

**INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY
W PUŁAWACH**



Ekspertyza

„Wyznaczenie obszarów w różnym stopniu zagrożonych wystąpieniem suszy w Polsce na potrzeby wdrażania operacji „Modernizacja gospodarstw rolnych” Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014 – 2020”

Praca opracowana przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut
Badawczy w Puławach
w ramach umowy nr 155/19 z dnia 28.06.2019 r.

Puławy, lipiec 2019 r.



„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca w obszary wiejskie”

Badanie realizowane na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

Institucja Zarządzająca Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014-2020 – Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

Badanie współfinansowane ze środków Unii Europejskiej w ramach pomocy technicznej Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014-2020

Autorzy:

Piotr Koza
Artur Łopatka
Jan Jadczyzyn
Rafał Wawer
Andrzej Doroszewski
Grzegorz Siebielec

Spis treści

Wstęp.....	3
Koncepcja wyznaczenia obszarów OWN	3
Zmienność Klimatycznego Bilansu Wodnego KBW na obszarze Polski.....	4
System Monitoringu Suszy Rolniczej – wykorzystywane dane i metodyka	5
Lista roślin, w odniesieniu do których wyznaczono obszary narażone na suszę.....	11
Metodyka wyznaczenia OWN	14
Rezultat ekspertyzy – wyznaczenie obszarów zagrożonych suszą wraz z określeniem wielkości parametru charakteryzującego poziom zagrożenia dla potrzeb wdrażania operacji OWN	16
Podsumowanie	21
Literatura	21

Powtarzający się często w naszych warunkach klimatycznych niekorzystny przebieg pogody w sezonie wegetacyjnym prowadzi do deficytu wody dla roślin uprawnych, określane mianem suszy rolniczej i znaczących spadków plonów. Zjawisko suszy rolniczej w niektórych regionach kraju zaczyna mieć charakter cykliczny i powoduje wymierne straty w plonach, rzutuje na profil produkcji, ogranicza dobór roślin w płodozmianie i w efekcie znacząco zmniejsza dochody gospodarstw. Znałe są agrotechniczne możliwości ograniczania stresu wodnego związane z odpowiednią agrotechniką uprawy, stosowaniem konserwujących systemów uprawy, ale w przypadku dużych niedoborów wody nie są one wystarczające do otrzymania efektywnego plonu. Uzyskanie odpowiedniego plonu w warunkach suszowych niesie potrzebę okresowego stosowania nawodnień, jeśli zasoby wodne na to pozwalają. W związku z potrzebą utrzymania ciągłości niektórych upraw również w regionach zagrożonych suszą i potrzebą rozbudowy efektywnych systemów nawodnień istnieje potrzeba klasyfikacji tych obszarów w skali kraju w celu racjonalizacji wydatków. W wyniku opracowania powstał wykaz gmin (załącznik do ekspertyzy), w którym są ujęte wszystkie gminy wraz z informacją o wartości wyliczonego parametru dla tej gminy. Większa wartość parametru oznacza większe zagrożenie suszą i większe preferencje na wydatkowanie środków publicznych na tworzenie infrastruktury nawodnieniowej w ramach wdrażania operacji „Modernizacja gospodarstw rolnych” oraz wyznacza potencjalne *Obszary wsparcia nawodnień* (OWN).

Koncepcja wyznaczenia obszarów OWN

Jedną ze najbardziej skutecznych metod przeciwdziałania skutkom suszy w rolnictwie są nawodnienia. Przeszkodą w ich powszechnym stosowaniu są jednak wysokie koszty infrastruktury systemów nawadniających. W pokonaniu finansowej bariery wejścia w technologię nawodnień dla zainteresowanych producentów rolnych pomagać będzie planowany w ramach PROW system wsparcia. Celem ekspertyzy jest określenie kryterium wyboru zgłaszanych do dofinansowania projektów. Finansowanie wsparcia ze środków publicznych jednoznacznie wskazuje na konieczność promocji działań o najwyższej użyteczności dla społeczeństwa. W sytuacji kiedy nie jest jasne jak dla nawodnień taką użyteczność zdefiniować, rozsądnym wydaje się możliwie niewielkie ingerowanie w ustaloną sytuację rynkową będącą efektem równoważenia różnorodnych racjonalnych wyborów konsumentów i producentów. W tym wypadku oznacza to ukierunkowanie wsparcia dla regionów, gdzie dotychczasowe warunki produkcji ze względu na wzrost temperatury i ewapotranspiracji ulegają pogorszeniu, co grozi znaczącym spadkiem opłacalności produkcji i stwarza ryzyko zaniechania produkcji rolniczej. Tak ukierunkowane wsparcie dla nawodnień jest więc jedynie próbą podtrzymania ustalonej równowagi rynkowej poprzez ułatwienia adaptacji do zachodzących zmian klimatycznych.

Obszary najsilniej dotknięte wzrostem częstotliwości susz glebowych i najbardziej podatne na spadki plonów są corocznie wskazywane przez System Monitoringu Suszy Rolniczej (SMSR). Na metodach opracowanych w tym systemie oparto zatem analizy przedstawione w dalszej części raportu. Przyjęto przy tym założenie, że częstotliwość suszy zależna od charakterystycznych cech rośliny, jak np. maksymalny zasięg jej systemu korzeniowego czy okresy maksymalnego zapotrzebowania na wodę, obliczona zostanie dla roślin, których nawadnianie przynosi rolnikom korzyści na tyle duże, że są już teraz w części polskich gospodarstw nawadniane.

Oczywiście przyjęta strategia promowania obszarów, gdzie wzrost częstotliwości susz prowadzi do naruszenia równowagi rynkowej nie uwzględnia dostatecznie zasad

zrównoważonego rozwoju w zakresie środowiskowych efektów nawodnień. Istnieje potrzeba lepszego rozpoznania realnych konsekwencji poboru wody do nawodnień z różnych źródeł, a w szczególności na obszarach o częstych deficytach wody. W przyszłości konieczna więc będzie zapewne korekta proponowanego w raporcie kryterium wyboru.

Koncepcja wyznaczenia obszarów w różnym stopniu zagrożonych wystąpieniem suszy w Polsce na potrzeby wdrażania operacji typu „Modernizacja gospodarstw rolnych” jest oparta na wynikach Systemu monitoringu suszy rolniczej realizowanego w IUNG-PIB. Wyniki Systemu monitoringu suszy określają czasoprzestrzenne wystąpienie zagrożenia suszą dla poszczególnych grup i gatunków roślin uprawnych w kolejnych 6-dekadowych okresach raportowania w odniesieniu do wszystkich gmin w kraju. Stwierdzony jest fakt wystąpienia zagrożenia dla poszczególnych kategorii podatności gleb na suszę, a zasięgi przestrzenne definiuje się poprzez podanie powierzchni UR zagrożonych suszą oraz ich udziału w stosunku do powierzchni UR w gminie. Stan zagrożenia określa się dla kolejnych 14 raportach realizowanych co dekadę, poczynając od 20 maja. Do oceny zagrożenia suszą dla potrzeb wyznaczenia obszarów OWN włączono również ekonomiczny aspekt wykorzystania zasobów wodnych, aby nie wspierać budowy infrastruktury nawadniającej dla upraw, które nie dają uzasadnionych ekonomicznie przyrostów plonów. W efekcie, ocenę zagrożenia suszy przeprowadzono dla wybranej grupy roślin uprawnych obejmującej: warzywa gruntowe i truskawki, krzewy i drzewa owocowe, chmiel, ziemniaki oraz rośliny strączkowe. W przeprowadzonej ocenie przeanalizowano trzy warianty zagrożenia odniesione do potwierdzenia samego faktu wystąpienia suszy, zasięgów przestrzennych oraz jego natężenia opisane przez następujące wskaźniki:

- 1) Liczby lat w których wystąpiła susza przynajmniej w 1 okresie raportowania na przynajmniej jednej z analizowanych upraw,
- 2) Średniego udziału gleb zagrożonych suszą dla maksymalnego zasięgu suszy w danym roku,
- 3) Czasu trwania suszy w okresach 6 dekadowych.

Zmienność Klimatycznego Bilansu Wodnego KBW na obszarze Polski

Deficyty wody dostępnej dla upraw są najczęściej definiowane z wykorzystaniem informacji o opadach P oraz ewapotranspiracji potencjalnej ETP (referencyjnej) czyli parowaniu wody z roślin i gleby w sytuacji, gdy gleba jest na tyle wilgotna, że nie ogranicza ilości wody dostępnej dla roślin.

