*INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH*

Nr 3/1/2006, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 57–70
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

***Bernard Okoński***

# BILANS WODNY MAŁEJ ZLEWNI LEŚNEJ O POTENCJALNIE NISKICH ZDOLNOŚCIACH RETENCYJNYCH

**Streszczenie**

Obszar Wielkopolski jest częścią Niżu Środkowoeuropejskiego o szczególnie niekorzystnych warunkach ze względu na kształtowanie się zasobów wodnych. Stan ten determinowany jest głównie przez cechy klimatu regionu tj. relatywnie niską sumę opadów rocznych i nieodpowiedni ich rozkład w ciągu roku, a także wysokie wartości parowania. Istotne znaczenie modulujące mają tu także niektóre nieklimatyczne cechy fizjograficzne, występujące w przeważającej części regionu, głównie rodzaj zalegających gruntów. Ponadto, ewapotranspiracja stymulowana jest miejscowo przez pokrycie roślinne.

W artykule przedstawiono wstępne wyniki bilansowania hydrologicznego dla typowej dla regionu Wielkopolski nizinnej zlewni o potencjalnie niekorzystnych warunkach retencji tj. wysokim stopniu lesistości, pokryciu miąższą warstwą gruntów piaszczystych, w warunkach relatywnie wysokiej ewapotranspiracji. Bilansowano zlewnię Trojanki położoną w Puszczy Zielonka w centralnej Wielkopolsce. Bilansowania dokonano w przeciętnym roku opadowym (2001/2001), następującym po okresie długim o przeciętnych warunkach opadowych. Okres ujemnych zmian retencji przebiegał od końca kwietnia do połowy września, przy czym maksymalna wartość obniżenia retencji wystąpiła w czerwcu (-27,7 mm), zaś maksymalna wartość przyrostu zmian retencji wystąpiła w lutym (50,2 mm). Przeciętny odpływ jednostkowy ze zlewni wynosił 2,5 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$. Miesiące o maksymalnej i minimalnej wartości warstwy odpływu to odpowiednio styczeń (8,8 mm) i wrzesień (3,6 mm). Wartości ekstremalne ewapotranspiracji wystąpiły w grudniu (6,7 mm) i maju (90,1 mm). Bilans roczny został zamknięty zwyżką zmian retencji równą 52 mm.

Zlewnia cechuje się stosunkowo szybką odbudową retencji i odpływu w przypadku wystąpienia sprzyjających warunków meteorologicznych. Podobnie, w przypadku ustania korzystnych dla alimentacji warunków meteorologicznych, następuje szybkie obniżenie poziomu retencji oraz wartości odpływu ze zlewni. Jednak w zlewni nie wystąpiło zjawisko długookresowego załamania się odpływu w okresie letnim w warunkach ujemnego klimatycznego bilansu wodnego. Stąd można przypuszczać, że główny zbiornik stabilnej retencji w zlewni, aktywny w przeciętnym roku opadowym, stanowią wody gruntowe. Ponadto wydaje się, że dość znaczą rolę odgrywa tu także część strefy aeracji poza silnym oddziaływaniem parowania bezpośrednio z gruntu i sczerpywania wody przez roślinność.

Stwierdzono, że roślinność leśna łącznie z wierzchnimi warstwami gruntu może wpływać na obniżenie wartości odpływu z badanej zlewni o ok. 20 do 40% w porównaniu z zlewniami rolniczymi regionu.

**Słowa kluczowe**: Wielkopolska, zlewnia leśna, bilans hydrologiczny, retencja, obieg wody

## WPROWADZENIE

Obszar Wielkopolski należy do regionów o szczególnie niekorzystnych warunkach ze względu na kształtowanie się zasobów wodnych. Stan ten determinowany jest głównie przez cechy klimatu regionu tj. relatywnie niską sumę opadów rocznych i nieodpowiedni ich rozkład w ciągu roku, a także wysokie wartości parowania [Pasławski 1990; Farat 1997; Plenzler i in. 1999]. Istotne znaczenie mają tu także niektóre nieklimatyczne cechy fizjograficzne panujące w przeważającej części regionu, głównie rodzaj zalegających gruntów oraz modulujące miejscowo oddziaływanie pokrycia roślinnego. Luźne skały osadowe, zalegając miąższymi warstwami na znacznym obszarze regionu, sprzyjają wystąpieniu parowania bezpośrednio z gruntu oraz infiltracji do warstw wodonośnych głębiej zalegających. Problem niedoborów wody zaznacza się istotnie na obszarach leśnych. Obszary leśne w Wielkopolsce wykazują tendencje do zwiększania areału (lasy stanowią obecnie ponad 25 %) [Raport o stanie lasów… 2005]. Proces ten postępuje szczególnie intensywnie na terenach o glebach bardziej ubogich, a więc tych, gdzie również zdolności retencyjne są z natury niskie. Las w niektórych okrasach roku, ze względu na właściwości stymulujące procesy ewapotranspiracji (tj. wysoką intercepcję oraz transpirację), wpływa na ograniczanie trwałych form retencji. Zjawisko to szczególnie zaznacza się w letnim półroczu hydrologicznym, i wówczas często w wymiarze całorocznym pokrycie leśne może

decydować znacząco o obniżeniu składowej retencji w odniesieniu do bilansu rocznego. Wykazano na przykład, że lokalnie las może wpływać na zaburzenie bilansu wodnego w stosunku do obszarów sąsiednich i dlatego niekiedy nie zaleca się prowadzenia zalesień w ich przypadku [Calder 1990; Plenzler 1996; Olejniczak 2003].

