

## 2 ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ

**Сила вітру** – це одне з найстародавніших використовуваних людством джерел енергії, яке, безперечно, є одним з найбільш економічних. Прості вітряки були широко поширені в Китаї 2200 років тому. На Середньому Сході, в Персії, близько 200 року до н.е. почали використовуватися вітряки з вертикальною віссю для перемелювання зерна. В XI столітті в Європі почали поширюватися вітряки, що завозилися мандрівними купцями та лицарями з хрестових походів. Ці перші млини постійно вдосконалювалися, спочатку голландцями, потім англійцями, і врешті набули конструкції з горизонтальною віссю. Жителі Голландії виявили, що вітром дуже зручно користуватися для відкачування води, щоб осушити землю, що для цієї країни, яка розташована в низинах і тому потерпає від повеней, є дуже актуальним. Найбільш активно в допромисловій Європі вітряки використовувались у XVIII столітті, коли лише в одній Голландії їх було понад сто тисяч. З їхньою допомогою мололи зерно, качали воду й пиляли дрова. Згодом більшість вітряків, нездатних конкурувати з дешевим і надійним викопним паливом, було замінено паровими двигунами.

У старих вітряків лопаті були дерев'яними і могли використовувати близько 7 % енергії вітру. Завдяки новаторській праці Томаса Перрі, який наприкінці XIX століття провів близько 5000 експериментів з різними видами "колеса" (тобто ротора), дерев'яні лопаті поступилися місцем лопатям з вигнутого металу, що збільшило ефективність установок вдвічі — до 15 %.

Використовували енергію вітру з давніх часів і в Україні. 1917 р. тут було близько 30 тисяч вітряків, потужність яких становила близько 200 тис. кВт. З початком колективізації кількість вітряків значно зменшилася, а прагнення до гігантизму в радянські часи практично витіснило їх із використання. Лише починаючи з 90-х років ситуація з вітроенергетикою в Україні змінилася на користь її розвитку.

Енергія вітру постійно поновлювана й невичерпна, поки гріє Сонце. Вітер утворюється на землі в результаті нерівномірного нагрівання її поверхні Сонцем.

Повітря над водною поверхнею впродовж світлої частини доби залишається порівняно холодним, оскільки енергія сонячного випромінювання витрачається на випаровування води та поглинається нею. Над сушею повітря нагрівається завдяки тому, що вона поглинає сонячну енергію менше, ніж поверхня води. Нагріте повітря розширюється і піднімається вгору, а його заміняє холодне повітря від поверхні води. Вночі суша охолоджується швидше, ніж вода, і температура над водою буде вище, ніж над сушею. Тому вітри міняють свій напрямок, і холодне повітря суші витісняє нагріте повітря водної поверхні.

Аналогічно відбуваються зміни напрямку вітрів у гірській місцевості, де протягом дня тепле повітря піднімається вздовж схилів, а вночі холодне повітря спускається в долини.

Повітря циркулює й внаслідок обертання Землі: рух відбувається в напрямку, протилежному напрямку руху годинникової стрілки в північній півкулі, та за напрямком руху годинникової стрілки — в південній.

## **2.1 Потенціал вітрової енергії в Україні**

Україна має потужні ресурси вітрової енергії: річний технічний вітроенергетичний потенціал дорівнює 30 млрд. кВт·год.

Приведені нижче дані отримані в результаті обробки статистичних метеорологічних даних по швидкості та повторюваності швидкості вітру. Наведено районування території України по швидкостях вітру і питомий енергетичний потенціал вітру на різній висоті відповідно до зон районування.

В умовах України за допомогою вітроустановок можливим є використання 15...19 % річного об'єму енергії вітру, що проходить крізь перетин поверхні вітроколеса. Очікувані обсяги виробництва електроенергії з 1 м<sup>2</sup> перетину площі вітроколеса в перспективних регіонах складають 800...1000 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік.

Застосування вітроустановок для виробництва електроенергії в промислових масштабах найбільш ефективно в регіонах України, де середньорічна швидкість вітру > 5 м/с: на Азово-Чорноморському узбережжі, в Одеській, Херсонській, Запорізькій, Донецькій, Луганській, Миколаївській областях, АР Крим та в районі Карпат.

