



Raport końcowy z realizacji operacji „Innowacyjna, proekologiczna konstrukcja silosów zbożowych niwelująca straty ziarna związane z rozwojem mikroorganizmów, zwłaszcza grzybów pleśniowych” realizowanej w ramach działania M16 Współpraca objętego Programem.

Umowa zawarta w dniu 31.03.2023 r. w Warszawie o przyznaniu pomocy Nr 00057.DDD.6509.00044.2022.13 pomiędzy Agencją Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa a Uniwersytetem Jana Kochanowskiego w Kielcach oraz Stadniną Koni w Kurozwękach Sp. z o.o. oraz Świętokrzyskim Ośrodkiem Rolniczego Doradztwa w Modliszewicach, działającymi wspólnie w ramach grupy operacyjnej pod nazwą „Zdrowe Ziarna”.

Numer umowy o przyznaniu pomocy

00057.DDD.6509.00044.2022.13

Tytuł operacji

Innowacyjna, proekologiczna konstrukcja silosów zbożowych niwelująca straty ziarna związane z rozwojem mikroorganizmów, zwłaszcza grzybów pleśniowych

Osoba kierująca operacją

Imię i nazwisko: dr hab. Joanna Czerwik-Marcinkowska, prof. UJK

Adres zamieszkania: ul. Alabastrowa 2, 25-753 Kielce

Adres e-mail: joanna.czerwik-marcinkowska@ujk.edu.pl

Telefon: 41 349 6344

Podmioty wchodzące w skład grupy operacyjnej / charakter

1. Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach

Adres: ul. Żeromskiego 5, 25-369 Kielce

E-mail: kancelaria@ujk.edu.pl; tel.: +48 41 3497294

Charakter: Jednostka naukowa

2. Stadnina Koni w Kurozwękach Sp. z o.o.

Adres: Kurozwęki 117, 28-200 Staszów

E-mail: stadnina@stadninakoni.com, tel.: 696025078

Charakter: Przedsiębiorstwo rolne

3. Świętokrzyski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Modliszewicach



Adres: Modliszewice 41, 26-200 Końskie

E-mail: modliszewice@sodr.pl, tel.: 41 3722284

Charakter: Jednostka doradcza

Słowa kluczowe

ziarno, silosy, zbiór, magazynowanie, modernizacja, pszenica, owies, łubin, UV-C, fotoinhibicja

Okres realizacji operacji

Data rozpoczęcia: 31.03.2023 r.

Data zakończenia: 31.12.2024 r.

Podsumowanie operacji (PL + EN)

PL: Celem operacji było opracowanie systemowego sposobu zbioru i magazynowania ziarna zbóż z zastosowaniem zmodernizowanego kombajnu ((CLAAS TRION 520) oraz innowacyjnych silosów BIN Konsil K60/8. Przeprowadzono analizy wpływu modernizacji na kiełkowanie, wigor, aktywność fotosyntetyczną i odporność siewek na stres. Uzyskano poprawę parametrów morfologicznych, biochemicznych i fizycznych nasion, zwiększając ich wartość siewną, paszową i odżywczą. Wykazano także skuteczność fotoinhibicji i fotosterilizacji (UV-C) w wydłużeniu przechowywania i ograniczeniu porażenia grzybami pleśniowymi.

EN: The objective of the operation was to develop a systemic method of grain harvesting and storage using a modernized combine harvester and innovative BIN Konsil silos. Analyses showed improved seed germination, vigor, photosynthetic activity, and stress resistance. Morphological, biochemical, and physical seed parameters were improved, increasing their suitability for sowing, feed, and nutritional value. Photoinhibition and UV-C photosterilization were shown effective in prolonging storage and reducing mold infection.

W ramach operacji wyróżniono dwa cele szczegółowe: cel szczegółowy pierwszy (systemowy sposób zbierania ziarna) oraz cel szczegółowy drugi (magazynowania ziarna zbóż). Główne zadania, które zostały zrealizowane: W ramach ETAPU I operacji wykonano następujące zadania dotyczące celu szczegółowego pierwszego tj. analizy wpływu sposobu zbierania ziarna trzech gatunków roślin: zbożowych: pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* L.) i owsa zwyczajnego (*Avena sativa* L.), oraz rośliny strączkowej: łubinu wąskolistnego (*Lupinus angustifolius* L.). Analizy wykonano zarówno na ziarnach zbieranych za pomocą dotychczasowych niezmodyfikowanych maszyn rolniczych oraz już po zmodernizowaniu (kombajn). W obu przypadkach ziarno po zbiorze składowano w magazynach płaskich pod przykryciem. Ziarna do analiz pobierano zarówno po 3, 6 oraz 12 miesiącach jego przechowywania w warunkach obecnie stosowanych.

ETAP II - Zadanie 1. Analiza parametrów fizjologiczno-morfologicznych



W przypadku analiz fizjologiczno-morfologicznych wykonano: zdolność kiełkowania nasion, wigor nasion, parametry morfologiczne siewek, aktywność fotosyntetyczna siewek: Wykazano, że: *STAN na koniec 2023 r. (analizy 2023 r.):* przed modernizacją sprzętu (przed mod.) odsetek kiełkujących nasion (zgodnie z ISTA) pszenicy wynosił średnio 69% po 4 dniach i 84% po 7 dniach, w przypadku owsa 45% po 4 dniach i 5% po 10 dniach, łubinu 14% po 3 dniach, 8,5% po 10 dniach (wskutek zamierania). Po modernizacji sprzętu (po mod.): odsetek kiełkujących nasion pszenicy wynosił średnio 76% po 4 dniach i 92% po 7 dniach, w przypadku owsa 60% po 4 dniach i 75% po 10 dniach, łubinu 34% po 3 dniach, 56% po 10 dniach. Wskazuje to na znaczną poprawę zarówno zdolności kiełkowania nasion jak i wigoru.

Rezultat: dzięki modernizacji sposobu zbierania ziarna uzyskano poprawę kiełkowania nasion w roku 2023 o średnio 8% (pszenica), 20% (owies) i 47,5% (łubin).

