

# LAS I WODA – WYBRANE ZAGADNIENIA

Antoni T. Miler

## Abstrakt

Nauka zajmująca się wodą to hydrologia. Wynika to z etymologicznej budowy tego słowa (z greckiego): *hydor* – woda i *logos* – słowo. Przedmiotem badań hydrologii jest hydrosfera – przestrzeń na Ziemi, w której występuje woda. Hydrologia jest nauką interdyscyplinarną. W szczególności hydrologia leśna jako hydrologia ekosystemu leśnego. Zmiany klimatyczne naturalne i antropogeniczne są przyczyną niekorzystnych zmian stosunków wodnych. Analiza składowych bilansu wodnego dla danej zlewni pozwala ocenić owe stosunki wodne. Las stanowi swoisty niesterowalny zbiornik retencyjny. Metody badań w hydrologii leśnej obejmują w zasadzie dwa zagadnienia: kształtowania się bilansu wodnego zbiorowisk leśnych oraz odpływu wody z lasu. Docelowym zadaniem w hydrologii jest opracowanie modelu zlewni bazującego na opisie w formie równań matematycznych odnoszących się bezpośrednio fizycznej lub chemicznej istoty stosownych procesów. Zadania hydrologii leśnej, które mogą znaleźć szybkie zastosowanie w praktyce to: ocena potencjalnych zdolności retencyjnych w kompleksach leśnych, prognoza zmian w stosunkach wodnych wynikających ze zmian klimatycznych, przebudowy drzewostanów, zagospodarowania technicznego, kłesk żywiołowych, opisanie relacji pomiędzy cechami biometrycznymi drzewostanów a składowymi bilansu wodnego, oszacowanie wpływu infrastruktury technicznej na środowisko wodne w lasach.

## FOREST AND WATER – SELECTED ISSUES

### Abstract

Hydrology is the science which is concerned with water. It comes from the word etymology (in Greek): *hydor* – water and *logos* – word. The subject of hydrological researches is hydrosphere – space on Earth where the water occurs. This science (hydrology) is an interdisciplinary one, particular forest hydrology for forest's ecosystem hydrology. Natural and anthropological climate changes are due to reason why unfavorable water resources are changed. The analysis of water balance components for the catchment allow to water resources evaluation. Forest makes peculiar uncontrolled reservoir of retention. Study methods in forest hydrology generally include two problems: forest complexes' water balance configura-

tion and water outflow from forest. The target task in hydrology is catchment's model development which is based on description in mathematical equations form relating directly to physical or chemical crux of using processes. Tasks of forest hydrology which could find fast application in practice are: potential storage abilities in forest complex, water relations changing prognosis consequential to climate changing, trees stand rebuilding, technical development, natural disasters, describing relations between biometric tree stand features and water balance components, estimation of technical infrastructure influence on water habitat in forests.

## Hydrologia jako nauka

Nauka zajmująca się wodą to **hydrologia**. Wynika to z etymologicznej budowy tego słowa (z greckiego): **hydor** – woda i **logos** – słowo.

Przedmiotem badań hydrologii jest **hydrosfera** – przestrzeń na Ziemi, w której występuje woda (oceany, morza, rzeki, jeziora, lodowce, gleby i grunty – wierzchnia warstwa litosfery oraz dolna warstwa atmosfery).

Nazwa hydrologia pojawiła się w drugiej połowie XVII w., a dotyczyła początkowo wód mineralnych i ich wykorzystania w lecznictwie. We współczesnym pojęciu nazwa ta występuje dopiero w drugiej połowie XIX w. (Byczkowski 1996).

Hydrologia jest nauką interdyscyplinarną (ryc. 1). W szczególności **hydrologia leśna** – hydrologia ekosystemu leśnego implikowana jest problemowym, międzydyscyplinarnym traktowaniem wody w tymże ekosystemie.

