



ERASMUS PLUS EUBILD UNAKLIM
2016-1-DE02-KA204-003254



**Europejska koncepcja edukacyjna w zakresie
ochrony środowiska, przyrody i klimatu
dotycząca ochrony transgranicznego rozwoju zrównoważonego**

**Dr. Stelian NISTOR, Dr. Susanne RAHNER, Ilona WINTER,
Prof. Dr. Michael HARTMANN, Jorgen WEINREICH, Marta MRAZ,
Alexandra KASTELEWICZ, Mihnea DUMITREAN**



PODREČCZNIK DOTYCZĄCY ENERGII SŁONECZNEJ

**ORADEA
2018**

1. Energia słoneczna. Zrozumienie działania Słońca

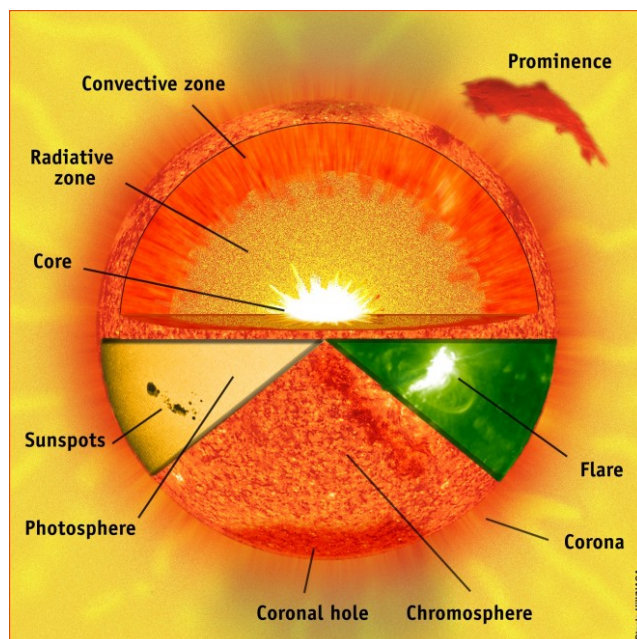
1.1 Ciepło i światło

Słońce (rys. 1) jest ogromnym reaktorem termojądrowym. Najprościej mówiąc, „reakcja termojądrowa” to łączenie się atomów wodoru w hel. Taka reakcja zachodzi na słońcu, ponieważ jest ono bardzo gorące. Słońce jest bardzo gorące, ponieważ reakcja termojądrowa uwalnia dużą ilość ciepła. Z tego względu reakcja termojądrowa nazywana jest reakcją łańcuchową. Źródłem energii jest reakcja termojądrowa zamiany wodoru w hel, co odbywa się przede wszystkim poprzez cykl protonowo-protonowy (pp) (G. Severino, 2017).

Zachodzący na słońcu proces syntezy jądrowej co sekundę przetwarza 508 milionów ton wodoru na 504 miliony ton helu. Pozostałe 4 miliony ton materii są przetwarzane na energię, co sprawia, że temperatura rdzenia słońca jest bardzo wysoka. Albert Einstein odkrył, że bardzo mała ilość materii przekształca się w bardzo dużą ilość energii. W rzeczywistości jedna uncja materii przekształcona w energię poprzez syntezę jądrową mogłaby dostarczyć całej energii potrzebnej dla Twojego domu i samochodu przez okrągły rok - a także dla pięciu tysięcy domów i samochodów innych ludzi.

Energia promieniowania słonecznego jest bardziej pożądana od innych źródeł energii, ponieważ ilość promieniowania słonecznego jest bardzo duża i będzie dostępne jeszcze przez wiele milionów lat (M. West, 1993).

Jakie jest źródło energii słonecznej? Jest to kluczowe pytanie, ponieważ światło i ciepło słoneczne są podstawą (prawie) całego życia na Ziemi. Światło słoneczne zasila florę poprzez fotosyntezę, a zwierzęta odżywają się roślinami, aby żyć. Prawie wszystkie mi światła słonecznego kroskopijne formy życia (bakterie, pierwotniaki, itp.) żyją dzięki wykorzystaniu energii światła słonecznego.



Rys. 1 Budowa Słońca

(źródło: <http://www.thesuntoday.org/the-sun/solar-structure>)

Convective zone	Strefa konwektywna
Radiative zone	Strefa promienista
Core	Rdzeń
Sunspots	Plamy słoneczne
Photosphere	Fotosfera
Coronal hole	Dziura koronalna
Chromosphere	Chromosfera
Corona	Korona
Flare	Rozbłysk
Prominence	Protuberancja

1.2 Temperatura na powierzchni

Wiemy, że słońce jest kulą o średnicy 1 400 000 km, na jego zewnętrznych regionach znajdują się gorące gazy, głównie wodór i hel, a jego temperatura powierzchni wynosi około 6000 stopni Celsjusza (około 11000 stopni Fahrenheita). W takiej temperaturze każda powierzchnia będzie generować ciepło i światło. Na przykład palniki kucharki elektrycznej lub tostera nie pracują w temperaturze 6000 C, ale kiedy są włączone pozostają „rozgrzane do czerwoności”, ponieważ emitują ciepło i światło, a światło jest czerwone. Gdybyśmy podnieśli temperaturę do 6000 C, stałyby się one „rozgrzane do białości” i emitowałyby światło bardzo podobne do światła słonecznego. Podobnie jest z pożarem, który stanowi obszar gazów o temperaturze wystarczającej do wytworzenia ciepła i światła (N. Goga, 2010).

Zatem nie chodzi o dociekanie źródła występowania ciepła i światła, ale o pochodzenie energii zdolnej utrzymać temperaturę na powierzchni słońca na poziomie 6000 stopni.

Dla naukowca żyjącego w XVIII lub XIX wieku, przed pojawieniem się urządzeń elektrycznych, najbardziej prawdopodobnym podejściem do zrozumienia energii słonecznej byłoby dokonanie analogii do pożaru. Kiedy coś się pali, zachodzi reakcja chemiczna pomiędzy materiałem a tlenem w powietrzu. Nawet nie wiedząc jakie substancje chemiczne występują na słońcu, można nadal zakładać, że zachodzi jakaś reakcja chemiczna, która wytwarza ciepło i rozgrzewa słońce. Problem w tym, że nie wiemy ile zajmie wypalenie wszystkich substancji chemicznych i ogień zgaśnie, podobnie jak kłody palące się w kominku, które zamieniają się w popiół w ciągu kilku godzin.

1.3 Żywotność słońca

Na to pytanie nietrudno jest uzyskać przybliżoną odpowiedź, ponieważ znamy masę słońca. Masa jest obliczana z wykorzystaniem prawa powszechnego ciążenia i poznanych orbit planet. Zakładając, że masa jest przeważnie czymś podobnym do węgla, można obliczyć, że żywotność Słońca wynosi około 50000 lat. Każdy proces spalania chemicznego skutkuje okresem żywotności mieszczącym się w tym ogólnym zakresie (?) (P. Bland, 2004).

Jednak dziewiętnastowieczni geolodzy uważali, że wiek Ziemi to 100 milionów lat lub więcej. Były to szacunkowe obliczenia, ale opierały się na rozsądnych założeniach dotyczących sposobu osadzania się soli w morzu i osadzania się osadów morskich, co spowodowało uformowanie się kontynentów. (Na przykład, jeśli założymy, że cała sól w oceanach dostała się tam niesiona i osadzana przez rzeki oraz zmierzmy aktualny wskaźnik jej osadzania przez rzeki, wtedy możemy obliczyć ile lat zajęłoby osiągnięcie poziomu soli występującego obecnie w oceanach). Ponieważ to ziemia orbituje wokół słońca, ciężko zrozumieć dlaczego jest ona starsza od słońca. Z tego powodu nie dało się obronić modelu słońca jako ognia chemicznego (<http://academic.brooklyn.cuny.edu/physics/sobel/Nucphys/sun.html>).

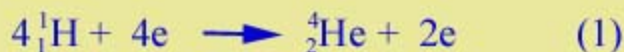
1.4 Energia grawitacyjna

Okolo 1850 roku fizyk Hermann von Helmholtz zasugerował, że źródłem energii słonecznej może być grawitacja - innymi słowy siła ciążenia powszechnego, którą każdy fragment słońca wywiera na każdy inny fragment (D. Cahan, 2004). Możemy zobaczyć, że grawitacja może wytwarzać energię jeżeli choćby wyobrazimy sobie, że uwalniamy jakiś przedmiot, np. piłkę baseballową, i pozwalamy jej upaść na ziemię. Wytwarza się energia ruchu (energia kinetyczna), ponieważ piłka przyspiesza w trakcie opadania. Jeśli pomyślimy o słońcu jako o ogromnej kuli gazów, każdy atom w takim gazie jest poddawany przyciąganiu netto do środka kuli, a zatem wszystkie atomy mają tendencję do „opadania” w kierunku środka kuli. W trakcie opadania zderzają się one z innymi atomami, a więc ich ruch jest energiczny, ale zarazem losowy. Szybki i przypadkowy ruch atomów w gazie oznacza wzrost temperatury. Uwzględniając znane mu tempo, w jakim słońce produkuje energię, Helmholtz był w stanie oszacować jak długo słońce może nadal produkować energię w taki sposób, biorąc pod uwagę jego masę. Doszedł do wniosku, że będzie to około 20 milionów lat, czyli znacznie dłużej niż szacunki oparte na reakcji spalania chemicznego, ale bliżej szacunków dotyczących wieku Ziemi w tamtym okresie.

Miliardy lat Tak czy inaczej, miliony lat nie wystarczą. Na dzień dzisiejszy najtrafniejsze obliczenia dotyczące wieku Układu Słonecznego, Słońca i planet dają wynik 4,6 miliarda lat. Na podstawie radiodatowania wiemy, że istnieją skały, które zestaliły się około 4 mld lat temu, a wczesne mikroorganizmy istniały już niemal 3,5 mld lat temu. W tym kontekście grawitacja nie wyjaśnia skąd Słońce bierze swoją energię.

1.5 Reakcje jądrowe

Wszystkie elementy tej układanki połączyły się ostatecznie na początku XX wieku wraz z odkryciem jądra atomowego (1911 r.), zbadaniem *reakcji jądrowych* (1920 r.) i powstaniem *teorii względności* Einsteina (1905 r.). W typowej reakcji jądrowej kilka cząsteczek subatomowych łączy się ze sobą, wchodzi w interakcję, w efekcie czego powstaje kilka (być może różnych) cząsteczek. Na Słońcu zachodzi szereg reakcji, ale ich wynikiem netto jest następująca kombinacja cząstek elementarnych.
Spalanie wodoru



Po lewej stronie tej reakcji widać cztery protony i cztery elektrony, czyli w zasadzie cztery atomy wodoru. Wodór jest naturalnym punktem wyjścia, ponieważ większość materii na Słońcu (w tym także gwiazdy) to wodór. Wodór jest najprostszym pierwiastkiem, a więc można rozsądnie zakładać, że w stanie pierwotnym wszechświat składał się w większości z wodoru. Punktem końcowym reakcji jest hel, znany jako drugi z pierwiastków występujących najobficiej na Słońcu. Tę reakcję często określa się jako „spalanie wodoru” do helu, natomiast wodór jest często nazywany „paliwem”, ale trzeba pamiętać, że nie jest to spalanie w sensie reakcji chemicznej między paliwem, takim jak węgiel lub drewno, a tlenem. Jest to reakcja jądrowa (S. F. Green, M. H. Jones, 2004).

1.6 Masa przekształcona w energię

Kiedy zachodzi ta reakcja generowana jest energia, ponieważ całkowita masa cząstek po prawej stronie jest mniejsza od ich masy po lewej stronie. I nie chodzi tylko o to, że po prawej stronie jest mniej elektronów. Najważniejszą różnicą jest to, że masa jądra helu (${}^4_2\text{He}$) jest znacznie mniejsza niż całkowita masa czterech protonów po lewej stronie. Jest to przykład *energii wiązania*: Jądro helu ${}^4_2\text{He}$ składa się z dwóch protonów i dwóch neutronów, ale jego masa jest mniejsza od masy całkowitej dwóch protonów i dwóch neutronów.

Z uwagi na to, że masa po lewej stronie jest większa od masy po prawej stronie, w momencie reakcji otrzymujemy energię równą różnicy masy razy c^2 . Energia ta występuje w dwóch formach: energii ruchu cząstek w Słońcu i *promieni gamma*.

1.7 Cykl protonowo-protonowy

Równanie (1) jest w rzeczywistości produktem netto serii bardziej podstawowych reakcji. Proces przedstawiony za pomocą równania (1) nazywany jest cyklem protonowo-protonowym, ponieważ zaczyna się od interakcji dwóch protonów.

Budowanie od małych jąder do większych nazywane jest syntezą jądrową, a sekwencja zdarzeń zachodząca w Słońcu jest podobna (ale nie identyczna) do *reakcji termojądrowej* analizowanej jako potencjalne źródło energii elektrycznej na Ziemi (G. Severino, 2017).

1.8 Energia wiązania cząstek alfa

Dlaczego natura (Słońce i gwiazdy) zadaje sobie tyle trudu, aby wytworzyć hel? Odpowiedź brzmi, że spośród różnych małych jąder zaangażowanych w cykl protonowo-protonowy, hel ${}^4_2\text{He}$ wytwarza najsilniejsze wiązania. Jego energia wiązania jest bardzo duża, a to oznacza, że jeśli natura tworzy hel ${}^4_2\text{He}$ uwalniana jest duża ilość energii. Część tej energii jest uwalniana w każdej części cyklu, ale większość z niej dopiero w ostatnim etapie, w czasie którego powstaje ${}^4_2\text{He}$.

1.9 Zapadanie grawitacyjne

Modelem stworzonym do wyjaśnienia pochodzenia Słońca bazuje na chmurze wodoru, który zaczyna się rozpadać pod wpływem działania własnej grawitacji (podobnie jak w konstrukcji myślowej Helmholtza), a następnie zaczyna się rozgrzewać. I chociaż nie może to być mechanizm umożliwiający Słońcu generowanie energii przez miliardy lat, może stanowić mechanizm wyzwalaający lub zapłonowy (M. O'Keefe, K. Pike, 2004).

1.10 Plazma gorąca

W efekcie chmura się zapada, a w wysokiej temperaturze gaz zamienia się w plazmę. Atomy wodoru dzielą się na protony i elektrony, a te cząstki elementarne poruszają się w sposób losowy. W środku chmury temperatura jest najwyższa i tam właśnie protony poruszają się tak gwałtownie, że zachodzi reakcja przedstawiona w równaniu, co rozpoczyna cykl protonowo-protonowy.

1.11 Równowaga

Te procesy trwają dalej w środku chmury, co podnosi temperaturę do około 10 000 000 stopni. W tej temperaturze słońce osiąga równowagę, w której ciśnienie zewnętrzne ze „spalanych” gazów równoważy siłę grawitacyjną i ciągnie materię do wewnątrz. Energia produkowana w centrum działa nieprzerwanie na zewnątrz, utrzymując ciepło całego Słońca. Zewnętrzne regiony są znacznie chłodniejsze niż centrum, ale przy tym wystarczająco gorące, aby energia promieniowała w przestrzeń kosmiczną w postaci ciepła i światła, które zalewają Ziemię (S.F. Green, M.H. Jones, 2004).

1.12 Żywotność słońca

Słońce może pozostawać w tym zrównoważonym stanie przez łącznie około 10 miliardów lat. Biorąc pod uwagę wiek Słońca, który wynosi około 4,6 miliarda lat, można założyć, że zostało nam około 5 miliardów lat. Ostatecznie większość wodoru zgromadzona w jego środku zostanie zużyta, a Słońce wejdzie w fazę umierania.

Gwiazdy Cykl protonowo-protonowy zasila nie tylko Słońce, ale większość gwiazd o masach od średniej do małej. Gwiazdy większe niż Słońce wytwarzają energię w efekcie bardziej skomplikowanego ciągu reakcji, ale efekt netto jest taki sam jak w przypadku przedstawionego równania (1), tj. spalania wodoru do helu (N. Tyson, 2017).

1.13 Promieniowanie słoneczne

Często nazywa się je zasobem słonecznym i jest to ogólny termin stosowany do promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez Słońce. Promieniowanie słoneczne może być wychwytywane i przekształcane, przy użyciu różnych technologii, w użyteczne formy energii, takie jak ciepło i elektryczność. Techniczna wykonalność i ekonomiczna eksploatacja tych technologii w określonym miejscu zależy jednak od dostępnych zasobów energii słonecznej (<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/solar-radiation-basics>).

Przynajmniej przez część roku każde miejsce na Ziemi odbiera światło słoneczne. Ilość promieniowania słonecznego, które dociera do dowolnego miejsca na powierzchni Ziemi, jest zależny od:

- i. Położenia geograficznego
- ii. Pory dnia
- iii. Pory roku
- iv. Krajobrazu lokalnego
- v. Pogody w danym miejscu

Ponieważ Ziemia jest okrągła, Słońce uderza w jej powierzchnię pod różnymi kątami, od 0° (tuż nad horyzontem) do 90° (bezpośrednio od góry). Kiedy promienie słoneczne padają pionowo, powierzchnia Ziemi otrzymuje całą możliwą energię. Im bardziej nachylone są promienie słoneczne, tym dłużej przedostają się przez atmosferę i bardziej się rozpraszają. Ponieważ Ziemia jest okrągła, mroźne regiony polarne nigdy nie

dostają dużego nasłonecznienia, a z powodu nachylonej osi obrotu przez część roku w ogóle nie otrzymują słońca.

Ziemia obraca się wokół Słońca po orbicie eliptycznej i przez część roku znajduje się bliżej Słońca. Kiedy Słońce jest bliżej Ziemi, jej powierzchnia otrzymuje nieco więcej energii słonecznej. Ziemia znajduje się bliżej Słońca, gdy na półkuli południowej jest lato, a na półkuli północnej zima. Jednak obecność rozległych oceanów łagodzi gorętsze lata i chłodniejsze zimy, których występowania można by się spodziewać w wyniku tej różnicy na półkuli południowej.

Nachylenie pod kątem $23,5^\circ$ w osi obrotu Ziemi jest bardziej istotnym czynnikiem do określenia ilości światła słonecznego padającego na Ziemię w danym miejscu. Wynikiem tego nachylenia są dłuższe dni na półkuli północnej od równonocy wiosennej do równonocy jesiennej i dłuższe dni na półkuli południowej w ciągu pozostałych 6 miesięcy. Dni i noce trwają dokładnie po 12 godzin w czasie równonocy, które występują każdego roku w dniu 23 marca i 22 września lub blisko tych dat.