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): przed modernizacją sprzętu (przed mod.) odsetek kiełkujących nasion (zgodnie z ISTA) pszenicy wynosił średnio 69% po 4 dniach i 84% po 7 dniach, w przypadku owsa 45% po 4 dniach i 55% po 10 dniach, łubinu 14% po 3 dniach, 8,5% po 10 dniach (wskutek zamierania). Po modernizacji sprzętu w przypadku analiz ziarna zbieranego w 2024 roku (po mod.): odsetek kiełkujących nasion pszenicy wynosił średnio 80% po 4 dniach i 96% po 7 dniach, w przypadku owsa 70% po 4 dniach i 81% po 10 dniach, łubinu 41% po 3 dniach, 70% po 10 dniach. Wskazuje to na znaczną poprawę zarówno zdolności kiełkowania nasion jak

i wigoru względem stanu przed modernizacją jak również poprawę względem materiału nasiennego zebranego w 2023 roku.

Rezultat: dzięki modernizacji sposobu zbierania ziarna uzyskano poprawę kiełkowania nasion w roku 2024 o średnio 12% (pszenica), 26% (owies) i 61,5% (łubin).

W przypadku analizy parametrów morfologicznych wykazano, że

STAN na koniec 2023 r. (analizy 2023 r.): ilość prawidłowych siewek wynosiła przed modernizacją (na 100 siewek): średnio 70/100 pszenica, 60/100 owies, 8/100 łubin, po modernizacji: średnio 83/100 pszenica, 75/100 owies, 50/100 łubin.

Rezultat: dzięki modernizacji sposobu zbierania ziarna uzyskano wzrost rozwoju prawidłowych siewek o średnio 13% (pszenica), 15% (owies) i 42% (łubin).

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): ilość prawidłowych siewek wynosiła przed modernizacją (na 100 siewek): średnio 70/100 pszenica, 60/100 owies, 8/100 łubin, po modernizacji: średnio 90/100 pszenica, 81/100 owies, 65/100 łubin.

Rezultat: dzięki modernizacji sposobu zbierania ziarna uzyskano wzrost rozwoju prawidłowych siewek o średnio 20% (pszenica), 21% (owies) i 57% (łubin).

W przypadku analiz aktywności fotosyntetycznej nasion wykazano, że: *STAN na koniec 2023 r. (analizy 2023 r.):* siewki, które uzyskano po kiełkowaniu nasion charakteryzowały się efektywnością wykorzystania światła absorbowanego do syntezy węglowodanów (parametr Fv/Fm im wyższa tym lepiej) na poziomie średnio: pszenica: przed mod. 69,7%, po mod. 75,6%, owies



przed mod. 67,4%, po mod. 78 %, łubin przed mod. 67,3%, po mod.: 73,6%. Odporność na stresy środowiskowe np. niedobór wody i silną insolację (parametr NPQ im wyżej tym lepiej): na poziomie średnio: pszenica: przed mod. 0,04, po mod. 0,08, owies przed mod. 0,08, po mod. 0,12, łubin przed mod. 0,05, po mod.: 0,06.

Rezultat: dzięki modernizacji sposobu zbierania ziarna uzyskano poprawę aktywności fotosyntezy nasion o średnio 6% (pszenica), 11% (owies) i 6% (łubin) oraz odporności na czynniki stresowe połączone z insolacją- 50% (pszenica), 33% (owies) i 17% (łubin)

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): siewki, które uzyskano po kiełkowaniu nasion charakteryzowały się efektywnością wykorzystania światła absorbowanego do syntezy węglowodanów (parametr Fv/Fm im wyższa tym lepiej) na poziomie średnio: pszenica: przed mod. 69,7%, po mod. 77,0%, owies przed mod. 67,4%, po mod. 78 %, łubin przed mod. 67,3%, po mod.: 74,2%. Odporność na stresy środowiskowe np. niedobór wody i silną insolację (parametr NPQ im wyżej tym lepiej): na poziomie średnio: pszenica: przed mod. 0,04, po mod. 0,10, owies przed mod. 0,08, po mod. 0,15, łubin przed mod. 0,05, po mod.: 0,10.

Rezultat: dzięki modernizacji sposobu zbierania ziarna uzyskano poprawę aktywności fotosyntezy nasion o średnio 7,3% (pszenica), 10,6% (owies) i 6,9% (łubin) oraz odporności na czynniki stresowe połączone z insolacją- 2,5-krotnie (pszenica), 1,9-krotnie (owies) i 2-krotnie (łubin)

ETAP II - Zadanie 2. Analiza parametrów biochemicznych

Wykazano, że zawartość skrobi (metoda polarymetryczna PN-EN ISO 10520:2002:

STAN na koniec 2023 r. (analizy 2023 r.): wzrosła o 8% w przypadku pszenicy po modernizacji oraz 10% w przypadku owsa. W przypadku łubinu dokonano zmian zawartości białka zapasowego (obliczanie zawartości białka ogólnego - metody kolorymetryczne (Coomassie Blue G-250) i odnotowano wzrost koncentracji o 15% po modernizacji zbioru.

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): wzrosła o 10% w przypadku pszenicy po modernizacji oraz 9% w przypadku owsa. W przypadku łubinu dokonano zmian zawartości białka zapasowego (obliczanie zawartości białka ogólnego - metody kolorymetryczne (Coomassie Blue G-250) i odnotowano wzrost koncentracji o 17% po modernizacji zbioru.

W przypadku analizy chlorofilu badaniu poddano wyłącznie siewki prawidłowo rozwinięte (zawartość chlorofilu *a* i *b* oraz karotenoidów – metoda spektrofotometryczna z DMSO), wykazano, że:

STAN na koniec 2023 r. (analizy 2023 r.): modernizacja przechowywania wpłynęła na średni wzrost ogólnej zawartości chlorofilu o 8% (pszenica), 14% (owies) i 10% (łubin).

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): modernizacja przechowywania wpłynęła na średni wzrost ogólnej zawartości chlorofilu o 10% (pszenica), 15% (owies) i 14% (łubin).

Analiza aktywności antyoksydacyjnej nasion – w tym poprzez analizę zmiatania wolnych rodników (DPPH) wykazała wzrost potencjału antyoksydacyjnego nasion.



STAN na koniec 2023 r. (analizy 2023 r.): po modernizacji zbioru o średnio: 14% (pszenica), 11% (owies) i 15% (łubin).

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): po modernizacji zbioru o średnio: 12% (pszenica), 10% (owies) i 16% (łubin).