Експлуатація тихохідних багатолопатевих вітроустановок з підвищеним обертаючим моментом для виконання механічної роботи (помолу зерна, підняття та перекачки води тощо) є ефективною практично на всій території України.

Вітроенергетика України має достатній досвід виробництва, проектування, будівництва, експлуатації та обслуговування як вітроенергетичних установок, так і вітроенергетичних станцій; в країні є достатньо високий науково-технічний потенціал і розвинена виробнича база. В останній час розвитку вітроенергетичного сектора сприяє державна підтримка, що забезпечує реалізацію ініціатив по удосконаленню законодавства, структури керування, створенню вигідних умов для внутрішніх і зовнішніх інвесторів.

Реалізація державних національних програм в галузі вітроенергетики на 2010 рік передбачає загальне річне виробництво електроенергії на вітроелектростанціях та автономних вітроустановках близько 5,71 млн. МВт·год; що дозволить забезпечити біля 2,5 відсотків від загального річного електроспоживання в Україні. На рисунку 2.1 показано енергетичний потенціал вітру на території України. В таблиці 2.1 наведено питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні.

Таблиця 2.1 - Питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні

<b>№ району</b>	<b>Середньорічна швидкість вітру, <math>V_{cp}</math>, м/с</b>	<b>Висота, м</b>	<b>Природний потенціал енергії вітру, кВт·год/м<sup>2</sup> рік</b>	<b>Технічно-досяжний потенціал енергії вітру, кВт·год/м<sup>2</sup> рік</b>
1	< 4,25	15	1120	200
		30	1510	280
		60	2030	375
		100	2530	460
2	4,5	15	2010	390
		30	2710	520
		60	3640	700
		100	4540	850
3	5,0	15	2810	520
		30	3790	690
		60	5100	860
		100	6350	975
4	5,5	15	3200	620
		30	4320	830
		60	5810	1020
		100	7230	1150

