# Pompa ciepła w „trudnych warunkach pracy”.
# Wyniki badań rzeczywistej instalacji.

Badanie rzeczywistej instalacji z pompą ciepła, która pracuje w trudnych warunkach. Bo, dom zlokalizowany jest w najzimniejszej części kraju – w tzw. 5-iątej strefie klimatycznej.

Instalacja została tak zaprojektowana, aby pompa ciepła pracowała samodzielnie przez cały rok – bez dodatkowych źródeł ciepła, nawet w najmroźniejsze dni. Sama ogrzewa dom i wodę użytkową przez cały rok.

Badania prowadził niezależny zespół – nie związany z żadnym producentem, a wyniki zostały opublikowane w: Rynek Instalacyjny nr. 09/2016, artykuł pt.: Zastosowanie dodatkowych źródeł energii odnawialnej do współpracy z pompą ciepła solanka/woda; autorzy: dr inż. Joanna Piotrowska-Woroniak, dr inż. Wiesław Załuska, mgr inż. Rafał Tomaszewicz; badania opisywanej instalacji wykonano w ramach pracy statutowej Politechniki Białostockiej.
Link do artykułu: http://www.rynekinstalacyjny.pl/artykul/id4109,zastosowanie-dodatkowych-zrodel-energii-odnawialnej-do-wspolpracy-z-pompa-ciepla-solankawoda

Badania prowadzono w ciągu pięciu lat, w czasie których instalacja była rozbudowywana.

## Budowa domu i instalacje

Budowa częściowo zakończyła się 2010r. W roku 2011 dom został wykończony i zamieszkany.

Badania instalacji trwały od 2010 do końca 2015 roku, w czasie których:
- pompa ciepła pracuje od lutego 2010r.,
- od 2010 roku w budynku prowadzono pomiary efektywności pracy znajdujących się w nim instalacji oraz kosztów ich eksploatacji,
- w 2014r. wprowadzono dodatkowy system monitorowania pracy pompy ciepła, który pozwolił na optymalizację pracy instalacji i w efekcie obniżenie kosztów eksploatacji,

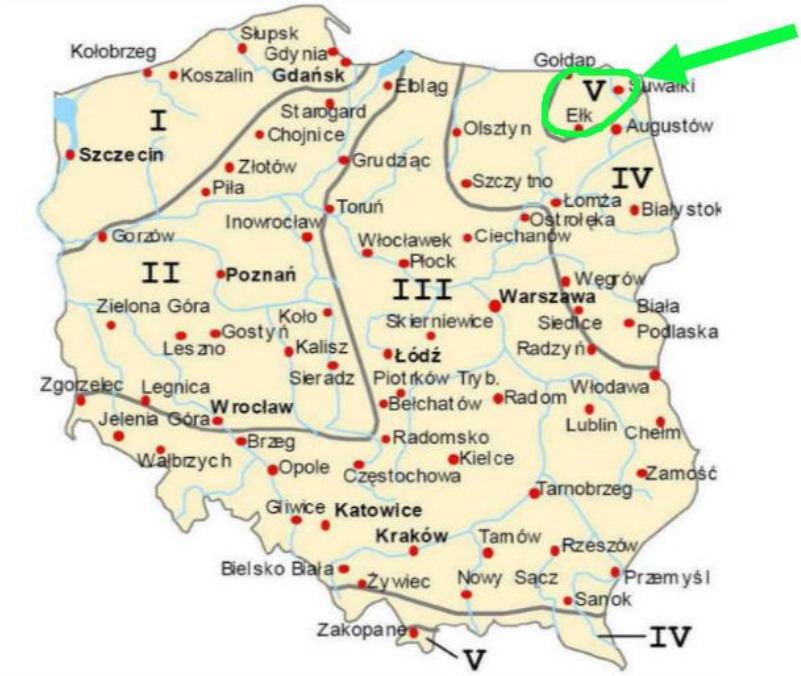
- od początku lata w 2014r. pracuje instalacja chłodzenia naturalnego-pasywnego („natural cooling”), która do chłodzenia domu wykorzystuje niską temperaturę gruntu,
- w październiki 2014r. rozpoczęła również pacę instalacja fotowoltaiczna, o zainstalowanej mocy elektrycznej: 4,14 kWp
- taryfa energii elektrycznej – początkowo G12, a od listopada 2014r. zmiana na taryfę: G12w.

Zdj. Zdjęcie badanego domu. [1]

## Lokalizacja i dane klimatyczne

Dom znajduje się w najzimniejszej części kraju – **V strefa klimatyczna**, dla której przyjmuje się obliczeniową temperaturę zewnętrzną: **-24°C**. Jest to temperatura, dla której oblicza się zapotrzebowanie budynków na ciepło (potrzebna moc grzewcza, roczne zapotrzebowanie na ciepło), oraz temperatura, dla której projektuje się instalację ogrzewania domu – tutaj: instalację ogrzewania podłogowego i ściennego.

Można więc powiedzieć, że pompa ciepła pracuje w „trudnych warunkach", bo niemal w każdej innej części kraju temperatury zewnętrzne są wyższe, a klimat łagodniejszy. Co przekłada się również na niższe koszty ogrzewania.




Rys. Temperatury obliczeniowe powietrza zewnętrznego w danej części kraju – z podziałem na strefy temperaturowe:
strefa klimatyczna I: -16°C; strefa klimatyczna II: -18°C; strefa klimatyczna III: -20°C; strefa klimatyczna IV: -22°C; strefa klimatyczna V: -24°C
(źródło: instsani.webd.pl)

Wybrane dane klimatyczne w miejscu lokalizacji budynku:

- liczba dni grzewczych w ciągu roku: 252 (czas trwania okresu grzewczego)
- liczba dni mroźnych: 50–65 dni w roku
- strefa przemarzania gruntu sięga: 1,4 m
- średnia dzienna wilgotność 69%
- średnie usłonecznienie 1676 h
- średnie zachmurzenie 5,4 oktany (gdy: 0 – niebo bez chmur, 8 – całkowicie pokryte chmurami)
- na terenie tym panuje duża wietrzność, latem dominują wiatry o prędkości 2,5–3 m/s, a zimą o średniej prędkości 3–4,5 m/s.

Dane o wietrzności podano dla ewentualnych rozważań na temat zastosowania turbiny wiatrowej, która mogłaby być głównym źródeł prądu wykorzystującym odnawialne źródła energii (jako alternatywa dla instalacji fotowoltaicznej), lub wykorzystanie energii wiatru jako uzupełnienie instalacji fotowoltaicznej.

