



KONCEPCJA POMIARÓW ZMIAN RETENCJI I ODPLYWU NA STACJI MONITORINGOWEJ TUCZNO

Anna Krystofiak-Kaniewska, Antoni T. Miler

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

CONCEPTION OF RETENTION AND DRAIN CHANGES MEASUREMENT IN THE TUCZNO MONITORING SITE

Streszczenie

Powierzchnia poddana analizom położona jest w północno-zachodniej części Polski na terenie województwa zachodniopomorskiego. Badania zlokalizowano w bliskim sąsiedztwie meteorologicznej stacji badawczej zarządzanej przez Katedrę Meteorologii UP w Poznaniu. Obszar znajduje się na terenie otuliny Drawieńskiego Parku Narodowego. Standardowe badania stosunków wodnych w lasach bazują na schemacie zlewniowym, który w zasadzie uniemożliwia oceny quasi-punktowe (w oddziałach, czy pododdziałach leśnych). Dlatego do obliczania profilowego odpływu i zmian retencji zaproponowano pomiary stanów wód gruntowych w transektach spływowych oraz oznaczanie uwilgotnienia w strefie aeracji metodą TDR. Reflektometria Czasowo-Domenowa (TDR) stała się znaną i użyteczną metodą dla pomiarów zawartości wody w glebie i wielkości przewodności elektrycznej w latach 80-tych ubiegłego wieku poprzez opublikowanie serii artykułów Toppy, Daltona i innych. Reflektometria Czasowo-Domenowa (TDR) jest wysoce dokładną i dostosowaną do pomiarów automatycznych metodą dla określania zawartości wody i przewodności elektrycznej. Zawartość wody jest wnioskowana na podstawie przenikalności dielektrycznej ośrodka, podczas gdy przewodność elektryczna jest wnioskowana na podstawie tłumienia sygnału TDR. Mieszane modele empiryczne i dielektryczne są używane dla ustalania relacji zawartość wody a przenikalność dielektryczna. Głina i materia organiczna wiążą znaczne ilości wody, tak że mierzona wielkość stałej dielektrycznej jest zmniejszana i zależności z całkowitą zawartością wody wymagają odrębnych kalibracji. W metodzie TDR przenikalność dielektryczna ośrodka (np. gleby) wyliczana jest na podstawie pomiaru prędkości propagacji impulsu elektromagnetycznego wzdłuż falowodu utworzonego z elektrod przewodzących prąd elektryczny, tworzących sondę pomiarową umieszczoną w badanym ośrodku. Przenikalność dielektryczna warunkuje prędkość propagacji w takim falowodzie. Zatem na podsta-

wie pomiaru prędkości propagacji impulsu elektromagnetycznego można ocenić wilgotność ośrodka.

Słowa kluczowe: wody gruntowe, zmiana retencji, uwilgotnienie w strefie aeracji, metoda TDR, Puszcza Drawska

Summary

The area subjected to analysis is located in the north-west part of Poland in Pomerania province. The study is located in the vicinity of meteorological research station managed by the Department of Meteorology, University of Life Sciences in Poznań. The area is located within the buffer zone of Drawieński National Park. Standard tests of the water conditions in forests based on river basin schema, which basically makes evaluation the quasi-point impossible (in units or subunits of forest). Therefore, to calculate the profile drainage and retention changes proposed measurements of groundwater levels in the trailing transects and marking moisture in the aeration zone using TDR method. Time domain reflectometry (TDR) became known as a useful method for soil water content and bulk electrical conductivity measurement in the 1980s through the publication of a series of papers by Topp, Dalton and others. Time domain reflectometry (TDR) is a highly accurate and automatable method for determination of porous media water content and electrical conductivity. Water content is inferred from the dielectric permittivity of the medium, whereas electrical conductivity is inferred from TDR signal attenuation. Empirical and dielectric mixing models are used to relate water content to measured dielectric permittivity. Clay and organic matter bind substantial amounts of water, such that measured bulk dielectric constant is reduced and the relationship with total water content requires individual calibration. The TDR method dielectric medium (eg. soil) is calculated by measuring the speed of propagation of electromagnetic pulse along a waveguide formed by electrically conductive electrodes, forming a probe placed in the test center. Permittivity determines the speed of propagation in the waveguide. Thus, by measuring the propagation speed of the electromagnetic pulse humidity medium can be estimated.