Analiza zmian ekspresji profilu białkowego (izolacja białka w warunkach denaturujących, SDS-PAGE, Western Blot z przeciwciałem I i II-rzęd. -HRP, wizualizacja DAB) wykazała po modernizacji podniesienie względnego udziału białka DOG1 - białko to bierze udział w kontroli spoczynku nasion i jest głównym regulatorem pierwotnego spoczynku (PD), który opóźniając kiełkowanie, co wpływa na poprawę efektywności przechowywania. Odnotowano:

STAN na koniec 2023 r. (analizy 2023 r.): wzrost poziomu DOG1 o: 21% pszenica, 15% owies. W przypadku łubinu nie odnotowano zmian.

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): wzrost poziomu DOG1 o: 21% pszenica, 15% owies. W przypadku łubinu nie odnotowano zmian.

ETAP II - Zadanie 3. Analiza parametrów anatomicznych i fizycznych

Wykonano oznaczanie wilgotności ziarna zbóż, nasion strączkowych przez suszenie w temperaturze 130°C / 105°C (PN-A-74011:1986 wraz z uaktualnieniem). Rezultat:

STAN na koniec 2023 r. (analizy 2023 r.): wykazano, że modernizacja metod zbioru nasion nie wpłynęła w istotny sposób na zmiany wilgotności badanych nasion. W obu przypadkach tzn. przed i po modernizacji maszyn zebrane ziarno charakteryzowało się podwyższoną wilgotnością (powyżej 15-16%), co może sprzyjać rozwojowi pleśni i wytwarzaniu szkodliwych mykotoksyn. Stanowi to uzasadnienie do wdrożenia działań drugiego celu szczegółowego – modernizacja warunków magazynowania i przechowywania ziarna w formie silosów.

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): Tożsamo jak w analizach w roku 2023 wykazano, że modernizacja metod zbioru nasion nie wpłynęła w istotny sposób na zmiany wilgotności badanych nasion. W obu przypadkach tzn. przed i po modernizacji maszyn zebrane ziarno charakteryzowało się podwyższoną wilgotnością (powyżej 15-20%), co może sprzyjać rozwojowi pleśni i wytwarzaniu szkodliwych mykotoksyn. Stanowi to uzasadnienie do wdrożenia działań drugiego celu szczegółowego – modernizacja warunków magazynowania i przechowywania ziarna w formie silosów.

Wykonano oznaczanie zanieczyszczeń (wg PN-R-74015:1994): zgodnie z normą analizowano m.in. obecność zanieczyszczeń, uszkodzenie ziarna, ziarna połamane, uszkodzone przez szkodniki, porośnięte. Rezultat: wykazano procent masowy nasion nieprawidłowych:

STAN na koniec 2023 r. (analizy 2023 r.): łubin 17,58% (przed mod.) oraz 10,33% (po mod.), pszenica 7,27% (przed mod.) oraz 4,33% (po mod.), owies 16,16% (przed mod.) oraz 8,4% (po mod.).



STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): łubin 17,58% (przed mod.) oraz 10,33% (po mod.), pszenica 7,27% (przed mod.) oraz 4,00% (po mod.), owies 12,00% (przed mod.) oraz 7,0% (po mod.).

Szacowano masę na 1000 nasion – za pomocą automatycznego licznika nasion:

STAN na koniec 2023 r. (analizy 2023 r.): średnio pszenica 35,7g/1000 (przed mod.), 43,6 g/1000 (po mod.), owies 30,1 g/1000 (przed mod.), 43,0 g/1000 (po mod.), łubin 141,2 g/1000 (przed mod.), 169,6 g/1000 (po mod.).

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): średnio pszenica 35,7g/1000 (przed mod.), 43,6 g/1000 (po mod.), owies 30,1 g/1000 (przed mod.), 43,0 g/1000 (po mod.), łubin 141,2 g/1000 (przed mod.), 169,6 g/1000 (po mod.).

ETAP II - Zadanie 4. Ustalenie optymalnych parametrów pozwalających na podniesienie przydatności siewnej nasion roślin zbożowych i strączkowych podczas magazynowania oraz zastosowanie innowacyjnych metod fotoinhibicji i fotoindukcji kiełkowania nasion.

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): Wykonano analizę wpływu efektywności zastosowania promieniowania z zakresu czerwonego (R, 632 nm) i dalekiej czerwieni (FR, 731 nm) do regulacji odpowiednio fotoindukcji i fotoinhibicji kiełkowania nasion w celu podniesienia przydatności siewnej i przechowalniczej. Indukcja procesu spoczynku nasion w celu ograniczenia ich aktywności metabolicznej i wydłużenia czasu ich efektywnego magazynowania poprzez zastosowanie promieniowania z zakresu dalekiej czerwieni (FR). Przerywanie spoczynku i stymulowanie kiełkowania nasion z przeznaczeniem na siew po okresie przechowalniczym w celu przyspieszenia i wyrównania wschodów poprzez zastosowanie promieniowania z zakresu czerwieni (R). W celu ustalenia optymalnych parametrów magazynowania analizy wykonywano w warunkach kontrolowanej atmosfery (skład, temperatura, wilgotność) oraz składu i ilości światła w komorze fitotronowej (FITO700, Biogenet) zakupionej w ramach projektu.

Analiza wykazała, że: światło R nie ma, względem kontroli ciemnościowej, istotnego znaczenia w zwiększeniu energii kiełkowania w przedziale 1–4 dni od wysiewu (DAS) oraz zdolności kiełkowania w przedziale 5–10 DAS. Natomiast promieniowanie z zakresu FR istotnie ogranicza liczbę kiełkujących nasion w obu przedziałach czasu oraz ogranicza mobilizację skrobi bielmowej. Wyniki potwierdziły hipotezę, że nasiona pszenicy zwyczajnej wykazują wrażliwość na fotoinhibicję kiełkowania pod wpływem promieniowania z zakresu FR. Nie potwierdzono natomiast hipotezy o przyspieszeniu kiełkowania pod wpływem światła R oraz tempie mobilizacji skrobi bielmowej. Nie odnotowano również zakładanego w hipotezach stymulującego wpływu promieniowania R na zwiększenie aktywności fotosyntetycznej powstałych siewek pszenicy w wieku 10 DAS, co miało związek z hamującym wpływem światła R na zawartość barwników: chlorofilu a i b oraz karotenoidów. Ekspozycja materiału nasiennego na promieniowanie z zakresu FR pozwoliła na redukcję liczby kiełkujących nasion, co może stanowić istotne narzędzie pozwalające na wydłużenie ich efektywnego przechowywania bez ryzyka przedwczesnego kiełkowania i mobilizacji substancji zapasowych.

