



**UNIwersytet  
PRZYRODNICZY  
WE WROCLAWIU**

**WYDZIAŁ PRZYRODNICZO-TECHNOLOGICZNY  
INSTYTUT AGROEKOLOGII I PRODUKCJI ROŚLINNEJ**

**mgr inż. Martin Kałuża**

**Wpływ wiosennego nawożenia różnymi formami azotu na  
rozwój i plonowanie rzepaku ozimego**

Effect of spring fertilization with various nitrogen forms on growth and yield  
of winter rape

**Praca doktorska  
wykonana pod kierunkiem  
dr. hab. inż. Władysława Malarza**

Wrocław 2021

*Pragnę złożyć serdeczne podziękowanie promotorowi pracy  
dr. hab. inż. Władysławowi Malarzowi  
za merytoryczne ukierunkowanie rozprawy doktorskiej,  
cenne rady i uwagi, które przyczyniły się do jej powstania,  
oraz za cierpliwość i życzliwość w trakcie realizacji i redagowania pracy.*

## Spis treści

<b>1. Wstęp</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Przegląd piśmiennictwa</b> .....	<b>8</b>
Wpływ azotu na środowisko.....	8
Nawożenie rzepaku azotem .....	9
Sposoby ograniczania strat azotu w glebie .....	13
Nawozy o kontrolowanym lub spowolnionym działaniu .....	14
Kondensaty .....	15
Nawozy otoczkowane .....	15
Nawozy zawierające inhibitory – nawozy stabilizowane (SFS).....	17
Postęp biologiczny w hodowli rzepaku .....	24
Reakcja odmian rzepaku na nawożenie azotem .....	27
<b>3. Cel i zakres badań</b> .....	<b>28</b>
<b>4. Metodyka badań</b> .....	<b>28</b>
<b>5. Lokalizacja i warunki przyrodnicze</b> .....	<b>31</b>
5.1. Lokalizacja.....	31
5.2. Warunki klimatyczne.....	31
5.3. Warunki glebowe.....	35
5.4. Agrotechnika .....	36
<b>6. Rozwój roślin</b> .....	<b>41</b>
<b>7. Wyniki badań</b> .....	<b>45</b>
7.1. Obsada roślin na jednostce powierzchni .....	45
7.2. Zawartość azotu w liściach .....	46
7.3. Cechy morfologiczne rzepaku ozimego.....	47
7.4. Elementy struktury plonu.....	50
7.4. Skład mineralny nasion rzepaku ozimego.....	51
7.5. Zawartość składników organicznych i popiołu surowego nasion rzepaku ozimego .	53
7.6. Skład chemiczny śruty rzepakowej .....	55
7.7. Plon nasion, wydajność tłuszczu surowego, białka ogółem i śruty rzepakowej .....	58
7.8. Zawartość glukozydów w nasionach.....	61
<b>8. Dyskusja</b> .....	<b>64</b>
<b>9. Wnioski</b> .....	<b>71</b>
<b>10. Piśmiennictwo</b> .....	<b>73</b>
<b>11. Streszczenie</b> .....	<b>93</b>
<b>12. Abstract</b> .....	<b>95</b>

## 1. Wstęp

W systematyce botanicznej rzepak należy do rodziny kapustowatych (*Brassicaceae*), a jego pełna nazwa botaniczna to kapusta rzepak (*Brassica napus* ssp. *oleifera*). W strefie klimatu umiarkowanego uprawiane są jego dwie formy jara oraz ozima, która ma większe znaczenie gospodarcze. Rynek rzepaku odgrywa bardzo ważną rolę w polskim rolnictwie, gospodarce żywnościowej i przemyśle przetwórczym. Stanowi on surowiec do produkcji tłuszczów konsumpcyjnych i technologicznych oraz stanowi źródło białka paszowego. Po przystąpieniu do Unii Europejskiej polityka obligująca państwa członkowskie do wzrostu udziału biokomponentów i biopaliw w zużyciu paliw płynnych przyspieszyła rozwój produkcji rzepaku w Polsce. Udział rzepaku w krajowej powierzchni zasiewów wzrósł ponad dwukrotnie (z 3,9% średnio z ostatnich trzech lat przed akcesją do 8,4% w latach 2015–2017). Ponad dwukrotnie wzrosła liczba gospodarstw rolnych uprawiających rzepak. Na szczególną uwagę zasługuje wzrost powierzchni uprawy rzepaku w latach 2004–2010, który wyniósł 116%. Powierzchnia upraw zwiększyła się odpowiednio z 436 tys. ha do 946 tys. ha. Od roku 2018 odnotowuje się spadek zainteresowania uprawą rzepaku. W sezonie 2018/2019 obsianych było 845 tys. ha, w następnym sezonie 2019/2020 powierzchnia upraw wyniosła 815 tys. ha. Głównym powodem spadku popularności uprawy rzepaku jest wycofanie zapraw zawierających neonikotynoidy oraz rosnące koszty produkcji. W kolejnych latach powierzchnia uprawy utrzymywała się na zbliżonym poziomie. W skali światowej produkcja rzepaku koncentruje się głównie w Kanadzie, Indiach, Chinach oraz Unii Europejskiej, na tych obszarach zlokalizowane jest blisko 80% światowego areału rzepaku. Powierzchnia uprawy rzepaku ozimego oraz jarego w sezonie 2019/2020 wyniosła 34,9 mln ha, z czego do największych producentów rzepaku pod względem powierzchni należą: Kanada, Indie, Chiny, Francja, Niemcy oraz Polska zajmując zamiennie z Wielką Brytanią szóste miejsce w jego produkcji na świecie [FAOSTAT 2020]. Łączny udział w światowych zbiorach Unii Europejskiej, Kanady oraz Chin przekracza 75% [Rembeza 2012]. W przypadku międzynarodowego handlu rzepakiem istotny wpływ dla jego funkcjonowania było wprowadzenie do uprawy odmian zmodyfikowanych genetycznie (GM). W Kanadzie odmiany genetycznie modyfikowane dzięki możliwości zastosowania uproszczeń w uprawie szybko zaczęły się upowszechniać. W 2009 r. stanowiły one około 90% całości upraw rzepaku [Beckie i in. 2011]. W Unii Europejskiej obowiązują znacznie bardziej restrykcyjne regulacje dotyczące rejestracji nowych odmian. W konsekwencji

obecnie w Unii Europejskiej nie są dopuszczone do uprawy żadne odmiany rzepaku genetycznie modyfikowanego. Mogą one jednak być wykorzystane do spożycia i/lub na pasze. Do kluczowych producentów rzepaku zalicza się także Ukrainę, jednak w tym kraju do priorytetowych upraw w grupie roślin oleistych należą słonecznik oraz soja. Nasiona rzepaku zawierają w suchej masie około 40–50% tłuszczu, co sprawia że są wykorzystywane do produkcji oleju rzepakowego, stosowanego później na cele spożywcze oraz techniczne. Produkty pośrednie powstałe w wyniku przerobu nasion, makuchy i śruta poekstrakcyjna, ze względu na dużą zawartość białka są cenną paszą dla zwierząt gospodarskich.

Spośród wszystkich roślin uprawianych w Polsce, rzepak ma największe znaczenie w produkcji tłuszczów pochodzenia roślinnego. Jest on jednocześnie najważniejszą rośliną oleisto-białkową w kraju, stanowiąc 95–97% arealu wszystkich roślin oleistych [Izdebski i in. 2014]. Największe zapotrzebowanie na olej rzepakowy z przeznaczeniem na cele niespożywcze związane jest z produkcją biopaliw [Krzymański 2000]. Rozwój sektora biopaliw transportowych w Polsce przyczynił się do wzrostu produkcji rzepaku, ponieważ w polskich warunkach olej rzepakowy jest podstawowym surowcem do produkcji biokomponentów dodawanych do oleju napędowego [Chibowski i in. 2016]. Tłocznie Polskiego Stowarzyszenia Producentów Oleju przerobiły w 2019 roku łącznie 2,96 mln ton rzepaku, z których wyprodukowano 1,22 mln ton oleju surowego. W roku 2020 pierwszy raz w historii został przekroczony próg przerobu 3 mln ton nasion (3,15 mln ton), z którego uzyskano 1,25 mln ton oleju. Zaolejenie w roku 2020 wyniosło średnio ok. 40%, z kolei w poprzednich latach poziom ten oscylował na poziomie 42–43% [Oil Express nr 109(II)/2021]. Analogicznie w roku 2019 przerób w zakładach tłuszczowych PSPO był niższy o ponad 90 tys. ton nasion. Ponad 2/3 oleju rzepakowego w Polsce przeznaczają się do produkcji biopaliw – estrów metylowych kwasów tłuszczowych. Spodziewane jest utrzymanie popytu na olej rzepakowy ze strony branży biopaliw, co wynika z przyjętych regulacji w obszarze Narodowego Celu Wskaźnikowego, gdzie do 2024 roku wskaźnik ma wynieść 9,1% (Dz. U. poz. 1527). Wyniki potwierdzają utrzymujące się wysokie zapotrzebowanie na olej rzepakowy. Pod koniec 2018 roku opublikowano kilka kluczowych regulacji dotyczących nowej polityki energetycznej i klimatycznej UE w perspektywie 2030 r. Wśród opublikowanych dokumentów jest nowa dyrektywa o odnawialnych źródłach energii (tzw. RED II), która zakłada zwiększenie roli biopaliw drugiej generacji. Rozwój sektora biopaliw

transportowych w Polsce stymuluje realizacja Narodowego Celu Wskaźnikowego (NCW), który określa udział biopaliw w zużyciu paliw płynnych. Do 2030 roku co najmniej 14% paliw wykorzystywanych w transporcie ma pochodzić ze źródeł odnawialnych. Ponadto biopaliwa pierwszej generacji, charakteryzujące się wysokim ryzykiem "pośredniej zmiany sposobu użytkowania gruntów" od roku 2030 nie będą więcej zaliczane do celów UE w zakresie energii odnawialnej. Od 2019 roku udział biopaliw pierwszej generacji w realizacji tych celów ma stopniowo maleć, aż do osiągnięcia zerowego poziomu w 2030 roku. Oprócz biopaliw istotną częścią dochodu branży tłuszczowej stanowi produkcja oleju do celów spożywczych. Rocznie ok. 1,1–1,2 mln ton rzepaku przeznaczona jest na cele spożywcze, w tym m.in. margaryny.

Struktura zasiewów w Polsce jest nadmiernie wysycona roślinami zbożowymi, które stanowią ok. 70% ogólnego areału upraw. Nadmierna koncentracja zbóż w ogólnej powierzchni zasiewów prowadzi do nieodwracalnych zmian w środowisku. Do najważniejszych pod kątem agronomicznym należy zaliczyć obniżenie plonowania [Sieling i in. 2007], wzrost koncentracji chorób oraz szkodników [Sulek i in. 2016] oraz nadmierne zachwaszczenie stanowisk [Szymankiewicz 2003, Deryło i in. 2003, Kwiatkowski i Paliw 2009, Parylak i in. 2016]. Rzepak jest najczęstszą rośliną przerywającą monokulturę zbóż. Według szacunkowych danych Głównego Urzędu Statystycznego powierzchnia uprawy rzepaku w Polsce w 2020 zwiększyła się o 6% w stosunku do roku 2019 i wyniosła 930 tys. ha.

