

## WODA NA OBSZARACH WIEJSKICH

**Waldemar MIODUSZEWSKI**

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Zasobów Wodnych

*Słowa kluczowe: bilans wodny, rolnictwo, woda wirtualna, zlewnie rzeczne*

### Streszczenie

Rolnictwo jest największym konsumentem wody. Całkowite zużycie wody przez rośliny to suma wody pochodzącej z opadów i retencjonowania w porach gleby oraz ewentualnie woda dostarczana w postaci nawodnień. Liczącym się użytkownikiem jest również środowisko przyrodnicze, w tym lasy. Obszary wiejskie pełnią istotną rolę w regulacji obiegu wody w zlewni. Problematyka gospodarki wodnej na obszarach wiejskich nie może ograniczać się do regulacji stosunków wodnych w glebie (nawodnienia, odwodnienia). Powinna obejmować całokształt zagadnień dotyczących ochrony jakości i ilości zasobów wody. Konieczne jest świadome sterowanie strukturą bilansu wodnego poprzez propagowanie poprawnych zasad kształtowania obszarów wiejskich, ochronę przeciwpowodziową i przeciwerozyjną, wdrażanie prawidłowej agrotechniki, propagowanie małej retencji.

### WSTĘP

W ostatnich latach znacznie zmieniły się poglądy na rolę i zadania gospodarki wodnej. Wyrazem tych zmian jest Ramowa Dyrektywa Wodna Unii Europejskiej [Dyrektywa 2000/60/EC], zwłaszcza jej zapisy dotyczące konieczności utrzymania wód powierzchniowych w dobrym stanie ekologicznym. Dużą wagę przywiązuje się w tej Dyrektywie i znowelizowanej ustawie „Prawo wodne” [2001] do poprawy jakości wód powierzchniowych i podziemnych oraz do zachowania (odtworzenia) ekosystemów wodnych i od wód zależnych.

Dużo mniejszą uwagę zwraca się w Dyrektywie na ilość zasobów wody. Polska należy do grupy krajów o najmniejszych zasobach wód powierzchniowych w Europie. Średni odpływ roczny w przeliczeniu na jednego mieszkańca wynosi 1580

---

Adres do korespondencji: prof. dr hab. W. Mioduszewski, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Zakład Zasobów Wodnych, al. Hrabka 3, Falenty, 05-090 Raszyn; tel. +48 (22) 720-05-31 w. 211, e-mail: w.mioduszewski@imuz.edu.pl

$\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$  [Stan..., 1996], podczas gdy w Europie ponad  $4000 \text{ m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ . Wydaje się więc naturalne, że retencjonowanie wody i jej oszczędne wykorzystanie powinny być, obok ochrony jakości wód, priorytetowe w strategii rozwoju gospodarki wodnej w naszym kraju.

Zasoby wody, rozumiane jako chwilowa objętość wód powierzchniowych i podziemnych, zmieniają się w przestrzeni i czasie, ale w dłuższym okresie i na większej przestrzeni ich ilość jest stała i wynika z uwarunkowań klimatycznych (ilość opadów atmosferycznych), budowy i użytkowania zlewni itp. Potencjalne zasoby wody w skali globalnej nie ulegają więc zmianie. Zwiększa się natomiast wyraźnie pobór wody przez takich użytkowników, jak: przemysł i gospodarka komunalna, leśnictwo, rolnictwo oraz środowisko przyrodnicze (np. odtwarzanie obszarów bagiennych – ekosystemów od wód zależnych – w wielu przypadkach wymaga doprowadzenia dodatkowej objętości wody na dany obszar).

Największym użytkownikiem wody jest rolnictwo. Ocenia się, że na świecie ponad 70% wody pobieranej jest na potrzeby nawodnień. W Europie nie odgrywają one tak dużej roli, tym niemniej w krajach położonych na północy Europy nawadnia się 3–15% gruntów rolnych, a na południu ponad 30%. W Polsce nawadnia się nie więcej niż 1% użytków rolnych [Rocznik..., 2001].

Mówiąc o potrzebach wodnych roślin uprawnych, należy mieć na uwadze nie tylko wodę doprowadzaną w postaci sztucznych nawodnień. Znacznie większą część wody zużywanej przez rośliny stanowi bowiem woda pochodząca bezpośrednio z opadów atmosferycznych i gromadzona w glebie lub płytkich warstwach wodonośnych. Całkowite zużycie wody przez roślinność to suma ilości wody pochodzącej z opadów i retencjonowanej w porach glebowych oraz ewentualnie wody doprowadzanej w formie nawodnień. Tak rozumiane zużycie wody przez rośliny kilka, kilkanaście razy przewyższa pobór wody przez wszystkich pozostałych użytkowników. W literaturze światowej wodę pobieraną przez rośliny często określa się jako „wodę zieloną”, natomiast płynącą w rzekach – jako „wodę niebieską” [CHAPAGAIN, HOEKSTRA, 2004; RENAULT, 2002].

Na III Światowym Forum Wody w Kioto podkreślano, że największy kryzys, którego należy obawiać się w gospodarce wodnej w skali globalnej, może polegać na braku wystarczającej ilości wody do produkcji żywności dla ludności [MIODUSZEWSKI, 2003]. Wydaje się, że obawy te nie dotyczą Europy. Tym niemniej dostęp do wody może być w niedalekiej przyszłości barierą ograniczającą produkcję rolniczą w wielu krajach europejskich, w tym w Polsce. Możliwość wystąpienia braku wody do produkcji rolniczej nabiera większego prawdopodobieństwa, gdy weźmie się pod uwagę prognozowane globalne zmiany klimatu. Z drugiej natomiast strony postęp biologiczny w rolnictwie może w dużym stopniu ograniczyć potrzeby wodne roślin. Zwiększenie produkcji rolniczej nie musi odbywać się bowiem kosztem zwiększenia zużycia wody.

Obszary wiejskie, w tym produkcja rolnicza, stanowią podstawowy element decydujący o strukturze bilansu wodnego. Dlatego też racjonalne gospodarowanie

wodą na obszarach wiejskich, prawidłowe kształtowanie krajobrazu rolniczego czy stosowanie właściwych metod agrotechnicznych mogą decydować o możliwościach zaspokojenia potrzeb wodnych pozostałych użytkowników, w tym środowiska przyrodniczego [MIODUSZEWSKI, 1990].

Jednym z podstawowych elementów opracowywanych bilansów wodnych zlewni powinno być szczegółowe rozpoznanie rzeczywistych potrzeb wody niezbędnej do produkcji żywności i jej zmienności w czasie. Pewne problemy z tym związane stanowią przedmiot artykułu.

## ZUŻYCIE WODY PRZEZ ROŚLINY

Hydrologiczny bilans wodny zlewni (kraju) w skali rocznej przedstawiany jest w postaci równania [BYCZKOWSKI, 1996]:

$$P = H + S + R \quad (1)$$

gdzie:

$P$  – opad atmosferyczny, mm;

$H$  – odpływ rzeczny w przeliczeniu na warstwę wody, mm;

$S$  – warstwa wody zużytej na ewapotranspirację, parowanie itp., mm;

$R$  – warstwa wody retencjonowanej, mm; w obliczeniach bilansu na podstawie dłuższego ciągu obserwacyjnego przyjmowana jako równa 0.

