незначну частку ваги фотоелектричних модулів. Тим не менш, фотоелементи вносять 50% у вартість модулів і 80% у споживання енергії для їх виробництва. З матеріальної точки зору сонячні батареї залишаються незмінними в кінці терміну служби. З їх переробкою є вже перший практичний досвід. Виробництво монокристалічних зливків здійснюється методом Чохральського. Маленький Затравка монокристала занурюється в розплав кремнію приблизно при 1415 С. Насіння дуже повільно висмикується з плавиться, обертаючись навколо повдовжньої осі. Весь процес проводиться в інертній атмосфері під зниженим тиском. Виробництво полікристалічного зливка легше. Матеріал розплавляють і зливають форму, де вона повільно охолоджується. Охолодження має бути поступовим, і воно контролюється індукційним нагріванням для створення

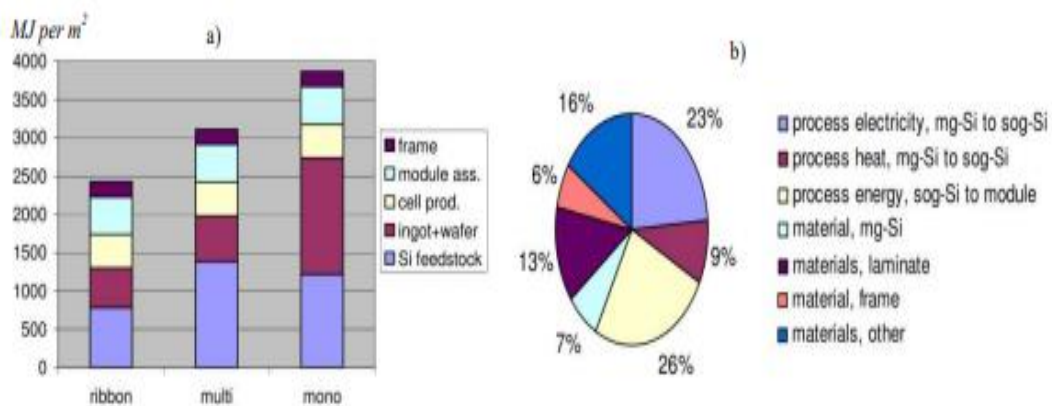
як якомога більше монокристалічного зерна через мінімальні дислокації, напруги тощо.

Вплив фотовольтаїки на навколишнє середовище та енергоспоживання виробництва фотоелектричних модулів. Фотоелектрична технологія вважається екологічно чистою. Тому слід приділити належну увагу надані моніторингу впливу на навколишнє середовище. Впливи на навколишнє середовище за походженням можна розділити на: прямий і непрямий спосіб. Прямі впливи безпосередньо стосуються конкретного виробничого процесу. Це виключає, для наприклад, землекористування, викиди від видобутку первинної сировини, споживання води у виробництві та викиди хімічних речовин. Непрямі впливи в основному пов'язані з викидами від виробництва електроенергії та транспорту. З точки зору стійкості, коефіцієнт використання сировинних ресурсів є також важливо для оцінки їх доступності в майбутньому. Життєвий цикл продукту включає всі фази від видобутку сировини до напівфабрикатів і готової продукції до переробки або фотоелектричного модуля в кінці терміну служби. Затрати сировини, напівфабрикатів продукти, паливо та енергію, відходи та викиди можна контролювати на всіх етапах. Наступні етапи життя цикл можна розглядати у випадку кристалічних кремнієвих фотоелектричних модулів:

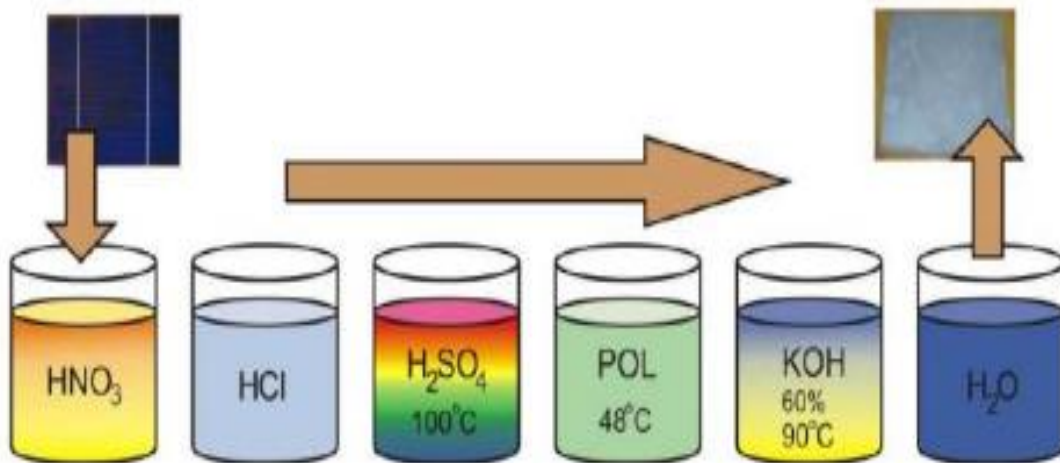
- 1) Видобуток сировини;
- 2) Виробництво металургійного кремнію (mg-Si);
- 3) Виробництво сонячного кремнію (sog-Si);
- 4) Виробництво чушок і плит;
- 5) Виготовлення фотоелементів;
- 6) Монтаж фотоелектричних модулів;
- 7) Монтаж фотоелектричної системи;
- 8) Робота фотоелектричної системи;

- 9) Виробництво електроенергії;
- 10) Демонтаж системи;
- 11) Переробка компонентів.

