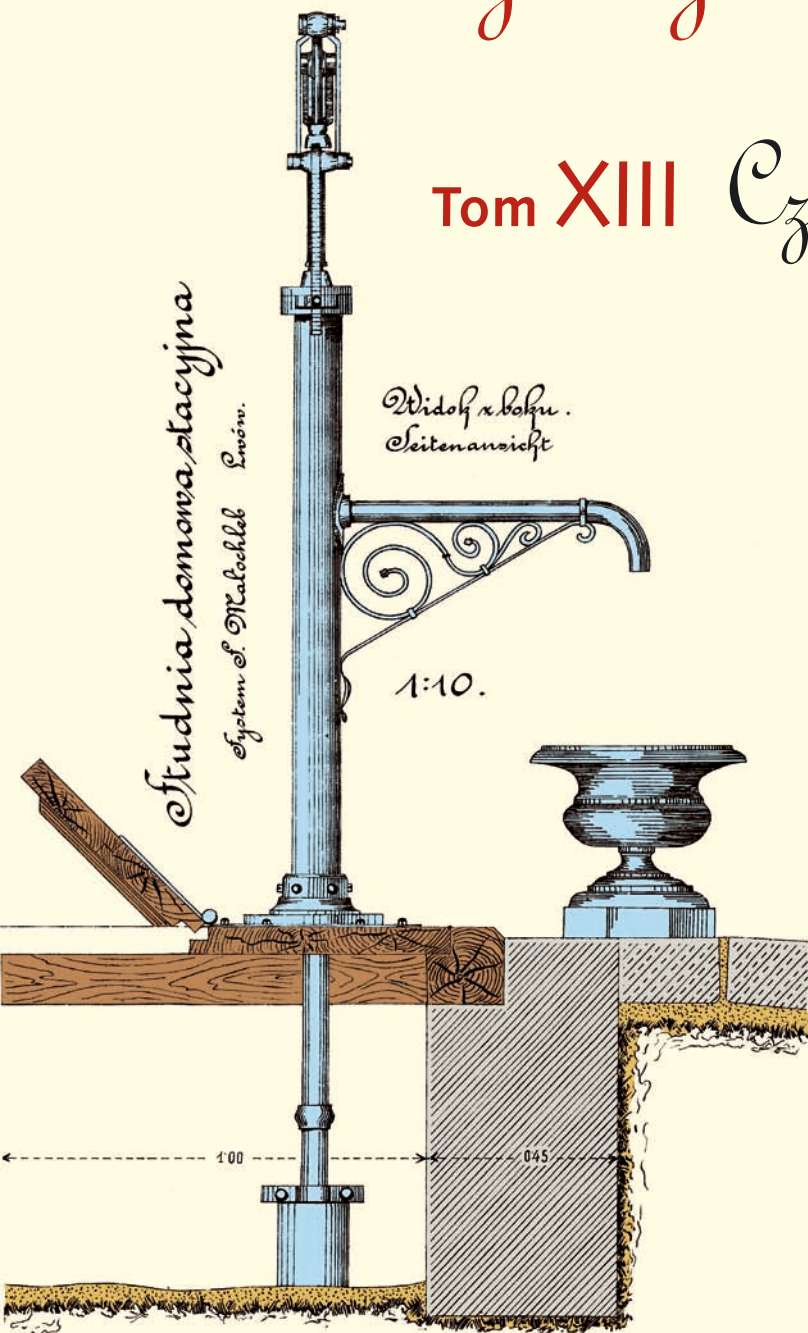


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 2.



Copyright © Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Kraków 2007



Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska
Wojciech Ciężkowski
Józef Górski
Andrzej Kowalczyk
Ewa Krogulec
Grzegorz Malina
Jerzy Małecki
Marek Marciniak
Jacek Motyka
Marek Nawalany
Jan Przybyłek
Andrzej Rózkowski
Andrzej Sadurski
Andrzej Szczepański
Stanisław Staško
Stanisław Witczak
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Teksty artykułów w częściach 2. i 3. zostały wydrukowane z wersji elektronicznej dostarczonej przez Autorów, metodą bezpośredniej reprodukcji (*camera ready*)

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespól

Skład komputerowy systemem $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$: pre $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ t, www.pretext.com.pl

