

LESZEK ŁABĘDZKI, WIESŁAWA KASPERSKA-WOŁOWICZ

ZMIENNOŚĆ WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH I EWAPOTRANSPIRACJI UŻYTKÓW ZIELONYCH W DOLINIE GÓRNEJ NOTECI W LATACH 1972-2003

Abstrakt: W pracy przedstawiono zmienność warunków meteorologicznych i ewapotranspiracji użytków zielonych w okresie wegetacyjnym w dolinie górnej Noteci. Badanie przeprowadzono na stacji meteorologiczno-lizymetrycznej „Frydrychowo”. Pomiarów meteorologicznych prowadzono w klatce meteorologicznej i automatyczną stacją agrometeorologiczną. Ewapotranspirację użytków zielonych obliczano z równania bilansu wody w lizymetrach. Warunki meteorologiczne w dolinie górnej Noteci są bardzo zmienne. Największą zmiennością cechuje się opad atmosferyczny. Ewapotranspiracja wskaźnikowa i ewapotranspiracja użytków zielonych osiągały najmniejsze wartości na początku i na końcu okresu wegetacji traw, zaś największe w okresie od maja do lipca. Ewapotranspiracja użytków zielonych w okresie wegetacji była większa niż suma opadów atmosferycznych o ponad 230 mm. Różnica ta jest uzupełniana z retencji wodnej gleb i przez okresowe nawodnienia podsiąkowe.

Słowa kluczowe: użytki zielone, stacja meteorologiczno-lizymetryczna, ewapotranspiracja.

1. Wstęp

Obszar zlewni górnej Noteci leży na granicy Pojezierza Południowopomorskiego i Pojezierza Wielkopolskiego i znajduje się w strefie klimatycznej przejściowej między obszarami od strony zachodniej o klimacie łagodnym, zaś od strony wschodniej - kontynentalnym (Romer 1949). Często zmienność pogody jest spowodowana dużą możliwością napływu mas powietrza o przeciwstawnych właściwościach. Mogą być one zimne wilgotne i ciepłe wilgotne znad Atlantyku lub kontynentalne silnie nagrzane z południowej części Europy Wschodniej (Hohendorf 1969). Ukształtowanie powierzchni i wydłużony kształt zlewni powodują duże zróżnicowanie klimatu lokalnego. Swoisty klimat lokalny posiadają obszary trwałych użytków zielonych położonych w dolinie rzeki na glebach organicznych. Dolina Noteci należy do obszarów kraju o najmniejszej rocznej sumie opadów atmosferycznych (Łabędzki, Bąk 2004; Paszyński, Niedźwiedź 1999; Rojek,

Żyromski 1994; Woś 1994, 1999). Szczególnie niekorzystny dla produkcji roślinnej w tym rejonie jest również rozkład opadów w ciągu roku i występowanie długich ciągów dni bezopadowych. Długotrwałe okresy bezopadowe lub z bardzo małymi opadami, w połączeniu z intensywnym parowaniem, występują na tym obszarze najczęściej w okresie wiosennym i letnim (Bąk, Łabędzki 2002; Kasperska-Wołowicz i in. 2003; Konopko 1988).

Celem pracy jest charakterystyka zmienności wybranych elementów meteorologicznych oraz ewapotranspiracji łąki dwukośnej i trzykośnej w dolinie górnej Noteci, reprezentowanych przez stację meteorologiczno-lizymetryczną „Frydrychowo”.

2. Położenie stacji badawczej i warunki glebowe

Stacja meteorologiczno-lizymetryczna „Frydrychowo” leży w odległości 15 km od Bydgoszczy, w szerokiej, płaskiej dolinie rzecznej na wysokości 67 m n.p.m., w kompleksie Łąk Łabiszyńskich, w bezpośrednim sąsiedztwie Kanału Górnonotectkiego. Łąki na tym obszarze są zmeliorowane, użytkowane łąki. Występują tu gleby torfowo-murszowe silnie i średnio zmurszałe. Siedlisko łąkowe jest zasilane wodą gruntową z obszaru doliny Kanału Górnonotectkiego oraz systemem rowów w czasie nawadniania podsiąkowego. Wczesną wiosną oraz w czasie wiosenno-letnich nawodnień poziom wody gruntowej podnosi się do 40-50 cm od powierzchni. Silne zmurszenie gleby powoduje w okresie posuchy atmosferycznej przesychanie poziomu darniowego do wilgotności mniejszej od wartości krytycznej dla traw. Zwierciadło wody gruntowej znajduje się wówczas na głębokości od 90 do 100 cm, co powoduje przerwanie podsiąku kapilarnego z poziomu wody gruntowej. W tym czasie występuje spękanie gleby i wyraźne zahamowanie przyrostu traw.

Siedlisko, w którym prowadzono badania, sklasyfikowano zgodnie z metodyką podziału siedlisk hydrogenicznych według Okruszki (1992), jako siedlisko

Tab. 1. Właściwości fizyczne i wodne gleby MtlIcb, stacja meteorologiczno-lizymetryczna „Frydrychowo”

Table 1. Physical and water properties of peat-muck soil, the meteorological-lysimeter station “Frydrychowo”

