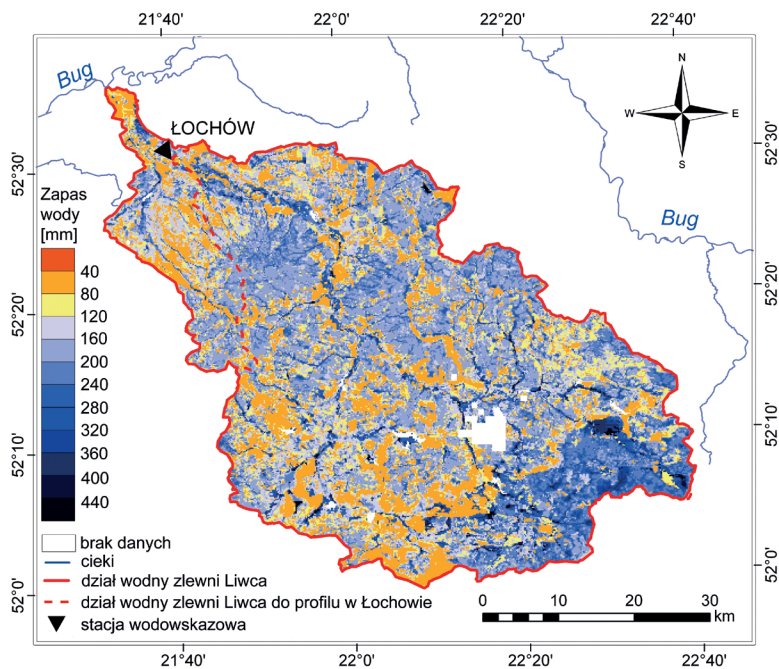


Rys. 6.19. Średni zapas wody w warstwie 0-50 cm w 1983 r.



Rys. 6.20. Średni zapas wody w warstwie 0-50 cm w 2010 r.

Przestrzenne zróżnicowanie warunków wilgotnościowych w 1983 r. przedstawia rys. 6.19. Zanotowano wówczas najniższy średni roczny stan retencji strefy aeracji, równy 116 mm. Stanowił on 91% wartości średniej rocznej. Pod względem opadów atmosferycznych był to rok suchy. Niedobory wilgoci glebowej wystąpiły w sierpniu i na początku września. Minimalną wielkość zapasów – 63 mm, zaobserwowano w dniu 30 sierpnia. Były one jednak o 11 mm większe w stosunku do wartości najmniejszej w wieloletniu 1980-2011, która wystąpiła 29 i 30 lipca 2006 r. Rysunek 6.20 przedstawia rozkład przestrzenny średnich zapasów wody w warstwie 0-50 cm w 2010 r., który wyróżniał się najwyższym średnim rocznym stanem retencji strefy aeracji, równym 141 mm.

7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zasoby wodne strefy aeracji, będące przedmiotem badań niniejszej pracy, są ważnym elementem obiegu wody w zlewni. Podjęte badania stanowią wkład w rozpoznanie ich sezonowej i wieloletniej zmienności. Do analizy wybrano niziną zlewnię Liwca. Jej heterogeniczność pod względem czynników, które wpływają na stan retencji strefy aeracji, zdecydowała o włączeniu w badania nad dynamiką czasową również analizy zróżnicowania przestrzennego.

W ramach pracy zrealizowano następujące zadania badawcze:

- Przeprowadzono osiemnaście serii pomiarowych wilgotności objętościowej gleby w sześciu profilach w zlewni Liwca w okresie od września 2009 r. do października 2011 r.
- Pozyskano i przetworzono dane gridowe z globalnej bazy GLDAS. Dane 3-godzinny krok czasowy obejmują wielolecie 1980-2011 i dotyczą zapasu wody w czterech warstwach gruntu.
- Zgromadzono bazę danych przestrzennych o obszarze badań, obejmującą mapy cyfrowe i obrazy satelitarne.
- Przeprowadzono analizę stabilności czasowej uwilgotnienia gleby w profilach pomiarowych.
- Dokonano parametryzacji czynników kształtujących możliwości gromadzenia wody w strefie aeracji. Na tej podstawie opracowano statyczny model struktury przestrzennej warunków wilgotnościowych w zlewni Liwca.
- Zrekonstruowano szeregi czasowe zasobów wodnych strefy aeracji w zlewni w latach 1980-2011 za pomocą modelu HBV, który wcześniej skalibrowano i zweryfikowano.

- Poddano analizie porównawczej dane empiryczne, dane gridowe GLDAS oraz dane modelowe HBV dotyczące wilgotności gleby.
- Dokonano oceny zmienności sezonowej i wieloletniej zasobów wodnych strefy aeracji z uwzględnieniem zmienności czynników meteorologicznych.

Zrealizowanie wszystkich zadań badawczych pozwoliło na sformułowanie następujących wniosków:

1. Badania eksperymentalne, prowadzone w sześciu profilach glebowych zlokalizowanych w zlewni Liwca, wykazały znaczne zróżnicowanie przestrzenne zasobów wodnych strefy aeracji, wyrażone wilgotnością objętościową oraz zapasem wody. Najmniejszą wilgotność objętościową pomierzono w profilach położonych na stokach o niewielkim nachyleniu i zbudowanych z piasków luźnych i słabogliniastych (np. profil Sinołęka – średnio 7,1%), największą – w profilach położonych w dolinach rzecznych z płytkim występowaniem zwierciadła wody podziemnej (np. profil Bednarze – średnio 30,8%). Zidentyfikowane zróżnicowanie zasobów wodnych strefy aeracji można przypisać w tej zlewni przede wszystkim topografii, uziarnieniu oraz położeniu zwierciadła wody podziemnej.
2. Uwilgotnienie profili glebowych, mimo przestrzennego zróżnicowania, charakteryzuje się stabilnością czasową ocenioną zgodnie z koncepcją zaproponowaną przez Vachauda i in. (1985). Wskazuje to na istnienie nieziennej w czasie struktury przestrzennej warunków wilgotnościowych w zlewni Liwca. Największą stabilnością wyróżnia się średnia wilgotność objętościowa w warstwie 0-50 cm. Wyniki przeprowadzonej analizy pozwoliły zastosować metodę skalowania w górę informacji punktowych w celu oceny zasobów wodnych strefy aeracji w zlewni.
3. Opracowany model struktury przestrzennej warunków wilgotnościowych w zlewni Liwca umożliwił wskazanie obszarów o dużych możliwościach rencyjnych oraz obszarów narażonych na niedobory wilgoci glebowej. Do obszarów, które mogą okresowo charakteryzować się nadmiarem wody należą: południowo-wschodnia część zlewni oraz doliny rzeczne. Z kolei szczególnie zagrożone suszami glebowymi są obszary położone poza obniżeniami terenu, zbudowane z utworów gruboziarnistych, występujące miejscami w północno-zachodniej oraz południowo-zachodniej części zlewni.
4. Wykazano, że w warstwie 0-50 cm zapas wody w zlewni Liwca w terminach badań terenowych wahał się w zakresie od 80 mm do 142 mm wg metody grupowania i od 83 mm do 151 mm wg metody skalowania. Średnia zasobność strefy aeracji wynosiła wg dwóch metod odpowiednio 113 mm i 117 mm.

Zaproponowane dwie metody skalowania w górę informacji punktowych dały zatem zbliżone wartości zapasu wody w warstwie 0-50 cm w zlewni Liwca.

5. Kalibracja modelu HBV pozwoliła ustalić trzy zestawy wartości czternastu parametrów modelu. Uzyskano zgodność wartości przepływu obserwowanego i symulowanego, ocenioną wskaźnikami jakości modelu. Duże wartości współczynnika efektywności modelu oraz współczynnika determinacji pozwoliły przyjąć, że dokładność odtwarzania przepływów przez model była wystarczająco dobra. Zauważono jedynie niedoszacowanie wartości przez model w zakresie najwyższych przepływów. Weryfikacja modelu na okresie niezależnym pozwoliła zastosować model w symulacji zasobów wodnych strefy aeracji w latach 1980-2011. Uzyskane dobowe oraz miesięczne wartości zapasu wody wykazują istotną statystycznie korelację z danymi z bazy GLDAS. Analiza porównawcza wyników obliczeń modelu HBV z wynikami opracowanej metody skalowania w górę punktowych danych empirycznych wykazała dużą zależność między wartościami zapasu wody w strefie aeracji, określonymi tymi metodami.
6. Dane zapasu wody w warstwie 0-50 cm, pozyskane z bazy GLDAS, dobrze reprezentują zasoby wodne określone podczas badań terenowych. Wskazuje to na przydatność danych gridowych w badaniach hydrologicznych. Dostępność długich szeregów czasowych danych umożliwia badanie wieloletnich tendencji zmiennych. Należy jednak zauważyć, że rozdzielczość przestrzenna danych GLDAS może być niewystarczająca w badaniach małych zlewni, a wówczas niezbędne jest stosowanie metody skalowania.
7. Analiza sezonowej zmienności stanów retencji strefy aeracji, wykonana na podstawie danych z modelu HBV w wieloleciu 1980-2011, wykazała, że w roku normalnym występują duże zapasy wilgoci glebowej w półroczu zimowym, z maksimum w lutym, oraz mniejsze w półroczu letnim, z minimum w lipcu bądź sierpniu. Sezonowy rytm zmian obejmuje przyrosty zasobów w okresie jesiennym i zimowym oraz ich ubytki w okresie wiosennym, aż do najmniejszych wartości latem. Rytm ten nawiązuje do przebiegu zmian relacji między opadem atmosferycznym a ewapotranspiracją.
8. Analiza wieloletniej zmienności, wykonana na podstawie danych z modelu HBV, nie wykazała istotnej statystycznie tendencji zmian zasobów wodnych strefy aeracji w zlewni Liwca. Nie zaobserwowano również istotnych statystycznie zmian rocznych sum opadów atmosferycznych i ewapotranspiracji. W analizowanym wieloleciu 1980-2011 występowały natomiast okresy lat suchych i wilgotnych.

