

**WARUNKI EFEKTYWNOŚCI FINANSOWEJ
INDYWIDUALNYCH SYSTEMÓW
ZAGOSPODAROWANIA WÓD OPADOWYCH**

Sebastian Kujawiak, Jerzy Bykowski, Robert Mazur, Klaudia
Ziemblińska, Jędrzej Nyćkowiak

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Abstrakt. W pracy przeprowadzono analizę technicznych i ekonomicznych aspektów budowy i eksploatacji trzech wariantów instalacji do zagospodarowania wód opadowych, w warunkach klimatycznych centralnej Wielkopolski. Oszacowano ilości wód opadowych, jakie można pozyskać w nieruchomościach zlokalizowanych w gminie Tarnowo Podgórne, zróżnicowanych pod względem powierzchni dachu, na tle normatywnego zużycia wody przez czteroosobowe gospodarstwo domowe. Stwierdzono, że w analizowanych warunkach, gdy dachy mają małą (80 m^2), a nawet średnią powierzchnię (135 m^2), nie jest możliwe uzyskanie odpowiedniej ilości wody z opadów do pełnego zaspokojenia pozakonsumpcyjnych potrzeb gospodarczych, w latach średnich pod względem rocznej sumy opadów atmosferycznych. Przy obecnych kosztach instalacji w Polsce efektywny pod względem finansowym okazał się najprostszy wariant systemu, który umożliwia wykorzystanie wody jedynie do celów ogrodowych. Zwiększenie efektywności stosowania urządzeń będzie możliwe w przypadku wzrostu cen za doprowadzenie wody i odbiór ścieków stosowanych przez przedsiębiorstwa komunalne, względnie w przypadku zmian warunków finansowania takich zakupów, np. poprzez dopłaty lub preferencyjne oprocentowania kredytów na ich zakup.

Słowa kluczowe: woda opadowa, indywidualne systemy zagospodarowania wody opadowej, efektywność finansowa inwestycji

WSTĘP

Możliwości zagospodarowania wód opadowych znane są ludzkości od wielu wieków, a już około 3000 lat p.n.e. w Jordanii powstały pierwsze zaawansowane systemy gromadzenia wody deszczowej [Jones i Hunt 2010]. Pierwotne podejście zagospodarowania wód opadowych zakładało traktowanie ich jako zagrożenie, dlatego były one zbierane i odprowadzane do cieków i wód stojących. W ostatnich latach pojawił się jednak nowy problem, bowiem wraz ze wzrostem urbanizacji miast dynamicznie zwiększają się powierzchnie mało- lub nieprzepuszczalne (powierzchnie dachowe, drogi, place, chodniki), co powoduje powstawanie dużej, możliwej do zagospodarowania, ilości wody po opadach, bezpośrednio w miejscu ich powstania [Królikowska i Królikowski 2012].

W wielu krajach dobrze przemyślane gospodarowanie wodami, w tym opadowymi, odgrywa kluczową rolę w zwiększaniu bezpieczeństwa związanego z wodą i środowiskiem przyrodniczym. Przykładowo w Belgii istnieje obowiązek posiadania systemu do gromadzenia wody deszczowej w nowo wybudowanych budynkach o powierzchni dachu powyżej 100 m². W USA taki obowiązek został nałożony na nowe budynki w Tuscon (Arizona) oraz Santa Fe County (New Mexico). Często też inwestycje do zagospodarowania wody deszczowej są wspierane przez władze poprzez zwolnienia od podatku, np. Santa Antonio w Teksasie [Domenach i Sauri 2011].

W ostatnich latach, również w Polsce, pojawiły się na rynku profesjonalne instalacje do wykorzystania wód opadowych w indywidualnych gospodarstwach domowych, na co istotny wpływ miały też ciągle rosnące ceny wody wodociągowej i uchwalanie dodatkowych opłat za odprowadzenie wód opadowych i roztopowych do sieci kanalizacyjnej. W Polsce ciągle mało rozpoznany pozostaje jednak problem finansowej efektywności stosowania takich urządzeń, szczególnie w aspekcie ilości wody możliwej do pozyskania do celów gospodarczych.

CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy była ocena warunków finansowej efektywności zastosowania trzech wariantów technicznych instalacji do wykorzystania wody opadowej w Polsce, na przykładzie gminy Tarnowo Podgórznej. W pracy analizowano ilości wody, jakie można pozyskać z nieruchomości w trzech opcjach powierzchni dachów, na tle potrzeb normatywnych statystycznej czteroosobowej rodziny. Ilość wody możliwej do pozyskania analizowano przy 10-, 25- i 50-procentowym prawdopodobieństwie wystąpienia sumy rocznych opadów łącznie z niższymi, co odpowiada prawdopodobieństwu ich wystąpienia raz na 10 lat, raz na cztery lata i raz na dwa lata (opad średni). Analizy prowadzono dla wielolecia 1960-2008. Obliczeniowe powierzchnie dachów (80, 135 i 185 m²) przyjęto na podstawie szczegółowej analizy wszystkich nieruchomości zlokalizowanych na terenie gminy Tarnowo Podgórzne.

Koszty urządzeń oraz montażu instalacji do wykorzystania wody opadowej dla trzech wariantów eksploatacji (I – instalacja do toalety, pralki i celów ogrodowych, II – instalacja do toalety i celów ogrodowych, III – instalacja tylko do celów ogrodowych) przyjęto na podstawie analizy rynku, na poziomie cen i stawek z IV kwartału 2013 roku.

Każdy z wariantów instalacji różnił się możliwościami zastosowania, przy czym założono, że w okresie niskich temperatur – od grudnia do lutego, urządzenia nie będą pracować, a woda będzie pochodzić z sieci wodociągowej. Szczegółową ich charakterystykę techniczną można znaleźć przykładowo w pracy Królikowskiej i Królikowskiego [2012].

Roczne przychody z inwestycji obliczono jako iloczyn ilości wody (m^3) możliwej do pozyskania z powierzchni dachowych (80, 135 i $185 m^2$) przy założonych prawdopodobieństwach (10, 25 i 50%) wystąpienia opadów łącznie z niższymi i jednostkowego zysku ($zł/m^3$) ze stosowania urządzeń. Przyjęto najkorzystniejszy z punktu widzenia inwestora sposób kalkulacji zysku jako sumę jednostkowego kosztu wody ogrodowej ($4,16 zł/m^3$) i oszczędności z tytułu uniknięcia opłaty za odprowadzenie wód opadowych i roztopowych do sieci ($4,50 zł/m^3$), co stanowiło razem $8,66 zł/m^3$ pozyskanej wody opadowej. Obliczenia kosztów i korzyści wykonano zgodnie z zaleceniami [Directorate... 2008].

Do oceny efektywności finansowej inwestycji zastosowano wskaźnik średniego rocznego kosztu jednostkowego (W) oraz wartości zaktualizowanej netto (NPV), których metodykę kalkulacji przedstawiono m. in. w pracy Rogowskiego [2008].

Wskaźnik średniego rocznego kosztu jednostkowego W [$zł/m^3$] obliczono według formuły:

$$W = \frac{I(r+s)+K}{E}$$

gdzie:

- I – nakłady inwestycyjne (zł),
- r – stopa oprocentowania,
- s – stopa amortyzacji,
- K – średni roczny koszty eksploatacji (zł),
- E – efekt (w pracy objętość pozyskanej wody w m^3).

Wartość zaktualizowaną netto NPV (zł) obliczono na podstawie formuły:

$$NPV = -N/(1+k)^0 + [(P-K)/(1+k)^1 + (P-K)/(1+k)^2 + \dots + (P-K)/(1+k)^n]$$

gdzie:

