

ANDRZEJ SAMBORSKI¹

Zmienność wartości współczynnika Selyaninova w okolicach Zamościa jako wskaźnik zmian agroklimatu

Variability of the Selyaninova coefficient in the vicinity of Zamość as an indicator
of agroclimatic changes

Abstrakt: W ostatnich latach obserwuje się wyraźne nasilenie występowania anomalii pogodowych niemal we wszystkich regionach Europy. Wzrasta średnia roczna temperatura powietrza, coraz częściej występują ekstremalnie wysokie temperatury, pojawiają się krótkotrwałe intensywne opady i długie okresy bezopadowe. Zmiany te dotyczą również południowo-wschodniej części Lubelszczyzny i mają istotny wpływ na wzrost i rozwój roślin uprawnych.

Na podstawie wyników pomiarów meteorologicznych (średniej temperatury powietrza i sumy opadów atmosferycznych) prowadzonych na stacji w Zamościu scharakteryzowano warunki wzrostu i rozwoju roślin w okresie wegetacji w latach 1976–2025, obliczając w tym celu wskaźnik Selyaninova. W analizowanym okresie 50 lat odnotowano wzrastający trend średniej temperatury, przy jednocześnie niewielkim spadku sum opadów atmosferycznych. W efekcie w każdym z miesięcy okresu wegetacyjnego stwierdzono spadek wartości współczynnika Selyaninova, a co za tym idzie pogorszenie warunków wzrostu i rozwoju roślin.

Średnia wartość współczynnika Selyaninova w Zamościu w okresie wegetacji przyjmowała wartości od 2,54 w 1980 roku do 0,33 w 2025 roku. Analizując wartości współczynnika w kolejnych dekadach badanego 50-lecia, stwierdzono, że jego wartość systematycznie się zmniejsza od 1,59 w latach 1976–1985 do 0,95 w latach 2016–2025. Spadek wartości tego współczynnika obserwowano w każdym z miesięcy okresu wegetacyjnego, poczynając od kwietnia, w którym największe wartości 3,14 notowano w 10-leciu 1976–1985, a najmniejsze w latach 2016–2025. Szczególnie suchy był lipiec, w którym wartości współczynnika Selyaninova malały z 1,13 (1976–1985) do 0,60 w latach 2016–2025.

Słowa kluczowe: zmiany klimatu, temperatura powietrza, sezon wegetacyjny, wskaźnik Selyaninova

WSTĘP

Warunki atmosferyczne są jednym z najważniejszych czynników wpływających na funkcjonowanie środowiska przyrodniczego i jednocześnie na wielkość i jakość produkcji rolnej. Obserwowane zmiany warunków klimatycznych są szczególnie widoczne w przebiegu wartości temperatury powietrza, która od lat 70. ubiegłego wieku wykazuje nieregularny, ale stały wzrost [Michalska 2011]. Z tego względu

¹ Akademia Zamojska, Wydział Nauk Społecznych i Humanistycznych, ul. Pereca 2, Polska, <https://orcid.org/0000-0001-7437-1267>; autor korespondencyjny: andrzej.s.samborski@gmail.com



wśród kluczowych wskaźników bazy ECED (European Climate Data Explorer), na podstawie których można ocenić zagrożenia wynikające ze zmian klimatu, znalazła się między innymi temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych [Kasztelan i Samborski 2025]. Dla wzrostu i rozwoju roślin istotne znaczenie ma wartość i rozkład temperatury oraz suma opadów atmosferycznych w kolejnych fazach rozwojowych roślin. Fazy te przypadają na różne miesiące okresu wegetacyjnego (kwiecień–październik). Jednym ze wskaźników obiektywnie i kompleksowo opisujących warunki agroklimatyczne wzrostu i rozwoju roślin, uwzględniających wartości tych elementów, w różnych miesiącach jest współczynnik Selyaninova (HTC).

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie, na podstawie danych ze stacji meteorologicznej w Zamościu, zmian wartości wskaźnika Selyaninova (HTC) w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego w latach 1976–2025 i wskazanie okresów (miesięcy), w których rośliny są szczególnie narażone na zagrażające ich wegetacji niekorzystne warunki termiczno-wilgotnościowe.

MATERIAŁ I METODY

Ocenę warunków agroklimatycznych przeprowadzono na podstawie danych ze stacji meteorologicznej w Zamościu, które obejmowały zarówno wyniki publikowane w Dekadowych Biuletynach Agrometeorologicznych w latach 1976–1999, jak i wyniki dobowych pomiarów prowadzonych w Zamościu w okresie po 1999 roku.

Ponieważ po 1999 roku stacja meteorologiczna w Zamościu należąca do IMGW zmieniła swoją lokalizację zweryfikowano zebrane materiały obserwacyjne pod kątem oceny jednorodności zebranego materiału, wykorzystując w tym celu pomiary prowadzone na funkcjonujących w Zamościu stacjach:

- Stacja przy ul. Szczepieskiej 102, należąca do Wydziału Nauk Rolniczych w Zamościu, Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (1982–2013),
- Stacja Uczelni Państwowej im. Szymona Szymonowicza w Zamościu zlokalizowana przy ul. J. Zamoy-
skiego 64 – obecnie Akademia Zamojska (2011–2015),
- Stacja przy ul. I. Mościckiego 17 (2009–2025).

Następnie na podstawie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza i miesięcznych sum opadów atmosferycznych obliczono wartości wskaźnika Selyaninova w okresie wegetacji (kwiecień–październik) według wzoru:

$$HTC = 10P/\Sigma t,$$

gdzie: HTC – współczynnik Selyaninowa, P – miesięczna suma opadów, Σt – miesięczna suma dobowych wartości temperatury powietrza ($t > 5^{\circ}\text{C}$), kierując się klasyczną definicją okresu wegetacyjnego, która mówi, że jest to czas, kiedy średnia temperatura powietrza jest wyższa od 5°C . Według Tomczyk i Bednorz [2022] średnia data początku okresu wegetacyjnego na tym terenie przypada na 23–28 marca, a zakończenia na 1–6 listopada, dlatego w pracy przedstawiono zmiany wartości tego wskaźnika w okresie od kwietnia do października.

Zmienność wartości współczynnika Selyaninova w okresie wegetacji obliczono, korzystając ze wzoru:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} 100,$$

gdzie: CV – współczynnik zmienności, S – odchylenie standardowe, $\bar{x}$ – średnia wartość współczynnika Selyaninova, przyjmując następujące progi interpretacyjne:

- <25% – mała zmienność (wysoka jednorodność),
- 25–45% – przeciętna zmienność,
- 45–100% – silna zmienność,
- 100% – bardzo silna zmienność.

Za optymalne dla roślin warunki wzrostu i rozwoju w każdym z miesięcy przyjęto te, w których wartość obliczonego wskaźnika Selyaninova zawierała się w przedziale $1,3 < HTC \leq 1,6$. Natomiast za ekstremalne przyjęto warunki spoza tego przedziału, przy czym, kiedy wartości współczynnika HTC mieściły się w przedziałach niższych od 1,3, uznano za warunki bardzo suche i skrajnie suche, a powyżej 1,6 jako warunki bardzo wilgotne i skrajnie wilgotne [Skowera i Puła 2004].