Warstwa Layer	Zawartość wody ($m^3 \cdot m^{-3}$) dla pF Water content ($m^3 \cdot m^{-3}$) at pF											Popiel- ność Ash content	Gęstość objętościowa Bulk density
	0	1,0	1,5	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,4	4,2	%	$g \cdot cm^{-3}$	
cm	0	1,0	1,5	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,4	4,2	%	$g \cdot cm^{-3}$	
0-10	0,69	0,66	0,65	0,60	0,56	0,50	0,45	0,40	0,36	0,28	74,4	0,79	
10-20	0,71	0,68	0,65	0,54	0,48	0,46	0,43	0,40	0,35	0,27	86,0	0,73	
20-30	0,82	0,76	0,69	0,58	0,53	0,48	0,45	0,39	0,33	0,23	80,7	0,41	
30-40	0,91	0,88	0,84	0,79	0,75	0,70	0,66	0,59	0,49	0,32	13,4	0,26	
40-50	0,95	0,91	0,89	0,80	0,74	0,65	0,55	0,42	0,33	0,23	13,0	0,16	
50-60	0,95	0,93	0,91	0,84	0,77	0,69	0,60	0,38	0,26	0,18	12,7	0,13	
70-80	0,97	0,94	0,92	0,85	0,79	0,71	0,63	0,46	0,29	0,19	10,5	0,13	
90-100	0,96	0,93	0,91	0,82	0,77	0,70	0,65	0,53	0,29	0,17	13,5	0,14	

podsiąkowe posuszone Pc, oraz na podstawie charakterystycznych dla warunków wodnych gatunków roślin łąkowych metodą Oświta (1992), jako siedlisko suche okresowo silnie nawilżane B3 i świeże C1.

Na stacji lizymetrycznej i otaczającej ją łące występuje gleba torfowo-murszowa Mtl1cb, średnio zmurzała, podścielona torfem silnie rozłożonym na torfie średnio rozłożonym o następującej budowie profilu:

- 0-30 cm – mursz torfowy właściwy, czarny, kaszkowaty,
- 31-55 cm – torf silnie rozłożony,
- 56-90 cm – torf szuwarowy średnio rozłożony, z kawałkami liści,
- 91-120 cm – torf turzycowiskowy gąbczasty, średnio rozłożony, ciemnobraunaty, z kawałkami liści i drewna.

Właściwości fizyczne i wodne profilu glebowego na stacji meteorologiczno-lizymetrycznej „Frydrychowo” przedstawiono w tabeli 1.

3. Metody i zakres badań

3.1. Badania meteorologiczne

Badania prowadzono w okresie wegetacyjnym (IV-IX) w latach 1972-2003. Do maja 1997 roku mierzono temperaturę i wilgotność powietrza w klatce meteorologicznej na wysokości 2,0 m według metodyki IMGW trzy razy dziennie (o godz. 7⁰⁰, 13⁰⁰ i 19⁰⁰ czasu środkowo-europejskiego). Temperaturę i wilgotność względną powietrza nocą (o godz. 1⁰⁰) odczytywano z termohigrografu. Usłonecznienie mierzono heliografem Campbella-Stakesa, opad atmosferyczny – deszczomierzem Helmana na wysokości 1,0 m oraz prędkość wiatru – wiatromierzem Wilda na wysokości 10 m.

Od czerwca 1997 roku na stacji, obok klatki meteorologicznej, zainstalowano również automatyczną stację agrometeorologiczną. Przy użyciu stacji automatycznej mierzono na wysokości 2,0 m promieniowanie słoneczne, temperaturę i wilgotność względną powietrza oraz prędkość i kierunek wiatru. Czujniki temperatury i wilgotności powietrza umieszczone były pod żaluzjową osłoną radiacyjną. Pomiar wykonywano co pięć minut oraz uśredniano i zapisywano w pamięci loggera stacji co godzinę.

Na podstawie średnich dekadowych wartości mierzonych elementów meteorologicznych w badanym okresie wegetacyjnym, obliczono ewapotranspirację wskaźnikową ET_0 według wzoru Penmana-Monteitha. Jest to metoda zalecana przez FAO i ICID oraz stosowana powszechnie na świecie do obliczania ewapotranspiracji roślin. Ewapotranspirację wskaźnikową definiuje się jako: „Ewapotranspirację hipotetycznej rośliny, jaką jest trawa o stałej, jednakowej wysokości równej 12 cm, stałej oporności stomatycznej równej $70 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1}$, stałym albedo wynoszącym 0,23, w pełni zakrywająca glebę, w warunkach aktywnego rozwoju i nieograniczonego dostępu wody” (Allen i in. 1994a, b; Allen i in. 1998; Feddes, Lenselink 1994; Łabędzki i in. 1996; Łabędzki 1997, 1999a; Smith 1992). Wzór Penmana-Monteitha

do obliczania ewapotranspiracji wskaźnikowej ma następującą postać:

$$ET_o = \frac{0,408\delta R_n + 900\tau v(e_s - e) / T}{\delta + \tau(1 + 0,34v)} \quad (1)$$

gdzie:

ET_o – ewapotranspiracja wskaźnikowa według Penmana-Monteitha, $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$,

δ – nachylenie krzywej ciśnienia nasyconej pary wodnej, $\text{hPa}\cdot\text{K}^{-1}$,

R_n – promieniowanie netto, $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$,

τ – stała psychrometryczna, $\text{hPa}\cdot\text{K}^{-1}$,

v – prędkość wiatru mierzona na wysokości 10 m, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

e – ciśnienie pary wodnej, hPa ,

e_s – ciśnienie nasyconej pary wodnej, hPa ,

T – temperatura powietrza, K ,

Nadmiar lub niedobór opadów obliczono jako różnicę między sumą miesięczną opadów P i sumą miesięczną ewapotranspiracji wskaźnikowej ET_o .

W pracy analizie poddano wartości średnie elementów meteorologicznych oraz ewapotranspiracji użytków zielonych. Do charakterystyki zmienności wybrano następujące miary statystyczne (Kaczmarek 1970):

- wartość średnią,
- średnie odchylenie standardowe SD oraz współczynnik zmienności C_v ,
- współczynnik asymetrii rozkładu C_s ,
- wartości minimalne Min i maksymalne Max szeregu obserwacyjnego,
- wartości, które wraz z mniejszymi występują z częstością 25, 50 (mediana) i 75%.