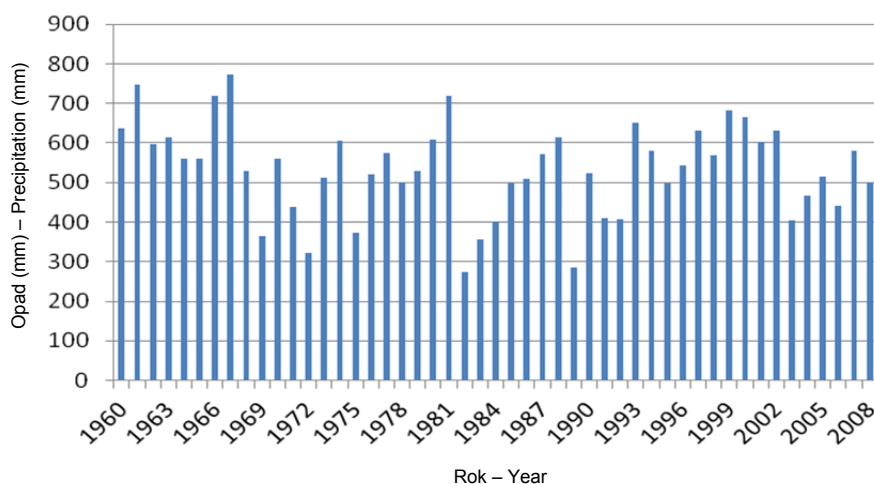
- I – nakłady inwestycyjne (zł),
- P – średni roczny przychód finansowy (zł),
- K – średni roczny koszty eksploatacji (zł),
- k – stopa dyskontowa,
- n – przyjęty okres eksploatacji technicznej urządzeń (lata).

Zakładając, że środki własne należą do inwestora, przyjęto stopę oprocentowania (r) i stopę dyskontową (k) w równej wielkości 5%, dla wolnej od ryzyka lokaty kapitałowej, na podstawie danych Polskiego Portalu Finansowego z IV kwartału 2013 roku. Stopę amortyzacji (s) do obliczeń przyjęto w wysokości 3%, dla 33 lat okresu eksploatacji urządzeń, z przedziału 25-50 lat normatywnej trwałości instalacji wodociągowych przewidzianej w opracowaniu pt. Podejście kosztowe... [2012].

WYNIKI

Jednym z warunków oceny efektywności funkcjonowania instalacji do wykorzystania wody opadowej w indywidualnej nieruchomości powinno być sprawdzenie ilości wody dyspozycyjnej, która jest pochodną wielkości opadów występujących na danym terenie i powierzchni dachowej, z której zbierana jest woda.

Analizowana gmina Tarnowo Podgórne jest zlokalizowana w zachodniej Polsce i przylega od zachodu do aglomeracji miejskiej – Poznania. Jest jedną z największych gmin w tym regionie, którą zamieszkuje około 200 000 mieszkańców, co daje średnią gęstość zaludnienia 175 mieszkańców/km² (dane na dzień 31.12.2010 roku). Położona w centralnej części województwa wielkopolskiego gmina Tarnowo Podgórne znajduje się po wpływie oceanicznych mas powietrza, co wpływa na łagodność umiarkowanego klimatu [Woś 1999]. Jak wynika z analizy danych z wielolecia 1960-2008 ze stacji meteorologicznej Poznań-Ławica, zlokalizowanej 10 km od centrum gminy, średnia suma opadów dla tego okresu wyniosła 547 mm (rys. 1), a średnia roczna temperatura na tym obszarze wynosiła ok. +8,2°C. W analizowanym okresie najniższą sumę opadów (275 mm) odnotowano w 1982 roku, a największą (772 mm) w 1967 roku.



Rys. 1. Roczne sumy opadów (mm) w latach 1960-2009 dla stacji Poznań-Ławica

Fig. 1. Annual precipitation totals (mm) in the period 1960-2009 recorded in the station Poznań-Ławica

Na podstawie danych meteorologicznych wyznaczono sumy rocznych opadów, zakładając prawdopodobieństwa 10, 25 i 50% wystąpienia łącznie z niższymi, które dla gminy Tarnowo Podgórne wyniosły odpowiednio 390 mm, 480 mm i 547 mm. W pracy przeprowadzono również analizę powierzchni dachów wszystkich nieruchomości zlokalizowanych na terenie gminy pod kątem potencjalnych możliwości przechwytywania wody opadowej. Ustalono, że średnia powierzchnia dachów małych budynków mieszkalnych wynosi 80 m², średnia powierzchnia dachów budynków mieszkalnych dla całej gminy wynosi 135 m², a średnią powierzchnię dachów dużych nieruchomości oszaco-

wano na 185 m². Na ich podstawie obliczono dyspozycyjne ilości wody, jakie można uzyskać w okresie rocznym.

