

KONCEPCJA AUTONOMICZNEGO UKŁADU DO DEZYNFEKCJI WODY

Tomasz FERLIN¹, Paweł GALIAS², Stanisław GALLA³

1. Student kierunku: Inżynieria Biomedyczna
e-mail: tomasz.ferlin@gmail.com
2. Student kierunku: Inżynieria Biomedyczna
e-mail: pawgalias@gmail.com
3. Politechnika Gdańska, Katedra Metrologii i Optoelektroniki
tel: 58 347 21 40 e-mail: galla@eti.pg.gda.pl

Streszczenie: W artykule poruszono temat pozyskania energii z nietypowych źródeł. Przedstawiono wyniki prac nad prototypem układu wykorzystującego przepływ strumienia wody jako źródło energii. Zakładano pozyskanie strumienia zarówno z naturalnych cieków wodnych jak i z domowych instalacji wodnych. W pracy sprawdzano koncepcję zastosowania odzyskanej energii do zasilania diod UV – C mających na celu zmniejszenie zagrożenia mikrobiologicznego dla ludzi i zwierząt.

Słowa kluczowe: odzyskiwanie energii, mikro - wytownice, przepływ wody.

1. WPROWADZENIE

Termin „odzyskiwanie energii” jest szerzej znany pod jego angielską nazwą „energy harvesting”. Termin ten określa szereg różnorodnych rozwiązań obejmujących zarówno zjawiska związane z przetworzeniem różnych form energii jak i jej magazynowaniem [1]. Obecnie najlepsze mikro układy odzyskujące energię charakteryzują się poziomem odzysku mocy rzędu pojedynczych mW, jednakże najpopularniejsze (i najtańsze układy) charakteryzują się zaledwie mocą rzędu setek μ W. Pobrana i zmagazynowana energia może zostać zużytkowana w różnorodny sposób np.: do zasilania układów mikrokontrolerów lub elementów sieci sensorowych. W pracy przedstawiono możliwości pozyskiwania energii z przepływu wody występującego zarówno w środowisku domowym jaki w przypadku cieków naturalnych. Zakładano, iż badany układ może być montowany w różnych punktach np.: w domowej instalacji wodnej lub na końcówkach dostarczających wodę dla zwierząt hodowlanych. Rozpatrzono również koncepcję wykorzystania pozyskanej energii do dezynfekcji wody za pomocą diod UV – C.

2. PRZYKŁADY ZNANYCH ROZWIĄZAŃ

Prowadzone na całym świecie prace pozwalają stwierdzić, że pozyskiwanie energii z różnych niekonwencjonalnych źródeł stanowi ważne zagadnienie naukowo inżynierskie. W wielu przypadkach nowe koncepcje i metody pozyskiwania tej energii powstają w oparciu o istniejące rozwiązania techniczne. Poniżej przedstawiono przykłady rozwiązań zarówno układów

dużych jak i małych mocy, które są obecnie użytkowane jak i będących dopiero w fazie badawczo rozwojowej.

2.1. Urządzenia przepływowe – istniejące rozwiązania układów dużych mocy

Układy rzędu kilku do kilkuset kilowatów są produkowane m.in. przez pochodząca z Portland (USA) firmę Lucid Energy, która stworzyła system: „Lucid Pipe Power System”. Opracowany system służący do pozyskiwania energii z przepływającego strumienia wody w dużych sieciach wodociągowych [2]. Zasada działania systemu Lucid Pipe została przedstawiona na rysunku 1 – poruszający się w rurach strumień wody wprawia w ruch turbinę, która obraca generator, dzięki któremu uzyskuje się energię. Głównym elementem systemu jest specjalnie zaprojektowana i opatentowana turbina, która według producentów w minimalny sposób zaburza przepływ strumienia wody pozwalając w ten sposób na uzyskanie czystej i taniej energii elektrycznej [2].