Druk: ROMA-POL, www.romapol.pl

ISBN-13 978-83-88927-16-4

Anna Andrzejewska

Porównanie terminów początku i końca okresu ewapotranspiracji z wód podziemnych z „meteorologicznymi” okresami wegetacyjnymi

Comparison of Terms of Beginning and End of Groundwater Evapotranspiration Period and “Meteorological” Vegetation Period

Słowa kluczowe

ewapotranspiracja z wód podziemnych, okres wegetacyjny, automatyczny pomiar stanów wód podziemnych

Key words

groundwater evapotranspiration, vegetation period, automatic water table measurement

Abstract

The research was conducted in the Kampinoski National Park in the years 2001–2006. On the basis of hourly automatic measurement of the groundwater level the periods with groundwater evapotranspiration were appointed. During one year the beginnings of these periods were similar in all measurement points and appeared between the end of April and the end of May. The ends of these periods were spread between piezometers in one year, and between years and appeared between the second half of August and the end of October. In the Polish climatic conditions the vegetation period described by average diurnal temperatures above 10°C seems to be more congenial to the groundwater evapotranspiration period than by temperature above 5°C.

1. Wstęp

Ewapotranspiracja to proces ulatniania się wody do atmosfery poprzez (łącznie) parowanie terenowe, transpirację roślin i sublimację (Słownik Hydrogeologiczny, 2002). Część wody, która wyparowuje lub jest transpirowana przez rośliny, może pochodzić z płytko położonych poziomów wód podziemnych o zwierciadle swobodnym. Występowanie oraz intensywność tego procesu, rozumianego jako obniżanie zwierciadła wód podziemnych na skutek ewapotranspiracji i określanego dalej jako „ewapotranspiracja z wód podziemnych”, możemy obserwować wykonując regularne i częste (godzinowe) pomiary stanu wody.

Dobowe fluktuacje stanów wód podziemnych były obserwowane już w latach 20. XX wieku. Od tego czasu prowadzono wiele badań nad wykorzystaniem tych zmian do obliczeń m.in. wielkości ewapotranspiracji z wód podziemnych - metoda WTF (Healy, Cook, 2002).

Transpiracja występuje tylko w okresie wegetacyjnym (od wiosny do jesieni), lecz zależnie od rodzaju roślinności może mieć bardzo duży wpływ na ubytek wody w gruncie. W okresie letnim na terenach o płytko położonym zwierciadle wody podziemnej parowanie z gruntu wraz z transpiracją przewyższają infiltrację efektywną (Macioszczyk, 2006).

Przeciętnie ewapotranspiracja na obszarze Puszczy Kampinoskiej wynosi 543 mm/rok – 82% opadu skorygowanego, ale w bardzo suchym roku 1951 wyniosła 647 mm – 133% opadu skorygowanego (Soczyńska i in., 2003).

Ewapotranspiracja jest więc procesem, który znacząco wpływa na bilanse hydrologiczne i hydrogeologiczne. Obliczenie jej wielkości nasuwa jednak wiele problemów i autorzy stosują rozmaite podejścia do określenia okresu, w którym wielkość ewapotranspiracji ma istotne znaczenie w bilansie wodnym. W najprostszym podejściu rok podzielony jest na dwie równe części: ciepłą IV-IX i zimną X-III (np. Soczyńska i in., 2005). W bardziej szczegółowych badaniach stosowany jest „meteorologiczny okres wegetacyjny”, określane jako pora roku, w której średnia dobowa temperatura powietrza przekracza $+5^{\circ}\text{C}$ (Szajda, 1997), niektórzy badacze przyjmują jako temperaturę graniczną 10°C (Puchalski, Prusinkiewicz, 1975). W celu określenia wielkości ewapotranspiracji stosowane są rozmaite metody empiryczne i skomplikowane wzory, opierające się m.in. na danych meteorologicznych i wskaźnikach roślinnych, np. szeroko rozpowszechniony wzór Konstantinowa w modyfikacji Dębskiego z 1963 r. (przykładowo Małecki, 1998; Lenartowicz, 2003), czy zalecany do stosowania w warunkach polskich wzór Penmana w modyfikacji francuskiej (Musiał, 2001; Sarnacka i in., 1983).