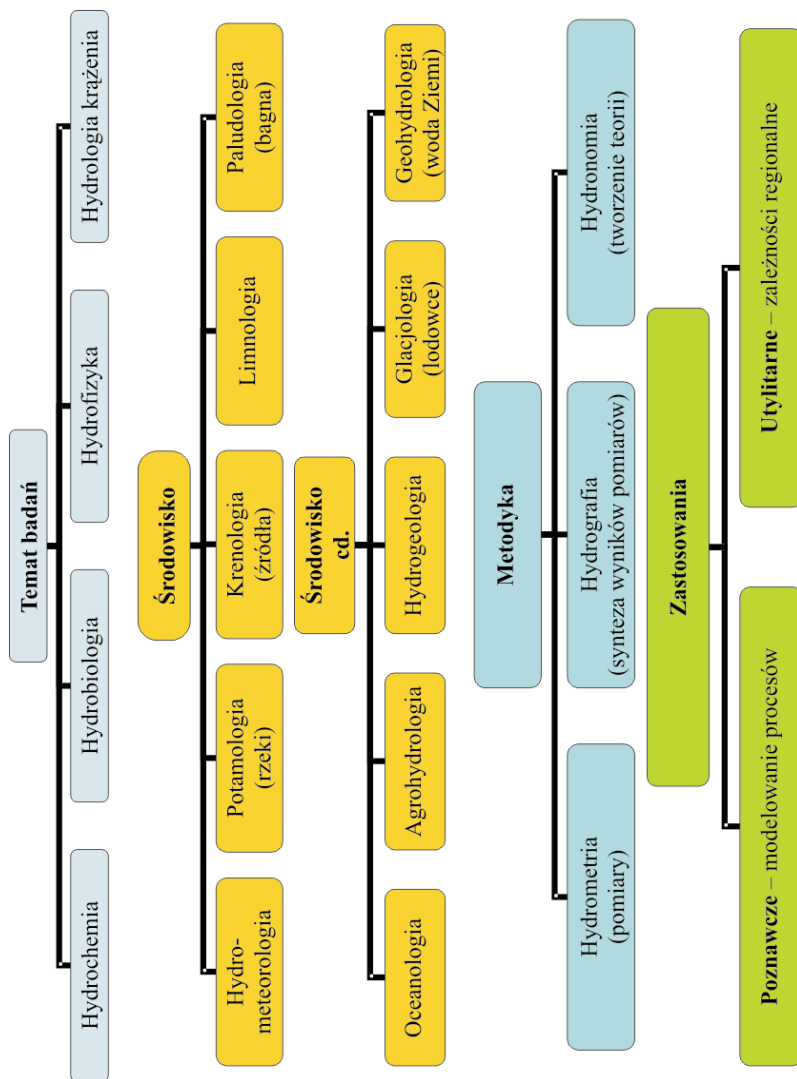
## Hydrosfera

Hydrosfera jest wodną powłoką Ziemi przenikającą atmosferę i litosferę, obejmującą wody atmosferyczne, powierzchniowe i podziemne, w postaci gazowej, ciekłej i stałej. Zasoby wodne hydrosfery są stałe, ocenia się je na około 1,4 mld km<sup>3</sup> (ryc. 2).

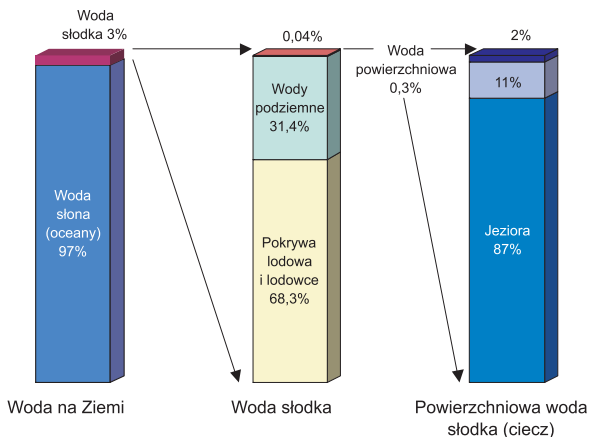
Teoretycznie woda w hydrosferze jako całości wymienia się przeciętnie co 2,5 tys. lat, jako efekt energii cieplnej Słońca i siły ciężkości. Jednakże **krążenie wody w przyrodzie** – wymiana wody w poszczególnych jej ogniwach ma inne tempo. Np. wody podziemne niektórych głębszych warstw wodonośnych mają średni okres wymiany rzędu kilku milionów lat, a woda w atmosferze ulega wymianie średnio co 8 dni.