Powszechnie znanym stwierdzeniem jest, to, że dostępność wody jest zasadniczym czynnikiem, który współdecyduje o rozmiarze produkcji biomasy. Stąd w okresach o niekorzystnym przebiegu warunków pogodowych (głównie opadowych i termicznych) w typowych warunkach regionu, występuje pogorszenie się warunków produkcji roślinnej w odniesieniu do agroncenoz. W stosunku do obszarów leśnych dochodzi do obniżenia przyrostu drzewostanów, obniżenia produkcyjności lasu i jego zdrowotności [Czarnowski 1989].

W niniejszej pracy podjęto próbę oceny bilansu wodnego w zlewni o potencjalnie niekorzystnych warunkach retencji. Bilansowania dokonano w roku hydrologicznym, gdy opady były bliskie przeciętnym, natomiast warunki termiczne sprzyjały zwiększeniu rozchodowania wody. Opisane tu badania są częścią wstępną bardziej obszernego studium hydrologicznego.

## METODYKA

Pomiar wszystkich parametrów meteorologicznych w wybranym roku hydrologicznym (2001/2002) prowadzono w stacji meteorologicznej AR Poznań zlokalizowanej w miejscowości Zielonka w centralna części zlewni. Dokonywano pomiaru sum opadu dobowego. Parowanie terenowe zostało obliczone metodą Konstantinowa na podstawie średniej temperatury dobowej oraz przeciętnej prężności pary wodnej [Konstanitnow 1963]. W obszarze Wielkopolski metoda ta została zweryfikowana dla małych zlewni o dużym stopniu lesistości i w porównaniu z niezależnie szacowanym parowaniem terenowym dała zadowalające wyniki [Miler 1997].

Odpływ ze zlewni obliczony został na podstawie pomiarów hydrometrycznych przepływów. Obliczono wartości przepływów jednostkowych i warstw odpływów na dwóch profilach pomiarowych – na profilu zamykającym zlewnię (profil Głębocko 7,49 km biegu cieku) oraz na profilu cząstkowym wyznaczającym w przybliżeniu połowę powierzchni zlewni (profil Zielonka 2,28 km biegu cieku). Przekrój cząstkowy Zielonka pełnił funkcję kontrolną w stosunku do przekroju zamykającego. Dokonywano codziennych obserwacji stanów

wody w cieku oraz okresowych pomiarów przepływu metodą powierzchnia-przepływ [PN-EN ISO 748:2001, PN-ISO 1100-1:2002, PN-ISO 1100-2:2002].

Zmiany retencji dla obszaru zlewni zostały określone na podstawie dynamiki zapasów wody gruntowej w strefie saturacji, przyjmując miesięczny krok zmian retencji. Zastosowano tu metodę zaproponowaną przez Milera i in. [2001]. Metoda ta nawiązuje do sposobu określania zmian retencji za pomocą „studzien wybranych" Dębskiego [1960]. Przy lokalizacji studzienek starano się wziąć pod uwagę zarówno położenie względem głównych jednostek geomorfologicznych zlewni, a także uwzględnić typowe warunki w zakresie cech siedliskowych i drzewostanowych ekosystemów leśnych. W celu obliczania zmian retencji uwzględniono udział powierzchni o odmiennych reżimach dynamiki wody gruntowej tj. obszarów dolinnych oraz wysoczyznowych. Stwierdzono, bowiem, że reżimy dynamiki wody gruntowej kształtują się inaczej w obrębie typowych niżowych jednostek geomorfologicznych [Żurawski 1968].

Poszczególne składowe bilansu były liczone niezależnie. Ze względu na niedokładność przy niezależnym szacowaniu składowych bilansowych, z reguły bilans się „nie zamyka". Stąd wprowadzono poprawki do równania surowego bilansu wodnego. Efektem wprowadzenia poprawek jest równanie bilansu zrównoważonego w okresie rocznym:

$$P^* = H^* + E^* + \Delta R^*$$

gdzie:

*P*, H*, E*, R** [mm] – stanowią odpowiednio skorygowane wartości: wysokości warstwy opadów (P), odpływu (H), parowania terenowego (E) oraz zmiany retencji (R) w okresie bilansowania.