ETAP III - Zadanie 1. Analiza zawartości składników pokarmowych



Wykonano oznaczanie sumy zawartości związków polifenolowych metodą kolorymetryczną Folina-Ciocalteu. Odnotowano poprawę ogólnej zawartości związków fenolowych o średnio:

STAN na koniec 2023 r. (analizy 2023 r.): 16% (pszenica), 12% (owies) i 21% (łubin). Rezultat – zmodernizowany sposób zbioru w rezultacie ograniczenia mechanicznych uszkodzeń okrywy nasiennej bogatej w przeciwutleniacze fenolowe pozwolił zwiększyć ich całkowitą ilość.

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): 14% (pszenica), 10% (owies) i 20% (łubin). Rezultat – zmodernizowany sposób zbioru w rezultacie ograniczenia mechanicznych uszkodzeń okrywy nasiennej bogatej w przeciwutleniacze fenolowe pozwolił zwiększyć ich całkowitą ilość.

Wykonano oznaczanie zawartości witamin metodą spektrofotometryczną z bipyrydylem:

STAN na koniec 2023 r. (analizy 2023 r.): poprawę ogólnej zawartości witaminy C o średnio: 10% (pszenica), 6% (owies) i 10% (łubin). Rezultat – zmodernizowany sposób zbioru w rezultacie ograniczenia mechanicznych uszkodzeń okrywy nasiennej ograniczający dostęp tlenu do wnętrza nasion pozwolił zwiększyć całkowitą ilość witaminy C.

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): poprawę ogólnej zawartości witaminy C o średnio: 9% (pszenica), 5% (owies) i 9% (łubin). Rezultat – zmodernizowany sposób zbioru w rezultacie ograniczenia mechanicznych uszkodzeń okrywy nasiennej ograniczający dostęp tlenu do wnętrza nasion pozwolił zwiększyć całkowitą ilość witaminy C.

Wykonano oznaczanie zawartości białka ogólnego metodą kolorymetryczną (Coomassie Blue G-250) oraz spektrofotometrycznie (NanoDrop):

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): Odnotowano wzrost zawartości białka o 5% w przypadku pszenicy po modernizacji oraz 8% w przypadku owsa. W przypadku łubinu odnotowano wzrost koncentracji o 17% po modernizacji zbioru.

ETAP III - Zadanie 2. Analiza właściwości fizycznych i składu chemicznego

Wykonano oznaczanie wilgotności ziarna zbóż, nasion strączkowych przez suszenie w temperaturze 130°C / 105°C (PN-A-74011:1986 wraz z uaktualnieniem). Rezultat:

STAN na koniec 2023 r. (analizy 2023 r.): wykazano, że modernizacja metod zbioru nasion nie wpłynęła w istotny sposób na zmiany wilgotności badanych nasion. W obu przypadkach tzn. przed i po modernizacji maszyn zebrane ziarno charakteryzowało się podwyższoną wilgotnością (powyżej 15-16%), co może sprzyjać rozwojowi pleśni i wytwarzaniu szkodliwych mykotoksyn. Stanowi to uzasadnienie do wdrożenia działań drugiego celu szczegółowego – modernizacja warunków magazynowania i przechowywania ziarna w formie silosów.

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): Tożsamo jak w analizach w roku 2023 wykazano, że modernizacja metod zbioru nasion nie wpłynęła w istotny sposób na zmiany wilgotności badanych nasion. W obu przypadkach tzn. przed i po modernizacji maszyn zebrane ziarno charakteryzowało się podwyższoną wilgotnością (powyżej 15-20%), co może sprzyjać rozwojowi pleśni i wytwarzaniu szkodliwych mykotoksyn. Stanowi to uzasadnienie do wdrożenia działań drugiego



celu szczegółowego – modernizacja warunków magazynowania i przechowywania ziarna w formie silosów.

Wykonano oznaczanie zanieczyszczeń (wg PN-R-74015:1994): zgodnie z normą analizowano m.in. obecność zanieczyszczeń, uszkodzenie ziarna, ziarna połamane, uszkodzone przez szkodniki, porośnięte. Rezultat: wykazano procent masowy nasion nieprawidłowych:

STAN na koniec 2023 r. (analizy 2023 r.): łubin 17,58% (przed mod.) oraz 10,33% (po mod.), pszenica 7,27% (przed mod.) oraz 4,33% (po mod.), owies 16,16% (przed mod.) oraz 8,4% (po mod.).

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): łubin 17,58% (przed mod.) oraz 10,33% (po mod.), pszenica 7,27% (przed mod.) oraz 4,00% (po mod.), owies 12,00% (przed mod.) oraz 7,0% (po mod.).

Szacowano masę na 1000 nasion – za pomocą automatycznego licznika nasion:

STAN na koniec 2023 r. (analizy 2023 r.): średnio pszenica 35,7g/1000 (przed mod.), 43,6 g/1000 (po mod.), owies 30,1 g/1000 (przed mod.), 43,0 g/1000 (po mod.), łubin 141,2 g/1000 (przed mod.), 169,6 g/1000 (po mod.).

STAN na koniec 2024 r. (analizy 2024 r.): średnio pszenica 35,7g/1000 (przed mod.), 47,0 g/1000 (po mod.), owies 30,1 g/1000 (przed mod.), 41,2 g/1000 (po mod.), łubin 141,2 g/1000 (przed mod.), 215,4 g/1000 (po mod.).

