

Najważniejszy jest przepływ

Regulacja instalacji słonecznych

tekst:
Piotr Jasiukiewicz

Okazuje się, że nawet najlepiej zaprojektowana instalacja słoneczna wykonana z zachowaniem wszelkich zasad technicznych i wiedzy inżynierskiej, z wykorzystaniem najlepszych kolektorów marki Buderus i sterowana najnowocześniejszą automatyką i tak nie będzie działać poprawnie, jeżeli nie ustawi się w niej **wymaganego natężenia przepływu płynu solarnego**.

Regulacja przepływu płynu solarnego

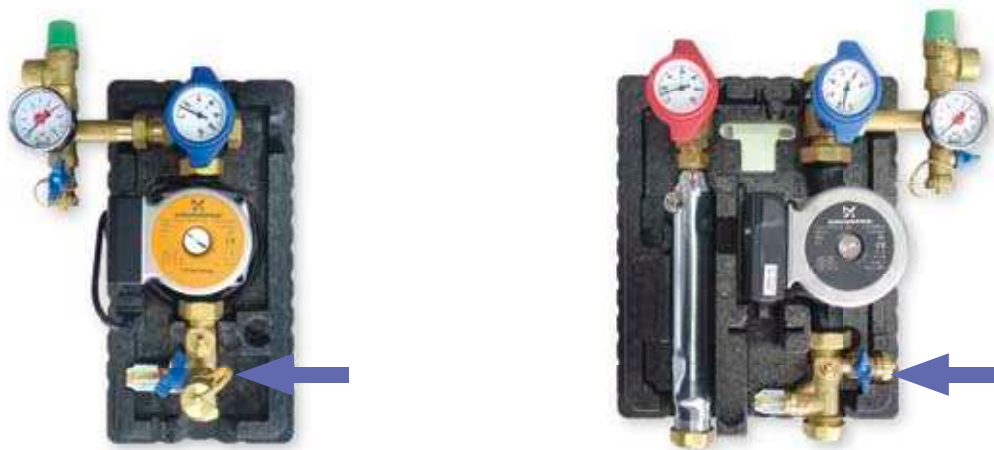
Program obliczeniowy instalacji słonecznych firmy Buderus SOLAD dobiera poszczególne elementy instalacji słonecznej oraz oblicza wskaźniki energetyczne jej stosowania w warunkach polskich. Jednak najważniejszy parametr, jaki jest obliczany przez ten program, to **natężenie przepływu płynu solarnego** przez pole kolektorów.

Wielu projektantów i instalatorów nie zwraca uwagi na obliczenie i prawidłowe ustawienie tego parametru po wykonaniu instalacji słonecznej. Zaniechanie ustawienia tego parametru lub ustawienie nieprawidłowe jest przyczyną złego działania instalacji słonecznej, a nawet może doprowadzić do jej trwałego uszkodzenia, o czym mowa będzie w dalszej części artykułu.

Jak wiadomo, każda grupa pompowa (stacja solarna) marki Buderus wyposażona jest w specjalny element re-

gulacyjno-kontrolny, nazywany potocznie **rotametrem**. Zainstalowany jest on tuż przed pompą obiegową, czyli po stronie „zimnej” w grupie pompowej, tak jak pokazano na rysunku 1.

Jego konstrukcja i zasada działania jest prosta. Przepływający przez niego strumień płynu solarnego oddziałuje na pływak, który w płynącym strumieniu glikolu zostaje unoszony. Drugi koniec pływaka stanowi wskaźnik (czerwona obwódka), który porusza się w wyskalowanej tulejce. Skala na obudowie tulejki przedstawia przepływ płynu w jednostce litr na minutę. Nie jest to może zbyt techniczna wartość skali, ale dla nas bardzo przydatna i obrazowa, ze względu na wartości przepływu, z jakimi mamy do czynienia w instalacjach słonecznych.



Rys. 1. Stacje pompowe z widocznym rotametrem: jednopionowa (z lewej), dwupionowa (z prawej).



Rys. 2. Wygląd ogólny rotametrów, skala natężenia przepływu z zaznaczonym wskaźnikiem.

Dlaczego tak istotne jest prawidłowe ustawienie natężenie przepływu płynu solarnego przez instalację słoneczną?

Od natężenia przepływu płynu solarnego przez kolektory słoneczne zależy wiele parametrów użytkowych. Prawidłowy przepływ ma ogromny wpływ na sprawność kolektora słonecznego i na jego wydajność cieplną (moc cieplną). Nieprawidłowo ustawiony może znacznie pogorszyć wymiennę ciepła od promieni słonecznych do płynu solarnego, doprowadzić do przegrzewania absorbera, co w znacznym stopniu degraduje jego powierzchnię absorpcyjną, a w konsekwencji (w ciągu kilku lat) prowadzi do zmniejszenia ilości pozyskiwanego promieniowania słonecznego. Szczegółowo wpływ natężenia przepływu płynu solarnego przez instalację słoneczną omówiony zostanie w dalszej części artykułu.

Prawidłowy przepływ

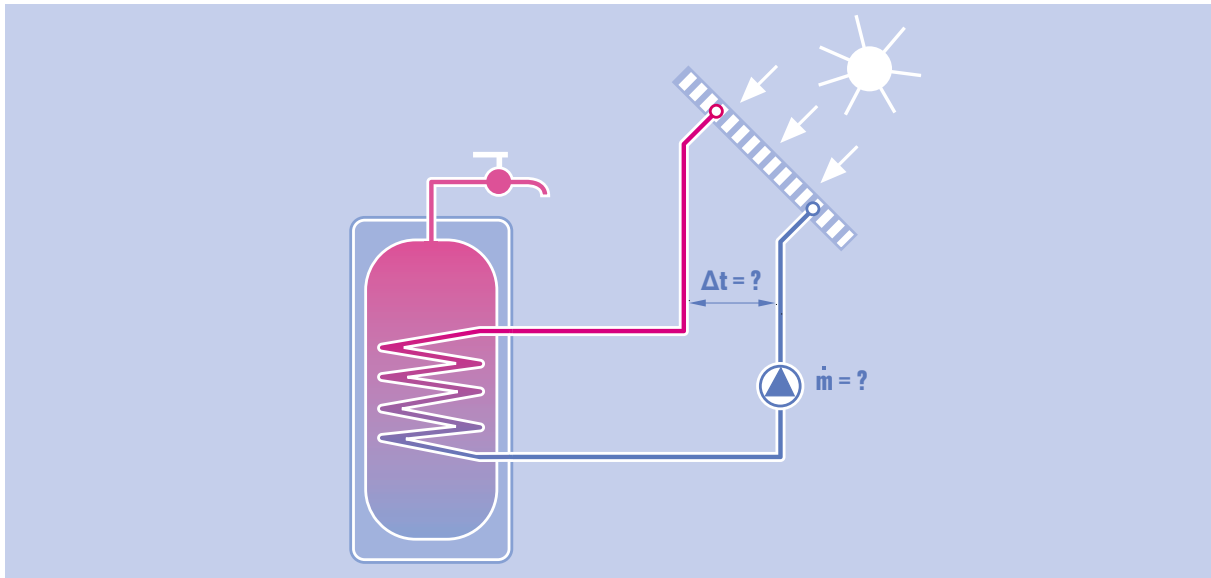
Określenie prawidłowego przepływu płynu solarnego przez kolektor słoneczny nie jest sprawą łatwą technicznie. Nie można go określić w sposób czysto teoretyczny czy obliczeniowy. Można zatem zbudować najprostszą instalację słoneczną opartą na kolektorach płaskich lub próżniowych, wyposażoną w stację pompową i podgrzewacz ciepłej wody użytkowej, tak jak to pokazano na rysunku 3. Po zmontowaniu takiej instalacji jedynym i najważniejszym problemem, przed jakim staje instalator, jest prawidłowe ustawienie przepływu płynu solarnego przez nią. Jaką wartość przepływu należy ustawić, od czego zależy przepływ płynu solarnego, jaki parametr wynikowy świadczy o prawidłowym ustawieniu przepływu?