Wskaźnik suchości klimatu AI (*ang. Aridity Index*) jest ilorazem opadu do ewapotranspiracji potencjalnej:

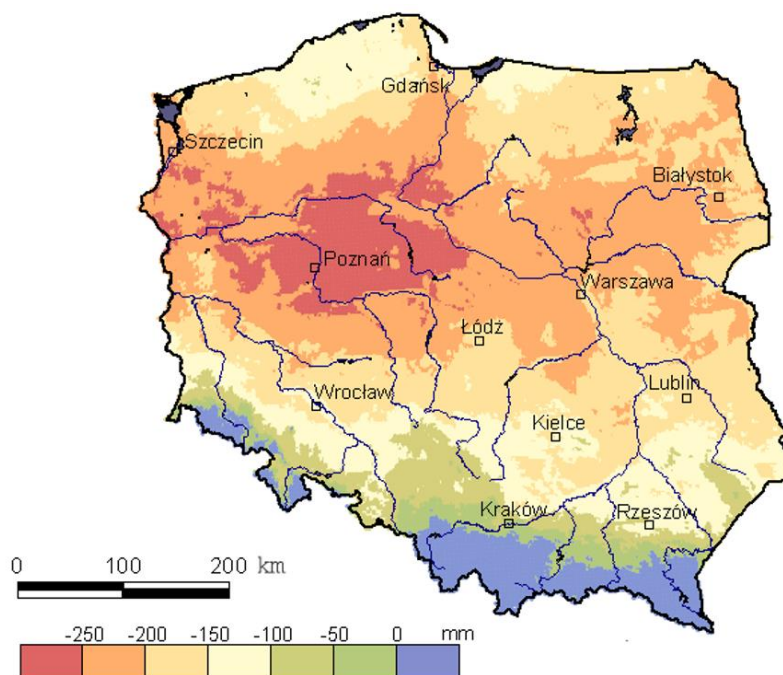
$$AI \equiv \frac{P}{ET_0}$$

o wartościach bliskich zera na obszarach bardzo suchych i bardzo dużych wartościach dodatnich na obszarach z przewagą opadów nad ewapotranspiracją. Wykorzystywane we wskaźniku AI wartości opadów i ewapotranspiracji potencjalnej są najczęściej sumami rocznymi.

Wskaźnik Klimatycznego Bilansu Wodnego KBW jest różnicą opadu i ewapotranspiracji potencjalnej o wartościach ujemnych w okresach suszy i wartościach dodatnich w okresach przewagi opadów.

$$KBW \equiv P - ETP$$

Wartości KBW dla średnich wieloletnich sum opadów i ewapotranspiracji potencjalnej j w sezonie wegetacyjnym, wskazują na to, że w Polsce największe deficyty wody dotyczą obszary pasa Nizy Polskiego, będąc najbardziej dotkliwymi z epicentrum w Wielkopolsce (Rys.1).



Rys.1. KBW w Polsce w okresie od kwietnia do września. (opracowanie mapy: J. Kozyra na podstawie: Górski, Zaliwski 2002)

System Monitoringu Suszy Rolniczej – wykorzystywane dane i metodyka

Sześciodekadowe okresy Klimatycznego Bilansu Wodnego

Wartości krytyczne KBW w sześciodekadowych okresach od 21 marca do 30 września zostały wyznaczone przy wykorzystaniu statystyczno-empirycznych modeli prognoz plonów opracowanych w IUNG-PIB. Wystąpienie wartości krytycznej oznacza obniżenie plonów przynajmniej o 20% w skali gminy w danym roku w stosunku plonów uzyskanych w średnich wieloletnich warunkach pogodowych. Tabela 1 przedstawia szczegółowy wykaz dekad branych pod uwagę w każdym okresie sześciodekadowym.

Tabela 1. Okresy sześciodekadowe KBW od 21 marca do 30 września

Lp.	Okres	Dekady
1	21 III - 20 V	1 (III) + 3 (IV) + 2 (V)
2	1 IV - 31 V	3 (IV) + 3 (V)
3	11 IV - 10 VI	2 (IV) + 3 (V) + 1 (VI)
4	21 IV - 20 VI	1 (IV) + 3 (V) + 2 (VI)
5	1 V - 30 VI	3 (V) + 3 (VI)
6	11 V - 10 VII	2 (V) + 3 (VI) + 1 (VII)
7	21 V - 20 VII	1 (V) + 3 (VI) + 2 (VII)
8	1 VI - 31 VII	3 (VI) + 3 (VII)
9	11 VI - 10 VIII	2 (VI) + 3 (VII) + 1 (VIII)
10	21 VI - 20 VIII	1 (VI) + 3 (VII) + 2 (VIII)
11	1 VII - 31 VIII	3 (VII) + 3 (VIII)
12	11 VII - 10 IX	2 (VII) + 3 (VIII) + 1 (IX)
13	21 VII - 20 IX	1 (VII) + 3 (VIII) + 2 (IX)
14	1 VIII - 30 IX	3 (VIII) + 3 (IX)

SMSR oparty jest na sześciodekadowych danych, w przypadku jednostkowego opadu różnica sumy opadu pomiędzy bliskimi miejscowościami może się różnić, natomiast przy agregacji sumy opadu dla dłuższego okresu obejmującego 61-62 dni, różnice są mniejsze i uprawniają do zastosowania procedury interpolacyjnej. Okres sześciu dekad do określenia suszy rolniczej został wybrany z powodu najlepszej oceny deficytu wody na plonowanie roślin. Agregacja okresu do sześciu dekad pozwala na lepsze określenie obniżenia plonu końcowego z powodu wystąpienia deficytu wody (Łabędzki L., Adamski P. 2010).

Susza meteorologiczna jest wyznaczana za pomocą Klimatycznego Bilansu Wodnego (KBW), to jest różnicy pomiędzy opadem atmosferycznym a ewapotranspiracją potencjalną:

$$KBW = P - ETP$$

gdzie:

P – opad atmosferyczny, mm;

ETP – ewapotranspiracja, mm.

Wartość ewapotranspiracji potencjalnej jest obliczana na podstawie wzoru Doroszewskiego (Doroszewski i in. 2012):

$$ETP = 161 + 19,57 d - 152,7 \ln d + 0,0004034 h^2 + 0,00186 (t + 5)^3 + 0,004192 (100 - f)^2 + 0,0003681 v (100 - f)^{2,5}$$

gdzie:

d – długość dnia, h;

h – usłonecznienie, h;

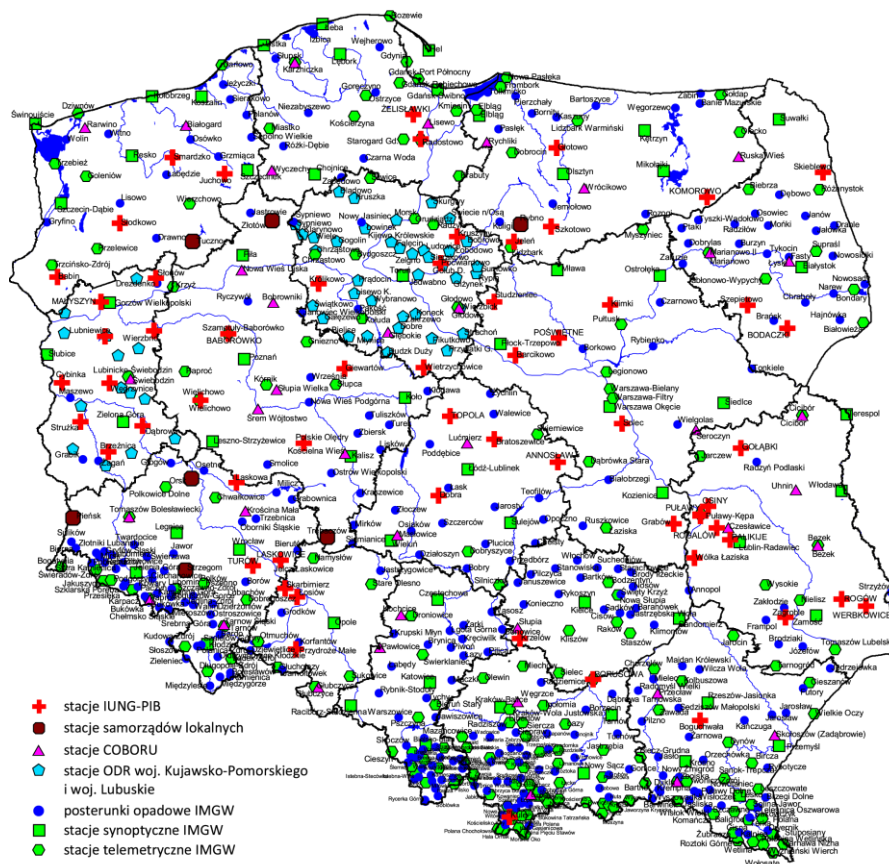
t – średnia temperatura powietrza, °C;

f – wilgotność względna, godz. 13, %;

v – średnia prędkość wiatru, $m \cdot s^{-1}$.