ETAP III - Ustalenie optymalnych parametrów pozwalających na podniesienie przydatności konsumpcyjnej i paszowej nasion roślin zbożowych i strączkowych podczas magazynowania oraz zastosowanie innowacyjnych metod fotosterylizacji. Zastosowanie sterylizacji powierzchniowej promieniowaniem z zakresu promieniowania ultrafioletowego (UV, 200-300 nm), jako bezpiecznej, szybkiej i ekonomicznej metody obniżenia porażenia nasion mikroorganizmami – do analizy wykorzystano traktowanie nasion pszenicy, owsa i łubinu promieniowaniem z zakresu UV-C (254 nm) emitowanych przez punktowe źródło światła przed kiełkowaniem wg schematu:

Dzień 1: 7,5 min, dzień 2: 15 min, dzień 3: 30 min, dzień 4: 60 min, skumulowany czas naświetlania (h): 1,875 h, skumulowana dawka UV-C (kJ m⁻²): 6,008. Wykazano, że w przypadku nasion przed modernizacją odsetek nasion porażonych grzybami pleśniowymi podczas kiełkowania wyniósł: pszenica 15%, owies 13%, łubin 70%, po fotosterylizacji: pszenica 2%, owies 3%, łubin 10%.

Rezultat: nasiona traktowane niskimi dawkami promieniowania UV-C charakteryzował znacząco niższy odsetek porażenia grzybami pleśniowymi. Nie odnotowano istotnego statystycznie wpływu promieniowania UV-C na pozostałe analizowane parametry (wigor, parametry fizyczne, biochemiczne, zawartość związków pokarmowych).

EN:

Objective: The main activity of the planned operation is to develop a systemic method of collecting and storing cereal grain, i.e. determining a precisely defined range of grain moisture, using an



appropriately calibrated and equipped machine, ensuring no or minimal amount of damaged grain and conditions for storing grain in silos with an innovative design. Two specific objectives were distinguished: specific objective one (systemic method of collecting grain) and specific objective two (storing cereal grain).

Main tasks that were carried out : Within STAGE I of the operation, the following tasks were carried out concerning the first specific objective , i.e. analysis of the impact of the method of harvesting grain of three plant species: cereals: common wheat (*Triticum aestivum* L.) and common oats (*Avena sativa* L.), and legumes: narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius* L.). Analyses were carried out both on grains harvested using previously unmodernized agricultural machinery and after modernization (combine harvester). In both cases, after harvest, grains were stored in flat warehouses under cover. Grains for analysis were collected after 3, 6 and 12 months of storage in the conditions currently used.

STAGE II - Task 1. Analysis of physiological and morphological parameters

In the case of physiological and morphological analyses, the following were performed : seed germination capacity, seed vigour, morphological parameters of seedlings, photosynthetic activity of seedlings: It has been shown that:

STATUS at the end of 2023 (analyses 2023): Before the equipment modernization (before mod .) the percentage of germinating seeds (according to ISTA) for wheat was on average 69% after 4 days and 84% after 7 days, for oats 45% after 4 days and 55% after 10 days, for lupine 14% after 3 days, 8.5% after 10 days (due to dieback). After the equipment modernization (after mod.): the percentage of germinating seeds for wheat was on average 76% after 4 days and 92% after 7 days, for oats 60% after 4 days and 75% after 10 days, for lupine 34% after 3 days, 56% after 10 days. This indicates a significant improvement in both seed germination capacity and vigour.

Result: thanks to the modernization of the grain harvesting method, seed germination improved in 2023 by an average of 8% (wheat), 20% (oats) and 47.5% (lupine).

STATUS at the end of 2024 (analysis 2024): before the equipment modernization (before mod .) the percentage of germinating seeds (according to ISTA) of wheat was on average 69% after 4 days and 84% after 7 days, for oats 45% after 4 days and 55% after 10 days, lupine 14% after 3 days, 8.5% after 10 days (due to dying). After the equipment modernization in the case of analyses of grain harvested in 2024 (after mod .): the percentage of germinating wheat seeds averaged 80% after 4 days and 96% after 7 days, for oats 70% after 4 days and 81% after 10 days, for lupine 41% after 3 days, 70% after 10 days. This indicates a significant improvement in both seed germination capacity and vigour compared to the pre-modernisation state as well as an improvement compared to seed material harvested in 2023.

Result: thanks to the modernization of the grain harvesting method, seed germination improved in 2024 by an average of 12% (wheat), 26% (oats) and 61.5% (lupine).

In the case of analysis of morphological parameters , it was shown that:



STATUS at the end of 2023 (analyses 2023): the number of correct seedlings before modernization (per 100 seedlings) was: on average 70/100 wheat, 60/100 oats, 8/100 lupine, after modernization: on average 83/100 wheat, 75/100 oats, 50/100 lupine.

Result: thanks to the modernization of the grain harvesting method, the development of healthy seedlings increased by an average of 13% (wheat), 15% (oats) and 42% (lupine).

STATUS at the end of 2024 (analyses 2024): the number of correct seedlings before modernization (per 100 seedlings) was: on average 70/100 wheat, 60/100 oats, 8/100 lupine, after modernization: on average 90/100 wheat, 81/100 oats, 65/100 lupine.

Result: thanks to the modernization of the grain harvesting method, the development of healthy seedlings increased by an average of 20% (wheat), 21% (oats) and 57% (lupine).

In the case of analyses of photosynthetic activity of seeds , it was shown that:

STATUS at the end of 2023 (analyses 2023): seedlings obtained after seed germination were characterized by the efficiency of using light absorbed for carbohydrate synthesis (Fv/Fm parameter, the higher the better) at the average level: wheat: before the mod. 69.7%, after the mod. 75.6%, oats before the mod. 67.4%, after the mod. 78%, lupine before the mod. 67.3%, after the mod.: 73.6%. Resistance to environmental stresses, e.g. water deficiency and strong insolation (NPQ parameter, the higher the better): at an average level: wheat: before mod. 0.04, after mod. 0.08, oats before mod. 0.08, after mod. 0.12, lupine before mod. 0.05, after mod.: 0.06.

Result: thanks to the modernization of the grain collection method, the photosynthetic activity of seeds improved on average by 6% (wheat), 11% (oats) and 6% (lupine) and resistance to stress factors combined with insolation - 50% (wheat), 33% (oats) and 17% (lupine).

STATUS at the end of 2024 (analysis 2024): seedlings obtained after seed germination were characterized by the efficiency of using light absorbed for carbohydrate synthesis (Fv/Fm parameter – the higher the better) at the average level: wheat: before mod. 69.7%, after mod. 77.0%, oats before mod. 67.4%, after mod. 78%, lupine before mod. 67.3%, after mod.: 74.2%. Resistance to environmental stresses, e.g. water deficiency and strong insolation (NPQ parameter - the higher the better): at the average level: wheat: before mod . 0.04, after mod . 0.10, oats before mod . 0.08, after mod . 0.15, lupine before mod . 0.05, after mod.: 0.10.