Zalecenia firmy Buderus w tej kwestii są wynikiem wieloletnich badań. Okazuje się bowiem, że można określić najkorzystniejszą wartość przepływu płynu solarnego, wykonując podstawowe pomiary ciepło-przepływowe kolektora słonecznego podczas jego pracy. W tym celu należy określić sprawność absorpcji promieniowania słonecznego, przyrost temperatury płynu solarnego, który przepływa przez kolektor (czyli o ile przyrasta temperatura glikolu w kolektorze) w funkcji natężenia strumienia przepływającego płynu solarnego. Wyniki takich badań pokazano na rysunku 4. Wynika z niego, że istnieje pewien punkt wyznaczony doświadczalnie, w którym prze-

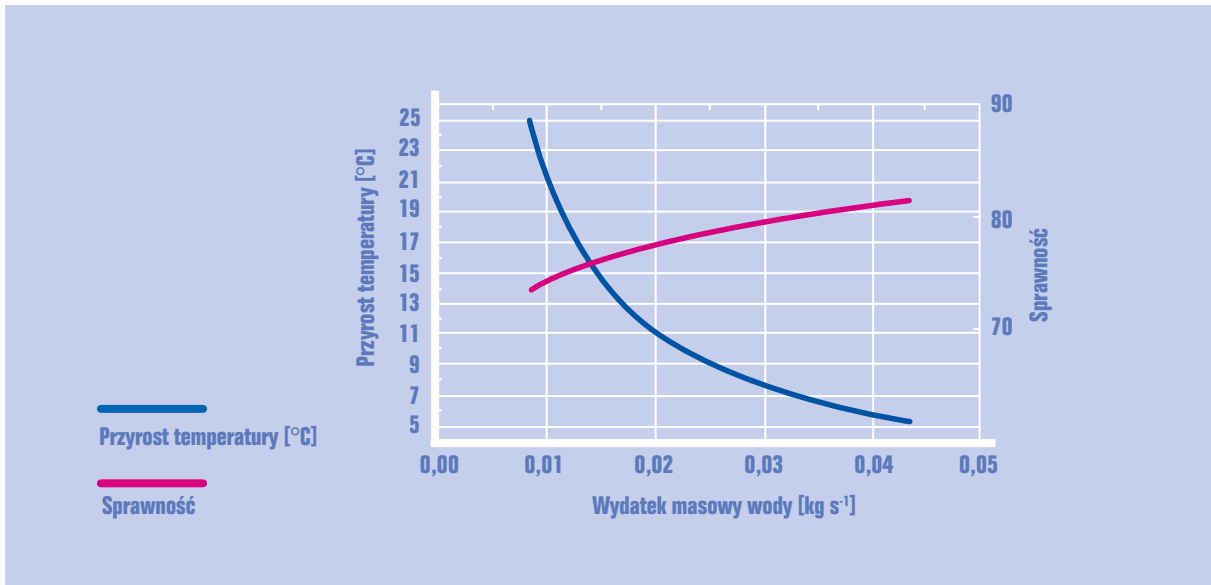
cinają się dwie krzywe obrazujące sprawność i przyrost temperatury na kolektorze. Ten punkt przecięcia został osiągnięty przy określonym natężeniu przepływu płynu solarnego (ok. 0,015 kg/sek, czyli 0,9 kg/min).

Najważniejszym wnioskiem z analizy rysunku 4. jest to, że istnieje pewne powiązanie pomiędzy zadawalającą sprawnością kolektora słonecznego, odpowiednim przyrostem temperatury na kolektorze i małymi oporami hydraulicznymi wynikającymi z natężenia przepływu płynu solarnego przez kolektor, czyli patrząc pod względem eksploatacji, możliwie najniższym zużyciem energii napędowej przez pompę solarną. Dla nas – instalatorów czy użytkowników – charakteryzowany jest przyrostem temperatury płynu na kolektorze wynoszącym ok. 15 K. Oznacza to, że kolektor osiąga możliwie wysoką sprawność ok. 66% przy najniższym z możliwych zużyciu energii napędowej przez pompę solarną, ale równocześnie jego praca przynosi dla nas efekt użytkowy w postaci podgrzewania płynu solarnego o 15 K. Jak wiadomo, taki przyrost temperatury jest potrzebny, aby prawidłowo podgrzewać ciepłą wodę użytkową w podgrzewaczu (bojlerze).

Ale przecież, dalej analizując rysunek 4., można by uzyskać dużo większą sprawność kolektora słonecznego, wystarczy jedynie kilkakrotnie zwiększyć prędkość przepływu płynu solarnego. Na przykład, gdyby natęże-



Rys. 3. Schemat ideowy najprostszej instalacji słonecznej.



Rys. 4. Zależność pomiędzy sprawnością kolektora słonecznego, przyrostem temperatury a natężeniem przepływu płynu solarne.

nie przepływu płynu solarne wynosiło ok. 0,04 kg/sek (czyli 2,4 kg/min), wówczas sprawność kolektora przewyższałaby nawet 80%. To o prawie 15% więcej niż poprzednio. Ale jak osiągnąć tak duży przepływ? Należy wymienić pompę obiegową w stacji pompowej na co najmniej dwukrotnie większą, a więc co najmniej dwukrotnie zwiększyć moc elektryczną silnika pompy. Będzie to skutkowało kilkakrotnym zwiększeniem zużycia energii napędowej przez instalację słoneczną, przez co ogólna sprawność całego układu solarne będzie niewielka. Może okazać się nawet, że ogrzewanie c.w.u. gazem ziemnym będzie tańsze. Równocześnie utracimy wysoką jakość energii cieplnej z kolektora, poprzez znaczne obniżenie temperatury płynu solarne wypływającego z kolektora. Przy tak dużym przepływie płyn solarne podgrzewa się w kolektorze o zaledwie 6 stopni. Oznacza to,

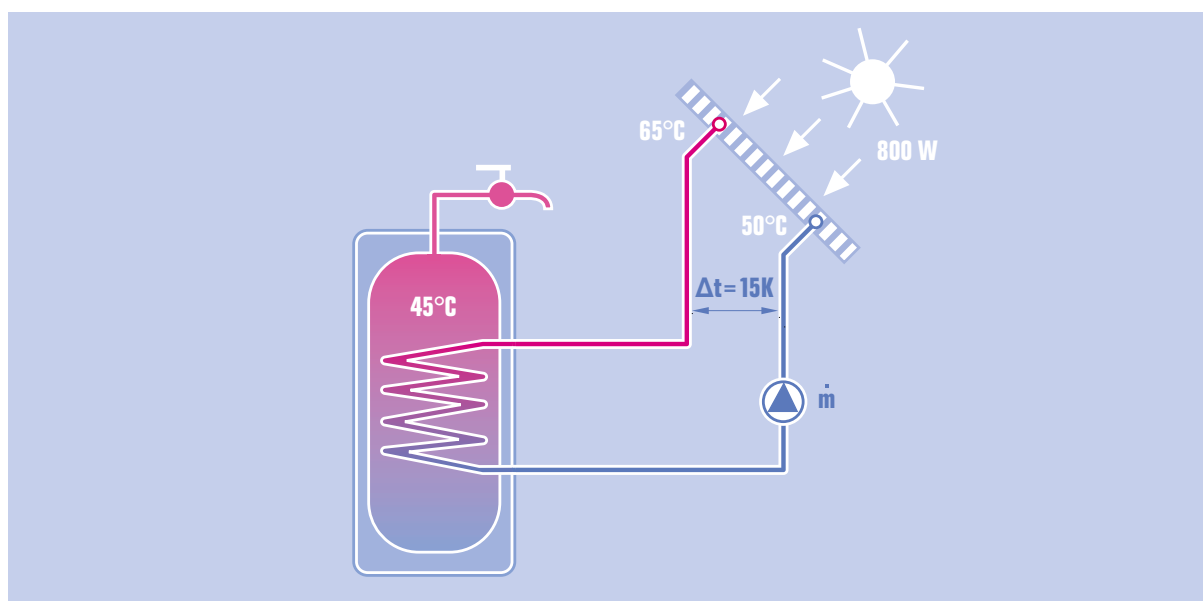
że jeżeli do kolektora wpływa glikol o temperaturze +30°C, to wypływa z niego o temperaturze zaledwie +36°C. To zbyt mało, aby podgrzać wodę w zasobniku do zadowalającej temperatury. Wszystkie te pomiary są realizowane przy założeniu średniego promieniowania słonecznego, które dla Polski wynosi ok. 800 W/m². Zatem, jak w każdej sferze naszego życia, konieczny jest kompromis. U nas kompromis polega na świadomej zgodzie na uzyskanie mniejszej sprawności cieplnej przez kolektor, ale równocześnie dużo mniejszej konsumpcji energii elektrycznej przez pompę obiegową w wyniku mniejszego przepływu płynu solarne, a co za tym idzie – niewielkich oporów hydraulicznych kolektora słonecznego. Jednak najważniejsze dla nas, z punktu widzenia użytkowego, jest podgrzewanie płynu solarne na kolektorze o 15K.



Niedomagania instalacji słonecznych

Założmy, że podstawowa i najprostsza instalacja słoneczna została pokazana na rysunku 5. Usytuowana jest ona w Gdańsku (stacja meteorologiczna Gdańsk Port Północny), pracuje na potrzeby 4-osobowej rodziny, więc wyposażona jest w trzy kolektory płaskie SKN 3.0, grupę pompową (stację solarną) i wężownicowy podgrzewacz ciepłej wody użytkowej o pojemności 300 dm³. Założmy, że gęstość średniego promieniowania ciepłego docierającego do powierzchni Ziemi w Gdańsku wynosi około 800 W/m². Zatem korzystając z programu obliczeniowego Buderus – SOLAD można w prosty sposób wyznaczyć wymagany przepływ płynu solarne-

go przez dobraną instalację słoneczną. Wartość tego przepływu powinna wynosić 2,5 dm³/min. Gdy wskazany przez program przepływ płynu solarnego ustawimy na rotamerze w stacji pompowej, okaże się, że przyrost temperatury glikolu na kolektorach wyniesie około 15 K, jak pokazano na rysunku 5. Tak jak wspomniano wcześniej, jest to wartość najlepsza ze względów ekonomicznych, ale również i użytkowych. Przeanalizujemy sytuację, gdy przepływ płynu solarnego na rotametrze nie zostanie ustawiony prawidłowo bądź w ogóle nie zostanie ustawiony.