Parametr  $S$  nazywany jest w hydrologii „stratami”, ponieważ reprezentuje tę część wody, która zostaje zamieniona na parę wodną (woda zielona), a tym samym nie zasila wód powierzchniowych i podziemnych (woda niebieska).

Z punktu widzenia przyrodniczego, ale również gospodarczego nie jest to woda stracona bezużytecznie. Wprost przeciwnie, w większości jest ona wykorzystywana do wzrostu roślin uprawnych, lasów i pozostałej roślinności.

W warunkach naszego klimatu odpływ rzeczny wynosi ok. 30% opadów atmosferycznych. Oznacza to, że rośliny zużywają dużo więcej wody niż wynosi przepływ rzeczny oraz potrzeby wszystkich pozostałych użytkowników. Znaczna część wody jest pobierana przez rośliny uprawne. W Polsce rolnictwo bazuje głównie na wodach opadowych, a nawodnienia obejmują bardzo niewielkie obszary. Brak szczegółowego rozpoznania, jaka część wody jest zużywana przez rośliny uprawne w stosunku do zużycia przez lasy i roślinność na obszarach nieużytkowanych przez rolnictwo. Interesujące byłoby również ustalenie, na ile zwiększenie produkcji rolnej powoduje zwiększenie poboru wody.

Wzrost roślin i wynikająca z niego produkcja biomasy, w określonych warunkach glebowo-powietrznych i stosowania określonego nawożenia, w dużym stopniu zależą od ilości dostępnej wody. Uważa się powszechnie, że przyrost plonów (zwiększona produkcja masy organicznej) ściśle wiąże się ze zwiększeniem trans-

piracji. Większość autorów, np. ŁABĘDZKI [1997], bazując na doświadczeniach lizymetrycznych i obliczeniach modelowych, uważa że istnieje zbliżona do liniowej zależność między ilością plonu a ewapotranspiracją. Przykładowe zużycie wody w okresie wegetacyjnym w zależności od wielkości plonu, wg badań prowadzonych w latach 90. XX w., podano w tabeli 1.

**Tabela 1.** Zużycie wody przez trawy w okresie wegetacyjnym wg ŁABĘDZKIEGO [1997]

**Table 1.** Water consumption by grasses in the vegetative period acc. to ŁABĘDZKI [1997]

Plon Yield t·ha <sup>-1</sup>	Zużycie wody, mm Water consumption, mm	
	wg badań lizymetrycznych acc. to lysimeter measurements	wg obliczeń modelowych acc. to model calculation
2	100	75
4	200	160
9	500	410
14	800	680

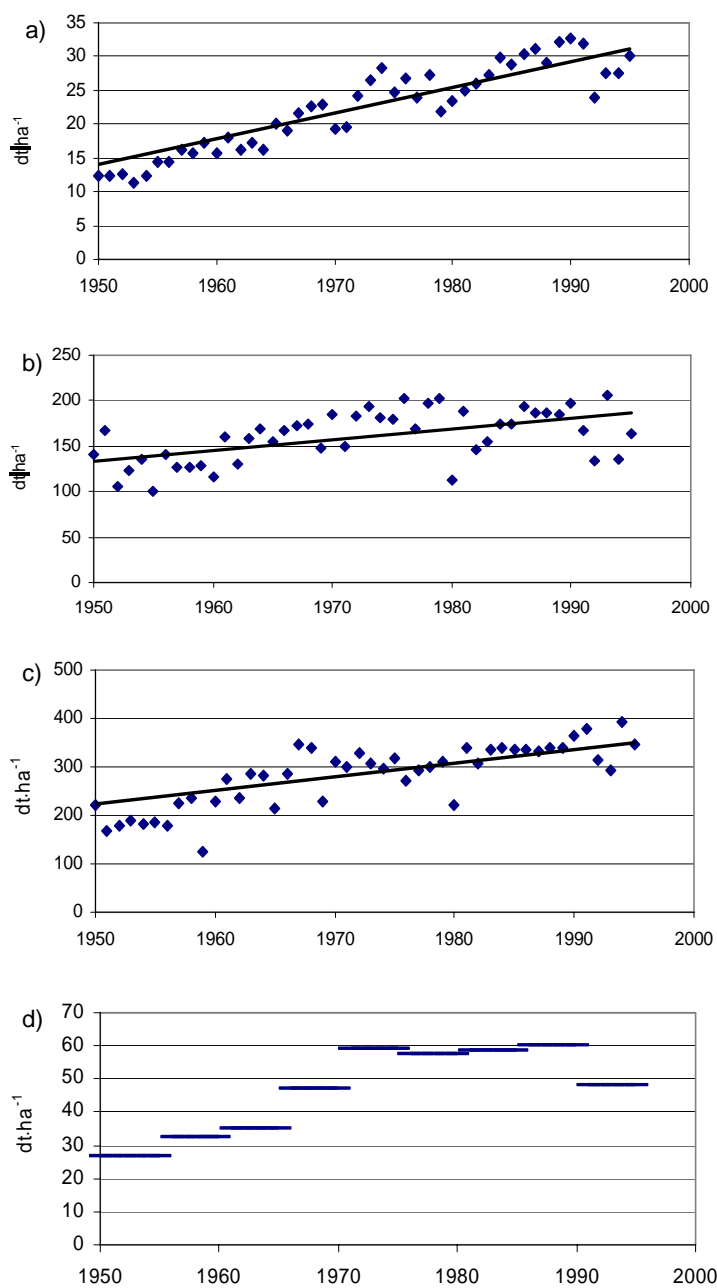
Analizując dane rozproszone w literaturze, można z pewnym przybliżeniem przyjąć, że zwiększenie plonów wymaga poboru większej ilości wody przez rośliny (tab. 2). Podane tam wartości dotyczą odmian roślin uprawianych pod koniec lat 90. ubiegłego stulecia, ponieważ doświadczenia lizymetryczne, z których pochodzą powyższe dane, prowadzono na uprawach powszechnych w tym okresie. Uzyskiwany przyrost plonów jest głównie skutkiem tworzenia optymalnych warunków glebowo-wodnych i zróżnicowanego nawożenia.

**Tabela 2.** Zużycie wody (ewapotranspiracja) na wyprodukowanie jednej tony plonu

**Table 2.** Consumption of water (evapotranspiration) for the production of 1 t yield

Uprawa Crop	Zużycie wody na wyprodukowanie 1 t plonu, m <sup>3</sup> Consumption of water for the production of 1 t yield, m <sup>3</sup>
Łąki i pastwiska (trawy) Meadows and pastures (grasses)	500
Zboża Cereals	900
Ziemniaki Potatoes	120
Buraki cukrowe Sugar beets	110
Rośliny pastewne Fodder plants	400

Plony większości roślin uprawnych od 1950 r. do chwili obecnej w Polsce wyraźnie się zwiększyły (rys. 1). Zbiory niektórych upraw w przeliczeniu na hektar zostały nawet podwojone. Wynika to z wdrażania bardziej efektywnych metod agrotechnicznych, wprowadzania, w wyniku postępu biologicznego, wydajniej-



Rys. 1. Plony wybranych upraw w Polsce,  $dt \cdot ha^{-1}$ ; a) zboża, b) ziemniaki, c) buraki cukrowe, d) użytki zielone – średnie z 5 lat

Fig. 1. Yields of selected crops in Poland,  $dt \cdot ha^{-1}$ ; a) cereals, b) potatoes, c) sugar beets, d) grasslands – mean from 5 years

szych odmian roślin oraz powszechnego stosowania nawożenia mineralnego. Należałoby więc spodziewać się zwiększonego poboru wody przez rośliny, ze względu na produkcję większej masy organicznej.