W pracy określono częstość wystąpienia warunków optymalnych w wyznaczonych przedziałach jako stosunek liczby obserwacji w wybranym miesiącu mających właściwość $1,3 < HTC \leq 1,6$ do liczby całej próby statystycznej w tym miesiącu według wzoru:

$$f(HTC) = n(HTC)/n,$$

gdzie: HTC – zdarzenie losowe: $1,3 < HTC \leq 1,6$; n – lata obserwacji; $n(HTC)$ – ilość wyników, które sprzyjały zdarzeniu losowemu HTC .

Założono, że pogoda o wartościach współczynnika $1,3 < HTC \leq 1,6$ wpływa pozytywnie na rośliny i ich rozwój, a spoza tego zakresu osłabia je. Oznacza to, że zarówno nadmiar wilgoci, jak i susza ograniczają wzrost i rozwój roślin, obniżają ich odporność na infekcje, przyczyniają się do rozwoju wielu różnych chorób i wpływają na wielkość i jakość uzyskiwanych plonów.

Na podstawie zebranych danych wyznaczono linie trendu pokazującą dominujący kierunek zmian wartości współczynnika Selyaninova w okresie wegetacji, korzystając ze wzoru:

$$Y = ax + b,$$

gdzie: Y – wartość współczynnika Selyaninova, a – współczynnik kierunkowy (pokazuje tempo i kierunek zmian), b – wyraz wolny (wartość początkowa), x – kolejny rok obserwacji.

Wielkość wzrostu lub spadku współczynnika Selyaninova oceniono za pomocą współczynników kierunkowych prostych regresji w kolejnych miesiącach okresu wegetacyjnego lat 1976–2025. Do oceny ogólnej istotności modelu regresji liniowej wykorzystano test F-Snedecora.

WYNIKI

Podczas wegetacji w latach od 1976 do 2025 roku dość istotnie zmieniały się warunki termiczno-opadowe. Na przestrzeni tego czasu zaobserwowano stały wzrost temperatury powietrza i spadek sum opadów atmosferycznych (rycina 1).

Wzrost temperatury powietrza opisuje równanie:

$$Y = 0,074x + 12,357,$$

którego współczynnik regresji $R^2 = 0,707$ i jest dodatni i istotny na poziomie $\alpha = 0,05$.

Spadek wartości sumy opadów atmosferycznych opisuje równanie:

$$Y = -1,818x + 440,910,$$

$R^2 = 0,086$ wskazuje niewielki ujemny związek między sumą opadów a latami badań.

W analizowanym okresie warunki termiczno-opadowe określone przy pomocy wskaźnika Selyaninova zmieniały się w szerokim zakresie od 0,33 w 2025 roku do 2,54 w 1980 roku.

Najczęściej współczynnik Selyaninova przyjmował 20-krotność wartości optymalnej dla wzrostu i rozwoju roślin i mieścił się w przedziale od 1,30 do 1,60 (rycina 2).

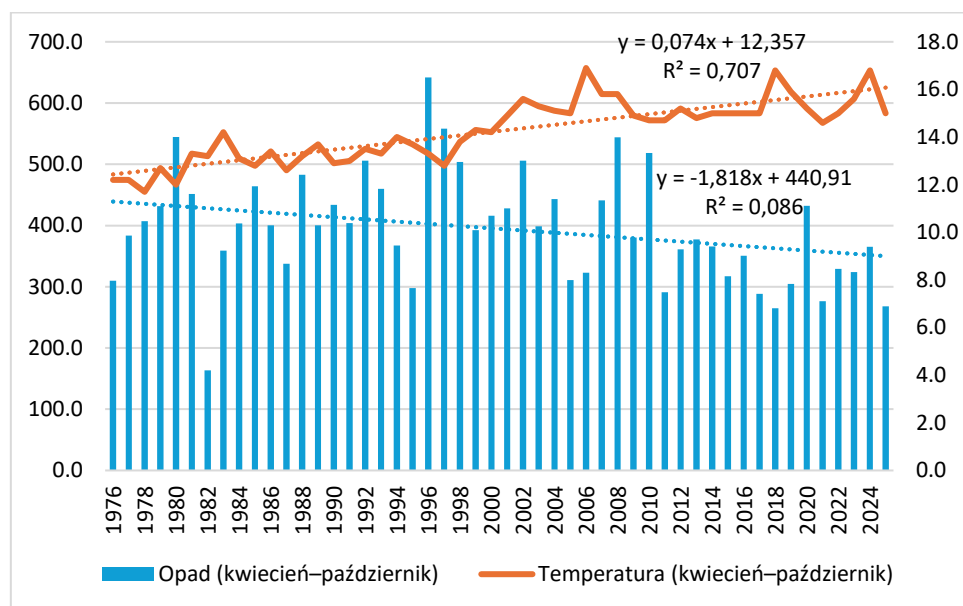
Na przestrzeni lat obserwuje się wyraźny spadek wartości tego współczynnika opisany równaniem:

$$Y = -0,016x + 33,178,$$

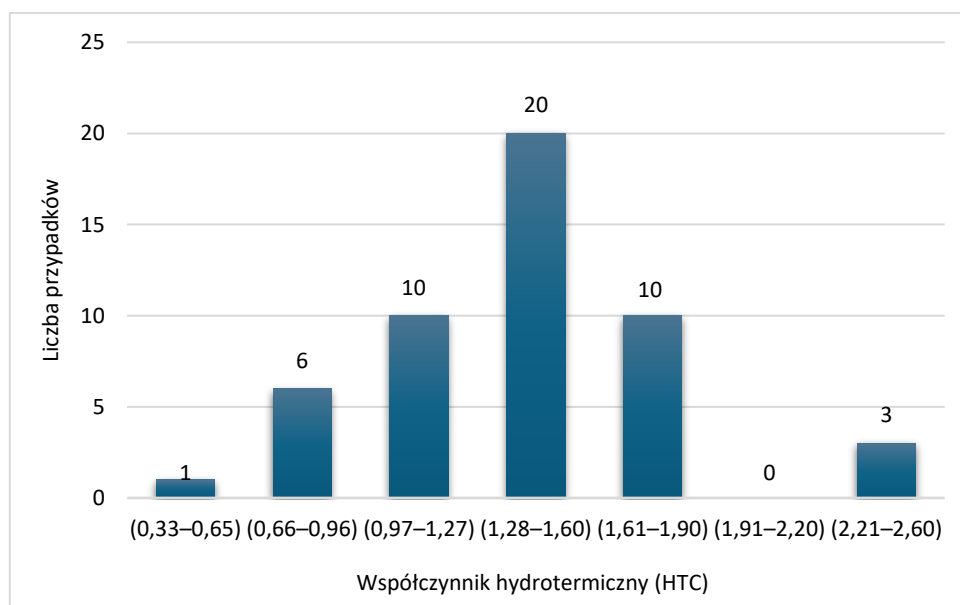
gdzie: Y – wartość HTC, x – rok obserwacji. Współczynnik determinacji tak wyznaczonego równania wynosił $R^2 = 0,299$ (rycina 3). Na wynik ten składały się wartości współczynnika w każdym z kolejnych miesięcy okresu wegetacyjnego od kwietnia do października.