Rys. 5. Schemat ideowy instalacji słonecznej. Prawidłowo ustawiony przepływ płynu solarnego przez instalację słoneczną.

A. Zbyt mały przepływ płynu solarnego

Rozważmy zachowanie się małej instalacji słonecznej. Założmy, że przepływ płynu solarnego jest dwukrotnie mniejszy od wartości wymaganej i wynosi zaledwie 1,25 dm³/min. Bardzo łatwo jest przewidzieć konsekwencje zmian parametrów pracy takiej instalacji słonecznej. W myśl prawa Pecleta natężenie przepływu płynu przez wymiennik i różnica temperatur za i przed

wymiennikiem są wielkościami wprost proporcjonalnymi, czyli zmiana jednego parametru powoduje zmianę drugiego o tę samą wartość. Opisując tę zależność w oparciu o wielkości termodynamiczne można powiedzieć, że przyrost entalpii płynu solarnego równy jest ilości energii cieplnej zaabsorbowanej od Słońca. Zależność prawa Pecleta wyrażona jest wzorem 1. Zatem w myśl zależności 1. przy przepływie płynu solarnego mniejszym o połowę zwiększy się dwukrotnie przyrost temperatury glikolu na kolektorze, tak jak to pokazano na rysunku 6.

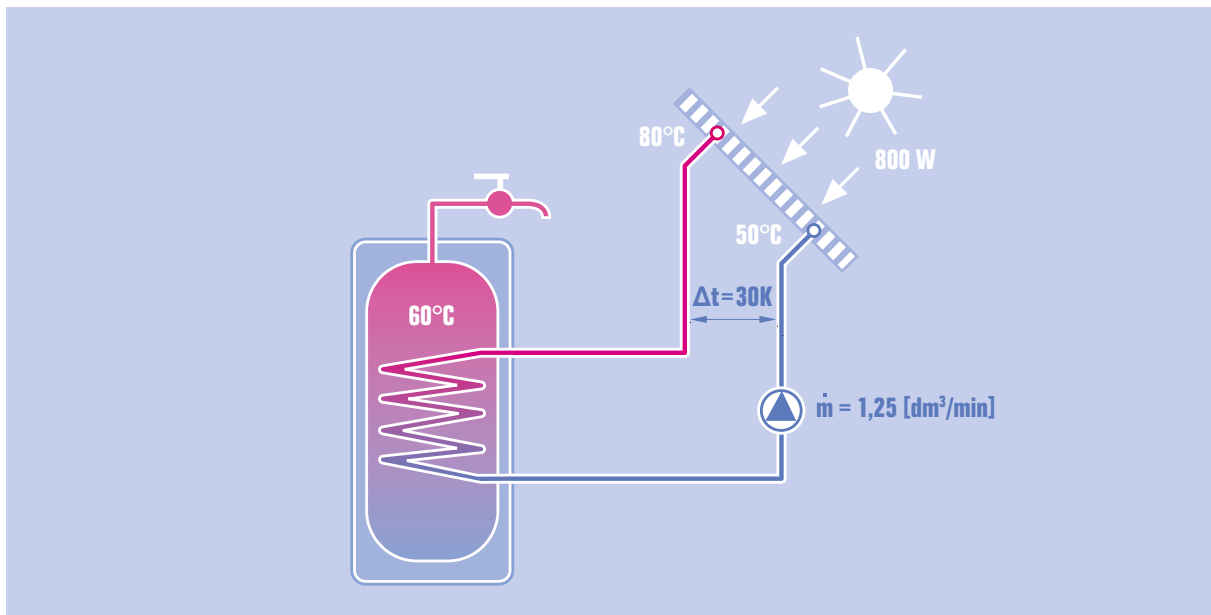
$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_w \cdot \Delta t \quad (1)$$

gdzie:

\dot{m} – strumień masy przepływającego płynu solarnego [kg/sek],

c_w – ciepło właściwe płynu solarnego [kJ/kg K],

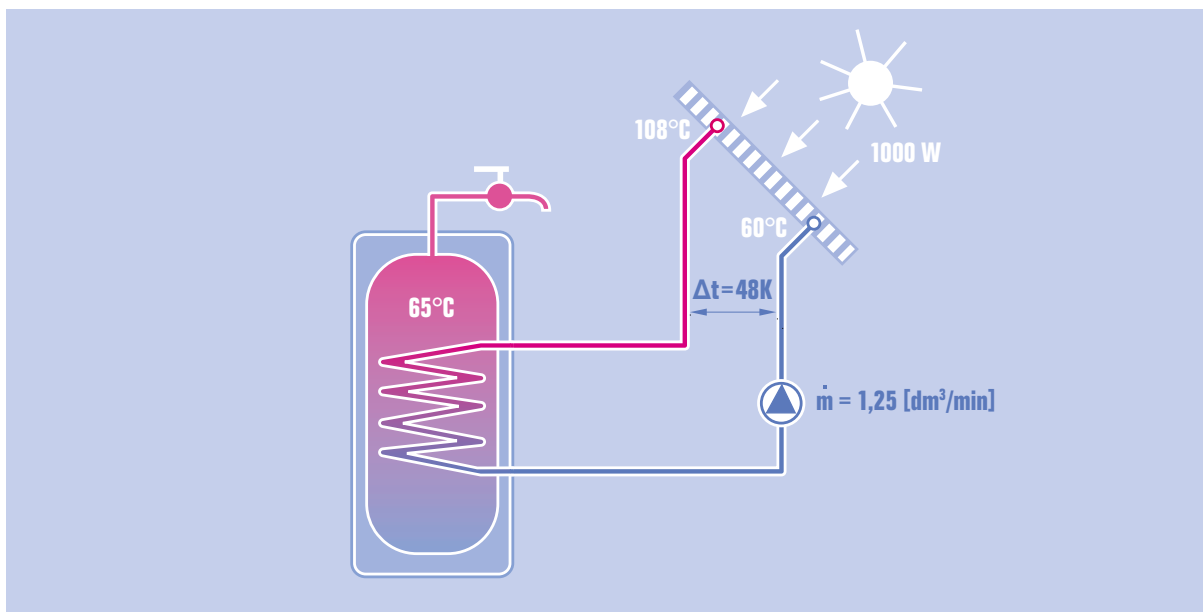
Δt – przyrost temperatury płynu solarnego na kolektorze [K].



Rys. 6. Schemat ideowy instalacji słonecznej. Zbyt mały przepływ płynu solarne go przez instalację słoneczną.

Okazuje się zatem, że zmniejszenie przepływu płynu solarne go przez instalację powoduje znaczne podwyższenie się temperatury glikolu wyływającego z kolektora. Z jednej strony to bardzo pozytywny efekt, ponieważ możliwe jest podgrzewanie wody w zasobniku do wyższych temperatur. Jednak, szczególnie w dużych instalacjach słonecznych, może okazać się, że spowoduje to podgrzewanie dużo mniejszej ilości wody w zasobniku. Dzieje się tak z uwagi na znaczne **zmniejszenie sprawności** samego kolektora słonecznego. Mechanizm tego jest następujący: mniejszy przepływ płynu solarne go przez instalację skutkuje znacznym zwiększeniem temperatury glikolu, jaki opuszcza kolektor, a zatem podwyższa się średnia temperatura powierzchni absorbera kolektora. Natomiast podwyższenie temperatury powierzchni absorbera powoduje zwiększenie strat ciepłych kolektora do otoczenia (z uwagi na zwiększenie różnicy temperatur pomiędzy kolektorem a otoczeniem), czyli zmniejszenie jego sprawności. Okazuje się praktycznie, że podwyższenie średniej temperatury kolektora o 20°C powoduje zwiększenie strat ciepła nawet o 100 W/m², czyli z całego kolektora płaskiego o 225 W. To bardzo duża utrata ciepła. Powoduje ona, że taka ilość ciepła nie trafia do podgrzewacza wody, ale do otoczenia. Każdemu wydaje się, że bardzo mocno rozgrzany kolektor słoneczny to duże ilości ciepła do dyspozycji, a rzeczywistość jest zupełnie odwrotna (im wyższa temperatura kolektora, tym mniejsza jego moc cieplna z uwagi na intensywne straty ciepła do otoczenia). Zatem z energetycznego punktu widzenia nie warto jest doprowadzać do zbyt dużego przegrzewania powierzchni płaskich kolektorów słonecznych, bo prowadzi to do zmniejszenia ich wydajności cieplnej. I znowu, przy instalacji słonecznej wykonanej z 3 kolektorów płaskich SKN 3.0, straty ciepła dla użytkownika są praktycznie niewidoczne, jednak gdy mamy do czynienia z dużą instalacją sło-