W celu sprawdzenia powyższej hipotezy dokonano szczegółowych obliczeń zużycia wody przez roślinność w zlewni górnej Narwi do profilu wodowskazowego Suraz. Wielkość tej zlewni wynosi 3400 km<sup>2</sup>, z tym że ok. 1000 km<sup>2</sup> znajduje się poza granicami kraju [MIODUSZEWSKI, 2002]. Dla polskiej części zlewni oszacowano średnie wielkości plonów w latach 1949–1999 (tab. 3).

**Tabela. 3.** Średnie plony wybranych upraw na terenie zlewni górnej Narwi (lata 1949–1999)

**Table 3.** Average yields of selected crops in upper Narew River catchment (1949–1999)

Rok Year	Plon, dt·ha <sup>-1</sup> Yield of			
	traw grasses	zbóż cereals	ziemniaków potatoes	buraków cukrowych sugar beet
1949	16,7	11,5	126	166
1955	23,0	12,6	93	132
1960	29,5	12,7	140	261
1965	33,8	16,5	157	252
1970	53,0	16,0	183	279
1975	57,0	18,3	211	263
1980	47,7	18,9	210	146
1985	56,7	24,3	205	300
1990	56,9	26,7	208	358
1995	51,1	23,7	175	322
1999	50,6	23,5	161	304

Na podstawie danych statystycznych WUS Białystok dla gmin (wielkość plonu poszczególnych roślin, powierzchnia upraw) obliczono ewapotranspirację roślin uprawnych w przeliczeniu na warstwę wody w granicach zlewni górnej Narwi, stosując wzór:

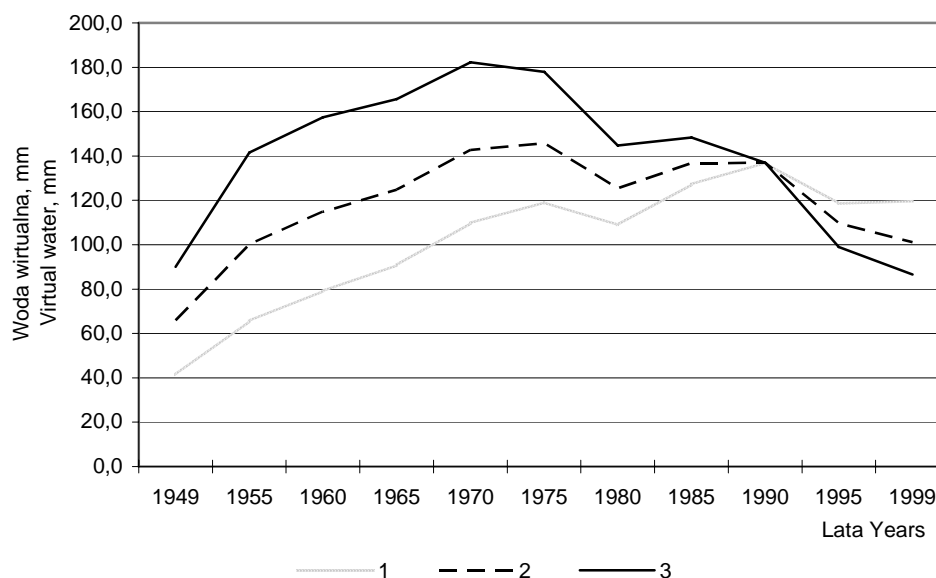
$$ETR = \frac{\sum Q_i A_i C_i}{F} \quad (2)$$

gdzie:

- $ETR$  – ewapotranspiracja roślin uprawnych w przeliczeniu na warstwę wody w granicach zlewni, mm;
- $Q_i$  – średni plon danej rośliny, dt·ha<sup>-1</sup>
- $A_i$  – powierzchnia upraw danej rośliny, ha;

- $C_i$  – objętość wody niezbędna do wyprodukowania jednostkowej masy plonu na podstawie tabeli 2., m<sup>3</sup>;  
 $F$  – powierzchnia rozpatrywanej zlewni, km<sup>2</sup>.

W obliczeniach wg powyższego wzoru zakładano, że w ciągu 50 lat (od 1949 do 1999 r.) odmiany roślin uprawnych nie zmieniły się i do wyprodukowania jednostkowej masy plonu potrzebują tej samej objętości wody. W rzeczywistości zwiększenie plonów wynikało również z postępu biologicznego w rolnictwie oraz zmian w agrotechnice (rys. 2). Niektóre nowe odmiany roślin mają większą zdolność do regulowania transpiracji, nie ograniczając poboru dwutlenku węgla [NALBORCZYK, 2005; SINCLAIR, 1998]. W omawianym okresie znacznie zmienił się stosunek plonu użytecznego do całkowitej masy roślin [MARTYNIAK, 2005; WASILEWSKI, 2005]. Dotyczy to szczególnie roślin zbożowych (tab. 4).



Rys. 2. Zużycie wody wirtualnej w zlewni górnej Narwi; 1 – bez uwzględnienia postępu biologicznego, 2 – współczynnik poprawkowy 1,65%, 3 – współczynnik poprawkowy 3,30%

Fig. 2. Consumption of virtual water in the upper Narew River catchment; 1 – without biological progress, 2 – correction coefficient 1.65%, 3 – correction coefficient 3.30%

Przedstawione wyżej uwagi wyraźnie dowodzą, że zwiększenie plonu nie jest powodowane jedynie nowymi technologiami uprawy, ale również (a może głównie) wprowadzaniem nowych odmian roślin. Są one bardziej efektywne i charakteryzują się korzystniejszym stosunkiem części użytecznej rośliny do całkowitej masy biologicznej.

**Tabela 4.** Stosunek masy słomy do masy ziarna w wybranych gatunkach zbóż**Table 4.** Relation of straw mass to grain mass in selected cereals

Gatunek Cereal	Stosunek w latach Ratio in years			
	1945 [NALBOR- CZYK, 2005]	1960 [Mała encyklo- pedia..., 1964]	1990 [HARASIM, 1994]	2003 [MARTYNIAK, 2005]
Pszenica ozima Winter wheat	–	1,8	0,91	–
Pszennyto ozime Winter triticale	–	–	1,14	–
Żyto ozime Winter rye	–	2,0	1,43	–
Jęczmień ozimy Winter barley	–	1,3	0,84	–
Pszenica jara Spring wheat	–	1,8	0,85	–
Jęczmień jary Spring barley	–	1,3	0,81	–
Owies Oats	–	1,6	1,09	–
Średnio Mean	2,5	1,7	1,1	1,0

Biorąc pod uwagę, że transpiracja zależy nie tylko od ilości plonu użytecznego (np. masa ziarna zboża), ale przede wszystkim od całkowitej wyprodukowanej masy biologicznej (ziarno, słoma, korzenie), może okazać się, że gatunki roślin uprawiane przed 50 laty potrzebowały znacznie więcej wody do wyprodukowania jednostkowej masy np. ziarna niż uprawiane obecnie. W celu prawidłowej oceny historycznych zmian ilości wody pobieranej przez rośliny należałoby wprowadzić współczynnik poprawkowy, wynikający z postępu biologicznego w rolnictwie.

