

K. Dąbrowska – Zielińska,
M. Gruszczyńska,
K. Stankiewicz,
A. Hościło

DANE SATELITARNE POZYSKIWANE W WIDMIE OPTYCZNYM I MIKROFALOWYM JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O BILANSIE WODNYM DLA BASENU RZEKI BIEBRZY

Streszczenie. Proces osuszania Bagien Biebrzy w wyniku zmian gospodarki terenu trwa od wielu lat. W wyniku obniżenia zwierciadła wody i zmian stosunków wodnych nastąpiła zmiana w rozwoju torfowisk co wpłynęło na sukcesję roślinności zaroślowej i leśnej.

Informacje pozyskane z satelity Landsat ETM w zakresie widzialnym, z satelity ERS-2 w zakresie mikrofalowym i z satelity NOAA w zakresie dalekiej podczerwieni termalnej zasiliły bazę GIS i w rezultacie doprowadziły do przeprowadzenia procesu modelowania bilansu wodnego dla zlewni środkowej Biebrzy.

Jednym z podstawowych czynników decydujących o rozwoju roślin jest woda. Ilość wody w powierzchniowej warstwie gleby wpływa również na kształt bilansu wodnego i jest istotną informacją stosowaną w wielu badaniach z zakresu hydrologii i klimatologii. Zawartość wody w glebie określa wilgotność, która jest przedstawiana jako stosunek masy wody zawartej w próbce gleby do masy gleby suchej. Wilgotność jest jedną z najbardziej zmiennych właściwości gleby. Na te zmiany wpływa wiele czynników, z których najważniejszymi są: opady atmosferyczne, transpiracja roślin i wyparowywanie wody z powierzchni gleby. Zarówno nadmiar, jak i niedobór wilgotności gleby pociąga za sobą podobne w skutkach obniżenie zdolności produkcyjnej roślin i wyraża się w zmienności wartości biomasy. Regulowanie zapasu wody w glebie w celu zaspokojenia potrzeb roślin jest jednym z głównych zadań wielu zabiegów agrotechnicznych. Właściwy wybór rodzaju zabiegu i terminu jego przeprowadzenia uzależniony jest od wiedzy o aktualnej wilgotności gleby. Pomiary wilgotności gleby powinny być zatem prowadzone w sposób dynamiczny. Konieczność przeprowadzenia w stosunkowo krótkim czasie dużej liczby oznaczeń stawia metodom oznaczania wilgotności gleby duże wymagania – muszą one być proste, szybkie i dostatecznie dokładne.

Wobec wzrastającego zagrożenia naturalnego środowiska ekosystemu Bagien Biebrzańskich oraz konieczności jego ochrony dużego znaczenia nabiera opracowanie metody monitoringu zmian uwilgotnienia gleby i sukcesji roślinnej. Metody teledetekcji są w takim przypadku bardziej dokładne i szybsze od zwykłych metod polowych. Pozwalają rozpoznać oraz określić aktualną strukturę przestrzenną roślinności i wyznaczyć granice jej poszczególnych elementów jak również oszacować uwilgotnienie danego siedliska.

Proponowana klasyfikacja zbiorowisk roślinnych opiera się na odpowiedzi spektralnej zarejestrowanej w różnych zakresach promieniowania elektromagnetycznego. Monitoring roślinności i uwilgotnienia gleby w ramach proponowanych klas pozwoli na uchwycenie kierunku i tempa sukcesji.