Słońce jest odpowiedzialne za energię obecną na Ziemi. Rośliny wykorzystują światło słoneczne do produkcji pożywienia. Setki milionów lat temu rozkładające się rośliny wytworzyły węgiel, ropę naftową i gaz ziemny, z których obecnie korzystamy. Energia słoneczna jest najczęściej gromadzona przy użyciu ogniw słonecznych. Energię słoneczną można naturalnie wykorzystać do ogrzania lub doświetlenia pomieszczenia, wykorzystując do tego po prostu dobrze rozmieszczone okna i świetliki dachowe. Energię słoneczną możemy również wykorzystać do suszenia odzieży na słońcu. Ogniwa słoneczne wykorzystuje się do zasilania urządzeń elektrycznych energią słoneczną (<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/solar-radiation-basics>).

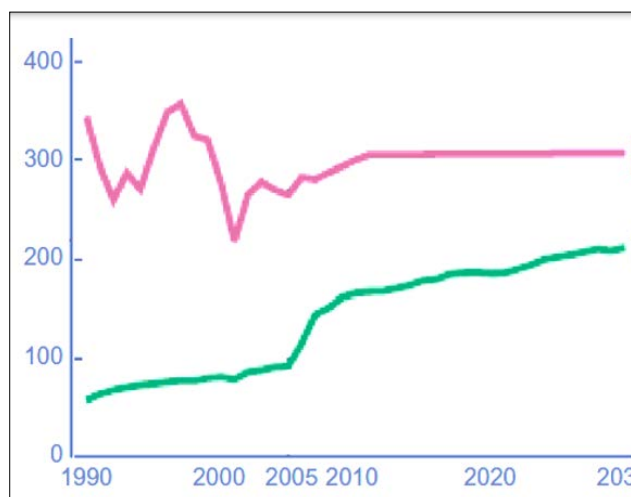
1.14 Energia słoneczna - podstawowe zasady

Energia słoneczna jest wytwarzana przez światło i ciepło emitowane przez Słońce w postaci promieniowania elektromagnetycznego.

Dzięki dzisiejszej technologii jesteśmy w stanie przechwycić to promieniowanie i przekształcić je w użyteczne formy energii słonecznej - takie jak ogrzewanie czy elektryczność.

Energia słoneczna to reakcja syntezy jądrowej słońca w ramach procesu ciągłego wytwarzania energii. Średnie natężenie promieniowania słonecznego przy orbicie Ziemi wynosi 1367 kW/m^2 . Obwód równika Ziemi wynosi 40000 km , więc możemy obliczyć, że energia odbierana przez Ziemię wynosi do 173000 TW . Na poziomie morza standardowe natężenie maksymalne wynosi 1 kW/m^2 , natomiast w dowolnym punkcie na powierzchni Ziemi średnie roczne natężenie promieniowania przez 24 h wynosi $0,20 \text{ kW/m}^2$, tj. około 102000 TW energii (?). Ludzie potrzebują energii słonecznej, aby przetrwać, wliczając w to wszystkie inne formy energii odnawialnej (z wyjątkiem zasobów geotermalnych). I chociaż całkowita ilość zasobów energii słonecznej jest dziesięć tysięcy razy większa od ilości energii zużywanej przez ludzi, gęstość energii słonecznej jest niska i zależy od lokalizacji, pory roku, co jest głównym problemem dla rozwoju i wykorzystania energii słonecznej (G. Tiwari, 2005).

Presja na ten sektor odnawialnych źródeł energii jest coraz większa ze względu na rozwój gospodarki światowej i wzrost liczby ludności. Rys. 2 przedstawia prognozę pozyskiwania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych do 2030 roku (E. Maican, 2015).



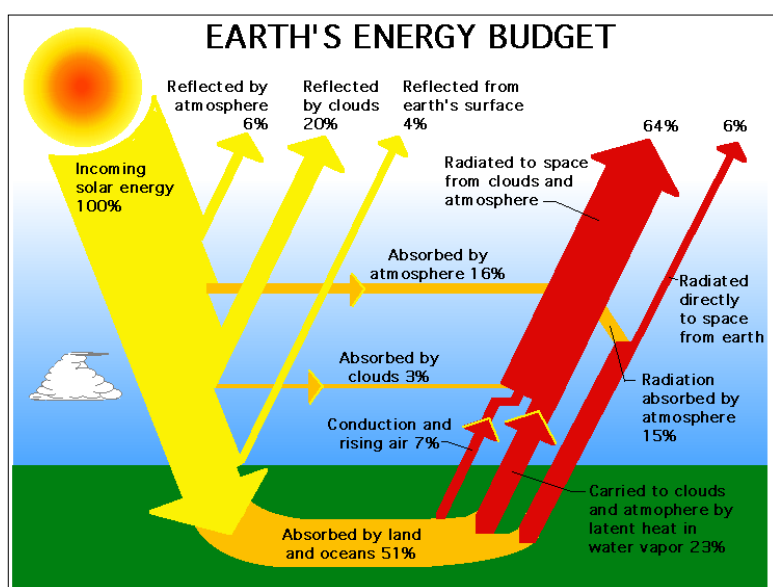
Rys. 2 Tendencja w ewolucji energii ze źródeł odnawialnych do roku 2013, w mld kWh, czerwona linia - energia wodna, zielona linia - energia odnawialna, (źródło: E. Maican, 2015)

1.14.1 Dostępne zasoby energii słonecznej

Wielka szkoda, że wcześniej zdarzały się okresy, gdy ludzie nie rozumieli i nie doceniali wkładu Słońca w przetrwanie rasy ludzkiej. (D.E. Newton, 2015).

Techniczna wykonalność i ekonomiczna opłacalność wykorzystania energii słonecznej zależy od ilości dostępnego światła słonecznego (promieniowania słonecznego) w miejscu, w którym zamierzasz umieścić grzejniki lub panele słoneczne. Czasami określa się to mianem dostępnych zasobów słonecznych.

Każda część Ziemi jest nasłoneczniana przez co najmniej jedną część roku. Pojęcie „część roku” odnosi się do faktu, że przez kilka miesięcy w roku północne i południowe czapy polarne pozostają w całkowitej ciemności. Ilość dostępnego światła słonecznego jest jednym z czynników, które należy wziąć pod uwagę przy rozważaniu wykorzystania energii słonecznej.



Rys. 3 Budżet energetyczny Ziemi
(źródło: <https://marine.rutgers.edu/cool/education/class/yuri/erb.html>)

EARTH'S ENERGY BUDGET	BUDŻET ENERGETYCZNY ZIEMI
Reflected by atmosphere 6%	Odbita przez atmosferę 6%
Reflected by clouds 20%	Odbita przez chmury 20%
Reflected from earth's surface 4%	Odbita od powierzchni Ziemi 4%
Incoming solar energy 100%	Docierająca energia słoneczna 100%
Radiated to space from clouds and atmosphere	Wypromieniowana do przestrzeni kosmicznej z chmur i atmosfery
Absorbed by atmosphere 16%	Wchłaniana przez atmosferę 16%
Absorbed by clouds 3%	Wchłaniana przez chmury 3%
Conduction and rising air 7%	Przewodzenie i wznoszenie powietrza 7%
Absorbed by land and oceans 51%	Wchłaniana przez lądy i oceany 51%
Radiated directly to space from earth	Wypromieniowana bezpośrednio do przestrzeni kosmicznej z Ziemi
Radiation absorbed by atmosphere 15%	Promieniowanie pochłaniane przez atmosferę 15%
Carried to clouds and atmosphere by latent heat in water vapor 23%	Przenoszona do chmur i atmosfery przez ciepło utajone w parze wodnej 23%

Istnieje jednak kilka innych czynników, na które należy zwrócić uwagę przy określaniu opłacalności użycia energii słonecznej w danym miejscu. Obejmują one:

Dzień i noc to efekt obrotów Ziemi, ale już pory roku to efekt obrotu osi Ziemi, a orbita Ziemi jest nachylona względem osi Słońca pod kątem $23^{\circ}27'$. Ziemia obraca się wokół „osi”, a jej własne bieguny północny i południowy wykonują codziennie obieg z zachodu na wschód (?). Każdy obrót Ziemi skutkuje powstaniem dnia i nocy, a obrót Ziemi na godzinę wynosi 15° . Co więcej Ziemia przechodzi przez małą orbitę eliptyczną (ekscentryczną) obiegając w ciągu roku Słońce. Oś obrotu Ziemi względem orbity zawsze wynosiło $23,5^{\circ}$. Obroty Ziemi pozostają niezmienną, a kierunek osi obrotu jest zawsze skierowany na biegun północny Ziemi. Z tego względu zmiana położenia orbity Ziemi powoduje zmianę kierunku światła słonecznego padającego na Ziemię, co skutkuje zmianami pór roku na Ziemi. Każdego dnia w południe Słońce znajduje się zawsze w najwyższym punkcie. W regionach tropikalnych o niskiej szerokości geograficznej (w regionach równikowych na szerokości geograficznej północnej i południowej $23^{\circ} 27'$), każdego roku światło słoneczne pada dwukrotnie pionowo na wyższych szerokościach geograficznych, a Słońce jest zawsze blisko równika (?). W regionach Arktyki i Antarktyki (na półkuli północnej i południowej szerokości geograficzne osiągają $90^{\circ} \sim 23^{\circ} 27'$), a w zimie Słońce przez dłuższy czas znajduje się poniżej linii horyzontu (?).

1.15 Światło słoneczne rozproszone i bezpośrednie

W miarę przechodzenia światła słonecznego przez atmosferę ziemską, jej część jest pochłaniana, rozpraszana i odbijana.

Światło słoneczne składa się z dwóch części - bezpośredniego światła słonecznego i rozproszonego światła słonecznego. Promieniowanie słoneczne przechodzi przez atmosferę i dociera do gruntu dzięki cząsteczkom powietrza, parze wodnej i pyłowi w atmosferze, które pochłaniają, odbijają i rozpraszają promieniowanie słoneczne, co nie tylko zmniejsza natężenie promieniowania, ale również zmienia ukierunkowanie promieniowania i jego rozkład widmowy. Dlatego też rzeczywiste promieniowanie słoneczne docierające do podłoża jest zwykle wywoływane przez promieniowanie bezpośrednie i dyfuzję jego obydwóch części. Bezpośrednie światło słoneczne jest promieniowaniem pochodzącym bezpośrednio od Słońca i jego ukierunkowanie nie ulega

zmianie. Rozproszenie jest wywoływane przez odbicie i rozrzucenie promieniowania, co zmienia kierunek promieniowania słonecznego, a cały proces składa się z trzech części: rozpraszanie przez Słońce (powierzchnia Słońca wokół światła nieboskłonu), rozpraszanie po okręgu horyzontu (okrąg horyzontu wokół nieboskłonu lub ciemne światło), a także pozostałe promieniowanie rozproszone na niebie (?). Ponadto płaszczyzna niehoryzontalna także otrzymuje promieniowanie odbite od podłoża. Bezpośrednie światło słoneczne, rozproszone i odbite, jest sumą promieniowania całkowitego lub globalnego światła słonecznego. Do skupienia bezpośredniego światła słonecznego potrzebna jest soczewka lub reflektor. Jeśli szybkość kondensora jest wysoka, można uzyskać wysoką gęstość energii, ale skutkuje to utratą rozproszonego światła słonecznego. Jeśli szybkość kondensora jest niska, może on również kondensować część rozproszonego światła słonecznego. Rozproszone światło słoneczne ma duży zakres zmienności, a gdy niebo jest bezchmurne, rozproszone światło słoneczne stanowi 10% całkowitego światła słonecznego. Kiedy jednak niebo pokryte jest ciemnymi chmurami i nie widać słońca, całkowite nasłonecznienie jest równe ilości rozproszonego światła słonecznego. Dlatego też kolektor politypowy zwykle gromadzi znacznie wyższą energię niż kolektor nie politypowy. Odbite światło słoneczne jest na ogół słabe, ale gdy grunt jest pokryty śniegiem odbite pionowo światło słoneczne może stanowić do 40% całkowitego światła słonecznego (<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/solar-radiation-basics>).

1.16 Pomiar światła słonecznego i energii słonecznej

Naukowcy mierzą ilość dostępnego światła słonecznego w określonych miejscach w różnych porach roku. W ten sposób są oni w stanie oszacować ilość światła słonecznego, które spada na podobne regiony znajdujące się na tej samej szerokości geograficznej i charakteryzujące się podobnym klimatem i warunkami.

Pomiary energii słonecznej są zwykle wyrażane jako „całkowite promieniowanie na powierzchni poziomej” lub jako „całkowita ilość promieniowania na powierzchni nadążającej za pozycją Słońca”. W tym drugim przypadku zakłada się, że stosowany jest panel słoneczny automatycznie śledzący położenie Słońca. Innymi słowy, panel słoneczny byłby zamontowany na urządzeniu śledzącym, aby panel przez cały dzień pozostawał pod kątem prostym względem Słońca. Taki system, o ile w ogóle jest używany, występuje przede wszystkim w instalacjach przemysłowych.

1.16.1 Pomiary energii słonecznej

Dane dotyczące promieniowania (ilość energii słonecznej dostępnej w danym miejscu) dla systemów elektrycznych solarnych (fotowoltaicznych) są często przedstawiane jako kilowatogodziny na metr kwadratowy (kWh/m²). Bezpośrednie szacunki dotyczące energii słonecznej mogą być wyrażone w watach na metr kwadratowy (W/m²) (<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/solar-radiation-basics>).

Dane dotyczące promieniowania dla słonecznych systemów ogrzewania wody i ogrzewania pomieszczeń są zazwyczaj przedstawiane w brytyjskich jednostkach termicznych na stopę kwadratową (Btu/ft²).

2. PANELE SŁONECZNE

Panel słoneczny to urządzenie, które gromadzi i przetwarza energię słoneczną na energię elektryczną lub ciepło. Panele słoneczne fotowoltaiczne mogą być wykonane w taki sposób, aby energia słoneczna wzbudzała atomy w warstwie krzemu pomiędzy dwoma panelami ochronnymi. Elektrony pochodzące z tych wzbudzonych atomów tworzą prąd elektryczny, który może być używany przez urządzenia zewnętrzne. Panele słoneczne były w użytku już ponad sto lat temu i służyły do ogrzewania wody w domach. Panele słoneczne mogą być również wykonane ze specjalnie ukształtowanym lustrem, które skoncentruje światło na rurze przesyłającej olej. W efekcie olej się podgrzewa i przechodzi przez kład z wodą, co powoduje jej natychmiastowe zagotowanie. Tworzy się para, która obraca turbinę, co generuje moc.

2.1 Jak działają panele słoneczne

Podstawowym składnikiem paneli słonecznych jest czysty krzem. Krzem, jeżeli nie jest zanieczyszczony, stanowi idealną neutralną platformę do przenoszenia elektronów. Krzem w stanie naturalnym przenosi cztery elektrony, ale jest w nim miejsce na osiem. W efekcie w krzemie jest przestrzeń na jeszcze cztery elektrony. Jeśli atom krzemu styka się z innym atomem krzemu, każdy z nich otrzymuje cztery elektrony z drugiego atomu. Osiem elektronów zaspokaja potrzeby atomów, co tworzy silne wiązanie, ale bez ładunku dodatniego lub ujemnego. Materiał ten jest stosowany w płytach paneli słonecznych. Panele słoneczne można także tworzyć przez połączenie krzemu z innymi pierwiastkami mającymi ładunek dodatni lub ujemny.

Na przykład fosfor może przekazać innym atomom aż pięć elektronów. Jeśli krzem i fosfor są połączone chemicznie, otrzymujemy stabilne osiem elektronów i jeden dodatkowy, wolny elektron. Krzem nie potrzebuje wolnego elektronu, ale nie może się oderwać, ponieważ jest związany z innym atomem fosforu. Dlatego też płyta krzemowo-fosforowa jest uważana za naładowaną ujemnie.

Należy również utworzyć ładunek dodatni, aby energia elektryczna mogła płynąć. Połączenie krzemu z pierwiastkiem takim jak bor, który ma do przekazania tylko trzy elektrony, tworzy ładunek dodatni. Płyta krzemowo-borowa nadal ma jedno miejsce dostępne dla dodatkowego elektronu. W związku z tym taka płyta ma ładunek dodatni. Obie płyty są łączone ze sobą warstwowo tworząc panele słoneczne, między którymi biegną przewody przewodzące (<http://www.articlesbase.com/technology-articles/solar-energy-basic-principles-649460.html>).

Fotony bombardują atomy krzemu/fosforu, gdy naładowane ujemnie płyty ogniw słonecznych są skierowane w stronę słońca. Na końcu z zewnętrznego pierścienia zostaje także wytracony dziewiąty elektron. Z uwagi na to, że naładowana dodatnio płyta krzemowo-borowa wciąga ten elektron w pustą przestrzeń na własnym pasmie zewnętrznym, taki elektron nie pozostaje długo swobodny. W miarę jak fotony słońca odrywają coraz więcej elektronów, powstaje elektryczność. Kiedy wszystkie przewody przewodzące odciągną wolne elektrony od płyt, powstaje wystarczająco dużo energii elektrycznej do zasilania silników o niskim natężeniu prądu w amperach lub innych urządzeń elektronicznych, mimo że ilość energii elektrycznej wytworzonej przez jedno ogniwo słoneczne nie jest sama w sobie zbyt imponująca. Gdy elektrony nie zostaną wykorzystane lub uleć w powietrze, powracają do płyty naładowanej ujemnie i cały proces ponownie się rozpoczyna.

2.2 Energia cieplna słońca

Energia cieplna słońca (inaczej STE) jest technologią służącą do wykorzystania energii słonecznej do ogrzewania. Kolektory słoneczne są klasyfikowane przez amerykańską Agencję Informacji Energetycznej jako kolektory nisko-, średnio- lub wysokotemperaturowe. Kolektory niskotemperaturowe są płaskimi płytami używanymi do ogrzewania basenów kąpielowych. Kolektory średniotemperaturowe są przeważnie również płaskimi płytami, ale służą do wytwarzania ciepłej wody do użytku domowego i komercyjnego. Kolektory wysokotemperaturowe koncentrują światło słoneczne przy użyciu luster lub soczewek i są zazwyczaj używane do produkcji energii elektrycznej. W ten sposób różnią się od ogniw fotowoltaicznych, które przetwarzają energię słoneczną bezpośrednio na energię elektryczną.

2.2.1 Kolektor niskotemperaturowy

Światło słoneczne przechodzi przez szybę i uderza w płytę absorbera, która się nagrzewa zamieniając energię słoneczną w energię cieplną. Ciepło jest przekazywane do cieczy przechodzącej przez rury przymocowane do płyty absorbera. Płyty absorbera są zwykle pokryte „powłokami selektywnymi”, które lepiej wchłaniają i zatrzymują ciepło niż zwykła czarna farba. Płyty absorbera są zazwyczaj wykonane z metalu – przeważnie miedzi lub aluminium, ponieważ metal jest dobrym przewodnikiem ciepła. Miedź jest droższa, ale jest lepszym przewodnikiem, mniej podatnym na korozję niż aluminium. W miejscach, w których dostępna jest średnia ilość energii słonecznej, wielkość kolektorów bazujących na płaskich płytach jest dostosowana w zakresie od połowy do jednej czwartej stopy kwadratowej na galon dla jednodniowego zużycia ciepłej wody.