Ocenia się, że średnie roczne zwiększenie plonów w 15 krajach Unii Europejskiej w ostatnim 50-leciu wynosiło ok. 3,3% [RENAULT, 2002]. Przyjmując, że dane dotyczące zużycia wody przez rośliny (tab. 1) dotyczą 1990 r., obliczono skorygowane zużycie wody w poszczególnych latach, zakładając że: a) plony zwiększały się w warunkach zużycia wody zmniejszonego o 3,3% w stosunku rocznym, b) jedynie połowa przyrostu plonu (1,65%) powodowała zwiększenie ewapotranspiracji.

Powyższe założenia są dużym uproszczeniem, ponieważ wartość ewapotranspiracji zależy od wielu różnych czynników, w tym również niezwiązanych z roślinami, takich jak: rodzaj gleby, rozkład temperatury i opadów atmosferycznych, ilość i rodzaj stosowanych nawozów [HARASIM, 1994; ZHANG, YANG, 2004]. Ponadto zwiększenie plonów w wyniku postępu biologicznego nie odbywa się w sposób ciągły, jak to założono w obliczeniach. Wyniki tych obliczeń świadczą jednak o skali problemu i umożliwiają przynajmniej ogólną ocenę wpływu rolnictwa na strukturę bilansu wodnego. Z danych zamieszczonych na rysunku 2. wynika, że pobór wody przez rośliny zwiększał się w latach 70. XX w., nawet gdy uwzględniano postęp biologiczny. Po 1990 r. nastąpiło wyraźne zmniejszenie jej poboru na skutek zmniejszenia plonów i ograniczenia areалу upraw.



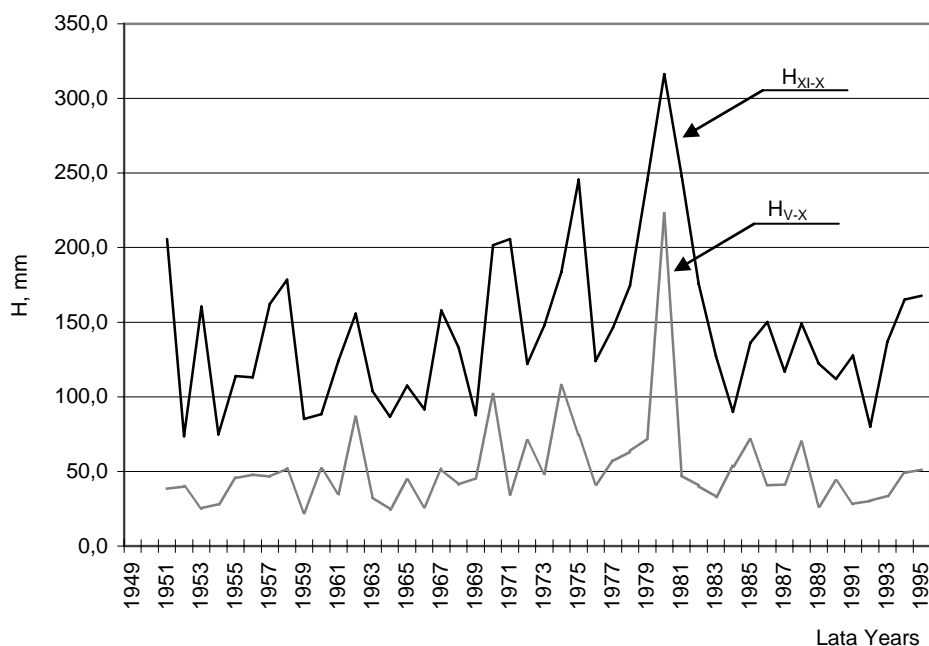
Dla porównania obliczono również zmiany zużycia wody na cele spożywcze przez ludność zamieszkującą zlewnię górnej Narwi oraz na potrzeby hodowli w położonych tu gospodarstwach rolnych (tab. 5). Uwzględniano przyrost ludności, migrację do miast oraz budowę sieci wodociagowych i kanalizacyjnych, przyjmując odpowiednio zróżnicowanie jednostkowe zużycie wody. Pobór wody na cele gospodarcze również przeliczono na warstwę wody w granicach zlewni. Wyniki tych obliczeń wyraźnie świadczą, że potrzeby gospodarcze i komunalne są niewielkie w stosunku do potrzeb roślin uprawnych. Pozostaje kwestią otwartą, na ile zwiększenie plonów w ciągu ostatnich 50 lat przyczynia się do zwiększenia (zmniejszenia) poboru wody w procesie ewapotranspiracji. Oczywiście jest jednak, że rolnictwo zużywa znacznie większą objętość wody niż wynosi całkowity pobór przez wszystkich pozostałych użytkowników.

**Tabela 5.** Warstwa zużycia wody w zlewni górnej Narwi, mm

**Table 5.** The layer of water consumption in the upper Narew River catchment, mm

Rok Year	Zużycie wody na potrzeby gospodarcze (woda komunalna i na potrzeby chowu zwierząt) Consumption of water for home and livestock rearing purposes
1949	0,37
1955	0,67
1960	0,83
1965	0,99
1970	1,16
1975	1,66
1980	1,98
1985	2,02
1990	2,24
1995	2,32
1999	2,57

Istnieją uzasadnione obawy, że ewentualne zwiększenie się poboru wody na ewapotranspirację może spowodować obniżenie się poziomu wód gruntowych oraz zmniejszenie odpływu rzeczno. W wyniku pobieżnego przyjrzenia się zmienności rocznego odpływu rzeczno, letniego (V–X) oraz całorocznego (XI–X) z lat 1950–1995 w profilu wodowskazowym Suraż (rys. 3) nie stwierdzono wyraźnych zmian odpływu w tym okresie. Bardziej szczegółowe analizy wykazują zwiększenie średnich przepływów rocznych w Narwi, szczególnie od lat 70. XX w. [BYCZKOWSKI, MANDES, 1996]. W tym czasie wykonano duże systemy odwadniające w dolinach dopływów Narwi, ale również bardzo gwałtownie rozwijała się uprawa pszenżyta [NALBORCZYK, 2005], w którym udział ziarna w stosunku do słomy jest bardzo duży, a efektywność wykorzystania wody większa niż w przypadku wcześniej uprawianych zbóż.