neczną, wyposażoną np. w 150 kolektorów płaskich, taka niewielka strata energii z 1 kolektora w całej instalacji skutkuje utratą ok. 30 kW. Stanowi to ponad 550 litrów mniej podgrzanej ciepłej wody na godzinę. To ogromna strata np. dla instalacji podgrzewania wody w hotelu. Taką ilość ciepła należy doprowadzić z innego źródła ciepła. Ale aspekt energetyczny to nie jedyny niekorzystny wpływ na instalację słoneczną powodowany obniżeniem przepływu płynu solarne go przez instalację. Załóżmy bardzo skrajnie niekorzystną sytuację, która rzadko, ale może praktycznie mieć miejsce. Jest lato, niezwykle słoneczny dzień, bezchmurne niebo, wysoka temperatura powietrza atmosferycznego, zatem można domniemywać, że strumień energii cieplnej docierającej do powierzchni Ziemi wynosi nawet 1000 W/m². Zbyt mały przepływ płynu solarne go i ogromne promieniowanie słoneczne sprawiają, że przyrost temperatury na kolektorze jest ogromny i może wynosić nawet 48 K. Gdyby okazało się, że woda w zasobniku ma stosunkowo wysoką temperaturę, rzędu 65°C, co jest bardzo prawdopodobne w tak słoneczny dzień, może okazać się, że temperatura glikolu, jaki opuszcza kolektor słoneczny, może dochodzić do wartości dużo powyżej 100°C, jak pokazano na rysunku 7. Tak jak wspomniano wcześniej, przy tak wysokiej temperaturze powierzchni absorbera kolektora jego sprawność spada drastycznie, czyli ogromną ilość energii cieplnej traci on bezpowrotnie do otoczenia. Żle wyregulowana instalacja słoneczna pracująca w bardzo słoneczny dzień potrafi podgrzać o wiele mniej wody niż w dzień o umiarkowanym natężeniu promieniowania słonecznego, wszystko to z uwagi na ogromne straty do otoczenia. Jednak dużo ważniejszy w takiej instalacji jest aspekt użytkowy. Okazuje się bowiem, że przekroczenie temperatury 102-110°C na wyjściu z kolektora słonecznego

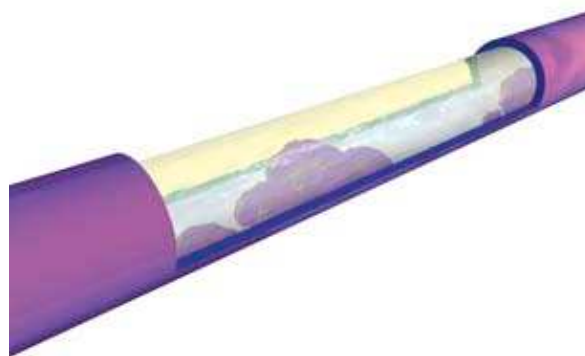


Rys. 7. Schemat ideowy instalacji słonecznej. Zbyt mały przepływ płynu solarnego przez instalację słoneczną i intensywne promieniowanie słoneczne.

powoduje powstawanie pierwszych pęcherzyków pary w glikolu. Oznacza to, że glikol częściowo zaczyna parować, a dokładnie odparowuje woda w nim zawarta. Efektem widocznym takiego procesu jest zatrzymanie pracy instalacji słonecznej z powodu zatrzymania przepływu płynu solarnego przez kolektor, gdyż górną część kolektora słonecznego wypełnia para glikolu. W takim przypadku wielokrotnie powtarzaną diagnozą, która nasuwa się od razu na myśl, jest stwierdzenie, że instalacja słoneczna zapowietrzyła się i dlatego nie pracuje. Najlepiej wówczas udać się na dach i spróbować odpowietrzyć instalację słoneczną. Nic to nie da, ponieważ odkręcenie odpowietrznika, a więc gwałtowne obniżenie ciśnienia w instalacji słonecznej, spowoduje bardzo gwałtowne i intensywne odparowanie glikolu i jeszcze większą jego ucieczkę przez odpowietrznik. Należy pamiętać, że para przegrzana glikolu opuszczająca odpowietrznik wygląda niemal tak samo jak powietrze, zatem sprawdzenie, czy z instalacji wypływa powietrze czy para glikolu, „na oko” jest praktycznie niemożliwe (nie wspominając już o niebezpieczeństwie poparzenia skóry rąk).

Okazuje się jednak, że to nie wszystkie niekorzystne aspekty użytkowe przegrzewania glikolu i instalacji słonecznej. Przegrzanie glikolu powoduje nieodwracalne jego zmiany chemiczne. Przegrzewany glikol starzeje się chemicznie. Nie wolno doprowadzać glikolu do temperatury powyżej 120°C. Podczas przegrzewania z glikolu wytrąca się lepka i mazista substancja, która osadza się na wewnętrznej powierzchni rurociągów, szczególnie na rurkach absorbera, tak jak to pokazano na rysunku 8. Zanieczyszczenia te bardzo skutecznie utrudniają przepływ glikolu, co znowu ogranicza jego przepływ i powoduje jeszcze bardziej intensywne przegrzewanie. W pewnym momencie, gdy instalacja słoneczna była cyklicznie przegrzewana, zanieczyszczanie się rurociągów i niszczenie chemicznie glikolu postępuje lawinowo.

Należy również pamiętać, że zatrzymanie przepływu płynu solarnego powoduje bardzo szybkie podgrzewanie się powierzchni absorbera. Jak wiadomo, każdy kolektor słoneczny może samoczynnie podgrzać się do pewnej temperatury określonej jako temperatura stagnacji. Jednak każdy kolektor ma również określoną maksymalną temperaturę, do jakiej można podgrzewać jego powierzchnię. Często okazuje się, że temperatura maksymalna jest dużo niższa od temperatury stagnacji. Należy pamiętać, że przekroczenie temperatury maksymalnej powoduje szybką degradację powierzchni absorbera. Farba, jaką jest pokryty absorber, zaczyna parować i traci swoje właściwości absorpcyjne (spala się chemicznie). Ponadto produkty parowania farby odkładają się na chłodnej (stosunkowo chłodnej) szybie, skutecznie brudząc ją od środka kolektora, co w znaczny sposób ogranicza docieranie promieni słonecznych do absorbera i wpływa na obniżenie jego wydajności cieplnej.



Rys. 8. Zanieczyszczenia rurociągów kolektora powstałe w wyniku rozpadu chemicznego glikolu podczas jego przegrzewania.

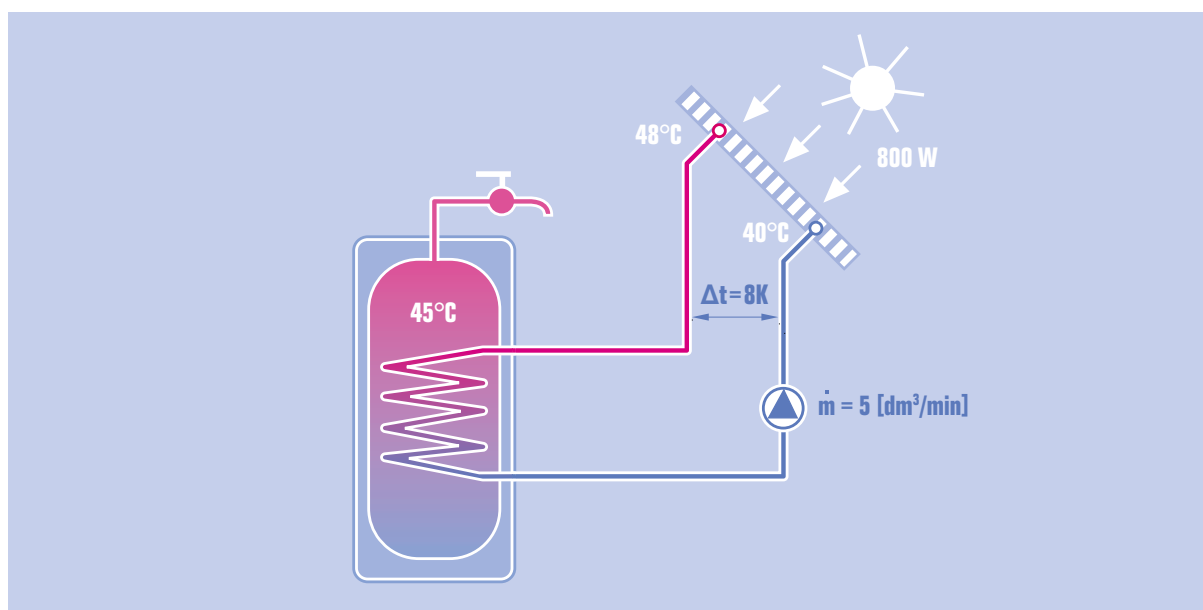
B. Zbyt duży przepływ płynu solarnego

Ponownie rozważmy funkcjonowanie małej instalacji słonecznej, jednak teraz założmy, że przepływ płynu solarnego jest dwukrotnie większy od wartości wymaganej i wynosi $5 \text{ dm}^3/\text{min}$. Również i teraz konsekwencje tego są możliwe do przewidzenia. Przy dwukrotnie większym przepływie o połowę zmniejsza się przyrost temperatury płynu solarnego, tak jak to pokazano na rysunku 9.