Jak wynika z tabeli 1, łączna ilość wody opadowej, jaką można pozyskać rocznie z powierzchni dachów, jest istotnie zróżnicowana i wynosi od 28 m³, w przypadku dachów o powierzchni 80 m² z prawdopodobieństwem opadów raz na 10 lat (p = 10%) łącznie z niższymi, do 91 m³ wody, dla dużych nieruchomości (powierzchnia dachu 185 m²) i w przypadku wystąpienia roku średniego (p = 50%) pod względem sumy opadów atmosferycznych. Dla obliczonej dla gminy Tarnowo Podgórne średniej powierzchni dachowej 135 m², ilość wody możliwej do pozyskania w ciągu roku wynosiła 47 m³, 58 m³ i 66 m³, z prawdopodobieństwem wystąpienia sumy opadów raz na 10 lat, raz na 4 lata i opadu średniego, łącznie z niższymi.

Tabela 1. Roczna dyspozycyjna objętość wody możliwa do uzyskania z dachów o różnej powierzchni i z różnym prawdopodobieństwem (p) wystąpienia rocznej sumy opadów w warunkach gminy Tarnowo Podgórne

Table 1. Annual volume of water available to collect from the roofs of various sizes and at various probability (p) of annual totals precipitation in conditions of Tarnowo Podgórne Municipality

| Prawdopodobieństwo p (%) opadu łącznie z niższymi Probability p (%) of precipitation including lower | Powierzchnia dachu (m ²) Roof area (m ²) | | |
|---|---|-----|-----------|
| | 80 | 135 | 185 |
| 50 | 39 | 66 | 91 |
| 25 | 35 | 58 | 80 |
| 10 | 28 | 47 | 65 |

Na podstawie powyższych wyników i ich porównania z danymi zawartymi w tabeli 2, w której zestawiono zapotrzebowanie na wodę wynikające z norm zużycia dla czteroosobowego gospodarstwa domowego, można stwierdzić, że w zasadzie, w przypadku małych nieruchomości o powierzchni dachu 80 m² i analizowanych prawdopodobieństwach wystąpienia opadu rocznego nie ma możliwości pełnego wykorzystania badanych wariantów instalacji w Wielkopolsce.

W przypadku średniej dla gminy powierzchni dachu oszacowanej na 135 m² możliwe jest pozyskanie wody aby pokryć pełne zapotrzebowanie do celów nawadniania ogrodu. W przypadku nieruchomości dużych (średnio 185 m² powierzchni dachu) możliwe jest pełne zaspokojenie pracy instalacji w wariantcie II, obejmującym wykorzystanie wody do celów ogrodowych i do toalety, tylko w przypadku wystąpienia średniej sumy opadów. W pozostałych przypadkach pozyskane ilości wody z opadów nie gwarantują zaspokojenia potrzeb mieszkańców wynikających z przyjęcia norm dla użycia instalacji w pełnym zakresie możliwości stosowania (wariant I).

W tabeli 3 zestawiono wyniki obliczeń potencjalnych rocznych korzyści z wykorzystania wody do celów ogrodowych z powierzchni dachów, gdy założono prawdopodobieństwo wystąpienia opadów. Dla przyjętych parametrów obliczeń jego wartość może rocznie wynosić od 242 zł – w przypadku małych dachów o powierzchni 80 m² i z prawdopodobieństwem wystąpienia opadów raz na 10 lat, do 788 zł – w przypadku dachu o powierzchni 185 m² i średnim roku pod względem sumy opadów atmosferycznych.