Celem niniejszej pracy jest określenie terminów początku i zakończenia sezonu, w którym obserwowany jest istotny wpływ parowania i transpiracji roślin na dobową dynamikę stanów wód podziemnych. Ułatwi to określenie długości trwania sezonu, w którym przy obliczaniu bilansu wód podziemnych konieczne jest uwzględnienie ewapotranspiracji oraz długości sezonu, w którym ewapotranspirację z wód podziemnych można pominąć.

Pomiary prowadzono w latach 2001-2006 w Kampinoskim Parku Narodowym. Park położony jest w zachodniej części Kotliny Warszawskiej i charakteryzuje się pasowym układem geomorfologicznym. Wyróżnia się tu plejstocenijskie tarasy nadzalewowe Wisły z dwoma pasami wydmyowymi i dwoma pasami bagiennymi, dwa holocenijskie tarasy

zalewowe oraz współczesne koryto Wisły między wałami przeciwpowodziowymi. Od południa teren ten ograniczony jest skarpą pradoliny Wisły oraz Równiną Łowicko-Błońską, od wschodu zabudowaniami Warszawy, od zachodu doliną Bzury. Na terenie tym występuje jeden czwartorzędowy poziom wodonośny o miąższości do 50 m i zwierciadle swobodnym.

2. Metoda określania okresów z ewapotranspiracją z wód podziemnych

Do pomiarów wybrano z sieci monitoringu wód powierzchniowych i podziemnych Kampinoskiego Parku Narodowego (Andrzejewska, 2003; Krogulec, 2004) 3-6 piezometrów o głębokości od 2,5 m do 5,0 m, z których 5 zlokalizowanych jest na pasach bagiennych, a 2 na pasach wydmych (tab. 1). Wszystkie piezometry mają filtr długości 1 m i rurę podfiltrową długości 30 cm. W piezometrach tych umieszczono automatyczne mierniki stanu wód podziemnych firmy Ejkelkampf typu „Diver” z dokładnością pomiaru zależną od typu do 0,5 lub 0,2 cm. Pomiar stanu wody odbywał się raz na godzinę. Zasada działania przyrządu opiera się na pomiarze ciśnienia panującego wokół divera, a następnie kompensacji wpływu ciśnienia atmosferycznego (Krogulec, Andrzejewska, 2004). Pomiaru automatyczne zweryfikowano pomiarami ręcznymi prowadzonymi raz na dwa tygodnie.

Wykres godzinowych zmian stanów wody wykazuje wyraźną różnicę pomiędzy okresem z ewapotranspiracją z wód podziemnych a okresem bez ewapotranspiracji (rys. 1). Taka charakterystyka wykresów zaznacza się jedynie wtedy, gdy nie występuje infiltracja wód opadowych. W okresie z ewapotranspiracją z wód podziemnych obserwujemy wyraźne dobowe fluktuacje. W godzinach porannych, poziom wody zaczyna szybko obniżać się, aż do godzin popołudniowych, kiedy ponownie łagodnie podnosi się, nie osiągając jednak stanu z poprzedniej doby. Amplituda tych wahań wynosi ok. 3-5 cm. W okresie bez ewapotranspiracji z wód podziemnych wykres zbliżony jest do linii prostej, a niewielkie wahania (do 1 cm) z godziny na godzinę wynikają z niedokładności przyrządów.

Na podstawie wykresów można określić z dokładnością do 2-3 dni początek i koniec okresu występowania ewapotranspiracji z wód podziemnych. Za dzień początku i końca okresu przyjęto odpowiednio pierwszy i ostatni dzień w roku, w którym wykres wykazuje wyraźny kształt sinusoidalny i stan wody obniża się w ciągu dnia przynajmniej o 2 cm (rys. 2).

Terminy początku i końca okresu z ewapotranspiracją z wód podziemnych porównano do terminów początku i końca okresu wegetacyjnego określonego na podstawie średnich dobowych temperatur powietrza, jako okresu z temperaturami średnimi dobowymi powyżej 5°C i powyżej 10°C, mierzonych automatycznie na stacji meteorologicznej Kampinoskiego Parku Narodowego w Granicy.