W okresie wegetacji, w zależności od gatunku i odmiany, rośliny mają różne wymagania termiczno-wilgotnościowe, dlatego przy ocenie warunków wzrostu i rozwoju roślin szczególnie istotne jest poznanie tych warunków w kolejnych miesiącach okresu wegetacyjnego w kolejnych etapach ich rozwoju.

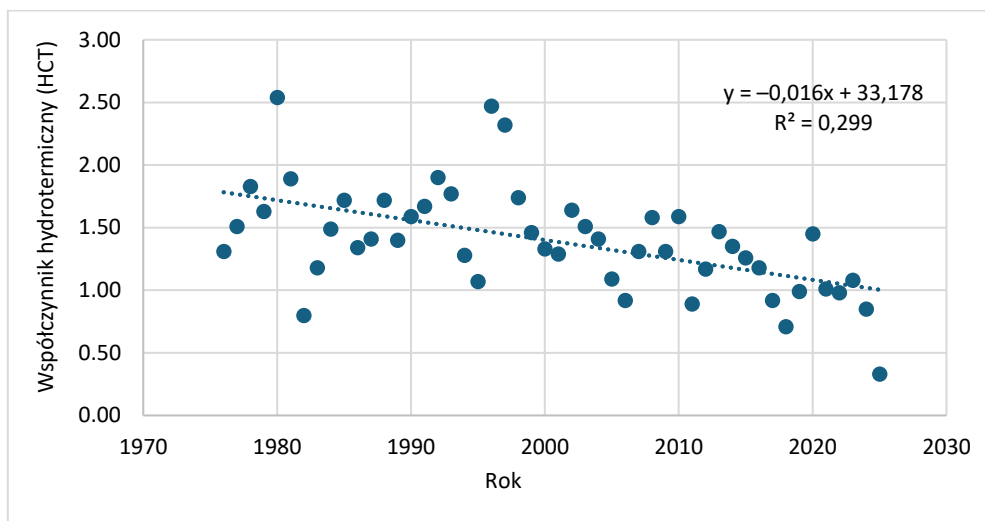
Rycina 1. Temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych w Zamościu w okresie wegetacyjnym (kwiecień–październik) w latach 1976–2025



Rycina 2. Częstość wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w okresie wegetacji w różnych przedziałach wartości



Rycina 3. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w okresie wegetacyjnym w latach 1976–2025



Zmianę częstości występowania optymalnych i skrajnych warunków wegetacji roślin w poszczególnych miesiącach, w kolejnych dekadach okresu 1976–2025 prezentuje tabela 1. Szczególnie wzrost niekorzystnych – bardzo suchych i skrajnie suchych warunków w kolejnych miesiącach okresu wegetacyjnego obserwowany jest w ostatniej dekadzie 2016–2025. Wzrost ten odbywa się kosztem miesięcy w dekadach wcześniejszych zaliczanych do miesięcy o warunkach optymalnych lub wilgotnych (tabela 1).

Tabela 1. Częstość występowania optymalnych i skrajnych warunków wegetacji roślin w kolejnych 10-letniach okresu 1976–2025 w Zamościu

Wyszczególnienie	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Kwiecień–październik
1976–1985								
HTC < 1,3	–	2	3	6	8	8	5	2
1,3 < HTC ≤ 1,6	–	2	2	2	2	1	1	3
HTC > 1,6	10	6	5	2	–	1	4	5
1986–1995								
HTC < 1,3	–	2	3	8	5	7	3	2
1,3 < HTC ≤ 1,6	–	2	4	1	1	–	3	4
HTC > 1,6	10	6	3	1	4	3	4	4
1996–2005								
HTC < 1,3	2	4	3	8	7	6	5	2
1,3 < HTC ≤ 1,6	–	1	–	–	2	1	–	4
HTC > 1,6	8	5	7	2	1	3	5	4
2006–2015								
HTC < 1,3	1	5	5	8	7	8	6	4
1,3 < HTC ≤ 1,6	1	1	2	1	1	1	1	6
HTC > 1,6	8	4	3	1	2	1	3	–
2016–2025								
HTC < 1,3	5	8	6	10	9	8	8	9
1,3 < HTC ≤ 1,6	2	1	2	–	–	1	–	1
HTC > 1,6	3	1	2	–	1	1	2	–

W kwietniu średnia wartość HTC wynosiła 2,53 przy odchyleniu standardowym $S = 1,38$. Współczynnik Selyaninowa, w tym miesiącu, w poszczególnych latach zmieniał się w zakresie od 0,33 w 2025 roku do 6,25 w 1980 roku. Z ryciny 4 wynika, że na przestrzeni ostatnich 50 lat wartość tego współczynnika stale malała zgodnie z równaniem:

$$Y = -0,025x + 53,365, R^2 = 0,071.$$

W kwietniu wskaźnik HTC przyjmował najczęściej wartości powyżej optymalnych $HTC > 1,6$, co stanowiło 78% wszystkich przypadków (tabela 2), z tego 40% stanowiły kwiecie, w których $HTC > 2,5$. Wartość ta oznacza, że były to warunki skrajnie wilgotne.

Rycina 4. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w kwietniu w latach 1976–2025

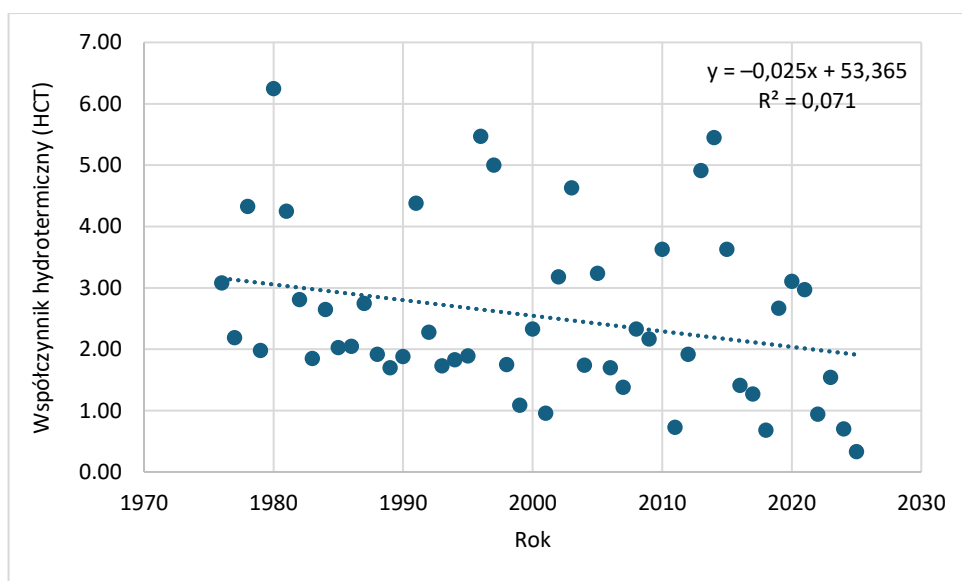


Tabela 2. Częstość występowania optymalnych i skrajnych warunków wegetacji roślin w Zamościu w latach 1976–2025

Wyszczególnienie	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Kwiecień–październik
$HTC < 1,3$	8 (16%)	21 (42%)	20 (40%)	40 (80%)	36 (72%)	37 (74%)	27 (54%)	189 (54%)
$1,3 < HTC \leq 1,6$	3 (6%)	7 (14%)	10 (20%)	4 (8%)	6 (12%)	4 (8%)	5 (10%)	39 (11%)
$HTC > 1,6$	39 (78%)	22 (44%)	20 (40%)	6 (12%)	8 (16%)	9 (18%)	18 (36%)	122 (35%)

Warunki suche i skrajnie suche $HTC < 1,3$ wystąpiły w kwietniu po 1999 roku w ciągu 8 lat, co stanowi 16% wszystkich przypadków (tabela 2).