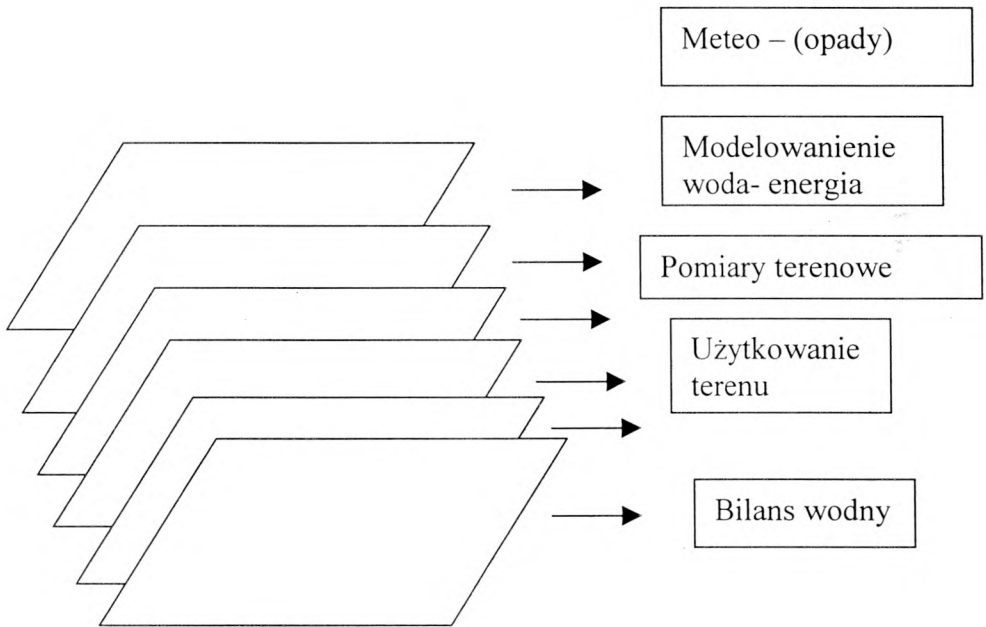
Bagna Biebrzańskie stanowią unikalny ekosystem związany z występowaniem na dużych obszarach mokradeł eutroficznych, wśród których znaczną powierzchnię zajmują torfy niskie o uznanych walorach przyrodniczych. Stan zabagnienia siedlisk jest zróżnicowany wskutek postępującej degradacji torfowisk (Okruszko i inni, 1996). W wyniku zmian stosunków wodnych nastąpiła zmiana w rozwoju torfowisk polegająca na przejściu z fazy akumulacji w fazę rekompensacji. Przeobrażenia torfów i związany z nią proces murszenia powoduje zmniejszenie retencji wodnej gleb i wzrost okresowego przesychania wskutek czego zwiększa się udział roślinności dwuliściennej przy jednoczesnym zmniejszeniu udziału turzyc i traw. Na obszarach odwodnionych następuje sukcesja zbiorowisk roślinności zaroślowej i leśnej z dominacją brzozy omszonej. Duże zmiany w tym ekosystemie spowodowały pożary torfów odwodnionych i wysuszonych wskutek susz atmosferycznych.

Proces osuszania bagien biebrzańskich jest badany od wielu lat przez liczne zespoły naukowe, w tym przede wszystkim przez Instytut Melioracji i Użytków Zielonych oraz jego Zakłady Doświadczalne, (Roguski i inni 1988, Szuniewicz, Chrzanowski, 1996). Prowadzone prace powinny zostać uzupełnione o metody jakie oferuje współczesna technika satelitarna umożliwiającą prowadzenie kompleksowych badań jednocześnie na dużych obszarach, wykorzystując informacje pozyskiwane w różnych zakresach widma elektromagnetycznego i w różnym czasie. Stąd też w badaniach nad procesem osuszania bagien i metodami zapobiegania procesom degradacji obszarów bagiennych Biebrzańskiego Parku Narodowego proponuje się wykorzystanie zdjęć pozyskiwanych przez satelity środowiskowe pracujące w widmie optycznym i mikrofalowym. W widmie widzialnym i podczerwonym wykonano klasyfikację roślinności, dzięki rejestracji w podczerwieni termalnej obliczono wielkość ewapotranspiracji, a rejestracja w zakresie mikrofalowym pozwoliła na obliczenie wilgotności gleby.

Rysunek 1 przedstawia schemat wykorzystania danych pochodzących z satelitów, informacji meteorologicznych oraz informacji pochodzących z innych źródeł w celu utworzenia modelu opisującego relacje pomiędzy atmosferą a powierzchnią czynną. Model taki może zostać wykorzystany w bilansie wodnym którego parametry trudne do pomiarów in situ mogą zostać obliczone i przedstawione przestrzennie. Mikrofalowe zdjęcia satelitarne wzbogacają informacje uzyskane na drodze analizy obrazów pozyskiwanych w optycznym zakresie widma elektromagnetycznego. Jednym z istotnych cech takiego zdjęcia jest aktywne obrazowanie powierzchni Ziemi niezależnie od warunków pogodowych. Na obraz mikrofalowy wpływają inne właściwości fizyczne obiektów niż na obraz optyczny, przede wszystkim zaś ich geometria, szorstkość i stała dielektryczna, (Ulaby, 1980). Znacznie dłuższa fala niż w przypadku zdjęć wykonywanych w widmie widzialnym czy podczerwieni sprawia, że promieniowanie mikrofalowe może także wnikać na pewną głębokość pod powierzchnię terenu. Stąd też zdjęcia mikrofalowe dostarczają zupełnie innych informacji niż tradycyjne techniki satelitarne, (Cravey i inni, 1998, Le Toan, 1993, Wooding, 1992).