Key words : groundwater, retention changes, moisture of the aeration zone, TDR method, Drawska Wilderness

WSTĘP

Bilanse wodne standardowo oblicza się w układach zamkniętych – zlewniach. Jednakże w przypadku danego ekosystemu, wydzielenia leśnego – oddziału czy pododdziału pragmatyczne jest bilansowanie w profilu pionowym, w schemacie atmosfera–drzewostan–gleba [Suliński 1993, 2011, Miler 2013]. Opady atmosferyczne i parametry meteorologiczne (niezbędne do obliczania ewapotranspiracji) oraz stany wód gruntowych (dla obliczania zmian retencji w strefie saturacji oraz odpływu gruntowego – wg np. Miler, Krysztofiak-Kaniewska [2012]) mierzy się w sposób standardowy. Kluczowym zagadnieniem są pomiary wilgotności gleby w strefie aeracji.

Najważniejsze metody oznaczania wilgotności to:

- metoda grawimetryczna nazywana też szuszkarkową (stosowana dla kalibracji dla innych metod),
- metody chemiczne: miareczkowanie metodą K. Fischera, metoda karbidowa, chromatografii gazowej,
- metody elektryczne i magnetyczne: pomiar wilgotności ośrodków w oparciu o ich własności rezystancyjne, pomiar wilgotności ośrodków w oparciu o ich własności dielektryczne, spektrometria mikrofalowa – pomiar absorpcji lub odbicia promieniowania z zakresu mikrofal, spektrometria masowa [Jones, Wraith, Or, 2002, Evett, 2003],
- spektroskopia podczerwieni – pomiar absorpcji lub odbicia promieniowania z zakresu podczerwieni,
- metody jądrowe: spektroskopia MRJ – pomiar magnetycznego rezonansu jądrowego, metoda spowalniania neutronów ciężkich, metoda osłabiania promieniowania beta lub gamma [Łobzowski i in., 2008].

W ostatnich latach często stosuje się do pomiaru wilgotności, w szczególności gleb, metodę dielektryczną. Polega ona na pomiarze przenikalności dielektrycznej ośrodka, która zależy od zawartości wody w ośrodku. Dipolowa budowa cząsteczek wody powoduje, że jej przenikalność dielektryczna ma znacznie większą wartość niż pozostałych składników ośrodka (w temperaturze pokojowej przenikalność dielektryczna wody wynosi około 80, powietrza 1, materii stałej 4 - 9). Poprzez pomiar przenikalności ośrodka w sposób pośredni możemy ocenić ilość wody w ośrodku. Istnieją dwa zasadnicze sposoby pomiaru stałej dielektrycznej – w dziedzinie czasu – metoda TDR (ang: Time Domain Reflectometry) oraz w dziedzinie częstotliwości FD (ang: Frequency Domain). W metodzie TDR przenikalność dielektryczna ośrodka (np. gleby) wyliczana jest na podstawie pomiaru prędkości propagacji impulsu elektromagnetycznego wzdłuż falowodu utworzonego z elektrod przewodzących prąd elektryczny, tworzących sondę pomiarową umieszczoną w badanym ośrodku. Przenikalność dielektryczna warunkuje prędkość propagacji w takim falowodzie. Zatem na podstawie pomiaru prędkości propagacji impulsu elektromagnetycznego można ocenić wilgotność ośrodka. W metodach FD przewodzące elektrody umieszczone w ośrodku traktuje się jako okładki kondensatora, którego dielektrykiem jest mierzony ośrodek. Wartość przenikalności dielektrycznej ośrodka wpływa na pojemność tak utworzonego kondensatora. W konsekwencji pomiar tej pojemności pozwala na ocenę wilgotności ośrodka. Obie metody (TDR i FD) pozwalają tak naprawdę określić względną stałą dielektryczną ośrodka np. gleby. Określenie wilgotności polega na zastosowaniu formuł empirycznych będących zależnościami funkcyjnymi np.: uwilgotnienia ośrodka od względnej stałej dielektrycznej (formuła Toppa) lub uwilgotnienia ośrodka od względnej stałej dielektrycznej i gęstości fazy stałej ośrodka (formuła Malickiego) [np. Leciejewski 2009].

