



**INSTYTUT FIZJOLOGII ROŚLIN**  
IM. FRANCISZKA GÓRSKIEGO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

# Określenie fizjologicznych i biochemicznych wskaźników tolerancji pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) na stres suszy i wysokiej temperatury

**Zadanie badawcze 3**

**Okres realizacji: 2021 - 2026**

**Kierownik projektu:** dr inż. Katarzyna Juzoń, e-mail: [k.juzon@ifr-pan.edu.pl](mailto:k.juzon@ifr-pan.edu.pl)

**Wykonawcy:**

prof. dr hab. inż. Edyta Skrzypek, prof. dr hab. Izabela Marcińska,  
dr hab. inż. Ilona Czyczyło-Mysza, dr Marzena Warchoła,  
dr inż. Kinga Dziurka, dr hab. Maciej Grzesiak,  
dr Anna Maksymowicz, mgr inż. Kamila Laskoś,  
dr Marta Pilipowicz, Wojciech Szarski



Fot. K. Laskoś

# Cel projektu

Określenie zależności pomiędzy relacjami wodnymi w roślinie, wybranymi parametrami fizjologicznymi, a elementami składowymi plonu rodów/odmian pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.).

## Cele szczegółowe:

- Test utraty wody – *zrealizowany*.
- Analiza wybranych parametrów fizjologicznych – *zrealizowany*.
- Określenie elementów składowych plonu – *zrealizowany*.



Figura 1. Tunel wegetacyjny z roślinami pszenicy ozimej. (Fot. K. Laskoś)

# Materiał i metody

**Materiał roślinny:**

90 rodów/odmian pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) pochodzących z Polskich Spółek Hodowlanych

**Metody:**

- **Test utraty wody** (ELWLW, ang. *Excised Leaf Water Loss Weight*); *Clarke i McCaig (1982)*
- **Względna zawartość wody w liściach** (LRWC, ang. *Leaf Relative Water Content*); *Ober i in. (2005)*
- **Potencjał osmotyczny** ( $\Psi_o$ ), psychrometr HR 33T (WESCOR Inc.); *Hura i in. (2017)*
- **Wpływ elektrolitów** (EL, ang. *Electrolyte Leakage*); konduktometr CC-501 (ELMETRON Sp.j.)
- **Wymiana gazowa** – wskaźnik wykorzystania wody (WUE, ang. *Water Use Efficacy*): analizator IRGA (Ciras-2, PP System Amesbury)
- **Komponenty plonu:** liczby dni do kłoszenia/kwitnienia; wysokości pędu głównego; krzewistości produkcyjnej; liczby/masy ziaren w kłosie i roślinie; masy 1000 ziaren.

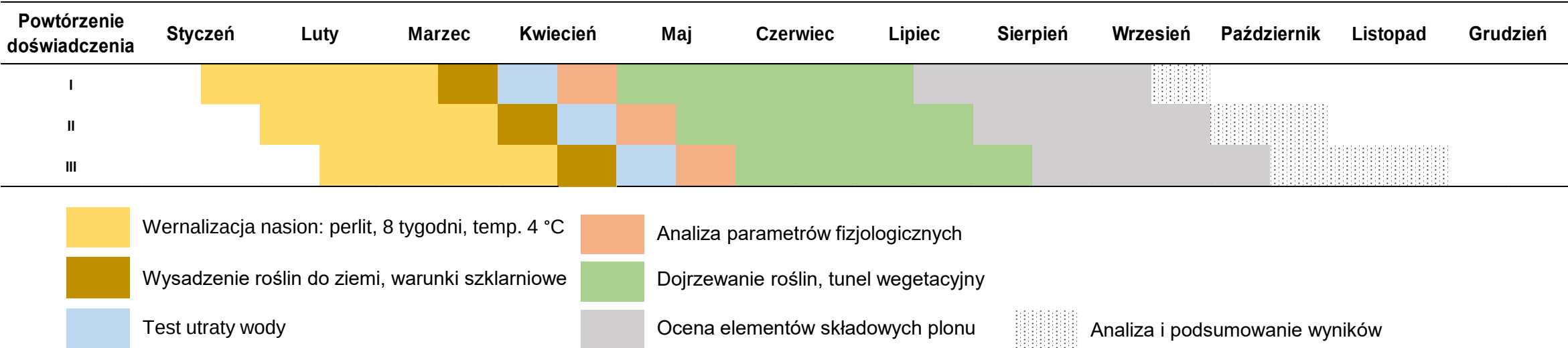


Figura 2. Schemat badań (trzy doświadczenia w dwutygodniowych odstępach).