## Opis budynku i instalacji

Instalacja została tak zaprojektowana, żeby pompa ciepła pracowała samodzielnie – bez wspomagania dodatkowymi źródłami ciepła, nawet w najmroźniejsze dni.

- powierzchnia całkowita domu: **135,3 m2**, kubatura: 647,5 m3
- obliczeniowe zapotrzebowania na ciepło – wymagana moc grzewcza: **9 kW** (wsp. zapotrzebowania na ciepło: 67 W/m2) – warto tutaj przypomnieć, że dom budowany był w 2010 roku, prawdopodobnie dzisiaj zostałby lepiej „ocieplony"
- liczba mieszkańców: **2 osoby**
- wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła - rekuperacja
- system wentylacji wyposażony dodatkowo w gruntowy wymiennik ciepła do wstępnego podgrzewu powietrza zewnętrznego w zimie i do chłodzenia domu w lecie

- kompaktowa gruntowa pompa ciepła firmy Viessmann, z zabudowanym zbiornikiem c.w.u. o pojemności 220 litrów, przystosowana do współpracy z instalacją kolektorów słonecznych do wspomagania ogrzewania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.)
- poziomy wymiennik gruntowy z 10-cioma kolektorami spiralnymi o długości 100 m każdy, wykonany z rur PE o średnicy 25 mm i ułożony na głębokości 1,9 m
- powierzchnia działki zajmowana przez wymiennik gruntowy: 231 m2 (21 x 11 m)
- pompa pracuje w układzie **monowalentnym** na c.o. i c.w.u.; czyli **pompa ciepła samodzielnie ogrzewa dom i wodę użytkową**
- w instalacji nie zastosowano zasobnika buforowego wody grzewczej – przynajmniej tak wynika ze schematów instalacji zamieszczonych w artykule źródłowym

- instalacja ogrzewania domu – ogrzewanie płaszczyznowe mieszane: podłogowe i ścienne, zaprojektowane na temperaturę wody grzewczej: **50/40°C**
- ogrzewanie ścienne wykonano na poddaszu na ścianach kolankowych
- instalacja centralnego ogrzewania (c.o.), wyposażona jest w termostaty, które umożliwiają pomiar temperatury w każdym pomieszczeniu i indywidualną regulację panującej w nim temperatury
- wymagana temperatura c.w.u.: **55°C**

### Wyniki badań i koszty eksploatacji domu

Zużycie prądu i jego koszt zestawiono w tabeli poniżej. Analizując wyniki warto mieć na uwadze wszelkie modernizacje i wprowadzenie nowych systemów w budynku. Warto też zwrócić uwagę, że prąd z instalacji fotowoltaicznej rozliczany był wg „starych przepisów", które dzisiaj są całkiem inne i bardziej sprzyjają takim inwestycjom.

| Okres badań | Rodzaj eksploatacji domu | Zużycie energii elektrycznej | | | Średni roczny jednostkowy koszt zakupu prądu (wg taryfy G12, a od 2014r. G12w) | Koszt prądu | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Całkowite zużycie prądu w domu** [*] | **Zużycie prądu przez instalację PC** (PC i wszystkie urządzenia elektryczne pracujące w instalacji) | **Zużycie prądu na cele mieszkalne** [**] | | **Instalacja pompy ciepła** (c.o., c.w.u., od 2014 również chłodzenie domu w lecie) | **Całkowity koszt prądu** [**] |
| rok | okres | kWh/rok | kWh/rok | kWh/rok | zł brutto/kWh | zł brutto/rok | zł/rok |
| **2010** | budowa domu | 6 325 | **4 427** | 1 898 | **0,465** | **2 058,8** | **2 941,1** |
| **2011** | wykończenie domu | 8 961 | **6 273** | 2 688 | **0,475** | **2 979,7** | **4 256,4** |
| **2012** | 1 pełny rok użytkowania | 11 654 | **7 896** | 3 758 | **0,485** | **3 829,7** | **5 652,1** |
| **2013** | 2 rok użytkowania | 11 268 | **7 068** | 4 200 | **0,554** | **3 912,3** | **6 242,4** |
| **2014** | optymalizacja pracy pompy ciepła; uruchomienie instalacji chłodzenia domu i pod koniec października instalacji PV | 8 581 | **6 020** | 2 561 | **0,392** | **2 361,3** | **3 363,7** |
| **2015** | pompa ciepła i PV (praca instalacji PV przez cały rok) | 7 237 | **5 488** | 1 749 | **0,350** | **1 922,0** | **2 532,9** |

[*] Całkowite zużycie prądu: RTV i AGD, oświetlenie, wentylacja, instalacja ogrzewania i chłodzenia domu.
[**] Zużycie prądu na cele mieszkalna: zasilanie urządzeń RTV i AGD, oświetlenie, rekuperacja i inne, np. oświetlenie zewnętrzne.
PV – instalacja fotowoltaiczna
PC – pompa ciepła

Koszt prądu (cena), zależy od czasu pracy pompy ciepła w tańszej taryfie („nocnej") i czasu pracy w taryfie droższej – „dziennej".
Po wdrożeniu systemu optymalizacji pracy pompy ciepła w 2014r., przez większość czasu pracuje ona w drugiej – tańszej taryfie elektrycznej („nocnej").

**Po optymalizacji pracy pompy ciepła, udział zużycia prądu w tańszej taryfie wyniósł: 81,68%, w taryfie droższej tylko 18,32%.**

Warto przy tym zwrócić uwagę, że prąd na cele mieszkalne również jest rozliczany wg systemów dwutaryfowego. Żeby oszczędzić na kosztach prądu warto ustawić załączenie pralki w godzinach obowiązywania taryfy „nocnej", podobnie zmywarki, czy w tych godzinach prasować ubrania, gotować obiad na kuchence elektrycznej, odkurzać, itp. W ten sposób, odpowiednio organizując domowe prace, można mniej płacić za prąd. Być może tak właśnie zrobili mieszkańcy domu, bo przez dwa pierwsze lata mieszkania w domu, każdego roku zużywali ok. 4 000 kWh energii elektryczne na cele mieszkalne. A od 2014 zużycie to znacznie się zmniejszyło.