Celem pracy jest przedstawienie koncepcji pomiarów zmian retencji i odpływu na stacji monitoringowej Tuczo położonej w otulinie Puszczy Drawskiej (północno-zachodnia część Polski).

METODYKA

Badania profilowe odpływu i zmian retencji są w pełni kompatybilne z ideą profilowego badania na obiekcie doświadczalnym dwóch pozostałych składników bilansu wodnego ekosystemu leśnego – opadu atmosferycznego i ewapotranspiracji. Dla obliczania profilowego odpływu i zmian retencji zaproponowano pomiary stanów wód gruntowych w transektach spływowych oraz oznaczanie uwilgotnienia w strefie aeracji metodą TDR. Zrezygnowano z planowanych uprzednio kontrolnych pomiarów przepływów na cieku Młynówka (odbiorniku) w małej zlewni różnicowej, bowiem te byłyby zasadne w przypadku trwałego występowania zwierciadła wody gruntowej. Ze względów pragmatycznych, ponieważ nie odnotowano zalegania wód gruntowych na spągu warstwy przepuszczalnej w ciągu całego 2012 roku, pomiary ograniczono do jednego transektu spływowego.

Pomierzone stany wód gruntowych umożliwią obliczanie zmian retencji w strefie saturacji – po oszacowaniu współczynnika porowatości, bądź precyzyjniej po oszacowaniu współczynnika odcieku. W trzech studzienkach zainstalowano systemy automatycznego pomiaru głębokości wody gruntowej (Schlumberger Water Services Mini-Diver) – rys. 1.

Dla obliczania zmian retencji w strefie aeracji zainstalowano w studziencie przy wieży pomiarowej, zestaw sond do pomiaru wilgotności metodą TDR (zestaw Decagon Devices Em5b-ECH2O) – rys. 2. W tym celu wykonano dwie kopane studnie do 6 m i 4 m z kręgów betonowych (o średnicach 1 m) z otworami co 1 m oraz zainstalowano sondy.



Rysunek 1. Sonda Mini-Diver do pomiaru głębokości zalegania wód gruntowych oraz kompatybilny z sondą rejestrator danych [<http://www.swstechnology.com>]

Figure 1. The Mini-Diver probe to measure the depth of groundwater, and a compatible with probe data logger [<http://www.swstechnology.com>]

Przewiduje się w zależności od uzyskanych wyników ewentualne pogłębienie studni kopanych do spągu warstwy przepuszczalnej oraz zagęszczenie otworów pomiarowych.



Rysunek 2. Reflektometr CS616 do pomiaru uwilgotnienia metodą TDR oraz kompatybilny z refraktometrem rejestrator danych CR1000 [<http://www.campbellsci.com>]

Figure 2. The CS616 reflectometer to measure soil moisture using TDR technology and compatible with refractometer CR1000 data logger [<http://www.campbellsci.com>]

Pomiar bezpośredni wskaźnika odpływu, jest w istniejących warunkach, braku występowania lustra wody gruntowej na spągu warstwy przepuszczalnej, jest praktycznie niewykonalny. Zatem określenie tegoż odpływu bazować będzie na równaniu bilansu (opad, ewapotranspiracja i zmiana retencji – mierzone bezpośrednio).