Do opracowania i charakterystyki elementów meteorologicznych wykorzystano program komputerowy Statistica 6.0.

3.2. Badania lizymetryczne

Równoległe z pomiarami meteorologicznymi na stacji „Frydrychowo” prowadzono badania ewapotranspiracji użytków zielonych. Badania te prowadzono w 20 lizymetrach o powierzchni 2000 cm^2 i głębokości 120 cm, wypełnionych glebą z terenu stacji o nienaruszonym profilu. Powierzchnia gleby w lizymetrach była porośnięta mieszkanką traw łąkowych. Teren wokoło lizymetrów i wokół stacji był pokryty roślinnością łąkową o tym samym składzie gatunkowym. W każdym lizymetrze znajdowała się studzienka, w której regulowano poziom wody.

Zbadano zmienność ewapotranspiracji łąki trzykośnej, będącej przedmiotem badań w latach 1973-1980 oraz łąki dwukośnej – w latach 1996-2003. Po każdym pokosie określano plon świeżej masy i plon siana. Nawożenie NPK na łące trzykośnej w latach 1973-1980 stosowano w ilości 540 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, zaś na łące dwukośnej w latach 1996-2003 – w ilości 160 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Poziom wody w lizymetrach utrzymywano na tej samej głębokości jak na otaczającej je łące poprzez dolewanie wody do studzienek kontrolnych lizymetrów. Co dziesięć dni lizymetry ważono oraz mierzono stan wody w studzienkach i wilgotność gleby w lizymetrach miernikiem TDR (metodą reflektometryczną) w warstwie 0-15 cm. Ewapotranspirację w okresach między kolejnymi ważeniami lizymetru obliczano na podstawie bilansu wodnego lizymetru:

$$ET = P + I - R + \frac{M_p - M_k}{0,2} \quad (2)$$

gdzie:

ET – ewapotranspiracja, mm,

P – opad atmosferyczny, mm,

I – ilość wody dolanej do lizymetru, mm,

R – ilość wody odlanej z lizymetru, mm,

M_p – masa lizymetru na początku okresu pomiarowego, kg,

M_k – masa lizymetru na końcu okresu pomiarowego, kg.

Średnie wartości ewapotranspiracji obliczano jako średnią arytmetyczną pomiarów z czterech lizymetrów.

4. Wyniki badań

4.1. Opad atmosferyczny

Średnia suma opadów atmosferycznych na stacji „Frydrychowo” w analizowanym okresie wegetacyjnym wyniosła 296 mm i stanowiła 67% sumy rocznej (439 mm) (tab. 2). Podobny rozkład opadu w ciągu roku kształtuje się w Bydgoszczy (Kasperska-Wołowicz i in. 2003; Konopko 1988).

W okresie wegetacyjnym najmniejsze sumy opadów zanotowano w kwietniu, natomiast największe w lipcu. Największą zmiennością opadów charakteryzował się sierpień ($C_v = 0,73$), zaś najmniejszą lipiec ($C_v = 0,55$) (tab. 2, ryc. 1, 2). Łabędzki i Bąk (2004) zaliczyli badany obszar do strefy o najmniejszej sumie opadów atmosferycznych w kraju, w której współczynnik C_v obliczony dla sumy opadów w okresie wegetacyjnym osiąga wartość $> 0,25$ i zwrócili uwagę na to, iż na obszarze o małych opadach ich zmienność jest największa.

W badanym wieloleciu najmniejszy opad w okresie wegetacyjnym wystąpił w 1989 roku (83 mm), a największy w 1985 roku (515 mm). W każdym miesiącu wartości mediany były mniejsze od wartości średnich sum miesięcznych. Wartość mediany mniejsza od wartości średniej wskazuje na dodatnią asymetrię rozkładu i większe prawdopodobieństwo wystąpienia opadu mniejszego od wartości średniej. W lipcu i w okresie wegetacyjnym różnica między medianą i średnią jest niewielka (1 mm), w pozostałych miesiącach – większa (ryc. 1, 2). Największą asymetrią rozkładu charakteryzował się sierpień oraz czerwiec, na co wskazuje największa wartość współ-

Tab. 2. Charakterystyka statystyczna miesięcznych wartości elementów meteorologicznych na stacji „Frydrychowo” w latach 1972-2003

Table 2. Statistical characteristic of monthly values of meteorological elements at the “Frydrychowo” station, 1972-2003

Miesiąc Month	Wartość Value	P (mm)	T °C	S (h)	e (hPa)	v (ms ⁻¹)	ET_0 (mm)	$P - ET_0$ (mm)
IV	X	25	7,2	5,2	7,6	2,7	47	-22
	SD	17	1,4	1,0	0,8	0,9	7	21
	C_s	1,19	0,57	0,43	0,45	0,57	0,46	1,09
	C_v	0,68	0,19	0,19	0,11	0,30	0,15	-
V	X	44	12,8	7,4	10,8	2,4	81	-37
	SD	28	1,6	1,5	1,3	0,9	11	33
	C_s	0,95	-0,48	-0,27	-0,20	0,66	-0,28	0,70
	C_v	0,64	0,13	0,20	0,12	0,37	0,14	-
VI	X	58	15,8	7,2	13,4	2,3	93	-35
	SD	39	1,1	1,4	1,0	0,8	12	47
	C_s	1,89	0,21	0,38	0,35	0,11	0,36	1,43
	C_v	0,67	0,09	0,19	0,07	0,35	0,13	-
VII	X	76	17,5	7,1	15,5	2,2	97	-21
	SD	42	1,5	1,7	1,4	0,7	16	53
	C_s	0,50	0,20	0,03	0,67	0,39	0,39	0,34
	C_v	0,55	0,09	0,24	0,09	0,32	0,16	-
VIII	X	49	17,0	7,2	15,2	2,0	77	-27
	SD	36	1,3	1,2	1,1	0,8	9	40
	C_s	2,71	0,21	0,26	0,27	0,62	0,46	2,21
	C_v	0,73	0,07	0,17	0,07	0,40	0,12	-
IX	X	44	12,5	4,5	12,5	2,2	37	7
	SD	31	1,3	1,2	1,0	0,8	6	33
	C_s	1,42	0,24	0,26	0,26	0,28	0,62	1,15
	C_v	0,70	0,10	0,27	0,08	0,36	0,16	-
IV-IX	X	296	13,8	6,4	12,5	2,3	432	-135
	SD	96	0,7	0,7	0,5	0,7	38	118
	C_s	0,10	-0,40	-0,38	0,54	0,33	0,41	0,07
	C_v	0,32	0,05	0,11	0,04	0,30	0,09	-