# Wyniki

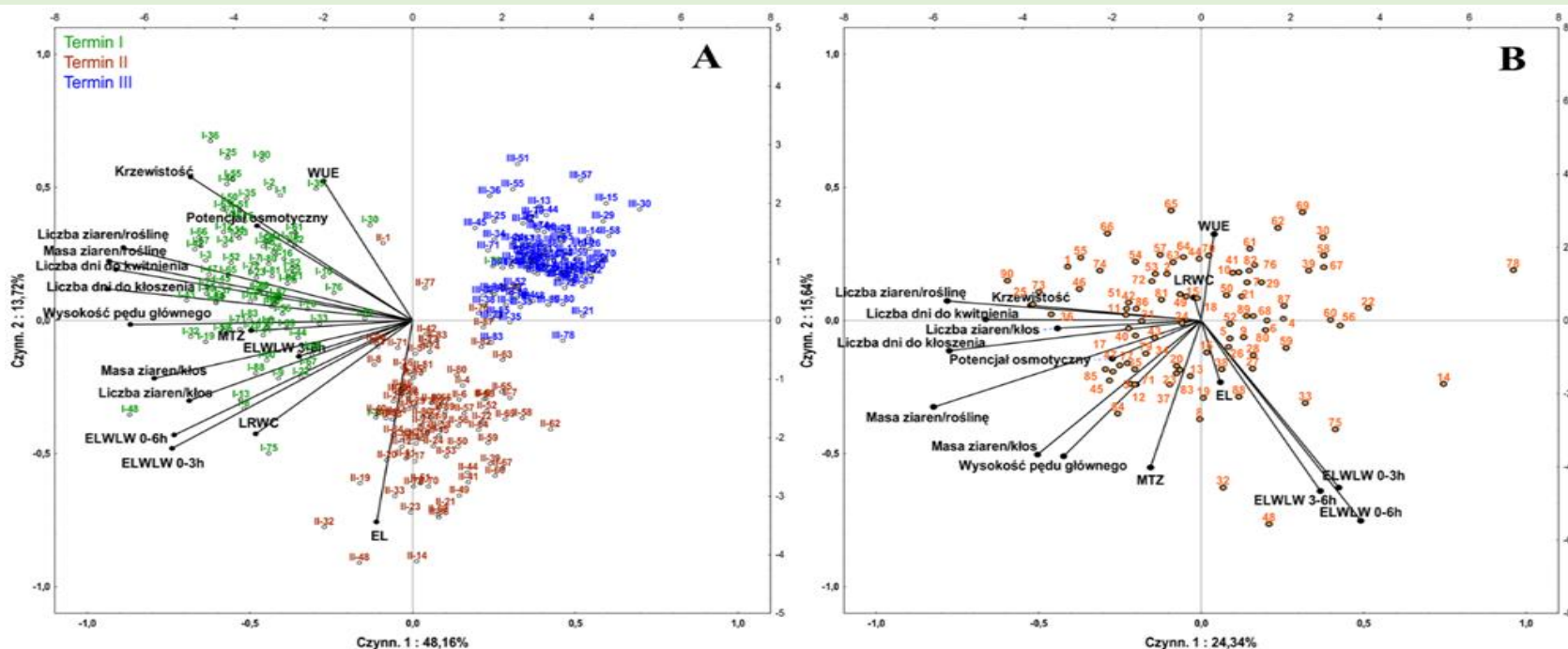
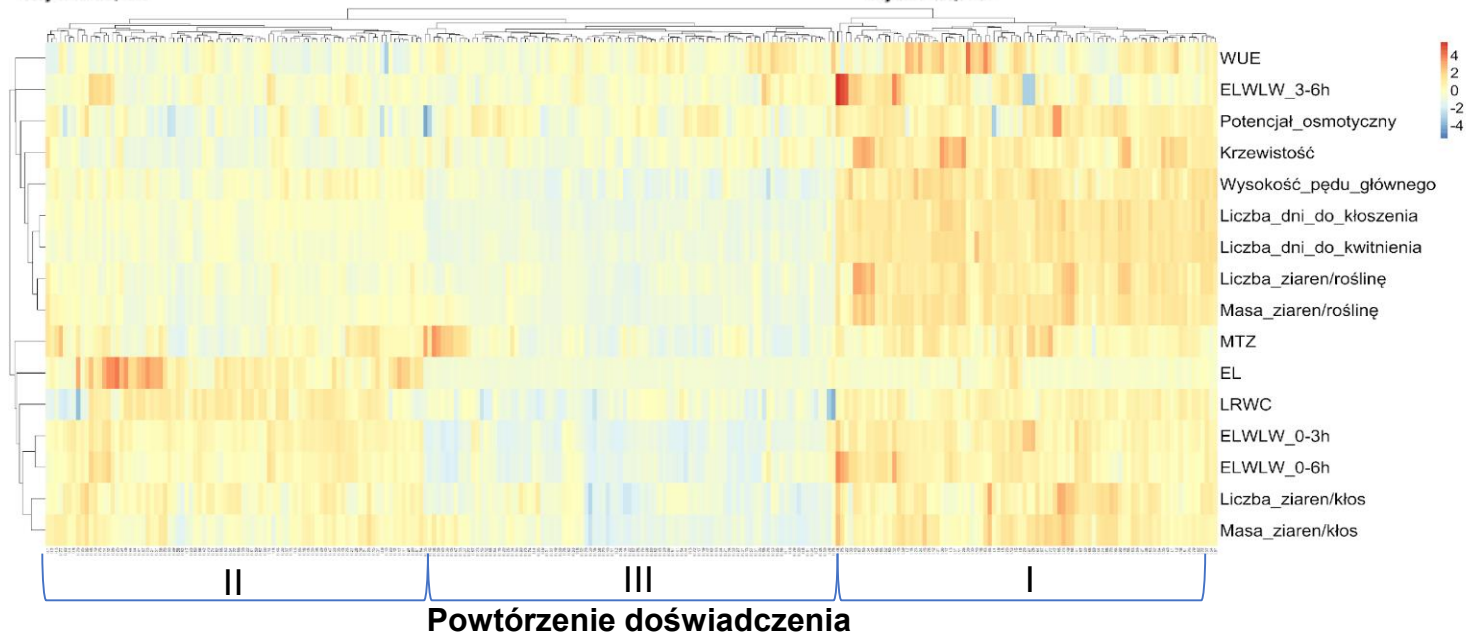