Wnioski uzyskane podczas prowadzonych badań pozwoliły zweryfikować postawione na początku pracy hipotezy badawcze. W nizinnej zlewni Liwca w okresie 1980-2011 nie zaobserwowano istotnych statystycznie trendów świadczących o zmianach zasobów wodnych strefy aeracji. Wykazano natomiast istnienie sekwencji lat o niskim i wysokim stanie retencji, które nawiązują do sekwencji lat mokrych i wilgotnych pod względem opadów atmosferycznych. Zaproponowana procedura skalowania w górę punktowych danych empirycznych z wykorzystaniem statycznego modelu struktury przestrzennej uwilgotnienia gleby może być przydatna w szacowaniu zasobów wodnych strefy aeracji w zlewni. Wartości uzyskane tą metodą wykazują silną zależność z wartościami z modelu HBV oraz z bazy danych GLDAS.

W dalszych badaniach wskazane byłoby zastosowanie modelu HBV w ocenie zasobów wodnych w innych zlewniach nizinnych w Polsce, w których od 2008 r. prowadzony jest naziemny monitoring uwilgotnienia gleby. Coraz dłuższe serie danych wilgotności gleby mogą służyć do weryfikacji danych modelowych. Rozpoznanie historycznej dynamiki zapasów wodnych stanowi podstawę skutecznego prognozowania zmian tego parametru w przyszłości. Ciekawym celem przyszłych badań wydaje się ocena potencjalnych zmian wilgoci glebowej z zastosowaniem scenariuszy zmian klimatu. W przyszłości można również podjąć próbę weryfikacji opracowanego modelu zróżnicowania przestrzennego uwilgotnienia gleby poprzez porównanie z przestrzennymi danymi satelitarnymi, których rozdzielczość przestrzenna oraz jakość stale się poprawiają.

LITERATURA

- Albergel C., Rüdiger C., Carrer D., Calvet J.-C., Fritz N., Naeimi V., Bartalis Z., Hasenauer S., 2009, An evaluation of ASCAT surface soil moisture products with in-situ observations in Southwestern France, *Hydrology and Earth System Sciences*, 13 (2), 115-124, dostęp online: <http://hydrol-earth-syst-sci.net/13/115/2009/hess-13-115-2009.pdf> (14.03.2016)
- Atlas klimatu Polski, 2005, H. Lorenc (red.), IMGW, Warszawa, 116 s.
- Aubert D., Loumagne C., Oudin L., 2003, Sequential assimilation of soil moisture and stream flow data in a conceptual rainfall-runoff model, *Journal of Hydrology*, 280 (1-4), 145-161, DOI: 10.1016/S0022-1694(03)00229-4
- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 1999, *Hydrologia ogólna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 316 s.
- Bartalis Z., Wagner W., Naeimi V., Hasenauer S., Scipal K., Bonekamp H., Figa J., Anderson C., 2007, Initial soil moisture retrievals from the METOP-A Advanced Scatterometer (ASCAT), *Geophysical Research Letters*, 34 (20), L20401, DOI: 10.1029/2007GL031088

- Bartalis Z., Naeimi V., Hasenauer S., Wagner W., 2008, ASCAT Soil Moisture. Product Handbook, ASCAT Soil Moisture Report Series No. 15, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology, Austria, 22 s., dostęp online: http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_219464.pdf (30.12.2015)
- Becker A., Braun P., 1999, Disaggregation, aggregation and spatial scaling in hydrological modeling, *Journal of Hydrology*, 217 (3-4), 239-252, DOI: 10.1016/S0022-1694(98)00291-1
- Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojska U., Prusinkiewicz Z., 2004, *Badania ekologiczno-gleboznawcze*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 344 s.
- Bergström S., 1976, Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments, Department of Water Resources Engineering, Lund Institute of Technology, University of Lund, Norrköping, Sweden, 134 s.
- Bergström S., 1992, The HBV model – its structure and applications, *SMHI Reports Hydrology*, 4, 37 s., dostęp online: http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.83589!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/RH_4.pdf (14.03.2016)
- Bergström S., Forsman A., 1973, Development of a conceptual deterministic rainfall-runoff model, *Nordic Hydrology*, 4 (3), 147-170
- Bergström S., Graham L.P., 1998, On the scale problem in hydrological modeling, *Journal of Hydrology*, 211 (1-4), 253-265, DOI: 10.1016/S0022-1694(98)00248-0
- Bergström S., Carlsson B., Gardelin M., Lindström G., Pettersson A., Rummukainen M., 2001, Climate change impacts on runoff in Sweden assessments by global climate models, dynamical downscaling and hydrological modelling, *Climate Research*, 16 (2), 101-116, DOI: 10.3354/cr016101
- Beven K., 1997, TOPMODEL: a critique, *Hydrological Processes*, 11 (9), 1069-1085, DOI: 10.1002/(SICI)1099-1085(199707)11:9<1069::AID-HYP545>3.0.CO;2-O
- Beven K.J., Kirkby M.J., 1979, A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrological Sciences Bulletin*, 24 (1), 43-69, DOI: 10.1080/02626667909491834
- Bielecka E., Ciołkosz A., 2009, Baza danych o pokryciu terenu w Polsce CLC-2006, *Polski Przegląd Kartograficzny*, 41 (3), 227-236, dostęp online: <http://ppk.net.pl/artykuly/2009303.pdf> (14.03.2016)
- Biniak-Pieróg M., 2008, Wpływ elementów meteorologicznych na zmienność zasobów wodnych gleby w półroczu zimowym, *Współczesne Problemy Inżynierii Środowiska*, 7, Monografie Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 130 s., dostęp online: [oai:www.dbc.wroc.pl:18742](http://oai.wwd.bc.wroc.pl:18742) (15.03.2016)
- Blöschl G., 2001, Scaling in hydrology, *Hydrological Processes*, 15, 709-711, DOI: 10.1002/hyp.432
- Blöschl G., Sivapalan M., 1995, Scale issues in hydrological modelling: A review, *Hydrological Processes*, 9 (3-4), 251-290, DOI: 10.1002/hyp.3360090305

- Bormann H., Elfert S., 2010, Application of WaSiM-ETH model to Northern German lowland catchments: model performance in relation to catchment characteristics and sensitivity to land use change, *Advances in Geosciences*, 27, 1-10, DOI: 10.5194/adgeo-27-1-2010
- Brandyk T., Oleszczuk R., Szatyłowicz T., 2006, Porównanie różnych sposobów określania zapasów wody w glebie torfowo-murszowej użytkowanej łąkowo, *Acta Agrophysica*, 8 (1), 11-21, dostęp online: http://www.old.acta-agrophysica.org/artykuly/acta_agrophysica/ActaAgr_139_2006_1_8_11.pdf (14.03.2016)
- Brocca L., Morbidelli R., Melone F., Moramarco T., 2007, Soil moisture spatial variability in experimental areas of central Italy, *Journal of Hydrology*, 333 (2-4), 356-373, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2006.09.004
- Brocca L., Melone F., Moramarco T., Morbidelli R., 2009, Soil moisture temporal stability over experimental areas in Central Italy, *Geoderma*, 148 (3-4), 364-374, DOI: 10.1016/j.geoderma.2008.11.004
- Brocca L., Melone F., Moramarco T., Wagner W., Naeimi V., Bartalis Z., Hasenauer S., 2010, Improving runoff prediction through the assimilation of the ASCAT soil moisture product, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14 (10), 1881-1893, DOI: 10.5194/hess-14-1881-2010
- Byczkowski A., 1996, *Hydrologia*, tom I, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 375 s.
- Chanasyk D.S., Naeth M.A., 1996, Field measurement of soil moisture using neutron probes, *Canadian Journal of Soil Science*, 76 (3), 317-323, DOI: 10.4141/cjss96-038
- Cheema M.J.M., Bastiaanssen W.G.M., Rutten M.M., 2011, Validation of surface soil moisture from AMSR-E using auxiliary spatial data in the transboundary Indus Basin, *Journal of Hydrology*, 405 (1-2), 137-149, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.05.016
- Chojnicki Z., 1999, *Podstawy metodologiczne i teoretyczne geografii*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 446 s.
- Cosh M.H., Jackson T.J., Starks P., Heathman G., 2006, Temporal stability of surface soil moisture in the Little Washita River watershed and its applications in satellite soil moisture product validation, *Journal of Hydrology*, 323 (1-4), 168-177, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.08.020
- Crave A., Gascuel-Oudou C., 1997, The influence of topography on time and space distribution of soil surface water content, *Hydrological Processes*, 11 (2), 203-210, DOI: 10.1002/(SICI)1099-1085(199702)11:2<203::AID-HYP432>3.0.CO;2-K
- Czarnecka H. (pod kierunkiem), 2005, *Atlas podziału hydrograficznego Polski, część 1: Mapa w skali 1:200000 (111 ark.), część 2: Zestawienie zlewni (581 s.)*, IMGW, Warszawa
- Czarnecka H., Dobrowolski A., Głowacka B., Hołdakowska J., Krupa-Marchlewska J., 2006, *Mapa cyfrowa podziału hydrograficznego Polski i jej zastosowania, [w:] Zastosowanie GIS w meteorologii i gospodarce wodnej, M. Gromiec (red.), IMGW, Warszawa, 133-150*

