

Przykładowa aplikacja urządzeń elektroniki konsumenckiej wykorzystujących technologie Internetu Rzeczy (IoT)

Jakub Grela, Andrzej Ożadowicz, Michał Kluska, Krzysztof Smok

Wstęp

Internet Rzeczy (IoT – ang. *Internet of Things*) jest paradygmatem, który łączy w sobie aspekty i technologie pochodzące z różnych dziedzin [1]. Obecnie utrzymująca się tendencja stałego wzrostu oczekiwań stawianych przed budynkami (poprawa komfortu użytkowania, zapewnienie bezpieczeństwa oraz redukcja zużycia energii) wymaga stosowania złożonych rozwiązań, ukierunkowanych na jak najpełniejszą integrację instalacji technologicznych oraz urządzeń elektroniki konsumenckiej w ramach infrastruktury budynków [2]. Rozwój koncepcji wykorzystania technologii IoT jest bardzo istotny z punktu widzenia wielu gałęzi gospodarki i nauki. W przypadku implementacji w aplikacjach budynkowych określany jest on jako BIoT (ang. *Building Internet of Things*). Zastosowanie technologii IoT w budynkach powinno umożliwić płynną, bezproblemową integrację różnych fizycznych obiektów, takich jak urządzenia elektroniki konsumenckiej (UEK), np. lodówka, pralka, czajnik, telewizor itp., w ramach sieci Internet, za pośrednictwem ich wirtualnej reprezentacji. W ramach koncepcji BIoT w budynkach rozwijana jest komunikacja typu M2M (ang. *Machine-to-Machine*), umożliwiająca interakcję na poziomie obiektowym urządzeń pochodzących z różnych obszarów, podsystemów infrastruktury budynkowej. Ponadto prowadzone są badania ukierunkowane na wykorzystanie typowych urządzeń elektroniki konsumenckiej, dostępnych w wyposażeniu domowym, jako elementów wspomagających funkcjonowanie osób starszych lub niepełnosprawnych [3, 4, 5].

W artykule przedstawiono analizę możliwości technicznych i funkcjonalnych oraz opracowane wytyczne w zakresie implementacji modułów Internetu Rzeczy w UEK, w celu ich zintegrowania z sieciowymi systemami automatyki budynkowej. Istotnym elementem prac badawczych było określenie funkcji sterujących i sposobu ich realizacji w UEK tak, aby zapewniły one jak największą elastyczność i interoperacyjność funkcji monitoringu i sterowania. W tym celu niezbędne było określenie sposobu reprezentacji poszczególnych punktów danych, parametrów i właściwości konfiguracyjnych, połączeń sieciowych oraz profili funkcjonalnych – które powinny definiować wymagania dotyczące sposobu przetwarzania danych, reakcji UEK na określone zdarzenia, a nawet dopuszczalnych wartości zmiennych. Kolejnym krokiem zrealizowanych prac była weryfikacja możliwości wykorzystania technologii oferowanej w ramach IoT oraz modułów zbudowanych z wykorzystaniem zestawu uniwersalnych, jednopłytkowych komputerów, do

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę możliwości technicznej realizacji oraz wyniki badań dotyczących implementacji koncepcji urządzeń elektroniki konsumenckiej (UEK), bazujących na technologii Internetu Rzeczy (IoT). W ramach prac badawczych opracowano nowoczesne urządzenie AGD, jako integralny element systemu automatyki i sterowania oraz zarządzania energią w budynku, zorientowanego na poprawę komfortu użytkowania i zwiększenie efektywności pracy UEK. Zrealizowane prace badawcze wskazują na możliwość zastosowania technologii IoT w celu zapewnienia integracji UEK z sieciowymi systemami automatyki budynkowej, tak aby umożliwiały one jak największą ich elastyczność i interoperacyjność. Artykuł wskazuje na trendy rozwoju nowoczesnych urządzeń codziennego użytku, rozbudowanych o wsparcie obsługi i komunikacji danych przez sieci protokołu IP oraz przedstawia wyniki implementacji inteligentnego czajnika w technologii IoT.

THE INTERNET OF THINGS (IOT) TECHNOLOGY IMPLEMENTATION IN CONSUMER ELECTRONICS – CASE STUDY

Abstract: In the paper authors present a technical analysis and results of implementation of the Internet of Things (IoT) modules in consumer electronics. The research is focused on white goods implementation as universal building automation and building energy management devices. To provide an interoperability of such modules in the field of improving comfort and increasing efficiency of using, authors proposed to take advantage of IoT technology. In conducted research it has been confirmed that there is a possibility of adapting IoT technology to develop modern consumer electronics devices, to improve their functionality and reducing energy consumption. This paper shows trends in the development of new white goods generation, supporting services and data communication over IP networks and presents the results of the implementation of IoT smart kettle as well.

realizacji systemu w ramach infrastruktury automatyki budynkowej. Autorzy zdecydowali się na realizację wymienionych celów na podstawie implementacji modułu inteligentnego czajnika w technologii IoT.

Przegląd dostępnych technologii i rozwiązań

Poprawa komfortu użytkowania, zwiększenie efektywności pracy oraz wzrost bezpieczeństwa użytkowników w urządzeniach elektroniki konsumenckiej są możliwe przez zastosowanie technologii Internetu Rzeczy. W ostatnich latach prowadzone są liczne prace badawczo-rozwojowe, ukierunkowane na możliwość ograniczenia i racjonalizację zużycia energii, głównie elektrycznej, przez zastosowanie tzw. „inteligentnych rozwiązań”, implementowanych w urządzeniach kategorii AGD. Naukowcy i zespoły inżynierskie prezentują zróżnicowane koncepcje umożliwiające osiągnięcie tego celu, zarówno w skali lokalnej, jak i globalnej. Istotnym aspektem redukcji zużycia energii jest obserwacja zachowań i przyzwyczajzeń użytkownika. W jej wyniku określany jest indywidualny profil takiego użytkownika, umożliwiający optymalne dostosowanie pracy urządzeń: szybkości, stabilności działania, adaptacji do różnych warunków oraz predykcji rutynowych zachowań. W efekcie możliwa jest optymalizacja zużycia energii, czasu użytkowania oraz poprawa komfortu korzystania z urządzeń codziennego użytku [6, 7, 8, 9, 10].