Figura 3. Analiza głównych składowych (PCA, ang. *Principal Component Analysis*) przedstawiona jako biplot (projekcja zmiennych oraz rzut przypadków) na płaszczyźnie dwóch pierwszych osi czynnikowych wykonana dla zmiennych różnicujących badanerody/odmiany pszenicy ozimej pod względem parametrów związanych z utratą wody (ELWLW 0-3h, ELWLW 3-6h, ELWLW 0-6h), elementów składowych plonu [liczba i masa ziaren/kłos, masa ziaren/roślina, liczba dni do kłoszenia i kwitnienia, krzewistość, wysokość pędu głównego, masa tysiąca ziaren (MTZ)] oraz wybranych parametrów fizjologicznych [potencjał osmotyczny, wypływ elektrolitów (EL), wskaźnik wykorzystania wody (WUE), względna zawartość wody w liściach (LRWC)]. Wykres przedstawia wspólną analizę dla wszystkich rodów/odmian z trzech terminów (A) oraz osobną dla średnich wartości z trzech powtórzeń doświadczenia obliczonej dla danegorodu i dla każdego parametru (B).

Figura 4. Mapa ciepła (ang. *heatmap*) oraz analiza skupień różnicująca 90 rodów/odmian pszenicy ozimej pod względem wartości badanych parametrów dla trzech powtórzeń doświadczenia. Każdy rząd reprezentuje inną zmienną, a każda kolumna inny ród/odmianę pszenicy. Skala kolorów wyjaśnia poszczególne wartości, wartości w danym rzędzie poddano skalowaniu. Intensywność koloru świadczy o różnicach w wysokości wartości o obrębie danego parametru pomiędzy rodami/odmianami.



Wspólna analiza PCA oraz mapy ciepłej dla wszystkich trzech powtórzeń doświadczenia pokazała wyraźny wpływ terminu siewu na badane rod/odmiany pszenicy (Fig. 3A, Fig. 4). Analizowane zmienne sumarycznie wyjaśniały 61,88 % zmienności wśród obiektów badawczych. Najwięcej zmienności w ramach czynnika 1 (48,18%) wyjaśniały elementy składowe plonu: masa ziaren/roślina, liczba dni do kłoszenia i kwitnienia oraz wysokość pędu głównego.

Analiza PCA dla średnich wartości z trzech powtórzeń doświadczenia obliczona dla danego rod/odmiany i dla każdego parametru pomogła wskazać rod/odmiany odstające od pozostałych o wartościach elementów składowych plonu: wysokich – rod/odmiany 25, 36, 73, 90 oraz niskich – rod/odmiany 14, 75, 78 (Fig. 3B).

# WYNIKI 1: Test utraty wody

Wielkość doświadczenia:  
90 rodów/odmian × 3 powtórzenia doświadczenia × 3 powtórzenia biologiczne = 810

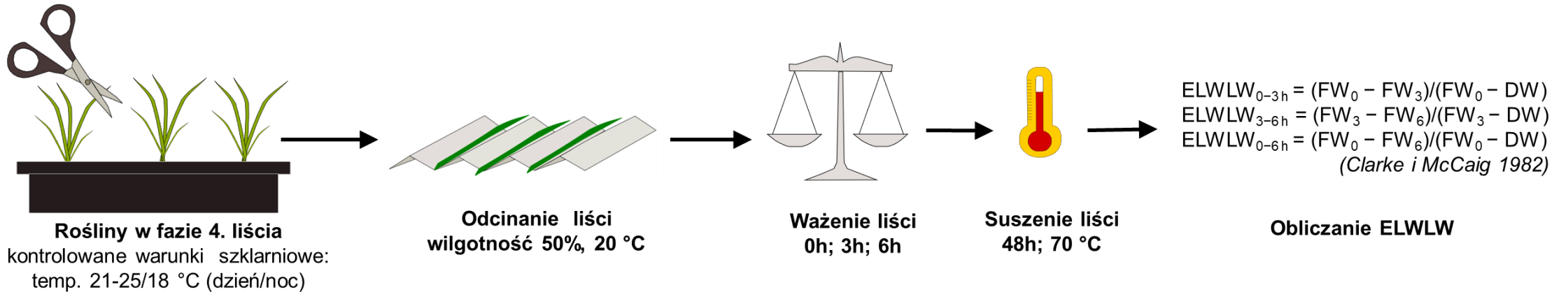


Figura 5. Schemat przeprowadzenia testu utraty wody z odciętych liści 90 rodów/odmian pszenicy ozimej.

Tabela 1. Średnie, maksimum (Max.) i minimum (Min.) wartości testu utraty wody z odciętych liści (ELWLW) z trzech powtórzeń doświadczenia dla 90 rodów/odmian pszenicy ozimej.

|         | ELWLW |       |       |
|---------|-------|-------|-------|
|         | 0-3h  | 3-6h  | 0-6h  |
| Średnia | 0.281 | 0.189 | 0.454 |
| Max.    | 0.401 | 0.386 | 0.645 |
| Min.    | 0.187 | 0.108 | 0.343 |

Tabela 2. Dwuczynnikowa analiza wariancji (ANOVA) utraty wody z odciętych liści 90 rodów/odmian pszenicy ozimej z uwzględnieniem powtórzeń doświadczenia oraz interakcji badanych cech;  $p \leq 0,05$ .