Result: thanks to the modernization of the grain collection method, the photosynthetic activity of seeds improved on average by 7.3% (wheat), 10.6% (oats) and 6.9% (lupine) and resistance to stress factors combined with insolation - 2.5 times (wheat), 1.9 times (oats) and 2 times (lupine)

STEP II - Task 2. Analysis of biochemical parameters

It was shown that the starch content (polarimetric method PN-EN ISO 10520:2002):

STATUS at the end of 2023 (analyses 2023): increased by 8% in the case of wheat after modernization and 10% in the case of oats. In the case of lupine, changes were made to the content of storage protein (calculation of total protein content - colorimetric methods (Coomassie Blue G-250) and an increase in concentration by 15% was noted after the modernization of the crop.



STATUS at the end of 2024 (analyses 2024): increased by 10% in the case of wheat after modernization and 9% in the case of oats. In the case of lupine, changes were made to the content of storage protein (calculation of total protein content - colorimetric methods (Coomassie Blue G-250) and an increase in concentration by 17% was noted after the modernization of the crop.

In the case of chlorophyll analysis, only properly developed seedlings were examined (chlorophyll *a* and *b* content and carotenoids – spectrophotometric method with DMSO), it was shown that:

STATUS at the end of 2023 (analyses 2023): storage modernization resulted in an average increase in total chlorophyll content by 8% (wheat), 14% (oats) and 10% (lupine) .

STATUS at the end of 2024 (analyses 2024): storage modernization resulted in an average increase in total chlorophyll content by 10% (wheat), 15% (oats) and 14% (lupine) .

Analysis of the antioxidant activity of seeds , including the analysis of free radical scavenging (DPPH), showed an increase in the antioxidant potential of seeds

STATUS at the end of 2023 (analyses 2023): after modernization of the harvest by an average of: 14% (wheat), 11% (oats) and 15% (lupine).

STATUS at the end of 2024 (analyses 2024): after modernization of the harvest by an average of: 12% (wheat), 10% (oats) and 16% (lupine).

Analysis of protein profile expression changes (protein isolation under denaturing conditions, SDS-PAGE, Western Blot with I and II-order antibodies -HRP, DAB visualization) showed an increase in the relative share of DOG1 protein after modernization - this protein is involved in the control of seed dormancy and is the main regulator of primary dormancy (PD), which delays germination, which improves storage efficiency. It was noted:

STATUS at the end of 2023 (analyses 2023): DOG1 level increased by: 21% wheat, 15% oats. No changes were noted for lupine.

STATUS at the end of 2024 (analyses 2024): DOG1 level increased by: 21% wheat, 15% oats. No changes were noted for lupine.

STEP II - Task 3. Analysis of anatomical and physical parameters

Moisture content of cereal grains and legume seeds was determined by drying at 130°C / 105°C (PN-A-74011:1986 with update). Result:

STATUS at the end of 2023 (analyses 2023): it was shown that the modernization of seed collection methods did not significantly affect the changes in the moisture content of the tested seeds. In both cases, i.e. before and after the modernization of machines, the collected grain was characterized by increased moisture content (above 15-16%), which may promote the development of mold and the production of harmful mycotoxins. This is a justification for the implementation of the activities of the second specific objective - modernization of the conditions of grain storage and preservation in the form of silos.



STATUS at the end of 2024 (analyses 2024): Similarly to the analyses in 2023, it was shown that the modernization of seed collection methods did not significantly affect the changes in the moisture content of the tested seeds. In both cases, i.e. before and after the modernization of the machines, the harvested grain was characterized by increased moisture (above 15-20%), which may promote the development of mold and the production of harmful mycotoxins. This is a justification for the implementation of the activities of the second specific objective - modernization of the conditions for the storage and storage of grain in the form of silos.

The contamination was determined (in accordance with PN-R-74015:1994): in accordance with the standard, the following were analyzed: presence of contamination, grain damage, broken grains, damaged by pests, sprouted grains. Result: the percentage of abnormal seeds by mass was shown:

STATUS at the end of 2023 (analyses 2023): lupine 17.58% (before mod.) and 10.33% (after mod.), wheat 7.27% (before mod.) and 4.33% (after mod.), oats 16.16% (before mod.) and 8.4% (after mod.).

STATUS at the end of 2024 (analyses 2024): lupine 17.58% (before mod.) and 10.33% (after mod.), wheat 7.27% (before mod.) and 4.00% (after mod.), oats 12.00% (before mod.) and 7.0% (after mod.).

The weight per 1000 seeds was estimated using an automatic seed counter:

STATUS at the end of 2023 (analyses 2023): on average wheat 35.7 g/1000 (before mod.), 43.6 g/1000 (after mod.), oats 30.1 g/1000 (before mod.), 43.0 g/1000 (after mod.), lupine 141.2 g/1000 (before mod.), 169.6 g/1000 (after mod.).

STATUS at the end of 2024 (analyses 2024): on average wheat 35.7 g/1000 (before mod.), 43.6 g/1000 (after mod.), oats 30.1 g/1000 (before mod.), 43.0 g/1000 (after mod.), lupine 141.2 g/1000 (before mod.), 169.6 g/1000 (after mod.).

STAGE II - Task 4. Determination of optimal parameters allowing for increasing the sowing suitability of cereal and legume seeds during storage and the use of innovative methods of photoinhibition and photoinduction of seed germination.

STATUS at the end of 2024 (analyses 2024): An analysis was performed of the effect of the efficiency of using red (R, 632 nm) and far-red (FR, 731 nm) radiation to regulate photoinduction and photoinhibition of seed germination, respectively, in order to improve sowing and storage suitability. Induction of seed dormancy in order to limit their metabolic activity and extend their effective storage time by using far-red radiation (FR). Breaking dormancy and stimulating germination of seeds intended for sowing after the storage period in order to accelerate and even out emergence by using red (R) radiation.

In order to determine the optimal storage parameters, analyses were performed under controlled atmosphere conditions (composition, temperature, humidity) and composition and amount of light in a phytotron chamber (FITO700, Biogenet) purchased as part of the project.