Mimo iż produkcja rzepaku jest rozwijającą się działalnością produkcji roślinnej, nie sposób nie zauważyć problemów, które obniżają opłacalność uprawy tej rośliny. Neonikotynoidy od wprowadzenia na rynek w połowie lat 90. XX wieku są najczęściej stosowaną grupą insektycydową [Bass i in. 2015] Powszechność stosowania wynika z ich mechanizmu działania na szkodniki, który różni się od substancji starszej generacji. Pozwoliło to przełamać odporność wytworzoną na niektóre pyretroidy i insektycydy fosforoorganiczne. [Hrynko 2021]. Wysoka skuteczność owadobójcza przejawia się również różnym stopniem ich toksyczności dla owadów pożytecznych i zapylających. Ze względu na wysoką toksyczność dla pszczoł miodnych, neonikotynoidy są intensywnie badane na całym świecie, a przypadki występowania tych związków w organizmach pszczoł i produktach pszczelich są jednymi z najczęściej udokumentowanych w literaturze [Kasiotis i in. 2014]. Obecny zakaz stosowania zapraw neonikotynoidowych w uprawie rzepaku wymusza stosowanie większej liczby zabiegów

insektycydowych, przyczyniając się do wzrostów kosztów produkcji oraz negatywnego oddziaływania na środowisko. Występujące w ostatnich latach w dużym nasileniu naloty śmietki kapuścianej czy duża presja pchełki rzepakowej, mszycy oraz mała ilość substancji aktywnych zwalczająca wymienione patogeny utrudnia prowadzenie plantacji rzepaku ozimego zgodnie z zasadami rolnictwa zrównoważonego. Planowane wprowadzenie zakazu stosowania środków chemicznych zawierających substancję aktywną – glifosat, również przyczyni się do wzrostu kosztów produkcji. Objęcie całego kraju programem działań, mającym zapobiegać zanieczyszczaniu wód związkami azotu ze źródeł rolniczych, spowoduje ograniczenie w stosowaniu azotu oraz będzie oznaczało konieczność prowadzenia ewidencji stosowania tego makroskładnika.

Czynnikami determinującymi w największym stopniu wysokość plonowania rzepaku są hodowla odmian, klasa gleby, płodozmian, warunki pogodowe oraz wysoki poziom agrotechniki. Najważniejszym czynnikiem agrotechnicznym decydującym o plonowaniu rzepaku jest poziom wiosennego nawożenia azotem. Związane jest to z wysokim zapotrzebowaniem roślin na ten składnik. Wyprodukowanie 1 tony nasion (wraz z odpowiednią ilością słomy) wymaga średnio 50-60 kg N. Niniejsza praca powstała w celu wyjaśnienia zagadnienia nawozów zawierających inhibitory oraz określenia optymalnej strategii nawożenia wiosennego azotem roślin rzepaku.

## 2. Przegląd piśmiennictwa

### Wpływ azotu na środowisko

Produkcja roślinna wywiera znaczący wpływ na różne elementy środowiska przyrodniczego. Z tego powodu zakres chemii rolnej ulega ciąglemu poszerzaniu. Obecnie nie obejmuje on już wyłącznie zagadnień produkcyjnych, ale dotyczy również wpływu nawożenia na środowisko przyrodnicze. Dynamicznie rozwijająca się produkcja nawozów pochodzenia antropogenicznego po drugiej wojnie światowej, przyczyniła się do złagodzenia zjawiska głodu na świecie. Należy także uwzględnić koszty środowiskowe, jakie pociągnęło za sobą nadmierne stosowanie nawozów mineralnych w tym okresie. Zanieczyszczanie cieków i zbiorników wodnych, emisja do atmosfery nadmiernych ilości tlenków, które są gazami odpowiedzialnymi za efekt cieplarniany, zachwianie równowagi w ekosystemach [Van Veen 2000, Herrera i in. 2016] - to tylko niektóre zjawiska oddziałujące negatywnie na środowisko. Nieumiejętne stosowanie nawozów może przyczynić się do silnego zakwaszenia, zasolenia i skażenia gleb metalami ciężkimi. Wzrastająca wiedza oraz świadomość ekologiczna społeczeństwa przyczyniła się do podjęcia licznych działań mających na celu ograniczenie negatywnego wpływu produkcji rolniczej na środowisko. Pierwszym krokiem było wprowadzenie Dyrektywy Rady z dnia 12 grudnia 1991 r. dotyczącej ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (91/676/EWG) (Dz.U.UE.L.91.375.1. z dnia 31.12.1991 r.). Doniesienia dotyczące wzrostu zawartości gazów cieplarnianych w atmosferze, stały się powodem do podjęcia Decyzji Rady 2002/358/WE z 25 kwietnia 2002 r. dotyczącej zatwierdzenia przez Wspólnotę Europejską protokołu z Kioto do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu i wspólnej realizacji wynikających z niego zobowiązań, zmusił państwa członkowskie Wspólnoty Europejskiej do redukcji emisji gazów cieplarnianych (GHG) w pierwszym okresie rozliczeniowym (2008–2012) o 8% (Polska o 6%) w stosunku do roku 1990 r. (2002/358/WE, Dz.U.L 130 z dnia 15.05.2002). W 2009 r. na mocy Dyrektywy Rady Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/29 WE kraje Unii Europejskiej zobowiązały się w drugim okresie rozliczeniowym (2013–2020) do zmniejszenia o 20% emisji gazów cieplarnianych w stosunku do roku bazowego. Rosnące wymogi redukcji emisji gazów cieplarnianych stały się powodem poszukiwania sposobów zmniejszenia ich emisji z różnych gałęzi gospodarki, między innymi w



rolnictwie. W ostatnim czasie w krajach europejskich skatalogowano metody redukcji emisji GHG z rolnictwa [Bechmann 2016, Eagle i in. 2012].

Uprawa roślin prowadzona w sposób zrównoważony ogranicza negatywne zmiany w środowisku naturalnym. Z tego powodu nawożenie roślin powinno odbywać się w oparciu o wymagania pokarmowe roślin, zawartość przyswajalnych składników pokarmowych w glebie oraz właściwości gatunku i odmiany uprawnej [Czuba 1996].

### Nawożenie rzepaku azotem

Z badań przeprowadzonych przez Liu [1987] wynika, że zawartość azotu w rzepaku w podczas wegetacji w przeliczeniu na suchą masę wynosi od 45 do 12 g·kg<sup>-1</sup> i zależy od fazy wzrostu w jakiej aktualnie znajduje się roślina, a w początkowym rozwoju rzepaku wartość ta jest wyższa i wraz ze wzrostem obniża się. Do czynników w największym stopniu determinujących wysokość plonu nasion rzepaku należy siew (termin, sposób, gęstość). Natomiast z czynników chemicznych największy wpływ ma dostępność azotu dla rośliny [Kapusta 2015]. Rośliny należące do rodziny kapustowatych (*Brassicaceae*) charakteryzują się wysokim zapotrzebowaniem na makroelementy. Spośród nich w największych ilościach pobierany jest potas i azot, z tym, że azot ma większe znaczenie plonotwórcze. Średnie wartości pobrania N dla rzepaku (*Brassica napus*), przy wysoko plonującej plantacji, wynoszą 200–300 kg·ha<sup>-1</sup> [Wiesler i in. 2001, Orlovius 2003]. Rathke i in. [2005] najwyższy plon, 4,79 t·ha<sup>-1</sup>, uzyskali stosując 240 kg azotu na 1 ha w porównaniu do 4,58 t·ha<sup>-1</sup> przy dawce 160 kg·N·ha<sup>-1</sup>. Wyniki doświadczeń wskazują, że optymalna dawka N wiosną wynosi od 120 do 160 kg·ha<sup>-1</sup> [Sieling i in. 1999] lub 180-220 kg·ha<sup>-1</sup> [Jackson 2000], w zależności od stanowiska. Według Oleksego [2018] statystycznie istotny przyrost plonu nasion można otrzymać przy dawce 150 kg N·ha<sup>-1</sup>, natomiast dawki powyżej 200 kg N·ha<sup>-1</sup> nie przyczyniały się do istotnych zmian w plonowaniu. W swoich badaniach Jankowski i Budzyński [2000] dowiedli, że rzepak nawożony dawką 120 i 160 kg N·ha<sup>-1</sup> plonował na statystycznie jednakowym poziomie, natomiast produktywność 1 kg azotu zastosowanego w dawce 120 kg·ha<sup>-1</sup> była średnio o 21% wyższa w porównaniu z poziomem 160 kg N·ha<sup>-1</sup>. Zbyt wysokie dawki N mogą spowodować odwrotny skutek od zamierzonego czyli obniżyć plon [Gammellvind i in. 1996; Hocking i in. 1997, Cheema i in. 2001, Yasari i in.2008]. Nawożenie azotowe powinno być ustalane na podstawie wcześniej wykonanych badań glebowych na zawartość N mineralnego. Pod uwagę powinien również zostać wzięty taki czynnik jak: typ gleby, przedplon, zakładany plon nasion. Do wyprodukowania 100 kg nasion, roślina

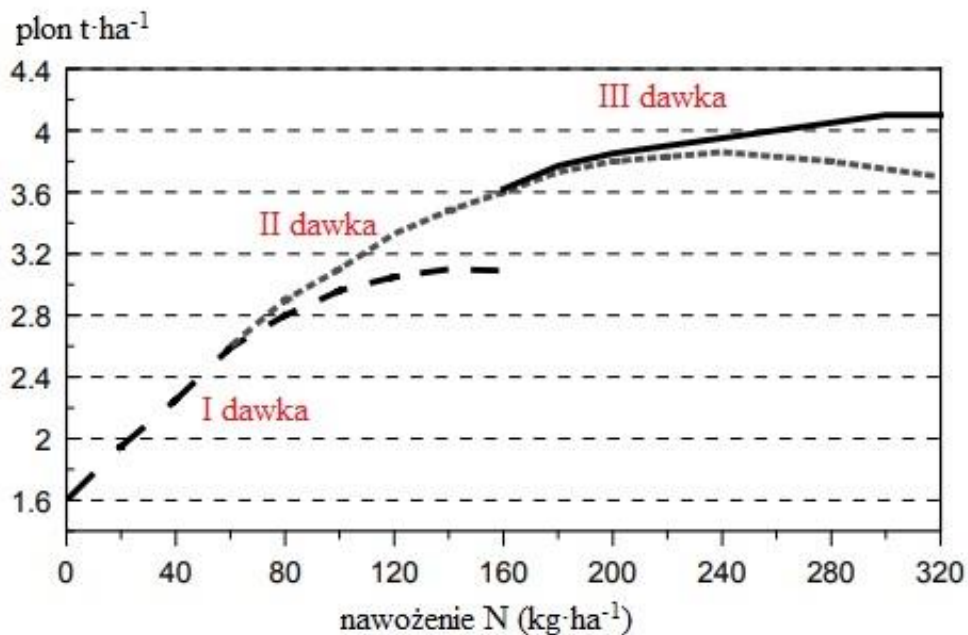
potrzebuje ok. 6 kg N [Mason i Brennan 1998]. Mimo że znaczna część azotu potrzebna roślinom pochodzi z mineralizacji resztek poźniwnych przedplonu oraz materii organicznej, to dla uzyskania wysokich plonów niezbędne jest zasilenie roślin azotem mineralnym. Rzepak ozimy akumuluje 25–30% całkowitego pobrania azotu z gleby (40–80 kg·N·ha<sup>-1</sup>) w okresie jesiennym [Cramer 1993]. W wielu przypadkach stosowanie azotu mineralnego jesienią jest zbędne, jednak jest to uzależnione od terminu siewu, klasy gleby czy przedplonu. Przy zbyt dużej podaży azotu jesienią rośliny wytwarzają nadmiernie rozwiniętą rozetę, co negatywnie wpływa na ich zimowanie. Nadmiar azotu dostępnego jesienią, szczególnie w formie NO<sub>3</sub><sup>-</sup> wpływa na gromadzenie się wody w komórkach roślin co podwyższa ryzyko ich wymarzania. Woda zgromadzona w komórkach pod wpływem niskiej temperatury zamarza tworząc kryształki lodu, które dodatkowo uszkadzają ściany komórkowe. Jeżeli istnieje potrzeba zasilenia plantacji w wyniku późnego siewu nasion lub słabej kondycji roślin przed zimą z powodu niesprzyjających warunków zaleca się zastosowanie azotu w formie amonowej NH<sub>4</sub><sup>+</sup> w ilości ok. 50 kg·N·ha<sup>-1</sup>. Azot w formie amonowej sprzyja koncentracji soku komórkowego w komórkach oraz nie powoduje silnego uwodnienia komórek roślinnych. W przypadku, gdy przedplonem rzepaku były rośliny bobowate, nawożenie jesienne można pominąć. Związane jest to z wysoką wartością nawozową resztek poźniwnych [Martyniuk 2008]. Według Jasińskiej i Koteckiego [1997] masa przyoranych resztek poźniwnych (słoma i korzenie) może dochodzić do ok. 5 t·ha<sup>-1</sup> w przypadku grochu oraz prawie 6 t·ha<sup>-1</sup> w przypadku bobiku, pozostawiając jednocześnie od 55 do 70 kg N w glebie. Liczne badania dowodzą, że plony rzepaku uprawianego po roślinach bobowatych są wyższe niż w przypadku uprawy po roślinach zbożowych. Według Christena [2001] plony nasion rzepaku uprawianego po grochu siewnym (*Pisum sativum* L.) były wyższe o 0,28 t·ha<sup>-1</sup> niż w przypadku, gdy przedplonem był jęczmień ozimy i o 0,48 t·ha<sup>-1</sup>, gdy przedplonem była pszenica ozima. Do podobnych wniosków doszli Rathke i in. [2005], uzyskując wyższy plon w sytuacji kiedy przedplonem był groch aniżeli jęczmień ozimy. Poza wymienionymi czynnikami również stanowisko na którym uprawiany jest rzepak powinno decydować o zasileniu plantacji w azot. Dotyczy to gleb przepuszczalnych, zawierających mało materii organicznej.