W maju średnia wartość HTC była mniejsza niż w kwietniu i wynosiła 1,56, przy odchyleniu standardowym $S = 0,79$ (tabela 3). Największą wartość $HTC = 3,79$ odnotowano w 1988 roku, a najmniejszą w 2024 roku tylko 0,25. Przebieg wartości współczynnika w maju na przestrzeni od 1976 do 2025 roku przedstawia rycina 5.

Optymalne wartości współczynnika Selyaninowa ($1,3 < HTC \leq 1,6$) wystąpiły w 14% wszystkich miesięcy maja, w 44% były to miesiące o warunkach wilgotnych i skrajnie wilgotnych ($HTC > 1,6$). Natomiast 42%, to maja, kiedy występowały warunki suche i skrajnie suche. Zdecydowanie częściej – 15-krotnie suche i skrajnie suche maja występowały w drugiej połowie analizowanego 50-lecia, czyli w latach 2001–2025 (rycina 5).

W czerwcu średnia wartość współczynnika Selyaninova wynosiła 1,55 odchylenie standardowe $S = 0,86$ (tabela 3) i zmieniała się od 0,26 w 1994 roku do 3,93 w 1997 (rycina 6).

Tabela 3. Średnie, odchylenie standardowe (S), minimalne i maksymalne wartości współczynnika Selyaninova (HTC) oraz współczynnik zmienności (CV) w kolejnych 10-letnich okresach 1976–2025 w Zamościu

Wyszczególnienie	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Kwiecień–październik
1976–1985								
HTC	3,14	1,85	1,85	1,13	0,91	1,00	1,24	1,59
S	1,41	0,66	0,89	0,77	0,44	0,81	0,69	0,47
HTC min	1,85	0,83	0,34	0,17	0,26	0,23	0,32	0,80
HTC max	6,25	3,00	3,41	2,78	1,48	2,89	2,25	2,54
CV	44,78	35,51	47,98	67,93	48,26	80,63	55,68	29,32
1986–1995								
HTC	2,24	1,95	1,32	1,05	1,37	1,11	1,60	1,52
S	0,81	0,79	0,60	0,53	0,56	1,05	0,84	0,26
HTC min	1,70	1,11	0,26	0,30	0,31	0,24	0,56	1,07
HTC max	4,38	3,79	1,99	2,18	2,09	3,10	2,34	1,90
CV	36,29	40,72	45,42	50,66	40,90	94,86	52,56	16,94
1996–2005								
HTC	2,94	1,63	2,18	1,18	0,91	1,09	1,44	1,63
S	1,64	0,95	1,07	0,93	0,54	0,64	0,89	0,45
HTC min	0,96	0,34	0,64	0,25	0,19	0,09	0,33	1,09
HTC max	5,47	2,93	3,93	3,58	1,74	1,97	2,81	2,47
CV	55,82	58,19	48,92	78,60	59,43	58,73	61,35	27,37
2006–2015								
HTC	2,79	1,43	1,24	0,80	0,97	0,78	0,98	1,29
S	1,55	0,59	0,84	0,64	0,76	0,53	0,67	0,24
HTC min	0,73	0,62	0,41	0,07	0,01	0,05	0,01	0,89
HTC max	5,45	2,17	2,54	2,00	2,50	1,67	1,72	1,59
CV	55,82	41,64	67,19	79,44	78,32	68,13	68,70	18,76
2016–2025								
HTC	1,56	0,96	1,16	0,60	0,80	0,74	0,83	0,95
S	1,01	0,69	0,46	0,31	0,50	0,59	0,57	0,29
HTC min	0,33	0,25	0,33	0,18	0,22	0,08	0,32	0,33
HTC max	3,11	2,56	1,65	1,09	1,67	2,02	1,76	1,45
CV	64,52	72,34	39,31	51,89	62,36	80,16	68,28	30,96
1976–2025								
HTC	2,53	1,56	1,55	0,95	0,99	0,94	1,22	1,39
S	1,38	0,79	0,86	0,67	0,58	0,73	0,76	0,42
HTC min	0,33	0,25	0,26	0,07	0,01	0,05	0,01	0,33
HTC max	6,25	3,79	3,93	3,58	2,50	3,10	2,94	2,54
CV	54,45	50,68	55,20	70,36	58,01	76,97	62,17	30,10

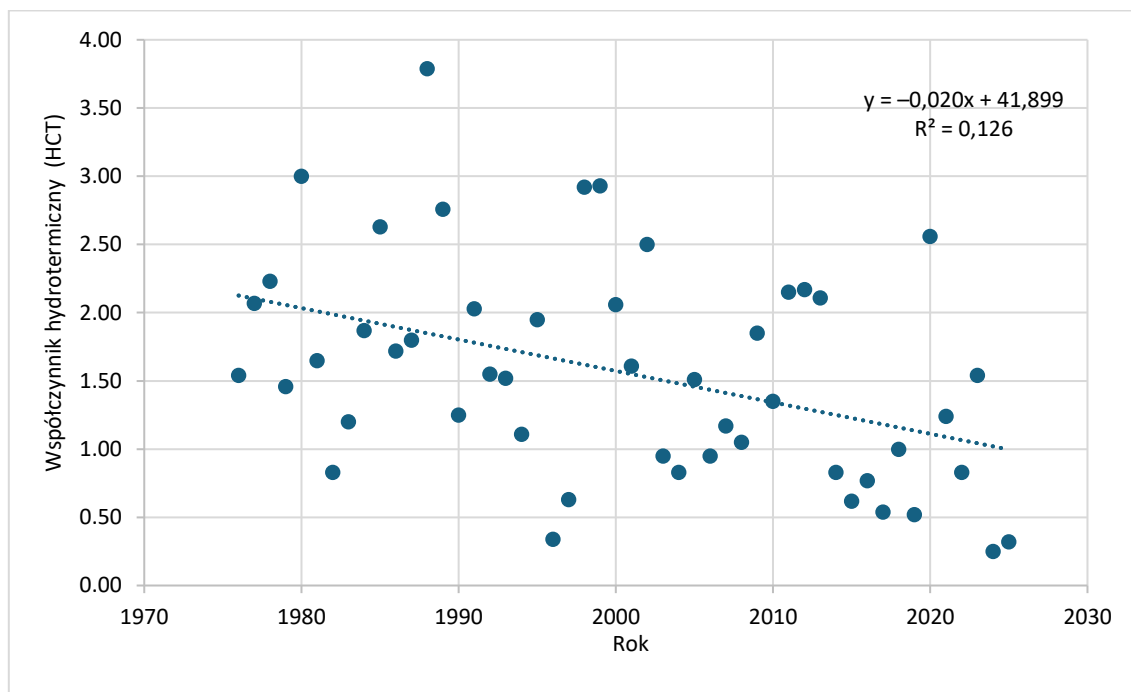
Optymalne warunki termiczno-wilgotnościowe wystąpiły w 20% wszystkich czerwców. Zarówno warunki określone jako wilgotne i skrajnie wilgotne ($HTC > 1,6$), jak i suche i skrajnie suche ($HTC < 1,3$) wystąpiły po 40% wszystkich czerwców w tych latach (tabela 2). Po 2000 roku 13-krotnie w czerwcu występowały warunki suche lub skrajnie suche (rycina 6).