Dane meteorologiczne

W SMSR wykorzystywane są dane z punktów pomiarowych: stacji synoptycznych oraz klimatycznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB), posterunków opadowych IMGW-PIB, stacji Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU), IUNG-PIB, z Ośrodków Doradztwa Rolniczego (ODR) z woj. Kujawsko-Pomorskiego i Lubuskiego oraz sieci stacji IUNG-PIB i samorządów lokalnych, które są włączone na podstawie umów o współpracy do grupy stacji IUNG-PIB.. Rozmieszczenie wszystkich stacji i posterunków opadowych, z których dane meteorologiczne brane są w SMSR prezentuje rys. 2. Natomiast tab. 2 prezentuje zmiany w liczbie stacji meteorologicznych w prowadzonym SMSR w poszczególnych latach (2007-2019). Sieć stacji, z których dane meteorologiczne wykorzystywane są do wyznaczania suszy rolniczej stale się zwiększa. Zwiększenie gęstości stacji meteorologicznej sprawia, że wzrasta dokładność oraz jakość prezentowanych wyników.



Rys 2. Rozmieszczenie stacji meteorologicznych wykorzystywanych w SMSR (stan na 30.06.2019 r.)

Tabela 2. Stacje meteorologiczne w Systemie Monitoringu Suszy Rolniczej w Polsce w latach 2007-2019

Lp	Rok	Stacje synoptyczne IMGW-PIB	Posterunki opadowe i klimatyczne IMGW-PIB	COBORU	IUNG-PIB	ODR	Samorządy lokalne*	Razem
1	2007	54	171	-	2			227
2	2008	54	176	-	3			233
3	2009	54	166	35	12			267
4	2010	53	163	50	16			282
5	2011	53	163	50	27			293
6	2012	54	163	50	28			295
7	2013	54	215	50	33			352
8	2014	54	215	50	38			357
9	2015	54	207	50	43			354
10	2016	59	219	39	51	33		464
11	2017	58	351	39	52	33		533
12	2018	58	483	39	53	33	2	668
13	2019	58	511	38	55	33	7	695

*Stacje działające w sieci IUNG-PIB

Każdorazowo przed ogłoszeniem kolejnego komunikatu dotyczącego aktualnego stanu zagrożenia suszą na terenie kraju, dokonywana jest weryfikacja danych meteorologicznych. W celu zachowania najwyższej jakości danych pomiarowo – obserwacyjnych na stacjach IMGW-PIB, IUNG-PIB, ODR zainstalowane są zdublowane przyrządy pomiarowe, np. dwa deszczomierze. Pozwala to na wychwycenie błędów wynikających z awarii urządzenia.

Po kontroli danych meteorologicznych są one wykorzystywane do wyznaczania wartości KBW. Przestrzenne dane z pomiarów punktowych są interpolowane z użyciem aplikacji Geographic Information System (GIS) za pomocą programu komputerowego – ArcGIS. Na każdą wyinterpolowaną wartość - program wykorzystuje informacje z 12 najbliższych stacji meteorologicznych. Program przy tworzeniu interpolacji danych uwzględnia wpływ odległości stacji na tę wartość, im stacja położona jest bliżej interpolowanej danej, tym większy jest jej wpływ na tę wartość. System GIS uwzględnia następujące warstwy informacji: dane dotyczące opadów atmosferycznych, ewapotranspiracji, dane z cyfrowej mapy glebowo-rolniczej obrazującej przestrzenne zróżnicowanie retencji wodnej różnych kategorii agronomicznych gleb i jej wpływ na skutki suszy rolniczej oraz granice wszystkich gmin Polski.

Wartości progowe Klimatycznego Bilansu Wodnego

Na podstawie danych meteorologicznych wykreślane są po każdym skończonym sześciodekadowym okresie mapy, przedstawiające rozkład KBW dla obszaru Polski, które następnie zamieszczane są na stronie internetowej: <http://www.susza.iung.pulawy.pl/KBW/>.

Na podstawie zintegrowanych danych przestrzennych obliczane są dla każdego okresu sześciodekadowego aktualne wartości KBW dla każdej gminy Polski w okresie

wegetacyjnym i porównywane z wartościami krytycznymi KBW zamieszczonymi w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 11 kwietnia 2019 r. w sprawie wartości klimatycznego bilansu wodnego dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych i gleb (Dz. U. poz. 739 z dnia 23 kwietnia 2019 roku). Obszary na których obliczone wartości są mniejsze od przyjętych w Rozporządzeniu z uwzględnieniem kategorii glebowych i rodzaju upraw są określane jako potencjalnie zagrożone suszą. Dla wszystkich monitorowanych upraw rolniczych opracowywane są mapy co dekadę, przedstawiające zasięg suszy rolniczej.

W latach 2008 oraz 2009 w SMSR zamieszczane były tabele przedstawiające zagrożenie suszą we wszystkich gminach Polski z uwzględnieniem 4 kategorii gleb i 14 grup i gatunków roślin, od 2010 r. poszerzono prezentacje zagrożenia suszą o kukurydzę na kiszonkę oraz rozdzielono grupę drzew i krzewów owocowych. Kolejne zmiany zostały wprowadzone w 2016, 2017 oraz w 2019 roku. Warunki pogodowe jakie występowały w ostatnich latach a zwłaszcza w 2018 roku, w którym notowano szczególnie dużo ekstremalnych zdarzeń związanych z przebiegiem pogody, spowodowały konieczność dokonania zmian wartości progowych klimatycznego bilansu wodnego. W ostatnich latach występuje znaczne przyspieszenie rozpoczęcia okresu wegetacyjnego nawet o ok. 10 dni, a w 2018 roku poszczególne fazy rozwojowe występowały nawet o 2-3 tygodnie szybciej w stosunku do lat ubiegłych.

Nowo wyznaczone wartości KBW zdecydowanie precyzyjniej określają wpływ niedoboru wody na plonowanie roślin. Dokonano zatem zmian wielkości KBW na bardziej precyzyjne wartości, zwiększając dokładność wpływu deficytu wody na plonowanie roślin. Nowe wartości KBW uwzględniają w sposób bardziej dokładny uzależnienie zapotrzebowania roślin na wodę, zmieniające się w zależności od zachodzących faz rozwojowych roślin. Takie podejście sprawia, że wartości KBW są bardziej związane z potrzebami wodnymi roślin zmieniającymi się w okresie wegetacyjnym.

W wyniku postulowanych propozycji wprowadzono nowe Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi w sprawie wartości klimatycznego bilansu wodnego dla poszczególnych gatunków i grup roślin uprawnych oraz gleb (Dz. U. poz. 739 z dnia 23 kwietnia 2019 roku) (tab. 3).

Tabela 3. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 11 kwietnia 2019 r. w sprawie wartości klimatycznego bilansu wodnego dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych i gleb (Dz. U. poz. 739 z dnia 23 kwietnia 2019 roku)

		Okresy sześciodekadowe													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Uprawa	Kat, gleb	21.III-20.V	11V-31V	11IV-10VI	21IV-20VI	1V-30VI	11V-10VII	21V-20VII	1VI-31VII	11VI-10VIII	21VI-20VIII	1VII-31VIII	11VII-10IX	21VII-20IX	1VIII-30IX
Zboża	I	-129	-132	-137	-145	-154	-165	-180	-199	-220					
ozime	II	-150	-153	-158	-166	-175	-186	-201	-220	-241					
	III	-188	-191	-196	-204	-213	-224	-239	-258	-279					
	IV	-215	-218	-223	-231	-240	-251	-266	-285	-306					
Zboża	I	-125	-127	-130	-135	-142	-153	-169	-186	-207					
jare	II	-144	-146	-149	-154	-161	-172	-188	-205	-226					
	III	-174	-176	-179	-184	-191	-202	-218	-235	-256					
	IV	-194	-196	-199	-204	-211	-222	-238	-255	-276					
Kuku-rydza na	I				-168	-161	-156	-153	-152	-153	-154	-156	-158	-161	-164
ziarno	II				-200	-193	-188	-185	-184	-185	-186	-188	-190	-193	-196
	III				-236	-229	-224	-221	-220	-221	-222	-224	-226	-229	-232
	IV				-271	-264	-259	-256	-255	-256	-257	-259	-261	-264	-267
Kuku-rydza na	I				-168	-161	-156	-153	-152	-152	-152	-153	-155	-157	-160
ki-	II				-200	-193	-188	-185	-184	-184	-184	-185	-187	-189	-192
	III				-236	-229	-224	-221	-220	-220	-220	-221	-223	-225	-228