Po wznowieniu wegetacji wiosennej rośliny początkowo korzystają z asymilatów zmagazynowanych jesienią w liściach i pędzie. Dzięki nim roślina rozwija system korzeniowy oraz wyrastające rozgałęzienia na pędzie głównym. Wytworzenie silnego

systemu korzeniowego typu palowego jest ważne, aby w późniejszym okresie roślina nie była narażona na okresowe niedobory wody. Natomiast liczba i jakość rozgałęzień na pędzie głównym przekłada się bezpośrednio na plon nasion. Po okresie zimy ważna jest szybka regeneracja roślin i utrzymanie potencjału plonotwórczego zbudowanego jesienią. Azot jest mobilny w roślinie, największe jego ilości koncentrują się w młodych organach, o najwyższym współczynniku wzrostu, dlatego niezbędne jest zaopatrzenie roślin w azot już od początku ruszenia wegetacji wiosennej. Nawóz zawierający azot powinien być wysiany wcześniej, aby zdążył się rozpuścić i przemieścić w głębsze warstwy gleby. W przypadku, gdy podaż azotu z korzeni jest niewystarczająca, azot ze starszych liści jest wykorzystywany do odżywiania młodszych organów roślinnych. Proteoliza w starszych liściach powoduje spadek zawartości chlorofilu, a tym samym ich żółknienie, stanowiące objaw niedoboru azotu. Wiosenne pobieranie azotu z gleby jest intensywne do momentu zawiązywania owoców przez roślinę. Do tego momentu rośliny pobierają ok. 80% całkowitego azotu z gleby. Od momentu zawiązywania kwiatów około 100 kg N musi zostać przemieszczonych do rozwijających się łuszczyń w ciągu dwóch tygodni. W tym okresie roślina jest w stanie pobrać dziennie ok. 5 kg·N·ha<sup>-1</sup>, reszta musi zostać przemieszczona z części wegetatywnych [Rossato i in. 2002, Malagoli i in. 2005]. W przypadku niedostatecznego zaopatrzenia zostaje zahamowany wzrost roślin, a wykształcane nowe liście są wyraźnie mniejsze. Pogłębiający się niedobór azotu przyspiesza rozwój i dojrzewanie roślin. Zmniejszenie powierzchni asymilacyjnej powoduje niedostateczne wykształcenie organów generatywnych i wypełnienie nasion, a co za tym idzie zmniejszenie plonowania roślin. Według badań przeprowadzonych przez Malagoliego i in. [2005] azot niezbędny do wykształcenia nasion jest w większości wykorzystywany z części wegetatywnych i jest to ok. 73% azotu znajdującego się w łuszczykach. Z tego powodu plonowanie rzepaku ozimego jest determinowane przez zbilansowane nawożenie azotowe w odpowiednich fazach rozwojowych.

Dostępnych jest wiele badań dowodzących wzrost plonu nasion rzepaku jest skorelowany ze wzrostem nawożenia azotowego [Pellet 2002, Sidlauskas i Bernotas 2003, Söchtling i Verret, 2004, Rathke i in. 2005, Zhang i in. 2009]. Istotnym elementem w wiosennym nawożeniu rzepaku jest dawka i termin jej aplikacji. Powszechnie przyjętą praktyką jest stosowanie dwukrotnej aplikacji azotu, z czego ok. 50–60% zostaje podane w pierwszej dawce. W przypadku stosowania wysokich dawek azotowych

(>200 kg·N·ha<sup>-1</sup>) wiosenne nawożenie można podzielić na 3 dawki. Barłóg i Grzebisz [2004] oraz Boelcke i in. [1991] wskazali, że plony nasion rzepaku są najbardziej stabilne w technologii dawek dzielonych, w tym przypadku wiosenne nawożenie było podzielone na 3 dawki. Do podobnych wniosków doszli Hanus i Sieling [1998] oraz Narits [2010], którzy wskazali, że aplikacja 120 kg·N·ha<sup>-1</sup> podzielona na 3 równomierne dawki (40 kg·N·ha<sup>-1</sup>) najkorzystniej wpływa zarówno na plon nasion jak i plon tłuszczu surowego. Jak wykazali Barłóg i Grzebisz [2004] wzrost plonu o 0,2 t·ha<sup>-1</sup> przy zastosowaniu 3 dawek nie jest ekonomicznie opłacalny w porównaniu do technologii z dwiema dawkami. Poszczególne dawki stosowane są w określonej fazie rozwojowej roślin tj. w momencie ruszenia wegetacji wiosennej oraz w trakcie wydłużania pędu (BBCH 31). Dodatkowa, trzecia aplikacja, stosowana jest przed kwitnieniem (BBCH 51), aby nie uszkodzić rozwijających się kwiatów.



Rys. 1. Wpływ poszczególnych dawek N na plon nasion rzepaku [Hanus i Sieling 1998].

Pierwsza dawka, zwana dawką startową, musi być najwyższa ze względu na to jakie funkcje powinna spełnić (40–50%). Druga aplikacja zazwyczaj stanowi ok 35% całkowitego nawożenia, natomiast reszta azotu przypada na ostatni zabieg. Dla odmian hybrydowych zalecana jest wyższa druga dawka N o 20–30 kg·N·ha<sup>-1</sup>, w celu wykorzystania ich potencjału plonotwórczego [Sauermann 2000]. Wzrost plonu nasion nie jest jedyną korzyścią stosowania dawek dzielonych.

Dodatkową zaletą jest:

- redukcja wymywania  $\text{NO}_3^-$  z gleby,
- zapobieganie wyleganiu roślin,
- nawożenie może być precyzyjnie dostosowane do warunków atmosferycznych.

Nawożenie azotowe wpływa również na parametry jakościowe nasion. Pod wpływem wyższych dawek azotu wzrasta zawartość białka, natomiast zawartość tłuszczu obniża się [Jankowski i Budzyński 2000, Kotecki i in. 2004, Wójtowicz 2004, Wielebski 2011]. Wzrost zawartości białka był równoczesny ze zwiększeniem MTN [Barszczak i Barszczak 1995].

### **Sposoby ograniczania strat azotu w glebie**

W przypadku nawożenia mineralnego roślin najważniejszym jest efektywność wykorzystania składników pokarmowych. W piśmiennictwie nie ma jednoznacznej definicji efektywnego wykorzystania wnoszonych makroelementów z nawozem. Można natomiast znaleźć informację jakie czynniki mają na nią wpływ. Należą do nich woda oraz czynniki agrotechniczne w tym: odczyn gleby, racjonalne zmianowanie oraz zbilansowane nawożenie [Wiesler i in. 2001b]. Wymienione czynniki decydują o dynamice pobierania azotu przez rośliny z gleby. Równie istotna jest efektywność wykorzystania pobranego N, poprzez wbudowanie go struktury komórek. Efektywność wykorzystania azotu z nawozów mineralnych jest bardzo niska. Przyjmuje się, że wykorzystanie to wynosi ok. 50–60% [Trenkel 1997]. Pozostała część zostanie zaabsorbowana przez kompleks sorpcyjny oraz utracona w wyniku wymywania lub utleniania [Horst i in. 2002]. Azot pochodzący z nawozów mineralnych jest włączany w cykl przemian azotu glebowego, w wyniku czego może dochodzić do jego strat w formie amoniaku ( $\text{NH}_3$ ), tlenku oraz podtlenku azotu ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), a także wymywania form azotanowych ( $\text{NO}_3^-$ ) do wód gruntowych [Keshavarz i in. 2017, Najjerra i in. 2015]. Najmniej podatną na wymywanie formą azotu jest forma amidowa. Nawozem o najwyższej koncentracji tej formy jest mocznik, który zawiera w swoim składzie ok. 46%. Azot z mocznika zanim zostanie pobrany przez korzenie roślin, musi ulec hydrolizie do  $\text{NH}_4^+$ .



Katalizatorem hydrolizy jest enzym ureaza, występujący w glebie i komórkach wielu roślin wyższych oraz mikroorganizmów [Galloway i in. 2008]. Szybkość rozkładu mocznika zależy od odczynu gleby oraz jej temperatury [Mocek-Płóćiniak 2010]. Optymalny odczyn gleby dla enzymu ureaza wynosi od 6 do 7, przy zbyt niskich wartościach pH namnażanie się bakterii jest utrudnione. Produkt hydrolizy, którym jest azot amonowy, może być także wiązany na powierzchni pakietów materiałów ilastych, co przy wzroście pH powyżej 8,5 może powodować uwalnianie amoniaku do atmosfery. Azot amonowy jest asymilowany przez rośliny lub mikroorganizmy lub w odpowiednich warunkach podlega nityfikacji do azotu azotanowego. W rolnictwie mocznik jest najczęściej stosowanym nawozem azotowym, dlatego jego wykorzystanie przez rośliny powinno być możliwie jak najbardziej efektywne. Straty azotu wyrażone w procentach w wyniku ulatniania N do atmosfery mogą wynosić od 20% [Bundy 2001] do nawet 47% w przypadku roślin uprawnych [Watson 2005]. Na użytkach zielonych straty sięgają nawet powyżej 50% [Amberger 1996].