Jednym z interesujących rozwiązań w obszarze zwiększenia efektywności pracy urządzeń elektroniki konsumenckiej jest implementacja sieci neuronowej, zrealizowanej w oparciu o układy mikrokontrolerów. W jednym z zespołów naukowych powstał prototyp wykorzystujący mikrokontroler Arduino Uno R3, którego zadaniem jest redukcja zużycia energii przez czajnik elektryczny w biurze. Wykorzystano do tego celu algorytm Levenberga-Marquardta, który odpowiadał za proces uczenia się sieci i opracowanie profilu użytkownika. Metoda ta umożliwia analizę codziennego wykorzystania urządzenia do momentu, gdy możliwe staje się prognozowanie czasu użycia i inteligentne sterowanie czajnikiem, tak aby przewidzieć potrzeby użytkowników. W rezultacie sieć neuronowa pozwala na dokładną predykcję i kontrolę czasu pracy urządzenia oraz ilości zużywanej wody dla każdego dnia pracy. Taka metoda zapewnia również średnią oszczędność energii na poziomie ok. 50% w porównaniu do standardowego użycia czajnika. Przedstawione rozwiązanie może mieć również zastosowanie w innym sprzęcie AGD [6]. Opisane w literaturze koncepcje bazują na implementacji różnych algorytmów sztucznej inteligencji w celu sterowania przydziałami czasu pracy urządzeń AGD: Ewolucja Różnicowa (ang. *Differential Evolution*), algorytmy hybrydowe (ang. *Hybrid algorithm*) i inne. Rozwiązanie to bazuje na optymalnym wykorzystaniu źródeł odnawialnych, taryf nocnych oraz złagodzeniu dobowego obciążenia sieci lokalnej, umożliwiając zmniejszenie zużycia energii u indywidualnych odbiorców [7]. Innym podejściem jest optymalizacja procesu podgrzewania wody. Powszechnym zjawiskiem w standardowym czajniku elektrycznym jest przeregulowanie i gwałtowny wzrost charakterystyki temperaturowej. W praktyce objawia się to efektem podgrzewania wody przez kilka sekund już po osiągnięciu zakładanej temperatury ok. 100°C. W inteligentnym czajniku możliwa jest poprawa tej charakterystyki (przez jej złagodzenie) i wyeliminowanie wspomnianego przesterowania. Takie rozwiązanie zapewni ograniczenie konsumpcji

energii – nawet jeśli znikomą dla jednostkowego użytkownika, to znaczącą w skali globalnej (np. kraju) [11].

Wraz ze wzrostem popularności zastosowań technologii IoT oczekiwane jest rozwiązanie wielu problemów globalnej energetyki. W okresie ostatnich dwóch dekad nasilającym się problemem światowego systemu elektroenergetycznego jest obciążenie szczytowe, skorelowane z cyklem dziennej aktywności człowieka i wpływem zmieniających się warunków meteorologicznych. Istotnym czynnikiem, kształtującym to zjawisko, jest właśnie wykorzystanie sprzętu gospodarstwa domowego. Jednym z rozwiązań tej kwestii jest opracowanie i realizacja globalnego systemu zarządzania energią, który na podstawie analizy i predykcji zachodzących zjawisk odpowiednio sterowałby pracą nowoczesnego, inteligentnego sprzętu AGD. W tym celu opracowano różne koncepcje realizacji, wśród których można wyróżnić dwa poziomy podejścia. Pierwszy to wdrożenie centralnego systemu sterowania predykcyjnego, który podejmie decyzje o nastawach urządzeń, tak aby zredukować, złagodzić szczytowy popyt. Z kolei drugi to opracowanie w ramach mieszkań i/lub budynków harmonogramów optymalizujących czas rozpoczęcia i długość cykli pracy urządzeń, przy zachowaniu pełni komfortu użytkowania. W Stanach Zjednoczonych przeprowadzono doświadczenie na 40 domach prywatnych, polegający na implementacji termostatów MPC (ang. *Model Prediction Control* – z predykcją) oraz aparatu planowania zmniejszenia obciążenia szczytowego. W wyniku tego eksperymentu uzyskano redukcję zużycia energii na poziomie 25,8% (15,75 kWh) w ciągu 7-dniowego okresu pomiarowego, w porównaniu do tradycyjnej obsługi – sterowania manualnego [8]. Osiągnięte rezultaty mogą wskazywać, że zastosowanie takiego rozwiązania w ujęciu globalnym dla wszystkich urządzeń gospodarstwa domowego oraz realizacja całego ekosystemu CPS (ang. *Cyber Physical System*) mogłoby skutkować znaczącym zredukowaniem zużywanej energii w skali kraju, a nawet świata [9, 10]. Realizacja inteligentnej sieci elektroenergetycznej ISE (ang. *Smart Grid*), której elementami mogą stać się wspomniane rozwiązania, jest jednym z wyzwań XXI wieku [12, 13].

Opracowanie wielu nowych funkcji użytkowania, mających na celu wprowadzenie usprawnień obsługi urządzeń kategorii AGD, możliwe jest dzięki zbieraniu informacji, umożliwiających profilowanie użytkownika. Przykładowo, nowoczesny czajnik może samodzielnie oceniać sprawność elementu grzejącego na podstawie monitorowanych parametrów. Dysponując danymi o ilości wlanej wody (tym samym o jej masie), mierząc wartość jej aktualnej oraz znając docelową temperaturę (ΔT), można obliczyć wartość potrzebnej pracy i energii, niezbędnej do podgrzania wody. Porównanie wyniku obliczeń z wartością zmierzoną umożliwia oszacowanie sprawności grzałki wyrażonej w procentach. W przypadku stwierdzenia zbyt niskiej wartości sprawności informacja ta zostanie przekazana użytkownikowi. Obniżenie tej wartości może być spowodowane np. zakamienieniem elementów grzejnych czajnika bądź innymi problemami technicznymi. Zbieranie danych z urządzenia może okazać się bardzo użyteczne również dla producentów urządzeń AGD. Analiza tego typu danych dostarczy inżynierom

informacji w jaki sposób udoskonalić swoje produkty i opracowywać rozwiązania bardziej dopasowane do potrzeb użytkowników [9].