szonkę	IV				-271	-264	-259	-256	-255	-255	-255	-256	-258	-260	-263
Rzepak	I	-207	-187	-170	-155	-142	-132							-138	-138
rzepik	II	-232	-211	-193	-177	-165	-155							-158	-158
	III	-275	-254	-236	-220	-208	-198							-205	-205
	IV	-297	-276	-258	-242	-230	-220							-230	-230
Ziem-	I			-238	-232	-226	-219	-210	-200	-189	-178	-168	-157	-147	
mniak	II			-257	-251	-245	-238	-229	-219	-208	-197	-187	-176	-166	
	III			-286	-280	-274	-267	-258	-248	-237	-226	-216	-205	-195	
	IV			-306	-300	-294	-287	-278	-268	-257	-246	-236	-225	-215	
Burak	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
cu-	II	-250	-248	-245	-241	-237	-232	-226	-220	-212	-202	-192	-182	-169	-155
krowy	III	-277	-275	-272	-268	-264	-259	-253	-247	-239	-229	-219	-209	-196	-182
	IV	-296	-294	-291	-287	-283	-278	-272	-266	-258	-248	-238	-228	-215	-201
Chmiel	I				-230	-220	-212	-205	-199	-194	-190	-186	-182		
	II				-248	-238	-230	-223	-217	-212	-208	-204	-200		
	III				-285	-275	-267	-260	-254	-249	-245	-241	-237		
	IV				-302	-292	-284	-277	-271	-266	-262	-258	-254		
Tytoń	I				-189	-187	-186	-185	-186	-187	-190	-195	-200		
	II				-201	-199	-198	-197	-198	-199	-202	-207	-212		
	III				-227	-225	-224	-223	-224	-225	-228	-233	-238		
	IV				-240	-238	-237	-236	-237	-238	-241	-246	-251		
Warzy-	I				-189	-187	-185	-184	-184	-184	-185	-187	-188		
wa	II				-207	-205	-203	-202	-202	-202	-203	-205	-206		
grunt-	III				-243	-241	-239	-238	-238	-238	-239	-241	-242		
Owe	IV				-263	-261	-259	-258	-258	-258	-259	-261	-262		
Krzewy	I	-149	-148	-147	-147	-149	-154	-159	-162	-163	-162	-160	-157		
owo-	II	-166	-165	-164	-164	-166	-171	-176	-179	-180	-179	-177	-174		
cowe	III	-200	-199	-198	-198	-200	-205	-210	-213	-214	-213	-211	-208		
	IV	-217	-216	-215	-215	-217	-222	-227	-230	-231	-230	-228	-225		
Drzewa	I	-168	-171	-175	-180	-187	-193	-199	-205	-210	-215	-220	-223		
owo-	II	-190	-193	-197	-202	-209	-215	-221	-227	-232	-237	-242	-245		
cowe	III	-229	-232	-236	-241	-248	-254	-260	-266	-271	-276	-281	-284		
	IV	-249	-252	-256	-261	-268	-274	-280	-286	-291	-296	-301	-304		
Truska-	I	-133	-137	-143	-152	-163	-178	-190	-198	-202					
wki	II	-150	-154	-160	-169	-180	-195	-207	-215	-219					
	III	-183	-187	-193	-202	-213	-228	-240	-248	-252					
	IV	-204	-208	-214	-223	-234	-249	-261	-269	-273					
Rośliny	I				-161	-161	-163	-165	-166	-167	-168	-170	-172	-174	-176
strącz-	II				-182	-182	-184	-186	-187	-188	-189	-191	-193	-195	-197
kowe	III				-213	-213	-215	-217	-218	-219	-220	-222	-224	-226	-228
	IV				-234	-234	-236	-238	-239	-240	-241	-243	-245	-247	-249

Dane glebowe

W wyznaczaniu suszy rolniczej istotną rolę odgrywa podatność gleb na niedobór wody, która jest uzależniona od składu granulometrycznego, wyrażonego w kategoriach agronomicznych. W skali kraju wydzielono cztery kategorie podatności gleb na suszę, które różnicują przestrzennie retencję wodną i potencjalną dostępność wody dla roślin uprawnych.

Podstawą opracowania mapy kategorii podatności gleb na suszę rolniczą jest uziarnienie profilu glebowego (skład granulometryczny), które decyduje o możliwości gromadzenia wody w glebie i jej dostępności dla roślin. Dla potrzeb SMSR opracowano mapę kategorii podatności gleb na suszę, która odzwierciedla potencjalną retencję i ilość wody ogólnie dostępnej dla roślin (WOD) w profilu glebowym. Kategorie podatności gleb na suszę wydzielono na podstawie informacji o uziarnieniu zawartej na mapie glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 (tab. 4). Czynnikiem różnicującym dodatkowo wrażliwość gleb na suszę są informacje o stosunkach wodnych przypisane do kompleksów rolniczej przydatności gleb. Podatność gleb gruntów ornyczych na suszę okresowo nadmiernie uwilgotnionych kompleksu zbożowo-pastewnego mocnego (8) i zbożowo-pastewnego słabego (9) została obniżona o jedną kategorię z uwagi na wyższą zawartość wody w profilu glebowym wynikającą z ukształtowania terenu i oddziaływania wód gruntowych.

Skala opracowania mapy podatności gleb na suszę (1:25 000) pozwala na opracowanie potencjalnego zagrożenia suszy na poziomie gminy oraz obrębu geodezyjnego.

Tabela 4. Podział gatunków gleb na kategorie podatności gleb na suszę rolniczą*

Kategoria podatności gleb na suszę	Gatunek gleby
Kategoria I - Bardzo podatna na suszę (WOD < 127,5 mm), gatunek gleby:	piasek luźny – pl piasek luźny pylasty - plp piasek słabo gliniasty - ps piasek słabo gliniasty pylasty - psp
Kategoria II - Podatna na suszę (WOD 127,5 - 169,9 mm), gatunek gleby:	piasek gliniasty lekki - pgl piasek gliniasty lekki pylasty - pglp piasek gliniasty mocny – pgm piasek gliniasty mocny pylasty - pgmp
Kategoria III - Średnio podatna na suszę (WOD 170 - 202,5 mm), gatunek gleby:	glina lekka - gl glina lekka pylasta - glp pył gliniasty - plg pył zwykły - plz pył piaszczysty - plp
Kategoria IV - Mało podatna na suszę (WOD > 202,5 mm), gatunek gleby:	glina średnia - gs glina średnia pylasta - gsp glina ciężka - gc glina ciężka pylasta - gcp pył ilasty - pli ił – i ił pylasty - ip

*Ślusarczyk E. 1979.

Lista roślin, w odniesieniu do których wyznaczono obszary narażone na suszę

Wyznaczenie obszarów zagrożonych wystąpieniem suszy na potrzeby wsparcia nawodnień, w oparciu o metody stosowane w SMSR, wymaga wskazania grup upraw, dla których częstość suszy ma być określona. Ponieważ nawadnianie związane jest z dodatkowymi kosztami pracy i konserwacji systemu nawadniającego, nawadniane są jedynie wybrane uprawy, dla których koszty te są mniejsze niż dodatkowe korzyści z nawadniania. Wychodząc z założenia, że warunki rynkowe wyznaczające opłacalność nawodnień nie ulegną szybkiej zmianie, przyjęto że nawadniane aktualnie uprawy są tymi, które będą skupiać zainteresowanie rolników, ubiegających się o wsparcie.

W dotychczasowych publikacjach prezentowane są zgodne twierdzenia o braku opłacalności nawadniania zbóż i rzepaku oraz opłacalnym nawadnianiu owoców i warzyw, w tym ziemniaków np.

- „W Polsce nie prowadzi się nawodnień kukurydzy na ziarno w skali produkcyjnej” (Żarski i inni 2007; str.339);
- „W aktualnych warunkach ekonomicznych rolnictwa w Polsce nieopłacalne jest nawadnianie prawie wszystkich upraw polowych, z wyjątkiem ziemniaków. Opłacalne jest natomiast nawadnianie upraw warzywniczych i sadowniczych.”(Łabędzki 2007).

Nawadnianie odnotowuje się także w przypadku chmielu oraz fasoli:

- „Nawadnianie kropłowe polega na dostarczaniu małych dawek wody na powierzchnię gleby, wzdłuż rzędów roślin. System ten pozwala na oszczędne gospodarowanie

zasobami wodnymi i jest najczęściej stosowany na plantacjach chmielu.” (Skomra 2015)

- „W uprawie fasoli korzystniej jest używać deszczowni z belką deszczującą, tzw. „konsolą” niż z dalekosiężnym zraszaczem obrotowym.” (Anyszka Z. i inni, 2015r);

Nie nawadnia się natomiast tytoniu:

- „W Polsce nie praktykuje się nawadniania tytoniu” (Doroszewska, Berbec 2015; str.7).

Dokonany na potrzeby niniejszego opracowania przegląd informacji w internecie wskazuje na także na brak nawodnień buraka cukrowego.