Також можна розглядати транспортування фотоелектричних модулів. Аналогічний життєвий цикл можна використовувати для інших фотоелектричні компоненти, такі як перетворювач, опорна конструкція та трекер. Виробництво фотоелектричних модулів з точки зору енергоспоживання. Деякі етапи виробництва фотоелектричних модулів є більш вимогливими до енергоспоживання. А саме виробництво $mg-Si$, рафінування Si , виробництво зливків і пластин, виробництво фотоелементів, комплектація фотоелектричних елементів модулі та їх переробка. Інші пункти менш важливі (монтаж системи, енергоспоживання при роботі, демонтаж системи, транспорт). Частка кожної позиції залежить від виробника.



Мал.15 а) Енергоспоживання для кремнієвих модулів та б) Первинне споживання енергії для модулів $mg-Si$



Мал. 16 Хімічна обробка сонячної батареї

Спочатку сонячний елемент занурюють в азотну кислоту, потім у соляну кислоту, сірчану кислоту, гідроксиду калію і в кінці промивають у воді. По-перше, для виробництва фотоелементів використовували відходи кремнію з виробництва мікроелектроніки. Компонентів, тому що вимоги до якості сонячного кремнію, як правило, нижчі, цей ресурс стало недостатньо зі збільшенням потреб у виробництві.

Тому збудовано нові потужності. Енергоспоживання процесів виробництва фотоелементів досягає 70-80% загальної енергії вимоги. Зусилля, спрямовані на зменшення споживання енергії в процесі виробництва, менші ніж зусилля для підвищення ефективності клітин. В результаті енергоспоживання трохи зростає. Енергоспоживання на саму збірку фотоелектричних модулів відносно низьке. Більша частка енергії споживання у виробництві скла, рам, ламінації.

Сама рама становить 8% від загальної кількості споживання енергії. Однак, що стосується легкої та енергозберігаючої переробки, така практика не є необхідним. Споживання кремнію для виробництва клітин зменшується як за рахунок зменшення втрат кремнію в виробництва та підвищення ефективності фотоелектричних елементів або

фотоелектричних модулів. Зниження споживання кремнію як правило, призводить до зниження витрат виробництва.

Поточний стандарт становить від 6 до 10 г/Вт (піковий грам/ват). Значення 2g/W_p вважається технологічним обмеженням. Товщина пластин зменшилася до поточний стандарт 200 мкм. Фотоелектричні елементи також можуть бути виготовлені на пластинах товщиною 180 і 150 мкм. Вафлі з товщиною 80 мкм планується в майбутньому. Тонкі вафлі, однак, вимагають автоматизація. Маніпуляція руками практично неможлива через можливе пошкодження пластин.

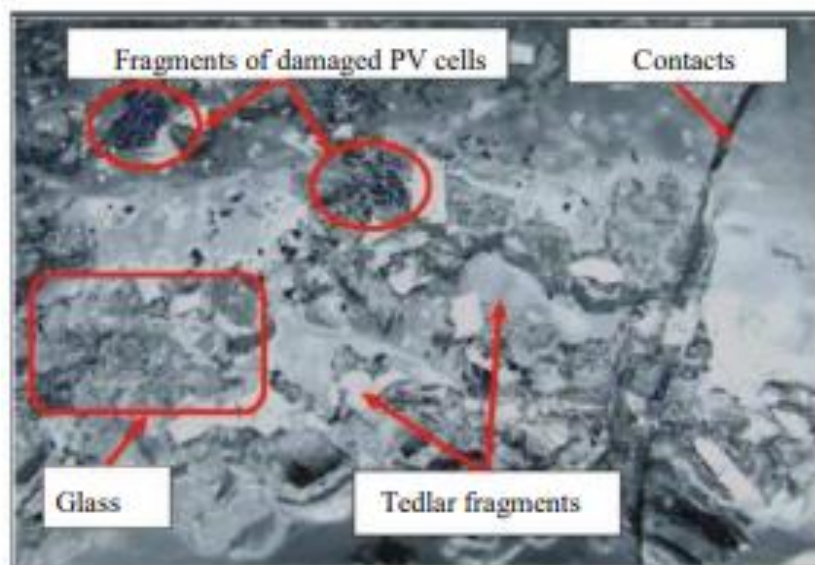
Методи утилізації фотоелектричних модулів і елементів. Переробка фотоелектричних модулів стає все більш важливою у зв'язку з підвищенням попиту на кремній. PV Процес переробки складається з двох основних фаз:

- 1) Розділення фотоелементів. За допомогою хімічної або термічної процедури клітини відокремлюються при переробці процес
- 2) Очищення поверхні клітин. Під час цієї фази відокремлені комірки від фотоелектричних модулів очищаються хімічним шляхом або за допомогою лазерні методи. Процес очищення видаляє небажані шари (антиблікове покриття, металізацію та PN-перехід і підготовлена для подальшого використання кремнієва підкладка.