Głównym zastosowaniem dla tej technologii są budynki mieszkalne, w których zapotrzebowanie na ciepłą wodę ma duży wpływ na wysokość rachunków za energię. Zazwyczaj oznacza to sytuację, w której mamy do czynienia z dużą rodziną, lub taką, w której zapotrzebowanie na ciepłą wodę jest bardzo duże ze względu na częste pranie.

Zastosowania komercyjne obejmują myjnie samochodowe, pralnie wojskowe i zakłady gastronomiczne. Taka technologia może być również wykorzystywana do ogrzewania pomieszczeń, jeżeli budynek nie jest podłączony do sieci lub występują częste przerwy w dostawie prądu. Systemy słoneczne do ogrzewania wody są prawdopodobnie najbardziej opłacalne w przypadku obiektów wyposażonych w systemy ogrzewania wody, lub w obiektach w rodzaju pralni lub kuchni, które wymagają dużych ilości ciepłej wody.

Nieszkliwione kolektory cieczy są powszechnie stosowane do podgrzewania wody w basenach pływackich. Z uwagi na to, że takie kolektory nie muszą wytrzymywać wysokich temperatur, mogą wykorzystywać tańsze materiały, np. tworzywa sztuczne lub gumę. Nie wymagają one również mrozoodporności, ponieważ baseny są zazwyczaj używane tylko przy ciepłej pogodzie lub można je łatwo opróżniać na czas zimnej pogody. Biorąc pod uwagę fakt, że stosowanie kolektorów słonecznych jest najbardziej opłacalne w miejscach nasłonecznionych o klimacie umiarkowanym, ich zastosowanie może być opłacalne praktycznie w każdym miejscu w takim kraju, a zatem należy je wziąć pod uwagę.

2.2.2 Kolektor wysokotemperaturowy

Mając na uwadze zmniejszenie strat ciepła występujących w kolektorach z płytami płaskimi i poprawę poziomu temperatury w takich kolektorach, w latach 70. ubiegłego wieku opracowano na świecie koncepcję rurki próżniowej, której korpus pochłaniający ciepło jest zamknięty w warunkach wysokiej próżni wewnątrz szklanej rurki próżniowej, co znacznie poprawia wydajność cieplną. Liczba odgałęzień biegnących od rurki próżniowej tworzy łącznie kolektor rurki próżniowej, a gromadzona energia zwiększa ilość światła słonecznego. Niektóre rurki próżniowe są również wyposażone w tylnej części w reflektory. Rurę kolektora próżniowego można w zasadzie podzielić na dwa typy: kolektory próżniowe całkowicie szklane (szklane rury kolektora próżniowego w kształcie litery U) oraz metalowe rury próżniowe z rurą grzejącą (rura kolektora próżniowego z prostym przepływem i rura kolektora próżniowego gromadząca ciepło).

Kolektor-kondensor ma trzy podstawowe komponenty: kondensor, absorber i system śledzący (?). Zgodnie z zasadą rozróżniania typów kondensatorów, kolektor-kondensor można podzielić na dwie kategorie, tj. kolektor odbijający i załamujący, a obie kategorie na kilka kolejnych podkategorii (?). Rozwój technologii kolektorów-kondensatorów, jaki nastąpił w ubiegłym wieku, zorientowany na spełnienie wymagań dotyczących wykorzystania energii słonecznej, takich jak uproszczenie czynników śledzenia, poprawa niezawodności, obniżenie kosztów, skutkowało stworzeniem wielu rodzajów takich kolektorów. Tym niemniej kolektory-kondensory są znacznie mniej promowane niż kolektory bazujące na płytach płaskich i ich obecność na rynku jest o wiele mniej zauważalna (?). W kolektorach-koncentratorach odbijających stosowane są najczęściej obrotowe zwierciadła paraboliczne (skupienie punktowe) oraz zwierciadła paraboliczne korytowe (skupienie liniowe). Pierwszy z nich może się nadmiernie rozgrzewać, ale zapewnia śledzenie dwupoziomowe, natomiast drugi z nich utrzymuje temperaturę, ale zapewnia tylko śledzenie jednopoziomowe (?). Na początku ubiegłego wieku rozwinięto technologię dwóch kolektorów-kondensatorów, a w ciągu kolejnych dekad wprowadzono szereg ulepszeń, np. powierzchnie odbijające poprawiające precyzję obróbki, rozwój materiałów o wysokim współczynniku odbicia, rozwój środków do śledzenia o dużej niezawodności. Na dzień dzisiejszy te dwa typy kolektorów parabolicznych korytowych są w stanie zaspokoić wiele różnych wymogów związanych z wykorzystaniem energii słonecznej o wysokiej temperaturze, ale wysoki koszt ich użycia znacznie ogranicza ich szersze zastosowanie.

W latach 70. ubiegłego wieku na rynku międzynarodowym pojawił się „kolektor-koncentrator paraboliczny zwierciadłowy” (CPC). CPC składa się z dwóch parabolicznych zwierciadeł i nie wymaga śledzenia położenia Słońca. Wystarczy jedynie dokonać regulacji w zależności od zmiany pory roku, aby urządzenie zaczęło gromadzić światło słoneczne i uzyskało wyższą temperaturę. Szybkość kondensowania jest zwykle niższa od 10, a urządzenie można zainstalować nawet wtedy, gdy szybkość kondensowania jest poniżej 3 – bez konieczności regulacji (?). W tamtym czasie technologia CPC była bardzo wysoko oceniana, a nawet uznawana za przełom w dziedzinie technologii wykorzystania energii słonecznej, który miał być powszechnie stosowany. Jednak kilkadziesiąt lat później technologia CPC była stosowana jedynie w niewielkiej liczbie projektów demonstracyjnych, a kolektory na bazie płyt płaskich i rurek próżniowych nie znalazły szerszego zastosowania (?).

Inne koncentratory na bazie zwierciadeł odbijających to zwierciadła stożkowe, sferyczne, prętowe, zwierciadła korytkowe typu wiaderkowego, koncentratory zwierciadeł płaskich i parabolicznych, itp. Ponadto w wieżowych elektrowniach słonecznych znajduje

się urządzenie zwane heliostatem. Heliostaty składają się z kilku zwierciadeł płaskich lub zakrzywionych sterowanych przez komputer. Odbijają one promienie słoneczne do absorbera, który może osiągnąć bardzo wysokie temperatury i zgromadzić znaczne ilości energii.

Można także utworzyć kondensator typu zakrzywiającego zgodnie z zasadą wykorzystania zjawiska załamывania światła. Niektórzy ludzie używają zestawu soczewek i płaskich zwierciadeł do montażu wysokotemperaturowego kotła słonecznego. Problem w tym, że soczewki szklane są zbyt ciężkie, a proces produkcyjny skomplikowany i kosztowny, co znacznie utrudnia ich powiększenie. W związku z tym kondensator typu zakrzywiającego nie stanowi rozwiązania długofalowego. W latach 70. XX wieku rozwinięto na świecie technologię dużej soczewki Fresnela na potrzeby produkcji kolektorów słonecznych koncentrujących. Soczewka Fresnela jest płaszczyzną soczewki kondensora, ma niewielką wagę i jest tania, stosuje się w niej ogniskowanie punktowe i liniowe. Taka soczewka jest zwykle wykonana z pleksiglasu lub innego przezroczystego tworzywa sztucznego, ale można w niej także zamocować szkło – głównie na potrzeby produkcji koncentratorów słonecznych dla systemów wytwarzania energii. Kondensator światłowodowy, który składa się z soczewek światłowodowych i światłowodu podłączonego źródła energii słonecznej (?) poprzez soczewkę optyczną, skupia (???). Drugim typem jest kondensator fluorescencyjny, który w zasadzie dodaje barwnik fluorescencyjny (?) do przezroczystego panelu (zwykle wykonanego ze szkła akrylowego - PMMA). Jest on zdolny do pochłaniania światła słonecznego i długości fal światła fluorescencyjnego (?) w ramach tego pasma absorpcyjnego, a także dłuższych fal niż generowane przez emiter fluorescencyjnego pasma absorpcyjnego (?). Emiter fluorescencyjny zapewnia osłabione odbicie całkowite w obrębie powierzchni krawędzi panelu płaskiego płyty (?), co wynika z różnic pomiędzy płytą i medium otaczającym (?). Szybkość kondensowania zależy od stosunku powierzchni płaskiej do powierzchni krawędzi. Łatwo jest osiągnąć stosunek 10-100, ponieważ płaski panel może pochłaniać światło słoneczne z różnych kierunków, ale może również pochłaniać światło rozproszone i nie wymaga śledzenia jego położenia.

2.3 Konstrukcja systemu

W ciągu dnia słońce znajduje się w różnym położeniu. Jeśli zwierciadła lub soczewki nie poruszają się, wówczas ognisko zwierciadeł lub soczewek podlega zmianom. Z tego względu nieuniknione wydaje się zastosowanie systemu śledzenia podążającego za położeniem Słońca (w przypadku systemów fotowoltaicznych, jedyną opcją jest tzw. solar tracker). System śledzenia zwiększa koszty. Mając to na uwadze, można wyróżnić wiele konstrukcji w zależności od sposobu skupiania światła i śledzenia położenia Słońca.

Schemat konstrukcji koryta parabolicznego. Zmiana położenia Słońca równolegle do odbiornika nie wymaga regulowania zwierciadeł.

2.3.1 Magazynowanie energii cieplnej

2.3.1.1 Magazynowanie ciepła jawnego

Najłatwiejszym sposobem magazynowania ciepła jest zastosowanie materiałów do magazynowania energii cieplnej jawnej. W praktyce za materiały do magazynowania energii można uznać wodę, piasek, żwir, ziemię, itp., spośród których woda wykazuje największą pojemność cieplną. W efekcie woda jest najczęściej wykorzystywana do tego celu. W latach 70. i 80. ubiegłego wieku do sezonowego magazynowania energii słonecznej wykorzystywano przeważnie wodę i glebę. Jednak ciepło jawne tych materiałów jest niskie, co ogranicza możliwość magazynowania energii.

2.3.1.2 Przechowywanie ciepła utajonego

Urządzenia magazynujące ciepło utajone magazynują energię cieplną w trybie utajonym (= ukrytym, uśpionym) poprzez zmianę stanu skupienia czynnika magazynującego. Stosowane urządzenia magazynujące nazywane są „materiałami zmiennofazowymi” (PCM). Do magazynowania niskotemperaturowego powszechnie stosowane są sole krystaliczne, np. dziesięciowodny siarczan sodu/chlorek wapnia, 12-wodny wodorofosforan sodu. Najpierw musimy jednak rozwiązać problemy związane z chłodzeniem i ilością warstw, aby zapewnić odpowiednią temperaturę pracy i żywotność. Średnia temperatura magazynowania energii słonecznej jest zazwyczaj wyższa niż 100°C, ale mieści się poniżej 500°C. Zazwyczaj jest to około 300°C. Środkami odpowiednimi do przechowywania materiałów o średniej temperaturze są: gorąca woda pod wysokim ciśnieniem, płyny organiczne, mieszanka soli eutektycznej. Temperatura magazynowania ciepła słonecznego wynosi na ogół powyżej 500°C. Obecnie badanymi materiałami są: sól i sól stopiona. Można także stosować bardzo wysoką temperaturę magazynowania powyżej 1000°C, odporny na ogień kulki z tlenku glinu i tlenek germanu.

2.3.2 Magazynowanie chemiczne energii cieplnej

Magazynowanie energii cieplnej polega na wykorzystaniu reakcji chemicznych prowadzących do magazynowania ciepła. Ma to tę zaletę, że umożliwia przechowanie dużej ilości ciepła o niewielkiej objętości i wadze. Produkt reakcji chemicznej może być przechowywany oddzielnie przez długi czas. Reakcja egzotermiczna zachodzi wtedy, gdy jest to konieczne. Zastosowanie reakcji chemicznej do tworzenia rezerw ciepła musi spełniać poniższe wymagania: dobra odwracalność reakcji, brak reakcji wtórnej, szybkie reagowanie, łatwość oddzielenia powstającego czynnika i stabilność rezerwy ciepła. Substrat reakcji i wynik reakcji to substancje nieszkodliwe, niepalne, zawierające dużą ilość ciepła wytworzonego w czasie reakcji, a sam koszt takiej reakcji jest niewielki. Część z powyższych wymagań można spełnić poprzez zastosowanie reakcji endotermicznej. Byłaby to np. reakcja rozkładu termicznego Ca(OH)_2 . Powyższą reakcję endotermiczną można zastosować do magazynowania i uwalniania ciepła, gdy jest to konieczne. Jednak temperatura reakcji dehydratacji w warunkach wysokiego ciśnienia atmosferycznego jest wyższa niż 500 stopni. Trudno będzie wykorzystać energię słoneczną do zakończenia reakcji dehydratacji. Możemy wprowadzić użyć katalizatora do obniżenia temperatury reakcji, ale nadal pozostanie ona bardzo wysoka. W konsekwencji ta metoda jest nadal badana w przemyśle chemicznym w kontekście zastosowania do tworzenia rezerw cieplnych.

2.3.3. Magazynowanie energii cieplnej z użyciem kryształów plastycznych

W 1984 r. na rynek amerykański wprowadzono materiały z kryształów plastycznych na potrzeby ogrzewania domów. Nazwa naukowa kryształów plastycznych to glikol neopentylowy (NPG). Kryształy plastyczne i ciekłe są podobne do trójwymiarowych kryształów fotonicznych (?), ale ich właściwości mechaniczne są podobne do tworzyw sztucznych. Mogą one przechowywać i uwalniać energię cieplną w stałej temperaturze, nie polegając na zmianie fazy ze stałej na ciekłą na potrzeby magazynowania energii cieplnej. Energia jest przechowywana za pośrednictwem struktury molekularnej kryształu, która pojawia się w czasie zmiany fazy ze stałej na stałą. Gdy kryształy plastyczne mają stałą temperaturę 44 st. C, pochłaniają energię słoneczną i magazynują ciepło w ciągu dnia, a następnie uwalniają je w nocy.

2.3.4 Zbiornik magazynowy do gromadzenia energii słonecznej

Staw słoneczny jest rodzajem stawu solnego o określonym stopniu stężenia soli, dzięki czemu może być wykorzystywany do pozyskiwania i przechowywania energii słonecznej. Ze względu na swoją prostotę i niewielkie koszty jest to odpowiednie rozwiązanie do stosowania na dużą skalę, co spowodowało wzrost jego popularności. Po latach 60. ubiegłego wieku wiele krajów rozpoczęło badania nad zastosowaniem stawu słonecznego, a w Izraelu zbudowano także trzy elektrownie słoneczne wykorzystujące takie stawy.

2.4 Uśrednione koszty

Z uwagi na to, że elektrownia słoneczna nie wykorzystuje żadnego paliwa, na koszty składają się głównie koszty kapitałowe przy niewielkich kosztach operacyjnych i kosztach utrzymania. Jeżeli znany jest okres eksploatacji instalacji i stopa procentowa, wówczas można obliczyć koszt w przeliczeniu na kWh. Nazywa się to kosztami uśrednionymi.

Pierwszym krokiem w takich obliczeniach jest określenie kosztów inwestycji do produkcji 1 kWh w ciągu roku. Na przykład, arkusz informacyjny dla projektu Andasol 1 pokazuje łączną inwestycję w wysokości 310 mln euro przy produkcji 179 GWh rocznie. Ponieważ 179 GWh odpowiada 179 mln kWh, koszt inwestycji w przeliczeniu na kWh produkcji rocznej wynosi $310 / 179 = 1,73$ euro. Innym przykładem jest elektrownia słoneczna Cloncurry w Australii. Produkuje ona 30 milionów kWh rocznie na przy kosztach inwestycji w wysokości 31 milionów dolarów australijskich. Tak więc cena produkcji 1 kWh w ciągu roku wynosi 1,03 dolara australijskiego. Jest to znacznie tańsze niż projekt Andasol 1, co można częściowo wyjaśnić wyższym napromieniowaniem słonecznym w Cloncurry w porównaniu z Hiszpanią. Koszt inwestycji w przeliczeniu na kWh przez jeden rok nie należy mylić z kosztem za kWh w całym okresie eksploatacji takiej instalacji.

W większości przypadków moc jest określana w odniesieniu do elektrowni (np. Andasol 1 ma moc 50 MW). Liczba ta nie nadaje się do celów porównawczych, ponieważ współczynnik wydajności może się różnić. Jeśli elektrownia słoneczna ma magazyn ciepła, wówczas może również produkować ciepło po zachodzie słońca, co nie zmieni jednak wartości współczynnika mocy – będzie to po prostu przesunięcie mocy. Średni współczynnik mocy dla elektrowni słonecznej, która spełnia funkcje śledzenia, zacieniania i lokalizacji, wynosi około 20%, co oznacza, że elektrownia o mocy 50 MW będzie dostarczać rocznie energię na poziomie $50 \text{ MW} \times 24 \text{ godziny} \times 365 \text{ dni} \times 20\% = 87\,600 \text{ MWh/rok}$, czyli 87,6 GWh/rok.

Chociaż wartość inwestycji w produkcję w przeliczeniu na jedną kWh rocznie wystarczy do porównania cen dla różnych elektrowni słonecznych, nie otrzymamy w ten sposób ceny za kWh. Sposób finansowania ma duży wpływ na cenę końcową. Jeżeli dana technologia zostanie potwierdzona, można zastosować stopę procentową w wysokości 7%. Jednak w odniesieniu do nowych technologii, inwestorzy wymagają znacznie wyższej stawki, aby zrekompensować wyższe ryzyko. Ma to znaczący negatywny wpływ na cenę za kWh. Niezależnie od sposobu finansowania, zawsze istnieje liniowa zależność pomiędzy kosztami inwestycji na kWh produkcji w ciągu roku a ceną za 1 kWh (przed dodaniem kosztów eksploatacji i utrzymania). Innymi słowy, jeżeli poprzez udoskonalenie technologii wartość inwestycji spadnie o 20%, wówczas cena za kWh również spadnie o 20%.