Zdjęcia satelitarne zarejestrowane w wielu zakresach widma zezwalają na badanie różnych właściwości środowiska geograficznego i ich wzajemną korelację. Umożliwiają przede wszystkim określenie aktualnego pokrycia terenu i jego warunków wilgotnościowych oraz wynikających z nich kondycji roślin jednocześnie na dużym obszarze. W wyniku badań określono zmiany uwilgotnienia terenów bagiennych, które wykorzystano do oceny przekształceń stosunków wilgotnościowych jakie wystąpiły na obszarze Narodowego Parku Biebrzańskiego oraz jego otuliny, w tym szczególnie na obszarze tzw. „Trójkąta” pomiędzy rzeką Elk, Kanałem Woźnawiejskim i rzeką Jęgrznią, gdzie najintensywniej występują wyżej opisane zmiany uwilgotnienia.

Możliwość wykorzystania rejestrowanego przez satelitę Landsat ETM oraz NOAA/AVHRR promieniowania w dalekiej podczerwieni i zamianę sygnału na temperaturę skłoniło nas do pracy badawczej dążącej do wykorzystania metody uwzględniającej temperaturę roślin do obliczenia strumienia ciepła utajonego biorącego udział w procesie parowania, a następnie zastosowanie odpowiedniego wskaźnika, który charakteryzowałby wilgotność gleby w strefie korzeniowej roślin wskazującego na wielkość powierzchni projekcyjnej liści oraz plonów.



Rys. 1 Schemat integracji danych satelitarnych i innych informacji zasilających System

Energia cieplna roślin jest funkcją ich temperatury . Temperatura roślin regulowana jest w procesie wymiany ciepła z otoczeniem poprzez wypromieniowanie, konwekcję oraz transpirację. Monteith J.L. i Szeicz G. (1962) zdefiniowali temperaturę roślin jako temperaturę równowagi między przychodem energii z radiacji słonecznej i stratami jakie powstają przy wytworzeniu się ciepła jawnego i utajonego pomiędzy rośliną a powietrzem.

Badania nad wykorzystaniem temperatury radiacyjnej roślin do wyznaczania warunków wilgotnościowych prowadzone są od wielu lat na świecie. Jeden z najprostszych modeli nie wymagających dużo danych pomiarowych wyprowadzony przez (Idso i in. 1977) i (Jackson i in. 1977), polegał na zastosowaniu różnicy temperatury radiacyjnej i temperatury powietrza do wyznaczenia warunków wilgotnościowych roślin. Zrobiono założenie, że istotne czynniki zewnętrzne od których zależy parowanie, jak ciśnienie pary wodnej, strumień różnicowy radiacji i wiatr, będą odzwierciedlone w wysokości prędkości wiatru. Pomiarów temperatur wykonywano codziennie i wyznaczono skumulowany wskaźnik stresu roślin. Jeżeli różnica temperatur jest ujemna, wówczas roślina ma dostateczną ilość wody, natomiast dodatnia różnica wskazuje o warunkach stresowych roślin.

Metoda ta ze względu na niewielką ilość potrzebnych danych miałaby zastosowanie do badań warunków wilgotnościowych obszarów traw, gdyby były możliwe codzienne pomiary temperatury w warunkach bezchmurnych. Jest to jednak w Polsce niemożliwe, stąd też przystąpiono do rozwijania metody wykorzystującej temperaturę radiacyjną roślin, jak również zdjęcia mikrofalowe.

Temperatura powierzchni łąk, po uwzględnieniu korekcji uwzględniających osłabienie natężenia promieniowania podczerwonego po przejściu przez atmosferę ziemską, została wykorzystana do obliczenia wielkości ciepła utajonego. Zastosowano równanie bilansu cieplnego /1/, przedstawiające wymianę energii pomiędzy roślinami a otoczeniem.

$$RN = LE + H + G + Ph + Q + D \quad /1/$$

gdzie:

RN – strumień różnicowy promieniowania (saldo promieniowania)

LE – gęstość strumienia ciepła utajonego biorącego udział w procesach parowania i kondensacji

H – gęstość turbulencyjnego strumienia ciepła jawnego biorącego udział w procesach ogrzewania atmosfery lub płynącego a atmosfery do powierzchni czynnej

G - gęstość strumienia ciepła wymienianego pomiędzy powierzchnią czynną a podłożem

Ph – gęstość strumienia promieniowania słonecznego asymilowanego przez rośliny

Q – gęstość strumienia ciepła magazynowanego przez rośliny

D – ciepło wymieniane drogą poziomego przepływu

Wartości wszystkich strumieni wyrażone są w Wm^{-1}

W równaniu może zostać pominięta ilość radiacji zużytej przez roślinność łąkową w procesie fotosyntezy (Ph) ze względu na to, że wartość ta jest niewielka i nie przekracza 3% (wg Monteith 1973). Ciepło wymienione drogą poziomego przepływu (D) należy uwzględnić w przypadku analizowania terenów o silnie zróżnicowanym sposobie użytkowania ziemi. W omawianych badaniach wielkość ta została pominięta. Również wielkość strumienia ciepła magazynowanego lub uwalnianego przez rośliny (D), ze względu na jej małą wartość, może zostać pominięta. Uwzględniając powyższe uwagi równanie bilansu cieplnego można przedstawić następująco:

$$RN = LE + H + G \quad /2/$$

Tak więc ilość dostarczonej energii wykorzystywana jest głównie na energię związaną z zamianą wody w parę wodną, na ciepło wytworzone wskutek różnicy temperatur pomiędzy roślinami i atmosfera oraz na ciepło przepływu w glebie.