Tabela 2. Wartości normatywne potrzeb i sumaryczne roczne zapotrzebowanie na wodę dla mieszkańców gdy jest eksploatowany wybrany wariant instalacji wykorzystania wód opadowych

Table 2. Annual demand for water by the family residents during the operation of the selected household collecting system

| Sposób wykorzystania instalacji Use of installation | Normy zużycia i zapotrzebowanie na wodę do pełnego wykorzystania wariantu instalacji Standards consumption and the demand for water to make full use of installation variant | | |
|---|---|-----|-----|
| | I | II | III |
| Wykorzystanie w domu Usage at home | litr/mieszkańca/dobę – liter/capita/day | | |
| toaleta – toilet | 40 | 40 | – |
| pralka – washing machine | 10 | – | – |
| umywalka – sink | 2 | – | – |
| Wykorzystanie w ogrodzie Use in the garden | litr/m ² – liter/m ² | | |
| ogród – garden 100 m ² | 250 | 250 | 250 |
| Suma rocznego zapotrzebowania na wodę dla gospodarstwa domowego (m ³) Sum of the annual demand for water for domestic purposes (m ³) | 103 | 90 | 46 |

Tabela 3. Średni roczny zysk (zł) oraz wskaźniki oceny efektywności ekonomicznej analizowanych wariantów instalacji do wykorzystania wody deszczowej z różnym prawdopodobieństwem (p) wystąpienia sumy opadów i różnej powierzchni dachu w warunkach gminy Tarnowo Podgórne (poziom cen z IV kwartału 2013 roku)

Table 3. Average annual benefits (zł) and indicators of economic efficiency of analysed variants for the installation of rainwater utilization system at various probability (p) of annual totals precipitation in conditions of Tarnowo Podgórne district

| Wskaźnik Indicator | Prawdopodobieństwo p (%) opadu łącznie z niższymi Probability p (%) of precipitation including lower | Wariant instalacji dla powierzchni dachu (m ²) Variant of roof area installations (m ²) | | | | | | | | |
|--|---|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | I | | | II | | | III | | |
| | | 80 | 135 | 185 | 80 | 135 | 185 | 80 | 135 | 185 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Zysk w skali roku (zł) Profit per year (zł) | 50 | 338 | 571 | 788 | 338 | 571 | 788 | 338 | 571 | 788 |
| | 25 | 303 | 502 | 693 | 303 | 502 | 693 | 303 | 502 | 693 |
| | 10 | 242 | 407 | 563 | 242 | 407 | 563 | 242 | 407 | 563 |

Tabela 3 – cd. / Table 3 – cont.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--|----|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|--------------|
| Średni roczny koszt jednostkowy W (zł/m ³) | 50 | 28,50 | 18,78 | 13,62 | 27,52 | 16,84 | 13,62 | 13,81 | 9,72 | 7,05 |
| Average annual unit cost W (zł/m ³) | 25 | 31,76 | 21,37 | 15,49 | 30,66 | 19,16 | 15,49 | 15,39 | 11,05 | 8,02 |
| Wartość zaktualizowana netto (zł) | 10 | 39,70 | 26,37 | 19,07 | 38,33 | 23,65 | 19,07 | 19,24 | 13,64 | 9,86 |
| Net present value NPV (zł) | 50 | -8 458 | -6 355 | -2 883 | -8 005 | -4 756 | -2 883 | -1 326 | 1 123 | 4 596 |
| | 25 | -9 045 | -7 460 | -4 403 | -8 565 | -5 861 | -4 403 | -1 886 | 19 | 3 075 |
| | 10 | -10 022 | -8 980 | -6 483 | -9 541 | -7 381 | -6 483 | -2 862 | -1 500 | 995 |

Przyjmując, na podstawie badań rynkowych, koszty instalacji (jednostkowa amortyzacja) obliczono, że średni jednostkowy koszt pozyskania wody był wysoki i wynosił 7,05-39,70 zł za m³ (tab. 3). W zasadzie koszt ten był niższy od kosztów doprowadzenia wody i odprowadzenia ścieków z firmy komunalnej (8,66 zł/m³) tylko w przypadku dużego dachu i opadzie o prawdopodobieństwie wystąpienia nie niższym niż 25% i tylko dla najtańszej instalacji do celów nawadniania części ogrodowej. Analiza opłacalności inwestycji wykonana na podstawie obliczenia wartości zaktualizowanej netto (NPV) wykazała ponadto, że gdy okres eksploatacji urządzeń wynosi 33 lata, tylko dla wariantu III – najtańszego (instalacja do celów ogrodowych), możliwe jest uzyskanie nadwyżki finansowej tylko dla dachu dużego (185 m²) i dachu średniego (135 m²), ale już tylko dla opadów o prawdopodobieństwie wystąpienia nie mniejszym niż raz na cztery lata, łącznie z niższymi.