Jeżeli zakłada się sposób finansowania, w którym pieniądze są pożyczane i spłacane co roku, co oznacza, że zadłużenie i odsetki maleją, wówczas do obliczenia współczynnika podziału można użyć następującego wzoru: $(1 - (1 + \text{odsetki} / 100)^{-\text{okres żywotności}}) / (\text{odsetki} / 100)$. Przy okresie użytkowania równym 25 lat i przy stopie procentowej 7%, wartość podziału wynosi 11,65. Na przykład: inwestycja w projekt Andasol 1 wyniosła 1,73 euro, co podzielone przez 11,65 daje cenę jednostkową 0,15

euro za kWh. Jeśli dodamy do tego jeden cent dla kosztów eksploatacji i utrzymania, wówczas koszt uśredniony wyniesie 0,16 euro. Inne sposoby finansowania, inny sposób spłaty zadłużenia, różne oczekiwania co do okresu przydatności do użytku, a także różne stopy procentowe, mogą dawać zupełnie inne wyniki liczbowe.

Jeśli koszt za kWh podąża za inflacją, wówczas do stopy procentowej można dodać stopę inflacji. Jeśli inwestor oddaje pieniądze do banku przy oprocentowaniu 7%, to nie otrzyma żadnej rekompensaty za inflację. Jeśli jednak koszt za kWh wzrasta wraz z inflacją, wówczas inwestor otrzyma rekompensatę i może dodać 2% (normalna stopa inflacji) do stopy swojego zwrotu. Elektrownia Andasol 1 ma taryfę gwarantowaną w wysokości 0,21 euro na okres 25 lat. Jeśli taryfa jest stała, należy pamiętać, że po 25 latach przy stopie inflacji 2%, cena 0,21 euro będzie miało wartość porównywalną z obecną stawką 0,13 euro.

Na koniec, istnieje pewna luka czasowa pomiędzy pierwszą inwestycją a pierwszą produkcją energii elektrycznej. Zwiększa to koszt inwestycji wraz z odsetkami w okresie, w którym zakład jeszcze nie działa. Modułowa czasza słoneczna (również ogniwa fotowoltaiczne i energia wiatrowa) ma tę zaletę, że produkcja energii elektrycznej rozpoczyna się już po pierwszej instalacji.

Biorąc pod uwagę fakt, że energia słoneczna jest niezawodna, taka instalacja może zapewnić obciążenie szczytowe i nie powoduje zanieczyszczeń, a cena 0,10 USD za kWh czyni ją bardzo konkurencyjną. Mimo zakwestionowania ceny 0,06 USD przy uwzględnieniu pewnych kosztów operacyjnych, wartością docelową jest inwestycja na poziomie 1 USD (lub mniej) dla produkcji 1 kWh w ciągu roku.

2.5 Rodzaje paneli słonecznych

Kilkadziesiąt lat badań, pracy i rozwoju doprowadziły do powstania szerokiej gamy różnych typów paneli słonecznych dostępnych obecnie na rynku paneli słonecznych.

Aby dać szerszy obraz, organizacja GreenMatch przygotowała kompilację przydatnych informacji na temat najbardziej popularnych i specjalnych typów paneli słonecznych.

Typ ogniwa słonecznego	Współczynnik wydajności	Zalety	Wady
Monokrystaliczne panele słoneczne (Mono-SI)	~20%	Wysoka wydajność; zoptymalizowane do użytku komercyjnego; wysoka jakość przez cały okres użytkowania	Drogie
Polikrystaliczne panele słoneczne (Poly-SI)	~15%	Niższa cena	Wrażliwe na wysokie temperatury; krótsza żywotność i nieco mniejsza wydajność przestrzenna
Cienkowarstwowe: Amorficzne silikonowe panele słoneczne (A-SI)	~7-10%	Stosunkowo niskie koszty, łatwość produkcji, elastyczność instalacyjna	Krótsze gwarancje i krótsza żywotność

Typ ogniwa słonecznego	Współczynnik wydajności	Zalety	Wady
Skoncentrowane ogniwa fotowoltaiczne (CVP)	~41%	Bardzo wysoka wydajność	Potrzebny jest system śledzenia solar tracker i system chłodzenia (aby osiągnąć wysoką sprawność)

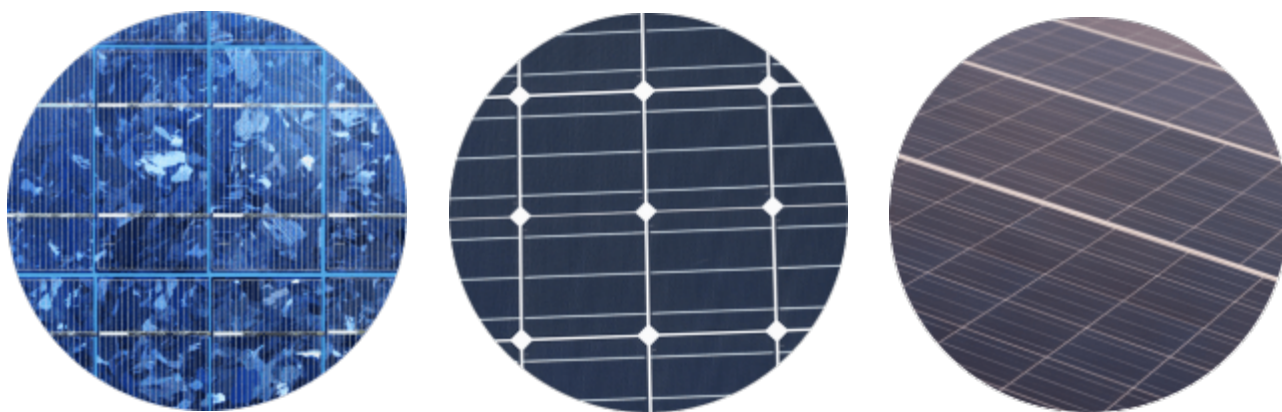
Tab. 1 Rodzaje paneli słonecznych
(źródło: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels>)

2.5.1 Jak klasyfikować różne rodzaje paneli słonecznych

Biorąc pod uwagę, że światło słoneczne może być wykorzystywane w różny sposób, czy to na Ziemi, czy w kosmosie, dowiadujemy się, że już sama lokalizacja jest istotnym czynnikiem wpływającym na wybór danego typu paneli słonecznych.

Rozróżnienie pomiędzy różnymi typami paneli słonecznych często oznacza rozróżnienie pomiędzy panelami jedno- i wielozłączowymi - lub pomiędzy panelami pierwszej, drugiej lub trzeciej generacji. Panele jednozłączowe i wielozłączowe różnią się liczbą warstw na panelu słonecznym, które będą wystawione na działanie światła słonecznego, natomiast klasyfikacja ze względu na generację koncentruje się na materiałach i wydajności poszczególnych typów paneli słonecznych.

Panele słoneczne pierwszej generacji są tradycyjnymi typami paneli słonecznych wykonanych z monokryształów krzemu lub krzemu polikrystalicznego i są najczęściej stosowane w konwencjonalnym otoczeniu.



Rys.4 Rodzaje szyb solarnych
Monokrystaliczne (po lewej), polikrystaliczne (w środku), cienkowarstwowe ogniwa słoneczne (po prawej)

(źródło: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels>)

Monokrystaliczne panele słoneczne (Mono-SI)

Ten typ paneli słonecznych (wykonanych z monokryształów krzemu) jest najczystszy. Można je łatwo rozpoznać po jednolitym, ciemnym wyglądzie i zaokrąglonych krawędziach. Wysoka czystość krzemu powoduje, że ten typ paneli słonecznych ma jeden z najwyższych współczynników wydajności, a najnowsze modele osiągają ponad 20%.

Panele monokrystaliczne mają dużą moc wyjściową, zajmują mniej miejsca i mają najdłuższą żywotność. Oczywiście oznacza to również, że są one najdroższe z całej

rodziny. Kolejną zaletą wartą rozważenia jest to, że w porównaniu z panelami polikrystalicznymi są one zazwyczaj nieco mniej podatne na działanie wysokich temperatur. Polikrystaliczne panele słoneczne (Poly-SI)

Te panele można łatwo odróżnić, ponieważ ten typ paneli słonecznych ma kształt prostokąta, jego kąty nie są cięte, i niebieską barwę przypominającą plamy. Są one wytwarzane poprzez topienie surowego krzemu, co jest szybszym i tańszym procesem niż proces stosowany w przypadku płyt monokrystalicznych.

Skutkuje to niższą ceną końcową, ale także niższą wydajnością (około 15%), niższą wydajnością przestrzenną i krótszą żywotnością, ponieważ są one w większym stopniu podatne na wpływ wysokich temperatur. Jednak różnice pomiędzy panelami monokrystalicznymi i polikrystalicznymi nie są aż tak znaczące i wybór będzie w dużym stopniu zależał od konkretnej sytuacji. Pierwsza opcja oferuje nieco wyższą efektywność przestrzenną przy nieco wyższej cenie, ale moc wyjściowa jest w zasadzie taka sama.

Panele słoneczne drugiej generacji

Te ogniwa to inny rodzaj cienkowarstwowych ogniw słonecznych, które są stosowane głównie w elektrowniach fotowoltaicznych, zintegrowanych w budynkach lub w mniejszych systemach energii słonecznej.

Ogniwa słoneczne cienkowarstwowe (TFSC)

Możesz rozważyć ogniwa cienkowarstwowe, jeśli szukasz tańszego rozwiązania. Cienkowarstwowe panele słoneczne są produkowane poprzez umieszczenie jednej lub więcej warstw materiału fotowoltaicznego (takiego jak krzem, kadm lub miedź) na podłożu. Tego typu panele słoneczne są najłatwiejsze w produkcji, a ekonomia skali sprawia, że są tańsze niż pozostałe rozwiązania, ponieważ do ich produkcji potrzeba mniej materiału.

Są one również elastyczne - co daje wiele możliwości dla alternatywnych zastosowań - i mniej podatne na wpływ wysokich temperatur. Głównym problemem jest to, że zajmują dużo miejsca, co sprawia, że generalnie nie nadają się do instalacji mieszkaniowych. Ponadto mają najkrótszą gwarancję, ponieważ ich żywotność jest krótsza niż paneli mono- i polikrystalicznych. Mogą one jednak być dobrą opcją do wyboru spośród różnych typów paneli słonecznych, jeżeli mamy do dyspozycji dużo miejsca.

Amorficzne silikonowe ogniwa słoneczne (A-SI)

Czy kiedykolwiek używałeś kalkulatora kieszonkowego zasilanego energią słoneczną? Tak? W takim razie na pewno znasz już tego typu panele słoneczne. Amorficzne krzemowe ogniwo słoneczne jest wprawdzie jednym z wielu różnych typów paneli słonecznych, ale to właśnie ono jest przeważnie używane w takich kalkulatorach kieszonkowych. Ten typ paneli słonecznych wykorzystuje technologię trójwarstwową, która jest najlepsza spośród wszystkich cienkowarstwowych paneli słonecznych.

Aby pokrótce przybliżyć pojęcie „cienki”, w tym konkretnym przypadku mówimy o grubości 1 mikrometra (jednej milionowej części metra). Przy zaledwie 7% wskaźniku wydajności ogniwa te są mniej efektywne niż ogniwa krzemowo-krystaliczne, których wskaźnik wydajności wynosi około 18%, ale ich zaletą jest fakt, że ogniwa A-Si są stosunkowo niskokosztowe.

Panele słoneczne trzeciej generacji

Panele słoneczne trzeciej generacji bazują na różnych technologiach cienkowarstwowych, ale większość z nich jest jeszcze w fazie badań lub rozwoju. Niektóre z nich wytwarzają energię elektryczną przy użyciu materiałów organicznych, inne wykorzystują substancje nieorganiczne (np. tellurek kadmu CdTe).

Biohybrydowe ogniwa słoneczne

Biohybrydowe ogniwo słoneczne jest jednym z typów paneli słonecznych, który jest jeszcze w fazie badań. Został on odkryty przez zespół ekspertów z Uniwersytetu Vanderbilta. Ideą nowej technologii jest wykorzystanie fotosystemu 1 i naśladowanie w ten sposób naturalnego procesu fotosyntezy. Dalej podano bardziej szczegółowe wyjaśnienie sposobu działania tych ogniw. Wiele materiałów stosowanych w tym ogniwie jest

podobnych do tradycyjnych metod, ale konwersja z energii chemicznej na elektryczną staje się znacznie bardziej efektywna (jest do 1000 razy bardziej wydajna niż panele słoneczne pierwszej generacji) tylko poprzez połączenie wielu warstw fotosystemu 1.

Ogniwa słoneczne na bazie kadmu i telluru (CdTe)

W tej technice fotowoltaicznej będącej częścią całej gamy różnych typów paneli słonecznych wykorzystuje się tellurek kadmu, który umożliwia produkcję ogniw słonecznych przy stosunkowo niskich kosztach, co skraca czas zwrotu z inwestycji (poniżej roku). Spośród wszystkich technologii wykorzystujących energię słoneczną, jest to technologia wymagająca najmniejszej ilości wody do produkcji. Mając na uwadze krótki czas odzyskiwania energii, ogniwa słoneczne CdTe utrzymują ślad węglowy na jak najniższym poziomie. Jedyną wadą stosowania tellurku kadmu jest jego toksyczność w przypadku spożycia lub wdychania. Jest to jedna z największych barier do pokonania zwłaszcza w Europie, ponieważ wiele osób jest bardzo zaniepokojonych wykorzystaniem tej technologii do produkcji tego typu paneli słonecznych (<https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels>).

Skoncentrowane ogniwo fotowoltaiczne (CVP i HCVP)

Skoncentrowane ogniwa fotowoltaiczne generują energię elektryczną tak samo jak tradycyjne systemy fotowoltaiczne. Te wielofunkcyjne typy paneli słonecznych oferują współczynnik wydajności do 41%, który wśród wszystkich systemów fotowoltaicznych jest jak dotąd najwyższy.

Nazwa ogniw CVP odnosi się do tego, co czyni je tak wydajnymi w porównaniu z innymi typami paneli słonecznych: do wiązania promieni słonecznych wykorzystywane są zakrzywione powierzchnie lustrzane, soczewki, a czasem nawet systemy chłodzenia, co zwiększa ich efektywność.

W ten sposób ogniwa CVP stały się jednym z najbardziej efektywnych typów paneli słonecznych, o wysokiej wydajności i sprawności do 41%. Należy jednak wziąć pod uwagę fakt, że panele słoneczne CVP dają taką wydajność tylko wtedy, gdy są zwrócone są do Słońca pod idealnym kątem. Aby osiągnąć tak wysoki współczynnik sprawności, wewnątrz panelu słonecznego umieszczono urządzenie „solar tracker”, które podąża za Słońcem (S. Misak, L. Prokop, 2016).

3. Wykorzystanie energii słonecznej

Energia słoneczna pozyskiwana ze słońca poprzez wykorzystanie paneli słonecznych, to tylko jedna z najnowszych inicjatyw, które zaprezentował nam ruch „Going Green”, w ramach wysiłków na rzecz budowy i utrzymania odnawialnych i zrównoważonych źródeł energii. Jak w przypadku każdego nowego dodatku do Twojego domu, należy zawsze uwzględnić początkowy koszt komponentów i instalacji, aby uruchomić taki system (<https://www.thespruce.com/top-solar-energy-uses-1152263>).

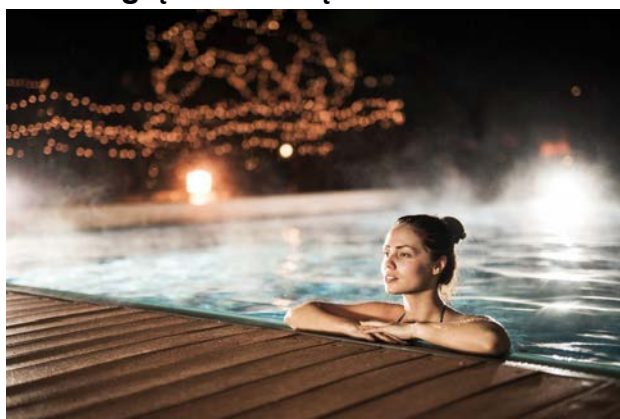
3.1 Wentylacja z zasilaniem słonecznym



Zdjęcie 1 Wentylacja energią słoneczną
(źródło: Peter Starman/Photographer's Choice RF/Getty Images)

Czy chciałbyś napędzać wentylatory łazienkowe, podłogowe i [sufitowe](#) w swoim domu energią słoneczną? Wentylatory są powszechnie stosowane w całym domu do przemieszczania powietrza do zapewnienia komfortu, wilgotności i kontroli zapachu. Pomyśl o ogrzewaniu i chłodzeniu w Twoim domu i zmniejsz rachunki za media. Pomyśl o tym, ile [wentylatorów sufitowych](#) mogłoby w ten sposób codziennie pracować w Twoim domu. Zastanów się teraz, ile wentylatorów łazienkowych pracuje przez cały dzień? A co z wentylatorami podłogowymi i tymi umieszczonymi nad kuchenką? Myślę, że zgodzisz się z tym, że wszyscy używamy wentylatorów....CORAZ CZĘŚCIEJ, żeby nas chłodzimy, zapewniały obieg powietrza lub wyciągały niechciane powietrze. Dzięki wentylatorom zasilanym energią słoneczną możesz zoptymalizować

3.2 Ogrzewanie basenu energią słoneczną



Zdjęcie 2 Ogrzewanie basenu
(źródło: BraunS/Getty Images)

W okresie lata baseny to jedna z największych radości dla dzieci i rodziców. Każdy jest podekscytowany od już od pierwszego dnia otwarcia basenu, chyba że basen jest po prostu zbyt zimny, aby do niego wskoczyć. Aby rozwiązać ten problem, można dodać koc słoneczny, który, ku ucieście wszystkich, ogrzeje wodę. Ogrzewanie działa bezpośrednio przez koc i nie wymaga żadnych innych instalacji. Jeśli jednak chcesz korzystać z nieco bardziej zaawansowanych technologii, wystarczy po prostu zainstalować ogrzewanie słoneczne ciepłej wody. Wykorzystuje się do tego panele słoneczne do podgrzewania wody, które są montowane na dachu i gromadzą ciepło słoneczne, a następnie uwalniają je do basenu. Temperatura basenu jest podwyższana w miarę pompowania wody z basenu, podgrzewana, a następnie zwracana z paneli.

3.3 Energia słoneczna może ogrzać wodę



Zdjęcie 3 Podgrzewacze wody
(źródło: Getty Images)

Czy rozważyliście Państwo możliwość ogrzewania wody energią słoneczną zamiast stosowania gazowych lub konwencjonalnych elektrycznych podgrzewaczy wody? Zaraz odpowiesz, że trzeba będzie kupić wszystkie potrzebne podzespoły, aby wykorzystać to rozwiązanie. Być może poradysz sobie z instalacją, a może nie. A do tego te koszty, więc może lepiej zostać przy tym, co już masz, zgadza się?

Nie tak szybko! Jeśli się nad tym zastanowić, nie różni się to niczym od wymiany przestarzałego pieca, kotła wody lub klimatyzatora. Wymieniając dane urządzenie można zwiększyć wydajność o 15-30%, ale zmiana wiąże się również z poniesieniem natychmiastowych kosztów początkowych. I chociaż wymiana pozwoli zaoszczędzić pieniądze na przestrzeni lat, należy ją także rozważyć w krótszych odcinkach czasu.