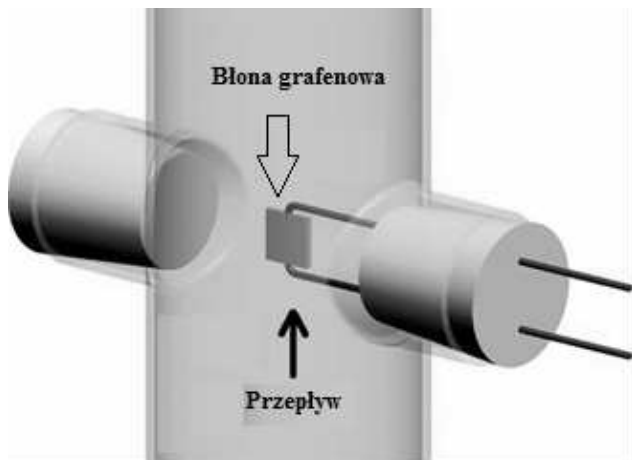
Rys.1. Widok turbiny systemu Lucide Pipe [2]

System ten umożliwia pozyskiwanie i dostarczanie energii w miejscach, gdzie może być utrudniony dostęp do tradycyjnych sieci energetycznych a istnieje sieć wodociągowa.

2.2. Urządzenia przepływowe – rozwiązania oparte o struktury grafenowe

W roku 2011 zespół naukowców z Rice University przedstawił wyniki prac nad układem odzysku energii z przepływającego strumienia wody z wykorzystaniem błony grafenowej. Do odzyskania energii wykorzystano zjawisko łączenia się jonów znajdujących się w wodzie z wolnymi ładunkami nośnikowymi znajdującymi się w grafenie. Niestety rozwiązanie to wymaga dodawania do wody

domieszki kwasu solnego w celu zwiększenia intensywności procesów zachodzących na błonie grafenowej. W trakcie testów uzyskano moce około 175 watów na metr kwadratowy błony grafenowej [3]. Na rysunku 2 przedstawiono ideę odzysku energii z zastosowaniem błon grafenowych.



Rys. 2. Układ generatora z układem błony grafenowej [3]

2.3. Urządzenia przepływowe – perlatory dekoracyjne

Obecnie na rynku są dostępne perlatory dekoracyjne LED zmieniające barwę światła płynącego strumienia wody w zależności od jej temperatury (rys. 3). Perlator jest to rodzaj sitka w kształcie pierścienia, które montuje się u ujścia strumienia wody (np. na końcu wylewki od baterii, lub na końcu słuchawki prysznicowej) w celu znacznego napowietrzenia przepływającego strumienia wody. Takie rozwiązanie umożliwia znaczne zaoszczędzenie wody [4], gdyż nakładka zwiększa optycznie strumień wody poprzez jej znaczne napowietrzenie.



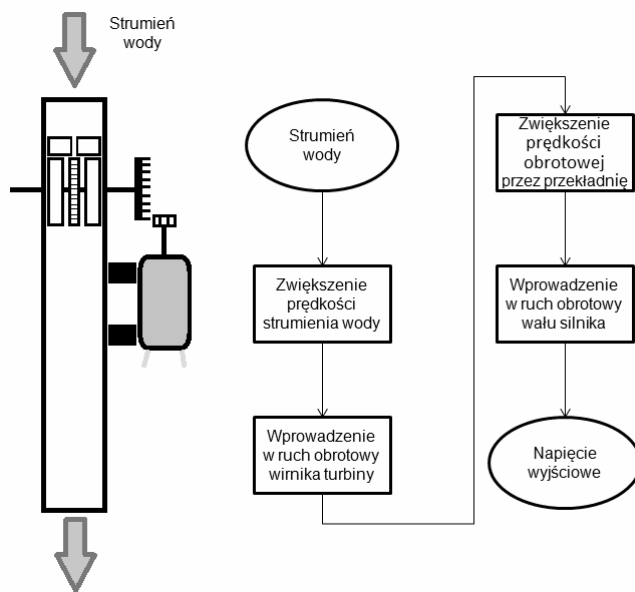
Rys. 3. Przykładowy perlator LED [4]

Specyfikacja funkcjonalna urządzenia, przedstawianego w pracy jest wzorowana na perlatorze LED. Zastosowane rozwiązanie opiera się o klasyczne połączenie turbiny i prądnicy bez jakichkolwiek układów magazynowania energii. W układach dostępnych rynkowo występują mikrokontrolery, które integrują zarówno układy sterownika LED jak i specjalizowane jednostki pomiaru temperatury.