Oznaczenia: P – suma opadu atmosferycznego, T – temperatura powietrza, S – usłonecznienie, e – ciśnienie pary wodnej, v – prędkość wiatru, ET_0 – suma ewapotranspiracji wskaźnikowej, $(P - ET_0)$ – nadmiar lub niedobór opadów atmosferycznych, X – średnia arytmetyczna, SD – odchylenie standardowe, C_s – współczynnik asymetrii, C_v – współczynnik zmienności

Explanations: P – precipitation, T – air temperature, S – sunshine hours, e – vapour pressure, v – wind velocity, ET_0 – reference evapotranspiration, $(P - ET_0)$ – climatic rainfall surplus or deficit, X – mean value, SD – standard deviation, C_s – skewness, C_v – coefficient of variability

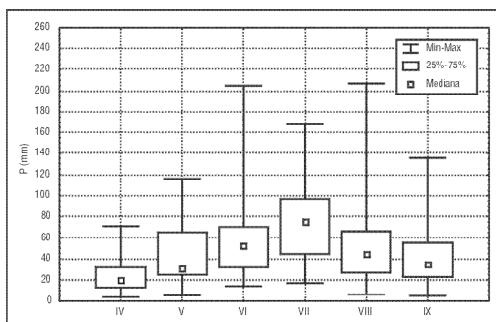
czynnika C_s (tab. 2). W tych miesiącach obserwowano również największą amplitudę opadów. W tych miesiącach również można spodziewać się wystąpienia opadu mniejszego od średniej sumy wieloletniej częściej niż opadu większego od średniej (tab. 2, ryc. 1, 2).

W dolinie Noteci okresy bezopadowe lub z niewielkimi opadami występują częściej niż okresy z opadami dostatecznie pokrywającymi zapotrzebowanie roślin na wodę. Co roku w okresie wegetacyjnym można spodziewać się, że w dolinie Noteci posucha trwająca od 11 do 15 dni wystąpi dwukrotnie, od 16 do 20 dni – jeden raz, a posucha trwająca dłużej niż 20 dni – wystąpi co drugi rok. Oznacza to, że co roku można spodziewać się od 50 do 60 dni z posuchą atmosferyczną, co stanowi 30% liczby dni w okresie wegetacyjnym. W 1989 roku zanotowano w tym rejonie 131 dni posusznych. (Kasperska-Wołowicz i in. 2003).

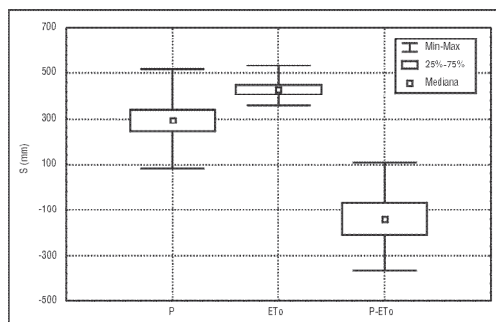
4.2. Temperatura powietrza

Średnia roczna temperatura powietrza na stacji „Frydrychowo” w latach 1972-2003 wyniosła $7,6^{\circ}\text{C}$, zaś w okresie wegetacyjnym (IV-IX) - $13,8^{\circ}\text{C}$ (tab. 2).

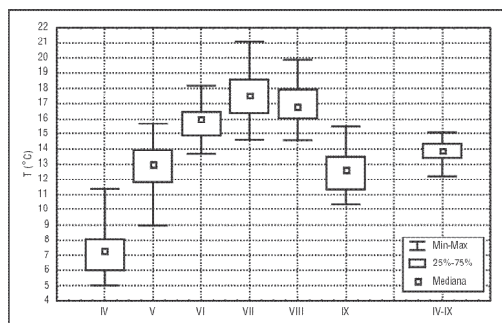
Najcieplejszy okres wegetacyjny wystąpił w 2002 roku ($15,1^{\circ}\text{C}$), natomiast najchłodniejszy w 1980 roku ($12,2^{\circ}\text{C}$). Najcieplejszym miesiącem był najczęściej lipiec, zaś najchłodniejszym – kwiecień, z wyjątkiem 2000 roku, kiedy temperatura kwietnia przekroczyła 10°C i wynosiła $11,4^{\circ}\text{C}$. W okresie wegetacyjnym największą zmienność temperatury powietrza i asymetrię rozkładu obserwowano w kwietniu ($C_v = 0,19$ i $C_s = 0,57$) (tab. 2). Kwiecień był częściej chłodniejszy niż cieplejszy od przeciętnego w badanym wieloleciu. W tym miesiącu obserwowano również największą amplitudę temperatury (ryc. 3). Najmniejszą