3.4 System ogrzewania energią słoneczną

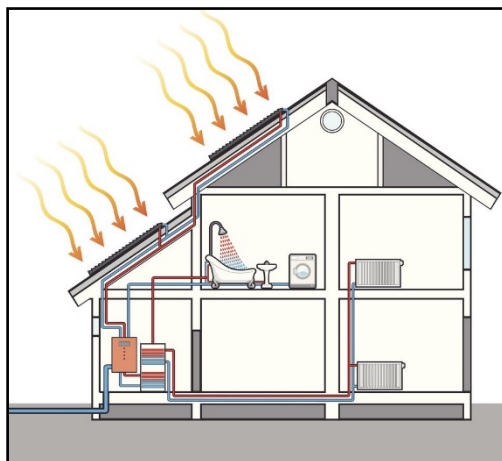


Zdjęcie 4 System dachowego ogrzewania energią słoneczną
(źródło: Antonis Liokouras/Getty Images)

Ogrzewanie słoneczne nazywane jest pasywnym ogrzewaniem pomieszczeń i na tym przykładzie postaram się wyjaśnić, jak to działa. Jednym ze sposobów jest wykorzystanie ciepła pochodzącego z gorącej wody w domu, które może powstać w wyniku zastosowania na dachu rur do transportu wody ogrzewanych promieniami słonecznymi i pompowania tej wody do kotła wody (<https://www.thespruce.com/top-solar-energy-uses-1152263>).

Po dodaniu pokoju słonecznego – będziemy go nazywać pokojem solarnym – na przykład w pomieszczeniu całkowicie przeszklonym światło słoneczne będzie filtrowane w ciągu dnia ogrzewając pomieszczenie poprzez kolektor zwany przezroczystą powłoką w szkło. Teraz, jeśli dodamy do tego rośliny i kamienia dla podniesienia walorów estetycznych, kamienie będą faktycznie przechowywać ciepło słoneczne, a zgromadzona energia zostanie wykorzystana do ogrzewania pokoju po zachodzie Słońca. Ilość zgromadzonej energii jest duża i ma wiele zastosowań, np. w bateriach.

3.5 Pompy zasilające na energię słoneczną



Rys. 5 Pompa solarna
(źródło: chuvipro/Getty Images)

Na dwóch poprzednich ilustracjach pokazano wodę używaną do ogrzewania wody i Twojego domu. Aby wykonać to zadanie, będziesz potrzebować pompy do cyrkulacji wody. Taka pompa jest normalnie podłączana do zasilania w Twoim domu, ale podpowiem Wam pewną wskazówkę. Możesz wykorzystać energię słoneczną do uruchomienia silnika prądu stałego, który będzie powoli cyrkulował wodę w całym domu lub przekazywał ją do i z kotła wody. W ten sposób koszty systemu dalej spadają. Teraz sceptyk powie: świetnie, ale co zrobimy, gdy nie będzie Słońca? Jednym ze sposobów jest doprowadzenie konwencjonalnego zasilania pompy, gdy brak Słońca. Można również zaopatrzyć się w system zasilania rezerwowego, który będzie zasilał pompę, a taki akumulator podłączyć do urządzenia do ładowania akumulatorów na energię słoneczną.

3.6 Energia słoneczna do ładowania akumulatorów

Czy rozważaliście Państwo użycie energii słonecznej do ładowania akumulatorów? Takie akumulatory mogą być wykorzystywane do zasilania pomp ściekowych, pomp wody gorącej, wentylatorów sufitowych w domu, lub oświetlenia na prąd stały. Urządzenia do ładowania akumulatorów są także używane w domach do ładowania wszystkich baterii używanych do gier wideo i tym podobnych. Nie pomyślę się raczej zakładając, że jeśli masz rezerwową baterię akumulatorów, która jest ładowana przez cały dzień, gdy jest dostęp do światła słonecznego, a następnie używana do zasilania w godzinach nocnych, dostrzegasz korzyści z takiego rozwiązania, prawda?

3.7 Wykorzystanie energii słonecznej do zasilania domu

Tak, dobrze słyszałeś, energia słoneczna może zasilić Twój dom. Taki system nie wydaje się aż tak skomplikowany, gdy przyjrzymy się potrzebnym komponentom. Wystarczy dodać panele słoneczne, aby zebrać światło słoneczne i zamienić je na energię elektryczną. Energia prądu stałego jest następnie przesyłana do falownika, który przetwarza energię prądu stałego na energię prądu zmiennego zasilającą cały Twój dom. Dzięki zastosowaniu przełączników między obwodami i innych urządzeń zabezpieczających, Twoje odnawialne źródło czystej energii jest w stanie zasilić Twój dom, kamper, domek letniskowy, schowek na narzędzia czy inny, podobny budynek.

3.8 Energia słoneczna do gotowania



Zdjęcie 5 Kuchenka solarna
(źródło: Getty Images)

O tak, to z pewnością przemówi do wszystkich. Przecież wszyscy musimy jeść. Rachunki za media mogą Cię zaskoczyć, jeśli weźmiemy pod uwagę energię i zasoby wykorzystywane do gotowania w pojedynkę. Gotowanie z wykorzystaniem energii słonecznej jest dużo łatwiejsze niż myślisz. Nazywamy to myśleniem nieszablonowym, a w tym przypadku mowa o gotowaniu nieszablonowym. Wyobraź sobie gotowanie w piekarniku słonecznym zamiast używania tradycyjnego piekarnika w domu. Zbudowanie takiego piekarnika to przepis na udane gotowanie w słoneczne dni! Mając do dyspozycji pudełko, patelnię, folię aluminiową, woreczek do gotowania, taśmą klejącą (najlepszy przyjaciel człowieka), izolację styropianową i termometr, zaczniesz gotować w mgnieniu oka.

3.9 Energia słoneczna do oświetlenia wewnętrznego



Zdjęcie 6 Oświetlenie wewnętrzne
(źródło: BanksPhotos/Getty Images)

Oświetlenie w domu jest czymś, czego używamy wszyscy. Dzięki wynalezieniu oświetlenia LED (diody elektroluminescencyjne), Twój dom może teraz zyskać optymalne oświetlenie przy minimalnym zużyciu energii. Takie małe, elektroniczne światło lub zestaw lampek można podłączyć poprzez system zasilany bateriami – w dzień będzie zasilany światłem słonecznym, a w nocy bateriami. Gdy światło słoneczne jest dostępne, urządzenie do ładowania akumulatorów naładuje zapasową baterię i uruchomi oświetlenie. Później, już w nocy, baterie się załączają i dostarczają...WIĘCEJ oświetlenia, gdy słońce jest niewidoczne.

3.10 Energia słoneczna wykorzystywana do oświetlenia zewnętrznego



Zdjęcie 7 Oświetlenie zewnętrzne
(źródło: Getty Images)

Jeśli jesteś taki jak ja, to lubisz wracać do domu w nocy mając do dyspozycji jakieś światło bezpieczeństwa i oświetlenie chodnika. Pomaga ono nie tylko w zapewnieniu widoczności w strefie przejścia, oświetlając klucze i drzwi wejściowe, ale służy również jako środek do odstraszenia niechcianych gości. Tak jak w przypadku słupów oświetleniowych, możesz oświetlić całe podwórkę, a do tego całkowicie za darmo! Zgadza się – przy zastosowaniu oświetlenia słonecznego panel słoneczny ładuje baterie w ciągu dnia, a następnie baterie zasilają światło w nocy.

4. Wady energii słonecznej

Przy wzroście kosztów energii elektrycznej o 3-5% rocznie, można zacząć rozważać alternatywne źródła energii, takie jak energia słoneczna. Jednak zanim kupisz i zainstalujesz system solarny w swoim domu, należy rozważyć kilka jego poważnych wad.

Energia słoneczna wykazuje najwyższe koszty początkowe względem jakichkolwiek innych źródeł energii odnawialnej, ale na pewno uznałbyś ją za wartą analizy (?). Jednak w rzeczywistości panele słoneczne mają niską wydajność.

Jeśli mieszkasz w najlepszej lokalizacji, będziesz miał szczęście korzystać ze współczynnika konwersji na poziomie 22% mając do dyspozycji najlepszą i najdroższą dostępną technologię.

Kolejnym problemem jest możliwość uszkodzenia paneli słonecznych przez burze. Oprócz kosztów wymiany paneli słonecznych, ze względu na toksyczne związki stosowane wewnątrz, uszkodzone panele muszą być przetransportowane i zutylizowane w odpowiedni sposób.

W tym artykule omówione zostaną podstawowe wady energii słonecznej, które należy wziąć pod uwagę przed podjęciem decyzji o wyborze energii słonecznej (<https://www.nachi.org/disadvantages-solar-energy.htm?loadbetadesign=0>).

4.1 Lokalizacja i dostępność światła słonecznego

Szerokość geograficzna jest jednym z głównych czynników wpływających na efektywność wykorzystania energii słonecznej. Nie wszystkie lokalizacje otrzymują taką

samą ilość światła słonecznego w ciągu roku, przy czym skuteczność energii słonecznej spada dramatycznie im dalej od równika.

Oznacza to, że mieszkańcy takich miejsc jak Kanada i Rosja znajdują się w niekorzystnej sytuacji pod względem dostępu do energii słonecznej. Z kolei w miejscach takich jak Hawaje, gdzie przeciętnie przez 277 dni w roku występuje deszcz i chmury, położenie względem równika jest nieistotne, ponieważ jest tam po prostu zbyt mało nie zachmurzonego światła słonecznego docierającego do podłoża (<http://waldenlabs.com/disadvantages-solar-energy>).

Skuteczność promieniowania słonecznego zależy również od pory roku. Latem można wytwarzać więcej energii elektrycznej niż potrzeba, ponieważ słońce jest nachylone bliżej miejsca, w którym się znajdujesz. Z kolei w zimie słońce jest bardziej odchylone od Twojej lokalizacji, co sprawia, że nie możesz wygenerować wystarczającej ilości energii elektrycznej, aby zaspokoić swoje potrzeby.

Panele słoneczne ulegną zniszczeniu w wyniku działania promieni ultrafioletowych, jak wszystkie inne rzeczy narażone na działanie światła słonecznego. Wiatr, grad, śnieg, brud i wahania temperatury są również poważnym zagrożeniem dla paneli słonecznych.

4.2 Miejsce instalacji

Dla właścicieli domów, którzy chcą instalować panele słoneczne, obszar instalacji nie będzie aż tak duży, zwłaszcza że instaluje się je najczęściej na dachu. Jednak duże przedsiębiorstwa, które chcą produkować dużo energii elektrycznej, będą potrzebowały bardzo dużego obszaru instalacji, aby dostarczać energię elektryczną w sposób ciągły.

Największe pole słoneczne znajduje się w Hiszpanii i zajmuje obszar około 173 akrów, dostarczając energię elektryczną do prawie 12 000 gospodarstw domowych. Jest to 173 akrów ziemi, której nie można wykorzystać do niczego innego, np. do wypasu zwierząt (<https://www.nachi.org/disadvantages-solar-energy.htm?loadbetadesign=0>).

4.3 Niezawodność

Z uwagi na to, że energia słoneczna bazuje na Słońcu, nie można wytwarzać energii elektrycznej w nocy. W efekcie wymaga to albo przechowywania nadmiaru energii wyprodukowanej w ciągu dnia, albo podłączenia do alternatywnego źródła energii, np. lokalnej sieci energetycznej. Oznacza to, że oprócz wysokich kosztów samych paneli słonecznych, trzeba będzie całościowo zapłacić więcej.

Chmury i burze ograniczają również ilość możliwej do wytworzenia energii, ponieważ blokują promienie świetlne, które w przeciwnym wypadku zostałyby pochłonięte przez panel słoneczny.

4.4 Niewydajność

Według Qualitative Reasoning Group z Northwestern University, większość paneli słonecznych stosowanych w domach mieszkalnych przekształca jedynie 14% dostępnej energii w energię elektryczną. Nawet współczesne, najbardziej wydajne panele słoneczne przetwarzają tylko 22% dostępnej energii na energię elektryczną.

Ogniwa słoneczne nigdy nie osiągną 100% sprawności zgodnie z drugą zasadą termodynamiki. Najwyższa maksymalna teoretyczna sprawność wynosi 85% i to we współpracy ze zwierciadłami i silnikami umożliwiającymi podążanie za Słońcem.

W przypadku systemu, który nie podąża za Słońcem, najwyższa maksymalna teoretyczna wydajność wynosi tylko 55%. To samo dotyczy systemów, które śledzą Słońce w pochmurne dni.

Sprawność systemu solarnego spada, mimo że energię słoneczną można nadal gromadzić w pochmurne i deszczowe dni. Panele słoneczne są uzależnione od światła

słonecznego, aby efektywnie gromadzić energię słoneczną. Dlatego kilka pochmurnych i deszczowych dni może mieć zauważalny wpływ na układ energetyczny. Należy również wziąć pod uwagę, że energia słoneczna nie może być zbierana w nocy. Z drugiej strony, jeśli ogrzewanie wody jest również niezbędne w nocy lub w okresie zimowym, można rozważyć zastosowanie paneli termodynamicznych.

4.5 Zanieczyszczenie i wpływ na środowisko

Efekty działania energii słonecznej i potencjalne następstwa dla środowiska można podzielić czasowo na kategorie w odniesieniu do całego okresu eksploatacji instalacji fotowoltaicznej (PV) lub instalacji koncentratorów energii słonecznej (CSP), począwszy od ich produkcji po wycofanie z eksploatacji. Ich użycie może mieć jeden lub więcej potencjalnych skutków dla środowiska naturalnego przy wielu potencjalnych reakcjach ekologicznych. Ponadto na faunę i florę oraz środowisko może w różny sposób wpływać technologia, wielkość i lokalizacja infrastruktury wykorzystującej energię słoneczną. Na przykład zintegrowana energia słoneczna to energia, która w ogóle nie wpływa na zagospodarowanie terenu i pokrycie gruntów, uwzględniając jedynie wpływ związany z pozyskiwaniem i produkcją surowców. W ten sposób ma ona minimalny lub zerowy negatywny wpływ na biosferę (poza emisją w cyklu życia), zasoby (np. kulturowe) oraz tytuły prawne - np. prawa religijne społeczności tubylczych. Zintegrowana energia słoneczna jest wkomponowywane spójnie w elementy środowiska zabudowanego w obszarach miejskich i podmiejskich (np. dachy budynków handlowych i mieszkalnych, garaże i wiaty samochodowe) znajdujące się względnie blisko użytkowników. Mimo geograficznego rozproszenia, zintegrowana energia słoneczna oferuje wysoki poziom potencjału energii słonecznej. Szacuje się, że 20-27% całkowitej powierzchni dachowej w budynkach mieszkalnych i 60-65% dachów budynków z przeznaczeniem komercyjnym w Stanach Zjednoczonych sprzyja stosowaniu fotowoltaicznych i słonecznych systemów grzewczych. Z kolei energia słoneczna przemieszczająca się to energia, która powoduje dodatkową zmianę sposobu użytkowania gruntów lub ich pokrycia i w związku z tym zmniejsza zdolności biofizyczne lub ułatwia utratę innych cennych zasobów (np. kulturalnych) na całej powierzchni Ziemi. Instalacje te są zazwyczaj montowane na ziemi i mają dużą wydajność. Często są one geograficznie oddalone od miejsc z zapotrzebowaniem energetycznym i istniejących wcześniej sieci przesyłowych, a także mają duże wymagania dotyczące powierzchni gruntowej (tzn. przepustowość instalacyjna wzrasta równoległe z powierzchnią gruntu) (Murphy-Mariscal Michelle L. et. al., 2018).

4.6 Wymagania gruntowe

Szacuje się, że w celu zaspokojenia prognozowanego zapotrzebowania na energię do 2040 r. potrzebne będzie około 800 000 km² dodatkowych terenów (z odstępami), czyli na skutek rozwoju energii odnawialnej i wysokoemisyjnej ucierpiałby obszar dwa razy większy niż granice stanu Kalifornia. Systemy energii słoneczna umieszczone na ziemi wymagają stosunkowo dużych powierzchni gruntu do obsługi infrastruktury elektrowni, zwierciadeł i wież (np. CSP) oraz paneli (np. PV). W efekcie takie instalacje są często zlokalizowane z dala od ośrodków miejskich, gdzie zużywa się najwięcej energii elektrycznej. Może to wymagać dodatkowej infrastruktury przesyłowej (tj. korytarzy linii energetycznych, dróg i podstacji) do transportu energii elektrycznej, rozszerzając oddziaływanie poza bezpośredni wpływ samych obiektów (Murphy-Mariscal Michelle L. et. al., 2018).

Oddziaływania na środowisko związane z energią słoneczną to wykorzystanie gruntów i wody oraz zanieczyszczenie, utrata siedlisk i wykorzystywanie wysoce niebezpiecznych materiałów w procesie produkcyjnym.

Wracając jeszcze do obszaru instalacji, wykorzystanie gruntów przez pola słoneczne może mieć charakter masowy, co oznacza, że w przeciwieństwie do energii

wiatrowej, współdzielenie gruntów na cele rolnicze nie jest możliwe. Energia słoneczna ma również wpływ na użytkowanie gruntów w kontekście wydobycia i wytwarzania materiałów potrzebnych do produkcji ogniw fotowoltaicznych.

Wśród związków występujących w panelach słonecznych znajdują się kadm i ołów, czyli niezwykle toksyczne metale. Istnieje wiele innych toksycznych i niebezpiecznych materiałów wykorzystywanych do produkcji paneli słonecznych, w tym arsenek galu, technologia cienkowarstwowa CIGD, kwas solny, kwas siarkowy, kwas azotowy, fluorowodór, 1,1,1-trichloroetan i aceton.

W Stanach Zjednoczonych od producentów wymaga się zagwarantowania, że te wysokowartościowe substancje będą poddawane recyklingowi, a nie usuwane. Jednak w innych krajach, takich jak Chiny, Malezja, Filipiny i Tajwan, gdzie produkuje się ponad połowę systemów fotowoltaicznych, te niebezpieczne materiały są w sposób nieodpowiedzialny wyrzucane na polach, zanieczyszczając powietrze, wodę i glebę.