Tabela 1. Charakterystyka piezometrów z automatycznymi miernikami stanu wód podziemnych
Table 1. Characteristic of piezometers with groundwater automatic measurement device

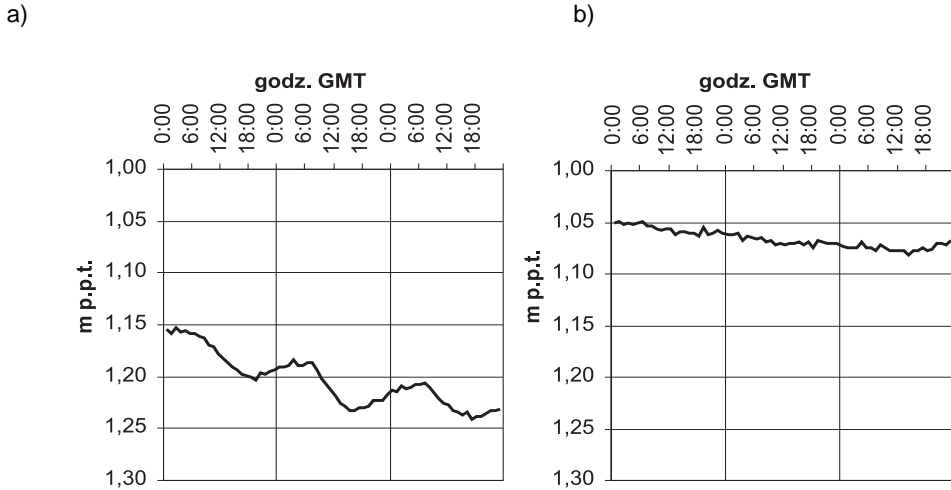
Nr piezometru	Hydrostrefa ¹⁾	Głębokość piezometru ²⁾ m p.p.t.	Średnia głębokość do lustra wody ³⁾ m p.p.t.	Najniższy poziom wody ³⁾ m p.p.t.	Najwyższy poziom wody ³⁾ m p.p.t.	Okres pomiarów automatycznych	Litologia warstwy wodonośnej ²⁾	Typ roślinności ⁴⁾
P32	N pas bagienny	3,5	0,90	1,35	0,40	2001-2006	piasek średni	zarastająca łąka wilgotna
P33	N pas bagienny	3,5	1,31	2,03	0,59	2001-2006	piasek średni	grąd
P34	S pas wydymowy	5,0	2,07	2,63	1,35	2001-2006	piasek średni	bór świeży
P35	S pas bagienny	4,0	2,28	3,16	1,54	2001-2006	piasek drobny	mozaika: łąka świeża, nasadzenie dębowe
P17	N pas wydymowy	4,0	2,20	2,74	1,55	2005-2006	piasek średni	bór świeży
P19	N pas bagienny	4,0	1,37	2,14	0,34	2003	piasek średni	mozaika, zbiorowiska nitrofilne
P55	S pas bagienny	2,5	0,71	1,46	0,40	2005-2006	piasek średni	ols porzeczkowy

¹⁾ Na podstawie Krogulec, 2004.

²⁾ Na podstawie Krogulec, i in., 1998.

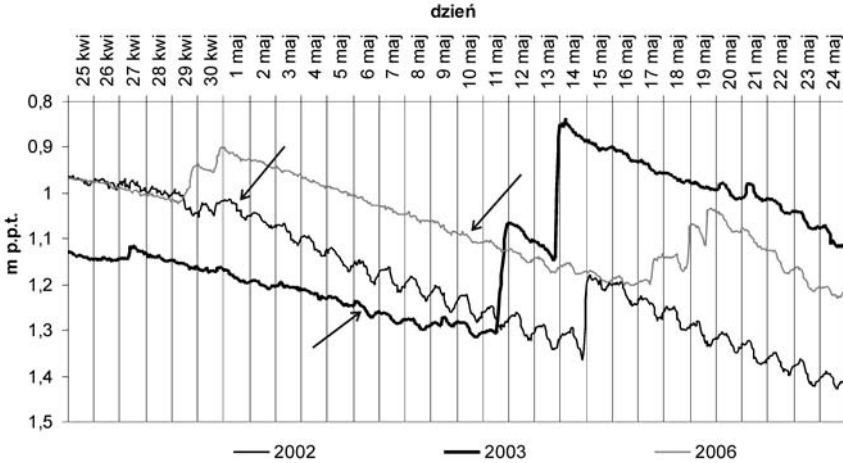
³⁾ Na podstawie pomiarów monitoringu wód z lat 1999-2006.

⁴⁾ Na podstawie zdjęć fitosocjologicznych.