## Zmiany klimatyczne

Podstawowe elementy klimatu – temperatura powietrza i opad atmosferyczny ulegają **zmianom naturalnym** w czasie. Są to wahania dobowe, sezonowe, roczne i wieloletnie, wywołane głównie ruchem obrotowym Ziemi, ruchem Ziemi wokół Słońca oraz wiekowymi zmianami aktywności Słońca.



**Ryc. 1.** Podział hydrologii wg wybranych kryteriów  
*Fig. 1. Division of hydrology according to selected criteria*



**Ryc. 2.** Hydrosfera jest powłoką słoną (wg Gleik, P. H., 1996: Water resources. [W:] Encyclopedia of Climate and Weather, ed. S.H. Schneider, Oxford University Press, Nowy York, vol. 2, 817–823)

*Fig. 2. Hydrosphere is a salty zone*

W ostatnich 200 latach temperatura i opady dodatkowo ulegają także **zmianom antropogenicznym**, wynikającym ze wzrostu zawartości w atmosferze pyłów (absorpcja promieniowania słonecznego), jąder kondensacji pary wodnej i gazów szklarniowych (efekt cieplarniany atmosfery), czy też innych form działalności człowieka (melioracje, silna urbanizacja etc.).

Ciąg chronologiczny – szereg czasowy  $F(t)$  dla danego parametru można opisać następująco:

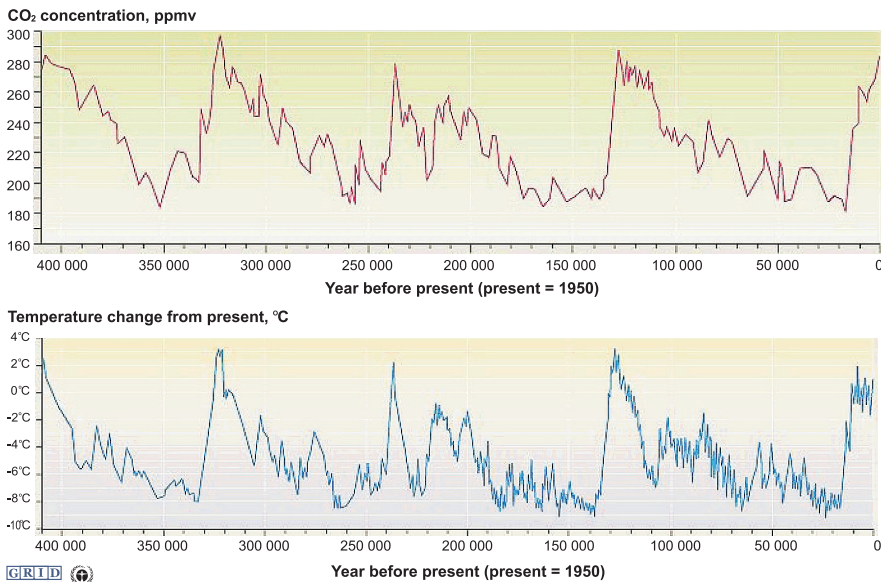
$$F(t) = A_0 + A \cdot t + \sum_{i=1}^n A_i \cdot \sin \left( \frac{2\pi \cdot t}{T_i} \right) + j_i \cdot \frac{\partial}{\partial t} + e(t) \quad (1)$$

gdzie:  $A_0$  – wartość stała,  $A$  – współczynnik trendu,  $t$  – czas,  $A_i$  – amplituda,  $T_i$  – okres,  $\varphi_i$  – przesunięcie fazowe,  $i$  – numer harmonicznej,  $e(t)$  – składnik losowy.