### **Nawozy o kontrolowanym lub spowolnionym działaniu**

Jednym ze sposobów ograniczenia strat składników pokarmowych, a przy tym zanieczyszczenia środowiska i zwiększenia stopnia ich wykorzystania przez rośliny jest stosowanie nawozów o spowolnionym i kontrolowanym działaniu. Do grupy tej należą nawozy typu CRF (Controlled Release Fertilizers) oraz SRF (Slow Release Fertilizers), a także nawozy konwencjonalne zawierające inhibitory nityfikacji i ureazy [Trenkel 2010]. Do nawozów o spowolnionym uwalnianiu (SRF) zalicza się chemicznie lub biologicznie degradowalne materiały o wysokiej masie cząsteczkowej, skomplikowanej strukturze i niewielkiej rozpuszczalności. Nawozy o kontrolowanym uwalnianiu (CRF) to te, w których uwalnianie składników mineralnych odbywa się poprzez polimerową powłokę lub membranę [Shaviv i Mikkelsen 1993]. Mimo że w wielu przypadkach określenie obu nawozów używane jest zamiennie, Shaviv [2005] oraz Trenkel [2010] zdefiniowali różnice w działaniu pomiędzy tymi nawozami. Sposób uwalniania składnika z nawozów SRF jest nieprzewidywalny i zależy w dużym stopniu od typu gleby i warunków klimatycznych. Dla porównania, schemat, ilość i intensywność uwalnianego składnika jest możliwa do określenia dla nawozów typu CRF. Można wyróżnić dwie główne grupy nawozów wolnodziałających: produkty kondensacji mocznika z aldehydami (zaliczane do typu SRF), oraz nawozy otoczkowane, z których substancje pokarmowe uwalniane są poprzez barierę fizyczną (typ CRF).

## Kondensaty

Produkty kondensacji mocznika z aldehydami tworzą grupę trudno rozpuszczalnych nawozów azotowych, tworząc mieszaninę związków o różnej rozpuszczalności i przyswajalności. Do najważniejszych zalicza się: kondensat mocznikowo-formaldehydowy, tzw. ureaform (UF), izobutilidenodimocznik (IBDU) i krotonolidenodimocznik (CDU). Najpopularniejszym produktem z wymienionej trójki jest ureaform, który był pierwszym wprowadzonym na rynek nawozem wolnodziałającym. Proces jego produkcji polegał na reakcji formaldehydu z nadmiarem mocznika, dzięki czemu zawartość N w nawozie wynosiła 37–40%. Uwalnianie azotu z UF przebiega głównie dzięki działalności mikroorganizmów glebowych w odpowiedniej temperaturze, odczynie oraz wilgotności gleby [Jahns i Kaltwasser 2000]. Ponieważ azot uwalniany z ureaformu wykazuje większą skuteczność przy wyższych temperaturach, nawozy te są częściej stosowane w cieplejszych strefach klimatycznych. Co więcej, składniki pokarmowe z tych nawozów uwalniane są w sposób niedostateczny do zapotrzebowania roślin na dany składnik. Na glebach lekkich większe ilości dostępne są we wczesnych fazach wzrostu, natomiast na glebach ciężkich tempo uwalniania azotu jest zbyt wolne przez cały okres wegetacyjny. Najprawdopodobniej ostatni czynnik przyczynił się do zmniejszenia udziału tego typu nawozów na świecie. Dodatkowo, ze względu na wysokie koszty produkcji zaprzestano jego wytwarzanie.

## Nawozy otoczkowane

Nawozy w kształcie granuli posiadają otoczkę, która wytwarza barierę fizyczną dla składnika pokarmowego, gdy ten próbuje przedostać się do gleby. Głównym kryterium podziału nawozów otoczkowanych jest substrat z jakiego powłoka została wytworzona. Mogą to być związki organiczne lub nieorganiczne, do których zaliczamy:

- siarkę
- siarkę z polimerami organicznymi
- polimery organiczne

Kolejnym kryterium podziału może być sposób uwalniania pierwiastka z nawozu.

Nawozy otoczkowane siarką SCU (Sulfur Coated Urea) otrzymywane są w wyniku powlekania podgrzanych granул mocznika stopioną siarką [Tomaszewska i Jarosiewicz 2006]. Cały proces przeprowadzany jest w warunkach z wykorzystaniem wysokiego ciśnienia. W celu uszczelnienia powłoki siarki wykonuje się dodatkowo spryskiwanie

granul woskiem. Pozwala to na zmniejszenie szybkości rozkładu otoczki przez mikroorganizmy glebowe. Główną zaletą powłoki siarkowej jest zdolność do rozpuszczania w niskich temperaturach.

Do czynników wpływających na uwalnianie się mocznika z granuli zaliczamy: temperaturę, wilgotność gleby oraz aktywność mikroorganizmów glebowych [Engelsjord i in. 1997]. Dodatkowo wpływ na tempo uwalniania azotu z SCU mają także właściwości fizyczne granuli: wielkość granul, grubość i jakość otoczek. Na jakość otoczek wpływają defekty mechaniczne w postaci pęknięć. Z tego względu wyróżnia się 3 typy granul: z uszkodzonymi otoczkami, z otoczkami, których uszkodzenia uszczelniono woskiem oraz z nieuszkodzonymi otoczkami. Uwalnianie azotu z granul z uszkodzoną otoczką następuje natychmiast po wprowadzeniu jej do gleby i zetknięciu się z wodą. Otoczka uszczelniona woskiem rozkładana jest przez mikroorganizmy, odsłaniając otwory, które pozwalają na wnikanie wody, dzięki którym mocznik dyfunduje z granul przez szczeliny powstałe w otoczce. W ostatnim typie granul uwalnianie azotu z otoczek nieuszkodzonych jest długotrwałe. W przypadku, gdy w nawozie przeważają granule z uszkodzoną otoczką, znaczna część azotu jest uwalniana zaraz po wprowadzeniu do gleby (burst effect). Jeżeli natomiast występuje więcej granul o nieuszkodzonych i grubych otoczkach, przy niesprzyjających warunkach, niezbędny azot może uwolnić się dopiero po zbiorze roślin (tailing effect) [Shaviv 1996]

Pomimo niewątpliwych zalet otoczki siarkowej (SCU), uwalnianie azotu jest relatywnie szybkie. Dlatego postanowiono wprowadzić zmianę, która polegała na pokryciu granul z otoczką siarkową dodatkową warstwą organicznego polimeru. Mogą to być poliolefiny takie jak polietylen i polipropylen, żywice poliestrowe i poliuretanowe, olej lniany lub tungowy, polisacharydy, pochodne celulozy, polistyren i inne [Tomaszewska i Jarosiewicz 2006]. Wszystkie wymienione, dzięki swoim właściwościom idealnie nadają się do poprawy kontroli szybkości uwalniania składników mineralnych [Korzeniowska 2009]. Tym sposobem otrzymano produkt z dwiema powłokami, wewnętrzną składającą się z siarki oraz zewnętrzną stanowiącą polimery. Nawozy z dodatkową otoczką polimeru organicznego noszą nazwę PCF (Polimer Coated Fertilizer). Dzięki swojej efektywności otoczki siarki wraz z polimerami wykorzystywane są również do produkcji nawozów wieloskładnikowych NPK.

Ze względu na wysokie koszty produkcji związane z podwójnym pokryciem granul otoczką, najpierw siarką a następnie polimerem, opracowano nową metodę



otoczkowania. Polega ono na wytworzeniu powłok na granulach wyłącznie z wykorzystaniem polimerów organicznych. Kontrola uwalniania składników może być determinowana poprzez grubość nanoszonej powłoki lub jej różnorodny skład [Perez-García i in. 2007]. Konieczne jest w tym przypadku wielokrotne nanoszenie otoczki substancjami organicznymi. Powłoka może być jednolita, czyli składająca się z jednej substancji lub wykorzystane mogą być mieszaniny różnych substancji w celu urozmaicenia trwałości powłoki. Dodatkowo w celu zmiany właściwości działania powłoki można dodać specjalne substancje modyfikujące, które zmieniają ich standardowe właściwości [Wu i Liu 2008, Wu i in. 2008]. Dzięki temu powstałe nawozy są odporne na uszkodzenia mechaniczne, w tym m.in. na ścieranie. Uwalnianie składników jest również bardziej przewidywalne, ponieważ rozkład otoczki złożonej z polimerów jest mniej uzależniony od pH gleby i aktywności mikrobiologicznej, a bardziej od temperatury i jakości powłoki. Umożliwia to precyzyjne regulowanie uwalniania składników przez cały okres wegetacyjny. Mechanizm uwalniania składników pokarmowych z granuli zachodzi stopniowo. Wyróżniamy 3 fazy, z czego pierwsza polega na wnikanii wody do wnętrza granuli i rozpuszczaniu substancji pokarmowych wewnątrz [Shavit i in. 2003]. W drugiej fazie wzrastające ciśnienie we wnętrzu granuli może powodować stopniowe uwalnianie roztworu na zasadzie zjawiska dyfuzji lub pęknięcia otoczki pod wpływem zbyt dużego ciśnienia i uwolnienia całej zawartości na zewnątrz. Trzecia faza polega natomiast na kontynuowaniu dyfuzji składników na zewnątrz granuli, pod warunkiem, że otoczka nie została wcześniej uszkodzona. Zbyt wczesne pęknięcie jest charakterystyczne dla kruchych otoczek. Idealna sytuacja występuje, gdy granule w glebie dyfundują stopniowo roztwór do gleby, zaspokajając jednocześnie potrzeby pokarmowe roślin. Ze względu na te właściwości technologia ta jest również stosowana w produkcji nawozów NPK, wzbogacanych mikroelementami. Nawozy wieloskładnikowe stanowią obecnie najliczniejszą grupę nawozów otoczkowanych tym sposobem. W doświadczeniu przeprowadzonym przez Sowińskiego i Głąb [2018], nawóz z otoczką polimeru nie miał wpływu na wzrost biomasy sorga, natomiast pozytywnie wpłynął na zmniejszenie zawartości  $\text{NO}_3^-$  w paszy.

### **Nawozy zawierające inhibitory – nawozy stabilizowane (SFS)**

Stosowanie inhibitorów nitryfikacji i ureazy w nawozach azotowych jest bardzo kosztowne ze względu na rygorystyczne warunki jakie muszą spełniać.

Do najważniejszych z nich należą:

- brak negatywnego wpływu na środowisko glebowe,
- brak pozostałości toksycznych substancji w glebie,
- brak toksyczności dla roślin, zwierząt i ludzi,
- dobre parametry w czasie transportu oraz podczas przechowywania w magazynie.

Proces rejestracji nawozów z inhibitorami jest długotrwały.