W niniejszej pracy przejęto metodę korekty składowych surowego bilansu wg Dębskiego [1967]. Wzór na współczynnik korekcyjny przyjmuje postać („-„ w przypadku przyrostu, a „+" ubytku retencji):

$$\delta = \frac{P - H - E \mp \Delta R}{P + H + E + \Delta R}$$

gdzie:

$\delta$ – poprawka korygująca, pozostałe elementy wzoru, jak w równaniu surowego bilansu wodnego

Współczynnik δ uwzględniany jest w korekcie składowych bilansu surowego w następujący sposób:

$P^* = (1-\delta)\cdot P$

$H^* = (1+\delta)\cdot h$

$E^* = (1+\delta)\cdot E$

$R^* = \pm(1\pm\delta)\cdot R$ przy czym: „+" w przypadku przyrostu retencji, zaś „-„ w przy spadku retencji.

Wartości miesięczne składników bilansu zrównoważonego wyznaczono na podstawie proporcjonalnego udziału korespondujących z nimi składników bilansu surowego.

Tło klimatyczne w aspekcie warunków termicznych i opadowych w odniesieniu, do wielolecia ustalono na podstawie serii pomiarowych za lata 1960/1961–2001/2002 (dane za lata 1986/1987–2001/2002 uzyskano ze stacji AR Zielonka). Dopełnienie okresu wieloletniego otrzymano z zależności regresyjnej określonej między danymi ze stacji meteorologicznej Zielonka i danymi IMGW. Dane termiczne pochodziły ze stacji IMGW Poznań-Ławica, zaś dla opadów z posterunku IMGW Przebędowo (Grodzki, Zientarski 1986–2002; Dane termiczno-opadowe… 2003). Wykazano bardzo silną zależność liniową między odpowiadającymi sobie danymi temperaturowymi i opadowymi (odpowiednio r=0,9989 i r=9244). Stąd tak dobrana procedura określania brakujących danych wydaje się zasadna (Okoński 2004).

## POŁOŻENIE I CHARAKTERYSTYKA FIZJOGRAFICZNA BADANEJ ZLEWNI

Zlewnia badawcza rzeki Trojnki (22,78 km$^2$) położona jest w centralnej części Wielkopolski, w środkowej części kompleksu leśnego Puszcza Zielonka. Przekrój zamykający określony współrzędnymi geograficznymi (52º35'03"N i 17º04'50"E) znajduje się w odległości około 17,5 km na północny wschód od granic miasta Poznania. Według powszechnej klasyfikacji regionalizacji fizyczno-geograficznej, rejon zlewni przyporządkowano do makroregionu Pojezierze Wielkopolskie (315,4), mezoregionu Pojezierze Gnieźnieńskie (315,54) [Kondracki 2002]. Głównymi czynnikami kształtującymi wierzchnie warstwy skalne oraz rzeźbę terenu w obszarze zlewni były procesy glacjalne i fluwioglacjalne zlodowacenia bałtyckiego. Stąd w obszarze zlewni dominują luźne utwory przepuszczalne, podścielone glinami

morenowymi, zaś dominującą formą terenu są wysoczyzny sandrowe i morenowe. Zlewnia Trojaki jest zlewnią typowo leśną (88,7%). W drzewostanach dominującymi gatunkami są sosna (67,8%) i dąb (21,1%). Trojanka jest prawostronnym dopływem środkowego dorzecza Warty. Obszerny opis zlewni Trojanki można znaleźć w pracy Okońskiego [2004]. Wybrane charakterystyki fizyczno-geograficzne zlewni zestawiono w tabeli nr 1.

**Tabela 1.** Wybrane charakterystyki fizyczno-geograficzne zlewni Trojanki w obszarze zamkniętym przekrojem Głębocko

| **Charakterystyki fizyczno-geograficzne** | **Wartość** | |
|---|---|---|
| **Pokrycie terenu** | **[km$^2$]** | **[%]** |
| Lasy | 20,20 | 88,7 |
| Grunty orne | 0,65 | 2,8 |
| Łąki i pastwiska | 0,65 | 2,8 |
| Ugory i nieużytki | 0,57 | 2,5 |
| Bagna, jeziora i stawy | 0,48 | 2,2 |
| Grunty osiedlowe | 0,23 | 1,0 |
| **Pokrywa grutowa** | | |
| Piaski | 22,05 | 96,8 |
| Gliny | 0,39 | 1,7 |
| Grunty organicze | 0,34 | 1,5 |
| **Główne formy terenu** | | |
| Wysoczyzny morenowe i sandrowe | 18,88 | 82,9 |
| Obszary dolinne (rynna lodowcowa) | 3,90 | 17,1 |
| **Charakterystyki geometryczne** | | |
| Powierzchnia: całkowita zlewni [km$^2$] | 22,78 | |
| Długość: zlewni [km] | 7,83 | |
| Średnia szerokość: zlewni [km] | 2,91 | |
| Długość działu wodnego [km] | 27,90 | |
| Wskaźnik zwartości zlewni [-] | 1,65 | |
| **Rzeźba terenu** | | |
| Najniższy punkt zlewni [m] n.p.m. | 73,7 | |
| Deniwelacja [m] | 45,1 | |
| Średnia wysokość zlewni [m] n.p.m. | 96,3 | |
| Średni spadek zlewni [‰] | 9,4 | |
| **Charakterystyki hydrograficzne** | | |
| Długość cieku głównego [km] | 7,49 | |
| Długość sieci rzecznej [km] | 8,44 | |
| Gęstość sieci rzecznej [km/km$^2$] | 0,37 | |
| Spadek cieku [‰] | 2,2 | |