Розшарування фотомодулів також необхідне для процесу переробки. EVA, скло, Tedlar, алюмінієва рама, на цьому етапі сталь, мідь і пластик видаляються та відокремлюються один від одного. У наступному розділі представлені три експерименти для фотоелектричних модулів і переробки фотоелектричних елементів порівняли (хімічні, термічні та механічні методи) разом із лазерним методом отримання кремнієвих пластин. Опис експерименту з хімічної переробки.

Для хімічної переробки були обрані монокристалічні сонячні батареї компанії Solartec. Фотоелектричні елементи розміри 125 x 125 мм. Після відділення комірок від фотоелектричних модулів окремі шари були видалені в певному порядку: передня металізація, задня металізація антиблікові шари та PN-перехід. Основна проблема - вибір правильного складу травильного розчину, його концентрації та оптимальна температура процесу.

Завдяки хімічним процесам вдалося видалити матеріали пошкодженої фотоелементи. The Ефективність хімічного методу виявилася, на жаль, недостатньою. Причиною став відносно тривалий час роботи дія травника і висока вартість розчинників. Для хімічної обробки однієї сонячної батареї потрібно майже двадцять хвилин. Цей метод не підходить для комерційного використання у великих масштабах.



Мал. 17 Процес видалення інкапсульованих фотоелементів за допомогою гідроксиду калію.

Термічна переробка фотоелектричних модулів Було запропоновано кілька методів термічної переробки. Деякі були універсальними, інші підходили лише для окремих типів модулів. У більшості випадків результатом

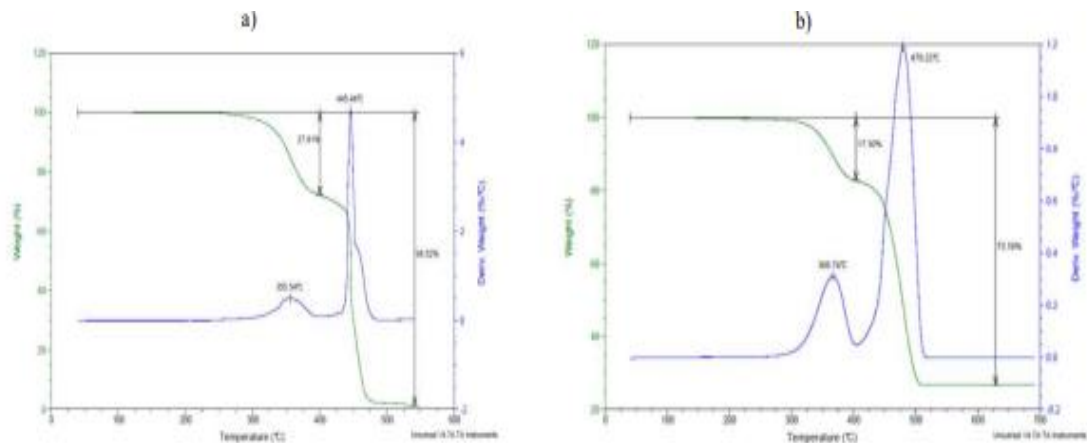
процесу термічної переробки була сировина. Ця стаття перелічує лише два з них. В експерименті використовувалися мінімодулі SOLARTEC SMP 6-180. Виготовлені модулі мають задану кількість комірок і герметично закриті EVA сополімер і тедлар. Сонячні батареї були герметизовані для захисту від кліматичних умов і механічних впливів пошкодження. Сополімерний матеріал EVA покривав обидві сторони клітинок, тоді як Tedlar використовувався на задній частині бік. Передня частина фотоелектричного модуля була закрита склом.

Length [mm]	162
Width [mm]	134
Thickness[mm]	8
Weight [kg]	0.32
Terminal [mm²]	2×0.15
Front glass [mm]	3
Solar cells [mm]	16 pieces, Si (14,6×51,2)
Solar cells encapsulation	EVA (Ethylene) - Vinyl - Acetate)
Rear side	Tedlar
Frame	Aluminium