### **Inhibitory nitryfikacji**

Działanie inhibitorów nitryfikacji polega na opóźnieniu procesu utleniania formy amonowej ( $\text{NH}_4^+$ ) azotu przez bakterie glebowe *Nitrosomonas* do azotynów, a później do azotanów. Jony amonowe zostają zasorbowane przez koloidy glebowe ograniczając straty azotu w wyniku wymywania form łatwo przemieszczających się w glebie oraz ulatniania form gazowych powstałych w procesie denitryfikacji. Jednocześnie inhibitory nitryfikacji faworyzują pobieranie jonów amonowych, dzięki czemu przekształcanie ich w aminokwasy odbywa się przy niskim zapotrzebowaniu na energię związaną z tym procesem. Pobieranie przez rośliny  $\text{NH}_4^+$  wpływa pozytywnie na syntezę cytokinin oraz giberelin [Pasda i in. 2001]. Dodatkową korzyścią jest wzmożone pobieranie fosforu z gleby. Rośliny pobierając jony amonowe uwalniają do gleby protony ( $\text{H}^+$ ) w celu utrzymania równowagi ładunków w korzeniach. W efekcie, dochodzi do obniżenia pH w ryzosferze, a to poprawia mobilność fosforu. Działanie inhibitora może trwać od czterech do dziesięciu tygodni, w zależności od warunków panujących w warstwie ornej gleby. Dodatkową korzyścią, wynikającą ze stosowania nawozów z inhibitorami nitryfikacji jest niedopuszczenie do nadmiernej akumulacji azotanów w glebie, które pobrane przez rośliny w większych ilościach, mogą stanowić zagrożenie dla zwierząt i ludzi. Ponieważ inhibitory nitryfikacji tłumią aktywność bakterii *Nitrosomonas*, odpowiedzialnych za proces utleniania związków azotu, można je stosować ze wszystkimi nawozami azotowymi mineralnymi a także organicznymi, które posiadają w swoim składzie azot w formie amonowej lub amidowej. Wyniki większości dotychczas przeprowadzonych badań dotyczących stosowania nawozów azotowych zawierających inhibitory nitryfikacji wskazują, że ich aplikacja, w porównaniu z tradycyjnymi nawozami azotowymi czy organicznymi, ma korzystny wpływ na obniżenie strat azotu. Skiba i in. [1993] stwierdzili, że zastosowanie dicyjandiamidu zmniejszyło straty azotu o 92%. Bezpośrednio widocznym efektem ich działania jest zwiększenie wzrostu roślin (poprzez

zwiększenie dostępności N) [Merino i in. 2002]. Efekty stosowania tego typu nawozów są większe na glebach, które są mikrobiologicznie aktywne (wysoka aktywność enzymatyczna) i gdzie ryzyko strat azotu poprzez wypłukiwanie i denitryfikację jest wysokie.

Tabela 1

Wybrane inhibitory nitryfikacji

<i>Nazwa chemiczna</i>	<i>Nazwa handlowa</i>	<i>Producent</i>	<i>Skuteczność po 14 dniach [%]</i>
<i>2-chloro-6-(trichlorometylo) pirydyna</i>	Nitrapiryryna (NP)	Dow Chemical	82
<i>4-amino-1,2,4-6-triazol-HCl</i>	ATC	Ishihada Industries	78
<i>2,4-dwuamino-6-trichloro-metylotriazyna</i>	CI-1580	American Cyannamid	65
<i>dicyjandiamid</i>	DCD	Showa Denko	53
<i>Tiomocznik</i>	TU	Nitto Ryuso	41
<i>1-merkapt-1,2,4-triazol</i>	MT	Nippon	32
<i>2-amino-4-chloro-6-metylo-pirymidyna</i>	AM	Mitsui Toatsu	31
<i>fosforan 3,4-dimetylo-1H-pirazolu</i>	DMPP	BASF	80

Według różnych źródeł liczba wszystkich inhibitorów nitryfikacji wynosi około 64, jednak tylko trzy z nich są wykorzystywane na szeroką skalę. Zaliczają się do nich nitrapiryryna (NP), dicyjandiamid (DCD) i fosforan 3,4-dimetylo-1H-pirazolu (DMPP). Nitrapiryryna, której nazwa handlowa brzmi N-Serve (Dow Agro-Sciences), należy do grupy chlorków organicznych. Występuje w postaci zawiesiny mikrokapsułów, które należy wprowadzić do gleby za pomocą opryskiwacza, w dawce 100–300 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Związek posiada selektywne działanie na bakterie z grupy *Nitrosomonas*, powodując nie tylko osłabienie ich działania przez pewien okres, lecz w niektórych przypadkach doprowadzając do ich śmierci [Min i in. 2005]. Zahamowanie przemiany azotu jest możliwe dzięki blokowaniu miedzi, która jest komponentem oksydazy cytochromowej bakterii *Nitrosomonas*. Rozkład w glebie oraz w roślinach następuje szybko, nie wywierając negatywnego wpływu na rośliny. Degradacja nitrapiryryny w glebie

uzależniona jest w głównej mierze od jej temperatury. W glebie ogrzanej proces ten zachodzi szybciej, dlatego okres aktywności substancji wynosi 6–8 tygodni, natomiast w glebie nieogrzanej aktywność związku obserwowano nawet po 30 tygodniach [Trenkel 2010]. W doświadczeniu Aliego i in. [2008] badano skuteczność stosowania rekomendowanych dawek nitrapiryny i DMP dla klimatu umiarkowanego w warunkach panujących w krajach Morza Arabskiego. Uzyskane wyniki dla obu inhibitorów dowiodły, że skuteczność hamowania procesu nityfikacji w warunkach klimatu gorącego, gdzie temperatura gleby osiąga 35°C, jest niewystarczająca. 16-krotne zwiększenie dawki DMP do wartości 3,6 mg·kg<sup>-1</sup> pozwoliła na uzyskanie 45% skuteczności inhibicji nityfikacji przez dwa tygodnie, natomiast 8-krotne zwiększenie dawki nitrapiryny podniosło skuteczność do 50%. Okres inhibicji przy dawce 8,32 mg·kg<sup>-1</sup> nitrapiryny wyniósł 4 tygodnie. Zwiększanie dawek inhibitorów powodowało wydłużenie okresu ich działania, jednak takie wartości były ekonomicznie nieuzasadnione. Ponadto nieznanym jest wpływ tak wysokich dawek na mikroflorę glebową. Nitrapiryna zapewnia swobodę doboru nawozów zarówno organicznych gnojowica, obornik, pomiot kurzy, pulpa pofermentacyjna z biogazowni oraz mineralnych saletra amonowa, siarczan amonu, mocznik i większą elastyczność w terminach ich stosowania. Umożliwia to ograniczenie kosztów związanych z ilością wjazdów na pole.

Dicyjandiamid jest produktem technicznym, składającym się z nieułatwiającego się cyjanamidu wapnia, wody oraz dwutlenku węgla. Główny składnik dicyjandiamidu, cyjanamid wapnia, wykorzystywany jest do produkcji nawozów azotowych o nazwie Perlka. Jego zaletą jest długotrwałe uwalnianie azotu oraz dostarczanie dużej ilości wapnia do gleby. To co wyróżnia cyjanamid wapnia to silne właściwości fitosanitarne i fitotoksyczne. Swoją fitotoksyczność zawdzięcza dwóm przejściowym produktom hydrolizy, cyjanamidowi i dicyjandiamidowi. Pierwszy z nich występuje w naturze jako allelopatyczna wydzielina korzeni wyki kosmatej [Geddes i in. 2015]. Oba związki są ciałami stałymi, dobrze rozpuszczalnymi w wodzie i łatwo przechodzą do roztworu glebowego, gdzie pozostają do czasu swojego całkowitego rozkładu. Pozostawiają po sobie w glebie jedynie azot (w formie amonowej i azotanowej). Cyjanamid wapnia wykazuje silne działanie fitotoksyczne na kiełkujące w pobliżu powierzchni gleby nasiona i siewki chwastów [Dobrzański i Adamczewski 2008, Matyjaszczyk i Dobrzański 2015]. Mimo silnego działania fitotoksycznego cyjanamidu wapnia, sam dicyjandiamid

jest nieszkodliwy. Charakteryzuje się bardzo dobrą rozpuszczalnością w wodzie [Trenkel 2010]. W wyniku hydrolizy w glebie powstaje najpierw guanidyna, mocznik i na końcu amoniak z  $\text{CO}_2$  [Amberger 2008]. W glebie dicyjandiamid ma działanie bakteriostatyczne, nawet kilkukrotne zastosowanie nie prowadzi do śmierci bakterii. W zależności od ilości zastosowanego azotu, temperatury oraz wilgotności powietrza działanie DCD wynosi od 4 do 10 tygodni. W badaniach przeprowadzonych przez Yanga i in. [2016], stwierdzono dłuższe utrzymanie w glebie jonów  $\text{NH}_4^+$ , przy jednoczesnym wzroście ilości pobranego azotu przez roślinę uprawną. Ilość pobranego N była o 18,1% większa w porównaniu z kontrolą, co przyczyniło się równocześnie do uzyskania wyższych plonów o 6,5% [Yang i in. 2016]. Największym minusem inhibitora nitrifikacji DCD jest konieczność stosowania wysokich dawek, tj. nawet 5–10% DCD do całkowitej zawartości azotu [Woźniak i in. 1999]. W celu zmniejszenia ilości stosowanego preparatu, zaczęto stosować dicyjandiamid w mieszaninie z innymi inhibitorami, w tym między innymi z 3-metylopirazolem (3-MP) oraz 1H-1,2,4-triazolem (TZ) [Weber i in. 2004a]. Nazwa handlowa mieszaniny DCD z TZ nosi nazwę Alzon, a jej stosunek ilościowy wynosi 10:1. Zastosowanie Alzonu wpłynęło pozytywnie na redukcję emisji podtlenku azotu [Weiske i in. 2001], zarówno w warunkach polowych jak i laboratoryjnych [Weber i in. 2004a, Woźniak i in. 1999]. Najlepsze rezultaty stosowania obu inhibitorów uzyskuje się na glebach lekkich z nadmierną ilością wody z opadów atmosferycznych w okresie od 4–8 tygodni od aplikacji [Kumar i in. 2000, Schuster i in. 2005]. Badania laboratoryjne oraz polowe przeprowadzone w Chinach wykazały zwwyżki plonów dla kukurydzy o 12%, dla ryżu o 9%, dla pszenicy o 12%, dla ziemniaków o 22% oraz dla buraka cukrowego o 13% [Woźniak i in. 2001]. Dicyjandiamid poprawia efektywność wykorzystania azotu o 20–30%, co jednocześnie oznacza możliwość zmniejszenia dawki azotu o taką ilość [Brenner 1991]. Stosowanie DCD nie ogranicza się jedynie do nawozów mineralnych. Swoje zastosowanie znajduje również w nawozach organicznych, takich jak gnojówka czy gnojowica. Aplikacja DCD z nawozem organicznym na trwałych użytkach zielonych poprawia jakość oraz wielkość plonu zielonej masy [Moir i in. 2007, Di i Cameron 2007].

Fosforan 3,4-dimetylo-1H-pirazolu (DMPP), który został wprowadzony na rynek w 1999, pod nazwą handlową Entec ulega rozkładowi wolniej niż dicyjandiamid. W trakcie badań legislacyjnych nie wykryto negatywnego wpływu produktu na środowisko oraz roślinę uprawną [Roll 1999]. Również nie wykryto szkodliwych substancji w glebie, w

trakcie rozpadu substancji. DMPP występuje w formie szarego proszku, który jest wykorzystany do spowalniania procesu nityfikacji w mineralnych nawozach azotowych zarówno stałych jak i płynnych, jak również w nawozach organicznych. Skuteczność działania DMPP została stwierdzona już przy dawkach od 0,5 do 1,5 kg·ha<sup>-1</sup>, czyli dziesięciokrotnie mniejszych niż w przypadku DCD [Yang i in. 2016]. W przeciwieństwie do DCD, DMPP nie jest rozpuszczalny w wodzie, dzięki czemu skuteczniej chroni azot przed jego stratami w wyniku wymywania. Rozkład fosforanu 3,4-dimetylo-1H-pirazolu w glebie następuje w wyniku rozpadu pierścienia pirazolowego, który tworzy związek [Fettweis i in. 2001]. Struktura budowy związku jest stabilna, co pozwala na uzyskanie wysokiej efektywności w wyższych temperaturach. Badania przeprowadzone przez Bañulsa i in. [2000] oraz Serna i in. [2000] dowiodły, że w letnie upalne dni DMPP skutecznie powstrzymuje proces nityfikacji, nawet przez kilka tygodni. Z kolei w badaniach przeprowadzonych przez Weiske i in. [2001] udowodniono redukcję emisji nadtlenu azotu o 49%, w porównaniu z 30% uzyskanymi po zastosowaniu DCD.