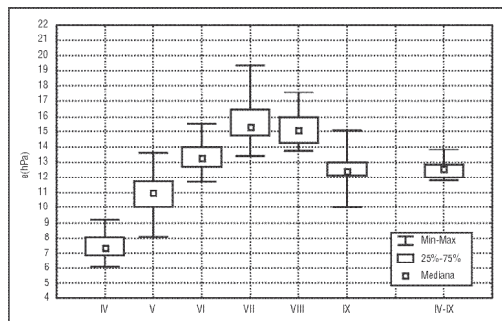
Ryc. 1. Suma miesięczna opadu atmosferycznego P w dolinie górnej Noteci w latach 1972-2003
Fig. 1. Monthly sum of precipitation P in the upper Notec River valley, 1972-2003



Ryc. 2. Suma opadu atmosferycznego P , ewapotranspiracji wskaźnikowej ET_0 i klimatycznego nadmiaru lub niedoboru opadu ($P - ET_0$) w okresie wegetacyjnym w dolinie górnej Noteci w latach 1972-2003
Fig. 2. Sum of precipitation P , reference evapotranspiration ET_0 and climatic rainfall surplus or deficit ($P - ET_0$) in the growing season in the upper Notec River valley, 1972-2003



Ryc. 3. Średnia miesięczna oraz średnia w okresie wegetacyjnym temperatura powietrza T w dolinie górnej Noteci w latach 1972-2003
Fig. 3. Mean monthly and mean in the growing season air temperature T in the upper Noteć River valley, 1972-2003



Ryc. 4. Średnie miesięczne oraz średnie w okresie wegetacyjnym ciśnienie pary wodnej e w powietrzu e w dolinie górnej Noteci w latach 1972-2003
Fig. 4. Mean monthly and mean in the growing season vapour pressure e in the upper Noteć River valley, 1972-2003

zmienność temperatury powietrza obserwowano w miesiącach letnich, tj. w czerwcu, lipcu i sierpniu ($C_v = 0,07-0,09$). W tych miesiącach rozkład temperatury niewiele różnił się od symetrycznego. Temperatura powietrza charakteryzowała się mniejszą asymetrią rozkładu niż opad atmosferyczny.

4.3. Ciśnienie pary wodnej

W latach 1972-2003 średnie ciśnienie pary wodnej w okresie od kwietnia do września wynosiło 12,5 hPa. Asymetria rozkładu i zmienność tego elementu były niewielkie w badanym wieloleciu. Ciśnienie charakteryzowało się najmniejszą zmiennością spośród badanych elementów meteorologicznych (tab. 2). Największą asymetrię rozkładu ciśnienia pary wodnej obserwowano w lipcu ($C_s = 0,67$), kiedy częściej występowały wartości mniejsze od średniej z wielolecia. W tym miesiącu również obserwowano największą amplitudę ciśnienia pary wodnej w powietrzu. Najmniejsze ciśnienie pary wodnej notowano w kwietniu, kiedy 50% obserwacji osiągnęło wartości mniejsze i równe medianie, wynoszącej 7,4 hPa. Największe ciśnienie notowano w lipcu, kiedy mediana była równa 15,3 hPa (ryc. 4).

4.4. Usłonecznienie

Średnia dobowa wartość usłonecznienia w okresie wegetacyjnym wynosiła 6,4 godziny (tab. 2). Wartość ta stanowiła 42% usłonecznienia astronomicznie możliwego, wynoszącego dla okresu od kwietnia do września 15,1 godzin. Zmienność tego elementu była większa niż temperatury i ciśnienia pary wodnej. Największa była we wrześniu ($C_v = 0,27$), a najmniejsza w sierpniu ($C_v = 0,17$). Największe usłonecznienie występowało

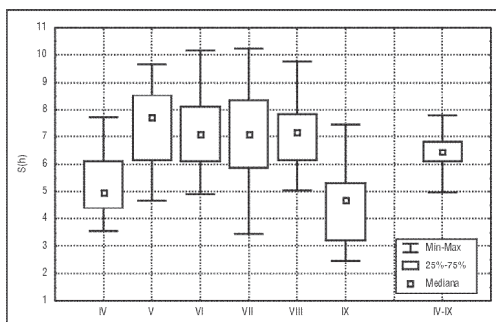
w maju, a najmniejsze we wrześniu. Obserwowano niewielką asymetrię rozkładu wartości usłonecznienia w badanym okresie. Dla prawdopodobieństwa wystąpienia 50% usłonecznienia w maju wynosiło 7,7 godzin oraz we wrześniu 4,7 godziny. Najmniej słonecznym miesiącem był wrzesień 1978 roku, kiedy słońce świeciło w ciągu doby średnio 2,5 godziny, a najbardziej słoneczne były – lipiec 1982 roku i czerwiec 1992 roku (10,2 godziny) (ryc. 5).

4.5. Prędkość wiatru

Ze względu na położenie stacji w dolinie Noteci średnia prędkość wiatru w badanym okresie wegetacyjnym była stosunkowo mała i wynosiła $2,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (tab. 2). Największa prędkość wiatru (średnio $2,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) występowała w kwietniu, który charakteryzował się również największą zmiennością prędkości wiatru. Najmniejsza prędkość wiatru występowała w sierpniu i wynosiła średnio $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Element ten cechował się dość dużą zmiennością w analizowanym wieloleciu. Zmienność ta przekraczała 30% w każdym miesiącu, a rozkład wartości w poszczególnych miesiącach cechował się niewielką asymetrią, częściej obserwowano wartości mniejsze od średniej wieloletniej (tab. 2, ryc. 6).