Табл. 1 Параметри фотомодулів Solartec SMP 6-180

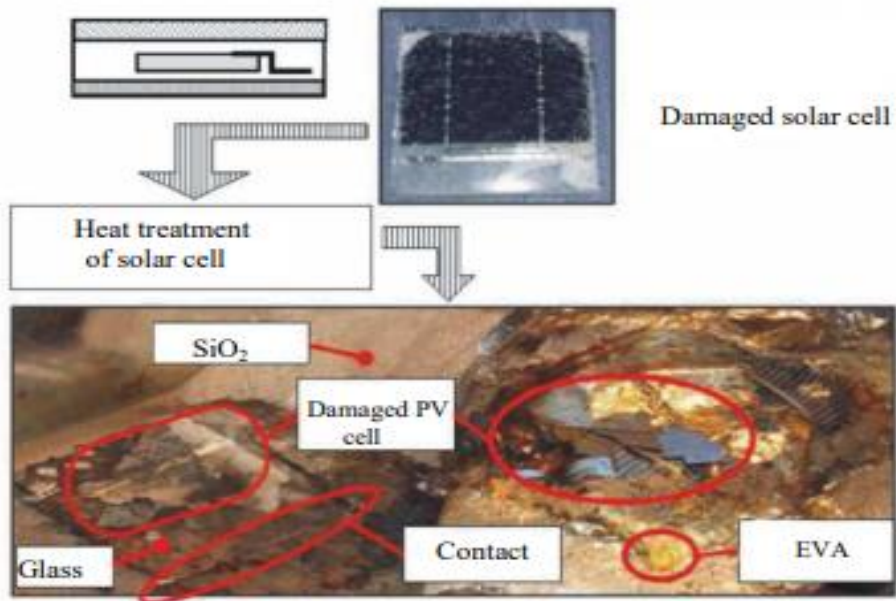
Термографічний аналіз (TGA) проводили на початку експериментів. Термографічний аналіз, або коротко термографіметрія (ТГ), - це аналіз який кількісно контролює зміну ваги (приріст, втрата) вимірюваного зразка. У статичному розташуванні миттєва вага становить вимірюється як функція часу при постійній температурі (ізотермічний метод). Результатом була термографічна крива, яка показувала миттєву вагу зразка в залежності від температура і час. Температури розкладання розділених

пластикових матеріалів і полімерів становили визначається як 445, 44 С, див. Мал. 18 а) а також швидкість нагрівання та максимальна температура 479, 22 С, при якій фотоелектричний модуль нагрівався в спеціальній печі, див. Мал. 18. б).



Мал. 18 а) Термографічне вимірювання плівки EVA, б) термографічне вимірювання фотоелектричної комірки.

Використовували вискотемпературну піч JARA D 03-1F за даними TGA аналізу. Параметри печі: діапазон температур від +30 до +1500 С, точність температури ± 7 С, нахил температури: 1-100 С/хв. Фотомодуль нагрівали в печі 25 хв. Пластмасові матеріали випаровується, і фотоелектричні комірки відокремлюються від скла, див. Мал. 19 і мал. 20.



Мал. 19 Процес термічної переробки інкапсульованого фотоелектричного модуля Solartec.



Мал. 20 Термообробка фотоелектричних модулів

Тривалість процесу була значно меншою порівняно з хімічною обробкою (25 хвилин для всього фотоелектричного модуля). Крім того, не було проблем із розчинниками. Вартість хімічних сполук становить висока,

враховуючи як кількість використаних, так і фактичну вартість утилізації відходів. Недоліком термічного рециклінгу є утворення викидів газів при термічному випаровуванні Сополімер EVA.

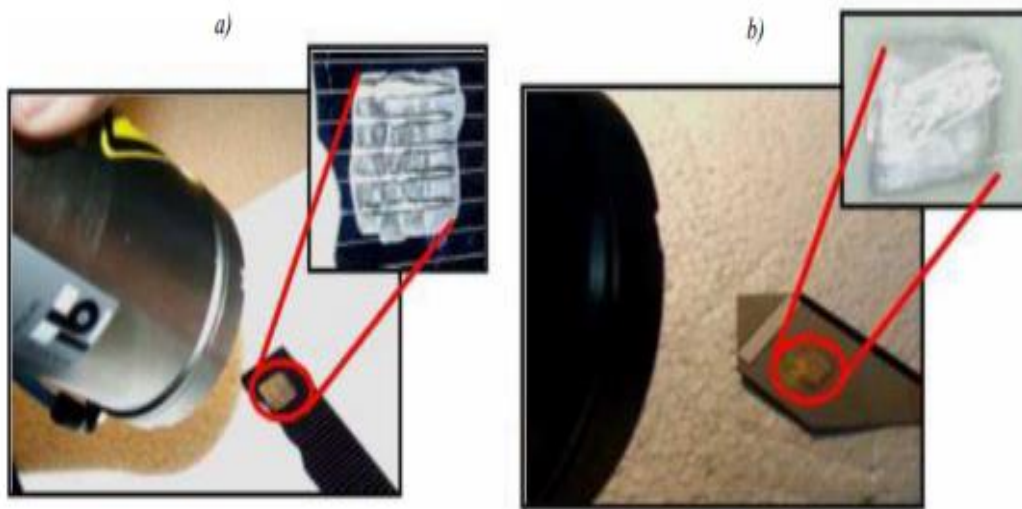
Процес переробки є енерговитратним, але до 85% перероблених елементів можна використовувати повторно і зменшити виробниче енергоспоживання нових фотоелектричних модулів до 70%. Цей метод завдяки своїй простоті та високій ефективності можуть бути використані для комерційної переробки фотоелектричних модулів з кращими результатами, ніж хімічний метод. Іншою можливістю переробки фотоелементів після їх відділення від фотоелектричного модуля є використання лазерного очищення поверхні.