|                         | ELWLW   |       |       |       |        |       |
|-------------------------|---------|-------|-------|-------|--------|-------|
|                         | 0-3h    |       | 3-6h  |       | 0-6h   |       |
|                         | F       | p     | F     | p     | F      | p     |
| Ród/odmiana             | 3.03    | 0.000 | 3.72  | 0.000 | 3.87   | 0.000 |
| Powtórzenie             | 1018.30 | 0.000 | 52.69 | 0.000 | 488.86 | 0.000 |
| Ród/odmiana*Powtórzenie | 2.14    | 0.000 | 1.53  | 0.000 | 1.80   | 0.000 |

Mała wartość parametru ELWLW świadczy o mniejszej utracie wody w badanym przedziale czasowym. Można zatem wnioskować, że rody/odmiany o najniższych wartościach (90, 65, 67) odznaczają się sprawną gospodarką wodną i mogą lepiej funkcjonować w warunkach deficytu wody, w przeciwieństwie do tych o wysokich wartościach parametru ELWLW (32, 48, 75).

## WYNIKI 2: Analiza wybranych parametrów fizjologicznych

Wielkość doświadczenia:

90 rodów/odmian × 4 parametry fizjologiczne × 3 powtórzenia doświadczenia × 3 powtórzenia biologiczne = 3 240

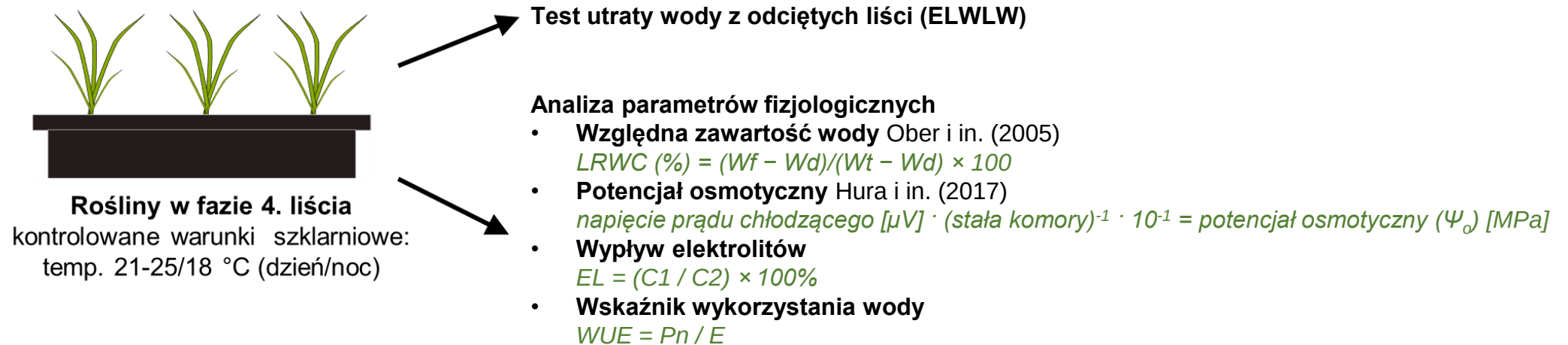


Figura 6. Schemat przeprowadzenia analizy wybranych parametrów fizjologicznych 90 rodów/odmian pszenicy ozimej.

Tabela 3. Średnie, maksimum (Max.) i minimum (Min.) wartości badanych parametrów fizjologicznych z trzech powtórzeń doświadczenia dla 90 rodów/odmian pszenicy ozimej.

|         | Względna zawartość wody | Potencjał osmotyczny | Wpływ elektrolitów | Wskaźnik wykorzystania wody |
|---------|-------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------|
| Średnia | 90.14                   | -1.01                | 15.85              | 6.93                        |
| Max.    | 97.60                   | -0.75                | 43.80              | 12.97                       |
| Min.    | 71.10                   | -1.36                | 4.19               | 2.82                        |

Tabela 4. Dwuczynnikowa analiza wariancji (ANOVA) wybranych parametrów fizjologicznych 90 rodów/odmian pszenicy ozimej z uwzględnieniem powtórzeń doświadczenia oraz interakcji badanych cech;  $p \leq 0,05$ .

|                         | Względna zawartość wody |       | Potencjał osmotyczny |       | Wpływ elektrolitów |       | Wskaźnik wykorzystania wody |       |
|-------------------------|-------------------------|-------|----------------------|-------|--------------------|-------|-----------------------------|-------|
|                         | F                       | p     | F                    | p     | F                  | p     | F                           | p     |
| Ród/odmiana             | 3.35                    | 0.000 | 5.37                 | 0.000 | 1.03               | 0.402 | 191.78                      | 0.000 |
| Powtórzenie             | 181.47                  | 0.000 | 149.20               | 0.000 | 124.49             | 0.000 | 11363.90                    | 0.000 |
| Ród/odmiana*Powtórzenie | 2.61                    | 0.000 | 3.52                 | 0.000 | 1.05               | 0.328 | 281.77                      | 0.000 |

Badane rody/odmiany pszenicy ozimej charakteryzowały się znaczną zmiennością wybranych parametrów fizjologicznych w zależności od terminu siewu roślin, co zobrazowała również prezentowana analiza głównych składowych (PCA).