### **Inhibitory ureazy**

Podczas gdy inhibitory nityfikacji wpływają na proces nityfikacji, inhibitory ureazy hamują czasowo enzymatyczną przemianę formy amidowej azotu dzięki inhibicji enzymu ureazy. Z tego powodu ich przeznaczenie ograniczone jest do stosowania w nawozach azotowych zawierających w swoim składzie formę amidową azotu CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>. W światowym rolnictwie, mocznik jest najszerzej stosowanym nawozem azotowym. Z tego powodu, jego wykorzystanie powinno być jak najbardziej efektywne. Jego główna zaleta to najniższy koszt, w przeliczeniu na 1 kg N, spośród wszystkich nawozów azotowych. Dodatkowo wysoka zawartość azotu (46% N), łatwy transport i aplikacja, zapewniają mu czołową pozycję na światowym rynku nawozów azotowych. Mocznik nie jest jednak „nawozem idealnym”, szczególnie, gdy porównamy go do saletry amonowej lub wapniowej. Główną wadą mocznika są duże straty azotu w wyniku procesu hydrolizy i ulatniania się azotu w formie amoniaku (NH<sub>3</sub>) [Basten i in. 2005]. Wyrażone w procentach w stosunku do zaaplikowanego N, straty te mogą sięgać od 20% [Bundy 2001] aż do 47% [Watson 2005]. Na użytkach zielonych straty te są jeszcze wyższe i mogą dochodzić do ponad 50% ilości zastosowanego amoniaku [Amberger 1996]. Do największych strat amoniaku dochodzi na glebach piaszczystych, o odczynie pH

wyższym niż 7,0, w trakcie przedłużającej się suszy i wysokich temperatur [Basten i in. 2005]. Silnie alkaliczne środowisko przyspiesza proces hydrolizy po wprowadzeniu nawozu do gleby [Bundy 2001]. Aktywność enzymu ureazy rośnie wraz ze wzrostem temperatury, gdy temperatura gleby wynosi 5°C proces hydrolizy trwa około 10 dni, natomiast gdy temperatura wzrośnie do 30°C, hydroliza przebiega w przeciągu 2 dni. Dlatego, jeżeli występują warunki takie jak powyżej, a nawóz nie zostanie wymieszany z glebą, należy liczyć się z dużymi stratami azotu.

Triamid kwasu N-(n-butył) tiofosforowego (NBPT) jest obecnie jedynym komercyjnym inhibitorem ureazy dostępnym na rynku. Substancja występuje w formie cieczy pod nazwą Agrotain i jest uznana za nieszkodliwą dla środowiska, uzyskując zezwolenia wielu państw na jej stosowanie [Trenkel 2010]. W trakcie rozpadu NBPT w glebie powstają związki N, P, S, C i H, które podobnie jak mocznik, mogą być pobierane bezpośrednio przez rośliny. Głównym celem, na który oddziałuje NBPT jest enzym ureaza, który występuje powszechnie w glebie. Właściwości inhibicyjne NBPT związane są z jej pochodną, triamidem kwasu N-(n-butył) fosforowego [Phongpan i in. 1995]. Spowalniając przekształcenie azotu amidowego do jonu amonowego, ograniczane są straty azotu w konsekwencji ulatniania i wymywania. W przypadku ulatniania amoniaku do atmosfery straty zredukowane są od 55 do nawet 80% [Watson 1994]. Jest to szczególnie korzystne na glebach, na których straty amoniaku z zaaplikowanego mocznika są znaczne i gdzie inkorporacja nawozu do gleby jest utrudniona, lub niemożliwa z powodu suszy [Watson 2005]. Najlepszy agronomiczny efekt inhibitora ureazy uzyskano, gdy wraz z mocznikiem zastosowano go na odkrytą powierzchnię gleby, bez późniejszego wymieszania. Dawka substancji uzależniona jest od technologii nawożenia i waha się w przedziale 0,04% do 0,1% [Trenkel 2010]. Natomiast optymalne stężenie NBPT, gwarantujące maksymalną efektywność w większości panujących warunków w Europie wynosi pomiędzy 0,04% i 0,1% [Basten i in. 2005]. Stężenie 0,01% NBPT w warunkach laboratoryjnych okazało się być skuteczne w 50% [Watson 2005]. Wyższe stężenia zastosowanego inhibitora są uzasadnione w bardziej wymagających warunkach glebowych i klimatycznych oraz gdy występuje potrzeba dłuższej inhibicji azotu. NBPT może być stosowane przedsejwnie, przedwschodowo, powschodowo czy też w trakcie wegetacji roślin. Długość działania inhibitora determinowana jest ilością zastosowanej substancji w nawozie. Według Watsona i in. [2008] połowiczny okres rozpadu NBPT na powierzchni gleby wynosi sześć miesięcy. Istnieją różne metody

włączania triamidu kwasu N-(n-butyl) tiofosforowego do nawozów zawierających formę amidową azotu. Proces może odbywać się w trakcie wytwarzania granul, poprzez dodanie NBPT do roztworu lub poprzez powlekanie substancją na powierzchni granul. W przypadku roztworu RSM, substancję z inhibitorem dodaje się bezpośrednio do roztworu. Ważnym zakresem stosowania inhibitorów ureazy są fermy bydła, gdzie odchody bydlęce stanowią główne źródło emisji amoniaku [Leinker i in. 2005]. Zazwyczaj od 60% do 80% azotu z odchodów ulega stracie wskutek ulatniania się amoniaku bądź też wypłukiwania azotanów [Varel i in. 1999]. Ulatnianie amoniaku, pochodzącego z odchodów bydlęcych lub trzody chlewnej, przyczynia się do powstawania odorów, wywiera niekorzystny wpływ na środowisko oraz stanowi stratę cennych substancji odżywczych [Amberger 1996, Watson 2005]. Aplikacja NBPT na użytkach zielonych, zmniejsza ulatnianie się amoniaku w przypadkach powierzchniowego ich zastosowania [Weber i in. 2004b]. Obniżenie poziomu strat azotu oraz redukcja nadmiernej akumulacji tego składnika w strefie korzeniowej przyczyniającej się do toksyczności, wpływa pozytywnie na plonowanie rośliny uprawnej. Badania przeprowadzone przez Cantarellę i in. [2009] wskazały na wzrost plonowania ziarna kukurydzy po zastosowaniu NBPT z mocznikiem o  $0,35 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , tj. 4,98%, w porównaniu z samym mocznikiem. W doświadczeniu Šimka i in. [2012] wykazano, że jesienne stosowanie stabilizowanych nawozów azotowych okazało się bardzo korzystne. Rośliny rzepaku, w których stosowano jesienne nawożenie azotem plonowały wyżej (średnio o  $0,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , tj. o 8,1%). Efektywność stosowania jesienią nawozów azotowych jest wprost proporcjonalna do długości okresu jesiennej wegetacji rzepaku. W przypadku późniejszego nastania spoczynku zimowego roślin rzepaku aplikacja stabilizowanych nawozów azotowych nabiera większego znaczenia dla uzyskania wysokich plonów nasion. Zaletą aplikacji tego typu nawozów jest stopniowe uwalnianie azotu dostępnego dla roślin i jednocześnie obniżenie strat wynikających z jego wymycia w głąb gleby lub ulatniania do atmosfery. Wzrost wielkości plonu może być niewielki, jeśli mocznik wraz z inhibitorem zastosowany jest na glebach bardzo bogatych w azot [Edmeades 2004].

### **Postęp biologiczny w hodowli rzepaku**

Rzepak będący jeszcze 50 lat temu rośliną uprawną o znaczeniu marginalnym, dzięki pracom hodowlanym stał się najważniejszą rośliną oleistą w Polsce oraz jedną z czołowych na świecie. Z uwagi na tak duże znaczenie gospodarcze rzepak był obiektem



intensywnych prac hodowlanych. Momentem przełomowym w badaniach była poprawa składu nasion, która do tej pory była czynnikiem obniżającym wartość odmian tradycyjnych. Z powodu niekorzystnej wartości żywieniowej [Arseniuk i in. 2003] i składu oleju rzepakowego usunięto kwas erukowy (C22:1) oraz znacząco zredukowano poziom glukozyzolanów w nasionach, które obniżały wartość paszową śruty [Bartkowiak-Broda 2004, Arseniuk i Oleksiak 2004].

Wyeliminowanie kwasu erukowego było możliwe dzięki wyselekcjonowaniu linii form bezerukowych z populacji rzepaku pastewnego Liho [Krzymański 1970; Krzymanski i Downey 1969]. Odmiany, które nie zawierały w swoim składzie kwasu erukowego, były nazywane odmianami jednozerowymi „0”. Pierwszą odmianą tego typu w Polsce była odmiana Janpol zarejestrowana w 1976 roku, a kolejnymi Wipol, Start i Beryl [Bartkowiak-Broda 2000]. Kolejnym krokiem w poprawie składu rzepaku było wprowadzenie genów o niskiej zawartości glukozyzolanów pochodzących z rzepaku jarego odmiany Bronowski, który cechował się minimalną ilością szkodliwych związków siarki ( $6-12 \mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Dzięki hodowli rekombinacyjnej uzyskano odmianę Jantar, którą zarejestrowano w 1985 roku. Odmiany pozbawione kwasu erukowego i zawierające niską zawartość glukozyzolanów nazwano podwójnie ulepszonymi lub dwuzerowymi „00”. Nowe odmiany, aby mogły zostać wpisane do Krajowego rejestru muszą spełnić obowiązujący w Polsce próg zawartości sumy glukozyzolanów w nasionach, który wynosi  $13 \mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$  oraz udział kwasu erukowego na poziomie poniżej 1,0%.

Oprócz poprawy cech jakościowych, postęp hodowlany dotyczy również zwiększenia poziomu plonowania. Taką możliwość dało wykorzystanie efektu heterozji w odmianach mieszańcowych, które charakteryzowały się zwiększonym wigorem roślin oraz szybszym rozwojem [Budeiwing i Leon 2003]. Ponadto odmiany heterozyjne cechują się lepszym wykorzystaniem azotu (NUE – nitrogen use efficiency) [Kessel i in. 2013]. W piśmiennictwie istnieje wiele dowodów na znaczne dokonania postępu hodowlanego, umożliwiającego uzyskanie wyższych plonów rzepaku przy zróżnicowanych poziomach nawożenia azotem [Gehring i in. 2007, Kessel i in. 2012, Stahl i in. 2017]. W badaniach przeprowadzonych przez Gehring i in. [2007] oraz Stahla i in. [2019] odmiany heterozyjne odznaczały się wyższym pobraniem azotu oraz dynamiczniejszą akumulacją masy nadziemnej w porównaniu z odmianami populacyjnymi. Różnice te były tym wyższe im wyższe było nawożenie azotem. Dzięki lepszemu pobieraniu azotu oraz jego wykorzystaniu możliwe jest osiągnięcie wyższych plonów nasion. Według różnych

danych średnie plony nasion są wyższe o ok. 10–20% w porównaniu z odmianami populacyjnymi [Grosse i in. 1996; Chaozhi i in. 2003]. Odmiany populacyjne z kolei odznaczają się stabilnym plonowaniem niezależnie od panujących warunków. Pierwsza odmiana heterozyjna Synergy została zarejestrowana we Francji w 1994 roku. Od tego czasu zarówno w całej Europie jak i Polsce zaobserwowano ciągłe zwiększanie rejestracji odmian mieszańcowych. W roku 2020 w Krajowym Rejestrze znajduje się 161 odmian rzepaku ozimego z czego 124 to odmiany mieszańcowe. W roku 2020 na liście odmian zalecanych do uprawy na obszarze województw (LOZ) znajdowało się łącznie 44 odmiany rzepaku ozimego. Zdecydowana większość to odmiany mieszańcowe 37.