Przez pierwsze dwa lata mieszkania w domu, zużycie i koszty prądu były do siebie zbliżone (rok 2012 i 2013). Po optymalizacji pracy instalacji w 2014 roku, uzyskano:
- mniejsze zużycie prądu przez instalację pompy ciepła: z ponad 7 000 kWh/rok, do 6 000 kWh w roku 2014
- dzięki optymalizacji właściciel domu o ponad 1 500 zł mniej zapłacił za ogrzewanie (2 316 zł w 2014r.; 3 829 zł w 2012r. i 3 912 zł w 2013r.)
- znacznie zmniejszył się koszt prądu – średnia cena zakupu: z 0,485 zł/kWh i 0,554 zł/kWh; do 0,392 zł/kWh w 2014r.

Co prawda od października 2014r. rozpoczęła pracę instalacja fotowoltaiczna. Jednak, przez trzy ostatnie miesiące roku wyprodukowała tylko 292 kWh energii elektrycznej, co nie miało istotnego wpływu na całkowity obraz zużycia i kosztów prądu w całym 2014r..

Przez cały 2015 rok pracowała instalacja fotowoltaiczna. Przyglądając się całkowitym kosztom prądu w tym roku (2 532 zł) oraz w poprzednim (3 363 zł), moglibyśmy powiedzieć, że instalacja PV przyniosła niewielkie oszczędności. Wynika to głównie ze sposobu rozliczania i warunków korzystania z publicznej sieci energetycznej, które wówczas obowiązywały. Dzisiaj sytuacja jest całkiem inna i oszczędności dzięki instalacji PV są znacznie większe.
Więcej na ten temat i dokładniejsze wyniki pracy instalacji pompy ciepła oraz fotowoltaicznej zostaną pokazane w dalszej części artykułu.

Zastanawiające jest, że od początku mając wymiennik gruntowy współpracujący z wentylacją, który również chłodzi powietrze nawiewane do pomieszczeń w lecie, właściciele zdecydowali się na dołożenie chłodzenia „pompą ciepła" – chłodzenie niską temperatura gruntu z wykorzystaniem ogrzewania podłogowego i ściennego.

Możliwe, że wentylacyjny wymiennik gruntowy nie spełniał oczekiwać mieszkańców co do skuteczności chłodzenia. Dokładając opcję chłodzenia pompą ciepła z pewnością uzyskali większy komfort w upalne dni – większa moc chłodnicza i możliwe do uzyskania niższe temperatury w pomieszczeniach.

Warto pamiętać przy tym, że chłodzenie naturalne nie generuje wysokich kosztów, jak w przypadku tradycyjnych systemów klimatyzacji. Podczas pracy z chłodzeniem, pompa ciepła nie załącza się (sprężarka wyłączona). Jedynie jej regulator kontroluje pracę instalacji. W instalacji pracują tylko pompy solanki i obiegu grzewczego, który w lecie pełni funkcję obiegu chłodzenia.

## Ogrzewanie c.w.u.

Często w temacie pompy ciepła pojawiają się uwagi, że np. pompa ciepła pracuje z mniejszą efektywnością ogrzewając wodę użytkową. Dokładne pomiary w badanym domu pozwalają przyjrzeć się tematowi dokładniej…
Pamiętajmy przy tym, że w domu mieszają dwie osoby. Dla rodziny np. 4-ro osobowej, z małymi dziećmi, sytuacja może wyglądać całkiem inaczej.

Zapotrzebowanie na ciepło i koszty ogrzewania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), **rzeczywiste w 2014r**. (PC – pompa ciepła):

| **2014 rok** | **Ciepło dostarczone przez PC na potrzeby ogrzewania c.w.u.** | **Zużycie c.w.u. w domu** | **Czas pracy PC na c.w.u.** | **Zużycie energii elektrycznej przez PC do ogrzewania c.w.u.** | **Koszt całkowity ogrzewania c.w.u.** | **Efektywność PC przy ogrzewaniu c.w.u. (SCOPcwu)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| miesiąc | kWh | m3 | h | kWh | zł brutto/m-c | - |
| Styczeń | 276,81 | 10,88 | 60,87 | 187,17 | 103,66 | 1,48 |
| Luty | 182,78 | 4,77 | 30,43 | 85,34 | 35,45 | 2,14 |
| Marzec | 180,56 | 4,84 | 27,54 | 85,03 | 29,24 | 2,12 |
| Kwiecień | 156,67 | 4,39 | 24,95 | 76,42 | 25,15 | 2,05 |
| Maj | 148,61 | 4,29 | 23,20 | 71,74 | 22,12 | 2,07 |
| Czerwiec | 132,78 | 4,04 | 19,10 | 59,51 | 20,09 | 2,23 |
| Lipiec | 110,28 | 3,65 | 14,15 | 44,63 | 14,28 | 2,47 |
| Sierpień | 93,06 | 3,23 | 12,06 | 38,55 | 11,57 | 2,41 |
| Wrzesień | 105,83 | 3,46 | 13,69 | 43,76 | 13,29 | 2,42 |
| Październik | 121,39 | 3,68 | 17,49 | 53,89 | 18,50 | 2,25 |
| Listopad | 153,61 | 4,02 | 21,57 | 69,80 | 24,86 | 2,20 |
| Grudzień | 199,45 | 4,98 | 29,87 | 93,50 | 33,53 | 2,13 |
| **ROK:** | **1 861,82 kWh** | **56,22 m3** | **294,9 h/rok** | **909,30 kWh/rok** | **351,75 zł brutto/rok** | **2,05** |

Na podstawie pomiarów i rachunków ze energię elektryczną, określono **średni miesięczny koszt ogrzewania c.w.u.** pompą ciepła, który wynosił: **29,31 zł brutto/m-c**.
Całkowity koszt ogrzewania c.w.u. wyniósł: **351 zł brutto** w 2014 roku.

Pompa ciepła ogrzewa wodę użytkową do stosunkowo wysokiej temperatury co ma wpływ na jej efektywność pracy: 2,05.
Jednak, mimo małej efektywności, koszty ogrzewania wody są niskie.

Każdego miesiąca mieszkańcy zużywają podobną ilość ciepłej wody użytkowej: ok. 4 m3; oprócz stycznia, który można powiedzieć, że był anomalią.

Przyjmując, że 1 m3 to 1 000 litrów c.w.u., orientacyjnie możemy obliczyć, że zużycie ciepłej wody przez mieszkańców wynosi 133 litrów/dzień (4 000 litrów / 30 dni = 133 litrów/dzień).