Koncepcje nowych funkcji urządzeń elektroniki konsumenckiej

Obecnie rozwijanych jest wiele koncepcji sprzyjających podniesieniu komfortu codziennego użytkownika UEK. Jedną z nich może być ich integracja i umożliwienie zdalnego sterowania za pomocą różnych urządzeń, takich jak smartfon, tablet, komputer osobisty, dotykowy interfejs inteligentnego domu – dostęp powinien być zarówno lokalny, jak i poprzez Internet czy wiadomość SMS [14, 15]. Wspomniana integracja pozwoli też na realizację nowych funkcji. Przykładowo, nowoczesny inteligentny czajnik może pełnić również rolę asystenta parzenia herbaty. Użytkownik wybiera odpowiedni rodzaj napoju za pomocą interfejsu, następnie czajnik podgrzewa wodę do optymalnej temperatury parzenia, może utrzymywać ją przez zadany czas oraz podaje instrukcje o kolejnych etapach przygotowania naparu [15]. Ciekawym pomysłem jest również asystent półki z herbatą informujący użytkownika o jej pozostałej ilości oraz proponujący zakup kończącego się rodzaju w ulubionym sklepie internetowym [16]. Dodatkowo integracja takiego czajnika z istniejącym produktem inteligentnych pojemników Neo-Smart Jar firmy Indiegogo, Inc [17], oprócz dostarczenia informacji o dostępności herbaty pozwoliłaby określić dokładne ilości dodatków do urozmaicenia przygotowanego napoju. Innym bardzo intrygującym rozwiązaniem jest integracja inteligentnego czajnika z aplikacją budzika na urządzeniu mobilnym. Dzięki takiemu rozwiązaniu czajnik wysyłałby do użytkownika z samego rana zapytanie, czy podgrzać wodę [18]. Ponadto aplikacja mogłaby dbać o odpowiednie nawodnienie organizmu człowieka czy proponować podgrzanie wody na ulubioną herbatę po powrocie z pracy. Wśród funkcji czajnika przyszłości można wskazać odradzanie użytkownikowi wypicia kolejnej kawy z uwagi na wysokie ciśnienie lub też w innym przypadku sugerowanie wypicia herbatki ziołowej, aby obniżyć poziom stresu. Takie informacje o aktualnym stanie ludzkiego ciała dostępne są za pośrednictwem np. inteligentnych zegarków (ang. *Smart Watch*), które po integracji mogą zostać zaawansowanymi czujnikami wielu parametrów. Innym pomysłem poprawiającym komfort użytkownika sprzętu AGD jest asystent gościa. W ramach domu przyszłości mógłby wykrywać przybycie gościa z pomocą zintegrowanego dzwonka do drzwi i innych czujników, wskutek czego w salonie proponować na ekranie inteligentnego telewizora (ang. *Smart TV*) dostępne rodzaje herbaty czy kawy.

Inteligentne rozwiązania w nowoczesnej kuchni mogą poprawić również komfort życia i codziennego funkcjonowania osobom chorym, starszym lub niepełnosprawnym. Wspominany wcześniej asystent parzenia herbaty mógłby oferować pomoc przy przygotowywaniu napoju osobie chorej np. na demencję czy Alzheimera. Obsługa urządzenia może zostać rozszerzona o wydawanie instrukcji w postaci poleceń głosowych [19]. W inteligentnym domu możliwa jest realizacja funkcji asystenta osoby starszej, niepełnosprawnej, który nadzoruje

jej bezpieczeństwo. Inteligentny czajnik, jako element takiej aplikacji, może dostarczać informacji na temat typowego wykorzystania. Przykładowo, gdy nie odstawiono czajnika na podstawkę w standardowym czasie uzupełniania wody, zdarzenie to może spowodować uruchomienie algorytmu sprawdzania stanu podopiecznego i w razie potrzeby szybko wezwać niezbędną pomoc [19, 20, 21]. Kolejnym ciekawym rozwiązaniem jest tryb ochrony przed dziećmi. W sytuacji, gdy dziecko zostaje samo w domu, możliwa jest zdalna obsługa nowoczesnego czajnika lub ustawienie ograniczenia maksymalnej temperatury osiągniętej podczas podgrzewania wody np. do 60°C, co znacząco podniesie bezpieczeństwo korzystania z urządzenia. Innym rozwiązaniem dbającym o zapewnienie bezpieczeństwa jest alarm w przypadku próby uruchomienia pustego czajnika, co mogłoby skutkować uszkodzeniem elementu grzejnego. Dodatkowo realizacja podświetlenia czajnika światłem o barwie zmieniającej się w zależności od etapu procesu gotowania lub temperatury również może wpłynąć na podniesienie komfortu użytkownika takiego sprzętu AGD.

Bardzo ważnym aspektem, związanym z nowoczesnymi UEK, jest zwiększanie świadomości użytkowników na temat dbania i poprawy jakości środowiska. Przykładowo, podczas używania czajnika zwykle podgrzewane jest więcej wody, niż konsument zdoła użyć. W przypadku inteligentnego czajnika, na podstawie analizy użycia i zwyczajów, użytkownik otrzyma informację o tym, ile energii traci oraz ile mógłby zaoszczędzić w skali miesiąca czy roku, zmieniając swoje przyzwyczajenia. Poza aspektami ekonomicznymi, ekologicznymi i poprawą komfortu użytkowników może zainteresować możliwość zaoszczędzenia czasu, ponieważ w ciągu roku średnio podgrzewanie wody zajmuje 33 godziny [18].