Z uwagi na podobieństwo buraka cukrowego do niektórych warzyw korzeniowych i znaczną różnorodność upraw w poszczególnych grupach, dokonano także prostej ekonomicznej analizy opłacalności nawodnień. Przyjęto że opłacalność nawodnień jest proporcjonalna do iloczynu ceny uzyskiwanej za jednostkę plonu p_Y (zł kg⁻¹) oraz efektywności wykorzystania wody IWUE (kg ha⁻¹ mm⁻¹) (ang. Irrigation Water Use Efficiency) danej wzorem:

$$IWUE \equiv \frac{dY}{dI} \Big|_{I_{opt}}$$

tzn. krańcowego przyrostu plonu Y w kg/ha w odpowiedzi na zużyty dodatkowy 1mm wody przy zastosowaniu optymalnej dawki wody I_{opt} . Przyjmując że plon w warunkach deficytów wody zależy od stosunku ewapotranspiracji rzeczywistej do potencjalnej (Jensen 1968; Hanks 1983)::

$$Y = Y_{max} \left(\frac{ET}{ETP} \right)^\gamma$$

gdzie Y_{max} jest plonem maksymalnym w warunkach braku deficytów wody, γ stałą charakterystyczną dla efektywności wykorzystania wody przez roślinę a stosunek ET/ET_0 wyraża się często stosowanym przez hydrologów wzorem Turca-Pike’a (Pike 1964):

$$\frac{ET}{ET_0} = \frac{AI}{\sqrt{1+AI^2}}$$

pokazać można że:

$$IWUE = \frac{\gamma Y}{(P+I)(1+AI^2)}$$

tzn. że IWUE a wraz z nim opłacalność nawadnianie rośnie z wysokością plonów i suchością klimatu. Wynika stad że zbierając dane dotyczące parametrów efektywności wykorzystania wody do nawodnień nie można korzystać z danych uzyskanych w nawodnieniach z innych stref klimatycznych. Zebrane dane dla Polski (Tab. 5) potwierdzają wnioski wynikające z wprowadzonego wzoru dla IWUE.

Tabela 5. Dane dotyczące opłacalności nawodnień upraw w Polsce (warzywa na glebach średnich, pozostałe uprawy na glebach lekkich).

Grupa upraw w SMSR		IWUE [kg/ha/mm]	P ₂₀₁₄₋₁₈ [zł/kg]	IWUE* _p [zł/ha/mm]	do wyzn. OWN
zboża ozime		8,0 ^a ; 10,0 ^b ; 15,5 ^p ; 17,8 ^u	0,59	7,6	0
zboża jare		5,5 ^a ; 11,1 ^b ; 18,3 ^m ; 16,0 ^p	0,59	7,6	0
kukurydza na ziarno		11,0 ^c ; 25,2 ^j ; 39,7 ^m	0,56	14,2	0
kukurydza na kiszonkę		120 ^p	0,16*	19,3	0
rzepak i rzepik		13,3 ^l ; 9,0 ^p ; 7,9 ^u	1,51	15,2	0
ziemniak		56 ^a ; 62,5 ^e ; 128,1 ^m ; 100 ^p ; 102,1 ^r ; 161,3 ^t	0,39	40,0	1
burak cukrowy		68 ^a ; 88,0 ^e ; 96,5 ^h ; 95 ^p	0,11	9,8	0
chmiel					1
tytoń					0
warzywa gruntowe	kapusta	77,5 ^a ; 153 ^e	0,74	85,0	1
	pomidor	150,8 ^f	1,66	250,1	
	burak ćw.	95 ^a ; 91 ^e	0,36	33,8	
	ogórek	65 ^e ; 250 ^k ; 145 ^o	1,69	259,7	
	cebula	87 ^e	0,86	74,9	
	marchew	86 ^e	0,44	37,9	
krzewy owocowe	malina	44,4 ^g	5,07	225,1	1
	porzeczka	161 ^d	1,15	185,5	
drzewa owocowe	śliwy	10,7 ^s	1,34	14,3	1
	wiśnie	109 ⁿ	1,86	202,9	
truskawki		61,6 ⁱ	3,34	205,7	1
rośliny strączkowe	groch	5,0 ^e	3,13	15,7	1
	groch zielony	26,0 ^e	1,00	26,0	
	fasola	25,0 ^e	3,89	97,3	
	szparag.				

Źródła: dane wykorzystania do obliczenia średniej ceny produktów rolnych z ostatnich 5 lat p₂₀₁₄₋₁₈: GUS 2015, GUS 2018, GUS 2019; * - dane z kalkulacji rolniczych Pomorskiego Ośrodka Doradztwa Rolniczego; efektywność wykorzystania wody IWUE:

a – Dzieżyc 1986

b – Boróweczak i inni 1996; za: Żarski 2009

c – Żarski i Dudek 2003; za: Żarski 2009

d – Rolbiecki 2003

e – Gruszka 2004

f – Podsiadło i inni 2004

g - Rumasz-Rudnicka 2005

h – Rzekanowski i inni 2005

i – Koszański i inni 2005

j - Żarski i inni 2007

k – Spiżewski 2010

l – Dudek i inni 2013

m – Żarski i inni 2013

n – Lipiński 2016a

o – Lipiński 2016b

p – Mirschel i inni 2016 (dane dla Niemiec)

r – Pszczółkowski i inni 2016

s – Stachowski i inni 2017

t - Nowacki 2018

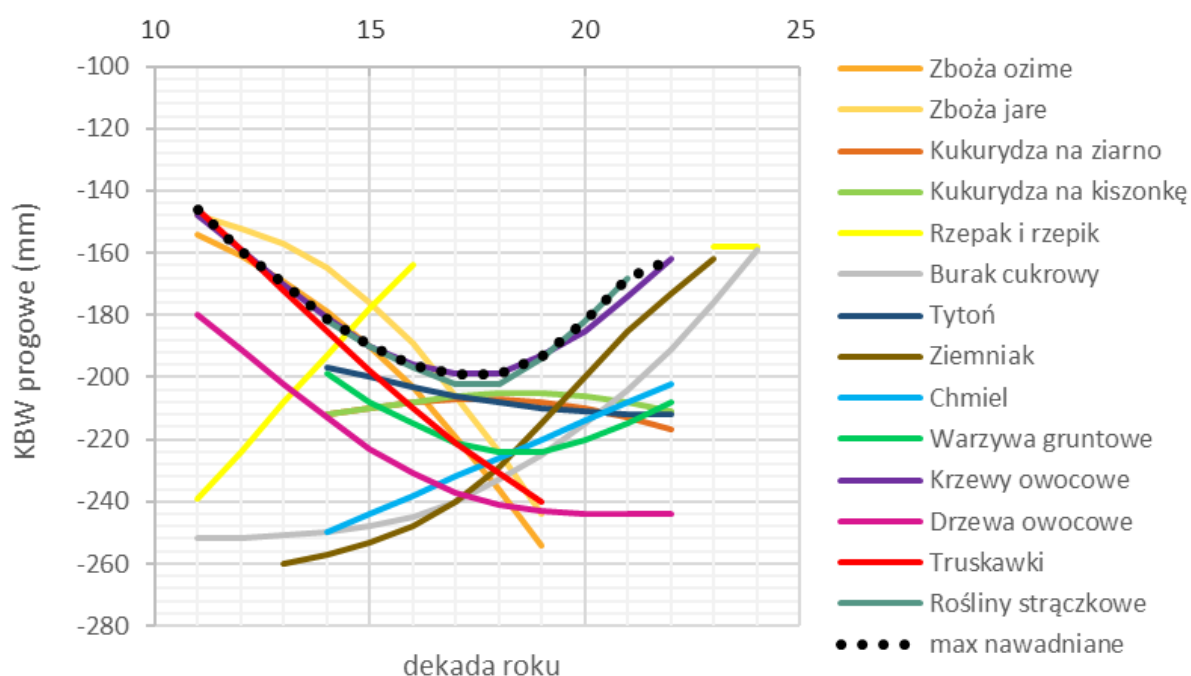
u – Stachowski i inni 2018.

Najbardziej opłacalne jest nawadnianie owoców i warzyw, ziemniaka oraz roślin strączkowych niepastewnych. Nawadnianie buraka cukrowego jest mniej opłacalne od nawadniania kukurydzy skąd w oparciu o informacje o braku nawadniania kukurydzy uznano że buraki cukrowe także nie są nawadniane.

Należy odnotować że obecne ceny wody są stosunkowo niskie (np. dla woj. mazowieckiego ok. 11zł/m³) i w świetle zebranych danych opłacalne jest nawet wykorzystanie wody wodociągowej do nawodnień niektórych owoców i warzyw (1mm wody/ha \Leftrightarrow 10 m³ wody \Leftrightarrow 11zł/m³ * 10 m³ = 110 zł).