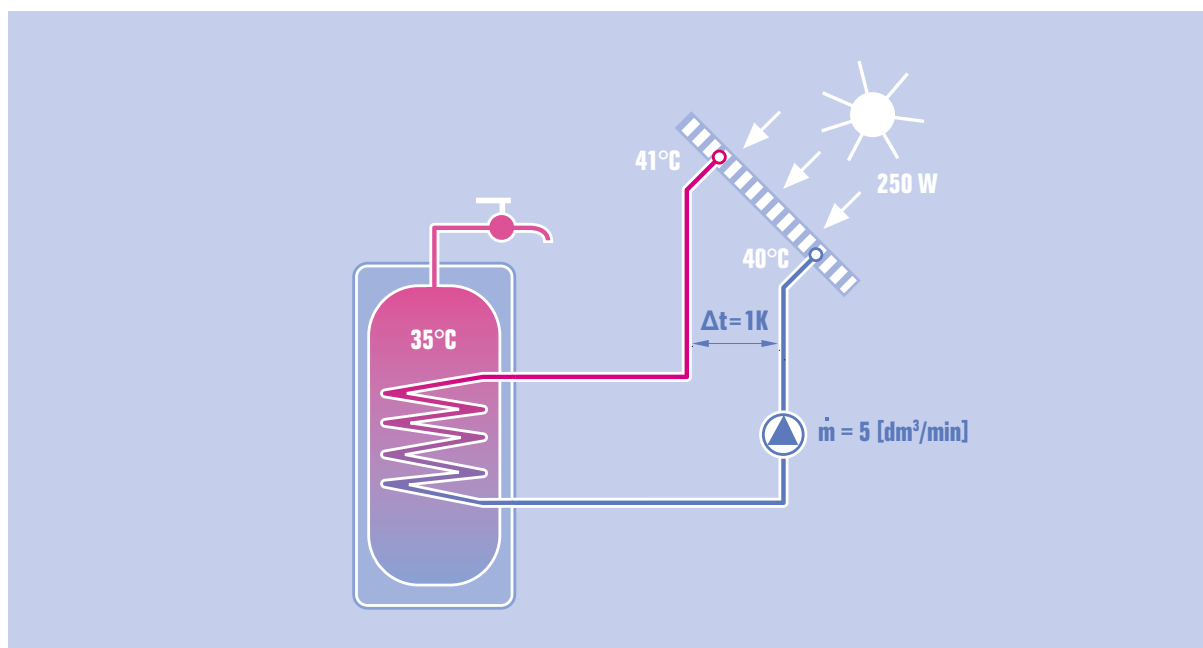
Pod względem temperaturowym jedyną niesprzyjającą konsekwencją zbyt wysokiego przepływu płynu solarnego jest uzyskanie niskiej temperatury ciepłej wody w zasobniku. Praktycznie obniżenie temperatury c.w.u. w stosunku do instalacji pracującej prawidłowo może wynosić nawet 10°C . Jednak konsekwencje energetyczne i eksploatacyjne są dużo bardziej dotkliwe. Jeżeli większy przepływ płynu solarnego przez kolektory jest spowodowane dobraniem zbyt dużej stacji solarnej (zbyt dużej pompy obiegowej) w głównej mierze wpływa to na zwiększenie zużycia energii elektrycznej, czyli na większe koszty eksploatacji instalacji słonecznej. Należy pamiętać, że gdy rozpatrujemy małą, domową instalację słoneczną, zwiększenie mocy pompy obiegowej z np. z 30 W do 60 W w bezwzględny wymiarze finansowym powoduje niewielkie zwiększenie kosztów eksploatacji, zaledwie o kilka groszy dziennie, czyli około kilku złotych miesięcznie i nie więcej niż 20 zł rocznie. To wydaje się niewiele. Ale gdy odniesiemy to do dużej instalacji słonecznej, zainstalowanej w np. w hotelu, gdzie zużycie ciepłej wody jest ogromne, to nieuzasadnione dwukrotne zwiększenie mocy pompy obiegowej może powodować nawet kilkusetzłotowe zwiększenie kosztów eksploatacji takiej instalacji. Rozpatrzmy jednak aspekt użytkowy, bez względu na wielkość instalacji słonecznej. Zbyt duży przepływ płynu solarnego bezpośrednio powoduje

wzrost prędkości przepływu glikolu w rurach. Gdy przekroczy wartości graniczne dla różnych materiałów, z jakich wykonane są rurociągi, następuje degradacja wewnętrznej powierzchni tych rur. Najczęściej i najszybciej procesy degradacji materiału rurociągów, w wyniku zbyt dużej prędkości przepływu płynu solarnego, ujawniają się w kolankach miedzianych i w węzownicach grzejnych zasobników wody. Niejednokrotnie zdarza się, że węzownica po kilku latach (2-3 latach) rozszczenia się i zaczyna przeciekać (glikol miesza się z wodą w zasobniku). Wielokrotnie werdykt jest jednoznaczny: zbiornik jest słabej jakości i węzownica skorodowała. Okazuje się jednak, że przyczyna nie tkwi w wykonaniu węzownicy, ale jest to wina złej eksploatacji, czyli wielokrotnie przekroczonej dopuszczalnej prędkości w węzownicy podgrzewacza. Należy tu jeszcze wskazać na bardzo złą praktykę, jaką powszechnie stosuje się przy wykonywaniu instalacji słonecznej. Wiele firm instalacyjnych, chcąc obniżyć koszty instalacji słonecznych, wypełnia ją wodnym roztworem glikolu. Z badań eksploatacyjnych wynika, że samodzielne wymieszanie skondensowanego glikolu z wodą, mające na celu obniżenie temperatury krystalizacji do poziomu -25°C , powoduje powstanie mieszaniny o odczynie kwaśnym. Takie są własności glikolu (badania firmy Boryszew). Kwaśny odczyn płynu solarnego i podwyższona jego prędkość powoduje przyspieszoną korozję węzownicy kolektora i niszczenie jej w przeciągu kilkunastu miesięcy!

W okresach zimowych, gdy promieniowanie słoneczne jest dużo mniej intensywne niż w miesiącach letnich, zbyt duży przepływ płynu solarnego będzie powodował wręcz niezauważalny przyrost temperatury na kolektorze. Może się okazać, że we wrześniu, gdy gęstość promieniowania słonecznego nie przekracza $250\text{-}300 \text{ W}/\text{m}^2$ przyrost temperatury glikolu w kolektorze nie przekracza 1 K , jak to pokazano na rysunku 10. Zatem skuteczność podgrzewania wody w zasobniku jest znikoma.



Rys.9. Schemat ideowy instalacji słonecznej. Zbyt duży przepływ płynu solarnego przez instalację słoneczną.



Rys. 10. Schemat ideowy instalacji słonecznej. Zbyt duży przepływ płynu solarnego przez instalację słoneczną i niewielkie promieniowanie słoneczne.

Wniosek

Najbardziej niebezpieczne dla instalacji słonecznej jest nieprawidłowe ustawienie wymaganego przepływu płynu solarnego przez instalację słoneczną lub w ogóle zaniechanie wykonania takiej regulacji. Zawsze prowadzi to do nieprawidłowej pracy instalacji lub do zmniejszenia sprawności działania kolektorów słonecznych. Takie zaniechanie wykonania regulacji może również doprowadzić do znacznego podwyższenia kosztów eksploatacji, szczególnie dużych instalacji słonecznych. W warunkach skrajnych – nawet do uszkodzenia i zatrzymania pracy instalacji poprzez zanieczyszczenie jej wnętrza produktami termicznego rozkładu chemicznego glikolu.

Bezwzględną procedurą, jaką należy wykonać po zmontowaniu, napełnieniu i odpowietrzeniu instalacji słonecznej, jest regulacja natężenia przepływu płynu solarnego.

Okazuje się również konieczne wykonanie kontroli i ewentualnej korekty takiej regulacji po kilkutygodniowym czasie eksploatacji instalacji. Dzieje się tak, że po kilku tygodniach uprzednio prawidłowo nastawiony przepływ zmienia się samoczynnie. Jest to spowodowane ciągłym odpowietrzaniem się glikolu przez separator powietrza, a tym samym zmianami fizycznymi glikolu.