Związek pomiędzy wartością współczynnika, a latami opisuje równanie:

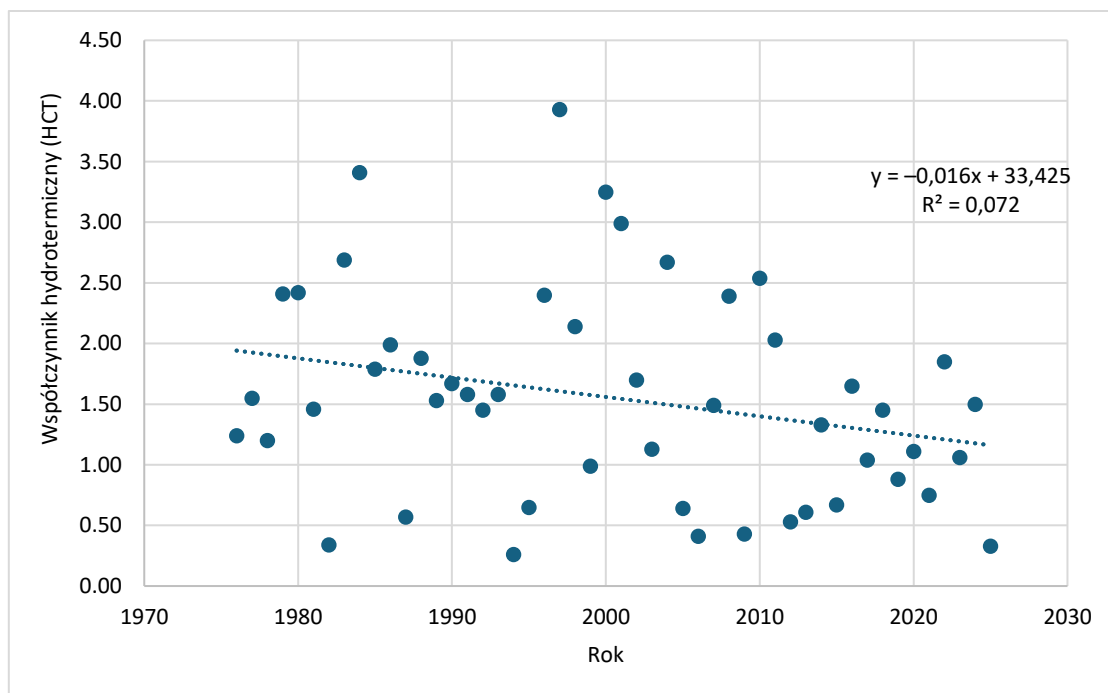
$$Y = -0,020x + 41,899, R^2 = 0,126.$$

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że w lipcu, sierpniu i w pierwszym z miesięcy jesiennych – we wrześniu warunki termiczno-opadowe opisane przez wskaźnik Selyaninova odbiegały od optymalnych dla roślin, były suche i skrajnie suche.

Rycina 5. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w maju w latach 1976–2025

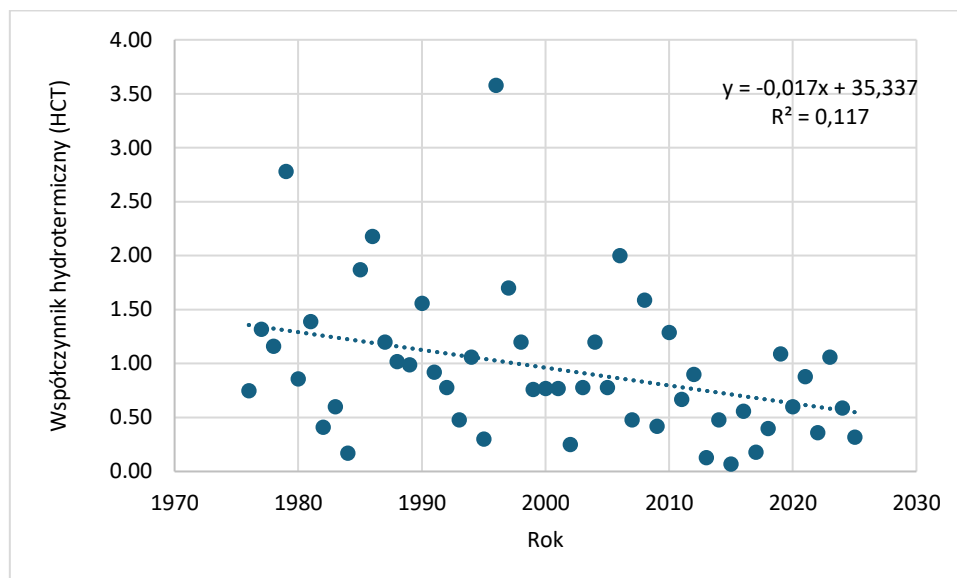


Rycina 6. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w czerwcu w latach 1976–2025