- Czarnecka H., Głowacka B., Krupa-Marchlewska J., 2010, Mapa cyfrowa podziału hydrograficznego Polski (MPHP), [w:] *Hydrologia w ochronie i kształtowaniu środowiska*, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 69 (2), A. Magnuszewski (red.), Krajowy Kongres Hydrologiczny, 7-15
- Dąbrowska-Zielińska K., Ciołkosz A., 2007, Zastosowanie zdjęć satelitarnych do monitorowania suszy w Polsce, *Przegląd Geofizyczny*, LII (3-4), 161-178
- Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M.A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Haimberger L., Healy S.B., Hersbach H., Hólm E.V., Isaksen L., Kållberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A.P., Monge-Sanz B.M., Morcrette J.J., Park B.K., Peubey C., de Rosnay P., Tavolato C., Thépaut J.N., Vitart F., 2011, The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137 (656), 553-597, DOI: 10.1002/qj.828
- Dirmeyer P.A., 2000, Using a global soil wetness dataset to improve seasonal climate simulation, *Journal of Climate*, 13 (16), 2900-2922, DOI: 10.1175/1520-0442(2000)013<2900:UAG-SWD>2.0.CO;2
- Dobrzański B., Zawadzki S. (red.), 1995, *Gleboznawstwo*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 561 s.
- Dorigo W.A., van Oevelen P., Wagner W., Drusch M., Mecklenburg S., Robock A., Jackson T., 2011a, A new international network for in situ soil moisture data, *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 92 (17), 141-142, DOI: 10.1029/2011EO170001
- Dorigo W.A., Wagner W., Hohensinn R., Hahn S., Paulik C., Xavier A., Gruber A., Drusch M., Mecklenburg S., van Oevelen P., Robock A., Jackson T., 2011b, The International Soil Moisture Network: a data hosting facility for global in situ soil moisture measurements, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 1675-1698, DOI: 10.5194/hess-15-1675-2011
- Doroszewski A., Kozyra J., Pudelko R., Styczyński T., Jadczyzyn J., Koza P., Łopatka A., 2008, Monitoring suszy rolniczej w Polsce, *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, 1, 35-38
- Doroszewski A., Jadczyzyn J., Kozyra J., Pudelko R., Styczyński T., Mizak K., Łopatka A., Koza P., Górski T., Wróblewska E., 2012, Podstawy systemu monitoringu suszy rolniczej, *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 12 (2), 71-99, dostęp online: http://www.itep.edu.pl/wydawnictwo/woda/zeszyt_38_2012/artykuly/Doroszewski%20i%20in.pdf (14.03.2016)
- Driessen T.L.A., Hurkmans R.T.W.L., Terink W., Hazenberg P., Torfs P.J.J.F., Uijlenhoet R., 2010, The hydrological response of the Ourthe catchment to climate change as modelled by the HBV model, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14 (4), 651-665, DOI: 10.5194/hess-14-651-2010

- Eagleson P.S., 1978, *Hydrologia dynamiczna*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 500 s.
- Eagleson P.S., 1982, Ecological optimality in water-limited natural soil-vegetation systems: 1. Theory and hypothesis, *Water Resources Research*, 18 (2), 325-340, DOI: 10.1029/WR018i002p00325
- EkM.B., Holtslag A.A.M., 2004, Influence of soil moisture on boundary layer cloud development, *Journal of Hydrometeorology*, 5 (1), 86-99, DOI: 10.1175/1525-7541(2004)005<0086:IOSMOB>2.0.CO;2
- Entin J.K., Robock A., Vinnikov K.Y., Hollinger S.E., Liu S., Namkhai A., 2000, Temporal and spatial scales of observed moisture variations in the extratropics, *Journal of Geophysical Research*, 105 (D9), 11865-11877, DOI: 10.1029/2000JD900051
- Entekhabi D., Njoku E.G., O'Neill P.E., Kellogg K.H., Crow W.T., Edelstein W.N., Entin J.K., Goodman S.D., Jackson T.J., Johnson J., Kimball J., Piepmeier J.R., Koster R.D., Martin N., McDonald K.C., Moghaddam M., Moran S., Reichle R., Shi J.C., Spencer M.W., Thurman S.W., Tsang L., Van Zyl J., 2010, The soil moisture active passive (SMAP) mission, *Proceedings of the IEEE*, 98 (5), 704-716, DOI: 10.1109/JPROC.2010.2043918
- Evelt S.R., Steiner J.L., 1995, Precision of neutron scattering and capacitance type soil water content gauges from field calibration, *Soil Science Society of America Journal*, 59 (4), 961-968
- Evelt S.R., Laurent J.P., Cepuder P., Hignett C., 2002, Neutron scattering, capacitance, and TDR soil water content measurements compared on four continents, [w:] 17th World Congress of Soil Science, 14-21 August 2002, Thailand, Symposium No 59, Paper No 1021, Presentation: poster 1021.1-1021.10
- Farr T.G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D., Alsdorf D., 2007, The Shuttle Radar Topography Mission, *Reviews of Geophysics*, 45 (2), DOI: 10.1029/2005RG000183
- Fitzjohn C., Ternan J.L., Williams A.G., 1998, Soil moisture variability in a semi-arid gully catchment: Implications for runoff and erosion control, *Catena*, 32 (1), 55-70, DOI: 10.1016/S0341-8162(97)00045-3
- Gessler P.E., Moore I.D., McKenzie N.J., Ryan P.J., 1995, Soil-landscape modelling and spatial prediction of soil attributes, *International Journal of Geographical Information Systems*, 9 (4), 421-432, DOI: 10.1080/02693799508902047
- Giętkowski T., Zachwatowicz M., 2008, Klasyfikacja rzeźby w oparciu o pochodne Numerycznego Modelu Wysokości i jej potencjalne zastosowania w badaniach krajobrazowych, *Problemy Ekologii Krajobrazu*, 21, 111-125
- Gilewska S., 1999, Współczesne środowisko przyrodnicze. Rzeźba, [w:] *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, L. Starkel (red.), Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 243-288

- Gómez-Plaza A., Alvarez-Rogel J., Albaladejo J., Castillo V.M., 2000, Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scale in a semi-arid environment, *Hydrological Processes*, 14 (7), 1261-1277, DOI: 10.1002/(SICI)1099-1085(200005)14:7<1261::AID-HYP40>3.0.CO;2-D
- Goot van der E., Orlandi S., 2003, Technical description of interpolation and processing of meteorological data in CGMS, Joint Research Centre of the European Commission, Ispra, Italy, 24 s., dostęp online: <http://ies-webarchive-ext.jrc.it/mars/mars/content/download/562/4097/file/GridWeatherCGMS.pdf> (30.12.2015)
- Grabs T., Seibert J., Bishop K., Laudon H., 2009, Modeling spatial patterns of saturated areas: A comparison of the topographic wetness index and a dynamic distributed model, *Journal of Hydrology*, 373 (1-2), 15-23, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.03.031
- Grayson R.B., Western A.W., 1998, Towards areal estimation of soil water content from point measurements: time and space stability of mean response, *Journal of Hydrology*, 207 (1-2), 68-82, DOI: 10.1016/S0022-1694(98)00096-1
- Grayson R.B., Western A.W., Chiew F.H., Blöschl G., 1997, Preferred states in spatial soil moisture patterns: Local and nonlocal controls, *Water Resources Research*, 33 (12), 2897-2908, DOI: 10.1029/97WR02174
- Greco R., Guida A., 2008, Field measurements of topsoil moisture profiles by vertical TDR probes, *Journal of Hydrology*, 348 (3-4), 442-451, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2007.10.013
- GRS-1 Operator's Manual, 2009, Topcon Positioning Systems, Livermore, 142 ss., dostęp online: <http://www.manualslib.com/manual/798625/Topcon-Grs-1.html> (30.12.2015)
- Gruhler C., de Rosnay P., Hasenauer S., Holmes T., de Jeu R., Kerr Y., Mougin E., Njoku E., Timouk F., Wagner W., Zribi M., 2010, Soil moisture active and passive microwave products: intercomparison and evaluation over a Sahelian site, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14 (1), 141-156, DOI: 10.5194/hess-14-141-2010
- Gurtz J., Zappa M., Jasper K., Lang H., Verbunt M., Badoux A., Vitvar T., 2003, A comparative study in modelling runoff and its components in two mountainous catchments, *Hydrological Processes*, 17 (2), 297-311, DOI: 10.1002/hyp.1125
- Gutry-Korycka M., 1980, Matematyczno-fizyczne aspekty procesu intercepcji szaty roślinnej, *Przegląd Geofizyczny*, 25 (2), 117-128
- Gutry-Korycka M., 1996, Cechy fizycznogeograficzne badanych zlewni, [w:] *Studia nad wpływem globalnych zmian klimatu na obieg wody w zlewni*, M. Gutry-Korycka (red.), Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski, Warszawa, 46-52
- Gutry-Korycka M., 1997, Formy retencji powierzchniowej w zlewni, [w:] *Hydrologia dynamiczna*, U. Soczyńska (red.), Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 185-230
- Gutry-Korycka M., 2001, Rola skali w geokosystemach, [w:] *Funkcjonowanie geokosystemów w warunkach morfoklimatycznych – monitoring, ochrona, edukacja*, A. Karczewski, Z. Zwoliński (red.), Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Poznań, 157-176