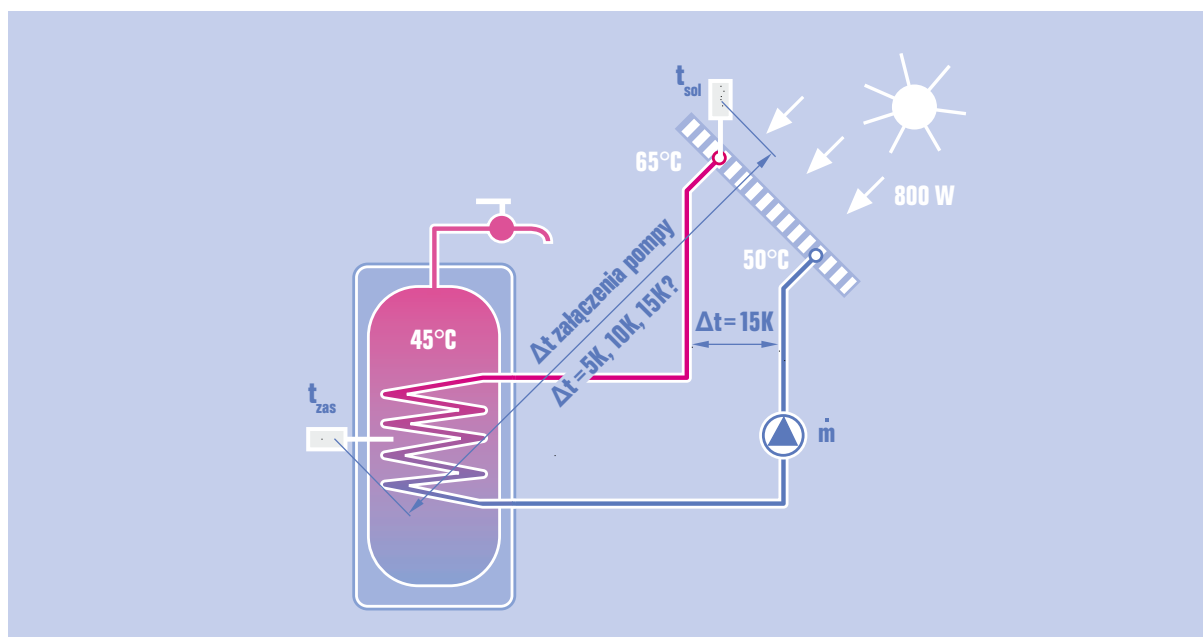
Z uwagi na bardzo dynamiczne zmiany wydajności cieplnej instalacji słonecznej wynikające z nieprzewidywalności promieniowania słonecznego dobrze by było, aby przepływ płynu solarnego był dostosowany do aktualnego promieniowania słonecznego. Oznacza to, że aby zachować ciągle wysoką sprawność kolektora słonecznego i równocześnie przyrost temperatury na kolektorze ok. 15 K przy różnym nasłonecznieniu, należałoby ciągle regulować natężenie przepływu w instalacji słonecznej. Czy jest to możliwe w sposób automatyczny? Oczywiście, że tak!

Wystarczy do sterowania pompą obiegową w stacji pompowej wykorzystać sterownik SC20 lub SC40, które to potrafią płynnie zmieniać natężenie przepływu płynu solarnego poprzez płynną zmianę prędkości obrotowej pompy obiegowej. Sterowniki te kontrolują temperatury kolektora słonecznego, wody w górnej i dolnej części zasobnika i tak dostosowują przepływ glikolu w instalacji słonecznej, aby uzyskać jak największą sprawność kolektora, wysoką temperaturę podgrzewanej wody, bez względu na intensywność promieniowania słonecznego.

Sygnał do uruchomienia pompy solarnej

Jak powszechnie wiadomo, sygnałem do uruchomienia pompy obiegowej instalacji słonecznej (stacji pompowej) jest odpowiednia różnica temperatur, jaka musi zaistnieć podczas pracy kolektorów słonecznych. Ta różnica temperatur mierzona jest pomiędzy czujnikiem kolektora t_{sol} a czujnikiem zasobnika ciepłej wody t_{zas} , tak jak to pokazano na rysunku 11. Czujnik kolektora musi być umieszczony w tulei pomiarowej w najwyższym punkcie na kolektorze, a w przypadku kilku kolektorów połączonych szeregowo w pola kolektorów – w ostatnim kolektorze w rzędzie, tak aby czujnik ten mógł kontrolować aktualną temperaturę płynu solarne opuszczającego kolektor lub pole kolektorów. Czujnik temperatury wody w zasobniku umieszcza się w tulei pomiarowej na wysokości węzownicy grzejnej. Gdy płyn solarny podgrzeje się w kolektorze do temperatury t_{sol} większej o kilkanaście stopni od temperatury wody w zasobniku t_{zas} , zostanie uruchomiona pompa obiegowa w stacji pompowej. Pozostaje jednak pytanie: jaka wartość różnicy temperatur $\Delta t_{zał} = (t_{sol} - t_{zas})$ jest prawidłowa ze względów użytkowych, ekonomicznych i eksploatacyjnych? Czy 5, czy 10, a może 15K? Jak zawsze w technice, jednoznaczne określenie wartości tego parametru jest trudne i wymaga dogłębnej analizy. Spróbujmy zatem przeanalizować, czy lepiej ustawić niewielką wartość różnicy temperatur czy znacząco dużą.

Rys. 11. Schemat ideowy instalacji słonecznej. Załączeniowa różnica temperatur pomiędzy kolektorem, a zasobnikiem ciepłej wody.



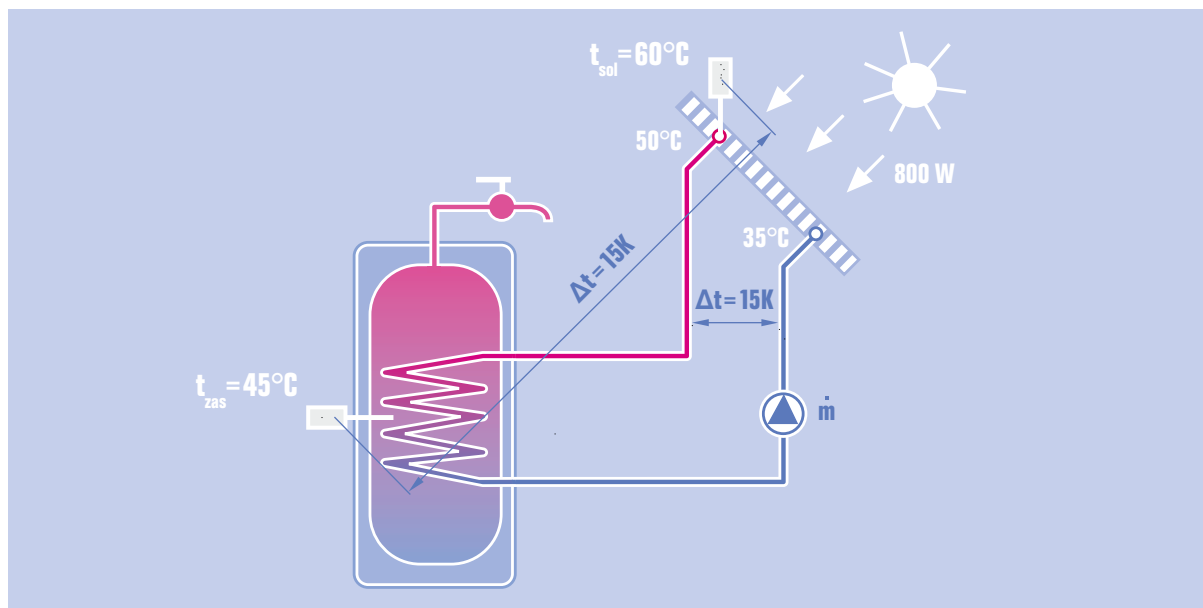


A. Duża załączeniowa różnica temperatur

Założmy, że w małej instalacji słonecznej w sterowniku solarnym ustawimy załączeniową różnicę temperatur o wartości 15 K, tak jak to pokazano na rysunku 12. Założmy również, że został ustawiony odpowiedni przepływ płynu solarnego na rotametrze wewnątrz stacji pompowej. Przeanalizujmy wariant najbardziej prawdopodobny, gdy woda w zasobniku jest już podgrzana do temperatury ok. +45 °C. Z uwagi na ustawioną załączeniową różnicę temperatur o wartości 15 K pompa obiegowa w stacji pompowej ruszy dopiero wówczas, gdy czujnik kolektora zarejestruje temperaturę płynu solarnego o wartości +60 °C. Zatem pompa obiegowa zostanie uruchomiona. Z uwagi na odpowiednio ustawiony przepływ na rotametrze i przy średnim promieniowaniu słonecznym ok. 800 W/m², płyn solarny przepływając przez kolektor będzie się podgrzewał o 15 K, czyli od wartości +35 °C do +50 °C. Okazuje się jednak, że temperatura, do jakiej nagrzewa się glikol w kolektorze przy prawidłowym przepływie jest o 10 °C niższa niż wymagana temperatura, jaka powinna być na kolektorze dla spełnienia warunku uruchomienia i pracy pompy obiegowej.