Wyniki prezentowane w tabeli dotyczą zużycia tylko ciepłej wody użytkowej – nie obejmują zużycia zimnej wody wodociągowej.

# Wykorzystanie energii słonecznej

W badanym domu rozważano rozbudowę instalacji o kolektory słoneczne i/lub instalację fotowoltaiczną (PV). Kolektory miałyby wspomagać ogrzewanie ciepłej wody użytkowej, natomiast instalacja PV produkować prąd na potrzeby mieszkalne i do zasilania pompy ciepła.

**Kolektory słoneczne**
Ponieważ pompa ciepła przystosowana jest fabrycznie do współpracy z instalacją kolektorów słonecznych, wykonanie takiej instalacji planowano w przyszłości.
Rozważano zastosowanie 1 lub 2 płaskie kolektory do wspomagania ogrzewania c.w.u., co powinno wystarczyć dla rodziny składającej się z dwóch osób.

Kolektory zmniejszyłyby zużycie energii elektrycznej przez pompę ciepła pracującej na potrzeby c.w.u. Chociaż, wzrósłby udział energii pomocniczej, bo: średni czas pracy pompy solarnej obliczono na 1 415 h/rok, przy poborze prądu przez pompę solarna 65 W. W ciągu roku pompa solarna zużyje więc ok. 92 kWh energii elektrycznej (1415 h/rok x 65 W = 9197,5 Wh = 91,9 kWh/rok).
Pobór prądu przez regulator solarny  to 5 W, w ciągu roku: 43,8 kWh
(365 dni/rok x 24 h/dzień x 5 W = 43800 Wh/rok = 43,8 kWh/rok).

Łącznie zużycie prądu na pracę instalacji solarnej wynosi: 135,7 kWh/rok. Przy średnim rocznym koszcie zakupu prądu w 2014r. otrzymamy koszt pracy instalacji solarnej: 53 zł brutto/rok
(135,7 kWh/rok x 0,392 zł brutto/kWh = 53,19 zł brutto/rok).

Przyjmując nawet cenę prądu na poziomie ok. 0,60 zł brutto/kWh (jak dla taryfy G11), otrzymamy roczny koszt pracy instalacji solarnej na poziomie: 81,42 zł brutto/rok
(135,7 kWh/rok x 0,60 zł brutto/kWh = 81,42 zł brutto/rok).
Można zauważyć tutaj, że zużycie prądu na pracę instalacji kolektorów słonecznych jest niewielkie w ciągu roku.

Za pomocą symulacji ustalono, że instalacja z dwoma kolektorami o łącznej powierzchni absorbera 5,06 m2, pokryje zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania c.w.u. na poziomie 150%. Kolektory dostarczałyby więcej ciepła niż potrzebuje rodzina 2-osobowa, co wiązałoby się z częstymi przegrzewami instalacji solarnej - zagotowanie płynu solarnego. Co przy częstym powtarzaniu się może doprowadzić do degradacji płynu solarnego w instalacji i konieczności jego częstej wymiany.

O ile nowoczesne kolektory płaskie, same w sobie zabezpieczone są przed przegrzewami, np. kolektory Vitosol firmy Viessmann z technologią ThermProtect (kolektor sam się wyłącza jeśli nie jest odbierane ciepło solarne), to straty energii są niepożądane – wniosek: za duża powierzchnia kolektorów.
Dlatego, rozważano zastosowanie tylko jednego kolektora o powierzchni absorbera: 2,53 m2, który zapewni w ciągu roku 75% ciepła na ogrzewanie c.w.u. – tutaj również mogą wystąpić przegrzewy w instalacji solarnej, jednak znacznie rzadziej występujące.

Ostatecznie zrezygnowano z instalacji kolektorów, bo: małe zużycie c.w.u. w domu, niskie koszty ogrzewania ciepłej wody pompą ciepła – w tym konkretnym domu instalacja kolektorów byłaby nieopłacalna.

**Instalacja fotowoltaiczna (PV)**
W październiku 2014r. budynek wyposażono w instalację fotowoltaiczną o mocy nominalnej: 4,14 kWp.

Prąd słoneczny w pierwszej kolejności zasila dom i jest również wykorzystywany do zasilania pompy ciepła. Jeśli w danej chwili instalacja PV produkuje więcej prądu niż potrzebuje dom, tzw. nadwyżki energii elektrycznej odprowadzane są do publicznej sieci energetycznej.

W skład instalacji wchodzą:

- moduły PV Inventux X3-115, o mocy nominalnej 115 Wp, powierzchnia 1,43 m2 – 36 szt.,
- inwerter trójfazowy 4,2 kW typ Convest 4 I – 1 szt.,
- dodatkowe elementy okablowania – 1 kpl.,
- szafki DC i AC – 2 szt.

Instalację PV wykonano na drewnianej wiacie zlokalizowanej niedaleko domu:

Zdjęcie. Instalacja fotowoltaiczna z modułami X3 umieszczonymi na drewnianej wiacie znajdującej się blisko domu [2].

Moduły wykonane są w technologii micromorph (połączenie technologii amorficznej i krystalicznej). Ich sprawność wynosi **8%** i jest znacznie niższa od często stosowanych modułów polikrystalicznych, których sprawność wynosi ok. 16%.

Wybrano moduły Inventux X3 ze względu na ich niższą cenę. Aby uzyskać moc instalacji 4,14 kWp, ze względu na niższą sprawność modułów i ich mniejszą moc nominalną, potrzeba było zastosować 36 modułów, które zajęły powierzchnię: **51 m2**.
Dla porównania, moduły polikrystaliczne Viessmann: Vitovolt 300, dla instalacji o mocy 4,08 kWp potrzeba: 16 modułów, które zajęłyby powierzchnię **26 m2** (powierzchnia pojedynczego modułu: 1,62 m2).

Jako zaletę modułów Inventux X3 (i o podobnej technologii wykonania), często przytacza się, że „pracują z wyższą sprawnością przy małym nasłonecznieniu". Czy tak jest, sprawdzę i pokaże w następnej części artykułu.