Planuje się zamodelować ruch wody w mierzonym profilu glebowym równaniem Fokkera–Plancka:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} - K(\theta) \right) - S(\theta, x) \quad (1)$$

gdzie:

$\theta(x, t)$ – wilgotność objętościowa,

x – zmienna przestrzenna,

t – czas,

$D(\theta)$ – współczynnik dyfuzji,

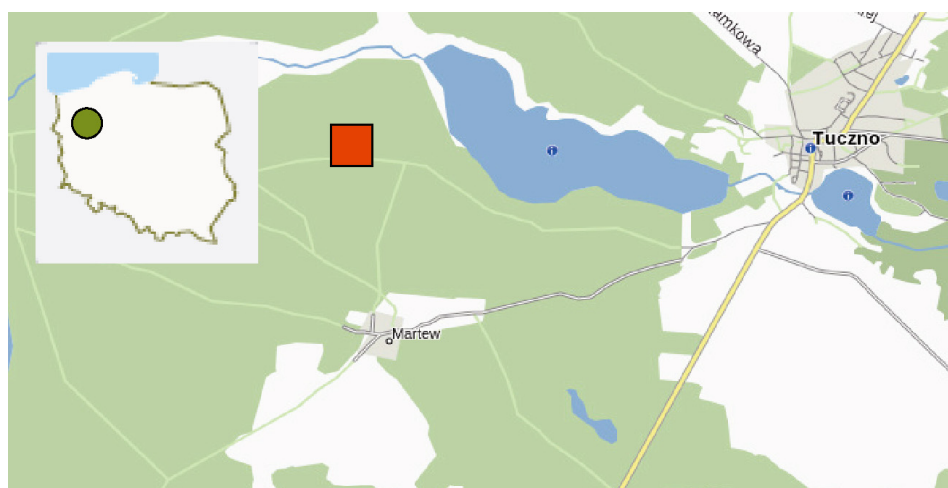
$K(\theta)$ – przewodność hydrauliczna,

$S(\theta)$ – funkcja źródłowa (pobór wody przez korzenie roślin).

Stabilne rozwiązanie można uzyskać wykorzystując aproksymację różnicową równania (1) przy zastosowaniu niejawnego schematu Laxa [Kowalik, Miler, 1979]. Umożliwi to w konsekwencji symulacje uwilgotnienia, ruchu wody dla warunków ekstremalnych (suszy, podtopień), których występowanie ma charakter bardzo rzadki, efemeryczny.

WYNIKI I DYSKUSJA

Badania zlokalizowano w bliskim sąsiedztwie meteorologicznej stacji badawczej zarządzanej przez Katedrę Meteorologii UP w Poznaniu. Teren położony jest w północno-zachodniej części Polski, w województwie zachodniopomorskim, na obszarze Nadleśnictwa Tucznó, Leśnictwo Martew – rys. 3. Dominują tu drzewostany iglaste, głównie sosnowe (*Pinus sylvestris* L.). Stanowią one 99% składu gatunkowego. Domieszką jest brzoza brodawkowata (*Betula pendula* Roth.). Wiek drzewostanu to około 60 lat. W podszycie głównymi gatunkami są buk zwyczajny (*Fagus sylvatica* L.) oraz grab zwyczajny (*Carpinus betulus* L.) [Chojnicki i in., 2009].



Rysunek 3. Lokalizacja obiektu badawczego
Figure 3. Location of research area

Obszar znajduje się na terenie otuliny Drawieńskiego Parku Narodowego. Według fizyczno geograficznej regionalizacji Polski to Mezoregion: Równina Drawska (314.63), Makroregion: Pojezierze Południowopomorskie (314), Podprovincia: Pojezierza Południowobałtyckie, Prowincja: Niż Środkowoeuropejski (31) [Kondracki 2001]. Uwzględniając podział geobotaniczny Polski mamy do czynienia z Prowincją Środkowoeuropejską Nizowo-Wyżynną, Działem Bałtyckim (A), Poddziałem: Pas Równin Przymorskich i Wysoczyzn Pomorskich (A1), Krainą: Pojezierze Pomorskie, Okręgiem Wałecko-Drawski [Trampler i in., 1990].