Metodyka wyznaczenia OVN

Do analizy zostały użyte następujące uprawy: ziemniak, chmiel, warzywa gruntowe, krzewy owocowe, drzewa owocowe, truskawki, rośliny strączkowe. Analiza obejmuje lata 2007 – 2018 (12 lat). Wszystkie obliczenia zostały wykonane ponownie, uwzględniając kategorie glebowe wprowadzone w roku 2019 oraz krytyczne wartości KBW wprowadzone w roku 2019, określające wystąpienie zagrożenia suszą na poziomie 20% straty plonu (Rys. 3). Tym samym będą istniały różnice pomiędzy suszą raportowaną do tej pory, a uzyskanymi wynikami.



Rys. 3. Wartości progowe KBW dla gleb II kategorii podatności na suszę (gleby lekkie)

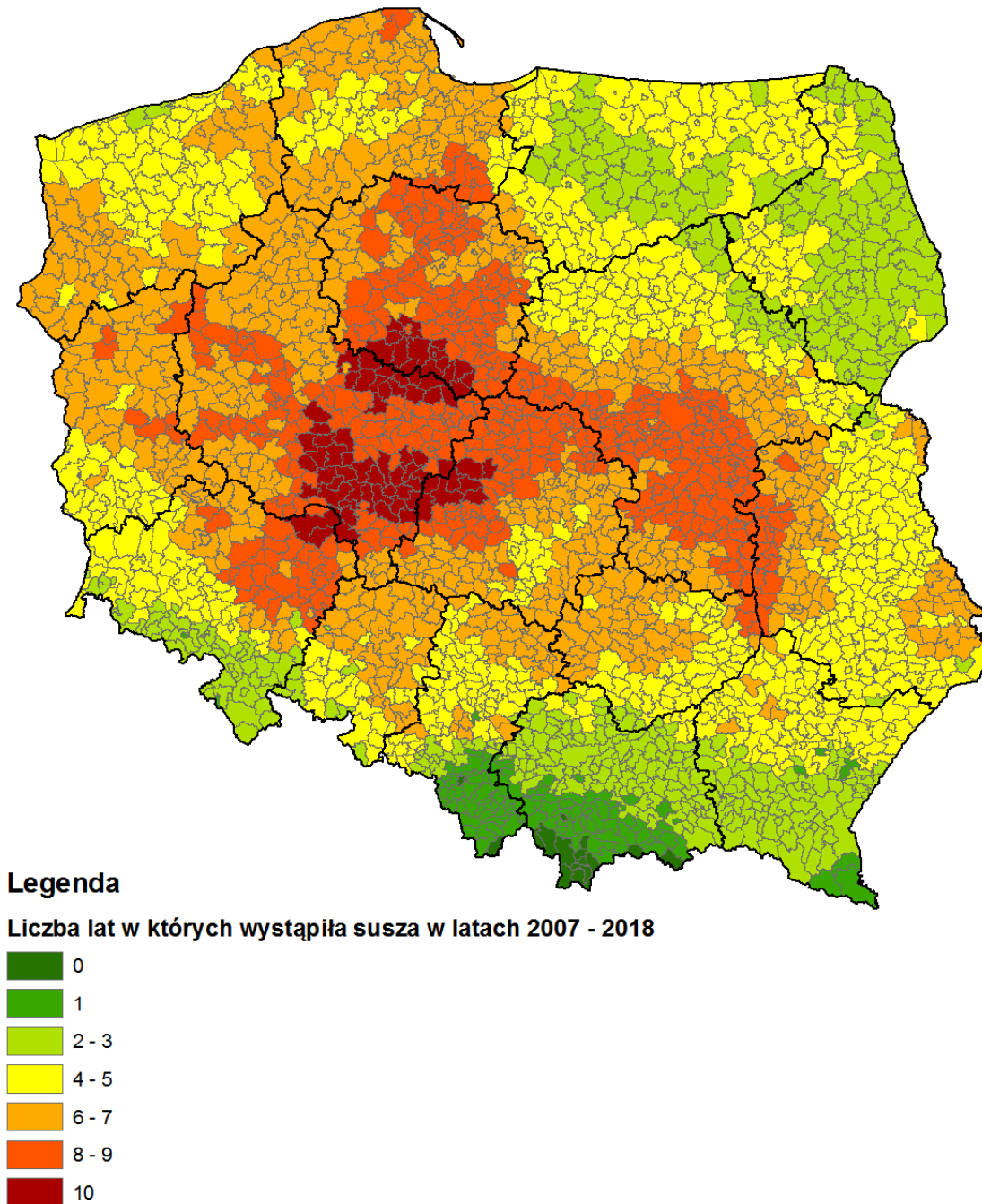
Wyniki oceny odniesiono do rzeczywistego niedoboru wody w środowisku mierzonego wskaźnikiem klimatycznego bilansu wodnego (KBW), który odzwierciedla warunki agrometeorologiczne i zaspokajanie potrzeb wodnych upraw rolniczych w sezonie wegetacyjnym w długiej perspektywie czasu. Przeprowadzone analizy porównawcze pozwoliły na dokonanie wyboru wskaźnika do zdefiniowania obszarów/gmin w różnym stopniu zagrożonych wystąpieniem suszy w Polsce. Opracowano wykaz gmin, w których wystąpiło zagrożenie suszy dla wybranych upraw w analizowanych latach. Jako rekomendowane kryterium wyboru dla agencji płatniczej do wdrażania planowanych operacji przyjęto parametr opisany w wariancie 1, będący sumą lat, w których wystąpiło zagrożenie suszy w danej gminie. Wartość tego parametru mogła się zawierać w przedziale 1-12 pkt, co można przełożyć na następującą przykładową punktację: 1 pkt. - dla gminy, w której

jednokrotnie wystąpiła susza i wartość maksymalna /teoretyczna/ 12 pkt. dla gminy w której zagrożenie wystąpiło we wszystkich 12 latach analizowanego okresu. Poniżej przedstawione są jednak wyniki analiz w 3 różnych wariantach.

Opracowane zostały 3 następujące warianty:

- 1) Liczba lat w których wystąpiła susza przynajmniej w 1 okresie raportowania na przynajmniej jednej z wymienionych upraw. Wariant dotyczy wszystkich kategorii glebowych, przy czym jeżeli susza występuje na III kategorii to występuje również na I kategorii. Inaczej mówiąc, susza musiała wystąpić przynajmniej na jednej kategorii glebowej czyli w żaden sposób nie uwzględniamy natężenia suszy.
- 2) Średni udział gleb zagrożonych suszą dla maksymalnego zasięgu suszy w danym roku. Wariant ten częściowo uwzględnia natężenie suszy oraz przestrzenną zmienność gleb. W poszczególnych latach obliczany jest zasięg maksymalny suszy dla wymienionych upraw, czyli uwzględniona jest również przestrzenna zmienność zasięgu suszy. Przykładowo, jeżeli początkowo w gminie dla rośliny X susza była wykazana na zachodzie dla 50% gleb, a po kilku okresach susza pojawiła się na wschodzie dla rośliny Y również na 50% gleb, ale w innej lokalizacji (teoretycznie brak pokrycia tych obszarów) to udział zagrożenia w danym roku wyniesie 100%. W tym wariantcie, jeżeli susza była intensywniejsza, obejmując kategorie glebowe bardziej podatne na suszę, udział gleb zagrożonych wzrastał.
- 3) Czas trwania suszy w okresach 6 dekadowych. Jest to liczba okresów 6-dekadowych, w których odnotowano suszę na przynajmniej jednej z wymienionych upraw, przynajmniej na jednej kategorii glebowej. Wariant ten pokazuje czas trwania suszy, premiuje te obszary, na których susza utrzymuje się dłużej, czyli wymaga dłuższego czasu nawadniania.