The analysis showed that : R light has no significant significance, compared to the dark control, in increasing the germination energy in the range of 1–4 days from sowing (DAS) and germination capacity in the range of 5–10 DAS. On the other hand, radiation from the FR range significantly limits the number of germinating seeds in both time intervals and limits the mobilization of endosperm starch. The results confirmed the hypothesis that common wheat seeds are sensitive to photoinhibition of germination under the influence of radiation from the FR range. However, the hypothesis about the acceleration of germination under the influence of R light and the rate of endosperm starch mobilization was not confirmed. The stimulating effect of R radiation on the increase in photosynthetic activity of the resulting wheat seedlings at the age of 10 DAS, which was associated with the inhibiting effect of R light on the content of pigments: chlorophyll a and b and carotenoids, was also not noted.

Exposure of seed material to FR radiation reduced the number of germinating seeds, which may be an important tool for extending their effective storage without the risk of premature germination and mobilization of reserve substances.

STEP III - Task 1. Analysis of nutrient content:

The total content of polyphenolic compounds was determined using the Folin-Ciocalteu colorimetric method. An improvement in the total content of phenolic compounds was noted by an average of:

STATUS at the end of 2023 (analyses 2023): 16% (wheat), 12% (oats) and 21% (lupine). The result – the modernized harvesting method as a result of limiting mechanical damage to the seed coat rich in phenolic antioxidants allowed to increase their total quantity.

STATUS at the end of 2024 (analyses 2024): 14% (wheat), 10% (oats) and 20% (lupine). The result – the modernized harvesting method as a result of limiting mechanical damage to the seed coat rich in phenolic antioxidants allowed to increase their total quantity.

Vitamin content was determined using the spectrophotometric method with bipyridyl:

STATUS at the end of 2023 (analyses 2023): improvement of the total content of vitamin C by an average of: 10% (wheat), 6% (oats) and 10% (lupine). The result – the modernized method of harvesting as a result of limiting mechanical damage to the seed coat, limiting access of oxygen to the interior of the seeds, allowed to increase the total amount of vitamin C.

STATUS at the end of 2024 (analyses 2024): improvement of the total content of vitamin C by an average of: 9% (wheat), 5% (oats) and 9% (lupine). The result – the modernized method of harvesting as a result of limiting mechanical damage to the seed coat, limiting access of oxygen to the interior of the seeds, allowed to increase the total amount of vitamin C.

Total protein content was determined using the colorimetric method (Coomassie Blue G-250):



STATUS at the end of 2024 (analyses 2024): It was noted protein content increased by 5% in the case of wheat after modernization and by 8% in the case of oats. In the case of lupine, an increase in concentration of 17% was noted after the modernization of the crop.

STEP III - Task 2. Analysis of physical properties and chemical composition

Moisture content of cereal grains and legume seeds was determined by drying at 130°C / 105°C (PN-A-74011:1986 with update). Result:

STATUS at the end of 2023 (analyses 2023): it was shown that the modernization of seed collection methods did not significantly affect the changes in the moisture content of the tested seeds. In both cases, i.e. before and after the modernization of machines, the collected grain was characterized by increased moisture content (above 15-16%), which may promote the development of mold and the production of harmful mycotoxins. This is a justification for the implementation of the activities of the second specific objective - modernization of the conditions of grain storage and preservation in the form of silos.

STATUS at the end of 2024 (analyses 2024): Similarly to the analyses in 2023, it was shown that the modernization of seed collection methods did not significantly affect the changes in the moisture content of the tested seeds. In both cases, i.e. before and after the modernization of the machines, the harvested grain was characterized by increased moisture (above 15-20%), which may promote the development of mold and the production of harmful mycotoxins. This is a justification for the implementation of the activities of the second specific objective - modernization of the conditions for the storage and storage of grain in the form of silos.

The contamination was determined (in accordance with PN-R-74015:1994): in accordance with the standard, the following were analyzed: presence of contamination, grain damage, broken grains, damaged by pests, sprouted grains. Result: the percentage of abnormal seeds by mass was shown:

STATUS at the end of 2023 (analyses 2023): lupine 17.58% (before mod.) and 10.33% (after mod.), wheat 7.27% (before mod.) and 4.33% (after mod.), oats 16.16% (before mod.) and 8.4% (after mod.).

STATUS at the end of 2024 (analyses 2024): lupine 17.58% (before mod.) and 10.33% (after mod.), wheat 7.27% (before mod.) and 4.00% (after mod.), oats 12.00% (before mod.) and 7.0% (after mod.).

The weight per 1000 seeds was estimated using an automatic seed counter:

STATUS at the end of 2023 (analyses 2023): on average wheat 35.7 g/1000 (before mod.), 43.6 g/1000 (after mod.), oats 30.1 g/1000 (before mod.), 43.0 g/1000 (after mod.), lupine 141.2 g/1000 (before mod.), 169.6 g/1000 (after mod.).

STATUS at the end of 2024 (analyses 2024): on average wheat 35.7 g/1000 (before mod.), 43.6 g/1000 (after mod.), oats 30.1 g/1000 (before mod.), 43.0 g/1000 (after mod.), lupine 141.2 g/1000 (before mod.), 169.6 g/1000 (after mod.).



STEP III - Determining the optimal parameters to improve the consumer and feed suitability of cereal and legume seeds during storage and the use of innovative photosterilization methods. Application of surface sterilization with ultraviolet radiation (UV, 200-300 nm) as a safe, fast and economical method of reducing seed infection with microorganisms – the analysis involved the treatment of wheat, oat and lupine seeds with UV-C radiation (254 nm) emitted by a point light source before germination according to the scheme:

Day 1: 7.5 min, day 2: 15 min, day 3: 30 min, day 4: 60 min, cumulative exposure time (h): 1.875 h, cumulative UV-C dose (kJ m⁻²): 6.008. It was shown that in the case of seeds before modernization, the percentage of seeds infected with mold fungi during germination was: wheat 15%, oats 13%, lupine 70%, after photosterilization: wheat 2%, oats 3%, lupine 10%.

Result: seeds treated with low doses of UV-C radiation were characterized by a significantly lower percentage of mold fungi infection. There was no statistically significant effect of UV-C radiation on the remaining analyzed parameters (vigor, physical and biochemical parameters, content of nutrients).