Zmiany naturalne, mające charakter cykliczny, określa się wskazując na istotne wartości amplitud  $A_i$  – wskazując jednocześnie na odpowiednie cykliczności.

Zmiany antropogeniczne bada się oceniając istotność współczynnika trendu  $A$  (Miler A.T., Miler M. 2005).

Systematyczne meteorologiczne badania instrumentalne prowadzone są na świecie od około 150+200 lat. Należy zatem z dużą ostrożnością podchodzić do prognoz zmian klimatycznych. Duża zmienność (okresowość) czynników wpływających na klimat była również we wcześniejszych okresach (ryc. 3).



Source: J.R.Pellit, J. Jouzel, et. Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core in Antarctica, Nature 399 (3JUre), pp 420-436, 1999

**Ryc. 3.** Przykładowe zmiany naturalne koncentracji CO<sub>2</sub> i temperatury w powietrzu w ostatnich 400 000 lat

*Fig. 3. Example of natural changes of concentration CO<sub>2</sub> and temperature in the atmosphere in last 400 000 years*

Czy jesteśmy zatem w stanie kompensować (w jakim procencie) niekorzystne zmiany klimatyczne, a w konsekwencji niekorzystne zmiany stosunków wodnych np. w ekosystemach leśnych? Obiektywnych ocen dotychczas nie ma.

**Bilans wodny**

Podstawową jednostką (w ramach potamologii) jest **zlewnia**. Jest to obszar, z którego woda dopływa do przyjętego profilu zamykającego zlewnię (np. ujście cieku) – profilu bilansowego. Bilanse wodne mogą odnosić się jedynie do układów zamkniętych, takim układem jest właśnie zlewnia. O charakterze procesów ruchu wody w zlewniach decydują głównie parametry meteorologiczne (opady atmosferyczne i temperatury powietrza). Parametry nieklimatyczne (zalesienie, gatunek gleb, topografia terenu, gęstość sieci cieków, zabagnienia, jeziorność etc.) oddziałują w sposób wtórny, jednak bardzo istotny.

Równanie bilansu wodnego, równanie Pencka-Oppokowa, ma bardzo prostą postać:

$$P = H + E \text{ (dla wielolecia)} \tag{2}$$

$$P = H + E + \Delta R \text{ (dla „krótszego” okresu)} \quad (3)$$

gdzie:  $P$  – opad (śnieżny, deszczowy),  $H$  – odpływ (powierzchniowy, podpowierzchniowy, gruntowy),  $E$  – parowanie (ewaporacja, transpiracja),  $\Delta R$  – zmiana retencji (powierzchniowej – wody stojące, ciekłe; gruntowej – strefy aeracji i saturacji, intercepcja, zwilżanie, inna – np. ściółki w lasach).

Wartość  $\Delta R$  określa charakter okresu bilansowego (np. roku hydrologicznego 1.11–31.10), gdy:

$$\Delta R < 0 \text{ okres (rok) mokry} \quad (4)$$

$$\Delta R \approx 0 \text{ okres (rok) średni} \quad (5)$$

$$\Delta R = 0 \text{ okres (rok) suchy} \quad (6)$$

Wartości składowych występujących w równaniu bilansu wodnego stanowią podstawę oceny stosunków wodnych w danej zlewni. Wskazują też na możliwość (zasadność) działań zaradczych poprzez melioracje wodne czy też agro- lub fito-melioracje.