Wariant 1



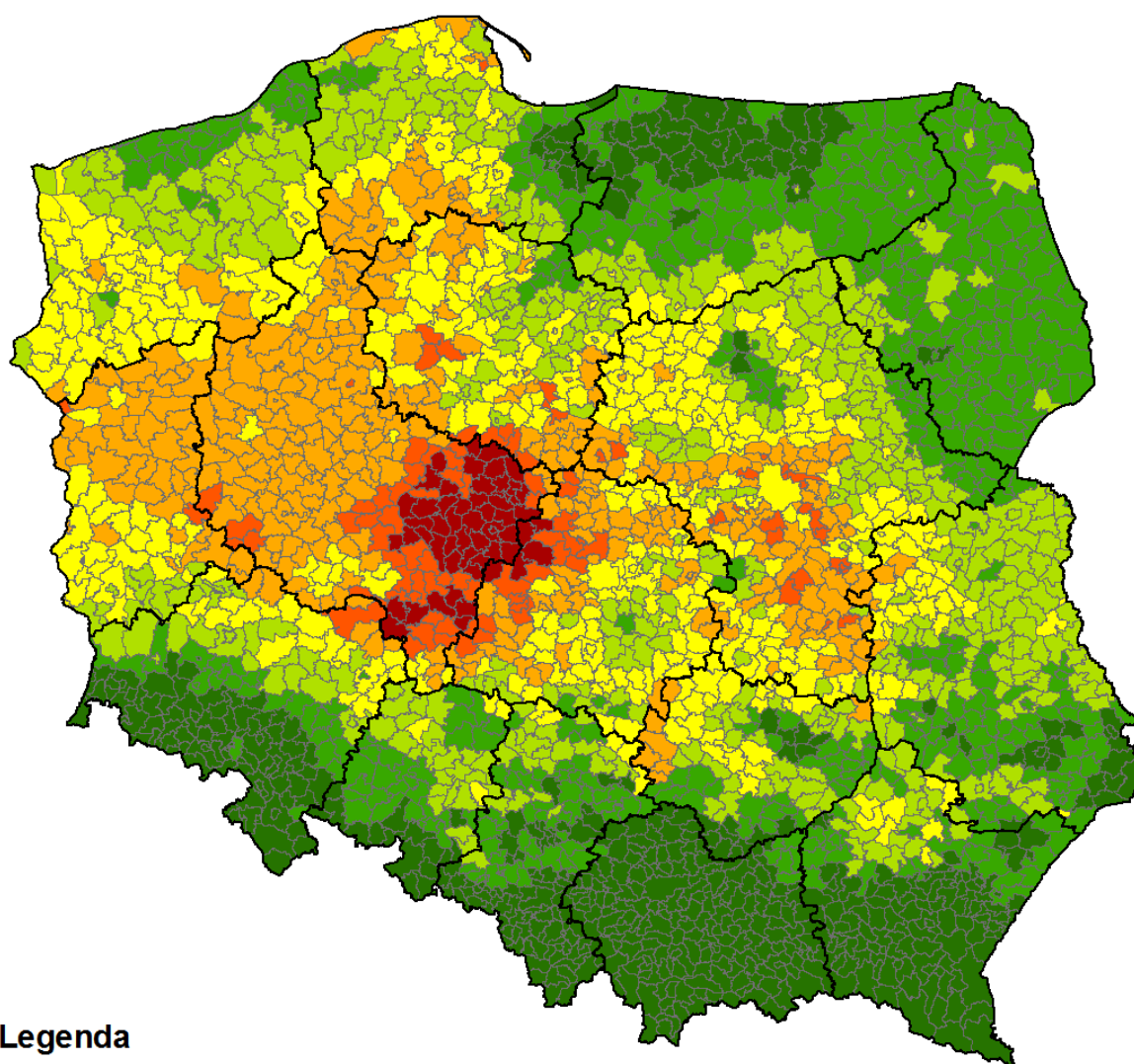
Rys. 4. Przestrzenny rozkład wielkości parametru „liczba lat, w których wystąpiła susza” wyznaczonego dla poziomu gminy

Tabela 6. Liczba gmin o określonej wartości parametru charakteryzującego zagrożenie suszą w wariantie 1 w okresie 12 lat objętych analizą

Liczba lat, w których wystąpiła susza w okresie 2007 - 2018 (wariant 1)	Liczba gmin w Polsce
0	15
1	104
2	120
3	312
4	298
5	420
6	409
7	302
8	279
9	141
10	77
11	0
12	0

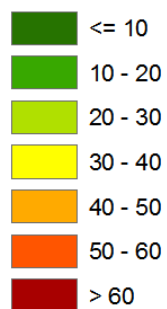
Szczegółowy wykaz gmin wraz z wartością parametru opracowanego dla wariantu 1 jest zamieszczony w załączniku 1 (nośnik CD).

Wariant 2



Legenda

Średni udział gleb zagrożonych suszą w latach 2007 - 2018



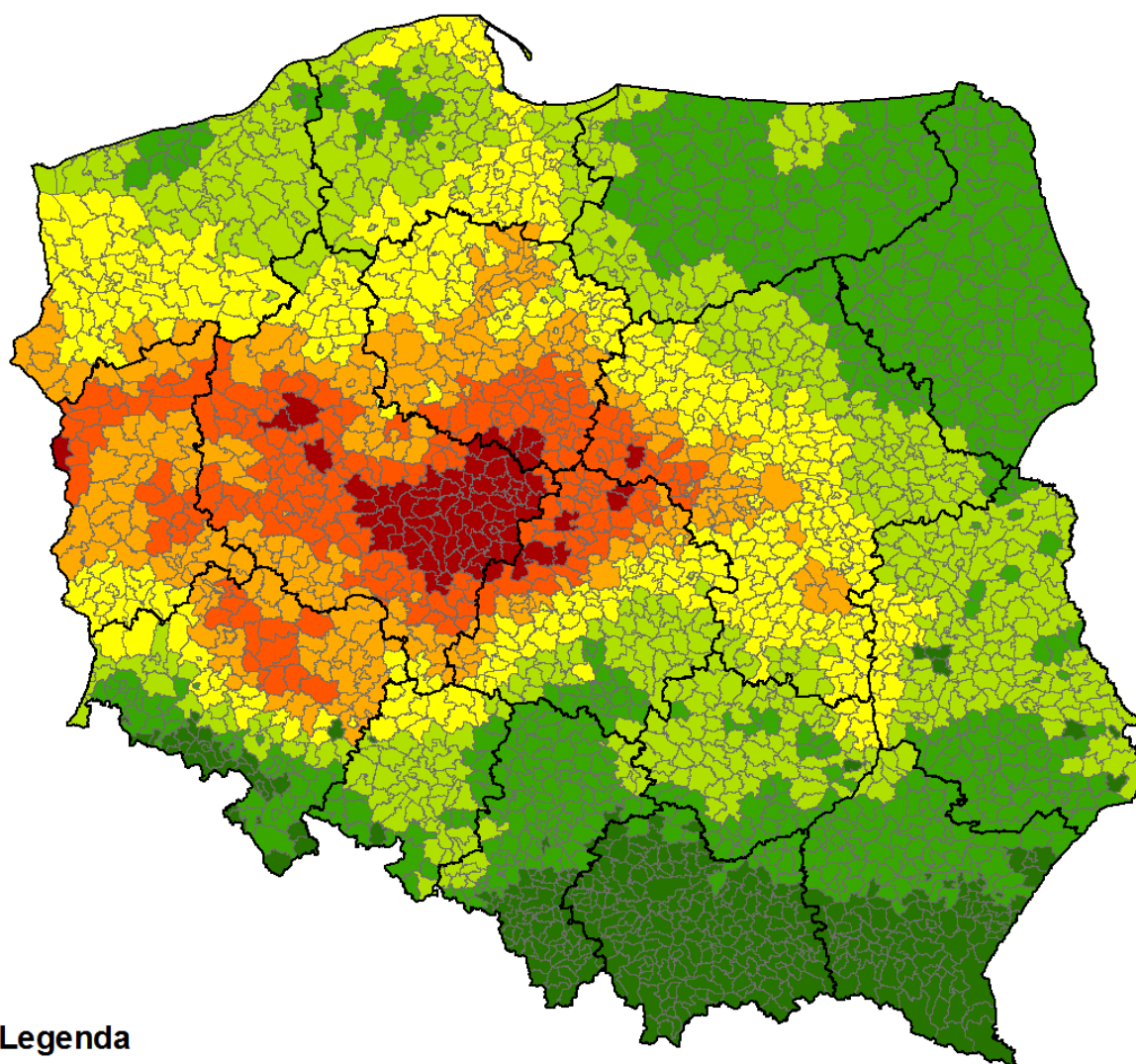
Rys. 5. Przestrzenny rozkład wielkości parametru „średni udział gleb zagrożonych suszą” wyznaczonego dla poziomu gminy

Tabela 7. Liczba gmin o określonej wartości parametru charakteryzującego zagrożenie suszą w wariantcie 2

Średni udział gleb zagrożonych suszą w latach 2007 - 2018 [%] (wariant 2)	Liczba gmin w Polsce
<=10	557
10 - 20	476
20 - 30	483
30 - 40	443
40 - 50	367
50 - 60	97
> 60	54

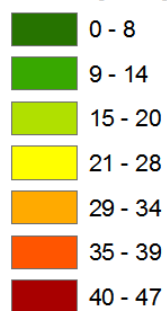
Szczegółowy wykaz gmin wraz z wartością parametru opracowanego dla wariantu 2 jest zamieszczony w załączniku 1 (nośnik CD).