Zgodnie z Atlasem Klimatu Polski [2005] na obszarze poddanym analizie liczba dni pogodnych (z zachmurzeniem ≤ 2) wynosi 35 - 40 dni, natomiast liczba dni pochmurnych (zachmurzenie ≥ 7) 170-180. Zachmurzenie średnie roczne

(w skali 0 – pogodnie ; 8 – pochmurno) wynosi 5,2 – 5,4. Średnie roczne wysokości opadów (z okresu 1996-2000) kształtują się na poziomie 550 – 600 mm. Przeważają opady o wysokości $\geq 0,1$ do $\leq 1,0$ mm. Występują one 170-180 dni w roku. Opady na poziomie $\geq 1,0$ do $\leq 10,0$ mm występują przez 100-110 dni. Opady $\geq 10,0$ mm występują tylko przez 10-12 dni w roku. Średnia roczna liczba dni z burzą wynosi 20 – 22, liczba dni z gradem 0 – 2 a liczba dni z rosą 100 – 120. Średnia roczna liczba dni z opadem śnieżnym wynosi 40 – 50, natomiast liczba dni z zamiecią śnieżną 5 – 10 [Lorenc 2005]. Zestawieni termicznych pór roku zawiera tabela 1.

Średnia roczna maksymalna temperatura powietrza wynosi 12–13°C natomiast minimalna 4–5°C. Średnia roczna wilgotność względna powietrza wynosi 78 – 80%. Dominującymi wiatrami są wiatry zachodnie [Lorenc 2005].

Tabela 1. Termiczne pory roku występujące na badanym obszarze [Lorenc, 2005]

Table 1. Heat season that occur in the study area [Lorenc, 2005]

Termiczna pora roku	Zakres temperatur	Średnie daty początku	Średni czas trwania [dni]
Przedwiośnie	$0^{\circ}\text{C} \leq T \text{ dobowa} < 5^{\circ}\text{C}$	15 II – 20 II	35 – 40
Wiosna	$5^{\circ}\text{C} \leq T \text{ dobowa} < 10^{\circ}\text{C}$	25 III – 30 III	30 – 35
Przedlecie	$10^{\circ}\text{C} \leq T \text{ dobowa} < 15^{\circ}\text{C}$	25 IV – 30 IV	35 – 40
Lato	$T \text{ dobowa} \geq 15^{\circ}\text{C}$	5 VI – 10 VI	80 – 90
Polecie	$10^{\circ}\text{C} \leq T \text{ dobowa} < 15^{\circ}\text{C}$	30 VIII – 5 IX	30 – 35
Jesień	$5^{\circ}\text{C} \leq T \text{ dobowa} < 10^{\circ}\text{C}$	30 IX – 5 X	30 – 40
Przedzimie	$0^{\circ}\text{C} \leq T \text{ dobowa} < 5^{\circ}\text{C}$	5 XI – 10 XI	45 – 50
Zima	$T \text{ dobowa} < 0^{\circ}\text{C}$	20 XII – 25 XII	50 – 60

Średnie temperatury powietrza w głównych kalendarzowych porach roku zawiera tabela 2.

Tabela 2. Średnie temperatury powietrza w głównych kalendarzowych porach roku [Lorenc, 2005]

Table 2. Average air temperatures in the main calendar season [Lorenc, 2005]

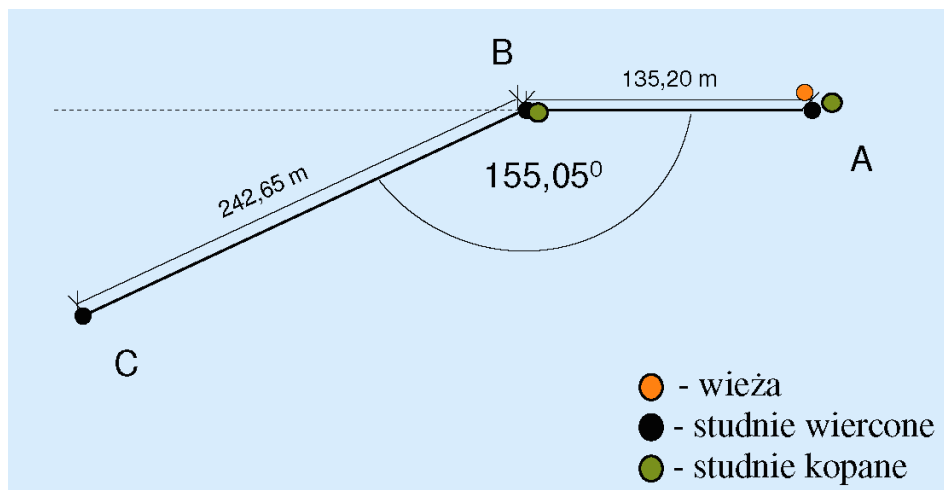
Pora roku	Średnia temperatura powietrza [° C]
Wiosna (III – V)	8 – 8,5
Lato (VI – VIII)	17,5 – 18
Jesień (IX – XI)	8 – 9
Zima (XII – II)	0 - 0,5