- Gutry-Korycka M., Soczyńska U., 1997, Cykl hydrologiczny zlewni, [w:] *Hydrologia dynamiczna*, U. Soczyńska (red.), Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 14-39
- Gutry-Korycka M., Soczyńska U., 2000, Prognozowanie ustroju hydrologicznego w różnych skalach geograficznych, *Przegląd Geofizyczny*, 45 (3-4), 239-250
- Häggström M., Lindström G., Cobos C., Martínez J.R., Merlos L., Alonzo R.D., Castillo G., Sirias C., Miranda D., Granados J., Alfaro R., Robles E., Rodríguez M., Moscote R., 1990, Application of the HBV model for flood forecasting in six Central American rivers, *SMHI Hydrology*, 27, 74 s.
- Hillel D., 1998, *Environmental Soil Physics*, Academic Press, San Diego, USA, 771 s.
- Hummel J.W., Sudduth K.A., Hollinger S.E., 2001, Soil moisture and organic matter prediction of surface and subsurface soils using an NIR soil sensor, *Computers and Electronics in Agriculture*, 32 (2), 149-165, DOI: 10.1016/S0168-1699(01)00163-6
- Instrukcja obsługi FOM/mts i TDR/MUX/mpts, wersja 1.2, 2008, Instytut Agrofizyki Polskiej Akademii Nauk, Lublin
- Jacobs J.M., Hsu E.-C., Choi M., 2010, Time stability and variability of electronically scanned thinned array radiometer soil moisture during Southern Great Plains hydrology experiments, *Hydrological Processes*, 24 (19), 2807-2819, DOI: 10.1002/hyp.7703
- Janik G., 2004, Badania nad zastosowaniem reflektometrii czasowej (TDR) do oceny opadu efektywnego, *Acta Agrophysica*, 4 (2), 325-338, dostęp online: http://www.old.acta-agrophysica.org/artykuly/acta_agrophysica/ActaAgr_111_2004_4_2_325.pdf (14.03.2016)
- Jasper K., Calanca P., Fuhrer J., 2006, Changes in summertime soil water patterns in complex terrain due to climatic change, *Journal of Hydrology*, 327 (3-4), 550-563, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.11.061
- Jarvis A., Reuter H.I., Nelson A., Guevara E., 2008, Hole-filled SRTM for the globe Version 4, CGIAR-CSI SRTM 90m Database, dostęp online: <http://srtm.csi.cgiar.org> (30.12.2015)
- Jaworski J., 1991, Modelowanie zmian zapasów wody w strefie aeracji, *Wiadomości IMGW*, 14 (1-4), 23-34
- Jaworski J., 1996, Ocena wpływu przewidywanych zmian globalnych klimatu na elementy obiegu wody w zlewni, [w:] *Studia nad wpływem globalnych zmian klimatu na obieg wody w zlewni*, M. Gutry-Korycka (red.), Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski, Warszawa, 102-119
- Jaworski J., 1997, Parowanie terenowe, [w:] *Hydrologia dynamiczna*, U. Soczyńska (red.), PWN, Warszawa, 139-184
- Jokiel P., 2004, *Zasoby wodne środkowej Polski na progu XXI wieku*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź
- Jokiel P., 2008, Przepływy ekstremalne wybranych rzek środkowej Polski w latach 1951-2000, [w:] *Zjawiska ekstremalne i zdarzenia nadzwyczajne w środkowej Polsce*, P. Jokiel (red.), *Acta Universitatis Lodzianis — Folia Geographica Physica*, 8, 99-129

- Jokiel P., 2010, Nizówki i odpływ niżówkowe w małych rzekach środkowej Polski w drugiej połowie XX w., [w:] Woda-Zagrożenia-Zmiany, Odpływ rzeczny i jego uwarunkowania regionalne, D. Wrzeński (red.), Seria: Studia i Prace z Geografii i Geologii, 12, 87-98
- Jones S.B., Wraith J.M., Or D., 2002, Time domain reflectometry measurement principles and applications, *Hydrological Processes*, 16, 141-153, DOI: 10.1002/hyp.513
- Kaczorowska Z., 1962, Opady w Polsce w przekroju wieloletnim, *Prace Geograficzne Instytutu Geografii Polskiej Akademii Nauk*, 33, 1-102, dostęp online: oai.rcin.org.pl:16869 (15.03.2016)
- Kadłubowski A., Mierkiewicz M., Żelaziński J., 1996, Operacyjne modele prognoz hydrologicznych wdrożone przez Zakład prognoz Hydrologicznych Oddziału IMGW w Warszawie, [w:] Modelowanie matematyczne w hydrologii, referaty Seminarium Naukowego, B. Więzik (red.), Politechnika Krakowska, Kraków, 53-62
- Kaniecki A., 1982, Pojemność retencyjna i zmienność zasobów wodnych małej zlewni nizinnej na przykładzie dorzecza Wrześnicy, *Seria Geografia*, 26, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, Poznań, 141 s.
- Karwowski S., Soczyńska U., 1989, Spływ powierzchniowy, [w:] *Procesy hydrologiczne: fizycznogeograficzne podstawy modelowania*, U. Soczyńska (red.), PWN, Warszawa, 194-221
- Katul G.G., Porporato A., Daly E., Oishi A.C., Kim H.S., Stoy P.C., Juang J.Y., Siqueira M.B., 2007, On the spectrum of soil moisture from hourly to interannual scales, *Water Resources Research*, 43 (5), W05428, DOI: 10.1029/2006WR005356
- Kazimierski B., Herbich P., 2007, Subregion Bugu nizinny, [w:] *Hydrogeologia regionalna Polski*, tom I, B. Paczyński, A. Sadurski (red.), Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 263-276
- Kerr Y.H., Waldteufel P., Wigneron J.P., Cabot F., Escorihuela M.J., Reul N., Boutin J., Gruhier C., Juglea S., Font J., Hahne A., Martin-Neira M., Drinkwater M., Mecklenburg S., 2010, The SMOS mission: New tool for monitoring key elements of the global water cycle, *Proceedings of the IEEE*, 98 (5), 666-687, DOI: 10.1109/JPROC.2010.2043032
- Keshta N., Elshorbagy A., Carey S., 2012, Impacts of climate change on soil moisture and evapotranspiration in reconstructed watersheds in northern Alberta, Canada, *Hydrological Processes*, 26 (9), 1321-1331, DOI: 10.1002/hyp.8215
- Kistler R., Collins W., Saha S., White G., Woollen J., Kalnay E., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M., Kousky V., van den Dool H., Jenne R., Fiorino M., 2001, The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82 (2), 247-267, DOI: 10.1175/1520-0477(2001)082<0247:TNNYRM>2.3.CO;2
- Knyazikhin Y., Glassy J., Privette J.L., Tian Y., Lotsch A., Zhang Y., Wang Y., Morisette J.T., Votava P., Myneni R.B., Nemani S., Running S.W., 1999, MODIS leaf area index (LAI)