### Ekosystem leśny na tle innych ekosystemów

Analityczny (zazwyczaj uproszczony) obieg wody rozpatrywany może być na obszarach fizjograficznie i ekologicznie jednorodnych, jak np. ekosystemy łąkowe. Wówczas dzielimy hydrologię według tych ekosystemów:

- ekosystem bagienny – hydrologia terenów podmokłych,
- ekosystem łąkowy – hydrologia użytków zielonych,
- ekosystem pól ornych – hydrologia rolnicza, czyli agrohydrologia,
- **ekosystem lasów – hydrologia leśna,**
- ekosystem pustyń miejskich – hydrologia miejska.

Można wykazać liczne przykłady takiego podejścia, np. rozwój hydrologii miejskiej we Francji, hydrologii bagiennej w Finlandii, agrohydrologii w Holandii, hydrologii łąkowej w Polsce, Białorusi, hydrologii leśnej w Niemczech, Szwecji, Szwajcarii. Międzynarodowe Towarzystwo Leśne IUFRO posiada np. Sekcję Hydrologii Leśnej (Kowalik 1995).

### Las i woda

Warunkiem koniecznym trwałości lasu jest stały przyrost biomasy. Ilość biomasy jest proporcjonalna do ilości wytranspirowanej wody. Stąd wniosek, iż trwałość lasu zależy od właściwych stosunków wodnych. (Na parowanie transpiracyjne roślinność lasu zużywa 99% pobranej wody, a tylko 1% na budowę tkanek.)

Kluczową rolę wody w lesie dostrzegano od dawna. Przykładowo wśród uchwał I Polskiego Naukowego Zjazdu Leśniczego (1933) można znaleźć i takie „... *przy opracowywaniu ogólnych planów z zakresu gospodarstwa wodnego kraju, oraz planów regulacji poszczególnych rzek i dzikich potoków, konieczne jest zasięgnięcie fachowej opinii leśników polskich*” (Miler 2003).

Lapidarnie ujmując las stanowi swoisty (niesterowalny) zbiornik retencyjny. Wynikające stąd stabilizacyjne oddziaływanie na odpływ ze zlewni jest powszechnie cytowane w literaturze. Nie jest natomiast jednoznaczne czy lasy zwiększają czy zmniejszają odpływ ze zlewni. Zwiększona bowiem transpiracja z terenów leśnych kompensowana jest przez zwiększone opady atmosferyczne implikowane przez mikroklimat tychże kompleksów leśnych.

Lasy (kompleksy leśne) są podstawowym filarem tzw. małej retencji. Ten rodzaj retencji niejednokrotnie zawęża się tylko do roli małych zbiorników wodnych. Należy wskazać, iż **mała retencja** to wszystko to co przyczynia się do wydłużenia drogi i czasu obiegu wody w zlewni. Zatem powoduje poprawę stosunków wodnych (ograniczenie odpływów), poprawę jakości wód (dłuższy czas na samoczyszczanie się wód) oraz regulację transportu rumowiska. Przykładowo intercepcja dla gatunków liściastych może dochodzić do 20%, a dla gatunków iglastych aż do 40% rocznych sum opadów atmosferycznych.

Wartości bezwzględne składowych bilansu (opadu, parowania, odpływu) zależą oczywiście od regionu geograficznego. Można jednak wskazać na pewne prawidłowości, przykładowo: suma opadu w lesie jest o około 10% większa niż na polu, parowanie w lesie i na polu jest podobne, suma odpływu nie wykazuje związku z zalesieniem, las „spłaszcza” i „wydłuża” wezbrania (Miler 1994).

## Metody badań w hydrologii leśnej

Metody badań w hydrologii leśnej obejmują w zasadzie dwa zagadnienia: **kształtowania się bilansu wodnego zbiorowisk leśnych** oraz **odpływu wody z lasu**. Zagadnienia te rozpatrywane są zazwyczaj oddzielnie, w zależności od spojrzenia na stosunki wodne zbiorowisk leśnych: „z pozycji wewnątrz lasu” (na poziomie ekosystemu leśnego) i „z pozycji na zewnątrz lasu” (las traktowany tylko jako kategoria użytkowania terenu) (Suliński, Jaworski [w Las i Woda] 1998).