Pomierzone geodezyjnie średnie spadki terenu wokół wieży pomiarowej ($53^{\circ}11'33,65''\text{N}$, $16^{\circ}5'50,15''\text{E}$) w Puszczy Drawskiej wynoszą około 4%. Potwierdza to zasadność założenia o zerowym spływie powierzchniowym (praktycznie zawsze nie będzie występował). Przyjęte wstępnie założenie, iż odpływ poziomy w strefie aeracji można pomijać w obliczeniach, jako iż zazwyczaj nie przekracza 10% odpływu pionowego (infiltracji/perkolacji), jest nie-

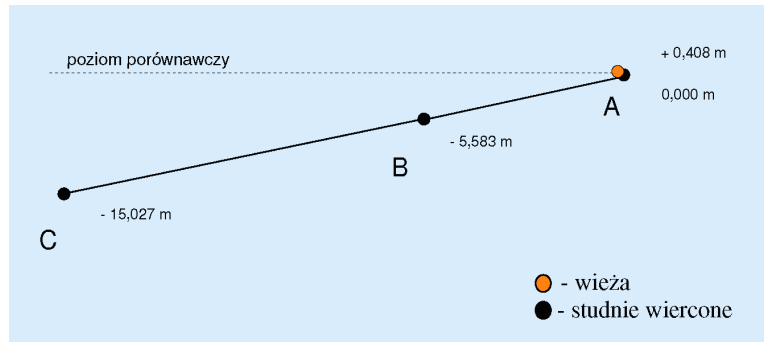
użyteczne. Byłoby użyteczne gdyby występował mierzalny odpływ gruntowy. Bowiem wtedy odpływ całkowity można by utożsamiać z odpływem gruntowym (odpływem poziomym w strefie saturacji). W celu obliczenia powyższego odpływu gruntowego (w przypadku pojawienia się warstwy wody gruntowej) zainstalowano 3 studzienki (piezometry) w transekcie spływowym – rys. 4, 5. Studzienki zostały wykonane do głębokości położenia spągu warstwy przepuszczalnej (maksymalna głębokość 12 m p.p.t.). W studzienkach umieszczono sondy Mini-Diver do pomiaru ciśnienia słupa wody gruntowej oraz dodatkowo (dla korekty) pomiar ciśnienia atmosferycznego. Odnotowane ciśnienia umożliwiają ocenę zmian stanów wody gruntowej. Dalsze obliczanie ustalonego odpływu gruntowego, o ile odnotowane zostaną stany wód gruntowych, umożliwiają stosunkowo proste wzory Dupuit'a. Jednak jak wyżej wspomniano w całym 2012 roku nie odnotowano występowania lustra wody gruntowej. Wymusza to konieczność kolejnego zweryfikowania koncepcji pomiarów hydrometrycznych.

Ostatecznie przyjęto, iż pomiary hydrometryczne ograniczone będą do pomiarów wilgotności w dwóch profilach A i B (rys. 4). Umożliwi to obliczanie zmian retencji w strefie aeracji. Natomiast całkowity odpływ będzie obliczany, jak wspomniano w metodyce, z równania bilansu.