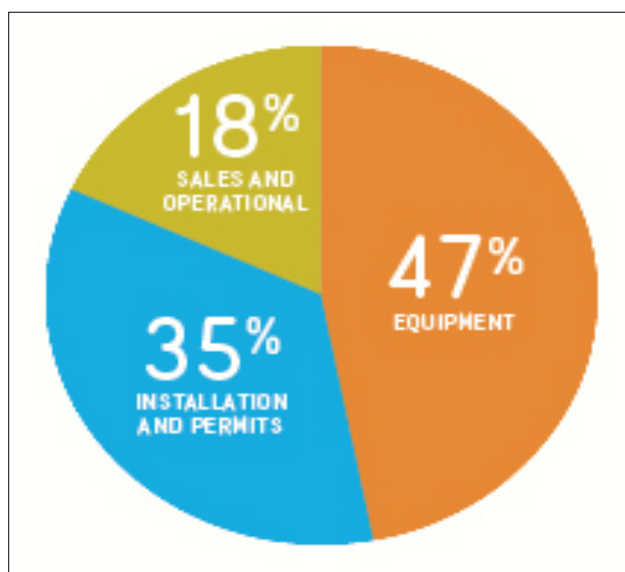
4.7 Drogie magazynowanie energii

Większość uważa magazynowanie dużych ilości energii elektrycznej za największą przeszkodę w produkcji energii słonecznej na skalę przemysłową. Obecnie możliwości magazynowania energii słonecznej w systemach baterii w postaci energii elektrycznej wiążą się z ogromnymi kosztami.

Tesla stworzyła baterię Powerwall do przechowywania energii słonecznej do późniejszego wykorzystania. Jednak takie akumulatory są bardzo drogie, ponieważ koszt jednej baterii o mocy 14 kWh wraz z instalacją wynosi około 7100 USD. Jeśli chcesz uzyskać jednodniową rezerwę energetyczną dla domu z czterema sypialniami, potrzebowalbyś trzech baterii Tesla, co podniesie koszty całkowite do 18300 USD.

4.8 Wysoki koszt początkowy

Taki koszt wynosi od 15000 USD do 29000 USD w przypadku systemów średniej wielkości, które wytwarzają od 4 kW do 8 kW energii elektrycznej. Koszty te obejmują panele słoneczne, falowniki, sprzęt i okablowanie montażowe, instalację, pozwolenia, naprawy, koszty monitorowania i konserwacji oraz dodatkowe koszty eksploatacji, a także koszty ogólne.



Rys. 6 Procent zmierzonych kosztów pozyskania paneli słonecznych

(źródło: <https://www.sunrun.com/solar-lease/cost-of-solar>)

SALES AND OPERATIONAL	SPRZEDAŻ I KOSZTY OPERACYJNE
INSTALLATION AND PERMITS	INSTALACJA I POZWOLENIA
EQUIPEMENT	WYPOSAŻENIE

Panele słoneczne są mierzone w watach i często wyceniane w postaci dolarów za wat. Nie wszystkie panele są identyczne, co wpływa na ich wycenę. Na koszty wyposażenia składają się: panele słoneczne, falownik, sprzęt montażowy i okablowanie. Z kolei instalacja i pozwolenia obejmują instalację słoneczną, łańcuch dostaw, pozwolenia i połączenia. Sprzedaż i eksploatacja obejmuje koszty monitorowania i konserwacji, naprawy, dodatkowe koszty operacyjne i koszty ogólne.

Można zauważyć, że nie obejmuje to systemu baterii do magazynowania, co stanowi dodatkowy koszt. Systemy baterii do magazynowania nie są koniecznością, jeśli planujesz uzupełnienie zapotrzebowania na energię poprzez podłączenie do lokalnej sieci energetycznej.

Jeśli wziąć pod uwagę koszt systemu baterii do magazynowania, o czym mowa powyżej, mówimy o potencjalnym koszcie całkowitym rzędu od 33300 dolarów do 47300 dolarów, aby w niezawodny sposób dostarczyć wystarczającą ilość energii w dzień i w nocy dla typowego domu z czterema sypialniami. Nawet wtedy, w zależności od klimatu i lokalizacji, konieczne może być zmniejszenie zużycia i oszczędność energii.

Innym czynnikiem, który należy wziąć pod uwagę przy analizie kosztów początkowych, jest okres zwrotu. W przypadku systemu o wartości 18000 USD, mówimy o okresie 20 lat, zanim odzyskasz te pieniądze dzięki oszczędnościom uzyskanym z energii słonecznej. Dla większości ludzi i ich finansów nie będzie to rozsądne rozwiązanie.

4.9 Wady ekonomiczne

Główną wadą energii słonecznej jest ekonomia. Materiał półprzewodnikowy, z którego wykonane są ogniwa słoneczne, jest niezwykle kosztowny w produkcji. Nawet w miarę postępów w badaniach materiałowych i odkrywaniu nowych metod produkcji, podstawowe techniki są nadal bardzo kosztowne. Istnieją tańsze panele słoneczne stosowane w elektronice użytkowej, ale nie generują one takiej ilości energii jak klasyczne ogniwa fotowoltaiczne.

Niektóre niedawne odkrycia pozwalają na wykorzystanie większej ilości widma słonecznego do generowania energii, ale te materiały eksperymentalne wykorzystują te same, drogie metody wzrostu kryształów i domieszkowania półprzewodników. Usprawnienie procesów produkcji to nadal pieśń przyszłości.

Przez ostatnie dziesięciolecie elektrownie słoneczne działały pod rządowym patronatem udowadniając, że wytwarzanie energii elektrycznej z energii słonecznej jest technicznie wykonalne, ale nieopłacalne ekonomicznie – w każdym razie na dzień dzisiejszy. Takie instalacje znajdują się na słabo zaludnionych, jałowych pustyniach, które są nasłonecznione prawie przez cały rok. Aby pomieścić panele słoneczne i zwierciadła, na których znajdują się te elektrownie, konieczne są duże ilości niedrogich gruntów, co oznacza, że są one zlokalizowane z dala od miejsca, w którym energia jest rzeczywiście wykorzystywana. Drogie wieże przesyłowe muszą przekazywać energię z takich odległych źródeł energii do energochłonnych ośrodków miejskich.

Pomimo obecnych wad energii słonecznej, wykorzystanie darmowej energii słonecznej wydaje się nadal obiecujące. Z uwagi na postępy w nauce i techniki produkcji sprawiające, że ogniwa słoneczne są bardziej wydajne i tańsze w produkcji, energia słoneczna stanie się w przyszłości ważnym źródłem energii dla domów mieszkalnych.

4.10 Wnioski

Skoro energia słoneczna jest uważana za niewyczerpywalny surowiec odnawialny, sposób, w jaki obecnie wykorzystujemy tę energię ma wiele wad, począwszy od nieopłacalności finansowej po nieefektywność. Niezależnie od tego technologia solarna jest jeszcze w powijakach i pojawia się coraz więcej ciekawych koncepcji jej wykorzystania.

Na przykład badania nad magazynowaniem energii pozwoliły na odkrycie dwóch różnych metod, które mogłyby być w przyszłości wykorzystane do magazynowania energii elektrycznej.

Inspirując się istniejącą technologią, naukowcy tworzą baterie przepływowe wykorzystujące małe cząsteczki organiczne, które pomagają rabarbarowi magazynować energię. Nazywa się to chinonami i mają one zastąpić toksyczne i bardzo drogie jony wanadu. Naukowcy przewidują, że ta technologia mogłaby obniżyć obecny koszt z 0,02 USD za kilowatogodzinę do 0,0025 USD za kilowatogodzinę.

Druga metoda, która jest naprawdę całkiem pomysłowa, polega na wykorzystaniu energii słonecznej do wytworzenia z dwutlenku węgla metanolu zamiast energii elektrycznej. Planuje się, że zakład spalałby metanol jako paliwo, co przekształciłoby go z powrotem w dwutlenek węgla, który byłby ponownie przechwytywany i składowany. Celem jest ograniczenie emisji poprzez recykling węgla, zamiast wpuszczania go do atmosfery.

Jedno jest jednak pewne. Energia słoneczna ma jeszcze przed sobą długą drogę, zanim stanie się przystępna cenowo, wydajna i przyjazna dla środowiska.

5. Studium przypadku - Elektrownia fotowoltaiczna Osorhei (CEF Osorhei)

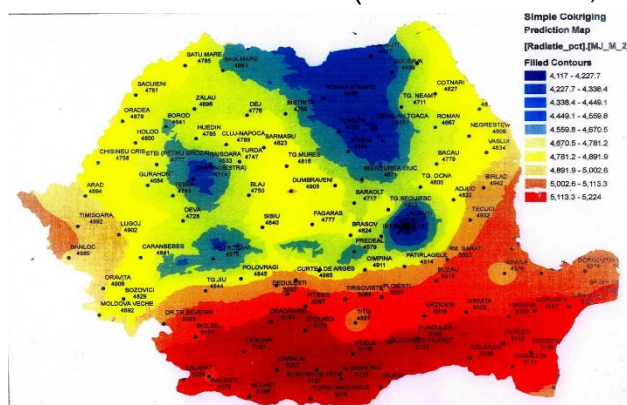
Budowa elektrowni fotowoltaicznej w Osorhei (CEF Osorhei) miała na celu wykorzystanie odnawialnej energii słonecznej do produkcji zielonej energii poprzez osiągnięcie na panelach słonecznych w Osorhei mocy 0,6 MW.



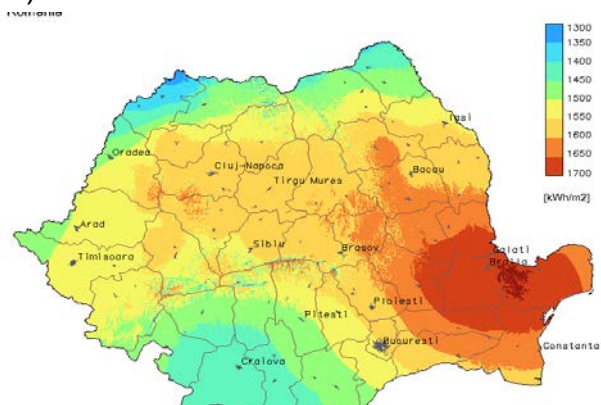
Rys. 7 Lokalizacja gminy Osorhei
(źródło: dgtat-dgtatamd.opendata.arcgis.com/)

Rumunia zapewnia niezbędny kontekst dla producentów energii elektrycznej wykorzystujących światło słoneczne. Obszary o szczególnym znaczeniu dla stosowania energii słonecznej na potrzeby elektroenergetyki w Rumunii obejmują: -Nizina Wołoska, Równina Zachodnia, Banat oraz część terenu górzystego w Transylwanii i Mołdawii.

Te obszary mają dostęp do strumieni energii słonecznej o średniej rocznej liczbie godzin nasłonecznienia od 1700 do 2050, a obszary takie jak Dobrudża, rumuńskie wybrzeże Morza Czarnego i Delta Dunaju, mają szczególne korzystne uwarunkowania ze średnim rocznym strumieniem słonecznym osiągającym liczbę ponad 2200 godzin nasłonecznienia rocznie (Clima Romaniei, 2008).



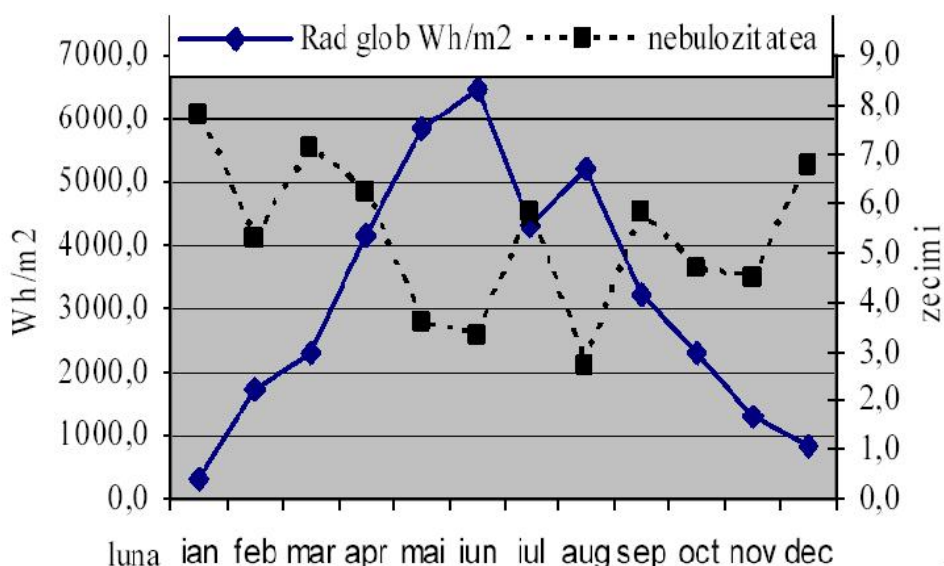
Rys.8 Potencjał energii słonecznej w Rumunii
(Clima Romaniei, 2008)



Rys.9 Suma rocznego globalnego napromieniowania odbieranego przez moduły fotowoltaiczne o optymalnym nachyleniu
(źródło: Clima Romaniei, 2008)

Region, w którym znajdują się fotowoltaiczne panele słoneczne (hrabstwo Okręg Bihor) wytwarzające energię elektryczną, ma korzystne cechy geograficzne umożliwiające osiągnięcie tych celów. W studium „Klimat i topoklimat Oradei” opracowanym przez Aurelię Florinę Dumiter w 2007 r. podsumowano dane klimatyczne dla hrabstwa Okręgu Bihor ze

średnim rocznym napromieniowaniem słonecznym wynoszącym 2990,0 Wh/m². W odniesieniu do maksymalnego i minimalnego potencjału promieniowania słonecznego w hrabstwie Okręgu Bihor w ciągu roku, otrzymamy następujący wynik: 5659,2 Wh/m² w czerwcu i 626,4 Wh/m² w styczniu.



Rys. 10 Korelacja pomiędzy zachmurzeniem i całkowitym napromieniowaniem globalnym w strefie umiarkowanej, obszar obejmuje Okręg Bihor (źródło: A. Dumiter, 2007)



Rys. 11 Roczne globalne napromieniowanie słoneczne dla ruchu pieszego w Oradei (źródło: A. Dumiter, 2007).

Miasto Fughiu w Okręgu Bihor jest miejscem, w którym wykonano instalację opartą na ogniwach fotowoltaicznych o mocy produkcyjnej 0,6 MW energii elektrycznej. Potencjał energii słonecznej oferowany przez Okręg Bihor jest wykorzystywany poprzez produkcję energii elektrycznej z energii słonecznej podłączonej do krajowej sieci elektroenergetycznej za punktem rozdziału (tj. w miejscu gdzie instalacje użytkowników są oddzielane jako sieć należąca do operatora elektrowni). Miasto Fughiu zostało wybrane na miejsce instalacji z uwagi na dostępność dużego terenu na potrzeby tego projektu oraz umiejscowienie z dala od wszelkich zabudowań, lasów lub innych obiektów, które mogłyby powodować zacienianie miejsca instalacji. Przechwytywanie promieniowania słonecznego na ziemi odbywa się w optymalnych warunkach.

W kontekście korzystnych uwarunkowań w zakresie promieniowania słonecznego na obszarach instalacji systemu solarnego, istnieje możliwość pełnego wykorzystania

potencjału promieniowania słonecznego w hrabstwie Okręgu Bihor, osiągając wartość roczną 5659,2 Wh/m².

W ten sposób średni roczny przepływ energii słonecznej wynosi od 1700 do 2050 godzin światła słonecznego rocznie, co może generować rzeczywistą produkcję prądu elektrycznego na poziomie 650000 kWh/rok dla instalacji o mocy 0,6 MW.

Wybrano cienkowarstwowe panele solarne fotowoltaiczne, które są najbardziej opłacalne ekonomicznie dla tego obszaru produkcji, cechując się wyższą wartością prądu niż system bazujący na panelach polikrystalicznych, ponieważ działają prawidłowo także w dni o niskim promieniowaniu słonecznym. Zasadniczo cienkowarstwowy system fotowoltaiczny może być wykonany w dowolnym rozmiarze, uwzględniając poziom energii, którą trzeba wyprodukować. Można go dodatkowo powiększyć lub przenieść, zależnie od potrzeb.

Technologia cienkowarstwowych ogniw fotowoltaicznych przyniosła wielką korzyść dla dalszego rozwoju tej dziedziny techniki, usuwając z rachunku kosztów kosztowny krzem. Ta technologia wykorzystuje materiał półprzewodnikowy, taki jak miedź, ind, gal i selen do produkcji paneli fotowoltaicznych zdolnych do przetwarzania światła słonecznego na energię elektryczną. Panele niesilikonowe są ponadto znacznie lżejsze i bardziej elastyczne, a do tego nie wymagają stosowania sztywnej i wytrzymałej ramy. Dzięki temu takie panele słoneczne mogą być stosowane na coraz większej liczbie obszarów.

System fotowoltaiczny z przyłączeniem do sieci energetycznej charakteryzuje się wytwarzaniem energii elektrycznej wykorzystując 3 główne komponenty:

vi. Panele fotowoltaiczne

Falownik

vii. Sieć elektroenergetyczną

Są one uzupełnione o szereg urządzeń pomocniczych, takich jak różnego rodzaju zabezpieczenia przed przepięciami lub liczniki energii.

Panele fotowoltaiczne tworzące generator fotowoltaiczny mają za zadanie odbierać światło słoneczne i przekształcać je w energię elektryczną. Energia generowana przez panele nazywana jest prądem stałym (DC), który poprzez wprowadzenie do sieci dystrybucji energii elektrycznej zostanie przekształcony przez falownik na prąd zmienny (AC). Falownik przetwarza wyprodukowany prąd stały na prąd przemienny, dzięki czemu może być przesłany do sieci elektroenergetycznej.

Instalacja zawiera również serię liczników do pomiaru wytworzonej energii.

Sieć energetyczna otrzymuje wytworzoną energię i rozprowadza ją do punktów poboru, tj. do odbiorcy - miasta Oșorhei.

W ten sposób, po zakończeniu całego procesu, instalacja fotowoltaiczna zostanie podłączona do sieci niskiego lub średniego napięcia.

Panel fotowoltaiczny stosowany w tym obiekcie wykonano w technologii cienkowarstwowej (krzem zastąpiono tellurkiem kadmu) o mocy znamionowej 75 W.

Cienkowarstwowe panele fotowoltaiczne są trwałe i elastyczne, pakowane w systemy izolacji zabezpieczające przed przenikaniem, a także zawierające samooczyszczające się polimery. Takie panele mogą być stosowane nawet jako gonty dachowe lub do innych kreatywnych zastosowań bazujących na elastyczności.

Cienkowarstwowy panel fotowoltaiczny zapewnia wysoką wydajność energetyczną niezależnie od pory roku i warunków atmosferycznych oraz doskonały poziom reagowania w warunkach słabego oświetlenia lub niskich temperatur. Te panele są bardzo mocne, wytrzymałe i odporne na akty wandalizmu.

Panele mają dolne, wytrzymałe ramy laminowane. Cienkowarstwowe panele fotowoltaiczne można łatwo poddać recyklingowi po zakończeniu użytkowania bez uszkodzania struktury paneli. Użyte panele spełniają normy zarządzania jakością i środowiskiem ISO 9001/2000 i ISO 24001/2004.