Rysunek 1. Dobowe fluktuacje stanów wód podziemnych w piezometrze P33 w dniach 2-4.06.2006 z widoczną ewapotranspiracją z wód podziemnych – a) oraz w dniach 1-3.03.2006 – bez ewapotranspiracji – b)

Figure 1. Diurnal fluctuation of water table measured in piezometer P33 on the 2-4.06.2006 with visible groundwater evapotranspiration – a) and on the 1-3.03.2006 without groundwater evapotranspiration – b)

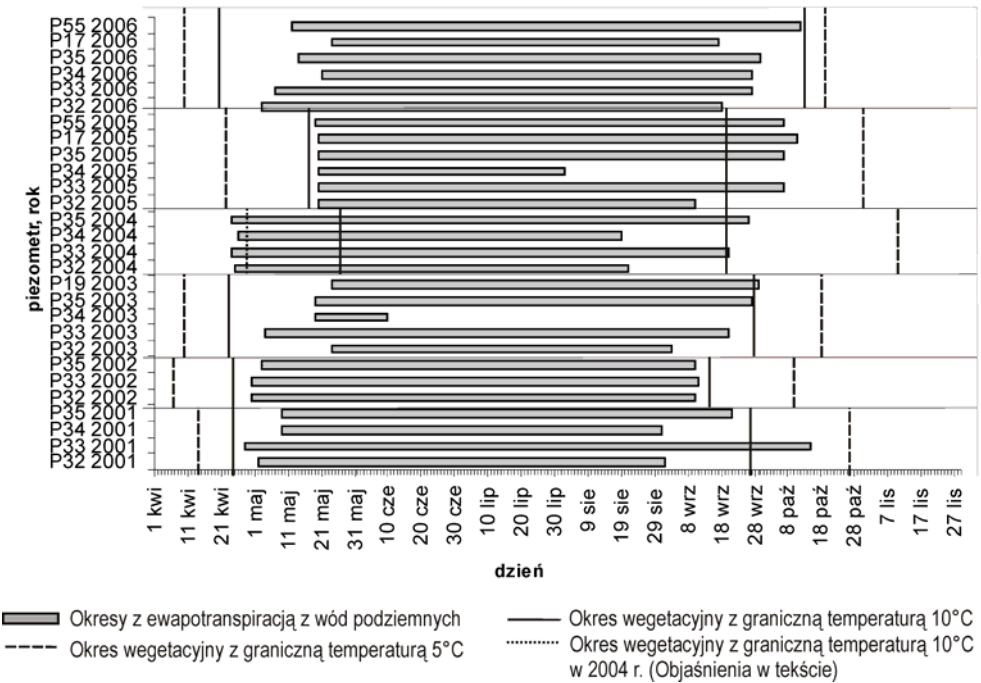


Rysunek 2. Przykład określenia początku okresu ewapotranspiracji z wód podziemnych na podstawie pomiarów godzinowych stanu wód w piezometrze P33 w latach 2002, 2003 i 2006 (strzałki pokazują pierwszy dzień okresu z ewapotranspiracją z wód podziemnych)

Figure 2. An example of pointing out of the date of the beginning of the groundwater evapotranspiration period on the basis of hourly measurement of the groundwater table in piezometer P33 in 2002, 2003 and 2006 (arrows indicate the first day of the groundwater evapotranspiration period)

3. Wyniki badań

Początek okresu ewapotranspiracji z wód podziemnych określonego ww. metodą występował pomiędzy 25.04 (2004 r. – P33 i P35), a 25.05 (2003 r. – P19, P33, 2006 r. – P17). W danym roku termin jego początku był zbliżony we wszystkich piezometrach. Wyjątkiem były lata 2003 i 2006, w których rozpiętość pomiędzy początkiem ewapotranspiracji z wód podziemnych w poszczególnych piezometrach wyniosła do 21 dni. W 2006 r. w P34 i w P17 okres ewapotranspiracji z wód podziemnych zaczyna się później niż w pozostałych piezometrach. Niewielkie dobowe fluktuacje zaczynają być widoczne już wcześniej, ale amplitudę ok. 2 cm osiągają dopiero w trzeciej dekadzie maja. W 2006 r. ewapotranspiracja z wód podziemnych rozpoczyna się powoli i trudniej jest niż w pozostałych latach określić dokładnie jej początek (rys. 3).