3. KONCEPCJA I BADANIA ZREALIZOWANEGO UKŁADU ODZYSKU ENERGII

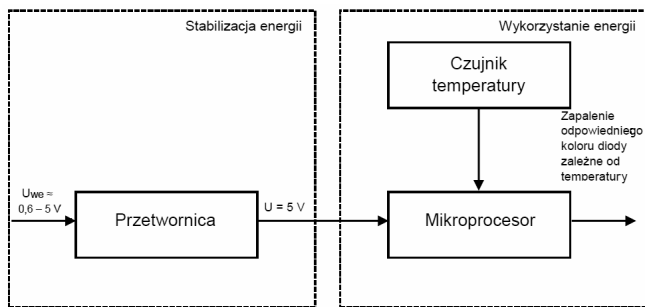
3.1. Koncepcja zrealizowanego układu

Zastosowana koncepcja układu odzysku energii wykorzystuje tradycyjne rozwiązanie polegające na zamianie energii kinetycznej przepływającego strumienia wody w energię elektryczną za pomocą turbiny. Na rysunku 4 przedstawiono koncepcję zrealizowanego układu. W proponowanym układzie strumień wody płynący rurą o średnicy $\frac{3}{4}$ " wpływa do układu zmiany przepływu, gdzie następuje zwiększenie jego prędkości. W tym przypadku wykorzystano podobne zjawisko jakie zachodzi w zwężce Venturiego, czyli znacznego wzrostu prędkości przepływu w wyniku zmniejszenia powierzchni przekroju poprzecznego rury, przez którą przepływa woda. Przyspieszony w zwężce strumień wody trafia na łopatki wirnika wprowadzającego w ruch obrotowy wał. Na drugim końcu wału zainstalowano przekładnię kątową. Spełnia ona dwa podstawowe zadania: zwiększa liczbę obrotów, oraz zapewnia zmianę kierunku osi obrotu. Dzięki takiemu zabiegowi wirnik maszyny prądu stałego jest zamontowany w osi rury [5]. W pracy nie oceniano jednakże wpływu zamontowanych urządzeń na zmniejszenie energii strumienia wody. Zakładano, iż analizę wpływu układu na strumień wody zostanie wykonana w kolejnych etapach pracy.



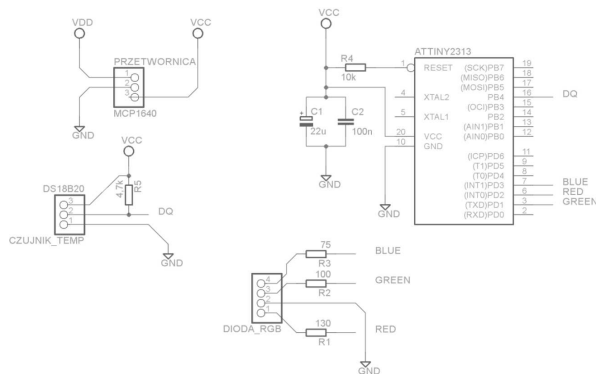
Rys. 4. Koncepcja zrealizowanego układu odzysku energii [5]

Kluczowym problemem w realizowanym układzie był dobór prądnicy w stosunku do dysponowanych środków. Po rozważeniu kilku dostępnych opcji, ostatecznie zdecydowano się na maszynę prądu stałego. Zastosowano maszynę uniwersalną znajdującą się w zestawie hobbystycznym firmy Modelcraft. Charakteryzowała się ona długością ~ 40 mm i średnicą $\sim \phi 20$ mm. Została ona zaprojektowana do pracy przy napięciach z przedziału 1,5 V – 4,5 V, przy prędkościach obrotowych od 4000 obr/min do 14000 obr/min i mocy maksymalnej nie większej niż 1 W. Na rysunku 5 przedstawiono schemat blokowy układu elektroniki systemu zbierania energii. Układ prądnicy współpracuje z układami sterowania opartymi o cztery główne komponenty: mikroprocesor, czujnik temperatury, przetwornicę oraz sygnalizacyjne diody LED.