## Sprawniejsze moduły PV ?

W wynikach badań opisanych w [1], znajdziemy informację dotyczącą modułów Inventux X3, że:
*„niewątpliwą zaletą tych paneli jest dużo wyższa sprawność przy nasłonecznieniu poniżej 700 W/m$^2$ w porównaniu z krystalicznymi…*"
Zobaczmy więc, czy faktycznie tak jest…

Porównajmy dwie instalacje:
- 36 modułów Inventux X3-115, o mocy nominalnej **115 Wp**, sprawność **8,0%**, powierzchnia pojedynczego modułu **1,43 m2**; moc nominalna instalacji: **4,14 kWp**, powierzchnia zajmowana przez moduły: **51 m2**
- 16 modułów Viessmann Vitovolt 300, o mocy nominalnej **255 Wp**, sprawność **15,6%**, powierzchnia pojedynczego modułu **1,62 m2**; moc nominalna instalacji: **4,08 kWp**, powierzchnia zajmowana przez moduły: **26 m2**

Z danych technicznych producentów, dla natężenia promieniowania słonecznego wynoszącego **200 W/m2**:
- moc elektryczna modułu Inventux X3: **23 Wp/moduł x 36 modułów = 828 W**
- moc elektryczna modułu Vitovolt 300: **30 Wp/moduł x 16 modułów = 480 W**
**Różnica: 348 W**

Przeglądając dane techniczne producenta zauważymy, że w warunkach nominalnych (1000 W/m2) moduł X3 dostarcza 115 W, co oznacza że pracuje ze sprawnością 8%. Przy natężeniu promieniowania słonecznego 200 W/m2 dostarcza on 23 W – jego sprawność wynosi również 8%. Wynika z tego, że sprawność produkcji energii elektrycznej przy nasłonecznieniu 200 W/m2 nie zmienia się w porównaniu do warunków nominalnych – i przyjmijmy że tak właśnie jest.

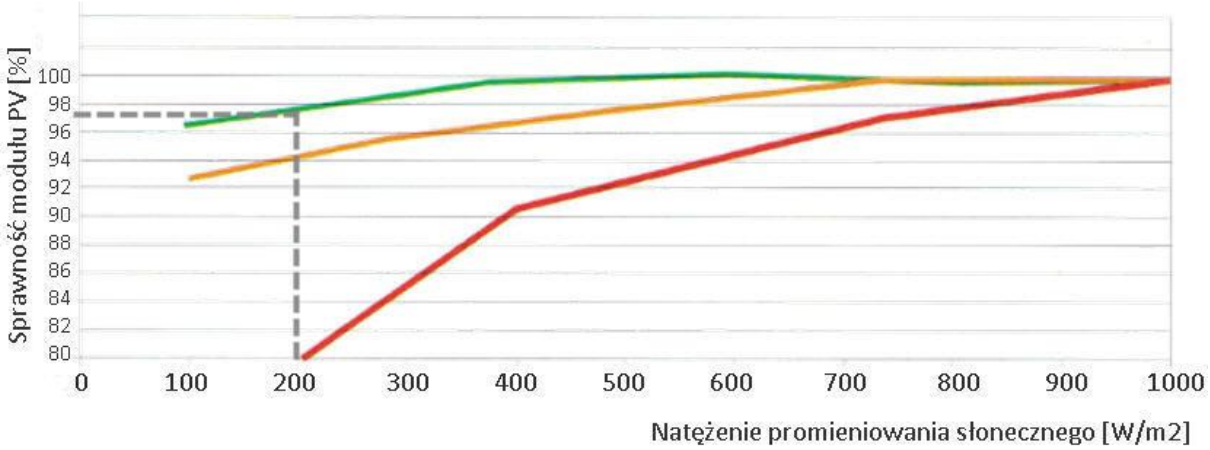
Porównując z Vitosol 300, sprawność nominalna modułu wynosi 15,67%, a przy natężeniu promieniowania słonecznego 200 W/m2 zmniejsza się do 15,12%. Czyli jest niższa od nominalnej – chociaż niewiele niższa.

**Łatwo zauważyć, że stwierdzenie o wyższej sprawności modułów X3 w porównaniu z krystalicznymi nie jest do końca prawdziwe.**
Powinno brzmieć, że: **sprawność modułów X3 nie zmniejsza się w takim stopniu jak w modułach krystalicznych, przy zmniejszonym natężeniu promieniowania słonecznego**.

Natężenie promieniowania słonecznego 200 W/m2:
- moduł X3: sprawność 8%
- moduł krystaliczny: 15,12%,
jak widać, sprawność modułów krystalicznych jest znacznie wyższa, nawet przy małym promieniowaniu słonecznym.

W porównaniu można jeszcze zauważyć, że nawet przy małym nasłonecznieniu obie instalacje będą produkowały prąd ze „słońca”. Trochę więcej w tym porównaniu dostarczy instalacja z modłami PV typu X3. Głównie dzięki zastosowaniu znacznie większej powierzchni modułów **X3 = 51 m2**, w porównaniu z modułami **Vitovolt: 26 m2**.

Moduły Vitovolt można traktować jako urządzenia wysokiej klasy. Przy modułach niższej klasy sprawa może wyglądać znacznie inaczej. Co można zobaczyć na wykresie poniżej.




Rys. Zmiana sprawności wykorzystania energii słońca przez różne moduły krystaliczne [2]:
**zielona linia** – moduły wysokiej jakości;
**pomarańczowa** – średniej jakości;
**czerwona linia** – moduły słabej jakości.
Jak czytać wykres ? Sprawność modułu PV wynosi np.: **15%** przy natężeniu promieniowania słonecznego 1000 W/m2. Jeśli natężenie promieniowania zmieni się do 200 W/m2, sprawność modułu zmniejszy się o 3% i będzie wynosić 97% sprawności nominalnej wyznaczonej przy 1000 W/m2. Czyli, przy 200 W/m2 rzeczywista sprawność modułu wyniesie: **14,55%**.

Analizując wyniki pracy instalacji PV z modułami X3 zobaczymy, że w ciągu całego roku 2014 wyprodukowały one 4 087 kWh energii elektrycznej. Co daje współczynnik **989 kWh/kWp mocy zainstalowanej** (4 087 kWh / 4,14 kWp = 987,2 kWh/kWp). Jest to wynik porównywalnym jaki osiągnęłaby instalacja z dobrymi modułami krystalicznymi o mocy nominalnej ok. 4 kWp, która w ciągu roku dostarczy ok. 1 000 kWh/kWp.