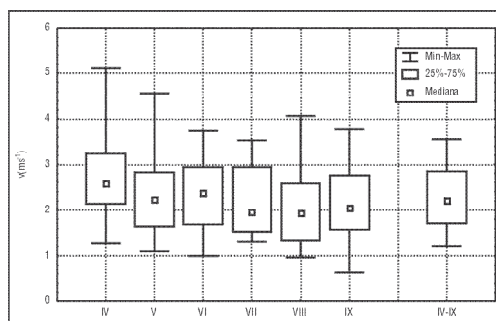
4.6. Ewapotranspiracja wskaźnikowa

Ewapotranspiracja wskaźnikowa jest stosowana do obliczania zapotrzebowania roślin na wodę z wykorzystaniem opracowanych dla różnych roślin uprawnych współczynników roślinnych. Element ten jest również wskaźnikiem zdolności ewaporacyjnej powietrza, a wartość otrzymana z różnicy między opadem atmosferycznym i ewapotranspiracją wskaźnikową określa klimatyczny nadmiar lub niedobór wody opadowej dla danego regionu.



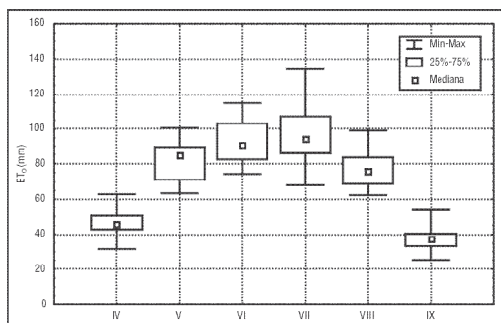
Ryc. 5. Średnie miesięczne oraz w okresie wegetacyjnym usłonecznienie S w dolinie górnej Noteci w latach 1972-2003

Fig. 5. Mean monthly and mean in the growing season sunshine duration S in the upper Noteć River valley, 1972-2003



Ryc. 6. Średnia miesięczna oraz średnia w okresie wegetacyjnym prędkość wiatru v w dolinie górnej Noteci w latach 1972-2003

Fig. 6. Mean monthly and mean in the growing season wind velocity v in the upper Noteć River valley, 1972-2003



Ryc. 7. Suma miesięczna ewapotranspiracji wskaźnikowej ET_0 w dolinie górnej Noteci w latach 1972-2003

Fig. 7. Monthly sum of reference evapotranspiration ET_0 in the upper Noteć River valley, 1972-2003

czyła $1,5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, natomiast w lipcu osiągała około $3,1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (tab. 2).

W okresie wegetacyjnym najmniejszą ewapotranspirację (359 mm) zanotowano w dolinie górnej Noteci w mokrym 1980 roku, a największą (510 mm) w ciepłym i suchym 1992 roku (ryc. 2). W analizowanym okresie badawczym wyróżnił się ciepły kwiecień 2000 roku, w którym ewapotranspiracja osiągnęła wartość 63 mm . W czerwcu i lipcu kilkakrotnie oraz jeden raz w maju, zanotowano sumę ewapotranspiracji wskaźnikowej większą od 100 mm (ryc. 7).

4.7. Klimatyczny nadmiar i niedobór opadów

Ze względu na wielkość opadów oraz klimatyczne warunki parowania, rejon doliny górnej Noteci charakteryzuje się niedoborem wody opadowej. Średnia wartość tego niedoboru w badanym okresie wegetacyjnym wynosiła 135 mm . W okresie od kwietnia do sierpnia występował niedobór opadów, zaś we wrześniu niewielka przewaga opadów atmosferycznych nad ewapotranspiracją (tab. 2).

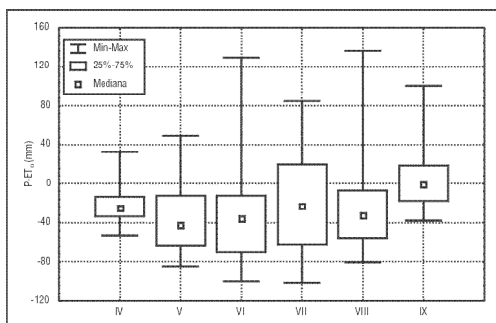
Opad atmosferyczny i jego niedobór są najbardziej zmienne spośród analizowanych elementów meteorologicznych. Ujemne wartości mediany wskazują, że w każdym miesiącu przy prawdopodobieństwie 50% notowano niedobór opadu. Niedobór ten był najmniejszy we wrześniu ($-0,7 \text{ mm}$), a największy w maju (-43 mm). W każdym miesiącu mediana osiągała wartości mniejsze od średniej wieloletniej (ryc. 8). W okresie wegetacyjnym największy niedobór wody opadowej notowano w latach 1989 i 1992 (-366 i -355 mm), natomiast największy nadmiar wody opadowej wystąpił w 1980 roku (108 mm) (ryc. 2).

4.8. Ewapotranspiracja użytków zielonych

Zmienność ewapotranspiracji użytków zielonych była znaczna, na co miały wpływ przede wszystkim warunki meteorologiczne oraz poziom położenia lustra

W dolinie górnej Noteci na stacji „Frydrychowo” w okresie od kwietnia do września, średnia suma ewapotranspiracji wskaźnikowej ET_0 liczonej wzorem Penmana-Monteitha wynosiła 432 mm . Rejon ten znajduje się na obszarze Polski, w którym występują największe wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej (Kasperska-Wołowicz, Łabędzki 2004). Najmniejszą wartość średnią ET_0 obserwowano we wrześniu (37 mm), zaś największą – w lipcu (97 mm). Niewielkie wartości ewapotranspiracji występowały również w kwietniu. Średnia dobowa ewapotranspiracja wskaźnikowa w kwietniu nie przekroczyła

wody gruntowej (Kasperska 1999; Roguski, Weyna 1983). Zużycie wody w procesie parowania łąki trzykośnej w okresie od kwietnia do września (pokosy zbierano 31 maja, 31 lipca, 30 września) wyniosło średnio 598 mm, natomiast łąki dwukośnej w okresie od kwietnia do sierpnia (pokosy zbierano 10 czerwca i 31 sierpnia) – 504 mm. Średnie dobowe wykorzystanie wody przez łąkę dwukośną było takie samo jak przez łąkę trzykośną i stanowiło 3,3 mm·d⁻¹. Najmniejsze średnie dobowe zużycie wody przez łąkę dwukośną wyniosło 2,6 mm·d⁻¹, zaś przez trzykośną – 2,7 mm·d⁻¹, natomiast największe – wyniosło odpowiednio: 4,0 mm·d⁻¹ i 4,2 mm·d⁻¹ (tab. 3).