## TŁO METEOROLOGICZNE OKRESU BADAŃ

Bilansowanie hydrologiczne dokonano za rok hydrologiczny 2001/2002. Rok ten cechował się sumą opadów rocznych bardzo zbliżoną do wartości przeciętnej wieloletniej (prawdopodobieństwo wystąpienia rocznej sumy opadów wraz z opadami większymi wynosiło blisko 50%). Sumy rocznych opadów wynosiły odpowiednio 572 mm dla roku hydrologicznego 2001/2002 wobec 575 mm średniorocznie. Jednak roczny rozkład opadów różnił się od rozkładu typowego dla wielolecia - opady półrocza zimowego przewyższały wartości średnie (okres zakwalifikowany jako mokry), zaś półrocza letniego były niższe od średniej wieloletniej (okres zakwalifikowany jako suchy); minimum sum opadów miesięcznych wystąpiło nietypowo – w miesiącu listopadzie (w roku przeciętnym w lutym), natomiast maksimum, w październiku (przeciętnie w sierpniu).

Średnia temperatura roczna w roku hydrologicznym przewyższała przeciętną wieloletnią o 1,3 ºC i wynosiła 9,3 ºC (prawdopodobieństwo wystąpienia średniej temperatury rocznej tego roku wraz z większymi wynosi jedynie 8,4%). Temperatury średnie półroczne były również wyższe od przeciętnych wieloletnich, podobnie temperatury średnie miesięczne (prócz dwóch miesięcy rozpoczynających i kończących rok hydrologiczny 2001/2002) (tab. 2).

**Tabela 2.** Rozkład sum opadów (H) oraz średniej temperatury (t) w roku hydrologicznym 2001/2002 na tle wielolecia 1961/1962–2001/2002

| | Okresy | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | XI | XII | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI-IV | V-IV | XI-X |
| $H_{1961/1962–2001/2002}$ [mm] | 43 | 45 | 36 | 34 | 38 | 37 | 52 | 59 | 79 | 61 | 49 | 42 | 233 | 342 | 575 |
| $H_{2001/2002}$ [mm] | 23 | 41 | 37 | 71 | 45 | 48 | 36 | 33 | 35 | 71 | 26 | 106 | 265 | 307 | 572 |
| $t_{1961/1962–2001/2002}$ [ºC] | 3,1 | -0,7 | -2,0 | -1,0 | 2,3 | 7,5 | 13,2 | 16,5 | 18,1 | 17,5 | 13 | 8,3 | 1,6 | 14,4 | 8 |
| $t_{2001/2002}$ [ºC] | 2,7 | -1,9 | 0,3 | 3,5 | 3,9 | 8,2 | 16,9 | 17,9 | 20,3 | 20,4 | 12,7 | 6,8 | 2,7 | 15,8 | 9,3 |

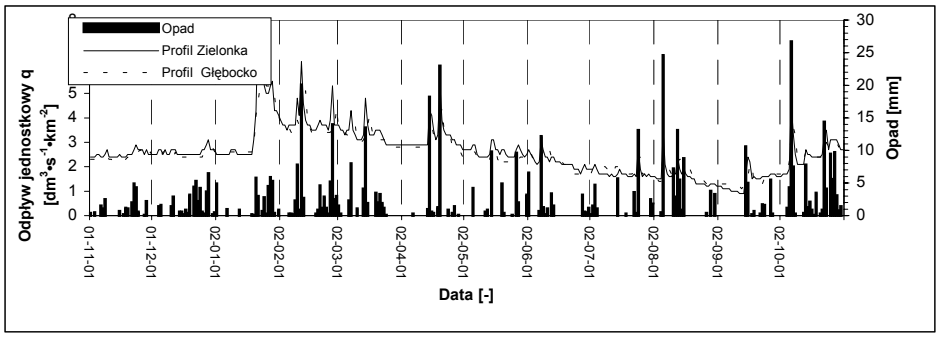
Dekada kończąca się rokiem hydrologicznym 2001/2002 należy do najcieplejszych w badanym wieloleciu, przy czym przewyższenie temperatur przeciętnych zaznacza się głównie pod koniec okresu dziesięcioletniego. Zwyżka średniej rocznej temperatury ponad wartość przeciętną przyjmuje stosunkowo większe wartości w półroczach zi-

mowych. Rok hydrologiczny, w którym prowadzono badania zlewni Trojanki cechował się jedną z najwyższych średnich temperatur rocznych oraz najwyższą temperaturą półrocza letniego w odniesieniu do okresu wieloletniego 1961/1962–2001/2002.