Rys. 5. Schemat blokowy zrealizowanego układu

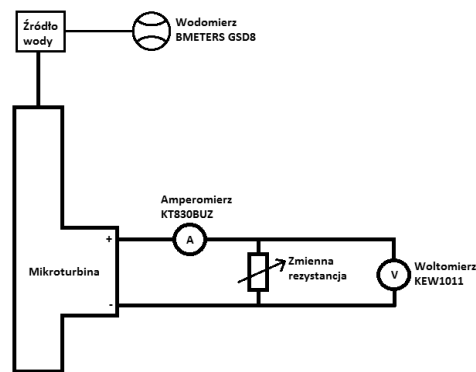
W projekcie zdecydowano się na mikroprocesor ATtiny 2313 charakteryzujący się znaczną energooszczędnością (pobór prądu, poniżej 1 mA) oraz małymi rozmiarami (obudowa typu PDIP 20). Niestety układ ten ma również stosunkowo małą pamięć flash, rzędu 2 kB [6]. W układzie wykorzystano czujnik temperatury typu DS18B20 firmy Dallas Semiconductors, skalibrowany fabrycznie na stopnie Celsjusza, oraz wykorzystujący interfejs 1 – Wire. Czujnik ten charakteryzuje się poborem prądu rzędu 1,5 mA, oraz błędem pomiaru temperatury w zakresie od -10°C do $+85^{\circ}\text{C}$, wynoszącym około $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ [5]. Podstawowym parametrem decydującym o doborze przetwornicy była jej wielkość oraz wysoka sprawność przy niskim napięciu pracy. Dla powyższych założeń zdecydowano się na układ, którego rdzeniem jest przetwornica MCP1640. Zgodnie z danymi producenta, charakteryzuje się ona sprawnością rzędu 96%, oraz zdolnością do pracy przy napięciach od 650 mV, przy zapewnieniu stabilizacji napięcia na poziomie 5 V [5]. W przypadku sygnalizacyjnych diod LED nie stawiano przed nimi żadnych wymagań, dlatego też zdecydowano się na użycie trójbarwnej diody RGB (tzn. czerwonej, zielonej i niebieskiej) ze wspólną katodą. Uzyskanie zmiany barwy świecenia diody odbywa się przez zwarcie odpowiedniej anody do potencjału wyższego. Na rysunku 6 przedstawiono schemat zrealizowanego prototypu układu.



Rys. 6. Schemat zrealizowanego układu [5]

3.2. Badania

Pomiary wykonywano miernikami KT 830BUZ i KEW1011, jako miernik przepływu wykorzystano domowy wodomierz BMETERS GSD 8, za pomocą którego wyznaczano przepływ objętościowy wody Q . Na rysunku 7 przedstawiono schemat blokowy układu pomiarowego. Podczas badań nie rozpatrywano zaburzeń w przepływie wody jakie wprowadza zainstalowanie badanego układu, badania przeprowadzono domontowując układ testowy do końcówki wylewki baterii.



Rys. 7. Schemat blokowy układu testowego

Zastosowane przyrządy pomiarowe zapewniały niepewność pomiaru na poziomie 5% dla pomiarów napięcia i prądu. W przypadku wodomierza niepewność pomiaru została oszacowana na $\sim 10\%$ [5]. Badania wykonywano przy dwóch wartościach przepływu Q , przepływie minimalnym Q_1 wprawiającym wirnik mikro turbiny w ruch, który wynosił $Q_1 = 2,5$ l/min, oraz przepływie maksymalnym Q_2 (możliwym do uzyskania w miejscu badania), który wynosił $Q_2 = 4,0$ l/min. Przy danych przepływach Q_1 i Q_2 wykonywano pomiary uzyskanych prądów w funkcji rezystancji obciążenia na zaciskach maszyny prądu stałego. Wybrane wyniki pomiarów przedstawiono w tabelicy 1.

Tabela 1. Wyniki pomiarów wydajności mikro turbiny [5]

Lp.	R (Ω)	$Q_1 = 2,5$ (l/min)	$Q_2 = 4,0$ (l/min)
		I (mA)	I (mA)
1	13,4	128,0	150,0
2	22,5	45,0	108,0
3	60,0	20,0	56,0
4	77,0	20,0	32,0
5	92,0	20,0	27,0
6	135,0	10,0	17,0
7	210,0	9,0	10,5
8	302,0	4,0	7,5
9	393,0	4,7	5,7
10	480,0	2,8	4,6
11	611,0	2,1	3,6
12	812,0	2,2	2,6

W toku prowadzonych prac oraz na podstawie przeprowadzonych badań i prób układu stwierdzono że:

- w badaniach nie uzyskano mocy znamionowej zastosowanej maszyny prądu stałego,
- układ przyspieszania wody (strumienia), układ przeniesienia nie są odpowiednio dobrane do zastosowanego systemu wirnika,
- występują problemy z uszczelnieniem układu, głównie występowały problemy z przeciekami na zastosowanym układzie przeniesienia napędu.