Profil funkcjonalny inteligentnego czajnika

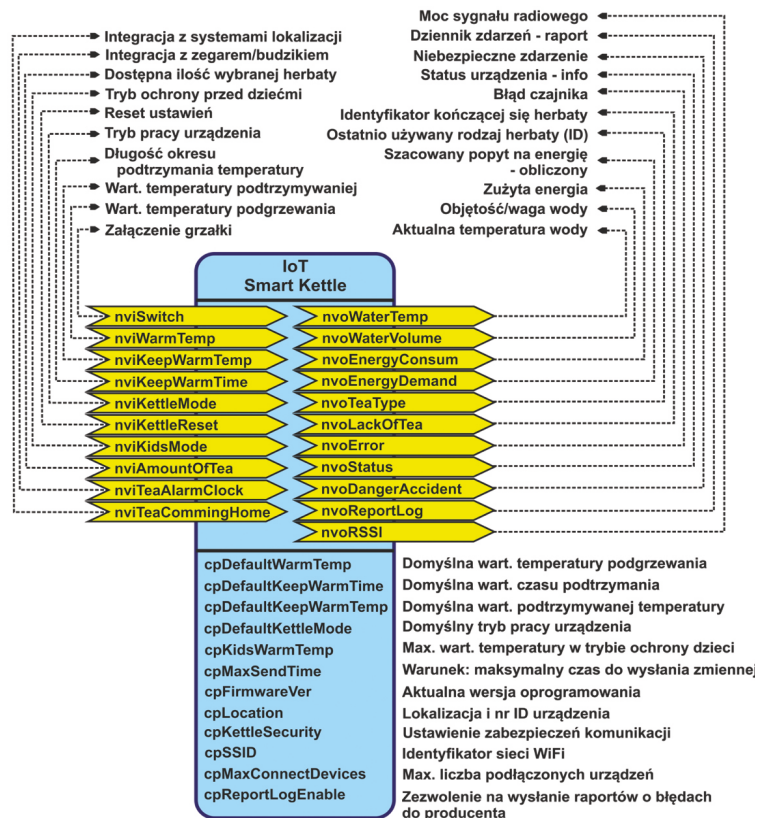
Opracowując koncepcję układu sterowania i monitorowania pracy inteligentnego czajnika, autorzy zaproponowali odpowiedni profil funkcjonalny urządzenia, wraz z blokiem funkcjonalnym, zgodnie z koncepcją i standardami organizacji interfejsu logicznego urządzeń w systemach automatyzacji i sterowania (BACS). Celem opracowania profilu funkcjonalnego jest zdefiniowanie punktów danych jako zmiennych sieciowych (ang. *Network Variables – NV*), własności konfiguracyjnych (ang. *Configuration Properties – CP*) oraz związanych z nimi zadań realizowanych w urządzeniu, jak również algorytmów przetwarzających zmienne. Na podstawie określonego profilu zaimplementowano w urządzeniu blok funkcjonalny inteligentnego czajnika, który został przedstawiony na rysunku 1. Zaproponowane zmienne sieciowe i przetwarzające je algorytmy cechują się uniwersalnością i mogą być łatwo wykorzystane w systemach BACS, bazujących na otwartych, międzynarodowych standardach automatyki budynków (np. LonWorks, KNX, BACnet). Głównym zadaniem bloku funkcjonalnego jest udostępnienie w sieci sterowania danych dotyczących monitorowanych parametrów i obsługi nowoczesnego urządzenia elektroniki konsumenckiej.

Zmienne wejściowe zawarte w bloku umożliwiają: lokalne i zdalne załączenie urządzenia (nviSwitch); ustawienie wartości

temperatury, która ma zostać osiągnięta przez czajnik (nviWarmTemp); ustawienie wartości temperatury i czasu jej podtrzymania po wcześniejszym jej podgrzaniu (nviKeepWarmTemp, nviKeepWarmTime); wybór trybu pracy czajnika – dostępne są tryby Eko, Standard i Turbo, różniące się sposobem wysterowania i generowaną mocą elementu grzejjego – (nviKettleMode); resetowanie ustawień urządzenia (nviKettleReset); aktywację trybu ochrony przed dziećmi, która może być realizowana jako blokada wartości osiągananej temperatury np. 60°C (nviKidsMode); ustawienie dostępnej ilości wybranej herbaty, integrację opracowanego urządzenia ze wspomnianymi w tekście pracy inteligentnymi pojemnikami kuchennymi np. Smart Jar (nviAmountOfTea); integrację opracowanego czajnika z urządzeniami mobilnymi, np. smartphonami, dzięki czemu możliwe jest realizowanie scenariuszy skorelowanych z aplikacją budzika lub z lokalizacją (nviTeaAlarmClock, nviTeaCommingHome).

Z kolei grupa zmiennych wyjściowych zawartych w bloku umożliwia: informowanie o aktualnej temperaturze wody i jej ilości (objętość, waga) (nvoWaterTemp, nvoWaterVolume); odczytanie aktualnej zmierzonej wartości zużycia energii przez urządzenie (nvoEnergyConsum); uzyskanie informacji dotyczących szacowanego popytu na energię, wartość ta jest obliczona na podstawie informacji o ilości wody, jej ciepłe właściwym oraz aktualnej i docelowej jej temperaturze (nvoEnergyDemand); informowanie o ostatnio używanym rodzaju herbaty (nvoTeaType); realizację funkcji asystenta parzenia naparu, np. zwracając identyfikator kończącej się herbaty – wspomniana integracja z inteligentnymi pojemnikami (nvoLackOfTea); raportowanie użytkownikowi o wystąpieniu błędu w pracy czajnika (nvoError); dostarczanie informacji o statusie urządzenia, np. tryb pracy, zakamienienie grzałki itp. (nvoStatus); realizację funkcji asystenta osoby starszej lub niepełnosprawnej (AAL – ang. *Ambient Assisted Living*), informując o wystąpieniu niebezpiecznego zdarzenia (nvoDangerAccident); odczytanie treści dziennika zdarzeń (nvoReportLog); odczytanie wartości wskaźnika mocy odbieranego sygnału radiowego (nvoRSSI).

Dodatkowo w bloku zaimplementowano własności konfiguracyjne, które umożliwiają: ustawienie domyślnej wartości temperatury podgrzewania (cpDefaultWarmTemp); ustawienie domyślnej wartości temperatury i czasu jej podtrzymania po wcześniejszym jej podgrzaniu (cpDefaultKeepWarmTemp, cpDefaultKeepWarmTime); ustawienie domyślnego trybu pracy urządzenia (cpDefaultKettleMode); ustawienie maksymalnej wartości temperatury podgrzewania w trybie ochrony przed dziećmi (cpKidsWarmTemp); określenie maksymalnego czasu propagacji zmiennych do sieci sterowania (cpMaxSendTime); wyświetlenie informacji o aktualnej wersji oprogramowania (cpFirmwareVer); udostępnienie informacji o lokalizacji i numerze ID urządzenia (cpLocation); ustawienie zabezpieczeń



Rys. 1. Opracowany blok funkcjonalny inteligentnego czajnika w technologii IoT

Źródło: opracowanie własne

komunikacji bezprzewodowej (cpKettleSecurity); wprowadzenie identyfikatora sieci WiFi, do której podłączone jest urządzenie (cpSSID); określenie maksymalnej liczby urządzeń podłączonych do czajnika (cpMaxConnectDevices); włączenie zezwolenia na automatyczne wysyłanie raportów o błędach do producenta urządzenia (cpReportLogEnable).