Rysunek 3. Długość trwania okresów z ewapotranspiracją z wód podziemnych na tle okresów wegetacyjnych

Figure 3. Periods of the groundwater evapotranspiration with background of the vegetation periods.

Na podstawie praw fizyki wody glebowej i fizjologii roślin oraz bogatego materiału doświadczalnego przyjmuje się, że ewapotranspiracja w przedziale wilgotności obejmującym stany dostatecznego zaopatrzenia w wodę (lub w warunkach nieograniczonej dostępności wody) nie zależy od wilgotności gleby, lub zależy w niewielkim stopniu

(Szajda, 1997). Można zatem przyjąć, że wiosną, kiedy zaczyna się okres z ewapotranspiracją z wód podziemnych, roślinność na badanym terenie ma zapewnioną dostateczną ilość wody i początek ewapotranspiracji zależy od warunków meteorologicznych.

W porównaniu do ogólnie przyjmowanego początku okresu wegetacyjnego ze średnią dobową temperaturą powyżej 5°C, okres z ewapotranspiracją z wód podziemnych rozpoczyna się wyraźnie później – średnio o 26 dni i kończy wcześniej – o 36 dni (rys. 3). Najmniejsza różnica pomiędzy początkiem okresu wegetacyjnego, a początkiem okresu z ewapotranspiracją z wód podziemnych wystąpiła w 2001 r. w piezometrze P33 i wyniosła 12 dni. Największa różnica – 42 dni wystąpiła w piezometrach P19 i P32 – 2003 r. oraz P17 – 2006 r.

Porównując termin początku okresu z ewapotranspiracją z wód podziemnych do terminu początku okresu wegetacyjnego liczonego jako sezon ze średnimi dobowymi temperaturami powyżej 10°C, okres wegetacyjny rozpoczynał się średnio o 6 dni wcześniej niż okres z ewapotranspiracją. W roku 2005 we wszystkich badanych piezometrach termin początku obu okresów był ten sam, a w roku 2002 były one bardzo zbliżone. W latach 2003 i 2006 okres wegetacyjny wyprzedzał okres z ewapotranspiracją o około 20 dni, tylko w roku 2004 okres z ewapotranspiracją rozpoczął się o miesiąc wcześniej niż okres wegetacyjny. Wyjaśnieniem może być fakt, że pierwsza połowa maja była ciepła z temperaturami powyżej 10°C, ale potem przyszło znaczne ochłodzenie (średnie dobowe temperatury ok. 7°C) i dopiero po 28 maja temperatury znowu podniosły się powyżej 10°C. Uwzględniając te wahania temperatur można również przyjąć, termin początku okresu wegetacyjnego na 1 maja. W tym przypadku początek okresu z ewapotranspiracją z wód podziemnych wystąpił około 6 dni wcześniej niż początek okresu wegetacyjnego.

Termin końca okresu z ewapotranspiracją z wód podziemnych jest bardziej zróżnicowany i w mniejszym stopniu zależy od temperatur powietrza. W porównaniu do terminu końca okresu wegetacyjnego liczonego jako pora roku z temperaturą powyżej 5°C, koniec okresu z ewapotranspiracją wystąpił średnio o 36 dni wcześniej, niż koniec okresu wegetacyjnego. Największe różnice zanotowano w piezometrze P34, w roku 2003 – 127 dni i 2005 – 86 dni. W porównaniu do okresu wegetacyjnego liczonego jako pora roku z temperaturą powyżej 10°C, koniec okresu z ewapotranspiracją z wód podziemnych występuje średnio o 9 dni wcześniej niż koniec okresu wegetacyjnego, lecz znaczne różnice występują w obu kierunkach: w piezometrze P34 w 2003 roku ewapotranspiracja zakończyła się o 107 dni wcześniej niż okres wegetacyjny, a w roku 2005 w piezometrze P17 o 24 dni później. W 10 przypadkach terminy obu okresów były zgodne w zakresie ± 1 tydzień.

4. Wnioski

- Na podstawie dobowych wahań zwierciadła wód podziemnych można wyznaczyć okresy roku, w których występuje ewapotranspiracja z wód podziemnych oraz okresy bez ewapotranspiracji.
- W terenie z płytko położonym zwierciadłem wód podziemnych (do ok. 3 m p.p.g.) termin początku okresu z ewapotranspiracją z wód podziemnych w danym roku jest

podobny we wszystkich piezometrach i zależy on przede wszystkim od warunków pogodowych, a w mniejszym stopniu od położenia zwierciadła wody.