Цей метод був розроблений для отримання чистих кремнієвих підкладок. Лазерна попередня обробка фотоелектричних модулів перед розділенням їх компонентів є дуже успішною технікою особливо в деяких компаніях із переробки фотоелектричних модулів у Німеччині. Лазерний метод порівнювався з хімічним травленням поверхні з попереднього розділу експеримент з неодимовим лазером.

Було вибрано два типи фотоелементів (моно та полікристаличні). Непотрібні шари, такі як металізація алюмінію, антивідблиск і пасивація, були видалені з зразки. Експеримент проводився з використанням імпульсу неодимового лазера з довжиною хвилі та частотою 1064 нм. До 120 Гц. Тривалість імпульсу 10 нс. Енергія пучка досягала 300 мДж на імпульс.

Опромінення лицьової поверхні а тильна поверхня за допомогою такої лазерної енергії створює тепло в локалізованих областях і видаляє небажані шари, див. Мал. 21. Процес видалення шару проводився на

підприємстві Solartec. Точний розкид використовуваних параметрів, на жаль, компанія не вказала.



Мал. 21 Очищення поверхні фотоелемента неодимовим лазером - а) передня сторона, б) тильна сторона фотоелемента.

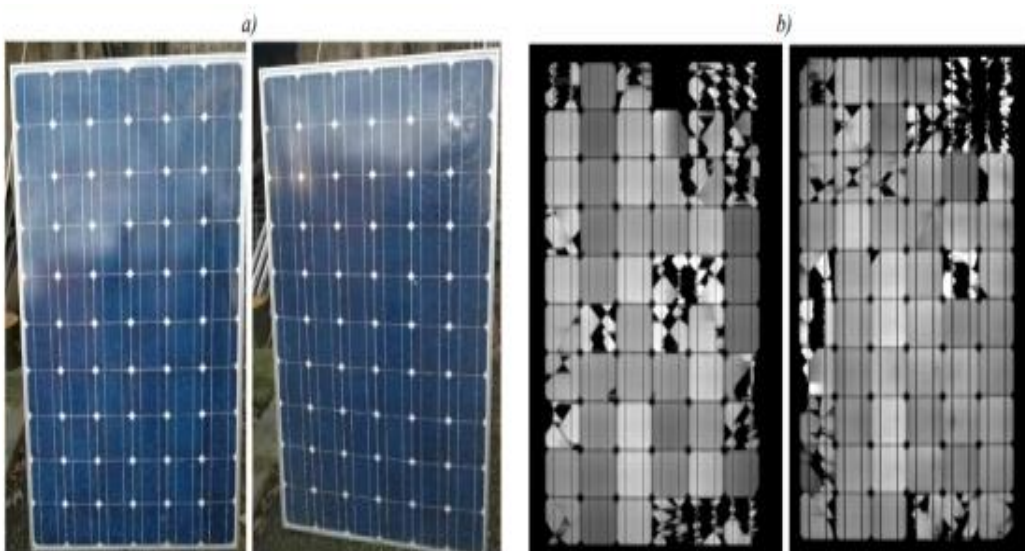
Було встановлено, що хімічна обробка за допомогою описаної вище процедури є набагато більш вигідною, ніж лазерний метод. Лазерний метод дорогий, а процес не дуже ефективний. Час видалення шарів за допомогою лазерного методу становить 1 хв/см². Очистити всю поверхню клітини можна за допомогою хімічної обробки протягом цього часу. Метод механічної переробки використовується для готових фотоелектричних модулів.

Процес переробки включає переважно механічну та гідрометалургійну обробку. Фотоелектричні модулі спочатку подрібнюються в дробарці, а потім подрібнити на потрібні шматочки розміром приблизно 4-5мм. Це пошкоджує ламінацію фотоелектричного модуля способом. Скло відділяється відосколків скла у вібраційній мережі. Відокремлене скло потім промивають.

З точки зору якості виходу, можна отримати кращі результати переробки процеси, які зараз знаходяться на пілотній фазі. Наприклад, комбінації механічних і термічних процесів дозволяють переробляти кристалічні та тонкоплівкові модулі та дають змогу отримати більш цінні матеріали висока врожайність і хороша якість. Осколки чистого скла залишають на переробку в скляній промисловості. Це створює додаткові переваги для навколишнього середовища в наступних трьох основних аспектах:

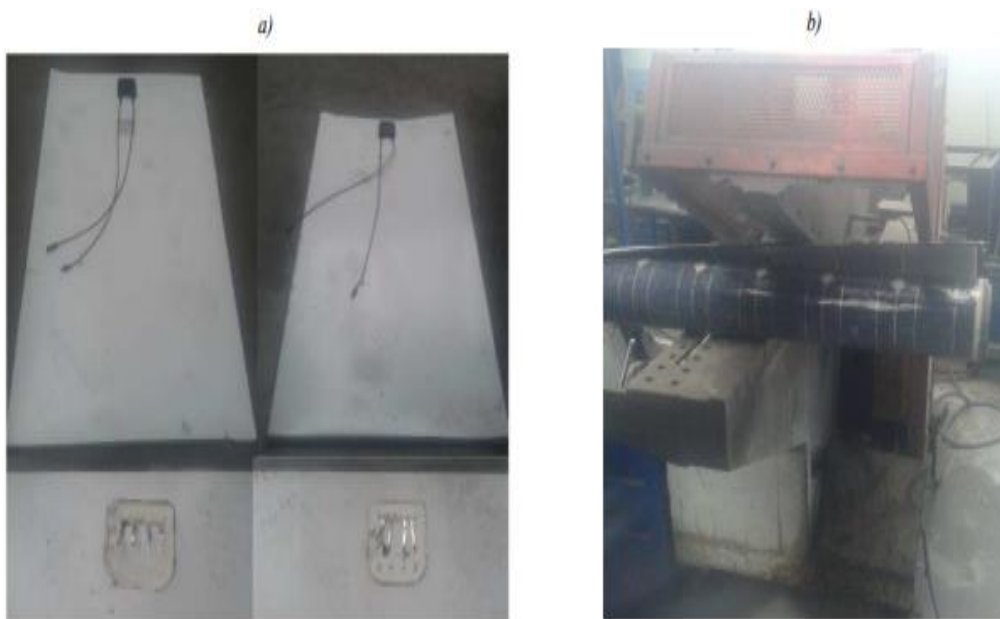
- 1) Перероблені осколки використовуються для заміни оригінального матеріалу скла. Знижується екологічне навантаження і потреби в первинній енергії нижчі;
- 2) Зменшення викидів CO₂ в процесі плавлення. Основний композит для виробництва скла складається, що містять карбонати, такі як вапняк, доломіт, сода/карбонат натрію. Отриманий CO₂ викиди по відношенню до вуглецю, що виділяється з первинних матеріалів, становлять близько 30% від загального CO₂ викиди. Тому вигідно зменшити ці викиди, використовуючи ці викиди, використовуючи осколки скла з вмістом основного матеріалів;
- 3) Зменшення енергії в процесі плавлення. Нижча температура плавлення скла в порівнянні з основним матеріалом призводить до менших витрат енергії в процесі плавлення скла. Потенціал зниження енергії скла знаходиться в діапазоні приблизно від 3% до 10 % осколків скла. Це вважається корисним для зменшення споживання палива та відповідні викиди в процесі плавлення скла. Відходи ламінату: вони екзотермічні під час горіння. Ця енергія може бути використана далі, а може частково замінити виробництво електроенергії та теплової енергії з викопного палива. Переробка розподільних коробок і кабелів: Немає конкретних даних щодо поводження з розподільними коробками або дроти в кінці терміну

експлуатації. Передбачається, що всі пластикові матеріали спалюються в печі для спалювання відходів, а металеві частини, в основному мідні з'єднувачі та кабелі переробляються звичайними методами для цих металів. Два пошкоджені монокристалічні фотоелектричні модулі ASEC-230G6S були відібрані для переробки. Ефективність фотоелектричні модулі коливалися приблизно на 15%; розміри становили 1629 x 989 x 47, 5 мм (висота, ширина, глибина) і вага була 19 кг. Фотоелектричні модулі складаються з шістдесяти сонячних батарей розміром 156 x 156 мм і захищені загартоване антиблікове скло та ламінат EVA. Візуальний огляд виявив дефекти, особливо великі тріщини захисне скло. Обидва модулі були пошкоджені природним впливом. Алюмінієва рама була на обох Фотоелектричні модулі без пошкоджень, а задня захисна плівка не має ознак механічних пошкоджень. Сполучення коробки та з'єднувальні кабелі також були в порядку. На обох модулях вимірювання електролюмінесценції в фотоелектричної лабораторії Технологічного університету Брно, див. Мал. 22.



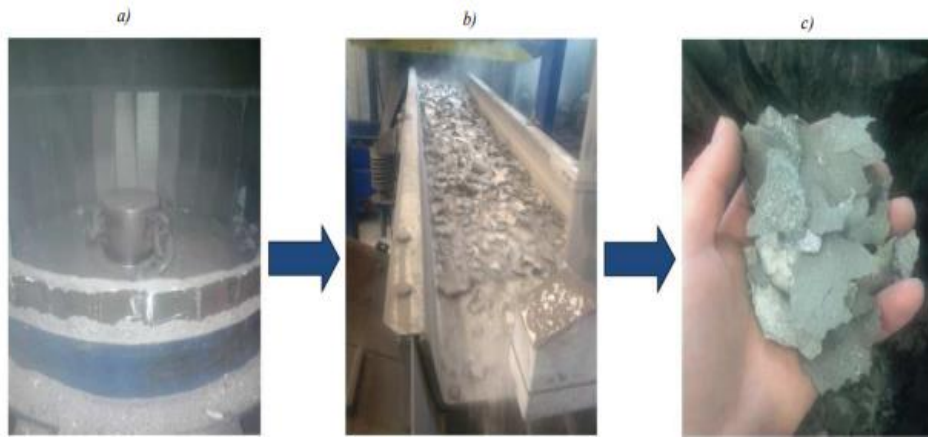
Мал. 22 а) Пошкоджений фотоелектричний модуль номер 1 (ліворуч) і номер 2 (праворуч), б) Електролюмінесцентне вимірювання номера модуля 1 (зліва) і модуль 2 (праворуч).