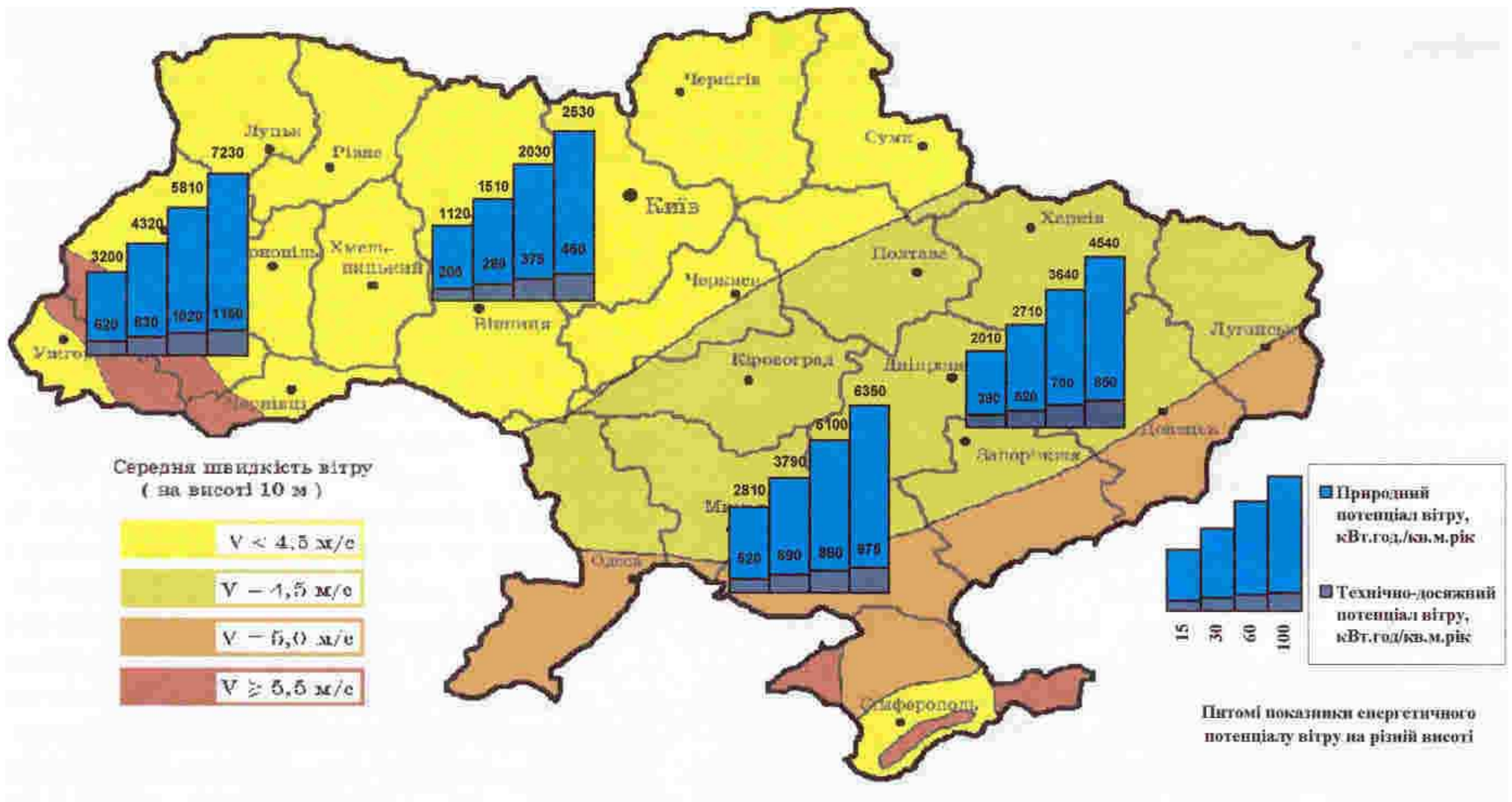


Рисунок 2.1 – Енергетичний потенціал вітру на території України

## 2.2 Вітроенергетичні установки та їх елементи

Два проценти усієї сонячної енергії, яка досягає зовнішніх шарів земної атмосфери, перетворюється на кінетичну енергію частинок повітря, які рухаються, тобто вітру. Кінетична енергія вітрового потоку дорівнює

$$A = \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (2.1)$$

де  $m$  - маса повітря, що рухається, кг;

$v$  - швидкість вітру, м/с.

Енергія вітру має ряд специфічних особливостей: малу концентрацію, віднесену до одиниці об'єму повітряного потоку; випадковий характер зміни швидкості.

Потужність вітрового потоку визначається як

$$P = \frac{A}{\tau} = \rho \frac{F \cdot v^3}{2}, \quad (2.2)$$

де  $\rho$  — густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$F$  — площа, яку перетинає вітровий потік, м<sup>2</sup>;

$v$  — швидкість вітру, м/с.

Вітрове колесо, розміщене в потоці повітря, може у кращому випадку теоретично перетворювати на потужність на його валу  $16/27 = 0,59$  (критерій Бетца) потужності потоку повітря, що проходить через площу перерізу, охоплювану вітровим колесом. Цей коефіцієнт можна назвати теоретичним ККД ідеального вітрового колеса. Насправді ККД нижчий і досягає для найкращих вітряних колес приблизно 0,45. Це означає, наприклад, що вітрове

колесо з довжиною лопаті 10 м за швидкості вітру 10 м/с у найкращому випадку може мати потужність на валу 85 кВт.

Місцевості, придатні для розміщення вітроагрегатів, поділяються на декілька класів (згідно з типами нерівностей). Такий поділ (табл. 2.2) демонструє можливості забезпечення енергією вітроустановок в умовних одиницях (10 балів відповідає відсутності нерівностей, тобто 0-й клас поверхні), згідно з методикою європейської практики будівництва вітростанцій.