- and fraction of photosynthetically active radiation absorbed by vegetation (FPAR) product. (MOD15). Algorithm theoretical basis document. Version 4.0, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, 20771, 126 s., dostęp online: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod15.pdf (30.12.2015)
- Kondracki J., 2009, *Geografia regionalna Polski*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 468 s.
- Koster R.D., Mahanama S.P., Livneh B., Lettenmaier D.P., Reichle R.H., 2010, Skill in streamflow forecasts derived from large-scale estimates of soil moisture and snow, *Nature Geoscience*, 3 (9), 613-616, DOI: 10.1038/ngeo944
- Kowalik P., 2007, *Zarys fizyki gruntów*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 119 s.
- Koźmiński C., Michalska B., 1995, *Atlas uwilgotnienia gleby pod roślinami uprawnymi w Polsce*, Akademia Rolnicza w Szczecinie, Szczecin, 112 s.
- Kumar S.V., Peters-Lidard C.D., Tian Y., Houser P.R., Geiger J., Olden S., Lighty L., Eastman J.L., Doty B., Dirmeyer P., Adams J., Mitchell K., Wood E.F., Sheffield J., 2006, Land information system: An interoperable framework for high resolution land surface modeling, *Environmental Modelling and Software*, 21 (10), 1402-1415, DOI: 10.1016/j.envsoft.2005.07.004
- Kutílek M., Nielsen D.R., 1994, *Soil Hydrology*, Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, Germany, 370 s.
- Lauzon N., Ancil F., Petrinovic J., 2004, Characterization of soil moisture conditions at temporal scales from a few days to annual, *Hydrological Processes*, 18 (17), 3235-3254, DOI: 10.1002/hyp.5656
- Legates D.R., McCabe G.J., 1999, Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation, *Water Resources Research*, 35 (1), 233-141, DOI: 10.1029/1998WR900018
- Legates D.R., Mahmood R., Levina D.F., DeLiberty T.L., Quiring S.M., Houser C., Nelson F.E., 2011, Soil moisture: A central and unifying theme in physical geography, *Progress in Physical Geography*, 35 (1), 65-86, DOI: 10.1177/0309133310386514
- Lin H.S., 2003, *Hydrology: Bridging disciplines, scales and data*, *Vadose Zone Journal*, 2 (1), 1-11, DOI: 10.2113/2.1.1
- Lin H.S., 2009, Earth's Critical Zone and hydrology: concepts, characteristics, and advances, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14 (1), 25-45, DOI: 10.5194/hessd-6-3417-2009
- Lin H.S., Kogelmann W., Walker C., Bruns M.A., 2006a, Soil moisture patterns in a forested catchment: A hydrological perspective, *Geoderma*, 131 (3-4), 345-368, DOI: 10.1016/j.geoderma.2005.03.013
- Lin H.S., Bouma J., Pachepsky Y., Western A., Thompson J., van Genuchten M.T., Vogel H., Lilly A., 2006b, *Hydrology: Synergistic integration of pedology and hydrology*, 2006b, *Water Resources Research*, 42 (5), W05301, DOI: 10.1029/2005WR004085

- Lindström G., Bishop K., Löfvenius M.O, 2002, Soil frost and runoff at Svartberget, northern Sweden – measurements and model analysis, *Hydrological Processes*, 16 (17), 3379-3392, DOI: 10.1002/hyp.1106
- Liu Y.Y., McCabe M.F., Evans J.P., van Dijk A.I.J.M., de Jeu R.A.M., Su H., 2009, Comparison of soil moisture in GLDAS model simulations and satellite observations over the Murray Darling Basin, The 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation, Cairns, Australia, 2798-2804, dostęp online: http://www.mssanz.org.au/modsim09/G6/liu_yy.pdf (30.12.2015)
- Mahanama S.P.P., Koster R.D., Reichle R.H., Zubair L., 2008, The role of soil moisture initialization in subseasonal and seasonal streamflow prediction – a case study in Sri Lanka, *Advances in Water Resources*, 31, 1333-1343, DOI: 10.1016/j.advwatres.2008.06.004
- Malicki M.A., Plagge R., Roth C.H., 1996, Improving the calibration of dielectric TDR soil moisture determination taking into account the solid soil, *European Journal of Soil Science*, 47 (3), 357-366, DOI: 10.1111/j.1365-2389.1996.tb01409.x
- Marczewski W., Słomiński J., Słomińska E., Usowicz B., Usowicz J., Romanov S., Maryskewych O., Nastula J., Zawadzki J., 2010, Strategies for validating and directions for employing SMOS data, in the Cal-Val project SWEX (3275) for wetlands, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 7 (5), 7007-7057, DOI: 10.5194/hessd-7-7007-2010
- Marshall T.J., Holmes J.W., Rose C.W., 1996, *Soil physics*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 472 s.
- Martínez-Fernández J., Ceballos A., 2003, Temporal stability of soil moisture in a large-field experiment in Spain, *Soil Science Society of America Journal*, 67 (6), 1647-1656, DOI: 10.2136/sssaj2003.1647
- Martínez-Fernández J., Ceballos A., 2005, Mean soil moisture estimation using temporal stability analysis, *Journal of Hydrology*, 312 (1-4), 28-38, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.02.007
- Matgen P., Heitz S., Hasenauer S., Hissler C., Brocca L., Hoffmann L., Wagner W., Savenije H.H.G., 2012, On the potential of MetOp ASCAT-derived soil wetness indices as a new aperture for hydrological monitoring and prediction: a field evaluation over Luxemburg, *Hydrological Processes*, 26 (15), 2346-2359, DOI: 10.1002/hyp.8316
- Mitchell K.E., Lohmann D., Houser P.R., Wood E.F., Schaake J.C., Robock A., Cosgrove B.A., Sheffield J., Duan Q., Luo L., Higgins R.W., Pinker R.T., Tarpley J.D., Lettenmaier D.P., Marshall C.H., Entin J.K., Pan M., Shi W., Koren V., Meng J., Ramsay B.H., Bailey A.A., 2004, The multi-institution North American Land Data Assimilation System (NL-DAS): Utilizing multiple GCIP products and partners in a continental distributed hydrological modeling system, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109 (D7), DOI: 10.1029/2003JD003823

- Moore I.D., Gessler P.E., Nielsen G.A., Peterson G.A., 1993, Soil attribute prediction using terrain analysis, *Soil Science Society of America Journal*, 57 (2), 443-452, DOI: 10.2136/sssaj1993.572NPb
- Mueller B., Hirschi M., Seneviratne S.I., 2011, New diagnostic estimates of variations in terrestrial water storage based on ERA-Interim data, *Hydrological Processes*, 25 (7), 996-1008, DOI: 10.1002/hyp.7652
- Myneni R., Knyazikhin Y., Glassy J., Votava P., Shabanov N., 2003, FPAR, LAI (ESDT: MOD15A2) 8-day Composite NASA MODIS Land Algorithm. User's Guide, Terra MODIS Land Team, 16 s., dostęp online: http://www.unicen.edu.ar/crecic/docs/lecs/terra_modis.pdf (30.12.2015)
- Naeimi V., Bartalis Z., Wagner W., 2009, ASCAT soil moisture: An assessment of the data quality and consistency with the ERS scatterometer heritage, *Journal of Hydrometeorology*, 10 (2), 555-563, DOI: 10.1175/2008JHM1051.1
- Nash J., Sutcliffe J., 1970, River flow forecasting through conceptual models, Part I – A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10 (3), 282-290, DOI: 10.1016/0022-1694(70)90255-6
- Newson M., 1994, *Hydrology and the river environment*, Oxford University Press, UK, 238 s.
- Njoku E.G., 1999, AMSR Land Surface Parameters: Surface Soil Moisture, Land Surface Temperature, Vegetation Water Content. Algorithm theoretical basis document. Version 3.0, 47 s., dostęp online: http://nsidc.org/data/amsre/pdfs/amsr_atbd_land.pdf (30.12.2015)
- Njoku E.G., Entekhabi D., 1996, Passive microwave remote sensing of soil moisture, *Journal of Hydrology*, 184 (1-2), 101-129, DOI: 10.1016/0022-1694(95)02970-2
- Nunes J.P., Seixas J., Keizer J.J., Ferreira A.J.D., 2009, Sensitivity of runoff and soil erosion to climate change in two Mediterranean watersheds. Part II: assessing impacts from changes in storm rainfall, soil moisture and vegetation cover, *Hydrological Processes*, 23 (8), 1212-1220, DOI: 10.1002/hyp.7250
- Objaśnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski, 1986, skala 1:200000, arkusz Warszawa Wschód, E. Frączek, D. Oficjalska (red.), Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa
- O'Callaghan J.F., Mark D.M., 1984, Extraction of drainage networks from elevation data, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 28, 323-344
- Oki T., 2005, The hydrologic cycles and global circulation, [w:] *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, tom I, M.G. Anderson, J. McDonnell (red.), John Wiley and Sons, Inc., 13-22
- Okła K. (red.), 2010, *Geomatyka w Lasach Państwowych. Część 1. Podstawy*, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 568 s.
- Okołowicz W., Martyn D., 1979, Regiony klimatyczne Polski, [w:] *Atlas geograficzny Polski*, Polskie Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych, Warszawa
- Opady atmosferyczne (1980-1981), *Roczniki IMGW*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa

- Pan Z., Arritt R.W., Gutowski Jr W.J., Takle E.S., 2001, Soil moisture in a regional climate model: simulation and projection, *Geophysical Research Letters*, 28 (15), 2947-2950, DOI: 10.1029/2000GL012172
- Pardé M., 1957, *Rzeki*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa
- Parent A.-C., Anctil F., Parent L.-E., 2006, Characterization of temporal variability in near-surface soil moisture at scales from 1 h to 2 weeks, *Journal of Hydrology*, 325 (1-4), 56-66, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.09.027
- Paszczyk J., Michalczyk Z., 2012, Opis i analiza zmienności wskaźnika surowości suszy Palmera na obszarze Polski w okresie 1901-2000, *Acta Agrophysica*, 19 (1), 89-110, dostęp online: http://www.old.acta-agrophysica.org/artykuly/acta_agrophysica/Acta-Agr_0_2012_19_1_89.pdf (15.03.2016)
- Paszyński J., Miara K., Skoczek J., 1999, Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego, *Dokumentacja Geograficzna*, 14, 136 s., dostęp online: <http://fbc.pionier.net.pl/id/oai:rcin.org.pl:6240> (15.03.2016)
- Pekárová P., Halmová D., Mitková V., 2005, Simulation of the catastrophic floods caused by extreme rainfall events – Uh river basin case study, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 53 (4), 219-230
- Piechnik L., Tomiak P., 2005, Podczerwień w dynamicznych pomiarach wilgotności gleb w terenie urzeźbionym, *Acta Agrophysica*, 5 (2), 387-391, dostęp online: http://www.old.acta-agrophysica.org/artykuly/acta_agrophysica/ActaAgr_116_2005_5_2_387.pdf (15.03.2016)
- Piętka I., 2010, Uwilgotnienie gleb w zlewni Liwca na podstawie danych modelowych, [w:] *Hydrologia w ochronie i kształtowaniu środowiska*, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 69 (2), A. Magnuszewski (red.), Krajowy Kongres Hydrologiczny, 205-213
- Planchon O., Darboux F., 2001, A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models, *Catena*, 46 (2-3), 159-176, DOI: 10.1016/S0341-8162(01)00164-3
- Pociask-Karteczka J., 2006, Retencja, [w:] *Zlewnia. Właściwości i procesy*, J. Pociask-Karteczka (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 241-248
- Polskie Towarzystwo Gleboznawcze (PTG), 1956, Przyrodniczo-genetyczna klasyfikacja gleb Polski, ze szczególnym uwzględnieniem gleb uprawnych zatwierdzona przez Komisję Klasyfikacji Nomenklatury i Kartografii Gleb w dniu 27 maja 1955 roku, *Roczniki Nauk Rolniczych*, Seria D, 74, 1-96
- Polskie Towarzystwo Gleboznawcze (PTG), 1989, Systematyka gleb Polski, *Roczniki Gleboznawcze*, 40 (3/4), 56 s.
- Polskie Towarzystwo Gleboznawcze (PTG), 2009, Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych PTG 2008, *Roczniki Gleboznawcze*, 60 (2), 5-16
- Polskie Towarzystwo Gleboznawcze (PTG), 2011, Systematyka gleb Polski, *Roczniki Gleboznawcze*, 62 (3), 195 s.

- Primožič M., Kobold M., Brilly M., 2008, The implementation of the HBV Model on the Sava River Basin, *Earth and Environmental Science*, 4 (1), DOI: 10.1088/1755-1307/4/1/012004
- Przybyła C., Kozaczyk P., 1997, Wpływ ukształtowania terenu na dynamikę zmian uwilgotnienia deszczowanych gleb, *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCXCIV, Melioracje i Inżynieria Środowiska*, 19 (2), 169-182
- Qin C., Zhu A., Pei T., Li B., Scholten T., Behrens T., Zhou C., 2011, An approach to computing topographic wetness index based on maximum downslope gradient, *Precision Agriculture*, 12 (1), 32-43, DOI: 10.1007/s11119-009-9152-y
- Qiu Y., Fu B., Wang J., Chen L., 2001a, Spatial variability of soil moisture content and its relation to environmental indices in a semi-arid gully catchment of the Loess Plateau, China, *Journal of Arid Environments*, 49 (4), 723-750, DOI: 10.1006/jare.2001.0828
- Qiu Y., Fu B., Wang J., Chen L., 2001b, Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China, *Journal of Hydrology*, 240 (3-4), 243-263, DOI: 10.1016/S0022-1694(00)00362-0
- Quinn P., Beven K., Chevallier P., Planchon O., 1991, The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models, *Hydrological Processes*, 5 (1), 59-79, DOI: 10.1002/hyp.3360050106
- Quinn P., Beven K., Lamb R., 1995, The $\ln(a/\tan\beta)$ index: how to calculate it and how to use it within the TOPMODEL framework, *Hydrological Processes*, 9 (2), 161-182, DOI: 10.1002/hyp.3360090204
- Radomski C., 1987, *Agrometeorologia*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 543 s.
- Robinson D.A., Campbell C.S., Hopmans J.W., Hornbuckle B.K., Jones S.B., Knight R., Ogden F., Selker J., Wendroth O., 2008, Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: A review, *Vadose Zone Journal*, 7 (1), 358-389, DOI: 10.2136/vzj2007.0143
- Robock A., Vinnikov K.Y., Srinivasan G., Entin J.K., Hollinger S.E., Speranskaya N.A., Liu S., Namkhai A., 2000, The Global Soil Moisture Data Bank, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81 (6), 1281-1299, DOI: 10.1175/1520-0477(2000)081<1281:TGS MDB>2.3.CO;2
- Roczniki Hydrologiczne Wód Powierzchniowych, dorzecze Wisły i rzek Przymorza na wschód od Wisły (1980-1983), IMGW, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa
- Rodell M., Houser P.R., 2004, Updating a land surface model with MODIS-Derived Snow Cover, *Journal of Hydrometeorology*, 5 (6), 1064-1075, DOI: 10.1175/JHM-395.1
- Rodell M., Houser P.R., Jambor U., Gottschalk J., Mitchell K., Meng J-C., Arsenault K., Cosgrove B., Radakovich J., Bosilovich M., Entin J.K., Walker J.P., Lohmann D., Toll D., 2004, The Global Land Data Assimilation System, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85 (3), 381-394, DOI: 10.1175/BAMS-85-3-381

- Rößler O., Löffler J., 2010, Potentials and limitations of modelling spatio-temporal patterns of soil moisture in a high mountain catchment using WaSiM-ETH, *Hydrological Processes*, 24 (15), 2182-2196, DOI: 10.1002/hyp.7663
- Rüdiger C., Calvet J.C., Gruhier C., Holmes T.R.H., de Jeu R.A.M., Wagner W., 2009, An inter-comparison of ERS-Scat and AMSR-E soil moisture observations with model simulations over France, *Journal of Hydrometeorology*, 10 (2), 431-447, DOI: 10.1175/2008JHM997.1
- Ryżak M., Bartmiński P., Bieganski A., 2009, Metody wyznaczania rozkładu granulometrycznego gleb mineralnych, *Acta Agrophysica*, 175 (4), 84 ss., dostęp online: http://www.old.acta-agrophysica.org/artykuly/acta_agrophysica/ActaAgr_175_2009_4_1_1.pdf (15.03.2016)
- Sahoo A.K., Houser P.R., Ferguson C., Wood E.F., Dirmeyer P.A., Kafatos M., 2008, Evaluation of AMSR-E soil moisture results using the in-situ data over the Little River Experimental Watershed, Georgia, *Remote Sensing of Environment*, 112 (6), 3142-3152, DOI: 10.1016/j.rse.2008.03.007
- Schär C., Lüthi D., Beyerle U., Heise E., 1999, The soil-precipitation feedback: A process study with a regional climate model, *Journal of Climate*, 12 (3), 722-741, DOI: 10.1175/1520-0442(1999)012<0722:TSPFAP>2.0.CO;2
- Schmidt F., Persson A., 2003, Comparison of DEM data capture and topographic wetness indices, *Precision Agriculture*, 4 (2), 179-192, DOI: 10.1023/A:1024509322709
- Schlosser C.A., Milly P.C.D., 2002, A model-based investigation of soil moisture predictability and associated climate predictability, *Journal of Hydrometeorology*, 3 (4), 483-501, DOI: 10.1175/1525-7541(2002)003<0483:AMBIOS>2.0.CO;2
- Schulla J., 2012, Model description WaSiM (Water balance Simulation Model), Hydrology Software Consulting J. Schulla, Zurich, Szwajcaria, 305 s., dostęp online: http://wasim.ch/downloads/doku/wasim/wasim_2012_ed2_en.pdf (30.12.2015)
- Schulla J., Jasper K., 1998, Modellbeschreibung WaSiM-ETH (Wasserhaushalts-Simulations-Modell ETH), 152 s., dostęp online: http://wasim.ch/downloads/doku/wasim/wasim_1998_de.pdf (30.12.2015)
- Scipal K., Scheffler C., Wagner W., 2005, Soil moisture-runoff relation at the catchment scale as observed with coarse resolution microwave remote sensing, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2 (2), 417-448
- Seibert J., 1996, HBV light, User's manual, Uppsala University, Institute of Earth Science, Department of Hydrology, Uppsala
- Seibert J., 1997, Estimation of parameter uncertainty in the HBV model, *Nordic Hydrology*, 28 (4/5), 247-262, dostęp online: http://www.geo.uzh.ch/~jseib/pdf/Seibert_1997_NordicHydrology.pdf (15.03.2016)
- Seibert J., 1999, Regionalisation of parameters for a conceptual rainfall-runoff model, *Agricultural and Forest Meteorology*, 98-99, 279-293, DOI: 10.1016/S0168-1923(99)00105-7