*„..dużo wyższa sprawność przy nasłonecznieniu poniżej 700 W/m$^2$ w porównaniu z krystalicznymi…”* – na podstawie tego można się spodziewać, że instalacja z modułami X3 powinna wyprodukować znacznie więcej energii elektrycznej, bo ok. 70% energii słonecznej, w polskich warunkach klimatycznych, dociera w zakresie natężenia promieniowania słonecznego niższego od 500 W/m2. Niestety, jak pokazano w porównaniu - tak nie będzie…

Niewątpliwą zaletą modułów X3 jest ich niższa cena niż krystalicznych. Chociaż konieczność zastosowania niemal dwa razy większej powierzchni modułów dla wielu inwestorów może być problemem.

Jak pracują różne instalacja fotowoltaiczne i ile produkują prądu, można zobaczyć i na bieżąco śledzić w serwisie: **sunnyportal.com** - link:
https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPagesPlantList.aspx

Wybrane przykładowe instalacje:

**Białystok**, instalacja PV o mocy nominalnej: **4,24 kWp**, moduły monokrystaliczne: produkcja energii elektrycznej ok. 4 134 kWh/rok (975 kWh/kWp):
https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPageOverview.aspx?plant=f97bfb1f-98bf-4668-9737-825f2c656e6b&splang=

**Łęczce** (woj. wielkopolskie), instalacja PV o mocy nominalnej: **4,08 kWp**, moduły polikrystaliczne Vitovolt 300 firmy Viessmann (16 x Viessmann Vitovolt 300 P255 ): produkcja energii elektrycznej ok.

4 186 kWh/rok (1 026 kWh/kWp):
https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPageOverview.aspx?plant=c01806ec-f7b6-4873-92c2-a199d7955d4e&splang=

**Winów** (woj. opolskie), instalacja PV o mocy nominalnej: **4,08 kWp**, moduły polikrystaliczne Vitovolt 300 firmy Viessmann (16 x Viessmann Vitovolt 300 P255 ): produkcja energii elektrycznej ok. 4 255 kWh/rok (1 043 kWh/kWp):
https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPageOverview.aspx?plant=f7a5826a-22ce-4fe8-bdb6-83c4dae99613&splang=

## Pompa ciepła i fotowoltaika

Dokładniejsze wyniki pomiarów dla instalacji pompy ciepła w badanym domu znajdują się w tabeli poniżej. Dotyczą całego roku 2014. Natomiast dla instalacji PV pokazano ilość produkowanego prądu od momentu jej uruchomienia – październik 2014r. i podczas jej pracy przez cały rok 2015 – zakładając, że w najbliższych latach ilości produkowanego prądu ze słońca będą podobne.

Zużycie energii elektrycznej przez pompę ciepła i produkowanej przez instalację PV o mocy nominalnej 4,14 kWp – **wartości zmierzone**:

| | **Całkowite zużycie prądu przez instalację PC w 2014r.** | **Zużycie prądu – udział poszczególnych składowych w 2014r.** | | | **Czas pracy PC w 2014r.** | | **Produkcja energii elektrycznej przez instalację PV** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **zużycie prądu przez PC na c.o.** | **zużycie prądu przez PC na c.w.u.** | **zużycie prądu do zasilania urządzeń pomocniczych** | **na potrzeby c.o.** | **na c.w.u.** | **w 2014r.** (uruchomienie instalacji w październiku) | **w 2015r.** |
| **Miesiąc** | **kWh** | **kWh** | **kWh** | **kWh** | **h** | **h** | **kWh** | **kWh** |
| Styczeń | 1 226,5 | 985,9 | 187,2 | 53,4 | 442,4 | 60,9 | - | 45,5 |
| Luty | 960,4 | 838,8 | 85,3 | 36,2 | 270,6 | 30,4 | - | 138,2 |
| Marzec | 706,2 | 583,2 | 85,0 | 38,0 | 194,9 | 27,5 | - | 304,4 |
| Kwiecień | 361,0 | 266,0 | 76,4 | 18,6 | 109,5 | 25,0 | - | 461,0 |
| Maj | 197,5 | 116,5 | 71,7 | 9,3 | 44,3 | 23,2 | - | 539,6 |
| Czerwiec | 134,0 | 62,2 | 59,5 | 12,2 | 21,2 | 19,1 | - | 644,7 |
| Lipiec | 61,3 | 13,4 | 44,6 | 3,3 | 0,0 | 14,2 | - | 596,8 |
| Sierpień | 67,8 | 23,1 | 38,6 | 6,1 | 3,9 | 12,1 | - | 658,4 |
| Wrzesień | 157,5 | 99,9 | 43,8 | 13,8 | 37,5 | 13,7 | - | 352,4 |
| Październik | 432,0 | 356,5 | 53,9 | 21,6 | 128,2 | 17,5 | 202,9 | 252,8 |
| Listopad | 739,1 | 649,9 | 69,8 | 19,5 | 214,5 | 21,6 | 53,5 | 41,6 |
| Grudzień | 976,7 | 854,6 | 93,5 | 28,7 | 279,1 | 29,9 | 36,0 | 51,2 |
| **ROK:** | **6 020,0 kWh/rok** | **4 850,1 kWh/rok** | **909,3 kWh/rok** | **260,6 kWh/rok** | **1 746,1 h/rok** | **294,9 h/rok** | **292,5 kWh/3 m-c** | **4 086,7 kWh/rok** |

W 2015r. instalacja PV wyprodukowała 4 086,7 kWh energii elektrycznej. Z tego, na potrzeby własne domu wykorzystano bezpośrednio 1 686,8 kWh – co stanowi: **ok. 41%.** Pozostała ilość prądu słonecznego, tj. 2 399,9 kWh, została odprowadzona do publicznej sieci energetycznej – prąd sprzedany do sieci.

Cena sprzedaży prądu wynosiła ok. 0,13475 zł/kWh, więc uzyskano z tego przychód wynoszący 320,66 zł, a po opłaceniu podatku akcyzowego, który wyniósł 60,99 zł, ostateczny zysk ze sprzedaży prądu solarnego wyniósł **259,67 zł** – **czyli bardzo mało**.
Za taką samą ilość prądu (2 399,9 kWh), przeciętny odbiorca przy cenie 0,60 zł/kWh, zapłaciłby: **1 439,9 zł.**

Dzisiaj zarobek z fotowoltaiki jest znaczne większy – więcej w dalszej części artykułu.