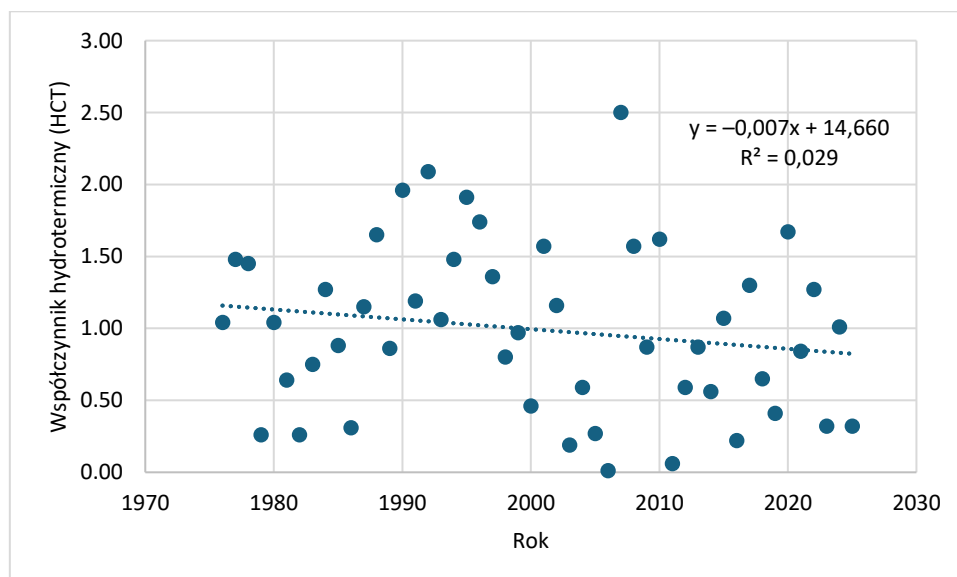


Średnia wartość współczynnika w lipcu wynosiła $HTC = 0,95$, odchylenie standardowe $S = 0,68$ (tabela 3). Największą wartość tego wskaźnika 3,58 stwierdzono w 1996 roku, a najniższą 0,07 w 2015 roku (rycina 7). Optymalne warunki dla wzrostu i rozwoju roślin ($1,3 < HTC \leq 1,6$) wystąpiły w lipcu tylko 4-krotnie, co stanowi 8% lipcowych wyników ze wszystkich badanych lat, i tylko 6 razy średnia miesięczna wartość wskaźnika Selyaninowa była większa od wartości 1,6. W pozostałych 40 latach wartości współczynnika HTC były niższe od 1,3 (tabela 2).

Rycina 7. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w lipcu w latach 1976–2025



Rycina 8. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w sierpniu w latach 1976–2025

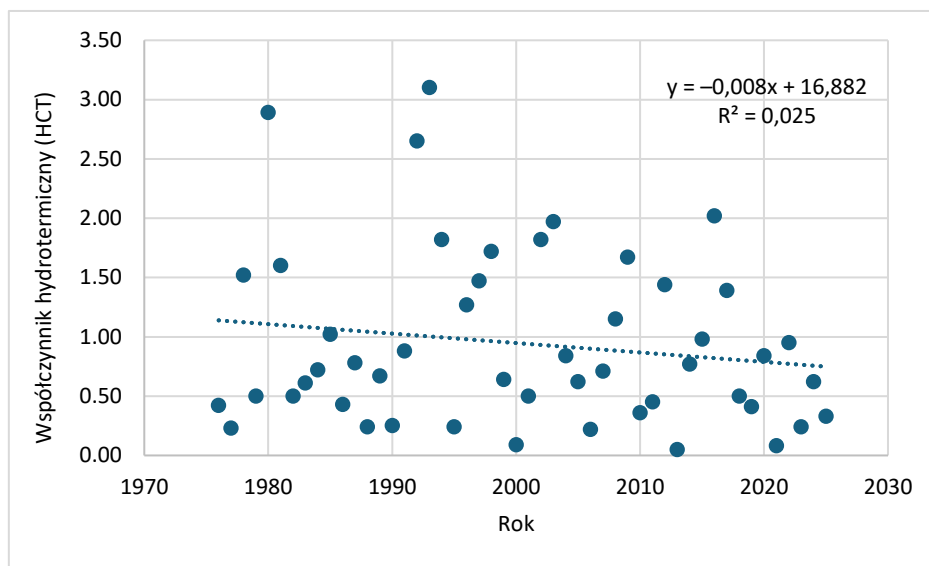


Podobnie jak w lipcu, również w sierpniu notowano niskie wartości HTC. Średnia miesięczna wartość $HTC = 0,99$, odchylenie standardowe $S = 0,58$ (tabela 3). Najmniejszą wartość notowano w 2006 roku $HTC = 0,01$, a największą w 2007 roku $HTC = 2,50$ (rycina 8).

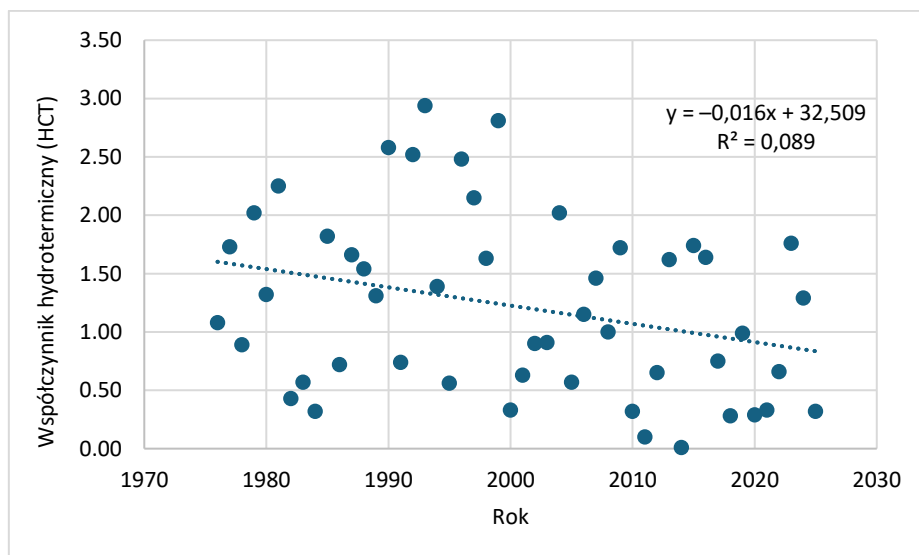
Optymalne warunki ($1,3 < HTC \leq 1,6$) w sierpniu wystąpiły 6-krotnie, co stanowi 12%, a warunki z $HTC > 1,6$ w 8 latach (16%), pozostałe 72% to miesiące, w których $HTC < 1,3$ (tabela 2).

Najmniejszą średnią 50-letnią wartość współczynnika $HTC = 0,94$ stwierdzono we wrześniu, odchylenie standardowe $S = 0,73$ (tabela 3). W tym miesiącu najniższą wartością było $HTC = 0,05$ w 2013 roku, a największą 3,10 w 1993 roku (rycina 9). Optymalne warunki notowano we wrześniu tylko 4 razy w okresie 1976–2025, co stanowi 8% wszystkich analizowanych przypadków. Zdecydowanie największy odsetek (74%) stanowiły warunki we wrześniu, które można określić jako suche i skrajnie suche $HTC < 1,3$. Pozostałe 9 (18%) to miesiące wilgotne i skrajnie wilgotne, kiedy $HTC > 1,6$ (tabela 2).

Rycina 9. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) we wrześniu w latach 1976–2025



Rycina 10. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w październiku w latach 1976–2025



W październiku średnia 50-letnia wartość HTC wyniosła 1,22, odchylenie standardowe – 0,76 (tabela 3), i zmieniała się w przedziale od 0,01 w 2014 roku do 2,94 w 1993 roku. W 5 przypadkach (10%) wartość współczynnika Selyaninova w październiku zawierała się w przedziale charakteryzującym optymalne warunki dla rozwoju roślin, pozostałe 90% to warunki suche i skrajnie suche – 54% oraz wilgotne i skrajnie wilgotne – 36% (tabela 2).