- Seibert J., 2005, HBV light version 2, User's manual, Department of Physical Geography and Quaternary Geology, Stockholm University, Stockholm, Sweden, 32 s., dostęp online: http://www.geo.uzh.ch/fileadmin/files/content/abteilungen/h2k/Docs_download/HBV_manual_2005.pdf (30.12.2015)
- Seibert J., Beven, K., 2009, Gauging the ungauged basin: how many discharge measurements are needed?, *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 883-892, DOI: 10.5194/hess-13-883-2009
- Seibert J., Vis M.J.P., 2012, Teaching hydrological modeling with a user-friendly catchment-runoff-model software package, *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 3315-3325, DOI: 10.5194/hess-16-3315-2012
- Seibert J., Rodhe A., Bishop K., 2003, Simulating interactions between saturated and unsaturated storage in a conceptual runoff model, *Hydrological Processes*, 17 (2), 379-390, DOI: 10.1002/hyp.1130
- Seibert J., Stendahl J., Sørensen R., 2007, Topographical influences on soil properties in boreal forests, *Geoderma*, 141 (1-2), 139-148, DOI: 10.1016/j.geoderma.2007.05.013
- Seneviratne S.I., Viterbo P., Lüthi D., Schär C., 2004, Inferring changes in terrestrial water storage using ERA-40 reanalysis data: Mississippi river basin, *Journal of Climate*, 17 (11), 2039-2057, DOI: 10.1175/1520-0442(2004)017<2039:ICITWS>2.0.CO;2
- Seneviratne S.I., Corti T., Davin E.L., Hirschi M., Jaeger E.B., Lehner I., Orlowsky B., Teuling A.J., 2010, Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review, *Earth-Science Reviews*, 99 (3-4), 125-161, DOI: 10.1016/j.earscirev.2010.02.004
- Skierucha W., 2005, Wpływ temperatury na pomiar wilgotności gleby metodą reflektometryczną, *Acta Agrophysica*, 122, (5), 86 s.
- Skierucha W., Malicki M., 2004, Zintegrowany przełącznik mikrofalowy w systemie automatycznego pomiaru wilgotności gleby metodą TDR, *Acta Agrophysica*, 4 (3), 803-808, dostęp online: http://www.old.acta-agrophysica.org/artykuly/acta_agrophysica/Acta-Agr_112_2004_4_3_803.pdf (15.03.2016)
- Skierucha W., Wilczek A., 2007, Polowy system monitorowania wilgotności gleb, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 53 (9bis), 342-345
- Sławiński C., 2003, Wpływ fizycznych parametrów gleby na wartości współczynnika przewodnictwa wodnego (Badania modelowe), *Acta Agrophysica*, 90, 75 s., dostęp online: http://www.old.acta-agrophysica.org/artykuly/acta_agrophysica/ActaAgr_90_2003_0_0_0.pdf (15.03.2016)
- Soczyńska U., 1995, Modelowanie systemów naturalnych, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski, Warszawa, 59 s.
- Soczyńska U., 1997a, Przedmiot hydrologii dynamicznej, [w:] *Hydrologia dynamiczna*, U. Soczyńska (red.), PWN, Warszawa, 7-13

- Soczyńska U., 1997b, Infiltracja, [w:] *Hydrologia dynamiczna*, U. Soczyńska (red.), PWN, Warszawa, 231-251
- Sørensen R., Seibert J., 2007, Effects of DEM resolution on the calculation of topographical indices: TWI and its components, *Journal of Hydrology*, 347 (1-2), 79-89, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2007.09.001
- Sørensen R., Zinko U., Seibert J., 2006, On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations, *Hydrology and Earth System Sciences*, 10, 101-112, DOI: 10.5194/hess-10-101-2006
- Somorowska U., 2004, Water storage in the vadose zone evaluated from TDR soil moisture measurements, *Acta Agrophysica*, 4 (1), 169-176, dostęp online: http://www.old.acta-agrophysica.org/artykuly/acta_agrophysica/ActaAgr_110_2004_4_1_169.pdf (15.03.2016)
- Somorowska U., 2006, Wpływ stanu retencji podziemnej na proces odpływu w zlewni nizinnej, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 152 s.
- Somorowska U., 2007, Zastosowanie przestrzennych danych gridowych w badaniach dynamiki wód glebowych, [w:] *Znaczenie badań krajobrazowych dla zrównoważonego rozwoju*, K. Ostaszewska, I. Szumacher, S. Kulczyk, E. Malinowska (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 249-257
- Somorowska U., 2008, Odnawialność zasobów wilgoci glebowej w zlewni Łasicy (Kampinoski Park Narodowy), [w:] *Woda na obszarach chronionych*, J. Partyka, J. Pociask-Karteczka (red.), Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Ojcowski Park Narodowy, Komisja Hydrologiczna PTG, 255-264
- Somorowska U., 2009a, Glebowe zasoby wodne w warunkach zmieniającego się klimatu, [w:] *Zrównoważone warunki życia w zmieniającym się systemie klimatycznym Ziemi*, M. Gutry-Korycka, T. Markowski (red.), Polska Akademia Nauk, Komitet Przestrzennego zagospodarowania kraju, *Studia*, CXXIV, 50-62
- Somorowska U., 2009b, Wzrost zagrożenia suszą hydrologiczną w różnych regionach geograficznych Polski w XX wieku, *Prace i Studia Geograficzne*, 43, 97-114, dostęp online: http://www.zripl.uw.edu.pl/uploads/f_biblioteka/PIS/43/Somorowska.pdf (15.03.2016)
- Somorowska U., Piętko I., 2010, Dynamika wód strefy aeracji w zlewni nizinnej w świetle koncepcji stabilności czasowej, [w:] *Hydrologia w ochronie i kształtowaniu środowiska*, A. Magnuszewski (red.), *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN*, 69 (2), 205-213
- Somorowska U., Piętko I., 2012, Streamflow changes in mesoscale lowland catchment under future climate conditions, *Papers on Global Change*, 19 (1), 53-65, DOI: 10.2478/v10190-012-0004-7
- Somorowski C., 1965, Zasoby wilgoci gruntowej w bilansie wodnym zlewni rzecznych, Dział Wydawnictw Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
- Sorman A.A., Sensoy A., Tekeli A.E., Sorman A.U., Akyürek., 2009, Modelling and forecasting snowmelt runoff process using the HBV model in the eastern part of Turkey, *Hydrological Processes*, 23 (7), 1031-1040, DOI: 10.1002/hyp.7204

- Stachý J., 2011, Występowania lat mokrych i posusznych w Polsce (1951-2008), *Gospodarka Wodna*, 8, 313-321
- Starks P.J., Heathman G.C., Jackson T., Cosh M., 2006, Temporal stability of soil moisture profile, *Journal of Hydrology*, 324 (1-4), 400-411, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.09.024
- Steele-Dunne S., Lynch P., McGrath R., Semmler T., Wang S., Hanafin J., Nolan P., 2008, The impacts of climate change on hydrology in Ireland, *Journal of Hydrology*, 356 (1-2), 28-45, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2008.03.025
- Strzemski M., Siuta J., Witek T., 1973, *Przydatność rolnicza gleb Polski*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 288 s.
- Tarboton D.G., 1997, A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models, *Water Resources Research*, 33 (2), 309-319, DOI: 10.1029/96WR03137
- Temimi M., Leconte R., Chaouch N., Sukumal P., Khanbilvardi R., Brissette F., 2010, A combination of remote sensing data and topographic attributes for the spatial and temporal monitoring of soil wetness, *Journal of Hydrology*, 388 (1-), 28-40, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.04.021
- Teuling A.J., Troch P.A., 2005, Improved understanding of soil moisture variability dynamics, *Geophysical Research Letters*, 32 (5), L05404, DOI: 10.1029/2004GL021935
- Thiessen, A.H., 1911, Precipitation averages for large areas, *Monthly Weather Review*, 39 (7), 1082-1084, DOI: 10.1175/1520-0493(1911)39<1082b:PAFLA>2.0.CO;2
- Uppala S.M., Kållberg P.W., Simmons A.J., Andrae U., Bechtold V., Fiorino M., Gibson J.K., Haseler J., Hernandez A., Kelly G.A., Li X., Onogi K., Saarinen S., Sokka N., Allan R.P., Andersson E., Arpe K., Balmaseda M.A., Beljaars A.C.M., Vande Berg L., Bidlot J., Bormann N., Caires S., Chevallier F., Dethof A., Dragosavac M., Fisher M., Fuentes M., Hagemann S., Hólm E., Hoskins B.J., Isaksen I., Janssen P.A.E.M., Jenne R., McNally A.P., Mahfouf J.F., Morcrette J.J., Rayner N.A., Saunders R.W., Simon P., Sterl A., Trenberth K.E., Untch A., Vasiljevic D., Viterbo P., Woollen J., 2005, The ERA-40 reanalysis, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131 (612), 2961-3012, DOI: 10.1256/qj.04.176
- Urbański J., 2008, GIS w badaniach przyrodniczych, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 232 ss., dostęp online: http://ocean.ug.edu.pl/~oceju/CentrumGIS/dane/GIS_w_badaniach_przyrodniczych_12_2.pdf (15.03.2016)
- Usowicz B., 1999, Zastosowanie analizy geostatystycznej i teorii fraktali w badaniach dynamiki wilgotności w profilu glebowym na polach uprawnych, *Acta Agrophysica*, 22, 229-243
- Usowicz B., Usowicz Ł. 2004, Punktowe pomiary wilgotności gleby a jej przestrzenny rozkład na polach uprawnych, *Acta Agrophysica*, 4 (2), 573-588, dostęp online: http://www.old.acta-agrophysica.org/artykuly/acta_agrophysica/ActaAgr_111_2004_4_2_573.pdf (15.03.2016)