Większość produktów fotowoltaicznych ma żywotność obliczoną na 30 lat. Moduły dowolnego rodzaju, w tym zintegrowane produkty cienkowarstwowe, mają żywotność wynoszącą 20 lat, czyli dwukrotnie większą niż płyty laminowane kryształowe lub szklane, których żywotność wynosi 10 lat. Kolejnym elementem tego systemu jest falownik. W takich instalacjach stosowane są dwa rodzaje falowników, zależnie od ich mocy: 18 KW i 3,3 KW.

Moduły fotowoltaiczne prądu stałego generują promieniowanie proporcjonalne do natężenia oświetlenia. Aby systemy fotowoltaiczne działały równolegle z istniejącą siecią energetyczną, konieczne jest przekształcenie prądu stałego na prąd zmienny, który ma takie same właściwości jak prąd dostępny w sieci elektroenergetycznej. Urządzenie odpowiedzialne za ten proces nazywane jest falownikiem/przetwornikiem mocy DC/AC.

Sieć elektroenergetyczna

Każda seria paneli jest wyposażona w kabel doprowadzany do falownika. Kabel znajduje się maksymalnie najbliżej paneli, aby uniknąć strat prądu stałego (DC).

Maksymalny spadek napięcia DC wynosi 1,5%, a AC 2%. Napięcie robocze rozpoczyna się w punkcie mocy maksymalnej.

Przewody dodatnie i ujemne są prowadzone oddzielnie z każdej grupy modułów i chronione zgodnie z obowiązującymi normami. Wszystkie kable DC są podwójnie izolowane i nadają się do stosowania w złych warunkach atmosferycznych, na powierzchni lub w ziemi.

Dzięki tej metodzie i przy mocy 0,6 MW osiąga się roczną produkcję na poziomie 0,650 MWh, czyli o około 12% więcej niż w technologii polikrystalicznej, co z kolei generuje wyższe zyski.

Jest to zarazem aspekt ekonomiczny brany pod uwagę w odniesieniu do całkowitych kosztów inwestycji (budowa i eksploatacja) w stosunku do całkowitych przychodów operacyjnych.

Cienkie powłoki fotowoltaiczne sprawdzają się najlepiej w warunkach słabego nasłonecznienia, w porównaniu z panelami polikrystalicznymi, które wymagają bezpośredniego światła słonecznego. Wydajność cienkowarstwowej folii fotowoltaicznej jest oczywiście wyższa niż polikrystalicznej, a całkowita ilość energii wyprodukowanej z użyciem tej samej wydajności instalacyjnej jest co najmniej o 12% wyższa, jeżeli użyjemy cienkowarstwowych paneli fotowoltaicznych.

Kolejną zaletą jest gwarantowany okres eksploatacji paneli, co oznacza liczbę lat, przez które zapewniona jest wydajność na poziomie 98% nominalnej mocy instalacyjnej. Cienkowarstwowe panele fotowoltaiczne mają żywotność gwarantowaną o 5-10 lat dłuższą niż panele w technologii polikrystalicznej.

Konstrukcja nośna modułów jest zamocowana na ziemi z nachyleniem pod kątem 33° i orientacją południową 0°, przy zachowaniu odległości między rzędami modułów równej 7,25 m. Cała konstrukcja wykonana jest ze stali, cementu i aluminium.

Wybrano konfigurację ławki pochylonej wykonanej z ocynkowanej stali, aby uzyskać wysoką wytrzymałość konstrukcyjną i trwałość we wszystkich warunkach atmosferycznych. Konstrukcja kolumn w standardowych profilach stalowych jest mocowana w gruncie na wykonanym z cementu fundamencie cylindrycznym o średnicy 500 mm i na głębokości 900 mm.

Nad tymi stalowymi profilami umieszczone są cementowe belki poprzeczne o przekroju 100x170 mm i profile nośne z aluminium, mocowane nad modułami. Profile aluminiowe mają wymiary 60x60 mm i grubość 2 mm. Każdy rząd 8 modułów cienkowarstwowych jest podparty przez dwa profile aluminiowe.

Wykorzystuje się w nich ocynkowane łączniki do zakotwiczenia modułów, zapewniając tym samym dobry kontakt elektryczny pomiędzy modułami i profilami nośnymi, co stanowi zabezpieczenie przed ewentualnymi stratami izolacyjnymi generatora oraz przed skutkami wywołanymi wyładowaniami atmosferycznymi.

W konstrukcji zamontowano 9480 modułów o mocy znamionowej 75 W, które wymagają użycia 30 falowników o mocy 18 kW i 18 falowników o mocy 3,3 kW do przetwarzania prądu stałego wytwarzanego przez panele na prąd zmienny, który jest następnie transportowany do krajowej sieci elektroenergetycznej.

Na te 9480 modułów składa się łącznie 6 identycznych grup o mocy instalacyjnej 99,9 kW i mocy szczytowej 118,5 kWp. Każda grupa zawiera 1580 modułów, z czego 1400 modułów jest podłączonych do 5 falowników o mocy 18 kW, a 140 modułów do 3 falowników o mocy 3,3 kW.

Oprócz ciężaru własnego konstrukcja może wytrzymać przeciążenia wiatrem i śniegiem zgodnie z Kodeksem Technicznym Budownictwa. Konstrukcja ramy została obliczona zgodnie z obowiązującymi zasadami przy zagwarantowaniu dobrego zakotwienia paneli, aby umożliwić utrzymanie ciężaru własnego modułów i przeciążenia spowodowanego trzęsieniem ziemi, wiatrem lub śniegiem.

Wszystkie konstrukcje ramowe są połączone do uziemienia, aby zmniejszyć ryzyka związane z gromadzeniem się ładunków statycznych.

Instalacja elektryczna i okablowanie

Instalacja elektryczna i sprawność okablowania została obliczona na podstawie wartości wydajności maksymalnej, zwracając szczególną uwagę na instalację i zapewnienie ochrony oraz ryzyko spadku niskiego napięcia pomiędzy falownikiem i polem fotowoltaicznym, które powinno być mniejsze niż 1,5% na wejścia do transformatora.

Okablowanie DC (poprowadzone od modułów do falowników) i AC (poprowadzone od falowników do CGP umieszczonych w licznikach skrzynek) jest również uziemione.

Stacja transformacji składa się z małej sekcji wykonanej z prefabrykowanego cementu, w której znajdują się kompaktowe urządzenia średniego napięcia, transformator, układ niskiego napięcia oraz odpowiednie połączenia i elementy pomocnicze.

Przewody są miedziane i mają odpowiedni przekrój, który zapobiega przepięciom i przegrzaniu. Wszystkie kable prądu stałego i przemiennego są podwójnie izolowane i przystosowane do pracy w przypadku złej pogody, układane w rurach na powierzchni lub zakopane w ziemi.

Linia AC jest instalowana niezależnie od typu instalacji fotowoltaicznej, wraz z odpowiednimi zabezpieczeniami dedykowanymi do zasilania falownika.

Falownik jest wyposażony w linię komunikacyjną na bazie światłowodu wielofunkcyjnego, która łączy falownik z jednostką sterującą każdego modułu w bloku elektrowni fotowoltaicznej. Ta linia kończy się w centrum sterowania zakładu, które monitoruje najważniejsze zmienne dla każdej jednostki modułu.

Podłączenie do krajowego systemu elektroenergetycznego

Instalacja nie pracuje oddzielnie, aby umożliwić jej podłączenie do sieci elektroenergetycznej. W tym celu falownik przeprowadza proces ciągłego monitorowania napięcia i częstotliwości sieci oraz samoczynnie wyłącza się, gdy parametry sieci przestaną mieścić się w wartościach granicznych wymaganych dla instalacji elektrycznych w Rumunii.

Moduł połączeniowy jest trójfazowy, co gwarantuje wysoką jakość generowanego sygnału. Falownik wykazuje zniekształcenia harmoniczne poniżej 3% i ma minimalny współczynnik mocy równy 0,99 mocy nominalnej.

Połączenie z krajową siecią elektroenergetyczną znajduje się w punkcie napięcia 20 kV umieszczonym 100 metrów od instalacji solarnej.

Charakterystyka funkcjonalna

Eksploatacja omawianej instalacji solarnej odbywa się w następujący sposób: energia słoneczna jest pobierana przez panele fotowoltaiczne, a w ich wnętrzu odbywa się konwersja energii słonecznej na prąd stały. Wynikowy prąd stały jest przesyłany do falownika, który dokonuje przemiany prądu stałego w prąd zmienny. Wytworzony prąd zmienny jest rozprowadzany przez sieć energetyczną do wykorzystania przez odbiorców. Poniższa tabela przedstawia przykładową pracę instalacji solarnej.

Opis technologiczny

Panel fotowoltaiczny cienkowarstwowy

Stosowany w tej instalacji panel fotowoltaiczny wykonano w technologii cienkowarstwowej (krzem zastąpiono tellurkiem kadmu) o mocy znamionowej 75 W.

Cienkowarstwowy panel fotowoltaiczny to panel wykonany na bazie cienkowarstwowej płytki składającej się z 116 ogniw.

Rozmiary paneli to 1,2 m długości x 0,6 m szerokości. Ciężar panelu wynosi 12 kg. Panel ma dolną ramę wykonaną z wytrzymałego laminatu, która nadaje się do recyklingu.

Wszystkie panele fotowoltaiczne mają dwie warstwy półprzewodników, jedną naładowaną dodatnio i drugą naładowaną ujemnie. Kiedy słońce świeci na półprzewodnik, pole elektryczne występujące na styku tych warstw wytwarza energię → im większa intensywność światła słonecznego, tym więcej energii jest wytwarzane.

Falownik

Stosowane falowniki są bardzo zaawansowane technologicznie, spełniają wymagania w zakresie bezpieczeństwa technicznego wymaganego dla niskonapięciowych połączeń sieciowych, a także dyrektywy wspólnotowe w zakresie bezpieczeństwa elektrycznego i kompatybilności elektromagnetycznej.

Najważniejsze właściwości techniczne falowników:

- Umożliwiają idealne dopasowanie wektorów do osiągnięcia maksymalnej produkcji energii
- Zawierają system detekcji punktu mocy maksymalnej
- Umożliwiają szybką i precyzyjną kontrolę nad procesem, który wykonują
- Poprawiają sprawność prądową nawet o 20%, także w niesprzyjających warunkach klimatycznych
- Zwiększają moc w kilowatogodzinach dla paneli fotowoltaicznych
- Zapewniają szeroki zakres operacji z użyciem technologii ogniw fotowoltaicznych
- Wysoka dynamika pracy w pochmurne dni
- Działają w szerokim zakresie temperatur od -20 stopni do +85 stopni Celsjusza
- Odporne na wysokie poziomy zanieczyszczenia powietrza i wysoką wilgotność
- Modułowe komponenty zapewniają wydajność pracy
- Wyposażone w podwójne wentylatory chłodzące
- Zaprojektowane zgodnie z danymi sejsmicznymi z kwietnia
- Wbudowane przełączniki do odłączania prądu stałego i przemiennego
- Zawierają transformator separacyjny
- Łączą i dopasowują wynikowe napięcie falownika należące do systemu fotowoltaicznego
- Samoizolujące na potrzeby nadzorowania działania napięcia sieciowego oraz synchronizacja częstotliwości z napięciem wyjściowym napięcia alternatora w ramach sieci własnej.
- W pełni automatyczna praca, praktycznie bez strat w okresach bezczynności.

- Działa jako źródło energii i jest w stanie w każdej chwili pobrać maksymalną moc i dostarczyć ją do punktu mocy maksymalnej w generatorze fotowoltaicznym pracującym w zakresie zmiennej mocy pobieranej (?).
- Umieszczony w połączeniu sieciowym stycznik zabezpiecza przed wahaniami napięcia i częstotliwości.
- Zabezpieczenie przed zwarciem prądu przemiennego
- Zabezpieczenie nadnapięciowe
- Ochrona przed zakłóceniami występującymi w sieci, np. mikro przełączniki, awarie cykli impulsowych, zakłócenia zasilania i sieci odzyskiwania
- Zabezpieczenie przed odwróceniem biegunowości
- Separacja galwaniczna transformatora
- Obudowa bezpieczeństwa przyłączy prądowych
- Obudowa ochronna nad odsłoniętymi przyłączami prądowymi
- Falownik jest łatwy w instalacji, obsłudze i konserwacji, dzięki umieszczeniu wszystkich podzespołów w jednej komorze
- Łatwy dostęp do wszystkich podzespołów
- Zaprojektowany specjalnie do pracy w środowisku zewnętrznym
- Izolacja ocynkowana

Falownik ma system monitorowania umożliwiający rejestrację i zarządzanie następującymi zmiennymi:

- viii. Napięcie i prąd wejściowy
- ix. Aktywne wyjście mocy
- x. Temperatura i promieniowanie wewnątrz paneli oraz temperatura otoczenia
- xi. Status urządzenia
- xii. Stan styczników wyjściowych
- xiii. Alarmy (spadek napięcia zasilania, częstotliwość sieci, pochodne, niewystarczające napięcie na panelach, błędy komunikacji)

Dane przechowywane przez system monitoringu są zarządzane przez indywidualne oprogramowanie, które ułatwia komunikację w obrębie instalacji solarnej oraz monitorowanie i regulację parametrów w każdym podzespole. Dodatkowy system monitorowania obejmuje komunikację sterowaną i zarządzanie alarmami wraz z komunikacją GSM.

Transformator

Transformator 630 kVA wraz z niezbędnymi zabezpieczeniami i następujących właściwościach:

- xiv. Transformator trójfazowy, jednonapięciowy 420 V (bez obciążenia) / 20 kV
- xv. Pełna wodoszczelność zgodnie z przepisami
- xvi. Moc deklarowana 630 kVA
- xvii. Poziom izolacji 24 kV
- xviii. Połączenie z grupy Dyn 11
- xix. Impedancja zwarciova 4% przy 75°C
- xx. Obecnie docelowo 2,3%
- xxi. Ciśnienie akustyczne 59 dB

Wyposażenie stacji transformacji

Wewnątrz i nad przyłączem stacji znajduje się wyposażenie elektryczne typu MB obejmujące następujące elementy:

- xxii. Wspornik półki
- xxiii. System podnoszący
- xxiv. Kompaktowa przekładnia zębata MT, w pełni izolowana w klasie SF 6, typ GCM Cosmos 2 - LP

- xxv. Przekładnia zębata BT Rama z funkcją ochrony i sterowania niskonapięciowego
- xxvi. Transformator rozdzielczy MT/BT 160 kVA w całości wypełniony olejem/24 kV zgodnie z normami SEE
- xxvii. Bezpośrednie połączenia z użyciem kabli MT i BT
- xxviii. Mocowanie obwodu do uziemienia
- xxix. Oświetlenie i usługi dodatkowe

System monitorowania

System fotowoltaiczny ma dwukierunkowy, trójfazowy, elektroniczny licznik niskiego napięcia i pośredniego pomiaru energii, który mierzy energię wytwarzaną przez system fotowoltaiczny oraz zużycie energii przez instalację fotowoltaiczną.

Podstawowe cechy charakterystyczne urządzeń pomiarowych:

- xxx. Możliwość pomiaru mocy czynnej (dwukierunkowej) i biernej (4 kwadranty)
- xxxi. Możliwość pracy z 3 licznikami
- xxxii. Moc obliczeniowa, maksymalne zapotrzebowanie i nadwyżka mocy
- xxxiii. Porty komunikacyjne, odczyt lokalny i zdalny
- xxxiv. Dostępne są 4 wolne styki zasilania do przesyłania sygnałów do urządzenia zewnętrznego
- xxxv. Wyświetlacz LCD

Teoretyczna roczna produkcja odbywa się zgodnie z wymaganiami przepisów technicznych dotyczących przyłączenia sieci instalacji fotowoltaicznych dostępnych na poziomie europejskim, tj.:

- xxxvi. $E_p \text{ (kWh/dzień)} = G_{dm} (\alpha, \beta) \cdot PM \cdot PMP \cdot PR / GCEM$
- xxxvii. E_p = energia wyprodukowana przez generator
- xxxviii. PMP = źródło mocy szczytowej
- xxxix. $GCEM = 1 \text{ KW/m}^2$
- xl. PR = Współczynnik wydajności odpowiada sprawności energetycznej instalacji w warunkach rzeczywistej pracy.
- xli. Należy uwzględnić: zależność pomiędzy wydajnością i temperaturą; efektywność okablowania; straty z powodu zanieczyszczeń, parametry rozpraszania, błędy w śledzeniu punktów mocy maksymalnej oraz falownik energooszczędny.
- xl.ii. $G_{dm} (\alpha, \beta)$ = średnie dzienne napromieniowanie słoneczne w skali miesięcznej i rocznej dla generatora docelowego w kWh/m² / dzień, z uwzględnieniem nachylenia i azymutu instalacji.
- xl.iii. Zestawienie obliczonych danych uzyskanych z różnych źródeł oficjalnych, tj.:
- xl.iv. Połączonych europejskich centrów badawczych (komisje europejskie)
- xl.v. PVGIS -Ocena geograficzna zasobów energii słonecznej

Miesiąc	G _{dm} (0) [KW · h (m ² · dzień)]	G _{dm} (α = 0, SS = 37) [KW · h (m ² · dzień)]	E _p [KW · h / dzień]	E _p [KW · h / miesiąc]
Styczeń	1105	1874	203	6294
Luty	1989	3108	332	9307
Marzec	3228	4238	441	13678
Kwiecień	4474	4992	503	15101
Maj	5719	5722	563	17452
Czerwiec	5965	5663	550	16510

Lipiec	6135	5988	579	17 964
Sierpień	5360	5778	562	17416
Wrzesień	3945	4966	497	14855
Październik	2592	3907	400	12413
Listopad	1298	2136	225	5759
Grudzień	827	1366	148	4574
Średnia	3553	4145	417	12610
Razem	42 637	49738	5003	151 323

Tab. 2 Wartości promieniowania na powierzchni pochylej (kWh/m²) z uwzględnieniem orientacji i nachylenia (źródło danych: M. Dumitreanu, 2017)

Miesiąc	Produkcja teoretyczna kW/h	PR	Produkcja faktyczna kW/h
Styczeń	6294	0.77	4846
Luty	9307	0.77	7166
Marzec	13678	0.77	10532
Kwiecień	15101	0.77	11628
Maj	17452	0.77	13438
Czerwiec	16510	0.77	12 713
Lipiec	17 964	0.77	13832
Sierpień	17416	0.77	13410
Wrzesień	14855	0.77	11438
Październik	12413	0.77	9558
Listopad	5759	0.77	4434
Grudzień	4574	0.77	3522
Średnia	12610	0.77	9710
Razem	151 323	0.77	116 519

Tab. 3 Teoretyczna produkcja energii szacowana przez zakład wynosi 151 323 kWh/rok dla falownika (źródło danych: M. Dumitreanu, 2017)

Zgodnie z przedstawioną tabelą możemy stwierdzić, że produkcja energii elektrycznej szacowana dla rzeczywistej instalacji z użyciem falownika wynosi 116519 kWh/rok.