Z przeprowadzonych na obszarze badawczym pomiarów stwierdzono, że w warunkach dobrej wilgotności 80 % radiacji dochodzącej do powierzchni łąk podczas dnia zamieniona jest na ewapotranspirację, natomiast 5-10 % absorbowana jest przez glebę i około 10% wykorzystana jest w procesie konwekcji.

Gęstość strumienia ciepła jawnego (H) zależy od różnicy temperatur pomiędzy powierzchnią a powietrzem oraz od oporu powietrza na transport tego ciepła /3/.

$$H = \rho C_p (T_s - T_a) / r_a \quad /3/$$

gdzie:

ρ - gęstość powietrza

C_p - ciepło właściwe powietrza

T_s - temperatura powierzchni czynnej uzyskana ze zdjęć satelitarnych

T_a - temperatura powietrza

r_a - opór powietrza

Wartość oporu powietrza (r_a) jest odwrotnie proporcjonalna do prędkości wiatru i wprost proporcjonalna do szorstkości powierzchni roślinnej. W niniejszej pracy zastosowano korekcie ze względu na warunki niestabilne atmosfery.

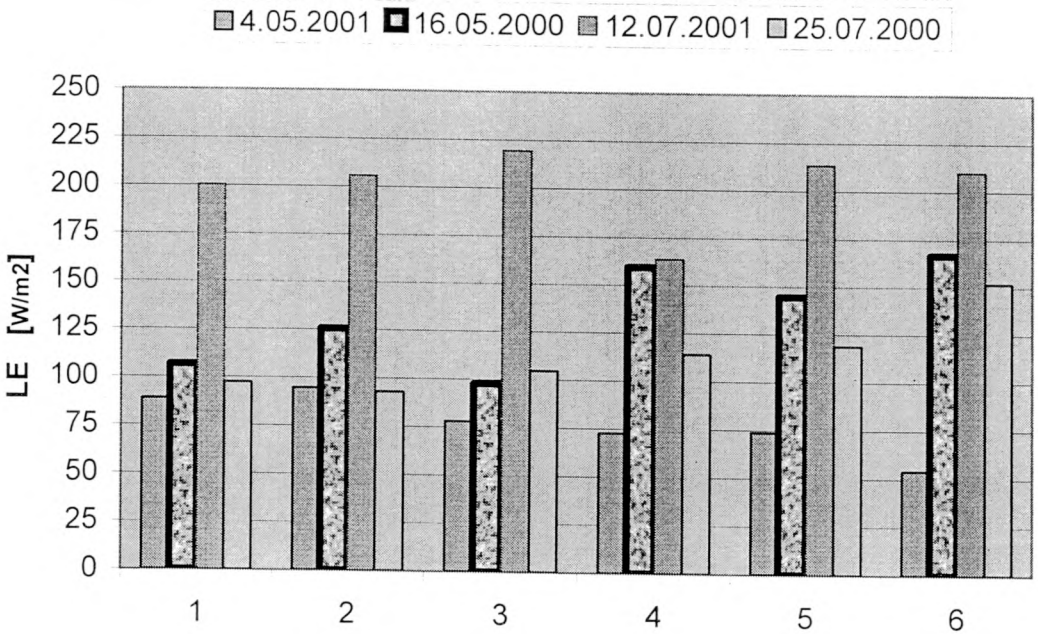
Na obrazie Landsat ETM przeprowadzono nadzorowaną klasyfikację roślinności trawiastej.

Do klasyfikacji wykorzystano dwa zestawy zdjęć pozyskanych w latach 1997 i 2000. Każdy z zestawów zawiera jedno zdjęcie wielospektralne z satelity Landsat oraz 3 zdjęcia mikrofalowe. Ze względu na różne terminy pozyskania, zdjęcia z 1997 roku (TM – 20.08.97; SAR – 3.07.97, 7.08.97, 11.09.97) odpowiadają innym fazom fenologicznym rozwoju roślin niż zdjęcia z roku 2000 (ETM – 16.05.2000; SAR –