Przedstawione na rysunku 1 zmienne sieciowe i własności konfiguracyjne są istotnymi elementami realizowanych w urządzeniu algorytmów sterowania i przetwarzania danych. Jedną z interesujących funkcji zaimplementowanych w urządzeniu jest szacowanie popytu na energię, niezbędną do podgrzania określonej ilości wody do zadanej temperatury – jej rezultat prezentowany jest jako zmienna nvoEnergyDemand. Funkcja ta dodatkowo dostarcza informacji związanych np. z zakamienieniem elementu grzejjego. Została ona opracowana na podstawie obserwacji zachowań ciepła właściwego wody przedstawionego na rysunku 2, a wyrażonego wzorem:

$$C(T) = \frac{1}{m} \times \left(\frac{dQ}{dT} \right) \quad \left[\frac{J}{kg \times K} \right] \quad (1)$$

gdzie:

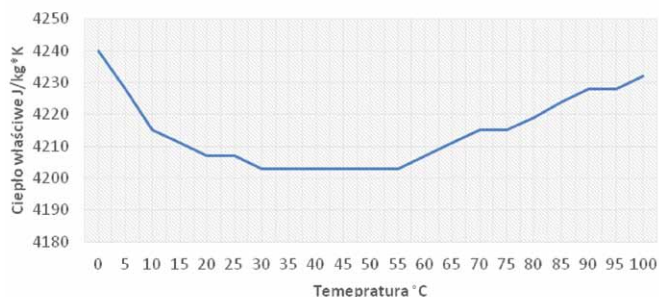
$C(T)$ – ciepło właściwe wody w funkcji temperatury,

m – masa wody w kg,

dQ – dostarczone ciepło w J ($1 J = 1 W \times s$),

dT – różnica temperatur.

Ciepło właściwe wody w funkcji temperatury



Rys. 2. Wykres funkcji ciepła właściwego wody w zależności od temperatury

Wzór nr 1 umożliwia obliczenie ilości energii potrzebnej do podgrzania do zadanej temperatury wody o zmierzonej masie i temperaturze. Jednak nie uwzględnia on strat ciepła z wody do otoczenia oraz oporu cieplnego grzałki, zmiennego wraz ze stopniem zakamienienia. Straty ciepła są zależne od oporu cieplnego materiału, z jakiego została wykonana obudowa czajnika, jak również od różnicy temperatury pomiędzy wodą w czajniku a otoczeniem. Aby pominąć pomiary temperatury na zewnątrz czajnika oraz uwzględnić niestałość oporu cieplnego ścianek czajnika, wynikającą z możliwości ich pokrycia się kamieniem, zdecydowano o realizacji procedury inicjalizacji (kalibracji wstępnej) użycia inteligentnego czujnika. Procedura ta została zrealizowana przez programową implementację wzoru nr 1, w ramach funkcji inicjalizującej. Funkcja ta jest wywoływana podczas pierwszego uruchomienia czajnika, podczas którego prowadzone są pomiary masy wody, czasu i mocy grzania, jak i temperatury oraz zużytej energii. Czajnik, rozpoznając proces pierwszego uruchomienia, informuje za pomocą opracowanego interfejsu o konieczności zagotowania określonej ilości wody. Pomiar mocy i energii, w tym również napięcia i natężenia prądu, zużywanej przez grzałkę oraz rejestracja międzyczasów co 1°C umożliwia obliczenie ciepła właściwego wody dla konkretnych warunków, w jakich jest ona podgrzewana (tj. właściwości materiałowe urządzenia i temperatura pomieszczenia). Przeprowadzenie procedury inicjalizacji czajnika pozwala, przy kolejnym jego użyciu, na obliczenie energii niezbędnej do podgrzania określonej ilości wody do zadanej temperatury. Dodatkowo, zmieniając jednostkę energii na Ws (watosekundy) oraz posiadając informację o mocy grzałki, możliwe jest określenie czasu, wyrażonego w sekundach, potrzebnego do podgrzania wody. Po przekroczeniu tego czasu grzałka zostanie wyłączona i przeprowadzane są kolejne pomiary temperatury oraz realizowany jest następujący proces decyzyjny:

- dla warunku temp. zadana = 100°C:
 - jeśli woda nie osiągnie zadanej temperatury, grzałka uruchomi się ponownie do momentu jej osiągnięcia;
- dla warunku temp. zadana <90°C:
 - jeśli zadana temperatura została osiągnięta – następuje włączenie wewnętrznego timera, dopóki wartości mierzonej

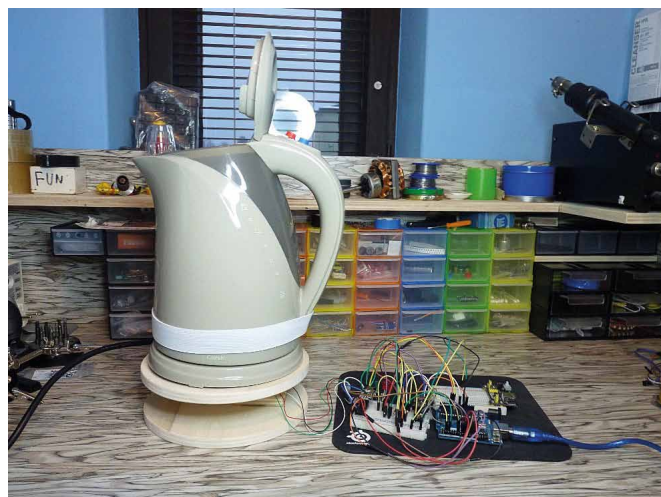
temperatury nie przestaną się zwiększać. W momencie przerwania tendencji wzrostowej temperatury następuje zatrzymanie timera i obliczenie nadmiaru zużytej energii dostarczonej do podgrzania wody;

- jeśli zadana temperatura nie została osiągnięta – następuje uruchomienie timera i dogrzanie wody do zadanej temperatury. Następnie, zatrzymanie timera i obliczenie niedostatku zużytej energii dostarczonej do podgrzania wody.