Rys. 3. Warstwa odpływu rzeczego  $H$  w profilu wodowskazowym Suraz

Fig. 3. River discharge  $H$  at the water mark Suraz

Na podstawie obliczeń i analiz można stwierdzić, że ilość plonu, a tym samym prawdopodobnie ewapotranspiracja bardzo się zwiększały do połowy lat 70. XX w. Później nastąpiła wyraźna stabilizacja. Nie obserwuje się wyraźnych zależności między plonem (ewapotranspiracja) a odpływem rzeczonym. Na odpływ rzeczony mogło mieć bowiem wpływ również wiele innych czynników, powodujących jego zwiększenie (np. budowa systemów odwadniających).

Duże zużycie wody przez roślinność pozostaje faktem niepodważalnym. Dotyczy to nie tylko roślin uprawnych. Duże objętości wody zużywają również lasy oraz naturalna roślinność na obszarach nieużytkowanych rolniczo.

## WODA WIRTUALNA

Jak już wspomniano wyżej, roślinność zużywa dużą ilość wody. Woda ta może pochodzić z opadów atmosferycznych i wód gruntowych, jak również z nawodnień. Możliwe jest wyznaczenie całkowitej ilości wody (z uwzględnieniem ewapotranspiracji) niezbędnej do wytworzenia jednostki produktu (również w produkcji przemysłowej i na potrzeby komunalne). Wielkość tę przyjęto nazywać „wodą

wirtualną” [CHAPAGAIN, HOEKSTRA, 2004; RENAULT, 2002]. Człowiek zużywa dużą ilość wody wirtualnej, bardzo często nie zdając sobie z tego sprawy. Dzielne zużycie wody zależy od wielu czynników. Ocenia się, że potrzeby jednego człowieka w ciągu doby wynoszą średnio:

- woda do picia – 2–3 l,
- potrzeby gospodarstwa domowego – od 30 (Etiopia) do 400 l (USA),
- wyżywienie – od 1500 (dieta wegetariańska) do 4000 l (mięsna dieta),

Wytworzenie wszelkich artykułów żywnościowych i przemysłowych wymaga zużycia pewnej ilości wody (tab. 6). Do obliczenia wartości podanych w tej tabeli uwzględniono całą objętość wody niezbędnej do wyprodukowania danych produktów. Mieści się tu woda technologiczna używana w procesie przetwórstwa oraz niezbędna do wyżywienia zwierząt gospodarskich. Największą pozycję stanowi jednak woda pobierana przez rośliny w procesie wzrostu. Ilość wody wirtualnej niezbędnej do pozyskania 1 kg produktu w warunkach produkcji w 1990 r. przedstawiono w tabeli 7. Ilość tej wody jest zmienna i zależy od warunków klimatycznych, gatunków uprawianych roślin, nawożenia itp. Zużycie wody do wytworzenia tych samych produktów żywnościowych wyraźnie różni się w poszczególnych krajach [RENAULT, 2002].

**Tabela 6.** Średnie zużycie wody wirtualnej do wytworzenia wybranych produktów

**Table 6.** Mean virtual water consumption needed to make selected products

Produkt	Product	Zużycie, l	Consumption, l
Szklanka piwa (250 ml)	Glass of beer (250 ml)	75	
Szklanka mleka (200 ml)	Glass of milk (250 ml)	200	
Filizanka kawy (125 ml)	Cup of coffee (125 ml)	140	
Kromka chleba (30 g)	Slice of bread (30 g)	40	
Jabłko (100 g)	Apple (100 g)	70	
Koszulka bawełniana (500 g)	Cotton T-shirt (500 g)	4100	
Kartka papieru A4 (80 g·m <sup>-2</sup> )	Sheet of paper A4 (80 g·m <sup>-2</sup> )	10	
Szklanka wina (125 ml)	Glass of wine (125 ml)	120	
Hamburger		2400	
Para butów (skóra)	Pair of shoes (leather)	8000	

Pojęcie wody wirtualnej ma szczególne znaczenie w planowaniu rozwoju rolnictwa i międzynarodowej wymiany towarów. Importując lub eksportując żywność i inne produkty, wymienia się również duże objętości wody wirtualnej. Inaczej mówiąc, do wyprodukowania w kraju żywności równoważnej importowanemu towarom niezbędne byłoby zużycie określonej objętości wody, która nie zawsze jest dostępna. Na przykład Jordania importuje „wirtualną wodę” w formie żywności o objętości 5 razy większej od zasobów wody dostępnych w tym kraju [CHAPAGAIN, HOEKSTRA, 2004].

**Tabela 7.** Średnie zużycie wody wirtualnej do wytworzenia wybranych produktów żywnościowych na świecie**Table 7.** Mean consumption of virtual water needed to make selected food products in the world

Produkt Product	Zużycie, m <sup>3</sup> ·Mg <sup>-1</sup> Consumption, m <sup>3</sup> ·Mg <sup>-1</sup>					Średnie zużycie na świecie World mean consumption
	USA	Chiny China	Rosja Russia	Włochy Italy	Holandia The Nether- lands	
Ryż Rice	1 275	1 321	2 401	1 679	–	2 291
Pszenica Wheat	849	690	2 375	2 421	619	1 334
Kukurydza Corn	489	801	1 397	530	408	909
Wołowina Beef	13 193	12 560	21 028	21 167	11 681	15 497
Wieprzowina Pork	3 946	2 211	6 947	6 377	3 790	4 856

Nawet kraje dysponujące większymi zasobami wody niż Polska (np. Niemcy, Wielka Brytania) na skutek wymiany produktów żywnościowych stają się importarami tego zasobu (tab. 8). Szczególnie dużym jego importerem jest Japonia, która posiada dostateczną ilość wody do zaspokojenia potrzeb żywnościowych, jednak import umożliwia ograniczenie inwestycji związanych z gospodarką wodną na obszarach rolniczych. Niektórzy autorzy [HOEKSTRA, 2003] uważają, że część problemów związanych z gospodarką wodną w USA wynika z dużego eksportu wody wirtualnej.

Ocenia się, że „potrzeby wodne” człowieka w zależności od przyzwyczajień i stosowanej diety (np. wegetarianie konsumują znacznie mniej wirtualnej wody) są zróżnicowane. Zużycie wody w kilku wybranych krajach w przeliczeniu na jednego mieszkańca, określane w j. angielskim jako „water footprint”, podano w tabeli 9. [CHAPAGAIN, HOEKSTRA, 2004].

Występuje wyraźna zależność między dochodem narodowym a zużyciem wody na potrzeby komunalne i przez przemysł. Nie ma natomiast takiej zależności w odniesieniu do produktów rolnych.

Ilość wody spożywana przez człowieka w ciągu roku zależy od wielu czynników. Duży wpływ mają na to przyzwyczajenia i sposób odżywiania się. Wraz z rozwojem gospodarczym zwiększa się zazwyczaj spożycie mięsa, a tym samym zapotrzebowanie na wodę wirtualną. Zmiana diety może spowodować zmniejszenie potrzeb wodnych, np. w związku ze zwiększeniem spożycia wieprzowiny i drobiu kosztem wołowiny lub rezygnacji z tłuszczów zwierzęcych na korzyść roślinnych [RENAULT, 2002].