Dzieje się tak, ponieważ objętość kolektora słonecznego jest niewielka (pojemność około 1,2 dm³), w przeciągu chwili podgrzany glikol wypłynie z kolektora, a w jego miejsce wpłynie nowa porcja, która przy średnim promieniowaniu słonecznym ogrzeje się o 15 K, czyli do wartości +50 °C. Czujnik kolektora t_{so} zauważy, że obniżyła się temperatura w górnej części kolektora o 10 °C poniżej wartości wymaganej dla spełnienia warunku pracy pompy obiegowej. Zatem pompa obiegowa kolektora zostanie zatrzymana. Będzie ona utrzymywana na postoju tak długo, aż warunek ponownego rozruchu pompy nie zostanie spełniony, czyli dopóki gdy glikol nie podgrzeje się do temperatury +60 °C. Okazuje się zatem, że przy takim ustawieniu załączeniowej różnicy temperatur o wartości 15 K instalacja słoneczna pracuje w trybie start/stop. Niestety taki tryb pracy znacznie ogra-

zuje się jednak, że temperatura, do jakiej nagrzewa się glikol w kolektorze przy prawidłowym przepływie jest o 10 °C niższa niż wymagana temperatura, jaka powinna być na kolektorze dla spełnienia warunku uruchomienia i pracy pompy obiegowej. Dzieje się tak, ponieważ objętość kolektora słonecznego jest niewielka (pojemność około 1,2 dm³), w przeciągu chwili podgrzany glikol wypłynie z kolektora, a w jego miejsce wpłynie nowa porcja, która przy średnim promieniowaniu słonecznym ogrzeje się o 15 K, czyli do wartości +50 °C. Czujnik kolektora t_{so} zauważy, że obniżyła się temperatura w górnej części kolektora o 10 °C poniżej wartości wymaganej dla spełnienia warunku pracy pompy obiegowej. Zatem pompa obiegowa kolektora zostanie zatrzymana. Będzie ona utrzymywana na postoju tak długo, aż warunek ponownego rozruchu pompy nie zostanie spełniony, czyli dopóki gdy glikol nie podgrzeje się do temperatury +60 °C. Okazuje się zatem, że przy takim ustawieniu załączeniowej różnicy temperatur o wartości 15 K instalacja słoneczna pracuje w trybie start/stop. Niestety taki tryb pracy znacznie ogra-



Rys. 12. Schemat ideowy instalacji słonecznej. Załączeniowa różnica temperatur pomiędzy kolektorem a zasobnikiem ciepłej wody ustawiona na wartość 15 K.

nicza skuteczne podgrzewanie wody w zasobniku, z uwagi na duże straty energii ciepłej w rurociągach. Podgrzany w kolektorze glikol w ilości około 1,2 dm³ wypływa z kolektora do rurociągów zasilających zasobnik. Po chwili sterownik solarny, z uwagi na niespełnienie kryterium pracy, wyłącza stację pompową. Podgrzany glikol zatrzymuje się w rurociągu nie dopłynąwszy do węzłownicy zasobnika (objętość 1 metra rury miedzianej Cu 15 wynosi ok. 0,2 dm³). Kolektor przechodzi w tryb postoju i czeka na powtórne ogrzanie płynu solarnego do wartości spełniającej warunek powtórnego uruchomienia pompy, czyli +60°C. Wtedy, gdy glikol podgrzewa się w kolektorze, równocześnie glikol w rurociągach ochładza się, tracąc energię ciepłą uzyskaną od Słońca. Praktycznie okazuje się, szczególnie w budynkach, gdzie rurociągi połączeniowe kolektora z zasobnikiem wody są duże, że skuteczność podgrzewania wody w zasobniku jest niewielka. Ten problem jest szczególnie widoczny

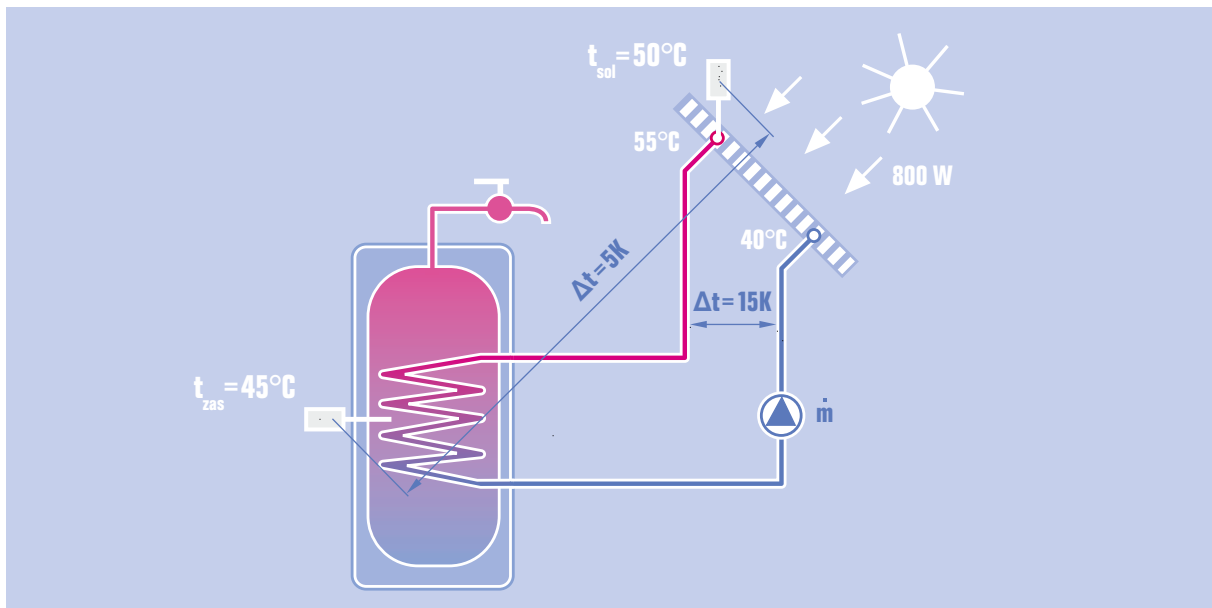
w okresach przejściowych, gdy natężenie promieniowania jest niewielkie, np. ok. 300 W/m². Wówczas postój pompy obiegowej dla ogrzania się glikolu w kolektorze do wartości spełniającej warunek załączenia pompy jest długi. Zatem glikol znajdujący się w rurach ochładza się skutecznie, co powoduje, że woda w zasobniku nie podgrzewa się prawie w ogóle. Okazuje się, że danego dnia kolektor pracował kilka godzin, na co wskazują zapisy w pamięci sterownika, a mimo to temperatura wody w zasobniku nie zmieniała się. Cała energia uszła przez rurociągi połączeniowe. Powstaje wówczas fałszywa teoria, że instalacja słoneczna jest zepsuta, może zapowietrzona, może zanieczyszczona – nie działa. Okazuje się jednak, że jest tylko nieprawidłowo ustawiona. Ponadto takie ustawienie załączeniowej różnicy temperatur powoduje chwilowe przegrzewanie powierzchni kolektora, możliwości podgrzewania bardzo niewielkiej ilości wody w zasobniku, praktycznie tylko w jego górnej części.

Praktycznie można stwierdzić, że zbyt duża załączeniowa różnica temperatur nie jest prawidłowa dla instalacji słonecznych znajdujących się w naszej szerokości geograficznej (obszar Polski), gdzie średnie promieniowanie słoneczne waha się w granicach 600-800 w/m².

B. Mała załączeniowa różnica temperatur

Założmy ponownie, że w małej instalacji słonecznej w sterowniku solarnym ustawimy załączeniową różnicę temperatur o wartości 5 K, tak jak to pokazano na rysunku 13. Założmy również, że został ustawiony odpowiedni przepływ płynu solarnego na rotametrze wewnątrz stacji pompowej. Z uwagi na nastawioną załączeniową różnicę temperatur o wartości 5 K pompa obiegowa w stacji pompowej ruszy wówczas, gdy czujnik kolektora zarejestruje temperaturę płynu solarnego o wartości +50°C. Okazuje się zatem, że pompa obiegowa w stacji pompowej uruchomi się dość szybko,