Informacja uzyskana z opisanego procesu decyzyjnego będzie wykorzystywana przy kolejnych podgrzewaniach wody. Mianowicie x watosekund obliczane zgodnie z zaimplementowanym wzorem na ciepło właściwe będzie pomniejszone lub powiększone o y watosekund zmierzonych podczas ostatniego użycia czajnika. Opisana metoda pozwala na określenie ilości ciepła oddanego z grzałki do wody i dodatkowo na zoptymalizowanie zużycia energii. Ponadto jeśli energia obliczona z zaimplementowanego wzoru będzie o co najmniej o 5% za mała, w stosunku do rzeczywistej energii niezbędnej do osiągnięcia zadanej temperatury, zostanie wyświetlony komunikat o zbyt dużym stopniu zakamienienia grzałki. W przypadku zauważenia przez użytkownika notorycznego niedogrzewania wody przez czajnik lub zmiany miejsca użytkowania czajnika przewidziano możliwość zresetowania ustawień i ponownej inicjalizacji czajnika.

Przykład implementacji wybranego urządzenia elektroniki konsumenckiej w technologii IoT

Autorzy niniejszego artykułu podjęli prace badawczo-rozwojowe dla opracowania i zrealizowania w technologii IoT modułów automatyki budynkowej, dedykowanych dla wybranego urządzenia elektroniki konsumenckiej. Do tego celu zdecydowano się wykorzystać standardowy czajnik elektryczny, dostępny w sprzedaży, z wprowadzeniem niezbędnych modyfikacji technicznych i funkcjonalnych. Analiza dostępnych obecnie na rynku urządzeń tego typu wykazuje, że konstruktorzy przyjmują filozofię usytuowania wszystkich elementów logicznych wewnątrz specjalnie zaprojektowanej podstawki urządzenia, stanowiącej element bazowy. Sam czajnik wyposażony jest



Rys. 3. Prototyp inteligentnego czajnika



Rys. 4. Podstawka ważąca z belką tensometryczną

w przyciski i wbudowane czujniki, przekazujące informację do podstawki tylko wtedy, gdy czajnik znajduje się na niej. Prototyp budowany w ramach eksperymentu jest realizowany w koncepcji odbiegającej od rozwiązań dostępnych obecnie na rynku. Zaproponowany inteligentny czajnik składa się z dwóch współpracujących ze sobą układów. Bazy, zintegrowanej z podstawką urządzenia, oraz obwodu sterującego, wbudowanego w czajnik. Na rysunku 3 przedstawiono aktualny wygląd prototypu urządzenia.

Oba wspomniane układy zostały zrealizowane z wykorzystaniem platformy Arduino, ze względu na: uniwersalność, różnorodność dostępnych płytek i prostotę implementacji. Dzięki tym cechom możliwe jest idealne dopasowanie do potrzeb konkretnego układu oraz szybkie testowanie różnych koncepcji realizacyjnych. Ponadto działanie tej platformy zostało przetestowane w ramach projektu dyplomowego jednego z autorów [22]. Na rysunku 4 widoczna jest podstawka ważąca oraz zintegrowany z nią układ pomiarowy.

Baza urządzenia odpowiada za komunikację pomiędzy czajnikiem a serwerem. Dodatkowo dostarcza aktualnej informacji o objętości wody, na podstawie pomiaru masy, opartego o belkę tensometryczną NA27. Działanie wagi zostało tak skalibrowane, aby wartość objętości wody była podawana w mililitrach. Główny układ logiczny bazuje na płytce mikrokontrolerowej Arduino Uno R3. Komunikacja z częścią serwerową aplikacji i bazą danych w chmurze możliwa jest dzięki układowi bezprzewodowemu WiFi ESP8266. Moduł ten, mimo bardzo małego rozmiaru i niskiej ceny, oferuje wiele możliwości konfiguracji i adaptacji do wybranego zastosowania. Układ jest jednak bardzo wrażliwy pod względem stabilności zasilania, ale po zapewnieniu odpowiedniego filtrowania pracuje stabilnie. W taki sposób do modułu serwera przekazywane są informacje o aktualnym stanie i pozycji czajnika oraz o objętości i temperaturze wody. Do urządzenia z kolei wysyłane są nastawy pracy wybrane przez użytkownika. Baza komunikuje się z układem sterującym za pomocą modułu bezprzewodowego NRF24L01+. Wymieniony element zapewnia bezpieczną transmisję danych



Rys. 5. Układ sterujący pracą urządzenia zainstalowany wewnątrz rączki czajnika

w paśmie 2,4 GHz, posiada zaawansowany mechanizm dbający o poprawność komunikacji, wykorzystuje sprzętową sumę kontrolną CRC. Dbą również o to, aby dane dotarły do adresata. W momencie wystąpienia błędu ponawia wysyłanie pakietu [22]. Do pomiaru energii elektrycznej wykorzystano gotowe rozwiązanie w postaci miernika SDM 120, w celu zminimalizowania problemów implementacyjnych. Komunikacja mikrokontrolera z licznikiem możliwa jest dzięki konwerterowi RS485, opartemu o układ MAX485. W sytuacji, gdy po wdrożeniu dużej liczby funkcjonalności niezbędna będzie większa szybkość obliczeniowa i ilość pamięci, rozważana jest migracja bazy na mikrokomputer Raspberry Pi.

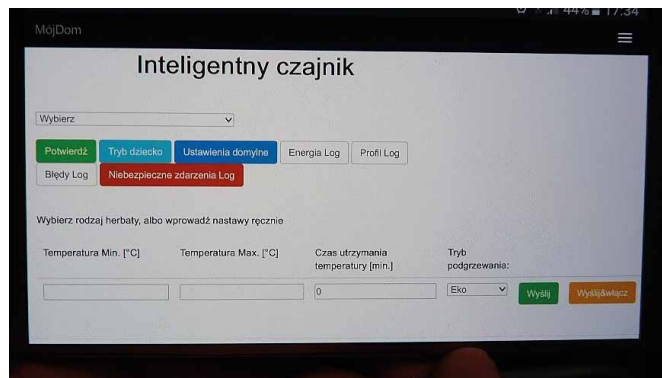
Układ sterujący, przedstawiony na rysunku 5, oparto o miniaturową płytkę Arduino Pro Mini, której rozmiar pozwolił na zainstalowanie jej wewnątrz rączki czajnika. Sterowanie grzałką odbywa się za pomocą przekaźnika optoelektronicznego SRD-05VDC-SL-C.