W naukach leśnych stosunki wodne w lesie rozpatrywane są głównie jako czynnik siedliskotwórczy, określający warunki produkcji biomasy.

W opracowaniach hydrologicznych las rozpatrywany jest jako pokrycie zlewni, jako całość dająca się opisać charakterystykami fizyczno-geograficznymi.

Stosunki wodne zbiorowisk leśnych mają swoją specyfikę. Bilans wodny zbiorowiska leśnego jest istotnie odmienny, niż np. dla obszaru użytkowanego rolniczo. W opracowaniach z zakresu hydrologii lasu czy też w dotyczących diagnozowania siedlisk leśnych relacje między szatą roślinną a dynamiką stosunków wodnych opisywane są zazwyczaj w sposób jakościowy, podaje się co najwyżej liczbowe charakterystyki drzewostanu. Wyjątkowo pojawiają się prace, w których ruch wody w układzie *atmosfera – drzewostan – grunt* próbuje się opisywać za pomocą cech biometrycznych drzewostanów (Suliński 1993).

Uogólniając, wszelkie badania opierają się o pewne **hipotezy ontologiczne** (dotyczące badania bytu) oraz **dyrektywy metodologiczne**, które niejednokrotnie mają charakter metafizyczny (oderwany od rzeczywistości). W nauce współczesnej istnieją jeszcze m.in. postulaty „zawężania frontu badań”, „pogłębiania tematyki” etc. Prowadzi to do samoizolacji uczonych – nauka rozpada się na coraz węższe specjalizacje.

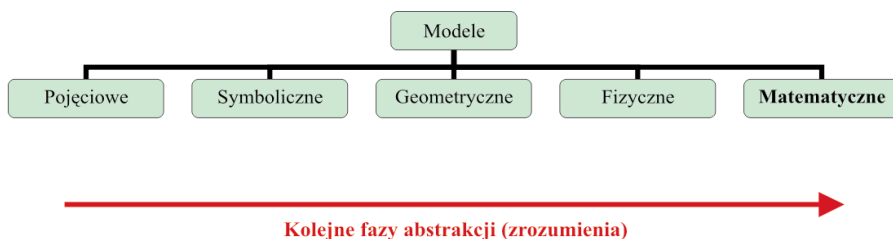
Pojawiło się też nowe podejście do badań tzw. **problemowe (interdyscyplinarne)** – polegające na tworzeniu zespołów badawczych, złożonych z przedstawicieli różnych dyscyplin naukowych do rozwiązania konkretnego ważkiego problemu. Przykładowo do rozwiązania problemu: „Zgubnego wpływu na lasy kwaśnych deszczów” (*spadek pH powoduje spadek gęstości korzeni, to z kolei wywołuje stres wodny i termiczny, a w konsekwencji zahamowanie transpiracji i fotosyntezy następnie atak szkodników*) należało powołać zespoły nie tylko leśników i hydrologów, ale także meteorologów, chemików, mikrobiologów, fizjologów roślin, gleboznawców etc.

## Modelowanie zjawisk

Dotychczasowe, dużej mierze wycinkowe, badania obiegu wody w ekosystemach leśnych (prowadzone również w Polsce) umożliwiają pełną zazwyczaj jedynie jakościową ocenę zjawiska. Dużą nadzieję w postępie tych badań stanowi zaadoptowana z teorii systemów metodyka badań modelowych.

Docelowym zadaniem w hydrologii jest opracowanie modelu zlewni (układu zamkniętego) bazującego na opisie w formie równań matematycznych odnoszących się bezpośrednio fizycznej lub chemicznej istoty stosownych procesów.

Modelami od strony formalnej zajmuje się **analiza systemowa**. Zajmuje się ona jednak nie tyle systemami naturalnymi, ile uproszczonymi i wyidealizowanymi modelami tych systemów (ryc. 4 – modele matematyczne).