# WYNIKI 3: Określenie elementów składowych plonu

Wielkość doświadczenia:  
90 rodów/odmian × 7 elementów składowych plonu  
× 3 powtórzenia doświadczenia × 9 powtórzeń  
biologicznych = 17 010

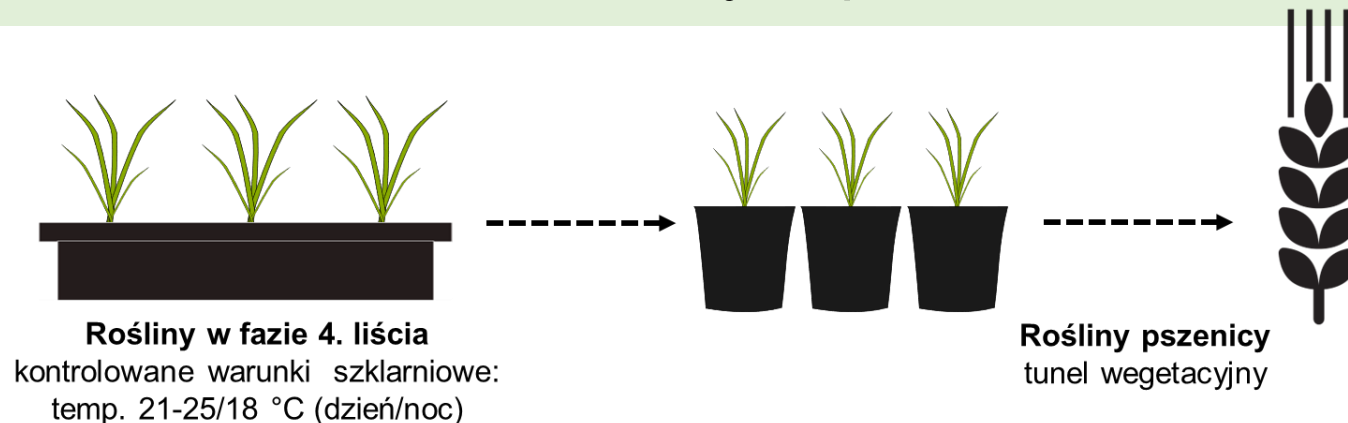


Figura 7. Schemat określenia elementów składowych plonu 90 rodów/odmian pszenicy ozimej.

Tabela 5. Średnie, maksimum (Max.) i minimum (Min.) wartości badanych elementów składowych plonu z trzech powtórzeń doświadczenia dla 90 rodów/odmian pszenicy ozimej.

|         | Liczba dni do kłoszenia | Liczba dni do kwitnienia | Wysokość pędu głównego [cm] | Krzewistość produkcyjna | Liczba ziaren/roślinę | Masa ziaren/roślinę [g] | Liczba ziaren/kłos | Masa ziaren/kłos [g] | MTZ [g] |
|---------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------|----------------------|---------|
| Średnia | 55                      | 66                       | 67.1                        | 4                       | 214                   | 6.97                    | 50                 | 1.61                 | 31.71   |
| Max.    | 63                      | 75                       | 78.0                        | 7                       | 325                   | 11.60                   | 71                 | 2.48                 | 48.60   |
| Min.    | 47                      | 57                       | 53.6                        | 3                       | 117                   | 2.84                    | 31                 | 0.72                 | 21.76   |

Tabela 6. Dwuczynnikowa analiza wariancji (ANOVA) elementów składowych plonu 90 rodów/odmian pszenicy ozimej z uwzględnieniem powtórzeń doświadczenia oraz interakcji badanych cech:  $p \leq 0.05$ .

|                         | Liczba dni do kłoszenia |       | Liczba dni do kwitnienia |       | Wysokość pędu głównego |       | Krzewistość produkcyjna |       | Liczba ziaren/roślinę |       | Masa ziaren/roślinę |       | Liczba ziaren/kłos |       | Masa ziaren/kłos |       | MTZ    |       |
|-------------------------|-------------------------|-------|--------------------------|-------|------------------------|-------|-------------------------|-------|-----------------------|-------|---------------------|-------|--------------------|-------|------------------|-------|--------|-------|
|                         | F                       | p     | F                        | p     | F                      | p     | F                       | p     | F                     | p     | F                   | p     | F                  | p     | F                | p     | F      | p     |
| Ród/odmiana             | 612.77                  | 0.000 | 17.66                    | 0.000 | 27.12                  | 0.000 | 8.20                    | 0.000 | 7.76                  | 0.000 | 5.87                | 0.000 | 10.20              | 0.000 | 7.07             | 0.000 | 15.88  | 0.000 |
| Powtórzenie             | 283458.99               | 0.000 | 9337.05                  | 0.000 | 3722.69                | 0.000 | 738.87                  | 0.000 | 1497.22               | 0.000 | 1661.31             | 0.000 | 600.42             | 0.000 | 760.27           | 0.000 | 238.63 | 0.000 |
| Ród/odmiana*Powtórzenie | 137.94                  | 0.000 | 4.54                     | 0.000 | 3.13                   | 0.000 | 2.59                    | 0.000 | 2.77                  | 0.000 | 3.48                | 0.000 | 3.00               | 0.000 | 5.13             | 0.000 | 7.35   | 0.000 |

Wykazano duże zróżnicowanie badanych rodów pszenicy ozimej pod względem wartości analizowanych elementów składowych plonu.