Таблиця 2.2 - Класифікація вітрового потенціалу місцевостей за характером нерівностей

<b>Клас нерівності</b>	<b>Топографія місцевості</b>	<b>Енерго-потенціал</b>
0	Відкрите море	10
1	Відкрита місцевість без високої рослинності та	6,8
2	Окремі будинки з відстанню 1000 м між ними	4,6
3	Забудований район, ліси, пересічена місцевість	2,4

Оцінка енергозабезпеченості за балами залежно від характеру місцевості не завжди однозначна. Відомо, що після забудови місцевості або після насадження дерев її аеродинаміка може різко змінитися, може збільшитися кількість вітрового часу й зрости сила вітру. Те саме стосується й гірської місцевості. Незважаючи на значні захаращення в окремих місцях, пересіченість місцевості може утворювати щось подібне до каналів, в яких швидкість вітру набагато вища, ніж на відкритій місцевості.

Для кожної місцевості зміна швидкості вітру за висотою (епюра швидкостей вітру) має характерний вигляд, наведений на рис. 2.2. На рисунку видно, що крім середньорічної швидкості для кожної місцевості є свій профіль швидкостей, який, впливає на величину швидкісного напору. Ось чому для ефективного уловлювання вітру є своя оптимальна висота розташування вітроагрегату над рівнем землі.

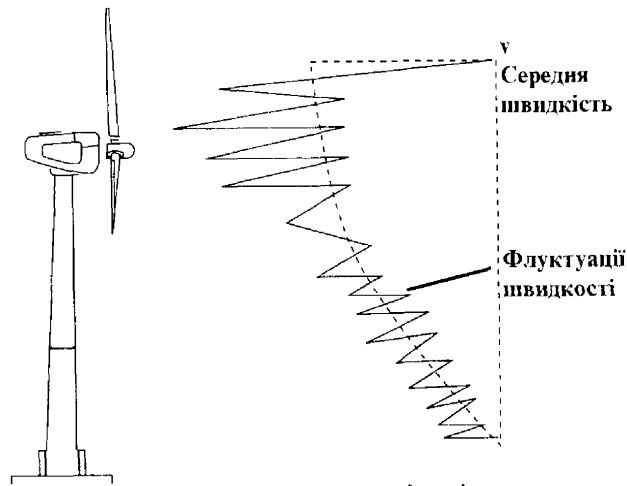


Рисунок 2.2 - Епюра швидкостей вітру над даною місцевістю

Так само, як і для середньорічної швидкості, попередньо робляться дослідження ефективної висоти розташування вітроагрегату при різних вітрових навантаженнях і потужностях самого вітроагрегату.

Більш поширені вітроустановки з горизонтальною віссю (рис. 2.3). Основними елементами вітроенергетичних установок є вітроприймальний пристрій (лопати), редуктор передачі крутільного моменту до електрогенератора, електрогенератор і башта. Вітроприймальний пристрій разом з редуктором передачі крутільного моменту утворює вітродвигун.