**Ryc. 4.** Klasyfikacja modeli  
*Fig. 4. Classification of models*

Modele podzielić można (w zależności od rozpoznania genetycznego) na dwie zasadnicze grupy: **konceptualne** (np. *model Nasha – modelowanie odpływu ze zlewni*) i **oparte o równania fizyki matematycznej** (np. *model Fokkera-Plancka – modelowanie ruchu wody w glebie*).

**Opracowany model** pozwala na symulację/prognozę (ocenę skutków) oraz detekcję (ocenę przyczyn).

## Główne zadania poznawcze i uytylitarne hydrologii leśnej

Rozwiązane zadania poznawcze zazwyczaj stanowią inspirację dla rozwiązań uytylitarnych, w dłuższym lub krótszym horyzoncie czasowym.



Poniżej zestawiono hasłowo zadania hydrologii leśnej, które mogą znaleźć szybkie zastosowanie w praktyce:

- Potencjalne zdolności retencyjne w kompleksach leśnych (ocena porównawcza dla wskazania np. hierarchii potrzeb melioracji wodnych),
- Scenariusze zmian w stosunkach wodnych wynikające ze zmian klimatycznych, przebudowy drzewostanów, zagospodarowania technicznego, klęsk żywiołowych (wskazanie na celowość i efekty działań zamierzonych jw. oraz prognozy skali zagrożeń żywiołowych),
- Relacje pomiędzy cechami biometrycznymi drzewostanów a składowymi bilansu wodnego (opracowanie empirycznych zależności regionalnych np. dla obliczeń hydrologicznych będących podstawą inwestycji budownictwo wodno-melioracyjnego),
- Wpływ infrastruktury technicznej na środowisko wodne w lasach (ocena wpływu infrastruktury technicznej w lasach – budowli wodnych, szlaków komunikacyjnych na sąsiadujące zbiorowiska leśne – strefy ekotonowe).
- Należy unikać bezpośredniego przenoszenia rozwiązań opracowanych dla innych ekosystemów np. pól ornych na ekosystemy leśne. Błędy obliczeń przy tego typu „adaptacjach” mogą wynosić nawet po kilkaset procent.

## Literatura

- Byczkowski A. 1996. *Hydrologia. Tom I i II*. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Las i Woda. 2002. *Czasopismo Techniczne. Inżynieria Środowiska*, Zesz. 4-Ś/2002, Rok 99. Wyd. Politechniki Krakowskiej. Redakcja B. Osuch.
- Kowalik P. 1995. *Obieg wody w ekosystemach lądowych*. Monografie Kom. Gosp. Wod. PAN, z. 9, Ofic.. Wyd. Politechniki Warszawskiej.
- Kształtowanie i Ochrona Środowiska Leśnego*. (2003) Wyd. Akademii Rolniczej, Poznań. Redakcja A.T. Miler.
- Miler A. 1994. *Modelowanie matematyczne zdolności retencyjnych małych zlewni nizinnych*. *Rocz. Akademii Rolniczej w Poznaniu*, 1994, Rozp. Nauk. 258.
- Miler A.T., Miler M. 2005. *Trendy i okresowości zmian temperatury oraz opadów dla Poznania w latach 1848–2000*. Zesz. Nauk. Wydz. Bud. i Inż. Środ. Politechniki Koszalińskiej, Inż. Środ. nr 22: 945–956.
- Suliński J. 1993. *Modelowanie bilansu wodnego w wymianie między atmosferą, drzewostanem i gruntem przy użyciu kryteriów ekologicznych*. Zesz. Nauk. Akademii Rolniczej, Kraków, Rozp., nr 179, Kraków.

**Antoni T. Miler**

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
Katedra Inżynierii Leśnej  
amiler@au.poznan.pl  
<http://www.au.poznan.pl/katedra/kil/>