Hodowla heterozyjna umożliwia tworzenie odmian o specyficznej odporności i tolerancji na niektóre patogeny. Dotyczy to kiły kapusty, która jest chorobą płodozmianową i powodowana jest przez *Plasmodiophora brassicae* Woronin. W celu zapobieganiu rozpowszechniania się sprawcy tej choroby, należy przede wszystkim działać prewencyjnie [Korbas i in. 2009, Jędrzycka i in. 2013, Perek i in. 2019]. Odmiany są tolerancyjne w stosunku do danego patogena, dlatego można je uprawiać na polach nim zainfekowanych. W przypadku odmian nie zawierających genu tolerancji, obowiązuje kwarantanna związana z tworzeniem się zarodników przetrwalnikowych w glebie, które zachowują swoją aktywność nawet do 8 lat. Powszechna staje się obecność genu odporności na patogeny, m. in. *Rlm7* (sucha zgnilizna kapustnych - *Leptosphaeria maculans* Desm. (Ces. et de Not.) i *Leptosphaeria biglobosa* (Shoemaker et Brun)) oraz TuYV (wirus żółtaczk rzepy - Turnip Yellow Virus). W ochronie roślin przed chwastami istotną rolę odgrywają odmiany zawierające gen tolerancyjny na substancję aktywną imazamoks. Technologia uprawy tego typu odmian nazywana jest Clearfield i jest skuteczna w zwalczaniu uciążliwych samosiewów rzepaku oraz chwastów z rodziny kapustowatych.

Czynnik genetyczny odgrywa istotną rolę w oddziaływaniu na wartość użytkową nasion rzepaku [Tańska i Rotkiewicz 2003]. Hodowla daje możliwości na tworzenie odmian o pożądanym cechach, wprowadzając zmiany genetyczne na poziomie genomu jądrowego i mitochondrialnego. Nowe rekombinacje doprowadziły do zmian cech jakościowych, fenotypu roślin, długości faz fenologicznych, odporności na stesy biotyczne i abiotyczne oraz produktywność rzepaku [Bartkowiak-Broda 2002].

## Reakcja odmian rzepaku na nawożenie azotem

Poprawa plonowania nasion rzepaku przy jednoczesnym obniżeniu negatywnego wpływu na środowisko jest dużym wyzwaniem współczesnego rolnictwa. Wzrost plenności nasion rzepaku stanowi jedną z możliwości podniesienia opłacalności uprawy. Taką możliwość daje hodowla odmian mieszańcowych, które charakteryzują się efektem heterozji w pokoleniu  $F_1$ . Jak podają liczne źródła odmiany heterozyjne charakteryzują się silnym wigorem wiosennym, który wpływa na intensywną rozbudowę rozety nadziemnej [Bartkowiak-Broda 2005]. Dzięki temu roślina jest w stanie zgromadzić więcej wody. Na szybkość gromadzenia wody w tkankach ma wpływ silnie rozbudowany system korzeniowy [Tommei i Evans 1992]. Czynniki te powodują, że odmiany wykazują wysokie zapotrzebowanie na makroelementy, w tym w szczególności azot oraz lepsze jego wykorzystanie [Pei i in. 2010]. Dodatkowo Spychalski i in. [2018] stwierdzili, że odmiana mieszańcowa charakteryzuje się wyższą tolerancją na stropy biotyczne oraz abiotyczne, przypadające w okresie zawiązywania i wypełniania łuszczyń. Dzięki temu odmiany heterozyjne wyróżniają się większą stabilnością plonowania w warunkach niekorzystnych [Budeiwing i Leon 2003, Broniarz i Paczocha 2016]. Warto odnotowania w odniesieniu do cech morfologicznych jest to, że odmiany mieszańcowe wytwarzają mniejszą suchą masę oraz wcześniej tracą liście. Zbyt wczesna utrata liści może negatywnie wpłynąć na plon oraz jego jakość, co związane jest z remobilizacją azotu, czyli wycofywaniem związków azotu ze starszych, zamierających już organów rośliny (m. in. liści) i ich transport do organów młodych, rozwijających.

W doświadczeniu przeprowadzonym przez Koteckiego i in. [2005] nie stwierdzono wpływu czynnika odmianowego rzepaku jarego na różnicowanie plonu nasion przez element nawożenia azotowego. Storer i in. [2018] w swoim doświadczeniu wykazali, różnice pomiędzy odmianami populacyjnymi a mieszańcowymi w optymalnym zapotrzebowaniu w azot. Dla odmian populacyjnych optymalną ilością azotu do wydania plonu na poziomie  $5,15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  było  $245 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ , podczas gdy aby odmiany mieszańcowe wydały plon na poziomie  $5,27 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  potrzebowały  $271 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Na podstawie tych danych obliczono efektywność wykorzystania azotu, który dla odmian populacyjnych wyniósł  $14,5 \text{ kg kg}^{-1}$  oraz  $14,7 \text{ kg kg}^{-1}$  (plon nasion w kg uzyskany przez 1 kg azotu).

### 3. Cel i zakres badań

Celem prowadzonych badań było określenie wpływu wiosennego nawożenia azotowego, nawozami zawierającymi inhibitory nitryfikacji i ureazy w porównaniu do nawozów tradycyjnych, na rozwój, morfologię, plonowanie oraz skład chemiczny odmian rzepaku ozimego.

Szczegółowe cele badań dotyczyły oceny:

1. rozwoju roślin odmian rzepaku ozimego na tle zmiennych warunków pogodowych,
2. zawartości azotu w liściach rzepaku
3. cech morfologicznych i elementów struktury plonu badanych odmian rzepaku,
4. zawartości składników pokarmowych oraz mineralnych w nasionach i śrucie rzepaku,
5. poziomu plonowania odmian oraz wydajności składników pokarmowych,
6. jakościowej nasion rzepaku,

Zakres badań obejmował przeprowadzenie doświadczenia polowego w latach 2014–2017, analizę składu chemicznego oraz wykonanie obliczeń statystycznych zgromadzonego materiału roślinnego.

W hipotezie roboczej założono, że nawozy azotowe zawierające inhibitory nitryfikacji i ureazy, będą wpływały na wzrost i rozwój rzepaku ozimego, co w konsekwencji może wpłynąć na zwiększenie plonu nasion i wydajność składników pokarmowych.

### 4. Metodyka badań

W latach 2014-2017 na wrocławskim osiedlu Pawłowice przeprowadzono doświadczenie polowe, w którym badano reakcję odmian rzepaku ozimego na zróżnicowane nawożenie nawozami azotowymi. Dwuczynnikowe doświadczenie polowe zostało założone w układzie „split-plot”, a wykonane w czterech powtórzeniach.

Badanymi czynnikami były:

1. Odmiany rzepaku ozimego:

- Jimmy
- SY Alister F<sub>1</sub>
- SY Kolumb F<sub>1</sub>

## 2. Rodzaje nawozów azotowych stosowanych wiosną:

- saletra amonowa
- mocznik
- Alzon
- UREAstabil

W dalszej części opracowania odmiana SY Alister F<sub>1</sub> została opisana jako Alister, natomiast odmiana SY Kolumb F<sub>1</sub> jako Kolumb. Alzon określa nawóz azotowy zawierający inhibitor nityfikacji, UREAstabil nawóz azotowy z inhibitorem ureazy. W tekście używano następujących skrótów związanych ze stosowaniem nawozów N; saletra amonowa to N 34, mocznik to N 46 a UREAstabil to UREAs.

Wiosenne nawożenie azotem podzielono na dwie części. W pierwszej aplikacji azotu na wszystkich poletkach zastosowano saletrę amonową w dawce 80 kg·ha<sup>-1</sup> N. Druga dawka N w wysokości 80 kg·ha<sup>-1</sup> została wysiana zgodnie ze schematem doświadczenia. Liczba wariantów doświadczalnych jednego powtórzenia wynosiła 12, natomiast powierzchnia pojedynczego poletka do zbioru była równa 15 m<sup>2</sup> (10 m x 1,5 m).

Każdego roku przed założeniem doświadczenia pobierano próby glebowe, oddzielnie dla każdego powtórzenia. Poddawano je analizom chemicznym w celu oznaczenia zasobności gleby w podstawowe składniki pokarmowe oraz odczynu pH.

Analizy laboratoryjne prób glebowych przeprowadzono w Katedrze Żywienia Roślin Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, wykorzystując następujące metody:

- zawartość fosforu i potasu – metodą Egnera-Riehma,
- zawartość magnezu – metodą Schachtschabela,
- odczyn gleby pH – metodą potencjometryczną w 1 M KCl.

Ocenie morfologicznej jak i analizie laboratoryjnej poddano nasiona rzepaku ozimego. Na 10 losowo wybranych roślinach z każdego poletka określono szereg cech morfologicznych oraz elementy struktury plonu:

- wysokość roślin do wierzchołka pędu głównego,
- wysokość osadzenia I. rozgałęzienia,
- liczby rozgałęzień I. rzędu na roślinie,
- liczby łuszczyń z 1 rośliny.

Ponadto na 20 losowo wybranych łuszczykach pochodzących z pędu głównego oznaczono:

- liczbę nasion w 1 łuszczyce,
- masę nasion z 1 łuszczyki.

W trakcie wegetacji wiosennej pobierano dwukrotnie próbki liści roślin: w fazie początku pąkowania (I termin) oraz pełni kwitnienia (II termin). Odpowiadało to fazom rozwoju BBCH rzepaku ozimego 50–55 oraz 65, zgodnie z wytycznymi Adamczewskiego i Matysiaka [2002]. Próbki roślin stanowiły liście w liczbie 20 sztuk z każdego obiektu. Z każdej kombinacji pobierano 1–2 najmłodsze, ale dobrze wykształcone liście z rośliny. Zebrany materiał został wysuszony temperaturze 60°C oraz zmielony. W tak przygotowanych próbkach roślinnych oznaczano azot ogólny metodą destylacyjną Kjeldahla po uprzedniej mineralizacji ze stężonym H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Po wschodach roślin, po przezimowaniu oraz przed zbiorem rzepaku określono obsadę roślin na 2 m.b., a następnie przeliczono na 1 m<sup>2</sup>. Na podstawie obsady roślin wiosną i jesienią określono zimowanie roślin. Ponadto w czasie wegetacji roślin przeprowadzono obserwacje polowe roślin mające na celu określenie przebiegu poszczególnych faz rozwojowych.