Wartości i oceny modułu fotowoltaicznego cienkowarstwowego STC1		Wartości liczbowe panelu
Znaczenie nazw	Zastosowane skróty	
Moc (+/- 5%)	PMPP (W)	75
Napięcie P _{MAX}	VMPP (W)	68.2
Prąd P _{MAX}	IMPP (A)	1.10
Napięcie obwodu otwartego	VOC (V)	89.6
Prąd zwarciov	ISC (A)	1.23
Maksymalne napięcie systemowe	VSYS (V)	1000
Współczynnik temperatury PMPP	TK (PMPP)	-0.25% / °C
Współczynnik temperatury VOC, wysoka temperatura (> 25°C)	TK (VOC, wysoka temp.)	-0.25% / °C
Współczynnik temperatury VOC, niska temperatura (-40°C do 25°C)	TK (VOC, niska temp.)	-0.25% / °C
Współczynnik temperatury ISC	TK (ISC)	+ 0,04% / °C

Graniczny prąd wsteczny	IR (A)	2
Maksymalny bezpieczny obwód źródłowy (?)	ICF (A)	10 (2 IEC617303)

Tab. 4 Parametry techniczne modułu fotowoltaicznego cienkowarstwowego
(Źródło danych: M. Dumitreanu, 2017)

Arkusz danych technicznych modułu fotowoltaicznego cienkowarstwowego 75 W.

Wartości i oceny modułu fotowoltaicznego cienkowarstwowego 800 W/m², 45°C, AM 1,5		Wartości liczbowe panelu
Znaczenie nazw	Zastosowane skróty	
Moc (+/- 5%)	PMPP (W)	56.3
Napięcie P _{MAX}	VMPP (W)	63.9
Prąd P _{MAX}	IMPP (A)	0.88
Napięcie obwodu otwartego	VOC (V)	83.3
Prąd zwarciov	ISC (A)	1.01

Charakterystyka mechaniczna			
Długość	1200 mm	Grubość	6,8 mm
Szerokość	600 mm	Powierzchnia	0,72 m ²
Ciężar	12 kg	Kabel	3,2 mm ² , 610 mm

Tab. 5 Parametry techniczne modułu fotowoltaicznego cienkowarstwowego 75 W
(Źródło danych: M. Dumitreanu, 2017)

Arkusza danych falownika 18 kW z zabezpieczeniem AC.

Wejścia	
Moc maksymalna przyłączy prądowych	22500 W
Napięcie znamionowe DC	335 V - 800 V
Napięcie nominalne (UFV, nom)	335 V
Maksymalne napięcie MPP (UMPP, maks.)	560 V
Maksymalne napięcie DC (UCC maks.)	800 V
Maks. wejściowe (IFV, maks.)	23
Współczynnik odkształcenia przyłączy prądowych (UPP)	<10%
Maksymalna liczba warstw (równoległych)	4
Przyłącza prądowe	Haki (MC lub Tyco)
Warystory termoregulacyjne	Tak
Monitorowanie układania na ziemi	Tak
Zabezpieczenie przed odwróceniem biegunowości	Dioda zwarcio
Wartości wyjściowe	
Maksymalna moc CA (PCA maks.)	19800 W
Znamionowy prąd zmienny (PCA nom)	18000 W
Maks. moc wyjściowa (ICA maks.)	31
Współczynnik odkształcenia nieliniowego z sieci elektrycznej	<4%
Napięcie znamionowe prądu zmiennego	380 V - 400 V

(UCA, nom)	
Częstotliwość znamionowa prądu zmiennego AC (FCA, nom)	50 Hz / 60 Hz
Współczynnik mocy (cos)	1
Odporność na zwarcia	Tak, kontrola parametrów prądu
Połączenie sieciowe	Złącza CA
Współczynnik wyjściowy	
Współczynnik maksymalnej wydajności	96%
Europejski współczynnik efektywności	95,3%
Elektronika mocy	
Schemat obwodu	Transformator mocy
Monitorowanie sieci	Sieć nadzorcza
Ilość faz	3 (połączenie trójfazowe w gwiazdę)
Obudowa	
DIN EN 60529	IP 65
Schemat chłodzenia	Opti Cool
Dopuszczalna temperatura otoczenia	między - 25°C i + 60°C
Ciężar i wymiary	
Ciężar	210 kg
Szerokość / Wysokość / Głębokość (mm)	2000/1000/300
Charakterystyka	
Komunikacja	Radiowa
Wyświetlacz	wyświetlanie opcji w 2 lub więcej rzędach
Gwarancja	5 - 10 lat

Tab. 6 Parametry techniczne falownika 18 KW
(Źródło danych: M. Dumitreanu, 2017)

Arkusz danych falownika 3,3 KW wbudowanego w układ zabezpieczenia prądu zmiennego w instalacji

Wejścia	
Moc maksymalna prądu stałego, napięcie znamionowe prądu stałego	3820 W
Napięcie nominalne (UFV, nom)	500 V
Zakres napięć fotowoltaicznych MPPT (UMPP)	200-500 V
Maks. wejściowe (IFV, maks.)	20
Współczynnik odkształcenia przyłączy prądowych (UPP)	<10%
Maks. warstw (równoległych)	3
Urządzenie separujące do prądu stałego	Złącze ESS
Warystory termoregulacyjne	Tak
Monitorowanie układania na ziemi	Tak
Zabezpieczenie przed odwróceniem biegunowości	Dioda zwarciova
Wartości wyjściowe	
Maksymalna moc CA (PCA maks.)	3600 W
Znamionowy prąd zmienny (PCA nom)	3300 W
Współczynnik odkształcenia nieliniowego z sieci elektrycznej	<4%
Napięcie znamionowe prądu zmiennego	220-240 V

(UCA, nom)	
Częstotliwość znamionowa prądu zmiennego AC (FCA, nom)	50 Hz / 60 Hz
Współczynnik mocy (cos)	1
Odporność na zwarcia	Tak, regulowana
Połączenie sieciowe	Złącze CA
Współczynnik wyjściowy	
Współczynnik maksymalnej wydajności	95,2%
Europejski współczynnik efektywności	94,4%
Stopień ochrony DIN EN 60529	IP 65
Parametry mechaniczne	
Szerokość / Wysokość / Głębokość (mm)	450/352/236
Ciężar	41 kg

Tab. 7 Parametry techniczne falownika 3,3 KW

(Źródło danych: M. Dumitreanu, 2017)

Koszty operacyjne są następujące:

- Wydatki na personel niezbędny do bieżącej konserwacji polegającej na czyszczeniu paneli i usuwaniu roślinności - około 5200 euro rocznie
- Wydatki na personel niezbędny do zarządzania produkcją z dwoma komponentami
Komponent techniczny - serwis i konfiguracja sprzętu - około 24000 euro rocznie
Komponent ekonomiczny - rejestracja produkcji podając jej wartość - około 6500 euro rocznie

Jak krok po kroku zbudować solarny podgrzewacz wody

Proponowany solarny podgrzewacz wody obejmuje jedną z najprostszych metod budowy takiego urządzenia i nie wymaga żadnych specjalnych umiejętności technicznych, dzięki czemu może być zbudowany przez każdego przy minimalnych nakładach finansowych. Rozmiar jest „standardowy” (2×1) i odnosi się do urządzeń dostępnych na rynku.

Niezbędne materiały:

- rury miedziane 15×07 - 30 metrów (10 rur x 3 metry)
- 30 sztuk złączy miedzianych w kształcie litery „T”
- 5 szt. gniazdek wtyczkowych „MM”
- deski drewniane do wykonania skrzynki: 8 szt. o długości 2 metrów (5 szt. na spód, 2 szt. na długość i 1 szt. przecięta na pół), 20 cm szerokości, 2 cm grubości (standardowa wielkość) = 8 szt. x 2 długości o 0,2 szerokości x 0,02 grubości = 0,064 m³ desek drewnianych
- 15 sztuk wkrętów do drewna
- Arkusz blachy o grubości 0,6 cm na pokrywę skrzynki
- profil kątowy (metalowy, aluminiowy lub plastikowy) do mocowania arkuszy szkła, 6 metrów
- wełna szklana z folią aluminiową do izolacji
- jedna rurka z pianki poliuretanowej
- 2 uniwersalne rury silikonowe sanitarne
- blacha o grubości 1,25 cm
- 42 sztuki zacisków metalowych
- 1 sztuka profilu kąтового metalowego x 6 m długości do wykonania metalowej ramy skrzynki + 2 x kwadratowe pręty metalowe o długości 6 m do podparcia skrzynki (metalowa część nie jest konieczna, jeśli skrzynka będzie zamocowana na dachu)
- 2-3 worki cementu
- farba zielona, około 2 litry do pomalowania drewnianej skrzynki + czarna farba na blachę
- urządzenie do cięcia rur miedzianych
- zbiornik gazu i palnik do spawania rur miedzianych do złączy i gniazdek

Krok 1 Stworzenie skrzynki drewnianej

Deski muszą być suche, aby uniknąć ich pękania podczas suszenia. Narożniki skrzynki muszą być wzmocnione wkrętami do drewna, a całe wnętrze pomalowane, aby zapobiec wchłanianiu wilgoci i uszkodzeniom powstającym wraz z upływem czasu.



Zdjęcie 8 Pomalowana skrzynka drewniane (źródło: <http://www.douamaini.ro/>)

Ewentualne pęknięcia i łączenia desek drewnianych są uszczelniane pianką polietylenową, aby zapobiec przedostawaniu się wody do wnętrza skrzynki drewnianej.



Zdjęcie 9 Izolacja skrzynki drewnianej pianką poliuretanową
(źródło: <http://www.douamaini.ro/>)

Krok 2 Budowa systemu rur miedzianych

Pierwszym krokiem **jest** dopasowanie złączy miedzianych w kształcie litery „T” do miedzianych gniazd wtyków. Narzędzie do cięcia rur miedzianych będzie bardzo pomocne na tym etapie, ponieważ umożliwi cięcie precyzyjne. Należy pamiętać, że na tym etapie montażu wszystkich części każdy błąd pomiarowy ulegnie zwielokrotnieniu na każdym etapie procesu spawania. Na przykład: błąd cięcia wynoszący 1 milimetr przy pierwszym cięciu kończy się błędem rzędu 10 cm po zakończeniu budowy instalacji rurowej.



Zdjęcie 10 Proces spawania miedzianych złączy i gniazd wtykowych
(źródło: <http://www.douamaini.ro/>)

Po zesparowaniu złączy miedzianych i gniazd wtykowych, następnym etapem będzie zamocowanie rury miedzianej i zesparanie ze sobą wszystkich części miedzianych. Należy pamiętać, że najtrudniejszą częścią tego etapu jest uniknięcie skręcenia rur w czasie łączenia, aby zapobiec pęknięciom, co może doprowadzić do wycieku płynu i w konsekwencji do awarii całego systemu.



Zdjęcie 11 Rury miedziane (źródło: <http://www.douamaini.ro/>)

Po zespawaniu wszystkich rur miedzianych, następnym krokiem będzie zamocowanie systemu rur miedzianych na płycie metalowej. Blacha metalowa musi być pomalowana na czarno przed zamocowaniem systemu rurek miedzianych. Aby uzyskać najlepsze przenoszenie ciepła z płyty na rury, cały system rur miedzianych musi mieć metalowe zaciski na obu końcach i pośrodku.



Zdjęcie 12 System rur miedzianych (źródło: <http://www.douamaini.ro/>)

Krok 3 Montaż izolacji z wełny szklanej

Przed zainstalowaniem systemu rur miedzianych w skrzynce należy go odizolować. Jednym z najlepszych rozwiązań jest zastosowanie waty szklanej z folią aluminiową. Zaleca się stosowanie waty szklanej, ponieważ wykazuje ona doskonały współczynnik izolacji, jest łatwa w użyciu i obsłudze. Należy zauważyć, że najlepsze wyniki izolacji uzyskuje się, gdy wata szklana nie jest tłoczona. Wynika to z tego, że izolację zapewnia powietrze uwięzione we włóknach waty szklanej, a usunięcie powietrza może prowadzić do pogorszenia współczynnika izolacji. Bok waty szklanej owinięty folią aluminiową musi być przymocowany z ukierunkowaniem w stronę płyty metalowej.

Rolą aluminium jest odbijanie ciepła z powrotem na metalową płytę i system rur miedzianych, co zwiększa współczynnik przenikania ciepła. Wata szklana może być mocowana za pomocą kleju lub specjalnych zacisków.



Zdjęcie 13 Wata szklana użyta do izolacji (źródło: <http://www.douamaini.ro/>)

Po zamocowaniu izolacji, system rur miedzianych można zamontować za pomocą wkrętów w skrzynce drewnianej.

Krok 4 Montaż płyty szklanej na skrzynce drewnianej

Po zmontowaniu wszystkich elementów wewnętrznych, następnym krokiem jest montaż płyty szklanej. Jeśli górna część płyty bocznej jest przycięta pod kątem, można włożyć płytę szklaną bezpośrednio w profil skrzynki drewnianej. Jeśli nie jest, najprostszym sposobem jest zastosowanie profilu kątownego (żelazny, aluminiowy lub plastikowy), który mocuje się za pomocą śrub do boku skrzynki drewnianej. W obu przypadkach płyta szklana jest uszczelniana przy użyciu silikonu uniwersalnego. Ten etap jest bardzo ważny, ponieważ ta strona będzie stanowić górną część całego systemu, a prawidłowe uszczelnienie zapobiegnie dalszemu przenikaniu wody.



Zdjęcie 14 Uszczelnienie silikonowe (źródło: <http://www.douamaini.ro/>)

Wyloty rurek miedzianych także należy uszczelnić silikonem, aby zapobiec przenikaniu wody z boków, a także wydostawaniu się ciepła ze skrzynki.

Krok 5 Mocowanie instalacji grzewczej w pozycji końcowej i podłączenie do sieci wodociągowej

Po zamocowaniu wszystkich elementów w skrzynce drewnianej, system można przymocować w położeniu końcowym. Zaleca się zamocowanie systemu w betonie, przy użyciu mieszanki betonu, piasku i wapna, jeżeli położenie systemu nie będzie ulegać zmianie.

Cały system jest mocowany za pomocą metalowych profili kątowych przy nachyleniu pod kątem 25° - 45° w kierunku południowym (<http://www.panourisolare-online.ro/pdf>).

Po zamocowaniu w pozycji końcowej, system może być podłączony do instalacji wodociągowej.



Zdjęcie 15 System w położeniu końcowym (źródło: <http://www.douamaini.ro/>)

To rozwiązanie jest jednym z najprostszych do wykonania dla każdego i wymaga minimalnych nakładów finansowych. Obliczenia przeprowadzone z uwzględnieniem wszystkich niezbędnych materiałów dają cenę w granicach 150-180 euro, przy czym amortyzacja inwestycji następuje w ciągu 4-6 miesięcy.

Oдношники

1. **Bland Philip A., Moore Elaine A., Wright Ian**, (2004), *An Introduction to the Solar System*, Cambridge University Press, ISBN 0-521-83735-9
2. **Cahan David** (editor), (2004), *Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science*, California Studies in the History of Science Series, ISBN 978-052-0083-349
3. **Dumiter, Aurelia Florina** (2007), *Clima si topoclimatele orasului Oradea*, Editura Universitatii din Oradea, ISBN 978-606-10-0005-0
4. **Dumitreanu Mihnea**, (2017), *Valorificarea resurselor regenerabile de energie solară pentru producerea energiei verzi, prin realizarea unei capacități de producere a energiei electrice de 0,6 MW, pe panouri fotovoltaice, în comuna Oșorhei*, Projekt raport, Osorhei
5. **Goga Nicu**, (2010), *Sistemul solar, Astronomie prin exercitii si probleme*, Editura Revers, Craiova, ISBN 978-606-611-053-2
6. **Green Simon F., Jones Mark H.** (editors), (2004), *An Introduction to the Sun and Stars*, Cambridge University Press, ISBN 0-521-54622-2
7. **Maican Edmond** (2015), *Sisteme de energii regenerabile*, PrintechPublishing House, Bucharest, ISBN 978-606-23-0359-4
8. **Misak Stanislav, Prokop Lukas** (2016), *Operation Characteristics of Renewable Energy Sources*, Springer, ISSN 1865-3529
9. **Murphy-Mariscal Michelle L., Grodsky Steven M., Hernandez Rebecca R.**, (2018), *Solar Energy Development and the Biosphere*, January 2018 DOI: 10.1016/B978-0-12-811479-7.00020-8
10. **Newton David E.** (2015), *Solar Energy: A Reference Handbook: A Reference Handbook*, in Contemporary World Issues, Science, Technology and Medicine, ISBN 978-1-61069-696-1
11. **O'Keefe Maureen, Pike Katy**, (2004), *The Sun's Energy*, Blake Publishing, ISBN 1-86509-314-9
12. **Severino Giuseppe**, (2017), *The Structure and Evolution of the Sun*, Springer Publishing, XIV, ISBN 978-3-319-64961-0
13. **Spohn Tilman, Breuer Doris, Johnson Torrence**, (2014), *Encyclopedia of the Solar System*, third edition, Elsevier, ISBN 978-0-12-415845-0
14. **Tiwari Gopal, Ghosal Madral K.**, (2005), *Renewable Energy Resources: Basic Principles and Applications*, Alpha Science International, ISBN 1842651250, 9781842651254
15. **Tyson Neil deGrasse**, (2017), *Moartea într-o gaură neagră și alte dileme cosmice*, Editura Trei, Bucuresti, ISBN 978-606-40-0221-1
16. **West Michael**, (1993) *Solar Energy Basics ... and More*, University of Florida, Energy Extension Service, Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, Fact Sheet EES-98
17. **Xxx** (2008), *Clima Romaniei*, Editura Academiei Romane, Bucuresti, ISBN 978-973-27-1674-8

Odnosniki online

<https://www.nachi.org/disadvantages-solar-energy.htm?loadbetadesign=0>

<http://waldenlabs.com/disadvantages-solar-energy/>

<https://www.sunrun.com/solar-lease/cost-of-solar>

<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/solar-radiation-basics>

(<http://www.articlesbase.com/technology-articles/solar-energy-basic-principles-649460.html>)

<https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels>

<https://www.thespruce.com/top-solar-energy-uses1152263>

<https://marine.rutgers.edu/cool/education/class/yuri/erb.html>

<dgtat-dgtatamd.opendata.arcgis.com>

<https://www.gettyimages.com/>

<http://www.panourisolare-online.ro/pdf>

<http://www.douamaini.ro/>