4. KONCEPCJA ZASILANIA DIOD UV-C PRZEZ UKŁAD MIKROTURBINY

W prowadzonej pracy rozważano wykorzystanie pozyskanej energii do zasilania diod emitujących promieniowanie z zakresu UV – C [5] na przepływający strumień wody. Teoretycznie dzięki takiemu rozwiązaniu wydostający się z układu strumień wody miałby mniej drobnoustrojów niż strumień wpływający. Obecnie stosowane rozwiązania oparte są głównie o lampy emitujące promieniowanie w zakresie UV – C.

Urządzenia takie znalazły szerokie zastosowanie zarówno w dezynfekcji wody, jak i aparatury medycznej czy powietrza. Niestety klasyczne rozwiązania charakteryzują się stosunkowo wysoką energochłonnością [7, 8, 9].

4.1. Promieniowanie UV informacje uzupełniające

Pod pojęciem promieniowania ultrafioletowego (UV) jest przyjmowany zakres promieniowania elektromagnetycznego o długości fali z zakresu pomiędzy 10 nm a 400 nm, co odpowiada zakresowi energii od 3 eV – 30 eV. Promieniowanie UV występuje poza widzialnym zakresem spektrum, mieści się ono pomiędzy światłem widzialnym a promieniowaniem rentgenowskim. W zależności od długości fali rozróżnia się trzy podstawowe typy promieniowania UV [7, 8, 9]:

- UV – A, o długości fal 320 nm – 400 nm, które stanowi 95% całego promieniowania ultrafioletowego docierającego do powierzchni Ziemi. Promieniowanie z tego zakresu powoduje wiele reakcji chemicznych w naświetlanych substancjach np.: luminescencję. Znacząco wpływa ono na pigmentację i fotostarzenie się skóry;
- UV – B, o długości fal 280 nm – 320 nm, stanowi 5% całego promieniowania ultrafioletowego docierającego do powierzchni Ziemi. Powyższy zakres promieniowania charakteryzuje się m.in. korzystnym efektem wspomaganie syntezy witaminy D3 niezbędnej w procesie przyswajania wapnia i fosforu, co jest wykorzystywane w medycynie i hodowli zwierząt.
- UV – C, o długości fal 200 nm – 280 nm. Promieniowanie z tego zakresu naturalnie prawie nie występuje na powierzchni Ziemi, ponieważ w całości jest pochłaniane przez atmosferę Ziemi. Charakteryzuje się ono bardzo silnym wpływem; na struktury biologiczne niszczy ono m.in. strukturę genetyczną wegetatywnych form bakterii poprzez zaburzenia w procesie replikacji DNA. Maksimum wpływu na procesy biologiczne zachodzi dla promieniowania o długości fali około 270 nm.

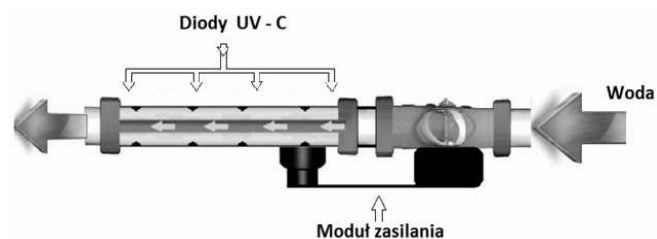
W szczególności promieniowanie z zakresu UV – C znalazło szerokie zastosowanie w różnorodnych aplikacjach dezynfekujących np. w technice uzdatniania wody, dezynfekcji wyrobów spożywczych, czy wspomaganie dezynfekcji powierzchni. Uzyskiwana sprawność tej metody zależy jednakże od wielu różnorodnych czynników. Do najważniejszych z nich zaliczamy: czas naświetlania, natężenie promieniowania UV, odległości od źródła promieniowania, rodzaj i pole powierzchni podanej oddziaływaniu promieniowania. Powyższe czynniki znalazły odzwierciedlenie w pojęciu dawki promieniowania D . Przez pojęcie dawki D przyjmuje się:

$$D = E \cdot t \quad (1)$$

gdzie: E – natężenie promieniowania w mW/cm^2 ,
 t – czas ekspozycji w s.