Ryc. 8. Suma miesięczna klimatycznego nadmiaru lub niedoboru opadu atmosferycznego ($P-ET_0$) w dolinie górnej Noteci w latach 1972-2003
Fig. 8. Monthly sum of climatic rainfall surplus or deficit ($P-ET_0$) in the upper Noteć River valley, 1972-2003

Tab. 3. Charakterystyka statystyczna ewapotranspiracji użytków zielonych w dolinie górnej Noteci w latach 1973-1980 i 1996-2003

Table 3. Statistical characteristic of grassland evapotranspiration in the upper Noteć River valley in 1973-1980 and 1996-2003

Miesiąc Month	Wartość statystyczna (Statistic value)				
	średnia (mean)	mediana (median)	SD	minimum	maximum
łąka trzykośna w latach 1973-1980 (three-cut meadow in 1973-1980)					
IV	47	43	18	30	86
V	123	117	25	89	164
VI	113	115	29	72	148
VII	138	145	37	71	191
VIII	97	86	30	73	159
IX	79	81	16	55	101
IV-IX	598	575	99	491	763
łąka dwukośna w latach 1996-2003 (two-cut meadow in 1996-2003)					
IV	49	42	19	32	84
V	129	135	44	39	176
VI	118	112	22	95	152
VII	108	104	29	73	158
VIII	99	97	19	71	133
IV-IX	504	493	65	397	608

Oznaczenia: SD – odchylenie standardowe (Explanations: SD – standard deviation)

Plon siana z łąki trzykośnej w latach 1973-1980 wynosił średnio $14 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ i kształtował się w granicach od 9 do $16 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Plon łąki dwukośnej w latach 1996-2003 wynosił średnio $11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ siana, w granicach od 6 do $13 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Przy minimalnym zużyciu wody na ewapotranspirację w okresie wegetacji łąki dwukośnej wynoszącym 397 mm (w 1997 r.) i plonie $6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ niedobór wody opadowej był niewielki i wynosił 10 mm . Podobny niedobór obserwowano w okresie wegetacji łąki trzykośnej w roku 1977, przy plonie $11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 2, 3). Natomiast w 1973 roku przy maksymalnym zużyciu wody na ewapotranspirację łąki trzykośnej (763 mm) niedobór wody opadowej wynoszący 355 mm trzeba było uzupełnić wodą z nawodnień podsiąkowych.

5. Podsumowanie

Warunki meteorologiczne doliny górnej Noteci charakteryzują się dużą zmiennością. Największą zmiennością cechuje się w tym rejonie opad atmosferyczny. Występuje również duża zmienność prędkości wiatru, mimo niedużej jego wartości średniej. Temperatura powietrza osiąga mniejszą zmienność niż usłonecznienie i bardzo zbliżoną do zmienności ciśnienia pary wodnej w powietrzu. Zmienność elementów meteorologicznych w całym okresie wegetacyjnym (od kwietnia do września) jest zawsze mniejsza niż w poszczególnych miesiącach tego okresu. W okresie wegetacyjnym zmienność opadów atmosferycznych osiąga 32%, prędkości wiatru 30%, usłonecznienia 11%, temperatury powietrza 5% i ciśnienia pary wodnej 4%.

Najmniejsze wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej i ewapotranspiracji użytków zielonych notowano na początku i na końcu okresu wegetacji traw, największe zaś w okresie od maja do lipca.

Opady w dolinie Noteci nie są wystarczające do pokrycia potrzeb wodnych użytków zielonych. Ewapotranspiracja użytków zielonych w okresie wegetacji była większa niż suma opadów atmosferycznych w tym czasie. Różnica między ewapotranspiracją łąki trzykośnej a opadem atmosferycznym w latach 1973-1980 wyniosła średnio 273 mm , zaś różnica między ewapotranspiracją łąki dwukośnej a opadem atmosferycznym w latach 1996-2003 wyniosła średnio 236 mm . Ta różnica jest uzupełniana z retencji wodnej gleby, która jest kształtowana przez naturalne zasilanie gruntowe wodą badanego siedliska, jak również przez okresowe nawodnienia podsiąkowe.

Wieloletnie obserwacje meteorologiczno-lizymetryczne w dolinie Noteci są przydatne do oceny relacji między czynnikami klimatycznymi a ewapotranspiracją roślin w danych warunkach siedliskowych. Są wykorzystywane do określania zużycia wody, potrzeb nawodnienia oraz do operacyjnego prowadzenia gospodarki wodnej w dolinie Noteci (Kaca, Łabędzki 1995; Łabędzki 1999b).

LITERATURA:

Allen R.G., Pereira L.S, Raes D., Smith M., 1998, *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements*, FAO Irrigation and drainage, 56.