Wariant 3



Legenda

Sumaryczny czas trwania suszy w okresach 6-dekadowych (maks. 158 okresów)



Rys. 6. Przestrzenny rozkład wielkości parametru „czas trwania suszy” wyznaczonego dla poziomu gminy

Tabela 8. Liczba gmin o określonej wartości parametru charakteryzującego zagrożenie suszą w wariantcie 3

Sumaryczny czas trwania suszy w okresach 6-dekadowych w latach 2007 - 2018 (maks. 158 okresów) (wariant 3)	Liczba gmin w Polsce
0 - 8	354
9 - 14	599
15 - 20	540
21 - 28	438
29 - 34	262
35 - 39	210
40 - 47	74

Szczegółowy wykaz gmin wraz z wartością parametru opracowanego dla wariantu 3 jest zamieszczony w załączniku 1 (nośnik CD).

Podsumowanie

W ekspertyzie przeanalizowano możliwość zastosowania 3 wariantów parametrów wskazujących na poziom zagrożenia suszą w gminach na cele wsparcia nawodnień. Ze względu na fakt, że testowane w niniejszym opracowaniu warianty kryterium wyboru odwołują się do zgeneralizowanych warunków klimatyczno-glebowych w jednostkach administracyjnych – gminach, istnieje ryzyko, że beneficjenci posiadający gleby gorsze od przeciętnych w danej gminie uzyskają mniejszą punktację, niż wynikałoby z warunków glebowych na ich polach. Z tego względu, mając na uwadze zarówno konieczność zagwarantowania wsparcia w szczególności na obszarach najsilniej dotkniętych suszami, jak i potrzebę ograniczenia do minimum kosztów prac administracyjnych, wskazuje się wariant 1 jako rekomendowany. Wariant ten jest oparty na liczbie lat, w których w danej gminie wystąpiła susza, tzn. wystąpienie suszy jest punktowane w danym roku dla całej gminy, jeśli wystąpiła ona przynajmniej na jednej kategorii glebowej.

Literatura

- 1) Anyszka Z. (red.), 2015: Metodyka Integrowanej Ochrony fasoli (Materiały dla doradców), Instytut Ogrodnictwa, Skierniewice, s. 64.
- 2) Borówczak F. i in., 1996: Efekty deszczowania i nawożenia azotem niektórych roślin uprawnych w warunkach Wielkopolski w latach 1989–1992. Zesz. Problem. Post. Nauk Roln., 438, 103–110.
- 3) Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Żarski J., Szterk P., 2013: Ocena potrzeb i efektów deszczowania rzepaku ozimego w rejonie Bydgoszczy, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 1/II, 51-62.
- 4) Doroszevska T., Berbec A., 2015: Metodyka integrowanej ochrony tytoniu, IUNG-PIB, MRiRW, Puławy, Wyd.1, s. 94. ISBN: 978-83-7562-196-9.

- 5) Dzieżyc J., 1986: Nawożenie w warunkach nawadniania, 460-487; w: Czuba R. (red.) 1986: Nawożenie, PWRiL 1986.
- 6) Gruszka J., 2004: Efektywność produkcyjna rozdeszczowanej wody w wybranych gospodarstwach rolnych, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t.4 z.2a(11), 73-85.
- 7) Górski T., Zaliwski A., 2002: Model Agroklimatu Polski, Pamiętnik Puławski, 130/I, 251-260.
- 8) GUS, 2016: Skup i ceny produktów rolnych w 2015r., Warszawa, 1-51.
- 9) GUS, 2018: Skup i ceny produktów rolnych w 2017r., Warszawa, 1-53.
- 10) GUS, 2019: Skup i ceny produktów rolnych w 2018r., Warszawa, 1-53.
- 11) Hanks R.J., 1983: Yield and Water-Use Relationships: An Overview. In: Taylor H.M., Jordan W.R. a Sinclair T.R., Eds., Limitations to Efficient Water Use in Crop Production, American Society of Agronomy, Madison, 393-411.
- 12) Jensen M.E., 1968: "Water Consumption by Agricultural Plants," Water Deficits and Plant Growth, T.T. Kozłowski, ed., Vol. 2, Academic Press, New York, N.Y., pp. 1-22.
- 13) Koszański Z., Rumas-Rudnicka E., Karczmarczyk S., Rychter P., 2005: Wpływ nawadniania i nawożenia mineralnego na plonowanie i cechy jakościowe dwóch odmian truskawek uprawianych na glebie lekkiej, Inżynieria rolnicza 3/63, 251-255.
- 14) Lipiński J., 2016: Efektywność kroplowego nawadniania sadów wiśniowych, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t.16 z.2(54), 77-88.
- 15) Lipiński J., 2016: Efektywność deszczownianego nawadniania ogórków gruntowych w warunkach produkcyjnego gospodarstwa ogrodniczego, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t.16 z.3(55), 61-71.
- 16) Łabędzki L., 2007: Irrigation in Poland – current status after reforms in agriculture and future development, J. Water Land Dev. No. 11, 3-16.
- 17) Mirschel W., Wieland R., Luzi K., 2016: Simulated additional crop yields due to irrigation of agricultural fields throughout Brandenburg, Germany, for 1975-2075, Conference Paper. https://www.researchgate.net/publication/308746843_Simulated_additional_crop_yields_due_to_irrigation_of_agricultural_fields_throughout_Brandenburg_Germany_for_1975-2075
- 18) Nawodnienia.EU, 2019: <https://www.nawodnienia.eu/jak-nawadniac/upraw>
- 19) Nowacki W., 2018: Woda w produkcji ziemniaka - problemy i wyzwania, Konferencja: Współczesne wyzwania gospodarki wodnej na obszarach wiejskich, Polanica Zdrój.
- 20) Pike J.G., 1964: The estimation of annual run-off from meteorological data in a tropical climate. J. Hydrol. 2, 116–123.
- 21) PODR 2014-2018, Kalkulacje rolnicze: <http://podr.pl/doradztwo/kalkulacje-rolnicze-produkcja-roslinna/>
- 22) Podsiadło C., Jaroszewska A., Rokosz E., 2004: Efektywność ekonomiczno-produkcyjna nawadniania i nawożenia mineralnego wybranych gatunków warzyw, Inżynieria Rolnicza 4 (64), 125-133.
- 23) Pszczółkowski P., Sawicka B., Lenartowicz T., 2016: Efektywność nawadniania wczesnych odmian ziemniaka w trzech regionach Polski, Fragm. Agron., 33(4), 97-109.
- 24) Rolbiecki S., 2003: Reakcja trzech gatunków roślin jagodowych uprawianych na bardzo lekkiej glebie na mikronawodnienia, Akademia Techniczno-Rolnicza, Rozprawy nr 108, Bydgoszcz, 1-87.

- 25) Rumasz-Rudnicka E., Koszański Z., Podsiadło C., 2005: Wpływ nawadniania kropkowego i nawożenia azotem na plonowanie malin uprawianych na glebie lekkiej, *Inżynieria Rolnicza*, 4(64), 201-206.
- 26) Rzekanowski C., Żarski J., Dudek S., Rolbiecki S., Rolbiecki R., 2005: Nawadnianie jako sposób przeciwdziałania obniżkom plonów buraka cukrowego uprawianego na glebach lekkich w latach suchych, *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 5(14), 287-300.
- 27) Skomra U., 2015: *Metodyka integrowanej ochrony chmielu*, IUNG-PIB, MRiRW, Puławy, Wyd.1, s. 94. ISBN: 978-83- 7562-197-6.
- 28) Spiżewski T., Frąszczak B., Kałużewicz A., Krześciński W., Lisiecka J. 2010. The effect of black polyethylene mulch on yield of field-grown cucumber, *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 9 (3), 221-229.
- 29) Stachowski P., Liberadzki D., Kozaczyk P., 2017: Ocena nawadniania sadu śliwowego, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3, 41-54. DOI: 10.14597/infraeco.2017.1.1.004
- 30) Stachowski P., Liberacki D., Kozaczyk P., 2018: Evaluation of irrigation efficiency in selected field crops grown in eastern Wielkopolska, Poland, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, III/1, 649-658. DOI: 10.14597/INFRAECO.2018.3.1.044
- 31) Żarski J., Dudek S., 2003: Rola deszczowania w kształtowaniu plonowania wybranych upraw polowych. *Pam. Puł.*, 132, 443–449.
- 32) Żarski J., Dudek S., Grzelak B., 2007: Porównanie efektów nawadniania kropkowego kukurydzy na dwóch rodzajach gleb, *Zeszyty Postępów Nauk Rolniczych*, 519, 339-345.
- 33) Żarski J., 2009: Efekty nawadniania roślin zbożowych w Polsce, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, I/1, 29-42.
- 34) Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Januszewska-Kłapa K., 2013: Potrzeby i efekty nawadniania kukurydzy uprawianej na ziarno w regionie kujawsko-pomorskim, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3/IV, 77-90.