- Usovich B., Marczewski W., Lipiec J., Usovich J.B., Sokołowska Z., Dąbkowska-Naskręt H., Hajnos M., Łukowski M.I., 2009, Woda w glebie. Pomiary naziemne i satelitarne w badaniach zmian klimatu, Polska Akademia Nauk, Komitet Agrofizyki, Wydawnictwo naukowe FRNA, Lublin, 169 ss., dostęp online: <http://users.ipan.lublin.pl/~usowicz/pdf/WODA%20W%20GLEBIE%20-%20POMIARY%20NAZIEMNE%20I%20SATELITARNE%20W%20BADANIACH%20ZMIAN%20KLIMATU.pdf> (15.03.2016)
- Vachaud G., Passerat de Silans A., Balabanis P., Vauclin M., 1985, Temporal stability of spatially measured soil water probability density function, *Soil Science Society of America Journal*, 49 (4), 822-828, DOI: 10.2136/sssaj1985.03615995004900040006x
- Verbunt M., Gurtz J., Jasper K., Lang H., Warmerdam P., Zappa M., 2003, The hydrological role of snow and glaciers in alpine river basins and their distributed modeling, *Journal of Hydrology*, 282 (1-4), 36-55, DOI: 10.1016/S0022-1694(03)00251-8
- Vinnikov K.Y., Robock A., Speranskaya N.A., Schlosser C.A., 1996, Scales of temporal and spatial variability of midlatitude soil moisture, *Journal of Geophysical Research*, 101 (D3), 7163-7174, DOI: 10.1029/95JD02753
- Vinogradov Y.B., Semenova O.N., Vinogradova T.A., 2011, An approach to the scaling problem in hydrological modelling: the deterministic modelling hydrological system, *Hydrological Processes*, 25 (7), 1055-1073, DOI: 10.1002/hyp.7901
- Wagner W., Lemoine G., Rott H., 1999, A method for estimating soil moisture from ERS scatterometer and soil data, *Remote Sensing of Environment*, 70 (2), 191-207, DOI: 10.1016/S0034-4257(99)00036-X
- Wagner W., Blöschl G., Pampaloni P., Calvet J.C., Bizzarri B., Wigneron J.P., Kerr Y., 2007, Operational readiness of microwave remote sensing of soil moisture for hydrologic applications, *Nordic Hydrology*, 38 (1), 1-20, DOI: 10.2166/nh.2007.029
- Walczak R., Ostrowski J., 2004, Parametryzacja i przestrzenna charakterystyka hydrofizycznych właściwości gleb mineralnych Polski, *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 4 (11), 175-184
- Walczak R., Ostrowski J., Witkowska-Walczak B., Sławiński C., 2002, Hydrofizyczne charakterystyki mineralnych gleb ornych Polski, *Acta Agrophysica*, 79, 64 s.
- Wang L., Qu J.J., 2009, Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review, *Frontiers of Earth Science in China*, 3 (2), 237-247, DOI: 10.1007/s11707-009-0023
- Western A.W., Blöschl G., Grayson R.B., 1998, Geostatistical characterisation of soil moisture patterns in the Tarrawarra catchment, *Journal of Hydrology*, 205 (1-2), 20-37, DOI: 10.1016/S0022-1694(97)00142-X
- Western A.W., Grayson R.B., Blöschl G., Willgoose G.R., McMahon T.A., 1999, Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices, *Water Resources Research*, 35 (3), 797-810, DOI: 10.1029/1998WR900065

- WMO, 2008, Future Climate Change Research and Observations: GCOS, WCRP and IGBP Learning from the IPCC Fourth Assessment Report, WMO/TD 1418, GCOS-117, WCRP-127 and IGBP Report 58, WMO, Geneva, Switzerland, dostęp online: <https://www.ipcc.ch/pdf/supporting-material/gcos-117.pdf> (15.03.2016)
- Wu S., Li J., Huang G.H., 2008, A study on DEM-derived primary topographic attributes for hydrologic applications: sensitivity to elevation data resolution, *Applied Geography*, 28 (3), 210-223, DOI: 10.1016/j.apgeog.2008.02.006
- Yang X., Chapman G.A., Young M.A., Gray J.M., 2005, Using Compound Topographic Index to delineate soil landscape facets from digital elevation models for comprehensive coastal assessment, [w:] *Proceedings of MODSIM Conference*, 12-15 December, Melbourne, 1511-1517, dostęp online: http://www.mssanz.org.au/modsim05/papers/yang_x.pdf (30.12.2015)
- Zhao Y., Peth S., Wang X.Y., Lin H., Horn R., 2010, Controls of surface soil moisture spatial patterns and their temporal stability in a semi-arid steppe, *Hydrological Processes*, 24 (18), 2507-2519, DOI: 10.1002/hyp.7665
- Zinko U., Seibert J., Dynesius M., Nilsson C., 2005, Plant species numbers predicted by a topography-based groundwater flow index, *Ecosystems*, 8 (4), 430-441, DOI: 10.1007/PL00021513
- Żelaziński J., Pawłowska J., Mierkiewicz M., Kozieł S.R., 1998, Model HBV, jego kalibracja i wykorzystanie w prognozie długoterminowej, [w:] *Metody wspomaganie optymalnych strategii ograniczających skutki suszy*, Materiały Badawcze, Seria Hydrologia i Oceanologia, 24, J. Żelaziński, J. Pawłowski, M. Mierkiewicz, S.R. Kozieł, IMGW, Warszawa, 30-35

SUMMARY

Seasonal and long-term variability of the soil water storage in the lowland catchment

Study of water resources in various basin subsystems is one of the basic hydrology tasks. An important element of quantitative diagnosis of water resources is to assess their dynamics in the aspects of temporal and spatial variability. Identification of hydrological variables makes possible exploration of the relationships between them and the relationship with chemical, physical and biological processes. It also enables their projection and provides the knowledge required in practical tasks. The subject of this study is soil water storage.

The empirical aim of this work is to identify temporal variability of soil water storage in soil profiles and in the catchment. Methodic objectives include compiling

procedure for the assessment of the spatial distribution of soil water resources in basin and to verify usability of rainfall-runoff models and gridded data. These issues are convergent with the global trend of modern hydrological studies. The knowledge of soil moisture spatial and temporal variability is critical in many research topics undertaken also in the context of other disciplines of physical geography. The area chosen for a study is the Liwiec basin (left tributary of the Bug River), situated in central Poland. The analysed material was collected for the study area including time series of hydrological and meteorological data and spatial data characterizing natural conditions of the catchment.

The analysis is based on field measurements of volumetric soil moisture conducted since 2009 till 2011. Soil moisture measurements were performed at six locations in the Liwiec basin. The measurements were carried out using a portable time domain reflectometer (TDR). Additionally a laboratory research of soil grain size composition was made. The analysis of empirical data showed large spatial variability of soil moisture, which can be assigned in this basin mainly to topography, particle size distribution of soils and location of the groundwater table. Soil moisture measured in profiles, despite the spatial variability, is characterized by temporal stability assessed in accordance with the approach suggested by Vachauda et al. (1985). This indicates the existence of a constant in time the spatial structure of the wetness conditions in the Liwiec basin. Assuming the concept of temporal stability, a method of evaluation of soil moisture spatial distribution has been developed based on field measurements and spatial data. Parameterization of the factors influencing the variability of soil moisture (topography, particle size distribution of soils and density of vegetation) was made based on the topographic wetness index (TWI). Four modifications of the TWI index were developed, one of them was selected for further analysis. Spatial distribution of the modified TWI index was considered a static model of the spatial structure of soil water storage in the Liwiec basin.

Assessment of soil water storage in the basin was made by integrating a map of the TWI index with the results of field measurements. The obtained values of soil moisture were used for the interpretation and quality analysis of the modeling results. Reconstruction of soil water storage in the period 1980-2011 was made using a conceptual rainfall-runoff model HBV. Calibration of the model helped establish three sets of fourteen model parameters. All three parameter sets gave relatively acceptable simulations and the simulated streamflow shows high conformity with the observed one. An underestimation of values by model at a range of maximum flows was only noted. Daily and monthly values of soil water storage derived from the model showed a statistically significant correlation with data from GLDAS database (Global Land Data Assimilation System). Comparative analysis of the calculation

results of HBV model with the results of developed “upscaling of point soil moisture measurements” procedure showed high correlation between the values of soil water storage defined by these methods.

The main stage of the study was to evaluate the variability of seasonal and long-term soil water storage in the Liwiec basin. Evaluation of variability in period 1980-2011 based on reconstructed by HBV model time series of soil water storage. Analysis of seasonal variations showed specific rhythm of changes – the increase of resources in autumn and winter and their decrease in the spring to the lowest value in summer. This rhythm refers to the course of changes in the relationship between atmospheric precipitation and evapotranspiration. Analysis of long-term variability has revealed no statistically significant trends of soil water storage in the Liwiec basin. It did demonstrate a sequence of years with high and low retention which refer to a sequence of wet and moist years of atmospheric precipitation.