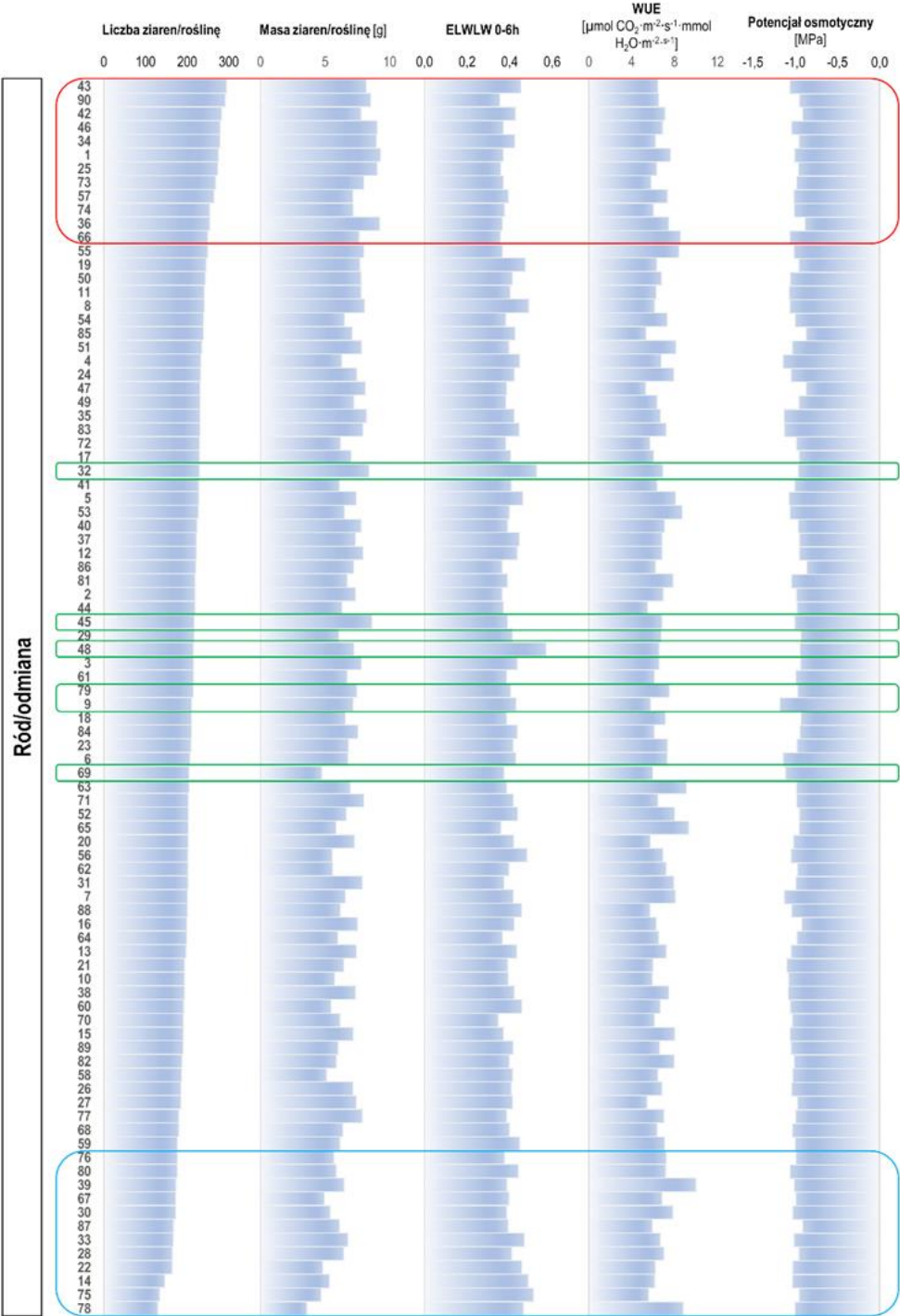


Tabela 7. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona pomiędzy elementami składowymi plonu i liczbą dni do kłoszenia/kwitnienia, a wybranymi parametrami fizjologicznymi (ELWLW, WUE, potencjał osmotyczny, LRWC, wpływ elektrolitów). Oznaczone na czerwono współczynniki korelacji są istotne przy  $p \leq 0,05$ .

| Cecha                | Wysokość pędu głównego | Krzewistość | Liczba ziaren/roślinę | Liczba ziaren/kłos | Masa ziaren/roślinę | Masa ziaren/kłos | MTZ   | Liczba dni do kłoszenia | Liczba dni do kwitnienia |
|----------------------|------------------------|-------------|-----------------------|--------------------|---------------------|------------------|-------|-------------------------|--------------------------|
| ELWLW 0-3h           | 0.06                   | -0.17       | -0.23                 | -0.10              | -0.15               | -0.02            | 0.08  | -0.18                   | -0.22                    |
| ELWLW 3-6h           | 0.00                   | -0.11       | -0.15                 | -0.07              | -0.09               | -0.02            | 0.04  | -0.09                   | -0.12                    |
| ELWLW 0-6h           | 0.04                   | -0.17       | -0.24                 | -0.12              | -0.16               | -0.04            | 0.07  | -0.18                   | -0.21                    |
| WUE                  | -0.17                  | 0.05        | -0.06                 | -0.22              | -0.02               | -0.16            | 0.04  | -0.03                   | 0.07                     |
| Potencjał osmotyczny | 0.14                   | -0.03       | 0.08                  | 0.16               | 0.16                | 0.26             | 0.12  | 0.21                    | 0.07                     |
| LRWC                 | -0.04                  | -0.04       | 0.07                  | 0.08               | -0.03               | -0.03            | -0.11 | 0.01                    | -0.04                    |
| Wpływ elektrolitów   | -0.05                  | 0.08        | 0.03                  | 0.01               | 0.03                | -0.01            | -0.04 | 0.03                    | 0.01                     |

W celu dokonania selekcji rodów/odmian o zwiększonej tolerancji na stres suszy badane rody/odmiany pszenicy ozimej zostały uszeregowane względem malejącej liczby ziaren/roślinę (Fig. 8). Parametr ten został wybrany w oparciu o wyniki analizy PCA oraz wartości współczynników korelacji liniowej (Tab. 7). Na jego podstawie dokonano wyboru 30 rodów/odmian pszenicy ozimej do dalszych badań.