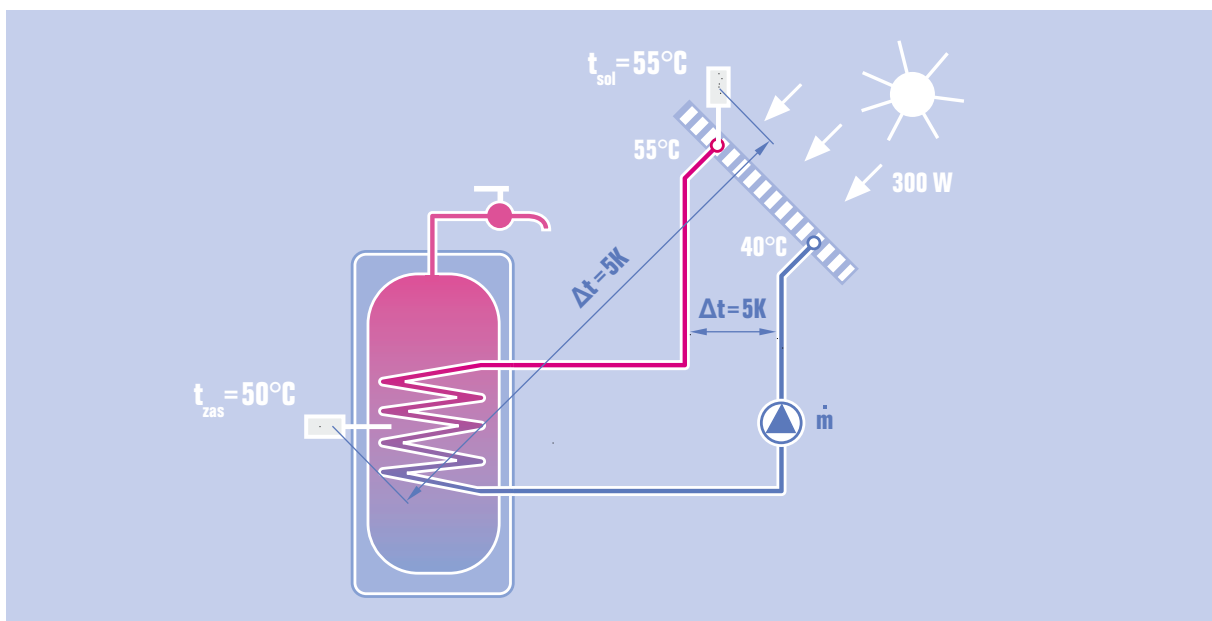
już podczas podgrzewania glikolu w kolektorze, nie doprowadzając do jego nadmiernego przegrzania. Jeżeli przepływ na rotametrze ustawiony jest prawidłowo, a promieniowanie słoneczne nie odbiega od wartości średnich, to przyrost temperatury glikolu na kolektorze (podgrzew glikolu) wynosi około 15K, więc temperatura glikolu, jaki opuszcza kolektor, wynosi ok. +55°C. Oznacza to zatem, że warunek załączenia stacji pompowej jest zawsze spełniony, ponieważ aktualna temperatura glikolu opuszczającego kolektor jest wyższa od temperatury wyłączeniowej kolektora t_{sol} . Okazuje się zatem, że takie ustawienie załączeniowej różnicy temperatur jest korzystniejsze od wcześniej opisanego, gdyż nie powoduje wysoce niekorzystnego trybu pracy typu start/stop. Jednak jak się okazuje praktycznie, do końca



Rys. 13. Schemat ideowy instalacji słonecznej. Załączeniowa różnica temperatur pomiędzy kolektorem a zasobnikiem ciepłej wody ustawiona na wartość 5 K.

nie jest równie korzystne, ponieważ przy takim ustawieniu nie można uzyskać wysokiej temperatury ciepłej wody w zasobniku, szczególnie przy wykorzystaniu podgrzewaczy syfonowych Budeus typu Logalux SL. Ta oczywista wada takiego ustawienia najbardziej odczuwalna jest w okresach przejściowych, gdy natężenie promieniowania słonecznego jest niewielkie, np. ok. 300 W/m². Często takie ustawienie może prowadzić wręcz do wychładzania zasobnika wody szczególnie wczesnym rankiem, jak również późnym popołudniem. Zdarza się wtedy, że zasobnik zachował jeszcze ciepłą wodę z dnia poprzedniego, stacja pompowa ruszyła, gdyż był spełniony warunek załączeniowy $t_{sol} = +55^{\circ}\text{C}$. Jednak płyn solarny napływający do kolektora ma stosunkowo niewy-

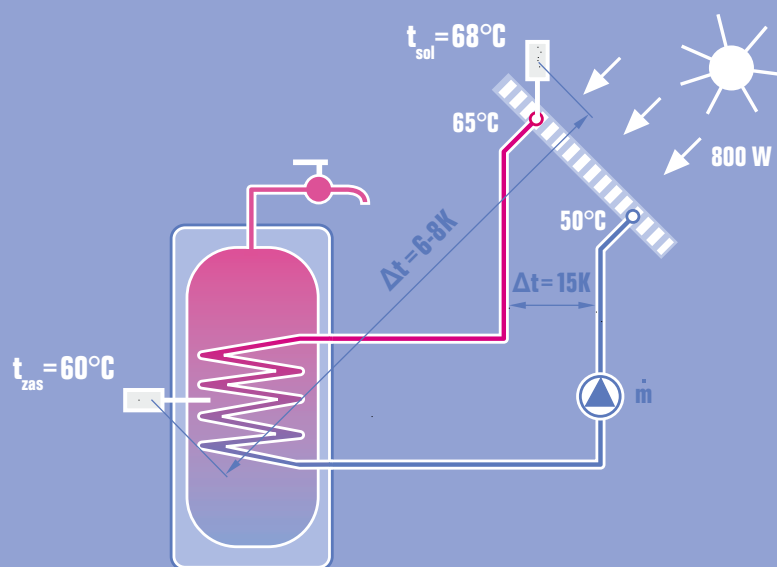
soką temperaturę, z uwagi na mało intensywne promieniowanie słoneczne i prawidłowo ustawiony przepływ, co sprawia, że podgrzew glikolu na kolektorze jest niewielki i wynosi tylko ok. 5 K. Zatem glikol, który opuszcza kolektor, ma temperaturę zaledwie $+50^{\circ}\text{C}$. Warunek pracy stacji pompowej nadal jest spełniony, jednak temperatura glikolu dopływającego do wymiennika w zasobniku jest prawie równa temperaturze wody w zasobniku. Okazuje się, że nic nie uzyskujemy pod względem ogrzewania wody, jedynie taki stan może prowadzić do obniżania się temperatury wody w zasobniku z uwagi na przenoszenie energii cieplnej z górnej, podgrzanej części zasobnika, do dolnej części dużo chłodniejszej z uwagi na napływ „świeżej” zimnej wody.



Rys. 14. Schemat ideowy instalacji słonecznej. Załączeniowa różnica temperatur pomiędzy kolektorem a zasobnikiem ciepłej wody ustawiona na wartość 5 K oraz mało intensywne promieniowanie słoneczne.

Wnioski

Z praktycznego punktu widzenia okazuje się zatem, że najlepszym ze względów eksploatacyjnych ustawieniem załączeniowej różnicy temperatur jest wartość dostosowana do określonej instalacji słonecznej, jednak wartość ta powinna być ustawiona w zakresie od 6 do 8 K, tak jak to pokazano na rysunku 14. Należy zwrócić uwagę na to, aby temperatura warunkująca załączenie stacji pompowej t_{sol} była nieznacznie wyższa od temperatury, jaką może osiągnąć glikol, przepływając przez kolektor przy średnim promieniowaniu słonecznym i prawidłowo ustawionym natężeniu przepływu płynu solarnego. Jednocześnie, gdy promieniowanie słoneczne będzie mniej intensywne, by nie dopuścić do pracy start/stop, taka wartość załączeniowej różnicy temperatur gwarantuje niewyłączenie się stacji pompowej, nawet gdy podgrzew glikolu na kolektorze będzie mniejszy, nawet o połowę wartości początkowej.



Rys. 15. Schemat idealny instalacji słonecznej. Załączeniowa różnica temperatur pomiędzy kolektorem a zasobnikiem ciepłej wody ustawiona na wartość optymalną.

Sytuacje opisane powyżej mają miejsce, gdy niedostatecznie dobrze wyregulowana zostanie nasza instalacja słoneczna, czy to pod względem hydraulicznym czy sterowania. Należy dołożyć wszelkich starań, aby po wykonaniu i odpowietrzeniu instalacji słonecznej wyregulować przepływ płynu solarnego na rotametrze. Osobną sprawą jest prawidłowe ustawienie sterowania stacją pompową. Tu nie ma precyzyjnych zaleceń eksploatacyjnych. Należy ustawić załączeniową różnicę temperatur w granicach zalecanych przez firmę Buderus (tak jak podano powyżej), jednak korektę tej nastawy należy wykonać po dokładnej obserwacji instalacji podczas pracy, najlepiej przy różnych natężeniach promieniowania słonecznego.

Obecnie jednak najnowsze technologie sterownia mikroprocesorowego przychodzą nam z pomocą. Sterowniki do instalacji słonecznych firmy Buderus serii SC 20 i SC 40 same potrafią wykonać korekty nastaw parametrow pracy instalacji słonecznych. Jest to realizowane w bardzo prosty sposób, a mianowicie pompa obiegowa instalacji słonecznej sterowana jest w sposób płynny. Oznacza to, że obroty pompy obiegowej, czyli jej wydajność objętościowa jest płynnie regulowana przez sterownik solarny. Ponadto sterownik realizuje sterowanie w sprzężeniu zwrotnym (algorytm całkująco-różniczkujący), co oznacza, że każda zmiana prędkości obrotowej pompy obiegowej jest analizowana pod względem oczekiwanej zmiany danego parametru (najczęściej parametru temperaturowego).

Zatem stosowanie sterowników solarnych z płynną regulacją prędkości obrotowej serii SC20 i SC40 sprawia, że wszelkie niedomagania instalacji słonecznej będą korygowane przez sterownik. Zadaniem instalatora pozostaje jednak prawidłowe ustawienie maksymalnego natężenia przepływu płynu solarnego na rotametrze w stacji pompowej.