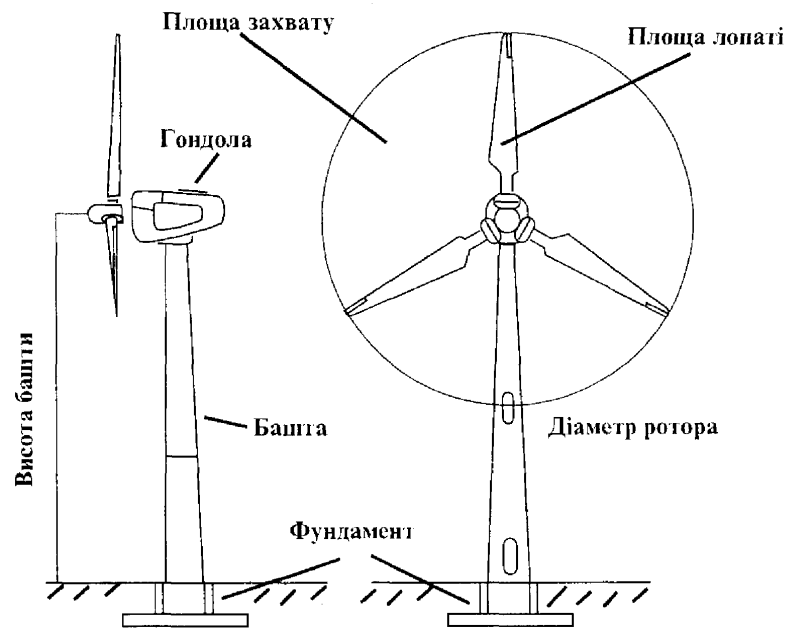


Рисунок. 2.3 - Принципова схема вітроустановки

Завдяки спеціальній конфігурації вітроприймального пристрою в повітряному потоці виникають несиметричні сили, що створюють крутильний момент. Залежно від потужності генератора вітроустановки поділяються на класи, їхні параметри та призначення наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Класифікація вітроустановок

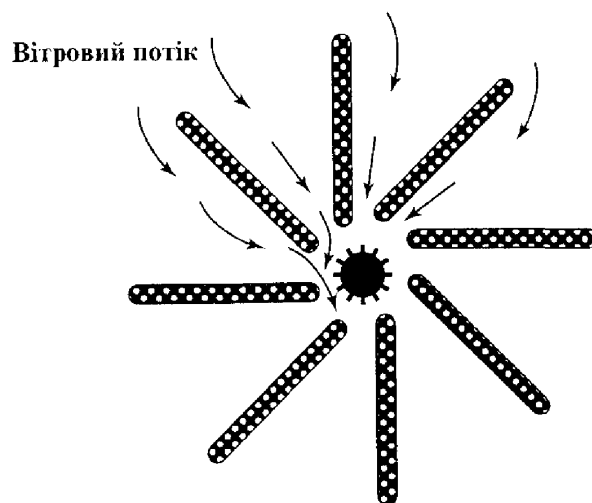
Клас установки	Потужність, кВт	Діаметр колеса, м	Кількість лопатей	Призначення
Малої потужності	15...50	3...10	3...2	Зарядження акумуляторів, насоси, побутові потреби
Середньої потужності	100...600	25...44	3...2	Енергетика
Великої потужності	1000...4000	> 45	2	Енергетика

Є дві принципово різні конструкції вітроустановок: з горизонтальною і вертикальною віссю обертання.

Оскільки вітер може змінювати свою силу та напрямок, вітрові установки обладнуються спеціальними пристроями контролю та безпеки. Ці пристрої складаються з механізмів розвертання вісі обертання за вітром, нахилу лопатей відносно землі за критичної швидкості вітру, системи автоматичного контролю потужності й аварійного відключення для установок великої потужності.

Вітроенергетичні установки з вертикальною віссю обертання мають перевагу перед установками з горизонтальною віссю, яка полягає насамперед в тому, що зникає необхідність у пристроях для орієнтації на вітер, спрощується конструкція та знижуються навантаження, які зумовлюють додаткову напругу в лопатях, системі передач та інших елементах установки.

Різновидом вітроустановок з вертикальною віссю є так звана вітрова гребля, де сконцентрований повітряний потік спрямовується на установку за допомогою напрямлювачів у вигляді лісосмуг, штучних перегородок у вигляді панелей, надувних конструкцій, солом'яних блоків тощо. Схему вітрової греблі наведено на рис. 2.4.



## Рисунок. 2.4 - Вітрова гребля

Вітроустановки виробляють електроенергію практично без забруднення довкілля, але вплив на нього мають: відведення під будівництво значних територій та зміни ландшафту, шумові ефекти, радіоперешкоди.

Проблема зменшення шумів розв'язується шляхом розташування вітроустановок на значних відстанях (допустимих за рівнем шуму - 40-50 децибелів) від житла. Отже, відстань від вітроагрегату до житла має становити 150 м, вітростанції — 250 м.

## 3 ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА

Вираз «геотермальна енергія» буквально означає, що це енергія тепла землі. Основним джерелом цієї енергії є постійний потік тепла з розжарених надр, направлений до поверхні землі. Цього тепла достатньо, щоб розплавляти гірські породи під земною корою, перетворюючи їх на магму. Велика частина магми залишається під землею і, подібно до печі, нагріває породу навколо. Коли підземні води стикаються із цим теплом, вони теж нагріваються - іноді до температури 370 °С. У деяких місцях, особливо по краях тектонічних плит материків, а також у так званих «гарячих точках» теплота підходить так близько до поверхні, що її можливо добувати за допомогою геотермальних свердловин.