Czynione są próby ustalenia zmian objętości wody wirtualnej zużywanej na potrzeby człowieka. Według niektórych autorów, w okresie od 1960 do 2000 r., objętość wody wirtualnej w przeliczeniu na jednego mieszkańca w 15 krajach Unii

**Tabela 8.** Eksport i import wody wirtualnej,  $\text{Gm}^3 \cdot \text{r}^{-1}$ **Table 8.** Export and import of virtual water,  $\text{Gm}^3 \cdot \text{y}^{-1}$ 

Kraje eksportujące wodę Countries exporting water	Eksport Export	Import	Eksport netto Net export	Kraje importujące wodę Countries importing water	Import	Eksport Export	Import netto Net import
Australia	73	9	64	Japonia Japan	98	7	92
Kanada Canada	95	35	60	Włochy Italy	89	38	51
USA	229	176	53	Wlk. Brytania Great Britain	64	18	47
Argentyna Argentina	51	6	45	Niemcy Germany	106	70	35
Brazylia Brazil	68	23	45	Połud. Korea Republic of Korea	39	7	32
Wyb. Kości Sł. Ivory Coast	35	2	33	Meksyk Mexico	50	21	29
Tajlandia Thailand	43	15	28	Hongkong	28	1	27
Indie India	43	17	25	Iran	19	5	15
Ghana	20	2	18	Hiszpania Spain	45	31	14
Ukraina Ukraine	21	4	17	Arabia Saudi Arabia	14	1	13

**Tabela 9.** Zużycie wody wirtualnej na jednego mieszkańca rocznie,  $\text{m}^3$ **Table 9.** Annual per capita consumption of virtual water,  $\text{m}^3$ 

Kraj Country	Potrzeby komunalne Municipal use	Żywność Food		Produkty przemysłowe Industrial products		Razem Total
		1	2	1	2	
1	2	3	4	5	6	7
Iran	74	1 243	283	16	8	1 624
Japonia Japan	136	165	614	108	129	1 153
Meksyk Mexico	139	837	361	31	72	1 441
Holandia The Netherlands	28	31	586	161	417	1 223
Norwegia Norway	101	244	541	231	350	1 467
Polska Poland	48	559	269	178	48	1 103

cd. tab. 9

1	2	3	4	5	6	7
Portugalia Portugal	109	800	1 055	141	159	2 264
Rosja Russia	98	1 380	283	91	5	1 858
Szwajcaria Switzerland	63	136	780	148	555	1 682
USA	217	1192	267	609	197	2 483

Objaśnienia: 1 – wody w produktach własnych, 2 – woda w produktach z importu.

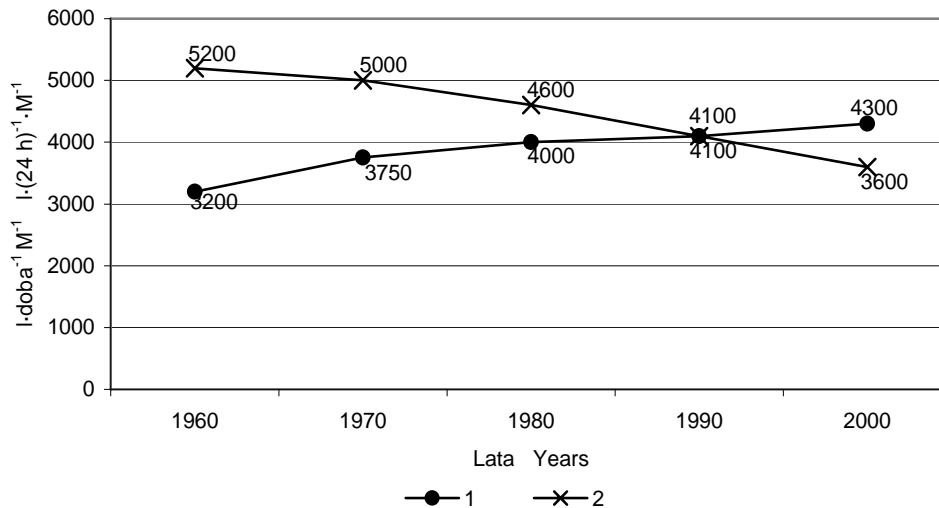
Explanations: 1 – water in own products, 2 – water from imported goods.

Europejskiej zwiększyła się z 3200 do 4300 l·doba<sup>-1</sup> [CHAPAGAIN, HOEKSTRA, 2004; RENAULT, 2002]. Obliczenia te wykonano jednak na podstawie danych 1990 r. Jeśli uwzględni się zwiększenie wydajności roślin uprawnych (postęp biologiczny w rolnictwie) oraz zmianę sposobu odżywiania się, to może okazać się, że zużycie wody w krajach „piętnastki” zmalało (rys. 4) z 5200 w 1960 r. do 3600 l·doba<sup>-1</sup>M<sup>-1</sup> w 2000 r. Są to jednak obliczenia przybliżone. Szczególnie trudno ocenić wpływ diety i postępu biologicznego w rolnictwie na rzeczywiste potrzeby wodne wynikające z potrzeb żywieniowych człowieka.

Wyniki nawet tak orientacyjnych obliczeń świadczą, że produkcja żywności wymaga dużej ilości wody, znacznie większej niż przemysł i ilość zużywana na potrzeby komunalne. Ocenia się, że w skali świata 85,8% wody wirtualnej zużywa się na potrzeby wyżywienia ludzi, 9,6% to woda na potrzeby przemysłu i tylko 4,6% na potrzeby komunalne. Bardzo duża część wody wirtualnej stanowi przedmiot eksportu i importu. Ponad 10% wody zużywa się do produkcji dóbr eksportowanych do innych krajów. Magazynowane w elewatorach na całym świecie zboże odpowiada 500 km<sup>3</sup> wody wirtualnej, a po dodaniu cukru, mięsa i oliwy – 850 km<sup>3</sup>. Jest to objętość równa 14% pojemności zbiorników wodnych na świecie. Objętość wody wirtualnej potrzebnej do produkcji żywności w Polsce (828 m<sup>3</sup>·r.<sup>-1</sup>·M<sup>-1</sup>) stanowi ponad 50% całkowitych zasobów wód powierzchniowych (1580 m<sup>3</sup>·r.<sup>-1</sup>·M<sup>-1</sup>). Jeśli założymy, że u nas, podobnie jak w 15 krajach Unii Europejskiej, zużycie wody wirtualnej zmniejszyło się o 1,8 m<sup>3</sup>·r.<sup>-1</sup>·M<sup>-1</sup>, to należałoby uznać, że zasoby wód powierzchniowych i podziemnych zwiększyły się prawie o 24 km<sup>3</sup> wody. Jest to prawie połowa rocznego odpływu wody z terenu Polski.

W warunkach średniej gęstości zaludnienia w zlewni górnej Narwi, wynoszącej 60 os.·km<sup>-1</sup>, zmniejszenie zużycia wody o 1,8 m<sup>3</sup>·r.<sup>-1</sup>·M<sup>-1</sup> powoduje oszczędność ok. 54 mln m<sup>3</sup> wody – ilość odpowiadającą w przybliżeniu pojemności zbiornika Siemianówka.