## Fotowoltaika dzisiaj

Rok 2015 to zmiany w przepisach, które od lipca 2016r. bardziej sprzyjają właścicielom instalacji fotowoltaicznych. Zostały wprowadzone tzw. „**opusty”** (o nowych przepisach pisaliśmy w innych artykułach:
- **Nowe zasady rozliczania Prosumentów -** link: http://kotly.pl/nowe-zasady-rozliczania-prosumentow/
- **Bilansowanie międzyfazowe PV** - link: http://kotly.pl/bilansowanie-miedzyfazowe-pv/

Zobaczmy więc jak wygląda sytuacja dzisiaj…

Przyjmując wyniki w 2014r. jako średnioroczne, otrzymamy:
- całkowite zużycie prądu w domu (RTV, AGD, oświetlenie, wentylacja, instalacja pompy ciepła): 8 581 kWh/rok
- produkcja prądu przez PV (w 2105r. – podobne ilości powinno się uzyskać w następnych latach): 4 086 kWh/rok
- bezpośrednie wykorzystanie prądu słonecznego na potrzeby domu: 1 686 kWh/rok (ok. 41%)
- prąd słoneczny odprowadzony do sieci energetycznej: 2 400 kWh/rok

Przyjmijmy również, że korzystamy z taryfy całodobowej – G11. Czyli, przez cały dzień mamy jedną stawkę za energię elektryczną. Bo, spora część inwestorów, mając pompę ciepła wybiera system rozliczania wg. jednej taryfy.
Koszty składowe rachunku za prąd wg aktualnych opłat autora artykułu – TAURON, G11 (koniec 2016 roku).

**Bez instalacji PV:**

| **Rachunek za prąd** | **Stawka** | **Koszt roczny**<br>dla zużycia: 8 581 kWh/rok |
|---|---|---|
| **Opłaty zmienne** | | |
| - energia elektryczna czynna: | 0,32 zł brutto/kWh | 2 745,92 zł brutto/rok |
| - opłata dystrybucyjna zmienna: | 0,26 zł brutto/kWh | 2 231,06 zł brutto/kWh |
| **Opłaty stałe** | | |
| - opłata dystrybucyjna stała: | 4,74 zł brutto/m-c | 56,88 zł brutto/rok |
| - opłata przejściowa: | 9,84 zł brutto/m-c | 118,08 zł brutto/rok |
| - opłata abonamentowa: | 0,98 zł brutto/m-c | 11,76 zł brutto/rok |
| **Rachunek do zapłacenia:** | | **5 163,70 zł brutto/rok** |

Bez instalacji PV i rozliczając się wg taryfy G11, całkowity koszt jednostkowy prądu wynosi: 0,6017 zł brutto/kWh.

**Z instalacją fotowoltaiczną o mocy nominalnej 4,14 kW i 7,90 kWp, oraz z „opustem 80%”:**

| | | |
|---|---|---|
| Instalacja PV o mocy: | **4,14 kWp** | **7,90 kWp** |
| Energia wyprodukowana przez instalację PV w ciągu roku: | 4 086 kWh/rok | 7 900 kWh/rok |
| Bezpośrednie wykorzystanie prądu PV na własne potrzeby: | **41%** | **35%** |
| | **1 686 kWh/rok** | **2 765 kWh/rok** |
| Prąd PV odprowadzony do sieci energetycznej, który zostanie z niej odebrany – objęty opustem: | 2 400 kWh/rok | 5 135 kWh/rok |
| Zakup brakującej energii z sieci – nie objętej opustem: | 4 495 kWh/rok | 681 kWh/rok |
| **Koszty prądu** | | |
| **Opłaty zmienne** za prąd słoneczny odebrany z sieci energetycznej, w ilości 2 400 / 5 135 kWh, z opustem 80%: | 276,18 zł brutto/rok | 590,92 zł brutto/rok |
| **Opłaty zmienne** dla zakupu brakującego prądu z sieci, w ilości 4 495 kWh/rok / 681 kWh/rok: | 2 607,10 zł brutto/rok | 394,98 zł brutto/rok |
| **Opłaty stałe:** | 186,72 zł brutto/rok | 186,72 zł brutto/rok |
| **Całkowity koszt prądu z instalacją PV** – rachunek do zapłacenia: | **4,14 kWp** | **7,9 kWp** |
| | **3 070,0 zł brutto/rok** | **1 172,62 zł brutto/rok** |
| **Oszczędności na kosztach prądu** – w pierwszym roku eksploatacji instalacji PV**:** | **ok. 40% 2 097,0 zł/rok** | **ok. 77% 3 990,38 zł/rok** |

Dlaczego instalacja PV o mocy nominalnej 7,9 kWp i 35% wykorzystania na potrzeby własne ?

Przy rocznym zużyciu prądu na poziomie 8 000 kWh, optymalnym byłaby instalacja PV o mocy ok. 8 kWp. W badanym domu zastosowano mniejszą instalację – o mocy 4,14 kWp. Porównanie obu instalacji pokazuje koszty prądu w dwóch wariantach:
inst. 1 – niedowymiarowana (za mała)
inst. 2 – dobrana optymalnie do zapotrzebowania na energię elektryczna budynku.

Bezpośrednie wykorzystanie prądu słonecznego na własne potrzeby:
- 41% - rzeczywisty (zmierzony w badanym domu)
- 35% - przyjęty orientacyjnie i mniejszy od instalacji 1, bo niedowymiarowanie instalacji PV spowoduje, że więcej prądu słonecznego będzie od razu wykorzystywane na potrzeby domu.

Jak wynika z porównania, najwięcej korzyści przyniesie instalacja PV o mocy optymalnej – **77%** oszczędności na kosztach prądu rocznie. Wówczas, zamiast płacić **5 163 zł brutto/rok**, rachunki wyniosą tylko **1 172 zł brutto/rok**.
**1 172 zł brutto/rok** to rachunek za prąd: na cele mieszkalne; ogrzewanie i chłodzenie pompą ciepła; zasilanie wentylacji z odzyskiem ciepła.

Oczywiście, należy mieć na uwadze, że większa instalacja PV to wyższy koszt inwestycji. Pewnym rozwiązaniem może myć wykonanie mniejszej instalacji i w późniejszym czasie dołożenie modułów tak aby uzyskać optymalną moc całej instalacji fotowoltaicznej.
Lub, dołożenie do instalacji turbiny wiatrowej o odpowiedniej mocy, tak aby ilość produkowanego prądu z OZE była zbliżona do rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną budynku.