На першому етапі модулі пройшли механічну обробку та підготовку до переробки. Алюміній Рамки, які були закріплені силіконом і прикручені разом, були видалені з модулів, див. Мал. 23 а). Один алюмінієва рама важила приблизно 3.5 кг. Згодом зняли розподільні коробки.



Мал. 23 а) Зняті алюмінієві рами та розподільні коробки, б) Фотоелектричні модулі розрізані на дві половини

На другому етапі фотоелектричні модулі прокатані та розрізані на дві половини гідравлічними ножицями для кращого подрібнення процесу ланцюговий дробарці, див. Мал. 23 б) Розрізані модулі поміщали на конвеєр, який переміщував їх до ланцюгової дробарки. Ланцюгова дробарка знову подрібнила їх на різні шматки та фракції, див. Мал. 24. Розміри подрібнені шматки залежать від обраних програм подрібнення.



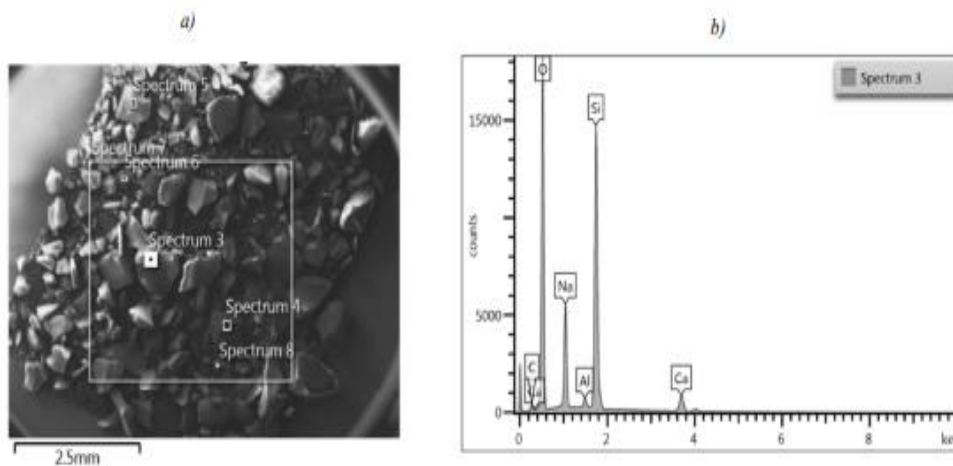
Мал. 24 а) Деталь дробарки, б) Подрібнені фотоелектричні модулі, с) Подрібнений матеріал.

Отриманий матеріал розділяли на окремі фракції за розміром через механічний сепаратор і сита. Три решета поставили одне над одним. Перше сито мало діаметр осередків 11, 2 мм, друге сито, розміщене посередині, мало діаметр вічка 5, 6 мм, а останнє - 1 мм. Індивідуальні розміри фракції відокремлювали один від одного і продовжували для подальшої хімічної обробки з отриманням металів. Найбільшу масу (66, 32 % маси) мали фракції середнього та найменшого розмірів, див. Табл 2. Більшість фотоелектричних модулів складаються із захисного скла, шматки якого разом із кремнієвими частинами є найменшими. Решта подрібненого матеріалу, як пластик, залишається у формі більших шматків.

	Weight [kg]	Percentage share [%]
Total weight of the modules	38.00	100
Aluminium frame	7.00	18.42
The largest pieces of fraction > 11.2 mm	5.30	13.95
The medium pieces of fraction > 5,6 mm	14.20	37.37
The smallest pieces of fraction > 1 mm	11.00	28.95
Connection boxes	0.50	1.31

Табл. 2 Розподіл ваги окремих частин фотоелектричних модулів

Для визначення складу подрібненого матеріалу проводиться спектральний аналіз фракцій менше 1 мм (мал. 25). Більша частина зразка складається з силікатного скла, діоксиду кремнію та кремнію, натрію кальцію та алюмінію, див. Таблицю 3. Інші метали не присутні в подрібненому матеріалі згідно з аналізу, тому що вони були розділені компанією Galmet на попередньому етапі за допомогою електродинаміки сепаратор і хімічний метод.



Мал. 25 а) Фото подрібненого матеріалу з уламками менше 1 мм, б) Спектральний аналіз уламків менше 1 мм.

Element	Weight percentage of total [Wt%]	Sigma - Deviation [Wt%]	Percentage of atoms [%]
C	3.06	0.21	4.89
O	53.81	0.17	64.63
Na	11.28	0.08	9.43
Al	0.88	0.03	0.63
Si	27.19	0.11	18.60
Ca	3.78	0.05	1.81

Табл. 3 Параметри спектра 3.