Dzięki temu uzyskano izolację separującą sygnał sterujący od zasilania przekaźnika, co skutkuje bezpieczeństwem pracy układu mikrokontrolerowego. Pomiar temperatury wody wewnątrz czajnika realizowany jest przez sondę pomiarową z cyfrowym czujnikiem DS18B20. Takie rozwiązanie pozwoliło na rozpoczęcie działania układu pomiarowego w zasadzie zaraz po wyjęciu z pudełka, bez konieczności jego dodatkowej kalibracji. Wewnątrz urządzenia wbudowany został również 3-osiowy akcelerometr BMA220, umożliwiający klasyfikację wykonywanych przez użytkownika czynności. Układ sterujący posiada specjalnie zaprojektowaną sekcję zasilania, korzystającą z prądu przekazywanego do urządzenia przez podstawkę oraz

potrafiącą podtrzymać zasilanie po zdjęciu z bazy. Rozwiązanie to zostało oparte o transformator TEZ 1,5/D obniżający napięcie z 230 V na 12 V, mostek diodowy i stabilizator napięciowy, obniżający poziom do 5 V. Obwód zawiera również zabezpieczenia przed prądem zwrotnym oraz kondensatory filtrujące. Obecnie trwają prace nad zapewnieniem ciągłości zasilania układu poza bazą. Zespół bierze pod uwagę zastosowanie akumulatora litowo-jonowego, ładowarki wpiętej do obwodu oraz odpowiedniej przetwornicy napięcia. Ciągłość zasilania jest niezbędna dla pozyskania pełnej informacji do profilowania użytkownika sprzętu. Klasyczny przycisk bistabilny, instalowany w czajnikach elektrycznych, został zastąpiony cyfrowym przyciskiem monostabilnym. Poza tym wprowadzono dwa dodatkowe przyciski na ręczce urządzenia w celu ułatwienia podstawowych operacji jak resetowanie aktualnych ustawień czy przełączanie między trybami pracy.

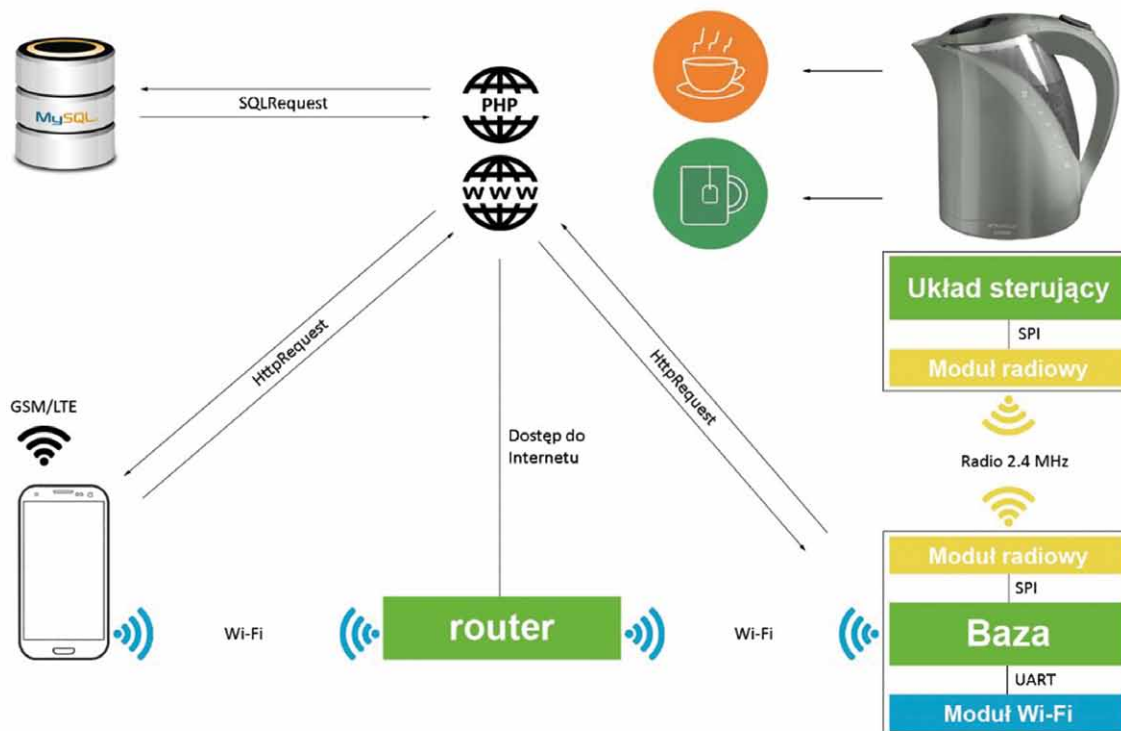
Interfejsem użytkownika dla prototypu urządzenia jest responsywna strona internetowa, widoczna na rysunku 6-opracowana w ramach pracy dyplomowej, będąca zarazem panelem administracyjnym zrealizowanego systemu sterowania i monitoringu budynku [22].

W interfejsie tym wykorzystano technologię PHP, odpowiadającą za część funkcjonalną (tzw. *back-end*) interfejsu, w którego skład wchodzi logika, funkcjonowanie serwisu oraz komunikacja z bazą danych. Dane magazynowane są w bazie danych MySQL. Za część interfejsową (tzw. *front-end*) strony odpowiada platforma programistyczna (tzw. *framework*) Bootstrap, z elementami języka JavaScript. Dzięki takiemu interfejsowi użytkownik ma możliwość sterowania urządzeniem,



Rys. 6. Wygląd interfejsu do obsługi czajnika – strona WWW

zarządzania jego ustawieniami oraz posiada wgląd do zebranych danych. Dane dotyczące zużytej energii elektrycznej, wykorzystania wody czy konkretnego rodzaju herbaty prezentowane są za pomocą wykresów. Strona internetowa umożliwia użytkownikowi wybór rodzaju napoju, a związane z nim odpowiednie nastawy są przesyłane do czajnika. Możliwa jest również zdalna obsługa urządzenia. Dodatkowo użytkownik informowany jest o sprawności czajnika oraz aktualnym poziomie wody. Za pomocą strony otrzymuje on również komunikaty o profilu wykorzystania czajnika oraz wskazówki, w jaki sposób zoptymalizować zużycie energii. Na rysunku 7 przedstawiono schematycznie zasadę funkcjonowania układu monitorowania i sterowania inteligentnego czajnika, wraz z elementami komunikacji pomiędzy poszczególnymi jego elementami.