# Podsumowanie

W artykule, z którego zaczerpnąłem wyniki pomiarów w badanym domu, brakowało takich informacji jak:
- całkowita ilość ciepła dostarczona w ciągu roku na potrzeby c.o. i c.w.u.
- SCOP całej instalacji z pompą ciepła w ciągu roku (na potrzeby c.o. i c.w.u.)
- jak pracuje poziomy spiralny wymiennik gruntowy – to znaczy, do jakiej temperatury wymiennik gruntowy ogrzewa przepływający przez niego płyn (solankę); temperatury solanki na początku i pod koniec okresu grzewczego
- ile w lecie kosztuje właściciela chłodzenie budynku
- ile prądu zużywa rocznie wentylacja z odzyskiem ciepła (rekuperacja)
- czy w domu jest kominek – w artykule źródłowym nie było żadnej informacji na ten temat, wiec może nie być kominka;
jeśli jest, to na pewno nie kominek z płaszczem wodnym, bo wówczas potrzebny byłby zasobnik buforowy wody grzewczej, a takiego nie ma na schematach instalacji znajdujących się w artykule źródłowym [1]

**Samodzielne obliczenia**
Dane odczytane z [1], dla roku 2014:
- zmierzona średnia moc grzewcza pompy ciepła: 9,53 kW
- czas pracy pompy ciepła na c.o: 1 746 h/rok, na c.w.u.: 295 h
- zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania c.w.u.: 1 861 kWh/rok
- zużycie prądu na c.o. i c.w.u.: 6 020 kWh

Dla uzupełnienia - dane techniczne badanej pompy ciepła Vitocal 242-G Typ BWT, wyprodukowanej w 2010 roku, dla temperatury solanki: 0°C i wody grzewczej: 35°C:
- moc grzewcza: 10 kW
- moc chłodnicza: 7,8 kW
- pobór mocy elektrycznej: 2,35 kW
- współczynnik efektywności COP: 4,3

Z danych technicznych producenta odczytano COP pompy ciepła dla temperatury solanki 0°C
i wody grzewczej:
45°C – COP = 3,2
55°C – COP = 2,5

Obliczono:
- zapotrzebowanie budynku na ciepło do c.o.: 16 639 kWh/rok (9,53 kW x 1 746 h = 16 639 kWh), co daje współczynnik zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania domu: 123 kWh/m2 (16 639 kWh/rok / 135 m2 = 123 kWh/m2)
- całkowite zapotrzebowanie na ciepło do c.o. i c.w.u.: 18 500 kWh/rok (16 639 kWh + 1 861 kWh = 18 500 kWh/rok), współczynnik zapotrzebowania na ciepło: 137 kWh/m2

- SCOP  całej instalacji pompy ciepła w ciągu roku (c.o. + c.w.u.): 3,07
(18 500 kWh/rok / 6 020 kWh = 3,07)

Szkoda że nie można zweryfikować obliczonego SCOP instalacji, z rzeczywistym – zmierzonym.
SCOP może być bliki obliczonego, bo:
- dom znajduje się w najzimniejszej części kraju, gdzie okres grzewczy trwa ok. 252 dni (V strefa klimatyczna)
- instalację ogrzewania domu zaprojektowano na stosunkowo wysoką temperaturę wody grzewczej: 50°C – optymalna dla pompy ciepła wynosi 35°C, co w obecnie budowanych domach jest stosunkowo łatwe do osiągnięcia;
im niższa temperatura wody grzewczej, tym COP pompy ciepła wyższe
- wysoka wymagana temperatura c.w.u. – im będzie niższa, tym wyższe COP pompy ciepła
- wymiennik gruntowy poziomy – im wyższa temperatura solanki, tym wyższe COP pompy ciepła

Obecnie produkowane pompy ciepła marki Viessmann dają więcej możliwości na obniżenie kosztów eksploatacji, np.:
- wyższe COP pomp ciepła niż 5 czy 10 lat temu, np. dla B0/W35: 5,01
- pompy ciepła aktywnie współpracują z instalacją fotowoltaiczną – pompa wie kiedy i ile prądu słonecznego ma do dyspozycji w danej chwili, może załączyć się po to aby maksymalnie go wykorzystać, zanim zostanie odprowadzony do publicznej sieci energetycznej
- regulator pompy ciepła może sterować pracą rekuperatora, tym samym ma również wpływ na maksymalne wykorzystanie prądu słonecznego - do zasilania wentylacji domu
- pompa ciepła może tanio dogrzewać powietrze świeże-nawiewane do wymaganej temperatury
- pompą ciepła łatwo można sterować za pomocą urządzeń mobilnych, np. smartfon, tablet
- wszelkie informacje o pracy pompy w każdej chwili ma do dyspozycji nasz serwisant, który zdalnie może ocenić czy instalacja pracuje poprawnie
- pompa ciepła może naturalnie chłodzić dom, lub jeśli zajdzie taka potrzeba przełączyć się na tryb chłodzenia aktywnego – załączy się sprężarka pompy ciepła, która z większą intensywnością może chłodzić pomieszczenia w domu
- do chłodzenia aktywnego pompa ciepła wykorzystywać będzie prąd słoneczny – tanie chłodzenie domu
- w urządzeniach hybrydowych, gdzie w jednej obudowie znajduje się kocioł gazowy/olejowy i pompa ciepła; regulator stale kontroluje koszty ogrzewania i automatycznie załącza najtańsze w danej chwili źródło ciepła

Odpowiednio zaprojektowana instalacja pozawala na jej swobodne rozbudowanie w przyszłości. Tak, aby łatwo można było dołożyć dodatkowe instalacje, które mogą obniżyć koszty eksploatacji budynku i/lub zapewnić większy komfort mieszkańcom.
Taki dom w minimalnym stopniu będzie odczuwał zmiany na rynku konwencjonalnych paliw i energii elektrycznej.

Autor: Krzsztof Gnyra

Źródło:
[1] Rynek Instalacyjny nr. 09/2016, artykuł pt.: Zastosowanie dodatkowych źródeł energii odnawialnej do współpracy z pompą ciepła solanka/woda; autorzy: dr inż. Joanna Piotrowska-Woroniak, dr inż. Wiesław Załuska, mgr inż. Rafał Tomaszewicz.
[2] Instalacje fotowoltaiczne, wydanie V; Bogdan Szymański; GLOB Energia, Kraków 2016r.