Na podstawie literatury [7, 8, 9] można stwierdzić iż w celu uzyskania efektu dezynfekcji potrzebna jest dawka promieniowania D na poziomie co najmniej $25 \text{ mJ}/\text{cm}^2$. Wspomaganie dezynfekcji w warunkach domowych może budzić kontrowersje, gdyż sieci wodne wykorzystywane w warunkach krajowych (Polski) są z reguły nie zagrożone mikrobiologicznie. Jednakże, w niektórych przypadkach wymagana jest zwiększona pewność jakości wody (np.:

instalacje w szpitalach). Z powodu deficytu wody na wsi bardzo często zewnętrzne poidła (zbiorniki) wody dla zwierząt są zasilane z naturalnych cieków wodnych w których jakość wody jest bardzo zróżnicowana. Dlatego też autorzy proponują główne wykorzystanie układu w zewnętrznych poidłach dla zwierząt hodowlanych., Ponieważ w takich przypadkach może dochodzić do skażenia mikrobiologicznego wody, skutkującego w niektórych przypadkach koniecznością interwencji weterynaryjnej, co jest niezwykle kosztowne dla hodowcy. Na rysunku 8 przedstawiono koncepcję układu wspomagającego dezynfekcję wody, wykorzystującego matrycę diod UV – C, pracujących w rurze.



Rys. 8. Koncepcja układu wspomagającego dezynfekcji wody

4.2. Koncepcja zastosowania diod z zakresu UV - C

W pracy ograniczono się jedynie do sprawdzenia, czy proponowane rozwiązanie jest możliwe do realizacji pod względem energetycznym przy zastosowaniu dostępnych na rynku diod LED UV – C [5]. Na podstawie danych katalogowych stwierdzono, iż minimalne napięcie zasilania dla tego typu diod wynosi 4,8 V. Wynika stąd, że dla rozpatrywanego układu nie jest możliwe bezpośrednie zasilanie diod UV – C, dlatego konieczne jest zastosowanie dodatkowej przetwornicy. W przypadku jej zastosowania należy założyć, że przetwornica musi charakteryzować się niskim napięciem pracy (konwersji) oraz wysoką sprawnością przetwarzania η . Poniżej przedstawiono wyniki dla przyjętej sprawności przetwarzania całego układu na poziomie $\eta = 80\%$. Dla tak przyjętego założenia sprawdzono czy jest możliwe uzyskanie odpowiednich prądów w rozpatrywanym układzie. Wyniki przyrównano do maksymalnych prądów, jakie mogą płynąć przez każdą z diod. Do obliczeń wykorzystano wzór (2):

$$I_{out} = \frac{U_{in} \cdot I_{in}}{U_{out} \cdot \eta} \quad (2)$$

gdzie: U_{in} – napięcie wejściowe na przetwornicy,
 I_{in} – prąd na wejściu przetwornicy,
 U_{out} – napięcie wyjściowe potrzebne do pracy diod,
 η – założona sprawność (80%)

Przyjęto, iż teoretyczne napięcia U_{min} i U_{max} , do których przetwornica powinna podwyższać napięcie wejściowe diod UV – C odpowiadają minimalnemu oraz maksymalnemu napięciu pracy każdej z diod. Wyniki obliczeń dla rozpatrywanych diod UV – C przedstawione zostały w tabelicy 2 [5]. Przedstawione w tabeli 2 wyniki wskazują, iż dla przyjętej sprawności na poziomie 80% możliwe byłoby zasilanie każdej z wymienionych diod UV – C. Należy tu zauważyć, iż wprowadzane obecnie na rynek przetwornice DC/DC bardziej renomowanych producentów charakteryzują się sprawnościami rzędu powyżej 95%.