WNIOSKI

1. W Polsce dostępna jest do nabycia szeroka gama urządzeń do wykorzystania wody opadowej do celów gospodarczych w indywidualnych nieruchomościach, zróżnicowanych zarówno pod względem ceny, jak i możliwości zastosowania (woda opadowa do prania, toalet czy celów ogrodniczych).

2. Podstawowym warunkiem efektywnego stosowania analizowanych urządzeń jest możliwość pozyskania odpowiedniej ilości wody z opadów, na co wpływają klimat regionu, na którym jest zlokalizowana nieruchomość, lokalne warunki atmosferyczne oraz przede wszystkim możliwość do wykorzystania powierzchnia dachu nieruchomości. W analizowanych warunkach gminy Tarnowo Podgórne, dla dachów o małej, a nawet średniej powierzchni, nie jest możliwe pozyskanie wody do wszystkich celów gospodarczych poza konsumpcyjnymi, również w latach średnich pod względem rocznej sumy opadów atmosferycznych.

3. Gdy wzięto pod uwagę obecne koszty urządzeń w Polsce, efektywny pod względem finansowym okazał się najprostszy wariant urządzenia III, który umożliwia wykorzystanie wody tylko do celów ogrodowych. Poprawa efektywności stosowania takich urządzeń będzie możliwa w przypadku wyższych cen za doprowadzenie wody i odbiór ścieków stosowanych przez przedsiębiorstwa komunalne, względnie w przypadku

zmian warunków finansowania takich zakupów, np. poprzez dopłaty lub preferencyjne oprocentowania kredytów na ich zakup.

LITERATURA

- Domènach L., Saurí D., 2011. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multifamily buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. *J. Cleaner Production* 19, 598-608.
- Guide to COST-BENEFIT ANALYSIS of investment projects. Structural Funds, Cohesion Fund and Instrument for Pre-Accession. 2008. Directorate General Regional Policy. European Commission. 294.
- Jones M.P., Hunt W.F., 2010. Performance of rainwater harvesting systems in southeastern United States. *Resour. Conserv. Rec.* 54, 623-629.
- Królikowska J., Królikowski A., 2012. Wody opadowe. Odprowadzanie, zagospodarowanie, podczyszczanie i wykorzystanie. Wyd. Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa.
- Podejście kosztowe w wycenie nieruchomości – metodologia, zużycie obiektów, przykłady. 2012. Warszawskie Centrum Postępu Techniczno-Organizacyjnego Budownictwa, Warszawa.
- Rogowski W., 2008. Rachunek efektywności przedsięwzięć inwestycyjnych. Wolters Kluwer, Kraków.
- Woś A., 1999. Klimat Polski. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- www.bankier.pl Polski Portal Finansowy [dostęp: 2.06.2014].

COST-EFFICIENCY OF RAINWATER COLLECTING SYSTEMS FOR INDIVIDUAL HOUSEHOLD

Summary. The aim of this investigation was an assessment of the application effectiveness of three alternatives for rainwater harvesting systems for individual households, in central Great Poland climatic conditions. During the study the amount of storm water, which can be collected from the 3 different size roof areas (80, 135, 185 m²) was assessed, in relation to the needs of a four-person family, for the region of the Tarnowo Podgórne. The receivable amount of rainwater was analysed at a rate of 10, 25, 50% of total annual precipitation occurrence probability, including the lower values, appeared in the period of 1960-2008. For the financial efficiency evaluation of investment, an indicator of the average annual cost per unit (W_s) and the net present value (NPV) were used. The results show that for the Great Poland region with the average annual sum of precipitation of 550mm, only the roof surfaces of 185 m² and bigger allow obtaining the profits from collected rainwater and reimbursement for building rainwater harvesting installations within 30 years of its operation.

Key words: storm water, rainwater harvesting system, financial efficiency

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 20.10.2014

Do cytowania – For citation: Kujawiak S., Bykowski J., Mazur R., Ziemblińska K., Nyckowiak J., 2014. Warunki efektywności finansowej indywidualnych systemów zagospodarowania wód opadowych. J. Agribus. Rural Dev. 4(34), 91-98.