Електричну енергію з використанням геотермального резервуару сухої пари вперше було отримано 1904 року італійцем П. Джиноні Конті. Перший резервуар гарячої води, використаний для виробництва електричної енергії, був створений у Новій Зеландії в 50-ті роки. Перша комерційна геотермальна електростанція в США почала виробляти енергію 1960 року, сьогодні це

друге щодо важливості та обсягу використання поновлюване джерело енергії. 1995 року потужність усіх геотермальних електростанцій світу становила 6000 МВт і 11 300 МВт - теплових станцій для прямого використання теплоти (1МВт достатньо для забезпечення побутових потреб 1000 жителів).

Поверхня Землі складається із 12 окремих тектонічних плит, величезних платформ земної кори, які постійно дуже повільно рухаються.

Геотермальний резервуар є насправді масою породи, що розтріскалася в земній корі й насичена гарячою водою чи паром, при цьому перший тип є найбільш поширеним. Щоб добути воду чи пару на поверхню, в резервуарі бурять свердловини. Розміри резервуарів - від кількох тисяч кубічних метрів до кількох кубічних кілометрів. Якщо вода достатньо гаряча, вона підіймається на поверхню природним шляхом, при більш низькій температурі може знадобитись насос.

Розрізняють *чотири основні типи геотермальної енергії*:

- нормальне поверхове тепло землі, яке використовується геотермальними тепловими насосами;
- гідротермальні системи, тобто резервуари пари, гарячої чи теплої води біля самої поверхні землі (нині для вироблення електроенергії використовуються саме ці ресурси);
- глибока коркова теплота, яка утримується під поверхнею землі, але може не мати води;
- енергія магми, теплота, що накопичена під вулканами; іноді магма частково буває в розплавленому стані.

Якби можна було використати всього 1 % геотермальної енергії земної кори (глибина 10 км), ми мали б у своєму розпорядженні кількість енергії, яка в 500 разів перевищувала б усі світові запаси нафти та газу.

У геологічному розумінні геотермальна теплота - це теплота при температурах, вищих за температуру навколишнього середовища. Запаси цієї теплоти становлять приблизно  $8 \cdot 10^{30}$  Дж, ця кількість перевищує річне споживання енергії в усьому світі в 35 млрд. разів. Проте сьогодні дуже

незначна кількість цих запасів може бути використана. Обмеження зумовлені в основному економічними причинами. На глибині більш ніж 5 км від поверхні Землі зміна температурного градієнта становить 30...35 °С на кожний кілометр. Різні регіони земної кулі відрізняються один від одного широким спектром зміни зазначеного градієнта. У деяких місцях Землі температурний градієнт перевищує згадане значення в 10 разів; при цьому зміна температури на глибині 5 км досягає 500 °С.

Теплові потоки в надрах Землі, які проходять крізь тверді породи, мають відносно незначні параметри (вони в декілька тисяч разів менші за сонячну радіацію). Отже, теплота земних надр у вигляді теплових потоків, які передаються шляхом теплопровідності, не має суттєвого практичного значення.

Геотермальна енергія сьогодні використовується для теплопостачання (виробничі технологічні процеси харчової та обробної промисловості, опалення тощо) та вироблення електроенергії.

Експлуатація геотермальних джерел базується на попередньому геологічному дослідженні, щоб уникнути значного фінансового ризику за умови подальших капітальних витрат.

Отже для того, щоб визначити, чи має певна місцевість потенціал постачання геотермальної теплоти для промислових та побутових потреб, потрібен попередній пошук, що є однією з головних відмінностей геотермальної енергії від інших поновлюваних джерел енергії.

*Підземні геотермальні резервуари* поділяються на:

- заповнені в основному паром (перегрітою чи насиченою);
- заповнені в основному гарячою водою (з невеликим вмістом насиченої пари).