Pomimo na ogół przeciętnych wartości sum opadów rocznych, wystąpiła stosunkowo wysoka frekwencja okresów zimowych o opadach niższych od przeciętnych i okresów letnich o opadach wyższych od przeciętnych wieloletnich na przestrzeni dekady zamkniętej rokiem hydrologicznym 2001/2002. Powyższe stwarza niekorzystne warunki ze względu na alimentacje zlewni w wodę (ograniczony przychód wody w podstawowym okresie zasilania zlewni – w zimie). Jednak pięciolecie zakończone rokiem hydrologicznym, w którym prowadzono badania charakteryzowało się znacznie bardziej korzystnymi warunkami rozkładu opadów ze względu na zasilanie zlewni w porównaniu z pierwszą pięciolatką dekady 1992/1993–2001/2002 [Okoński 2004].

## BILANS WODNY TROJANKI

W okresie od początku roku hydrologicznego niemal do końca drugiej dekady stycznia dobowe odpływy jednostkowe dla przekroju zamykającego zlewnię (Głębocko) oraz przekroju cząstkowego (Zielonka) były zbliżone do wartości przeciętej rocznej (wynosiły odpowiednio 2,6 i 2,5 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$) (rys. 1).

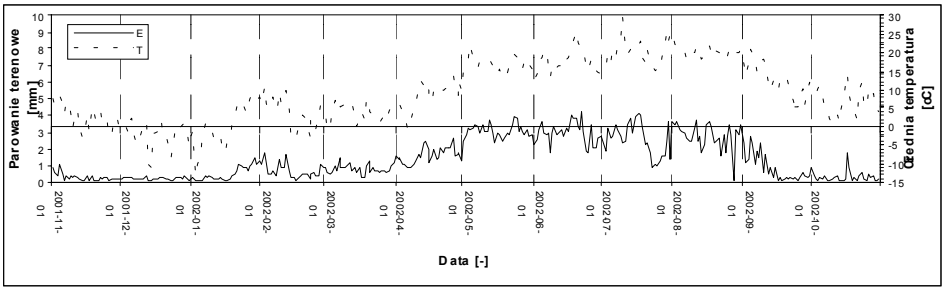



**Rysunek 1.** Dobowy odpływ ze zlewni Trojanki dla profilu Zielonka i Głębocko na tle opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2001/2002

Z końcem drugiej dekady stycznia na skutek intensywnych roztopów połączonych z silnymi opadami deszczu nastąpiło gwałtowne

zwiększenie dobowego odpływu jednostkowego. Osiągnięte zostały maksima roczne – odpowiednio dla przekrojów Zielonka (21.01.2002) i Głębocko (23.01.2002) 7,7 i 6,3 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$. Kolejny okres, do początku maja, charakteryzował się przewyższeniem wartości przeciętnych rocznych dobowych przepływów jednostkowych, przy czym lokalne maksima wiązały się z silnymi opadami (łącznie 7 większych epizodów wezbraniowych). W trzeciej dekadzie marca odpływ jednostkowy ustabilizował się powyżej średniej rocznej dla badanego roku. Od początku maja rozpoczyna się tendencja zmniejszania jednostkowego odpływu dobowego. W miesiącu maju spadek ten był stosunkowo niewielki. Silna tendencja spadkowa zarysowała się z początkiem drugiej dekady czerwca i trwała do połowy września, kiedy to wystąpiły najniższe wartości roczne dobowego odpływu jednostkowego, odpowiednio dla przekrojów Zielonka (11.09. do 13.09.2002) i Głebocko (12.09.2002) – 0,9 i 1,1 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$. Epizody silnych opadów tego okresu hamowały krótkookresowo tendencje zmniejszania się dobowego odpływu jednostkowego. Szczególne znaczenie można przypisać tu opadom, które wystąpiły w pierwszej połowie sierpnia. W kolejnym okresie, od płowy września do końca roku hydrologicznego, wskutek intensywnych opadów nastąpiła szybka odbudowa dobowego odpływu jednostkowego tak, że w ostatniej dekadzie października dobowe odpływy jednostkowe na obu przekrojach przekroczyły przeciętne wartości roczne. Charakterystyczne odpływy jednostkowe ze zlewni Trojanki w roku hydrologicznym 2001/2002 przyjmowały w zasadzie wartości z zakresu typowych dla regionu lokalizacji zlewni, tj. Sq = 2,5 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$; Nq = 0,6 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$; Wq = 7,7 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$.

W odniesieniu do rozmiaru parowania terenowego, w zasadzie można wyróżnić trzy kategorie okresów (rys. 2). Okres o niewielkim parowaniu – suma dekadowa parowania terenowego nie przekraczała wartości 5 mm. Okres ten wystąpił dwukrotnie w rozważanym roku hydrologicznym – od początku roku do pojawienia się roztopów (koniec drugiej dekady stycznia) oraz na końcu roku od połowy września do końca roku hydrologicznego. W pierwszej części wyżej określonego okresu wystąpiły najniższe miesięczne sumy parowania (grudzień 2001 – 7,2 mm) oraz najniższe wartości dekadowe (III dekada listopada 2001 – 2,1 mm).