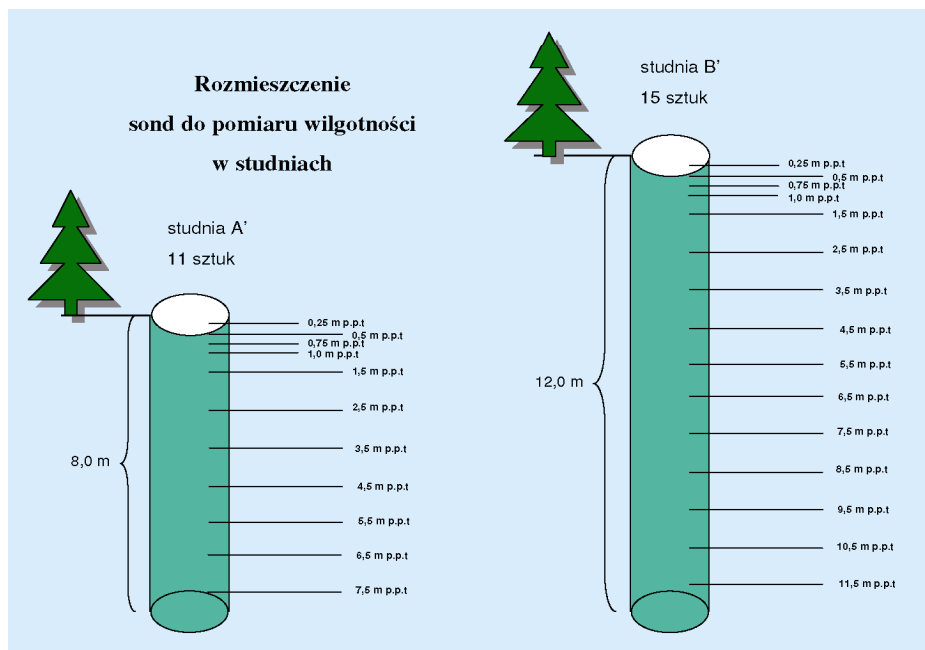
Docelowo, w zależności od uzyskanych wyników pomiarowych, planuje się rozmieszczenie sond do pomiaru wilgotności metodą TDR tak jak przedstawiono na rysunku 6. Obecnie wykonywane są pomiary metodą TDR w dwóch studniach płytszych, w punktach A i B, o głębokości odpowiednio 6 i 4 m p.p.t. – rys. 7.



Rysunek 4. Lokalizacja studni (widok z góry)
Figure 4. Wells location (view from above)



Rysunek 5. Lokalizacja studni (metoda niwelacji w przód i ze środka)
Figure 5. Wells location (leveling method: forward and from the middle)



Rysunek 6. Szczegółowe rozmieszczenie sond TDR do pomiaru wilgotności gruntu w studniach kopanych A' i B' zlokalizowanych w sąsiedztwie odwiertów A i B
Figure 6. Detailed arrangement TDR probe for measuring the moisture in the soil, in the dug wells A' and B', located in the vicinity of the wells A and B



Rysunek 7. Studnia betonowa do pomiaru uwilgotnienia metodą TDR (punkt pomiarowy A – przy Wieży) (fot. A. Krysztofiak-Kaniewska)
Figure 7. Concrete well for the TDR measure (measurement point A - the Tower) (fot. A. Krysztofiak-Kaniewska)

WNIOSKI

Początkowa koncepcja pomiarów hydrometrycznych, w tym zmian retencji i odpływu, na stacji monitoringowej Tuczno zakładała: obliczanie odpływu gruntowego na podstawie pomiarów stanów wód gruntowych oraz obliczanie zmian retencji w strefie aeracji na podstawie pomiarów uwilgotnienia gleby metodą TDR. Przy pomiarach opadu atmosferycznego i pomiarach gradientowych innych parametrów meteorologicznych na wieży pomiarowej (w punkcie A) wszystkie składniki bilansu wodnego szacowane byłyby niezależnie.