Całkowity budżet operacji

2 217 855.00 zł (słownie: dwa miliony dwieście siedemnaście tysięcy osiemset pięćdziesiąt pięć złotych 00/100)

Źródła finansowania operacji

- 1) ze środków EFRROW w wysokości 1 411 221,13 zł
- 2) z krajowych środków publicznych, w wysokości 806 633,87 zł

Obszar NUTS 3

10.3 (główna lokalizacja): PL721 – Kielecki

10.4 (dodatkowe): PL722 – Sandomiersko-Jędrzejowski

Główne korzyści dla odbiorcy (PL + EN)

PL:

Odbiorca uzyskuje materiał siewny o lepszym kiełkowaniu, odporności i wartości odżywczej. Redukcja uszkodzeń i porażenia grzybami pleśniowymi zmniejsza straty i poprawia jakość plonu, co przekłada się na wyższe zyski i bezpieczeństwo przechowywania. Uzyskano poprawę zdolności kiełkowania nasion wszystkich badanych nasion, poprawę wschodu i rozwoju siewek, zdolności siewek do syntezy węglowodanów, oraz odporności siewek na niekorzystne czynniki stresowe. Poprawiono również właściwości biochemiczne nasion przez co ich przydatność paszową i odżywczą: wzrost zawartości skrobi, związków białkowych, oraz redukcję szkodliwych rodników i zwiększenie kumulacji witamin i antyoksydantów. Dodatkowo uzyskano poprawę parametrów fizycznych nasion, które mają wymierną korzyść ekonomiczną - obniżony procent zanieczyszczenia i uszkodzenia ziaren, obecność szkodników, uszkodzeń okrywy nasiennej oraz podniesiono wartość masy nasion w przeliczeniu na 1000 poprzez obniżenie stopnia



uszkodzeń ziarna podczas zbioru. Ekspozycja materiału nasiennego na promieniowanie z zakresu FR pozwoliła na redukcję liczby kiełkujących nasion, co może stanowić istotne narzędzie pozwalające na wydłużenie ich efektywnego przechowywania bez ryzyka przedwczesnego kiełkowania i mobilizacji substancji zapasowych. Nasiona traktowane niskimi dawkami promieniowania UV-C charakteryzował znacząco niższy odsetek porażenia grzybami pleśniowymi. Nie odnotowano istotnego statystycznie wpływu promieniowania UV-C na pozostałe analizowane parametry (wigor, parametry fizyczne, biochemiczne, zawartość związków pokarmowych).

EN:

The recipient obtains seed material with improved germination, resistance, and nutritional value. Reduction in damage and mold infection lowers losses and improves crop quality, leading to higher profits and storage security. As a result of the implementation of the first detailed objective, i.e. the systemic method of grain harvesting through the modernization of the machinery park (combine), it was possible to improve the values of key parameters determining the suitability of seeds as seed material: The germination capacity of all tested seeds was improved, seedling emergence and development improved, the ability of seedlings to synthesize carbohydrates, and the resistance of seedlings to unfavorable stress factors. The biochemical properties of seeds were also improved, which increased their feed and nutritional suitability: increased starch content, protein compounds, and reduced harmful radicals and increased the accumulation of vitamins and antioxidants. In addition, the physical parameters of seeds were improved, which have a measurable economic benefit - reduced percentage of grain contamination and damage, presence of pests, damage to the seed coat, and the value of seed weight per 1000 was increased by reducing the degree of grain damage during harvest. Exposure of seed material to FR radiation reduced the number of germinating seeds, which may be an important tool for extending their effective storage without the risk of premature germination and mobilization of reserve substances. Seeds treated with low doses of UV-C radiation were characterized by a significantly lower percentage of mold fungi infection. No statistically significant effect of UV-C radiation on the remaining analyzed parameters (vigor, physical and biochemical parameters, content of nutrients) was noted.

Miejsce publikacji materiałów audiowizualnych

<https://zdroweziarna.ujk.edu.pl/galeria.php>

<https://ibiol.ujk.edu.pl/2023/05/17/zdrowe-ziarna/>

<https://ibiol.ujk.edu.pl/2023/04/18/projekt-zdrowe-ziarna/>

Adres strony internetowej operacji

<https://zdroweziarna.ujk.edu.pl/index.php>



Wskaźniki i liczba wdrożonych rozwiązań

- Zmodernizowany kombajn CLAAS TRION 520
- 4 silosy BIN Konsil K60/8
- Opracowane metody fotoinhibicji i fotosterilizacji
- Wzrost efektywności kielkowania i redukcja porażenia o ponad 50%
- Liczba wdrożonych rozwiązań: co najmniej 3

Liczba innowacyjnych rozwiązań wprowadzonych do praktyki gospodarczej

3

Uzasadnienie:

- nowy system zbioru ziarna (modernizacja kombajnu CLAAS TRION 520)
- innowacyjna konstrukcja silosów BIN Konsil K60/8 (4 szt.)
- zastosowanie fotoinhibicji i fotosterilizacji UV-C w celu zwiększenia trwałości przechowywania ziarna.

Dodatkowe informacje na temat realizowanej operacji zamieszczane z inicjatywy beneficjenta

Otrzymane dofinansowanie pozwoliło na znaczącą modernizację infrastruktury badawczej Instytutu Biologii UJK, co umożliwiło realizację zaawansowanych analiz biochemicznych i fizjologicznych oraz rozwój współpracy między nauką a rolnictwem. Efektem tych działań było m.in. opublikowanie licznych prac naukowych i popularyzatorskich oraz udział w konferencjach krajowych i międzynarodowych. Projekt przyczynił się także do zwiększenia świadomości rolników w zakresie nowoczesnych metod magazynowania zbóż i poprawy jakości materiału siewnego.

Osoby, które sporządziły raport końcowy

Prof. UJK, dr hab. Joanna Czerwik-Marcinkowska, e-mail: joanna.czerwik-marcinkowska@ujk.edu.pl

Dr Ernest Skowron, e-mail: ernest.skowron@ujk.edu.pl

Dr Magdalena Trojak, e-mail: magdalena.trojak@ujk.edu.pl

Prof. UJK, dr hab. Grzegorz Czerwonka, e-mail: grzegorz.czerwonka@ujk.edu.pl

Prof. dr hab. inż. Przemysław Rybiński, e-mail: przemyslaw.rybinski@ujk.edu.pl

Mgr Izabela Zielińska, e-mail: izabela.zielinska@ujk.edu.pl