**Rysunek 2.** Wartości dobowego parowania terenowego na tle średniej dobowej temperatury powietrza w roku hydrologicznym 2001/2002 w zlewni Trojanki

Okres umiarkowanego parowania – suma dekadowa parowania terenowego była większa od 5 mm i nie przekraczała 15 mm. Okres ten wystąpił po roztopach i w zasadzie trwał do połowy kwietnia. Trzeci okres o wysokim parowaniu, gdy sumy dekadowe przekraczały 15 mm, trwał od połowy kwietnia do końca pierwszej dekady września. Od początku maja do końca sierpnia sumy dekadowe parowania terenowego nie spadały z reguły poniżej 25 mm. Roczne maksima dekadowe i miesięczne wystąpiły w tym okresie i wynosiły odpowiednio 35,4 mm (III dekada maja) oraz 96,5 mm (maj). Wartość sumy dobowego parowania terenowego uległa gwałtownemu załamaniu w połowie września. Stąd okres o umiarkowanym parowaniu terenowym właściwie ograniczał się tu jedynie do drugiej dekady września.

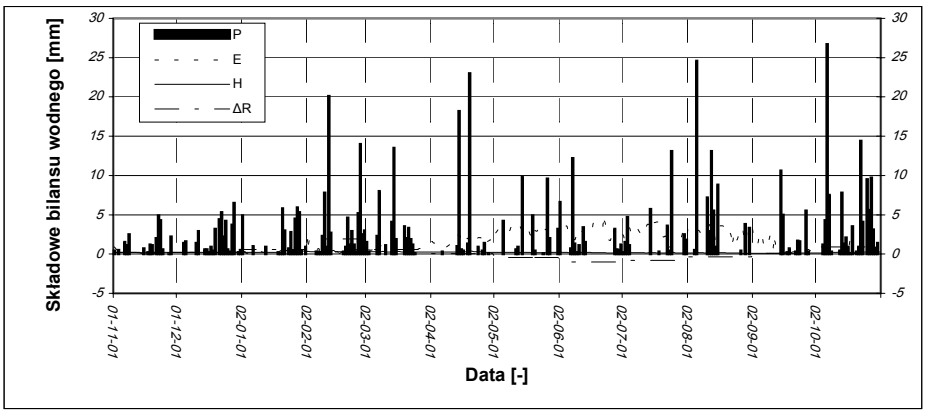
Ogólnie, zwiększanie retencji w zlewni Trojanki w miesiącach od listopada do kwietnia oraz w miesiącu październiku, natomiast ubytek następował w okresie od maja do sierpnia, przy czym miesiące kwiecień i wrzesień charakteryzowały się zmianami retencji bliskimi stanowi równowagi. W kwietniu zmiana retencji wynosiła +1,5 mm, zaś we wrześniu +3,0 mm. Maksymalne przyrosty miesięczne retencji miały miejsce w lutym – ponad 54 mm. Nietypowo, ostatni miesiąc roku cechował się drugim, co do wartości przyrostem retencji w zlewni Trojanki. Przyrost ten wynosił 28,5 mm. Maksymalne ubytki nastąpiły w czerwcu – odpowiednio -29,7 mm.

Okresy skutecznej alimentacji zlewni Trojanki w roku hydrologicznym 2001/2002 to miesiące od października od kwietnia, w okresie zimowego półrocza hydrologicznego oraz wrzesień i październik w okresie letnim, przy czym znacząca zwyżka retencji zlewni wystąpiła w okresie od stycznia do marca oraz nietypowo w październiku (mak-

simum przyrostu retencji w lutym). Okres znaczącego rozchodowania wody w zlewni Trojanki trwał od maja do sierpnia (maksimum rozchodowania w czerwcu). W wymiarze całorocznym rok hydrologiczny 2001/2002 zamknął się przyrostem retencji (52 mm). Okresy miesięczne wystąpienia ekstremów sum parowania terenowego to grudzień (minimum) i maj (maksimum), zaś odpływu to styczeń (maksimum) i sierpień (minimum) (tab. 3, rys. 3).

**Tabela 3.** Składniki zrównoważonego bilansu hydrologicznego zlewni Trojanki za rok hydrologiczny 2001/2002

| Składnik bilansu wodnego | Okresy | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | XI | XII | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI-IV | V-IV | XI-X |
| Opad (P) [mm] | 24,9 | 43,8 | 39,1 | 75,4 | 47,7 | 50,8 | 38,1 | 34,7 | 37,2 | 75,7 | 27,6 | 113,0 | 281,7 | 326,3 | 608 |
| Parowanie terenowe (E) [mm] | 8,6 | 6,7 | 14,9 | 18,2 | 23,2 | 45,2 | 90,1 | 83,3 | 76,0 | 80,7 | 24,7 | 9,4 | 116,8 | 364,2 | 481 |
| Odpływ (H) [mm] | 5,9 | 6,1 | 8,8 | 8,6 | 8,0 | 7,5 | 5,9 | 5,3 | 4,7 | 4,3 | 3,6 | 6,3 | 44,9 | 30,1 | 75 |
| Zmiana retencji (ΔR) [mm] | 5,9 | 5,8 | 16,4 | 50,2 | 17,0 | 1,4 | -12,8 | -27,7 | -23,7 | -9,8 | 2,8 | 26,5 | 96,7 | -44,7 | 52 |