Spośród 350 miesięcy analizowanych w okresie wegetacyjnym w wieloleciu 1976–2025 warunki suche lub skrajnie suche stwierdzono w 189 miesiącach, optymalne w 39, a wilgotne i skrajnie wilgotne w 122. Prezentowane równania trendu (ryciny 4–10) mają ujemny współczynnik kierunkowy, wskazują na stale malejące wartości współczynnika Selyaninova w każdym z tych miesięcy.

Trend ten potwierdza zestawienie wartości współczynnika Selyaninova, jego wartości średnich, minimalnych i maksymalnych (tabela 3) oraz częstości występowania optymalnych i skrajnych warunków wegetacji w kolejnych 10-letnich badanych okresach (tabela 3).

Prezentowane w tabelach 1 i 3 wyniki wskazują, że w ostatniej dekadzie 2016–2025 wyraźnie wzrosła liczba miesięcy, w których warunki wegetacji roślin były niekorzystne – suche lub skrajnie

suche. Nastąpiło to kosztem warunków optymalnych oraz zmniejszającą się liczbą miesięcy, w których panowały warunki wilgotne lub skrajnie wilgotne.

DYSKUSJA

Współczynnik hydrotermalny (HTC), opracowany przez Selyaninova [1928], wykorzystuje wartości temperatury i opadów i jest wrażliwy na suche warunki specyficzne dla monitorowanego reżimu klimatycznego. Można go stosować zarówno w aplikacjach miesięcznych, jak i dziesięcioletnich i był szeroko stosowany w Bośni i Hercegowinie, Bułgarii, Kazachstanie, Litwie, na Ukrainie oraz w wielu innych krajach [Evarte-Bundere i Everts-Bunders 2012, Gudko i in. 2021, Rybashlykova i in. 2023].

Prezentowane w pracy wartości współczynnika HTC wynikają z obserwowanego od lat 70. wzrostu temperatury powietrza [Michalska 2011], co zwiększa częstość występowania suszy meteorologicznej [Ziarnicka-Wojtaszek 2012].

W świetle literatury opisywane zmiany dotyczą różnych regionów w tym obszarów Europy. Według Kovats i in. [2014] oraz Anders i in. [2014] w Skandynawii ocieplenie przyspieszyło bardziej zimą niż latem, podczas gdy temperatury latem wzrosły bardziej w Europie Środkowej i Wschodniej. W północnej Norwegii wzrosła średnia roczna temperatura powietrza i wpłynęła na wydłużenie okresu wegetacyjnego [Hanssen-Bauer i Førland 2016, Vikhamar-Schüler 2016].

W Polsce stwierdzono wzrost temperatury powietrza na przedwiośniu i wiosną, w okresie od 1950 do 2005 roku temperatura wzrastała od około 0,4°C w południowej części kraju do około 0,7°C na 10 lat na północy. Szczególnie wzrost temperatury obserwowano w marcu, maju i w sierpniu [Michalska 2011].

W ocenie wielu naukowców w ostatnich latach zmiany klimatu stanowią największe zagrożenie dla środowiska przyrodniczego. Według Beck i in. [2005], 13 spośród 15 najcieplejszych lat na świecie w okresie 1951–2000 miało miejsce w latach 1986–2000. W skali globalnej obserwuje się zmiany obszaru zajmowanego przez pięć głównych typów klimatu Köppena, które charakteryzują się z jednej strony długoterminowymi tendencjami zmniejszania się obszarów reprezentujących klimat borealny i zimny (D i E), a z drugiej wzrostem powierzchni obszarów z klimatem suchym (B). Ekspansję suchego klimatu B można również stwierdzić w Europie. Najważniejsze wydaje się być powiększanie obszaru zajmowanego przez klimat umiarkowany (C) i zmniejszanie powierzchni klimatu borealnego (D) obejmującego do 10% powierzchni lądowej Europy [Beck i in. 2005].

Poza zmianami wartości temperatury powietrza następują istotne zmiany w charakterze i wielkości opadów, których roczne sumy generalnie rosną w północnej Europie i zmniejszają się w jej południowej części. Niezależnie od wartości w ostatnich latach obserwuje się znacznie zwiększanie intensywności występujących opadów [Kovats i in. 2014].

Zarówno zmiany wartości temperatury powietrza, jak i sum opadów atmosferycznych wpływają na warunki wegetacji roślin, które opisuje współczynnik hydrotermiczny (HTC). Tendencja spadkowa wartości tego współczynnika wynika ze wzrostu temperatury powietrza i zmniejszającej się sumy opadów atmosferycznych, takie warunki mogą prowadzić do stepowienia tego obszaru. Fakt ten potwierdzają udokumentowane zmiany reżimu termicznego gleb północno-wschodniej Polski, które wskazują na postępujące ocieplanie gleby w wyniku globalnych zmian klimatu [Górniak 2023].

Regionalne prognozy klimatyczne przeprowadzone przez CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment) dla Europy w scenariuszu emisji RCP 8.51 pokazują, że temperatura powietrza może wzrosnąć od 4 do 6,5°C, a roczne opady mogą obniżyć się o ponad 20% w wielu częściach Europy [Coppola i in. 2021] w porównaniu z okresem odniesienia 1971–2000. Prezentowane w niniejszej pracy coraz niższe wartości współczynnika HTC w okresie wegetacji w kolejno następujących latach potwierdzają te prognozy i mogą stanowić podstawę do opracowania prognoz plonów roślin.

W strefach suchych plony miękkich odmian pszenicy ozimej są szczególnie zależne od zmienności warunków hydrotermalnych, definiowanych między innymi przez współczynnik hydrotermalny (HTC). Stwierdzono, że w latach 2019–2021 dodatnie zmiany temperatury i susze spowodowały wydłużenie okresu wegetacyjnego upraw, zmniejszenie gęstości roślin oraz obniżenie wydajności odmian odpornych na suszę i stres klimatyczny [Esaulko i in. 2023, Barabolia i Yevlash 2025].

Statystycznie istotny wpływ warunków termiczno-opadowych, opisanych wskaźnikiem Selyaninova na średni krajowy plon ziemniaka w wybranych miesiącach okresu wegetacyjnego wykazał Kalbarczyk [2003]. Plonom ziemniaka powyżej średniej sprzyjają warunki opisane wartościami współczynnika Selyaninova w czerwcu w przedziale od 0,8 do 1,8, a w lipcu od 0,9 do 2,1. Zmiany warunków termiczno-opadowych wpływają również na osłabienie kondycji roślin, w tym roślin zbożowych, w efekcie czego zwiększa się prawdopodobieństwo występowania chorób grzybowych [Samborski 2013].

PODSUMOWANIE

Spadek wartości współczynnika hydrotermalnego (HTC) w kolejnych miesiącach okresu wegetacyjnego obserwowany na przestrzeni lat 1976–2025 wskazuje na potencjalne zagrożenie wynikające z obserwowanych zmian klimatu, których konsekwencją są coraz częściej pojawiające się okresy posuchy.