- Okres z ewapotranspiracją z wód podziemnych w warunkach Kampinoskiego Parku Narodowego rozpoczynał się najwcześniej pod koniec kwietnia, a najpóźniej pod koniec maja.
- Termin końca okresu z ewapotranspiracją z wód podziemnych jest zróżnicowany w danym roku i pomiędzy latami, i zależy zarówno od warunków pogodowych, jak i położenia zwierciadła wody w piezometrze.
- W warunkach Kampinoskiego Parku Narodowego koniec okresu z ewapotranspiracją występował pomiędzy drugą połową sierpnia, a pierwszą połową października, a w wyjątkowo niekorzystnych warunkach wilgotnościowych może wystąpić wcześniej.
- Przy stosowaniu do obliczeń bilansów hydrogeologicznych okresów wegetacyjnych opartych na średnich dobowych temperaturach powietrza wydaje się, bardziej właściwe przyjmowanie temperatury granicznej 10°C, niż 5°C.

Literatura

- Andrzejewska A. 2003: *Monitoring wód w Kampinoskim Parku Narodowym – trzy lata obserwacji*. Biuletyn Monitoringu Przyrody Nr 1/2003(4), 67-77.
- Healy W. R., Cook P. G., 2002: *Using groundwater levels to estimate recharge*. Hydrogeology Journal 10, 91-109.
- Krogulec E., Sikorska-Maykowska M., Fic M. 1998: *Dokumentacja hydrogeologiczna z wykonanych piezometrów wraz z programem monitoringu na obszarze Kampinoskiego Parku Narodowego i jego otuliny*. Niep; Arch. KPN
- Krogulec E. 2004, *Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w dolinie rzecznej na podstawie przesłanek hydrodynamicznych*. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego. Warszawa, ISBN 83-235-0165-3.
- Krogulec E., Andrzejewska A., 2004: *Zastosowanie automatycznych pomiarów stanów wód podziemnych w lokalnym systemie monitoringowym*. Współczesne Problemy Hydrogeologii T. XII. Toruń 397-404.
- Krogulec E., Rossa M. R., 2003: *Hydrological mathematical model of the Kampinoski National Park – central part*. Ecohydrology&Hydrobiology Vol 3 No 3, 285-290.
- Lenartowicz M., 2005: *Modelowanie procesów hydrologicznych i geochemicznych w bagiennej zlewni nizinnej (na przykładzie zlewni Pożary)*. Monografie Komitetu Gospodarki wodnej PAN z. 25. Warszawa, pp.144
- Macioszczyk A., 2006: *Podstawy hydrogeologii stosowanej*, Warszawa, PWN, ISBN-13: 978-83-01-14728-0.
- Małecki J. J., 1998: *Rola strefy aeracji w kształtowaniu składu chemicznego płytkich wód podziemnych wybranych środowiska hydrogeochemicznych*. Biuletyn PIG 381, pp. 219.
- Musiał E., 2001: *Modelowanie procesu ewapotranspiracji rzeczywistej i prognozowanie jego tendencji*. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Nr 142 Rozprawy CLXXXII. pp 116.

- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1975: *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego*. Wydanie I, Warszawa PWRiL.
- Sarnacka S., Brzeska J., Świerczyńska H., 1983: *Wybrane metody wyznaczania ewapotranspiracji potencjalnej. Materiały pomocnicze*. Materiały Badawcze, Seria Gospodarka Wodna i Ochrona Wód. Warszawa. IMGiW.
- Słownik Hydrogeologiczny. 2002: Ministerstwo Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa. Warszawa, ISBN: 83-85660-52-6.
- Soczyńska U., Gutry-Korycka M., Pokojska P., Mikos D., 2003: *Water balance as base for proper water management in the Łasica catchment (Kampinoski National Park)* Ecohydrology&Hydrobiology Vol 3 No 3, Warszawa, 291-309.
- Szajda J. 1997: *Roślinne i glebowo-wodne wskaźniki ewapotranspiracji łąki na glebie torfowo-murszowej*. Rozprawy habilitacyjne. IMUZ. Falenty. ISBN 83-85735-62-3