Tablica 2. Sprawdzenie teoretyczne dysponowanych prądów dla diod UV – C [5]

Lp	Typ diody	Parametry diod			Prądy (mA)	
		U _{min} (V)	U _{max} (V)	I _{max} (mA)	I _{out} dla U _{min}	I _{out} dla U _{max}
1	JH-UV280	4,8	7,0	20,0	47,7	32,7
2	HS-UV280	6,8	7,05	25,0	33,6	30,5
3	HS-UV265	5,0	7,5	20,0	45,7	30,5
4	MY-UV265NM	7,0	8,5	20,0	32,7	26,9
5	YS-UV265-5050	5,5	6,8	20,0	41,6	33,6
6	EL-XW06DUV265	5,0	8,0	20,0	45,7	28,7
7	E265F - UV-LED	7,5	8,5	20,0	30,5	26,9

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Doświadczenia uzyskane na podstawie budowy prostego prototypu układu wskazują, iż możliwe jest skonstruowanie układu konwersji energii przepływu wody na energię elektryczną, która może być skonsumowana do poprawy jakości wody wyjściowej poprzez zastosowanie diod UV – C do ochrony bakteriologicznej. Uzyskane wyniki wskazują na możliwości dalszych prac nad powyższą koncepcją odzysku energii głównie w kierunku optymalizacji układu prądnicy (zabudowania jej w układzie o przekroju kołowym w rurce prowadzącej, aby uniknąć problemów z uszczelnieniem wyprowadzeń wału turbiny) oraz możliwością poprawy pracy układu turbiny (optymalizacja przepływu). Zdaniem autorów wydaje się konieczne, także przeprowadzenie badań wpływu całego układu zamontowanego w instalacji na przepływ i jakość wody (wymaga to współpracy z jednostkami pracującymi nad zagadnieniami biologicznej ochrony wody). Dodatkowo w przyszłych projektach należy zastanowić się nad wykorzystaniem w układzie wysoko wydajnych przetwornic DC/DC charakteryzujących się sprawnością ponad 95%. W szczególności należy zauważyć, iż zastosowanie koncepcji powyższego układu w elementach stosowanych w układach autonomicznych poidel dla

zwierząt może poprawiać ochronę mikrobiologiczną dostarczanej wody jak również pozyskana energia może być zużytkowana do zasilania innych układów elektronicznych stosowanych w hodowli zwierząt.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Bickerstaffe J.: Energy Harvesting, 2011, <http://www.sagentia.com/~media/Sagentia/Resource%20Library%20Files/White%20Papers/Energy%20harvesting.ashx> (dostęp z sieci: 25.10.2014r.).
2. Lucid Energy, <http://www.lucidenergy.com/> (dostęp z sieci: 28.10.2014r.).
3. Energy Harvesting from Water Flow over Graphene, <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nl2011559> (dostęp z sieci: 28.10.2014r.).
4. Wikipedia: Perlator, <http://pl.wikipedia.org/wiki/Perlator> (dostęp z sieci: 28.10.2014r.).
5. Ferlin T., Galias P.: Badania nad opracowaniem układów odzysku energii w zastosowaniach domowych, Projekt dyplomowy inżynierski WETiI 2014 r.
6. ATtiny2313/V Datasheet, <http://www.atmel.com/images/doc2543.pdf> (dostęp z sieci 26.11.14r.), s. 181-189
7. Sobczak J., Marek P., Chmielowski A., Rakowski A.; Efektywność działania promieniowania UV – C w urządzeniach do eliminacji skażeń bakteriologicznych z powierzchni skorup jaj, Problemy Inżynierii Rolniczej nr 1/2011, (dostęp z sieci 29.07.15r), s. 143 – 155
8. Balcerzak W.; Uzdatnianie wód kopalnianych zawierających metale ciężkie, JCEEA, t. XXXI, z. 61 (4/14), październik-grudzień 2014, (dostęp z sieci 29.07.15r), s. 5-20
9. Zamajski R., Zastosowanie technik UV do dezynfekcji wody, Ochrona środowiska 1995 (dostęp z sieci 29.07.15r)

CONCEPT OF AUTONOMIC WATER DISINFECTION UNIT

The paper presents the results of work on the prototype of the circuit for harvesting energy from not typical source and presents the concept of its use. The source of energy for proposed solution is a flow of water. It was assumed that the water flow in domestic water installation and natural waterways could be used. In addition the proposition of acquired energy application was proposed tested the possibility to use the energy to power a UV – C LED. Emitted UV – C light could be used to reduce microbiological contamination of water. The system has the ability to be used mainly on farms using the outer waterway as a water source or optionally could be installed in high quality requirements water distribution networks.

Keywords: energy obtaining, energy harvesting, micro - generators, the water flow.