**Rysunek 3.** Przebieg dobowy składników surowego bilansu wodnego w roku hydrologicznym 2001/2002 w zlewni Trojanki dla przekroju zamykającego Głębocko

## PODSUMOWANIE

Okres roczny w badaniach hydrologicznych jest okresem krótkim. Stąd badania opisane w tej pracy mają wstępny charakter i na tym etapie ich rezultaty można rozważać raczej w kategoriach szacunkowych. Uszczegółowienie bilansowania będzie wymagało zastosowania bardziej dokładnej metodyki pomiaru parowania terenowego oraz retencji. Na podstawie opisanych wyżej badań można stwierdzić, że:

Wartości dodanie bilansu wodnego w roku hydrologicznym 2001/2002 manifestowały się w okresie od listopada do kwietnia oraz we wrześniu i październiku, to oznacza, że w tym okresie może realizować się znaczna część skutecznego zasilania zlewni w wodę.

Odpływ przeciętny średni oraz niski ze zlewni w roku hydrologicznym 2001/2002 przyjmował wartości zbliżone do przeciętnych wieloletnich (Sq =2,5 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$; Nq = 0,6 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ wobec SSq od 2,5–3,0 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$, SNq ok. 0,6 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$). Ten stan można objaśniać w kontekście uwarunkowań meteorologicznych rozważanego roku oraz okresu kilkuletniego bezpośrednio poprzedzającego ten rok (na ogół przeciętne wartości opadów o rozkładzie z przewagą w półroczu zimowym).

Czynnikami ograniczającymi odpływ ze zlewni Trojanki prawdopodobnie są wysokie parowanie bezpośrednio z gruntu oraz intercepcja lasu, manifestujące się głównie w okresie letnim. Na tym etapie badań nie można dokładnie określić proporcji tych składowych. Można jednak stwierdzić, że redukcja odpływu w stosunku do sąsiednich zlewni użytkowanych rolniczo wynosi nie więcej niż 20–40% w stosunku do obszarów sąsiednich (przeciętnie 2,5 w zlewni Trojanki wobec 3,0–3,5 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$w sąsiednich zlewniach).

Zlewnia cechuje się stosunkowo szybką odbudową retencji i odpływu w przypadku wystąpienia sprzyjających warunków meteorologicznych. Podobnie, w przypadku ustania korzystnych dla alimentacji warunków meteorologicznych, następuje szybkie obniżenie poziomu retencji oraz wartości odpływu ze zlewni. Jednak w zlewni nie wystąpiło zjawisko długookresowego załamania się odpływu w okresie letnim w warunkach ujemnego klimatycznego bilansu wodnego.

Można przypuszczać, że główne zbiorniki decydujące o bardziej stabilnych formach retencji w zlewni stanowią wody gruntowe, a ponadto wydaje się, że dość znaczą rolę odgrywa część strefy aeracji poza silnym oddziaływaniem parowania bezpośrednio z gruntu i sczerpywania wody przez roślinność. Przypuszczenie takie poparte jest przez występowanie miąższach warstw gruntu strefy aeracji w zlewni (nawet do 20 m).

## BIBLIOGRAFIA


Calder I. R. *Evaporation in the Uplands*. Wiley, New York 1990.

Czarnowski M. S. *Zarys ekologii roślin lądowych*. PWN, Warszawa 1989.

*Dane termiczno-opadowe z posterunku Przebudowo i stacji IMGW Poznań-Ławica za lata 1960–2002*, 2003,IMGW oddział Poznań (maszynopis).

Dębski K. *Szczegółowy bilans wodny rzeki Wieprza w Kośminie, jako przykład rozwiązywania równań bilansu metodą studzien wybranych*. Roczn. Nauk. Roln, t. 74, ser. F, z. 3, 1960.

Dębski K. *Zwierciadło stanu wody gruntowej jako wskaźnik stanu retencji*. Prace i Studia Kom. Inż. i Gosp. Wodn. PAN, t. 8, 1967.

Farat R. *Okresy niedoborów opadów atmosferycznych w Polsce Północno-Zachodniej*. Rozpr. Doktorska, Zakł. Klimat. IG UAM, Poznań 1997 (maszynopis).

Grodzki M., Zientarski J., *Wyniki obserwacji meteorologicznych w Zielonce*. Roczniki AR, Poznań 1986–2002.

Kondracki J. *Geografia regionalna Polski*. PWN, 2002.

Konstantinov A. R. *Isparienie v prirodie*. Gidrologiczeskoje Izdatjelstwo. Leningrad 1963.