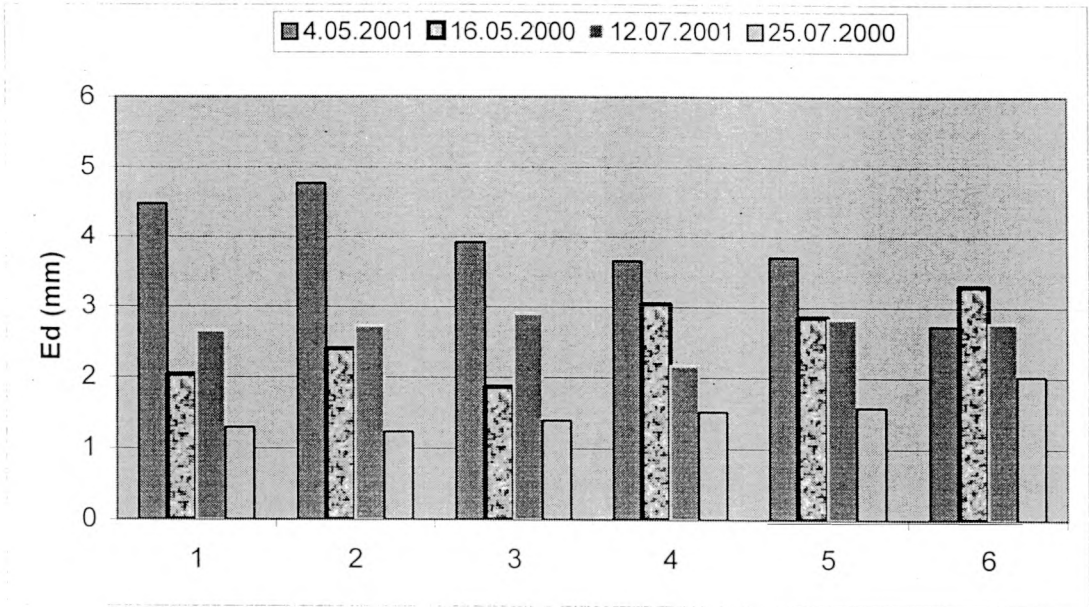
18.05.2000, 22.06.2000 i 31.08.2000). Szczególnie istotny jest wpływ na wyniki klasyfikacji zdjęć z maja 2000 r. ze względu na dużą wilgotność obserwowaną w tym okresie. Na obrazach wyraźnie zaznaczają się wtedy siedliska o wysokim stopniu uwilgotnienia.

W ramach przetwarzania wstępnego, mikrofalowe zdjęcia satelitarne zostały poddane filtracji mającej na celu zmniejszenie efektu plamkowania, typowego dla obrazowania z wykorzystaniem spójnego promieniowania mikrofalowego. Zastosowano metodę zaproponowaną przez S. Quegana [Quegan, 2001], a polegającą na wykorzystaniu do wyznaczenia parametrów filtru zestawu obrazów pozyskanych w różnych terminach dla tej samej sceny.

Dla każdej wyróżnionej klasy obliczono wartości gęstości strumienia utajonego a następnie wartości ewapotranspiracji chwilowej i dobowej.

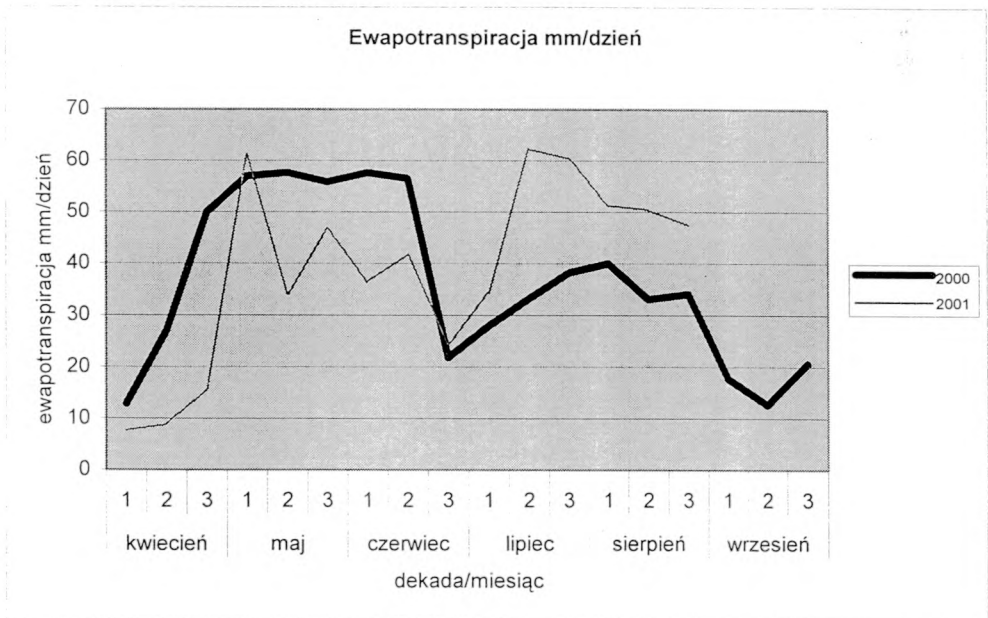


Rys. 2 Gęstość strumienia ciepła utajonego dla sześciu klas roślinnych obliczona z bilansu cieplnego