Figura 8. Uszeregowanie badanych rodów/odmian pszenicy ozimej według malejącego plonu wyrażonego jako liczba ziaren/roślinę w zestawieniu z wybranymi parametrami fizjologicznymi (ELWLW 0-6h, WUE, potencjał osmotyczny) oraz plonem (masą ziaren/roślinę).





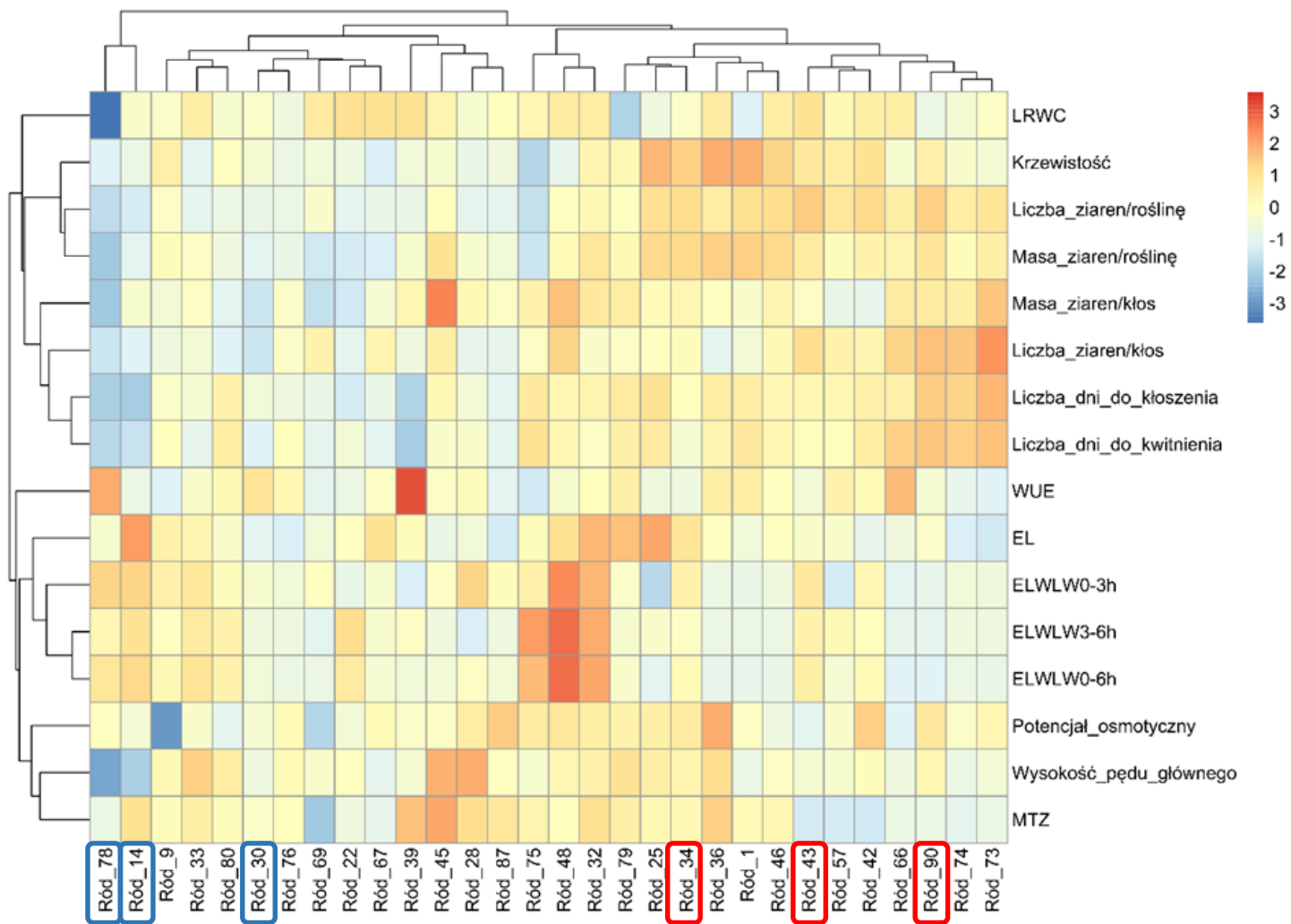


Figura 9. Mapa cieplna (ang. *heatmap*) oraz analiza skupień różnicująca 30 wybranych rodów/odmian pszenicy ozimej pod względem wartości parametrów związanych z utratą wody (ELWLW 0-3h, ELWLW 3-6h, ELWLW 0-6h), elementów składowych plonu [liczba i masa ziaren/kłos, masa ziaren/roślina, liczba dni do kłoszenia i kwitnienia, krzewistość, wysokość pędu głównego, masa tysiąca ziaren (MTZ)] oraz wybranych parametrów fizjologicznych [potencjał osmotyczny, wpływ elektrolitów (EL), wskaźnik wykorzystania wody (WUE), względna zawartość wody w liściach (LRWC)]. Każdy rząd reprezentuje inną zmienną, a każda kolumna inny rząd/odmianę pszenicy. Skala kolorów wyjaśnia poszczególne wartości, wartości w danym rzędzie poddano skalowaniu. Intensywność koloru świadczy o różnicach w wysokości wartości o obrębie danego parametru pomiędzy rodami/odmianami.