Przedstawione dane i wyniki analiz są obarczone prawdopodobnie stosunkowo dużymi błędami. Brak bowiem pomiarów i badań nad zużyciem wody przez rośliny i zapotrzebowanie na wodę niezbędną do wyprodukowania żywności. Tym niemniej udokumentowane jest duże znaczenie w obiegu wody w rolnictwie i spo-



Rys. 4. Zmiany zużycia wody wirtualnej w 15 krajach Unii Europejskiej; 1 – zużycie wody przy założeniu stałych jednostkowych potrzeb wodnych roślin uprawnych oraz stałej struktury spożycia, jak dla 1990 r., 2 – założenie, że postęp biologiczny oraz zmiana diety powoduje obniżenie potrzeb wodnych

Fig. 4. Changes of virtual water consumption in 15 EU countries; 1 – water consumption with the assumption of constant unit crop requirements for water and the consumption structure as for the year 1990, 2 – with the assumption that biological progress and diet changes will decrease water demands

sobu odżywiania się ludzi. Zmiana diety oraz postęp biologiczny mogą mieć istotny wpływ na obieg wody i strukturę bilansu wodnego zlewni rolniczej. I takie zmiany prawdopodobnie zachodzą, choć są trudne do udowodnienia.

## WODA W PROGRAMACH ROZWOJU OBSZARÓW WIEJSKICH

Przedstawione wyżej wyniki analiz świadczą o bardzo dużym, choć nie do końca rozpoznanym, wpływie rolnictwa na obieg wody w przyrodzie. Rolnictwo, uprawa roślin w warunkach nawodnień i bez mogą różnie oddziaływać (pozytywnie bądź negatywnie) na zasoby wód powierzchniowych i podziemnych.

W związku z wejściem Polski do Unii Europejskiej opracowano programy mające na celu stymulowanie zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich i podejmuje się działania w tym zakresie. W programach tych w niewielkim stopniu uwzględnia się zagadnienia związane z ochroną i kształtowaniem zasobów wody w krajobrazie rolniczym. Biorąc pod uwagę duże znaczenie gospodarki rolnej w obiegu wody, wydaje się konieczne szersze uwzględnianie oddziaływania rolnictwa na jej zasoby.

W Ministerstwie Rolnictwa i Rozwoju Wsi opracowano sektorowy program operacyjny na lata 2004–2006 „Restrukturyzacja i modernizacja sektora żywnościowego i rozwój obszarów wiejskich” [Sektorowy..., 2003], którego realizacja jest finansowana ze środków Unii. W ramach pierwszego priorytetu pod nazwą „Wspieranie zmian i dostosowań w rolnictwie” podejmuje się działania pod hasłem „Gospodarowanie rolniczymi zasobami wodnymi”. Celami tej części programu operacyjnego, których osiągnięcie jest niezbędne do pozyskania środków finansowych, są:

- lepsze wykorzystanie środków produkcji (np. nawozów),
- poprawa stabilności i jakości plonów,
- poprawa skuteczności i efektywności zabiegów agrotechnicznych,
- ochrona użytków rolnych przed powodzią.

Dotychczas nie rozpoczęto jeszcze inwestycji finansowanych w ramach tego programu. Wynika to z trudności organizacyjno-prawnych. Przygotowane wnioski, po ich zatwierdzeniu w 2005 r., mogą być realizowane jeszcze w latach 2006–2007.

Zgodnie z „Planem rozwoju obszarów wiejskich 2004–2006” [Plan..., 2003] na terenie Polski znaczna część urządzeń melioracji wodnych wymaga odbudowy i modernizacji, np. urządzenia melioracji szczegółowych na powierzchni 1,31 mln ha, 2,35 tys. km wałów, 12,01 tys. km rzek, 150 stacji pomp. W planie zakłada się, że na ponad 2 mln ha użytków rolnych zostaną uregulowane stosunki wodne w glebie. Podkreśla się w nim też, że tym działaniom muszą towarzyszyć prace związane z regulacją odcinków rzek oraz budową kanałów i urządzeń do piętrzenia i ujmowania wody do nawodnień. Niezbędne są też szczegółowe studia mające na celu opracowanie metod realizacji planowanych prac, które byłyby zgodne z zapisami RDW, a jednocześnie uwzględniały potrzebę oszczędnego wykorzystywania wody i zmniejszenia zużycia wody wirtualnej.

Działaniami ważnymi ze względu na gospodarowanie wodą i ochronę zasobów wody są wdrażanie „Kodeksu dobrej praktyki rolniczej” oraz ustanowienie programów rolnośrodowiskowych.

„Kodeks dobrej praktyki rolniczej” [2002] zawiera dość istotne postanowienia w zakresie wdrażania (upowszechniania) prawidłowych metod agrotechnicznych, których celem jest zmniejszenie emisji zanieczyszczeń z obszarów wiejskich i poprawa jakości wód powierzchniowych i podziemnych. Nie obejmuje on natomiast zagadnień związanych z poprawą struktury bilansu wodnego, osiągnięciem dobrego stanu ekologicznego wód powierzchniowych czy ochrony ekosystemów od wód zależnych.

Duże znaczenie w zakresie stymulowania prawidłowych metod gospodarowania wodą można przypisywać programom rolnośrodowiskowym. Dotychczasowe propozycje w tym zakresie obejmują siedem pakietów rolnośrodowiskowych [Sektorowy..., 2003], w tym dwa częściowo dotyczące ochrony jakości wód:



- ochrona gleb i wód – stosowanie międzyplonów w celu zwiększenia udziału gleb z okrywą roślinną w okresie jesienno-zimowym,
- strefy buforowe – tworzenie 2- lub 5-metrowych pasów zadarnionych na granicy gruntów rolnych ze zbiornikami wód powierzchniowych w celu ograniczenia negatywnego oddziaływania i ochrony siedlisk wrażliwych.

Oba pakiety mogą być realizowane jedynie w strefach priorytetowych wyznaczonych w obrębie województw. Cele i zakres działania programów rolnośrodowiskowych w obecnej wersji nie obejmują więc ilościowej ochrony zasobów wody ani stymulowania prawidłowych działań z zakresu gospodarki wodnej, od których w dużym stopniu zależy jakość wód powierzchniowych i podziemnych oraz walory przyrodnicze obszarów rolnych i leśnych (np. ochrona mokradeł).

Należałoby wspomnieć również o podjętej w Polsce inicjatywie ochrony zasobów wody w krajobrazie rolniczym, realizowanej pod hasłem „rozwój małej retencji”. Podstawy prawne tej działalności wynikają z porozumienia podpisanego między MRiRW i MOŚZNiL [1995]. W porozumieniu tym uwzględnia się potrzebę budowy małych zbiorników wodnych oraz modernizację obiektów melioracyjnych (prace związane z podpiętrzeniem wody i spowalnianiem jej odpływu).

Wpływ na gospodarkę wodną może mieć również realizowany program zalesiania kraju. Zwiększenie powierzchni lasów w większości przypadków będzie wywierało pozytywny wpływ na obieg wody. Zalesienie, zwłaszcza gleb słabo przepuszczalnych i terenów o dużych spadkach, może spowodować zmniejszenie wezbrań rzecznych, natomiast zalesienie lekkich gleb piaszczystych w niektórych przypadkach może wywierać ujemny wpływ na zasoby wód podziemnych. Może okazać się, że na skutek zwiększonej ewapotranspiracji lasów zmniejszy się zasilańie zbiorników wód podziemnych. Dlatego też obszary infiltracyjne powinny być objęte szczególną uwagą podczas planowania zalesień gruntów rolnych.