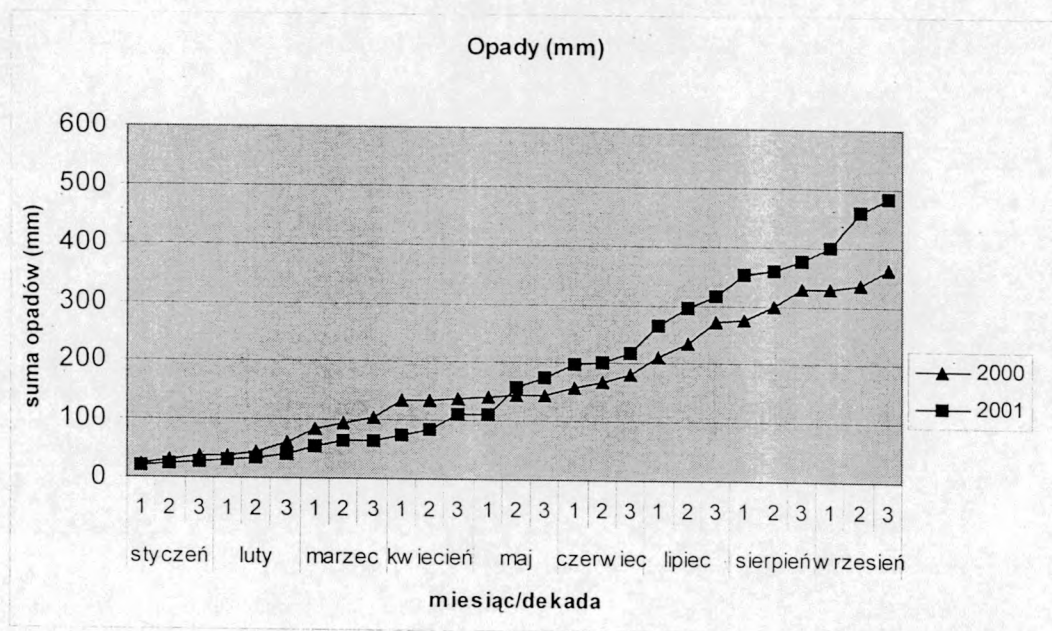


Rys. 3 Ewapotranspiracja dobowa dla sześciu klas trawiastych

1. łąki trawiaste; 2. pastwisko i łąki trawiaste z domieszką turzyc; 3. łąki trawiasto-turzycowo-mozgowe; 4. łąki trawiaste i ziołotrawiaste; 5. łąki turzycowo-trawiaste; 6. łąki błotnych turzycowisk



Rys. 4 Wartości ewapotranspiracji z lizymetrów



Rys. 5 Opady

Evapotranspiracja obliczona w funkcji pomiaru temperatury z pułapu satelitarnego i parametrów meteorologicznych (rys. 3) wyraża dużą zgodność z wartościami ewapotranspiracji zmierzonej przez lizymetr (rys. 4), oraz z przebiegiem opadów w roku 2000 i 2001.

Najmniejsza ewapotranspiracja występowała w lipcu 2000 roku, kiedy na badanym obszarze była susza. Wartości były znacznie niższe od wartości występujących w podobnym okresie w 2001 roku. W pierwszej dekadzie maja 2000 r. warunki wilgotnościowe były stosunkowo dobre, co zaznaczyło się zwiększonym parowaniem (rys. 3, 4, 5).

Spośród wielu metod oznaczania wilgotności gleby jedynie metody teledetekcji pozwalają na określenie przestrzennego rozkładu tego parametru na dowolnie dużym obszarze, w krótkim czasie i za względnie niską cenę (Byrne, 1981, Idso, 1969, Jackson, 1982, Moran, 1994). Metody te oparte są na rejestracji promieniowania elektromagnetycznego z pewnej odległości od powierzchni ziemi, np. z pułapu lotniczego lub satelitarnego (Ciołkosz, 1978). Wśród wielu zakresów promieniowania elektromagnetycznego dostępnych do prowadzenia obserwacji powierzchni ziemi z odległości, mikrofałe posiadają największy potencjał do określania wilgotności gleby, ponieważ wnikają w głąb gleby na głębokość zależną od długości fali - im dłuższa fala, tym większa głębokość penetracji (Ulaby, 1982). Poza tym promieniowanie mikrofalowe przenika przez chmury, co jest szczególnie ważne w przypadku wykonywania pomiarów wielokrotnych w ściśle określonych terminach okresu wegetacyjnego. Jednak podstawową cechą, dzięki której możliwe jest stosowanie mikrofal do oceny wilgotności

gleby jest jej reakcja na wielkość stałej dielektrycznej gleby, która jest w ścisłym związku z ilością zawartej w niej wody.