- Allen R.G., Smith M., Pereira L.S., Perrier A., 1994a, *An update for the calculation of reference evapotranspiration*, ICID Bulletin, 43, 2, 35-92.
- Allen R.G., Smith M., Perrier A., Pereira L.S., 1994b, *An update for the definition of reference evapotranspiration*, ICID Bulletin, 43, 2, 1-34.
- Bąk B., Łabędzki L., 2002, *Assessing drought severity with the relative precipitation index (RPI) and the standardised precipitation index (SPI)*, J. Water and Land Develop., 6, 89-105.
- Feddes R.A., Lenselink K.J., 1994, *Evapotranspiration*, ILRI Publication, 16, Drainage Principles and Applications, Wageningen, 145-173.
- Hohendorf E., 1969, *Charakterystyka i porównanie klimatu ostatniego dwudziestolecia w Bydgoszczy z okresami poprzedzającymi*, Prace Kom. Nauk Rol. i Biol., Byd. Tow. Nauk., ser. B, 8, 5-25.
- Kaca E., Łabędzki L., 1995, *A water management system in rural areas*, [w:] J.F.Th. Schoute i in. (red.), *Scenario studies for the rural environment*, Kluwer Academic Publishers, 215-219.
- Kaczmarek Z., 1970, *Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii*, Wyd. Kom. i Łącz., Warszawa.
- Kasperska W., 1999, *Zmienność ewapotranspiracji i plonowania łąki 3-kośnej w dolinie Noteci w zależności od poziomu wody gruntowej i warunków meteorologicznych*, Wiad. IMUZ, 20, 2, 9-30.
- Kasperska-Wołowicz W., Łabędzki L., Bąk B., 2003, *Okresy posuszne w rejonie Bydgoszczy*, Woda, Środ., Obsz. Wiejskie, 3, (9), 39-56.
- Kasperska-Wołowicz W., Łabędzki L., 2004, *Porównanie ewapotranspiracji wskaźnikowej według Penmana i Penmana-Monteitha w różnych regionach Polski*, Woda, Środ., Obsz. Wiejskie, 4, 2a, (11), 123-136.
- Konopko S., 1988, *Częstotliwość występowania okresów posusznych w rejonie Bydgoszczy na podstawie wieloletnich obserwacji*, Wiad. IMUZ, 15, 4, 103-113.
- Łabędzki L., 1997, *Potrzeby nawadniania użytków zielonych - uwarunkowania przyrodnicze i prognozowanie*, Rozpr. Habil., Falenty, Wydaw. IMUZ.
- Łabędzki L., 1999a, *Przydatność wzoru Penmana-Monteitha do obliczania ewapotranspiracji wskaźnikowej i rzeczywistej użytków zielonych*, Wiad. IMUZ, 20, 2, 89-101.
- Łabędzki L., 1999b, *Real time irrigation control under conditions of water scarcity in the Notec river catchment*, Rocz. AR Poznań, 310, Melior. Inż. Środ., 20, 199-209.
- Łabędzki L., Bąk B., 2004, *Zróznicowanie wskaźnika suszy atmosferycznej SPI w sezonie wegetacyjnym w Polsce*, Woda, Środ., Obsz. Wiejskie, 4, 2a, (11), 111-122.
- Łabędzki L., Szajda J., Szuniewicz J., 1996, *Ewapotranspiracja upraw rolniczych - terminologia, definicje, metody obliczania. Przegląd stanu wiedzy*, IMUZ, Mat. Informacyjne, 33.
- Okruszko H., 1992, *Siedliska hydrogeniczne, ich specyfika i zróżnicowanie*, [w:] *Hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe*, Bibl. Wiad. IMUZ, 79, 5-14.
- Oświt J., 1992, *Identyfikacja warunków wilgotnościowych w siedliskach łąkowych za pomocą wskaźników roślinnych (metoda fitoindykacji)*, [w:] *Hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe*, Bibl. Wiad. IMUZ, 79, 39-68.
- Paszyński J., Niedźwiedz T., 1999, *Klimat*, [w:] *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, L. Starkel (red.), Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 288-343.

- Roguski W., Weyna A., 1983, *Ewapotranspiracja łąk i pastwisk na glebach torfowo – murszowych w dolinie Noteci*, Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 277, 53-67.
- Rojek M., Żyromski A., 1994, *Agrometeorologia i klimatologia*, Skrypty AR we Wrocławiu, 393.
- Romer E., 1949, *Regiony Klimatyczne Polski*, Prace Wrocł. Tow. Nauk., ser. B, 16.
- Smith M., 1992, *Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements*, Land and Water Development Division, Rome, FAO.
- Woś A., 1994, *Klimat Niziny Wielkopolskiej*, Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- Woś A., 1999, *Klimat Polski*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.

VARIABILITY OF METEOROLOGICAL CONDITIONS AND GRASSLAND EVAPOTRANSPIRATION IN THE UPPER NOTEC RIVER VALLEY IN 1972-2003

SUMMARY

Variability of meteorological conditions and grassland evapotranspiration in the growing season in the upper Notec River valley has been shown in the paper. The investigations took place at the „Frydrychowo” meteorological-lysimeter station in the meadow site. Evapotranspiration of grassland was calculated from the water balance of lysimeter in different controlled soil moisture conditions. Meteorological measurements have been carried out in meteorological shelter and using automatic agrometeorological station.

Meteorological conditions of upper Notec River valley are variable. Precipitation is the most variable element. The least values of reference evapotranspiration and evapotranspiration of grasslands have been observed at the beginning and at the end of the growing season. The highest values have been noticed in the period between May and July. The evapotranspiration of grasslands was over 230 mm higher than precipitation in the growing season. This difference is supplemented from the soil water retention, formed by natural capillary rising and by periodical spring-summer subirrigation.

*Leszek Łabędzki, Wiesława Kasperska-Wołowicz
Instytut Melioracji i Użytków Zielonych
Wielkopolsko-Pomorski Ośrodek Badawczy
Bydgoszcz*