Rys. 7. Schemat ideowy systemu monitorowania i sterowania inteligentnego czajnika

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych prac badawczych możliwe jest stwierdzenie, że zastosowanie technologii IoT w realizacji urządzeń elektroniki konsumenckiej, wraz z opracowaniem ich interfejsu logicznego, oferuje szerokie możliwości realizacji nowych funkcji sterowania. Zmienne sieciowe i własności konfiguracyjne, zaimplementowane w przedstawionym w artykule urządzeniu IoT, mogą być wykorzystane w systemach automatyki budynkowej oraz zarządzania energią w budynkach, do monitorowania i sterowania UEK. Przedstawiony przykład implementacji modułu w technologii IoT wskazuje, że realizacja urządzeń codziennego użytku, zorientowanych na poprawę komfortu ich użytkownika i zwiększenie ich efektywności pracy, jest technicznie stosunkowo łatwa do wykonania i celowa. Warto dodać, że projekt jest ciągle rozwijany. Po dopracowaniu części sprzętowej i programowej zespół przystąpi do eksperymentów, które mają potwierdzić słuszność założeń dotyczących możliwości funkcjonalnych i implementacyjnych zaproponowanych rozwiązań.

Literatura

- [1] BORGIA E.: *The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues*. „Comput. Commun”, t. 54, ss. 1–31, paź. 2014.
- [2] MORENO M., ÚBEDA B., SKARMETA A., ZAMORA M.: *How can We Tackle Energy Efficiency in IoT Based Smart Buildings?* „Sensors”, t. 14, nr 6, ss. 9582–9614, maj 2014.
- [3] AUGUSTYNIAK P., KANTOCH E.: *Turning Domestic Appliances Into a Sensor Network for Monitoring of Activities of Daily Living*. „J. Med. Imaging Heal. Informatics”, t. 5, nr 8, ss. 1662–1667, grudz. 2015.
- [4] OŻADOWICZ A.: *Internet Rzeczy w systemach automatyki budynkowej*. „Napędy i Sterowanie” 12/2014.
- [5] GRELA J., OŻADOWICZ A.: *Uniwersalne moduły technologii Internetu Rzeczy (IoT) dla systemów automatyki budynkowej i zarządzania energią w budynkach*. „Napędy i Sterowanie” 6/2016.
- [6] KRONGTRIPOP T., KIRDPIPAT P.: *Implementation of Neural Network Based on the Microcontroller for Energy Saving of Electric Kettle*. 2016.
- [7] KRISHNANAND K.R., HOANG D.C., PANDA S.K., ZHANG R.: *Optimal appliance scheduling in building operating systems for cost-effective energy management*. IECON 2014 – 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2014, ss. 5394–5399.
- [8] PEREZ K.X., BALDEA M., EDGAR T.F.: *Integrated Smart Appliance Scheduling and HVAC Control for Peak Residential Load Management*, ss. 1458–1463, 2016.
- [9] KIMURA A., NAKAE S., TERANO M., TAKENAKA T., FUKUDA K., YAMAMOTO Y.: *Smart Appliance Network as Cyber Physical Systems*, ss. 262–264, 2015.
- [10] LAI C.F., LAI Y.X., YANG L.T., CHAO H.C.: *Integration of IoT energy management system with appliance and activity recognition*. Proc. – 2012 IEEE Int. Conf. Green Comput. Commun. GreenCom 2012, Conf. Internet Things, iThings 2012 Conf. Cyber, Phys. Soc. Comput. CPSCOM 2012, ss. 66–71, 2012.
- [11] LIU C., CHEN J.: *Application of Human-simulating Intelligent Control in heating the Super-high Pressure Kettle*, nr 2, ss. 7074–7078, 2008.
- [12] BRENA R.F., HANDLIN C.W., ANGULO P.: *A smart grid electricity market with multiagents, smart appliances and combinatorial auctions* 2015 IEEE 1st Int. Smart Cities Conf. ISC2 2015, 2015.
- [13] SONG H.Y., PARK S.C., YOON Y.T.: *A design scheme of the smart appliances to minimize energy cost without reducing customer's utility*. IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet., t. 2015–Sept, ss. 0–4, 2015.
- [14] KIM J., CHOI S.-C., AHN I.-Y., SUNG N.-M., YUN J.: *From WSN towards WoT: Open API Scheme Based on oneM2M Platforms*. „Sensors”, t. 16, nr 10, s. 1645, 2016.
- [15] LLORET J., MACÍAS E., SUÁREZ A., LACUESTA R.: *Ubiquitous monitoring of electrical household appliances*. „Sensors” (Switzerland), t. 12, nr 11, ss. 15159–15191, 2012.
- [16] GROGAN A.: *Smart appliances*. „Eng. Technol.”, t. 7, nr 6, ss. 44–45, 2012.
- [17] Indiegogo Inc., „Neo-Smart Jar”.
- [18] S. A. Ltd., „iKettle”.
- [19] LI Y., ASGHAR M.Z., PULLI P.: *Visually-aided smart kitchen environment for senior citizens suffering from dementia*, ss. 584–590.
- [20] BLASCO R., MARCO Á., CASAS R., CIRUJANO D., PICKING R.: *A Smart Kitchen for Ambient Assisted Living*. „Sensors” (Basel), t. 14, nr 1, ss. 1629–1653, 2013.
- [21] CHUNG Y.-F., LIU C.-H.: *Design of a wireless sensor network platform for tele-homecare*. „Sensors” (Basel), t. 13, nr 12, ss. 17156–75, 2013.
- [22] KLUSKA M.: *System sterowania i monitoringu budynków – implementacja uniwersalnych układów mikrokomputerowych*. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, 2016.

mgr inż. Jakub Grela, dr inż. Andrzej Ożadowicz,
inż. Michał Kluska – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza;
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii
Biomedycznej;
Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania
Energii

mgr inż. Krzysztof Smok – Politechnika Świętokrzyska;
Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki;
Katedra Fizyki Budowli i Energii Odnawialnej

artykuł recenzowany

reklama