Z wielu dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że współczynnik rozpraszania wstecznego (wyrażający natężenie odbitego od badanej powierzchni promieniowania mikrofalowego) otrzymany ze zdjęć radarowych, tzw. σ° , wzrasta wraz ze wzrostem wilgotności gleby i zależy również od szorstkości badanej powierzchni i od typu pokrywy roślinnej (Ulaby, 1974). Przy określaniu wilgotności badanych powierzchni wpływ szorstkości na wielkość współczynnika σ° można ograniczyć do minimum, wykonując to zadanie dla obszarów o jednakowej szorstkości. Udowodniono, że szorstkość powierzchni może być wyrażona poprzez wskaźnik powierzchni projekcyjnej liści, tzw. LAI (Leaf Area Index) (Gruszczyńska, 1998).

Wskaźnik LAI jest wielkością bezwymiarową, charakteryzującą stosunek powierzchni liści do jednostkowej powierzchni gleby (zwykle jest nią 1 m^2), którą ta roślinność zajmuje. Wskaźnik ten może być również przedstawiany w postaci wymiarowej i wtedy jego jednostką jest m^2/m^2 . Wielkość ta wyraża zarówno gęstość roślin, jak i ich geometrię. Przeprowadzono korelacje pomiędzy wilgotnością gleby a wartościami współczynnika wstecznego rozpraszania dla poszczególnych klas użytkowania terenu i wartości LAI w danych klasach. Na podstawie analizy statystycznej uzyskano wilgotność gleby w poszczególnych klasach.

Przedstawiono metodę z zastosowaniem teledetekcji do obliczenia poszczególnych składników bilansu wodnego. Proponuje się stosunkowo prostą metodę obliczenia wielkości odpływu mając wartość parowania oraz wilgotności gleby oraz wielkość opadu. Dane te mogłyby służyć do weryfikacji istniejących modeli hydrologicznych uszczegółowiając ich wyniki.

Uzyskane wartości wilgotności gleby, ewapotranspiracji oraz wartości LAI w poszczególnych klasach użytkowania wprowadzono do modelu symulującego wartości ewapotranspiracji i wilgotności gleb w okresie co 10 dni.