Miler A. *Zastosowanie metody Konstantinowa do obliczania parowania terenowego w zlewniach rzecznych* [w:] *Przyrodnicze i techniczne problemy ochrony i kształtowania środowiska rolniczego,* Wyd. AR, Poznań, 1977, s. 125–130.

Miler A. T., Grajewski S., Okoński B. *Stosunki wodne w wybranych ekosystemach Puszczy Zielonka*. Wyd. AR, Poznań 2001.

Okoński B. *Aktualny stan stosunków wodnych w Puszczy Zielonka i kierunki przewidywanych zmian*. Maszyn. KIL. AR Poznań, 2004.

Olejniczak M. *Warunki hydrogeologiczne na obszarze Parku Krajobrazowego „Puszcza Zielonka"*. Wydz. Nauk. Geogr. i Geolog, UAM, Poznań 2003 (maszynopis).

Pasławski Z. *Bilans wodny Wielkopolski* [w:] *Obieg wody i bariery biogeochemiczne w krajobrazie rolniczym*. Wyd. UAM, Poznań 1990, s. 59–68.

Plenzler W. *Ocena przyczyn powodujących obniżenie się zwierciadła wody w jez. Kamieńskim*. IMGW. o/Poznań 1996 (maszynopis).

Plenzler W., Rapacki L., Farat R., Pijewska I., Hapke T., *Hydrologia i gospodarka wodna zlewni Poznańskiego Dorzecza Warty*, IMGW, Poznań 1999 (maszynopis).

*PN-EN ISO 748:2001*. Pomiary przepływu w korytach otwartych. Metody prędkość – powierzchnia, PKN.

*PN-ISO 1100-1:2002*. Pomiary przepływu w korytach otwartych. Część 1: Zakładanie i użytkowanie stacji pomiarowej, PKN.

*PN-ISO 1100-2:2002*. Pomiary przepływu w korytach otwartych. Część 2: Określanie krzywej natężenia przepływu, PKN.

*PN-R-04033:1998*. *Gleby i utwory mineralne*. Podział na frakcje i grupy granulometryczne.

*Raport o stanie Lasów w Polsce 2004, 2005*. Centrum Informacyjne LP, Warszawa.

Żurawski M. *Próba wydzielenia stref pierwszego poziomu wód podziemnych na Nizinie Wielkopolskiej*. PTPN, Prace Komisji Geogr.-Geolog., t. 7, z. 2, Poznań 1968.



dr inż. Bernard Okoński
Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu
Katedra Inżynierii Leśnej
ul. Mazowiecka 41
60-623 Poznań
tel. 61 846 61 13
fax 61 848 73 66
okonski@au.poznan.pl



Recenzent: *Prof. dr hab. Józef Suliński*

*Bernard Okoński*

# WATER BALANCE OF SMALL FOREST CATCHMENT OF POTENTIALLY LOW STORAGE CAPACITY


## SUMMARY

Wielkopolska region covers the area of North European Plain with particularly unfavorable water conditions. These conditions are determined by the climate prevailing in the region, namely relatively low annual rainfall and high evapotranspiration with usually unfavorable distribution of these meteorological elements over a year. Important modulating influence can be attributed also to some non-climatic physiographical characteristics typical in vast parts of the region, mainly soil properties. In addition, evapotranspiration may be stimulated locally by vegetation.

The paper comprehends initial results of hydrologic balancing of lowland catchment typical for the region of Wielkopolska. The balancing was carried out in Trojnaka Stream catchment placed in Puszcza Zielonka forest (the central Wielkopolska). High forest cover proportion, deep layer of sandy soils and high evapotranspiration shape the storage capabilities in the tested catchment. The balancing covered the average annual rainfall year (2001/2002) following average long-term rainfall period.

The Period of the negative retention changes occurred from the end of April until the mid of September. The maximum decrease and increase of storage change depth occurred respectively in June (-27,7 mm) and February (50,2 mm). Average specific discharge in investigated catchment equaled 2,5 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ with maximum and minimum runoff depth respectively in January (8,8 mm) and September (3,6 mm). Extreme amounts of evapotranspiration occurred respectively in December (6,7 mm) and May (90,1 mm). Annual change of storage equaled 52 mm.

Both storage and runoff rebuilding abilities of the catchment, if favorable meteorological conditions would occur, are relatively high. On the other hand, while the favorable meteorological conditions for the catchment alimentation stopped, the significant decrease of storage and runoff followed. In addition, the long-term storage decrease did not occur during negative climatic balance period in the catchment. Thus, it may be fairly assumed that more stable forms of retention in the catchment, active over an average annual rainfall year, are related to zone of saturation and the part of aeration zone, which is not susceptible to direct evaporation from soil and vegetation uptake.

Forest cover along with upper soil layers in investigated catchment may cause the reduction of runoff level by approximately 20 to 40% in comparison with natural catchments of the region.


**Key words:** Wielkopolska region, forest catchment, water balance, water storage, hydrological processes