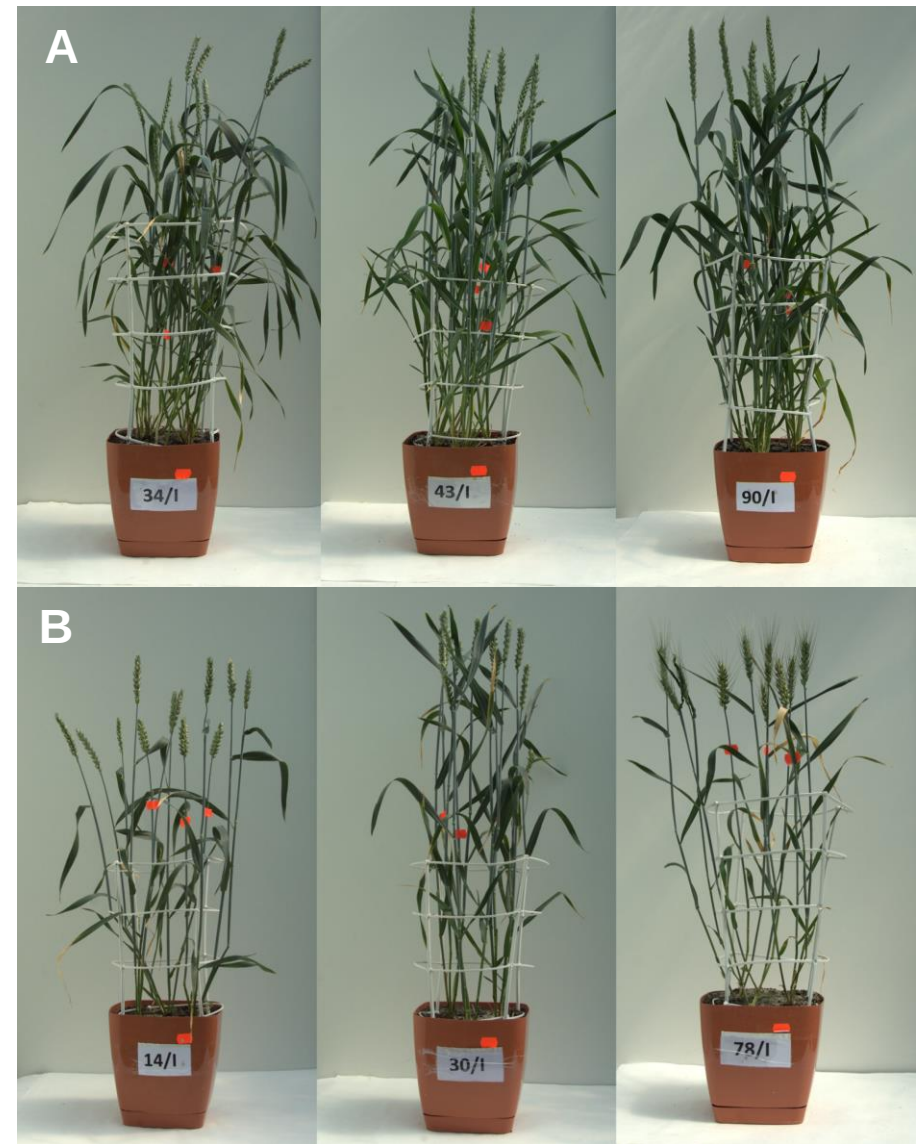


Figura 10. Przykładowe rody/odmiany pszenicy ozimej wybrane do dalszych badań na podstawie wysokości plonu wyrażonego jako liczba ziaren/roślinę oraz wybranych parametrów fizjologicznych: ELWLW 0-6h, potencjał osmotyczny, wskaźnik wykorzystania wody. (A) Rody/odmiany pszenicy o dużej liczbie ziaren/roślinę, potencjalnie tolerancyjne na stres suszy; (B) rody/odmiany o małej liczbie ziaren/roślinę, potencjalnie słabo tolerancyjne na stres suszy. (Fot. K. Laskoś)

# Wnioski i podsumowanie

- ❑ Wytypowano trzy parametry: ELWLW 0-6h, potencjał osmotyczny ( $\Psi_o$ ) oraz wskaźnik wykorzystania wody (WUE). Parametry te wykazywały istotną korelację z wybranymi elementami składowymi plonu. Zatem mogą one być wykorzystane do charakterystyki tolerancji i selekcji rodów na stres suszy i wysokiej temperatury, zaplanowanych w kolejnym roku realizacji projektu.
- ❑ Do dalszych badań wybrano 30 rodów/odmian pszenicy ozimej charakteryzujących się:
  - 1) największą : 43, 90, 42, 46, 34, 1, 25, 73, 57, 74, 36, 66,
  - 2) średnią: 32, 45, 48, 79, 9, 69,
  - 3) najmniejszą: 76, 80, 39, 67, 30, 87, 33, 28, 22, 14, 75, 78liczbą ziaren/roślinę.
- ❑ Otrzymane wyniki oraz dalsze badania zaplanowane na wybranych w tym projekcie rodach/odmianach, mogą w istotny sposób przyczynić się do postępu w krajowej hodowli nowych odmian pszenicy ozimej.