Наступним кроком у переробці стало хімічне травлення для отримання дорогоцінних металів. Подрібнений матеріал уже був без скла. Весь процес відбувався в нержавіючому реакторі з азотною кислотою. Переробка срібла була цікава з економічної точки зору. Отримання алюмінію і скла майже не оплачував вартість механічних операцій. Проте

з екологічної точки зору так і було вигідно. Сицілій було дуже важко відокремити від дрібної фракції скла (мочною флотацією та електродинамічний сухий метод). Наступні відсотки матеріалів можна заощадити, якщо припустити, що до 500 000 тонн фотоелектричних відходів можна буде переробити до 2025 року, а середня вага одного фотоелектричного модуля становить 20 кг, див. Табл. 4. Значення в таблиці усереднені на основі даних, наданих компанією Galmet під час наших експериментів. EVA, Тедлар і клей не враховуються в розрахунках.

Material	Glass	Al	EVA	Tedlar	Adhesive	Si	Ag	Sn	Zn	Cu	Pb	other
Percentage of material in PV module [%]	74	10.3	6.55	3.6	1.16	3.35	0.17	0.12	0.07	0.57	0.06	0.05
Amount of material in one PV module (max 20 kg.) [kg]	14.8	2.06	1.31	0.72	0.232	0.67	0.034	0.024	0.014	0.114	0.012	0.01
Material yield from PV module waste [%]	95	100	x	x	x	81	50	100	100	100	100	x
Theoretical estimation of saved material by 2025 [tons]	351500	51500	x	x	x	13567	425	600	350	2850	300	x

Табл. 4 Кількість матеріалу, збереженого шляхом переробки фотоелектричних модулів.

ВИСНОВКИ

Причиною експериментів, описаних у роботі, було намагання з'ясувати шляхи задля мінімізації відходів зі старих і пошкоджених фотоелектричних модулів і фотоелементів. За результатами експериментів очевидно, що фотоелектричні модулі, які переробляються термічним методом мають більшу перевагу порівняно з хімічним методом з точки зору тривалості процесу та фінансових витрат. З екологічної точки зору, недоліком термічної обробки є утворення виділення газів при випаровуванні сополімеру EVA.

Можливе пошкодження водою також є недоліком. Однак цей метод можна використовувати для комерційної переробки фотоелектричних модулів, де не висуваються високі вимоги до вихідного матеріалу компонентів. Інші випробування показали, що хімічна обробка є набагато більш вигідною, ніж лазерний метод отримання багаторазового кремнію для виробництва фотоелементів. Лазерний метод дорогий з часом видалення шарів близько 1хв/см². За цей час усю фотоелектричну комірку можна хімічно очистити.

Вирішальне значення в процесі механічної мають використані технології. Головне знати, які пристрої придатні для створення подрібненого матеріалу. Якщо фотоелектричні модулі мають розміри більше 1 x 1 м, необхідно розділити їх на дві частини, тому що ланцюгова дробарка повинна бути в змозі подрібнити матеріал якомога дрібніше. Іншим важливим параметром самої переробки є використання ланцюгової чи

лопатевої дробарки. В ланцюжку дробарки, існує ризик, що шматочки пластику залишаться разом із кремнієм і сріблом. Це призведе до неефективного видобутку необхідних матеріалів.

У фотоелектричних модулях використовується кілька типів скла, і їх подрібнення може призвести до пошкодження дробарки та вищі експлуатаційні витрати. З фінансової точки зору це також залежить від того, чи є сепаратор на кінець лінії, що відокремлює скло або пластик від подрібненого матеріалу. У співпраці з компанією Galmet, було виявлено, що дуже важко отримати метал із суміші перероблених фотоелектричних модулів зі склом.

В у випадку з сумішшю без скла весь процес пройде швидше, легше і дешевше. Додатково скло має проходити етапи хімічного травлення та безпосередньо доставляється на скляний завод чи будівельну промисловість як навопнювач.

З усіх проаналізованих методів переробки механічна переробка, незважаючи на певні недоліки, видається найбільш придатний для використання. У процесі механічної переробки подрібнений матеріал, що містить срібло до 0,07 %, не економічно вигідно згодом переробляти хімічним способом. Фінансовий прибуток від вмісту срібла навіть не покриває витрати на основні операції з переробки.

З економічної точки зору кінцева операція повинно відбуватися механічне розділення алюмінію і скла. Найбільші витрати при переробці складають дроблення та сортування фотомодулів, утилізація стічних вод і отримання та очищення срібла. На основі наданих даних компанією Galmet кількість зекономленого матеріалу завдяки фотоелектричному модулю до 2025 року в Чехії також було теоретично розрахована.

Переробка може заощадити до 351 500 тонн скла, 51 500 тонн алюмінію, 13 567 кремнію та 425 тонн срібла. Процес переробки фотоелектричних модулів для повторного використання у виробництві фотоелектричних модулів є тягарем для навколишнього середовища, але виробництво фотоелектричних модулів і первинної сировини було б ще більшим екологічним тягарем.

Результати процесів розділення фотоелектричних елементів і видалення небажаних шарів свідчать про те, що переробка фотоелектричних модулів є бажаним і може призвести до зменшення навантаження на навколишнє середовище та може зменшити видобуток сировини.

ЛІТЕРАТУРА