Generalnie z roku na rok notowane są coraz niższe wartości współczynnika Selyaninova. Na przestrzeni lat szczególnie niskie wartości odnotowuje się w okresie letnim od lipca do września, ale postępujące zmiany klimatu sprawiają, że coraz częściej problem ten dotyka również miesięcy wiosennych kwietnia i maja. Jest to szczególnie niepokojące w przypadku, gdy okresy zimowe są coraz cieplejsze, z coraz mniejszą warstwą pokrywy śnieżnej, a tym samym z coraz mniejszymi zasobami wody.

Obserwowane zmiany klimatu istotnie wpływają na wzrost, rozwój i kondycję i niskie plony roślin, które pod wpływem coraz częściej pojawiających się, o większym nasileniu okresów posuchy, w związku z niedoborami wody, są bardziej podatne na choroby i szkodniki.

PIŚMIENNICTWO

- Anders I., Stagl J., Auer I. i in., 2014. Climate change in Central and Eastern Europe. In: S. Rannow, M. Neubert (red.), Managing protected areas in Central and Eastern Europe Under Climate Change. Adv. Global Change Res. 58, Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7960-0_2
- Barabolia O., Yevlash V., 2025. Varietal optimization of winter wheat for increasing yield and improving grain quality under the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Sci. Progress Innov. 28(3), 37–44. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.03.06>
- Beck C., Grieser J., Kottek M. i in., 2005. Characterizing global climate change by means of Koppen climate classification. Klimastatusbericht 51, 139–149.
- Coppola E., Nogherotto R., Ciarlo J.M. i in., 2021. Assessment of the European Climate Projections as simulated by the large EURO-CORDEX Regional and Global Climate Model Ensemble. JGR Atmosph. 126, e2019JD032344. <https://doi.org/10.1029/2019JD032344>
- Esaulko A., Sitnikov V., Pismennaya E. i in., 2023. Productivity of winter wheat cultivated by direct seeding: measuring the effect of hydrothermal coefficient in the arid zone of central fore-caucasus. Agriculture 13, 55. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010055>
- Evarte-Bundere G., Evarts-Bunders P., 2012. Using of the hydrothermal coefficient (HTC) for interpretation of non-native tree species in Latvia on example of cultivated species of genus Tilia. Acta Biol. Univ. Daugavp. 12(2), 135–148.
- Górniak A., 2023. Recent and future soil temperature regime in the coldest part of Poland. J. Agrometeorol., 25(1), 158–163. <https://doi.org/10.54386/jam.v25i1.1867>
- Gudko V., Usatov A., Ioshpa A. i in., 2021. Agro-climatic conditions of the Southern Federal District of Russia in the context of climate change. Theor. Appl. Climatol. 145(2), 989–1006. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03677-y>
- Hanssen-Bauer I., Førland E.J., 2016. Daily maximum and minimum temperatures. W: E.J. Førland (red.), Background information for “Klima i Norge 2100” on freezing/thawing, minimum/maximum temperature, short-term rainfall, wind and permafrost. Norwegian Centre for Climate Servicesres, 15–20.

- Kalbarczyk R., 2003. Warunki termiczno-opadowe a plonowanie ziemniaka w Polsce. *Annales UMCS, Sec. E* 58, 35–44.
- Kasztelan A., Samborski A., 2026. Multi-criteria analysis of climate change in the European Union countries, including projections to 2040. *Sustain. Dev.* 34(3), 3989–4005. <https://doi.org/10.1002/sd.70553>
- Kovats R.S., Valentini R., Bouwer L.M. i in., 2014. Impacts, adaptation and vulnerability. W: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken i in. (red.), *Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 1267–326.
- Michalska B., 2011. Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce. *Pr. St. Geograf.* 47, 67–75.
- Rybashlykova L.P., Sivceva S.N., Mahovikova T.F., 2023 Relationship between hydrothermal coefficient (HTC) and productivity of pastures in the arid zone of Northwestern Caspian Sea. *J. Agrometeorol.* 25(3), 454–457. <https://doi.org/10.54386/jam.v25i3.2220>
- Samborski A.S., 2013. Impact of weather on occurrence of brown rust of wheat in southeast of the Lublin region Poland. *J. Agrometeorol.* 15(2), 103–107. <https://doi.org/10.54386/jam.v15i2.1454>
- Selyaninov G.T., 1928. About climate agricultural estimation. *Proceed. on Agric. Meteorol.* 20, 165–177.
- Skowera B., Puła J., 2004. Skrajne warunki pluwiometryczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971–2000. *Acta Agrophys.* 3(1), 171–177.
- Tomczyk A.M., Bednorz E., 2022. *Atlas klimatu Polski*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań, 72.
- Vikhamar-Schüler D., Isaksen K., Haugen J.E., Tømmervik H., Luks B., Vikhamar-Schüler T., 2016. Changes in winter warming events in the Nordic Arctic Region. *J. Climate.* 29, 6223–6244.
- Ziernicka-Wojtaszek A., 2012. Porównanie wybranych wskaźników oceny suszy atmosferycznej na obszarze województwa podkarpackiego (1901-2000). *Woda. Środ. Obsz. Wiej.* 12(38), 365–376.

Abstract. In recent years, a clear intensification in the occurrence of weather anomalies has been observed across almost all regions of Europe. The average annual air temperature is increasing, extremely high temperatures are occurring more frequently, short-term intense precipitation as well as long dry periods are becoming more common. These changes also affect the south-eastern part of the Lublin region and have a significant impact on the growth and development of crops.

Based on meteorological measurements (average air temperature and total precipitation) carried out at the station in Zamość, the conditions of plant growth and development during the vegetation period in the years 1976–2025 were characterized using the Selyaninov coefficient. Over the analyzed 50-year period, an increasing trend in average temperature was recorded, accompanied by a slight decrease in precipitation totals. As a result, a decline in the Selyaninov coefficient was recorded in each month of the vegetation period, and consequently a deterioration in the conditions for plant growth and development was observed.

The average value of the Selyaninov coefficient in Zamość during the growing season ranged from 2.54 in 1980 to 0.33 in 2025. Analysing the values of the coefficient in the following decades of the 50th anniversary, it was found that its value systematically decreases from 1.59 in the years 1976–1985 to 0.95 in the years 2016–2025. A decrease in the value of this coefficient was observed in each of the months of the growing season starting from April, when the highest values of 3.14 were recorded in the 10th year 1976–1985, and the lowest in 2016–2025. July was particularly dry, with Selyaninov coefficient values decreasing from 1.13 (1976–1985) to 0.60 between 2016 and 2025.

Keywords: climate change, air temperature, growing season, hydrothermal coefficient Selyaninov (HTC)

Źródło finansowania: Praca nie była finansowana ze środków zewnętrznych.

Deklaracja użycia generatywnej AI w procesie powstawania pracy: Praca powstała bez użycia narzędzi generatywnej AI.

Otrzymano/Received: 26.05.2026
Zaakceptowano/Accepted: 21.07.2026
Opublikowano/Published: 9.10.2026

Cytowanie: Samborski A., 2026. Zmienność wartości współczynnika Selyaninova w okolicach Zamościa jako wskaźnik zmian agroklimatu. *Agron. Sci.* 81(3), 67–79. <https://doi.org/10.24326/as.2026.5714>