W fazie opracowywania znajduje się obecnie program wspomagania rozwoju obszarów wiejskich na lata 2007–2013. Niezbędne wydaje się szersze uwzględnienie problematyki wodnej w tym programie. Celowe jest kontynuowanie działań, służących poprawie jakości wód, ale z uwzględnieniem w szerszym zakresie ilościowych aspektów gospodarki wodnej. Należy również prowadzić działania mające na celu poprawę stanu ekologicznego wód i siedlisk od wód zależnych. Niektóre z tych działań są już podejmowane. Wdrażając Ramową Dyrektywę Wodną, należałoby się głębiej zastanowić nad sposobem uwzględnienia również zagadnienia poboru wody przez rośliny i jego wpływu na strukturę bilansu wodnego zlewni rzecznych.

## PODSUMOWANIE

Rolnictwo jest największym konsumentem wody. Liczącym się użytkownikiem, nieomawianym w tej pracy, może być również środowisko przyrodnicze,

w tym lasy. Wynika z tego, że obszary wiejskie pełnią istotną rolę w regulacji obiegu wody w zlewni. Dlatego też problematyka gospodarki wodnej na obszarach wiejskich nie może ograniczać się do regulacji stosunków wodnych w glebie (nawodnienia, odwodnienia), ale powinna obejmować całokształt zagadnień związanych z ochroną jakości i ilości zasobów wody. Konieczne jest świadome sterowanie strukturą bilansu wodnego przez propagowanie poprawnych zasad kształtowania obszarów wiejskich, ochronę przeciwerozyjną, wdrażanie prawidłowej agrotechniki czy propagowanie małej retencji.

Konieczny jest rozwój badań naukowych w zakresie gospodarki wodnej na obszarach wiejskich, w tym mających na celu wyjaśnienie rzeczywistego wpływu intensyfikacji rolnictwa i postępu biologicznego oraz stosowanych metod agrotechnicznych, użytkowania terenu itp. na zasoby wód powierzchniowych i podziemnych.

## LITERATURA

- BYCZKOWSKI A., 1996. Hydrologia. Warszawa: Wydaw. SGGW ss. 375.
- BYCZKOWSKI A., MANDES B., 1996. Badania zmienności chronologicznych ciągów średnich i minimalnych przepływów rzek w północno-wschodniej Polsce. Wiad. PIGW t. 19(40) z. 1 s. 86–91.
- CHAPAGAIN A. K., HOEKSTRA A. Y., 2004. Water footprint of Nations. Vol. 1 Main Report. Delft: UNESCO –IHE ss. 75.
- Dyrektywa 2000/60/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Wspólnoty Europejskiej z 23 października 2000 r. ustalająca ramy działań Wspólnoty Europejskiej w zakresie polityki wodnej.
- HARASIM M., 1994. Relacja między plonem słomy i ziarna u zbóż. Pam. Puł. z. 104 s.
- HOEKSTRA A. Y., 2003. Virtual water trade. Water Res. Rep. Ser. nr 12 ss. 244.
- HOFFMAN M., JOHNSON H., GUSTAFSON A., GRIMVALL A., 2000. Leaching of nitrogen in Swedish agriculture – a historical perspective. *Agricult. Ecosyst. Env.* 80 s. 277–290.
- Kodeks dobrej praktyki rolniczej, 2002. Warszawa: MRiRW ss. 96.
- KOWALCZAK P., FARAT R., KĘPIŃSKA-KASPRZAK M., 1997. Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji. Warszawa: Mater. Bad. IMGW ss. 76.
- ŁABĘDZKI L., 1997. Potrzeby nawodnień użytków zielonych, uwarunkowania przyrodnicze i prognozy styczne. Rozpr. Habil. Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 170.
- Mała encyklopedia rolnicza, 1964. Warszawa: PWRiL ss. 270.
- MARTYNIAK L., 2005. Informacja ustna i odrębna notatka. Falenty: IMUZ.
- MIODUSZEWSKI W., 1990. Ochrona i kształtowanie zasobów wodnych w krajobrazie rolniczym. Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 126.
- MIODUSZEWSKI W., 2002. Gospodarowanie wodą w łęgowej dolinie górnej Narwi. Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 78.
- MIODUSZEWSKI W., 2003. Gospodarka wodna w rolnictwie na III Światowym Forum Wody. *Wiad. Melior.* nr 3 s. 142–145.
- MIODUSZEWSKI W., 2004. Problemy gospodarki wodnej w rolnictwie w kontekście Ramowej Dyrektywy Wodnej. Światowy Dzień Wody 2004. Warszawa: Kom. Gosp. Wod. PAN s. 35–42.
- NALBORCZYK E., 2005. Informacja ustna. Warszawa: PAN.
- Plan rozwoju obszarów wiejskich na lata 2004–2006, 2003. Warszawa: MRiRW maszyn.

- Porozumienie z 21.12.1995 r. zawarte między Ministrem Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej a Ministrem Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa dotyczące współpracy w zakresie programu małej retencji, 1996. Gosp. Wod. nr 1.
- RENAULT D., 2002. Value of virtual water in food: principles and virtues. Delft: UNESCO-IHE, FAO ss. 22.
- Rocznik statystyczny. Ochrona środowiska, 2001. Warszawa: GUS ss. 538.
- Sektorowy program operacyjny. Restrukturyzacja i modernizacja sektora żywnościowego i rozwój obszarów wiejskich, 2003. Warszawa: MRiRW maszyn.
- SINCLAIR T.R., 1998. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. Crop Sci. no 3 vol. 38 s. 56–62.
- Stan i wykorzystanie wód powierzchniowych w Polsce, 1996. Pr. zbior. Red. J. Zieliński, H. Słota. Warszawa: IMiGW ss. 84.
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. „Prawo wodne”. Dz. U. 2005 nr 239 poz. 2019.
- WASILEWSKI Z., 2005. Informacja ustna. Falenty: IMUZ.
- ZHANG J., YANG J., 2004. Improving harvest index is an effective way to increase crop water use efficiency: www.cropsience.org.an

*Waldemar MIODUSZEWSKI*

#### **WATER IN RURAL AREAS**

*Key words: agriculture, river basins, virtual water, water balance*

#### **S u m m a r y**

Agriculture consumes a lot of water. Total water uptake by plants equals the sum of water coming from precipitation (stored in the soil pores) and from irrigation. Forests and natural environment are also great water consumers. Rural areas play a very important role in the water balance of small river basins. Water management in rural areas should be integrated and not only focussed on drainage and irrigation. It is necessary to implement a correct method of rural landscape planning with the consideration of flood and erosion protection, to promote good agriculture practices and to stimulate measures for increasing the possibility of water retention.

---

#### **Recenzenci:**

*prof. dr hab. Andrzej Byczkowski*  
*prof. dr hab. Jerzy Kowalski*

Praca wpłynęła do Redakcji 08.11.2005 r.