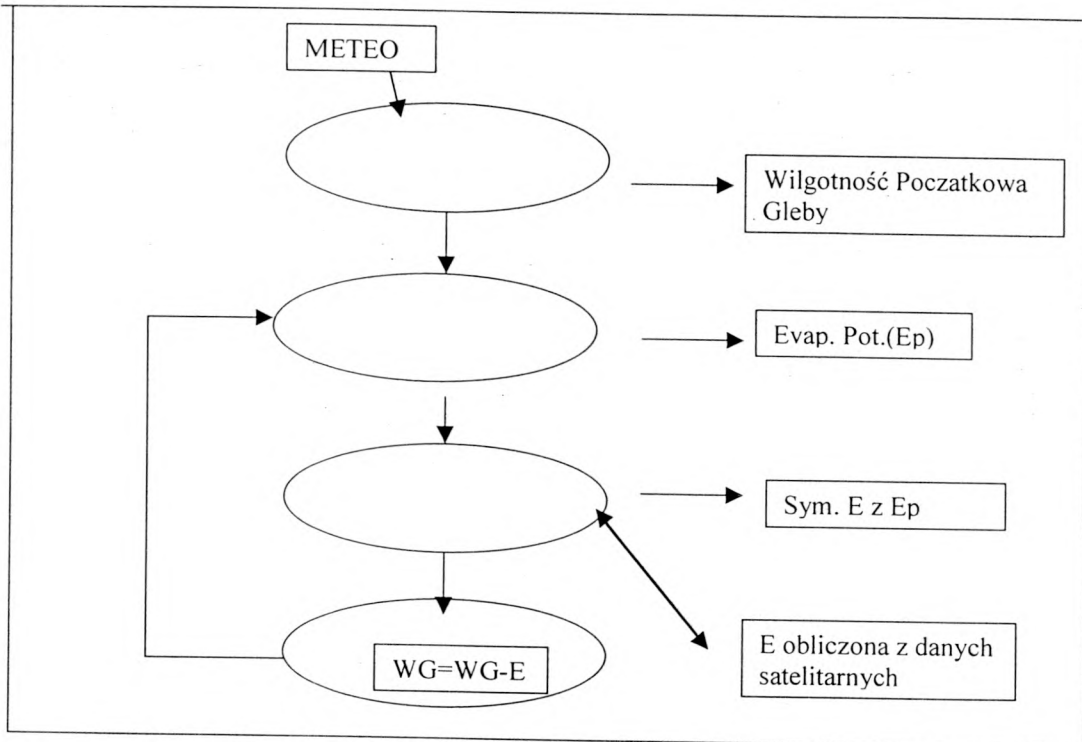
Obliczenie Odpływu

Wartość odpływu powierzchniowego jest mierzona jedynie na obszarach testowych ze względu na trudną instalację sprzętu na ciekach, natomiast odpływ wglebny jest bardzo trudny do pomiarów i wymaga założenia sieci studzienek pomiarowych. Stąd też proponowana metoda może mieć duże zastosowanie do obliczenia bilansu wodnego zlewni rzek na dużych obszarach.

$$R = P - ET - SM$$

R – odpływ, ET ewapotranspiracja, SM- wilgotność, P – opad.

Ewapotranspiracja została obliczona ze zdjęć NOAA a następnie symulowana w okresie dekadowym, wilgotność została obliczona na podstawie obrazów SAR i następnie wprowadzona została do modelu.



Rys. 6 Model bilansu wodnego

Literatura:

Byrne G.F., Dąbrowska-Zielińska K., Goodrick G.N. [1981]: *Use of visible and thermal satellite data to monitor an intermittently flooding marshland.* „Remote Sens. Environ.” 11, s. 393-399.

Cravey R.L., Jackson T.J., Hsu A.Y. 1998 Backscattering coefficient and soil moisture for the Southern Great Plains 1997 Proc. Of the Workshop on Retrieval of Bio and Geo-Physical Parameters from SAR data for land applications, ESTEC, The Netherlands.

Dąbrowska-Zielińska K. [1995]: *Szacowanie ewapotranspiracji, wilgotności gleb i masy zielonej łąk na podstawie zdjęć satelitarnych NOAA.* PAN, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Prace Geograficzne Nr 165, Continuo, Wrocław.

Dąbrowska-Zielinska K., Moran M.S., Maas, S.J., Pinter P.J., Kimball B. Qi J., 2001 "Demonstration of a remote sensing/modelling approach for irrigation scheduling and crop growth forecasting" Journal of Water and Land Development Polish Academy of Sciences, Committee for Land Reclamation and Environmental Engineering in Agriculture IMUZ - No 5 pp 69-87

Dąbrowska-Zielińska K., Kogan F., Ciołkosz A., Gruszczyńska M., Kowalik W., 2002, "Modelling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR based indices" *International Journal of Remote Sensing* (Elsevier) – Vol 23 No 6, str. 1109-1123

Gruszczyńska M., 1998, Zastosowanie zdjęć mikrofalowych z satelitów ERS-1 i ERS-2 do określenia wilgotności gleb pod zbożami, *Prace IGiK*, 1998, t. XLV, z. 97, s. 117-136.

Idso S.B., Jackson R.D. [1969]: *Thermal radiation from the atmosphere*. „*J. Geophys. Res.*” 74, s. 5397-5403.

Jackson R.D. [1983]: *Canopy temperature and crop water stress*. „*Adv. Irrig.*” 1, s. 43-85.

Le Toan, P.Smacchia, J.C.Souyris, A.Beadoin, Merdas M., Wooding M., Lichteneger, 1993, On the retrieval of soil moisture from ERS-1 SAR data. *Proc. of the Second ERS-1 Symposium*.

Okruszko H., Szuniewicz J., Kamiński J., Chrzanowski S., 1996, Charakterystyka środowiska oraz zakres potrzeb jego renaturyzacji w Basenie Środkowym Biebrzy. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* nr 432 PAN.

Quegan S., 2001 „Filtering of Multichannel SAR Images”, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 39, No. 11, str. 2373 – 2379

Roguski W., Sarnacka S., Drupka S., 1988: Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych. *Mater.Instr.66*, IMUZ Falenty.

Szuniewicz J., Chrzanowski S., 1996: Współczynniki roślinne do obliczania ewapotranspiracji łąki trzykośnej na glebie torfowo-murszowej w Polsce północno-wschodniej. *Wiad. IMUZ* t.18 z.4.

Ulaby F.T. [1974]: *Radar Measurement of Soil Moisture Content*. „*IEEE Transactions on Antennas and Propagation*”, Vol. AP-22, No. 2.

Wooding M.G., G.H. Griffiths, R.Evans, P.Bird, D.Kenward, G.E.Keyte, 1992, Temporal monitoring of soil moisture using ERS-1 SAR data. *Proc. First ERS-1 Symposium Cannes*, pp 641-648.

Recenzowała: prof. dr hab. Aleksandra Bujakiewicz