W ciągu całego 2012 roku nie odnotowano jednak występowania wody gruntowej nad spągiem warstwy przepuszczalnej (w punktach A, B i C).

W konsekwencji pomiary ograniczono do pomiarów uwilgotnienia w profilu A i kontrolnych pomiarów ewentualnego występowania wód gruntowych w piezometrach (w punktach A, B i C). Odpływ całkowity w tym przypadku obliczany będzie z równania bilansu wodnego.

Proponowana profilowa metoda bilansowa wydaje się być jedynym zasadnym rozwiązaniem kompatybilnym do monitorowanych parametrów meteorologicznych na stacji w Tucznie.

Prognoza (symulacja) ekstremalnych warunków pogodowych bazować będzie na obliczeniach ruchu wody w profilu przy wykorzystaniu jednowymiarowego modelu – równania Fokkera–Plancka.

BIBLIOGRAFIA

- Chojnicki B. H., Urbaniak M., Danielewska A., Strzeliński P., Olejnik J. (2009). *Pomiary wymiany dwutlenku węgla oraz biomasy w ekosystemach leśnych – stacja naukowa w Tucznie*. Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej R.11, Zeszyt 2 (21), 247-256.
- Evelt S.R. (2003). *Soil Water Measurement by Time Domain Reflectometry*. [In] Encyclopedia of Water Science, Dekker M.
- Jones S.B., Wraith J.M., Or D. (2002). *Time domain reflectometry measurement principles and applications*. Hydrological Processes.16, 141–153.
- Kondracki J. (2001). *Geografia regionalna Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kowalik P., Miler A. (1979). *Teoria ruchu wody glebowej*. Archiwum Hydrotechniki. Tom XXVI, Zesz. 4, 619-637.
- Leciejewski P. (2009). *Wykorzystanie metody TDR do ciągłego pomiaru zmian warunków wilgotnościowych i termicznych w profilu glebowym*. Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej. R. 11, Zesz. 2 (21), 235-246.
- Lorenc H. (Red.) (2005). *Atlas klimatu Polski*. IMGW Warszawa.
- Łobzowski A., Opęchowski A., Szkolnikowski W. (2008). *Wilgotność materiałów stałych, sypkich i gleby*. POMIAR, Wyd. Wag-Tech, nr 4.
- Miler A.T., Krysztofiak-Kaniewska A. (2012). *Sprawozdanie z realizacji badań hydrologicznych*. [w] Olejnik J. Oszacowanie strumieni netto dwutlenku węgla wymienianymi pomiędzy ekosystemem leśnym na gruntach porolnych a atmosferą z wykorzystaniem spektroskopowych i numerycznych metod pomiarowych (umowa OR-2717/27/11 z DGLP) (maszynopis).
- Miler A.T. (2013). *Kompleksowa metodyka oceny stosunków wodnych w lasach (dla oceny możliwości realizacji małej retencji wodnej na przykładzie małej zlewni leśnej Pojezierza Krajeńskiego)*. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu (w druku).
- Suliński J. (1993). *Modelowanie bilansu wodnego w wymianie między atmosferą, drzewostanem i gruntem przy użyciu kryteriów ekologicznych*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, rozpr. hab. nr 179.
- Suliński J. (2011). *Zarys problematyki monitoringu hydrologicznego w lasach polskich*. Postępy Techniki w Leśnictwie, nr 115.
- Trampler T., Kliczkowska A., Dmyterko E., Sierpińska A. (1990). *Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-fizjograficznych*. PWRiL Warszawa.
- Schlumberger Water Services <http://www.swstechnology.com> [dostęp 06.02.2013]
- Campbell Scientific <http://www.campbellsci.com> [dostęp 06.02.2013]

Dr inż. Anna Krysztofiak-Kaniewska
 Tel. 618466112, E-mail annakrysztofiak@wp.pl
 Prof. dr hab. inż. Antoni T. Miler
 Katedra Inżynierii Leśnej
 Uniwersytet Przyrodniczy
 , ul. Mazowiecka 41
 60-623 Poznań
 Tel./Fax 618487366, E-mail amiler@up.poznan.pl