Na 20 losowo pobranych łuszczykach z każdego poletka, pochodzących ze środkowej części pędu głównego oznaczono liczbę i masę nasion z jednej łuszczyki. Po oczyszczeniu nasion i sprowadzeniu wilgotności nasion do wilgotności 9%, określono wielkość plonu oraz masę 1000 nasion. Analizy jakościowe materiału roślinnego wykonano w Laboratorium Katedry Szczegółowej Uprawy Roślin Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu następującymi metodami:

- sucha masa – metodą suszarkowo-wagową w temperaturze 90°C przez 4 h,
- azot ogólny (białko ogółem) – zmodyfikowaną metodą Kjeldahla, w nasionach oznaczono azot ogólny, a następnie przeliczono na białko ogółem stosując współczynnik 6,25,
- włókno surowe – metodą Hennenberga-Stohmanna, przy użyciu aparatu do ekstrakcji Velp,
- popiół surowy – spalanie materiału roślinnego w temperaturze 600°C w piecu elektrycznym,
- tłuszcz surowy – metodą odłuszczonej reszty w aparacie Soxhleta,

- P, Mg – wykonano analizę metodą fotometrii płomieniowej,
- P i Mg – metodą kolorymetryczną na aparacie Spekol 10.

Na podstawie uzyskanych wyników analiz chemicznych wyliczono wydajność z 1 ha tłuszczu surowego, białka ogółem i śruty rzepakowej.

W syntezie trzyletnie wyniki badań poddano analizie wariancji zgodnie z metodyką badań polowych w układzie „split-plot, a istotność różnic między średnimi weryfikowano testem T – studenta za pomocą Najmniejszej Istotnej Różnicy (NIR) na poziomie ufności  $\alpha = 0,05$ .

## 5. Lokalizacja i warunki przyrodnicze

### 5.1. Lokalizacja

Doświadczenie polowe przeprowadzono w Pawłowicach na polach doświadczalnych Katedry Szczegółowej Uprawy Roślin i Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, położonych w odległości 10 km w kierunku północno-wschodnim od centrum Wrocławia. Pola znajdują się na wysokości ok. 122 m n.p.m. długości geograficznej wschodniej 17°02', szerokości geograficznej północnej 51°31' na terenie zlewni rzeka Dobra, prawostronnego dopływu Widawy.

### 5.2. Warunki klimatyczne

Dzielnica Wrocławia Pawłowice położone są w jednym z najcieplejszych rejonów w dolinie środkowej Odry [Sobik 2005]. Wczesnowiosenne prace polowe na tym obszarze można rozpocząć najwcześniej w II dekadzie marca i w zależności od przebiegu warunków wilgotnościowo-termicznych zakończyć na przełomie listopada i grudnia.

Klimat tego regionu charakteryzuje się następującymi cechami:

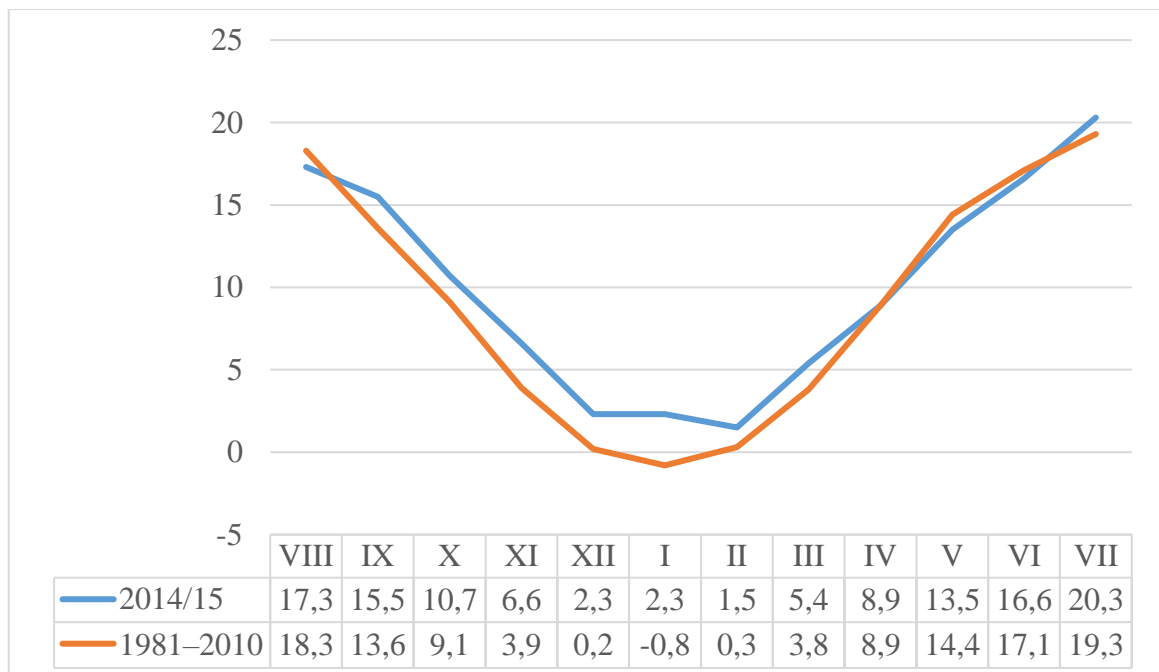
- sezon wegetacyjny rozpoczyna się w III dekadzie marca i trwa przez około 223–230 dni,
- średnia roczna temperatura powietrza wynosi 8,6°C,
- średnia temperatura okresu wegetacji – 15,0°C,
- liczba dni z temperaturą powyżej 15°C – 95
- liczba dni z temperaturą powyżej 0°C – 300,
- roczna suma opadów 500–600 mm,
- suma opadów w okresie wegetacyjnym – 350 mm

Na wykresach 1-5 przedstawiono przebieg warunków termiczno-wilgotnościowych w okresie prowadzenia badań polowych. Dane zestawiono w postaci średnich dekadowych i miesięcznych temperatur powietrza oraz sum opadów na tle średnich z lat 1981–2010. Dane meteorologiczne pochodzą ze stacji meteorologicznej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, znajdującej się w Pawłowicach.

Warunki pogodowe w pierwszym roku badań charakteryzowały się dużą zmiennością w trakcie wegetacji rzepaku. W okresie jesienno-zimowym temperatura powietrza była wyższa w roku badań w porównaniu z temperaturą wielolecia o średnio 2°C jesienią oraz zimą. W trakcie wegetacji jesiennej odnotowano wyższe sumy opadów w sierpniu, wrześniu oraz październiku w roku badań o odpowiednio 13,3 mm, 16,9 mm oraz 27,1 mm. Wiosną temperatury nieznacznie różniły się od temperatur wielolecia. W kwietniu i maju zanotowano niską sumę opadów, szczególnie w II i III dekadzie. Różnice sięgały do 14,7 mm w kwietniu i 29,7 mm w maju, natomiast czerwcowy opad był wyższy o 13,8 mm niż w latach 1981–2010.

Wykres 1

Średnie miesięczne temperatury powietrza (°C) w sezonie wegetacyjnym 2014/2015 na tle wielolecia 1981–2010



Warunki pogodowe w trakcie jesiennej wegetacji w 2015 roku były niesprzyjające dla wzrostu i rozwoju roślin. W sierpniu oraz we wrześniu temperatury były wyższe od średnich z wielolecia odpowiednio o 4,4°C i 1,5°C. Dodatkowo w tych miesiącach a także



w październiku opady były poniżej normy. Szczególnie niskie opady wystąpiły w sierpniu, a suma opadów wyniosła zaledwie 5,6 mm i była aż o 56,1 mm niższa od sumy z wielolecia. We wrześniu odnotowano tylko 23,2 mm, a w październiku 20,0 mm. Dopiero w listopadzie suma opadów przewyższyła średnią z wielolecia (52,4 mm). Pierwsze przymrozki stwierdzono w styczniu, średnia temperatura w tym miesiącu była niższa o -0,4°C od średniej z wielolecia. Średnie sumy opadów były wyższe w styczniu, lutym, marcu oraz kwietniu, natomiast w maju odnotowano najniższą sumę opadów w całym sezonie wegetacyjnym 5,3 mm.

Wykres 2

Średnie miesięczne temperatury powietrza (°C) w sezonie wegetacyjnym 2015/2016 na tle wielolecia 1981–2010



W sezonie wegetacyjnym 2016/2017 w sierpniu odnotowano niższą sumę opadów od wielolecia o 34,6 mm. W listopadzie z kolei zarejestrowano o 51,5 mm deszczu więcej niż w wieloleciu. Średnia temperatura w styczniu była o -2,6°C niższa od średniej z wielolecia, przy również niższym poziomie opadów o 15 mm od sumy z wielolecia. Przebieg pogody podczas wegetacji wiosennej nieznacznie różnił się od pogody z wielolecia. W kwietniu odnotowano wyższe opady o 26,5 mm niż w wieloleciu, również w maju suma opadów przekraczała średnią z wielolecia o 27,2 mm.

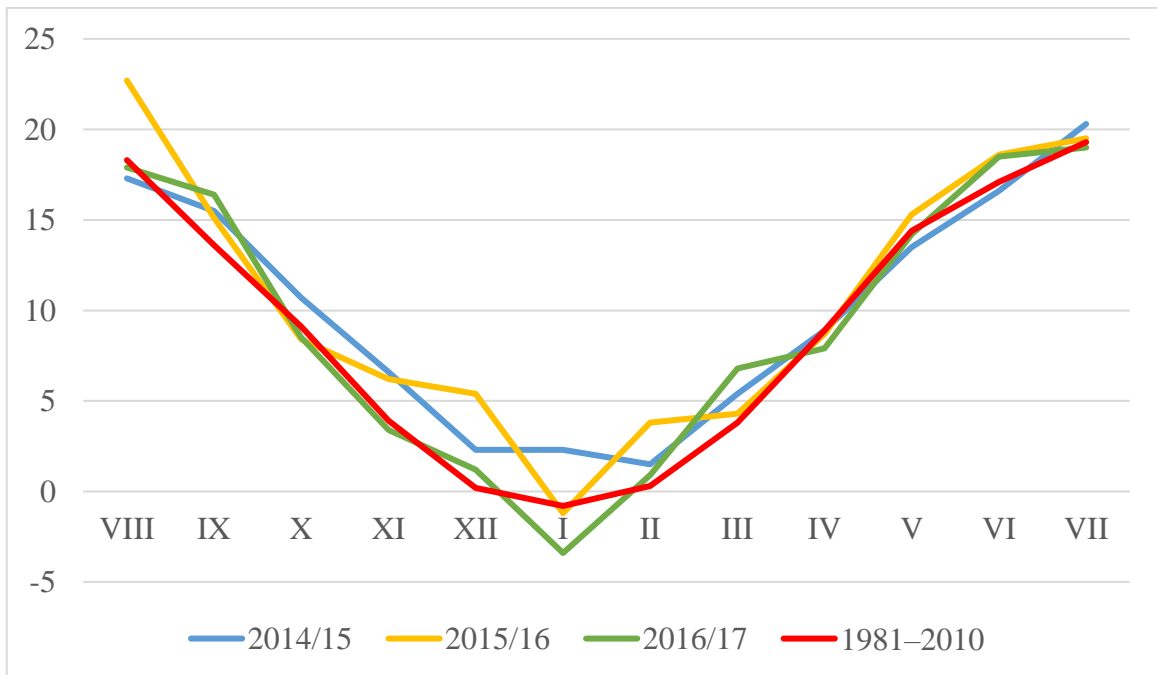
Wykres 3

Średnie miesięczne temperatury powietrza (°C) w sezonie wegetacyjnym 2016/2017 na tle wielolecia 1981–2010

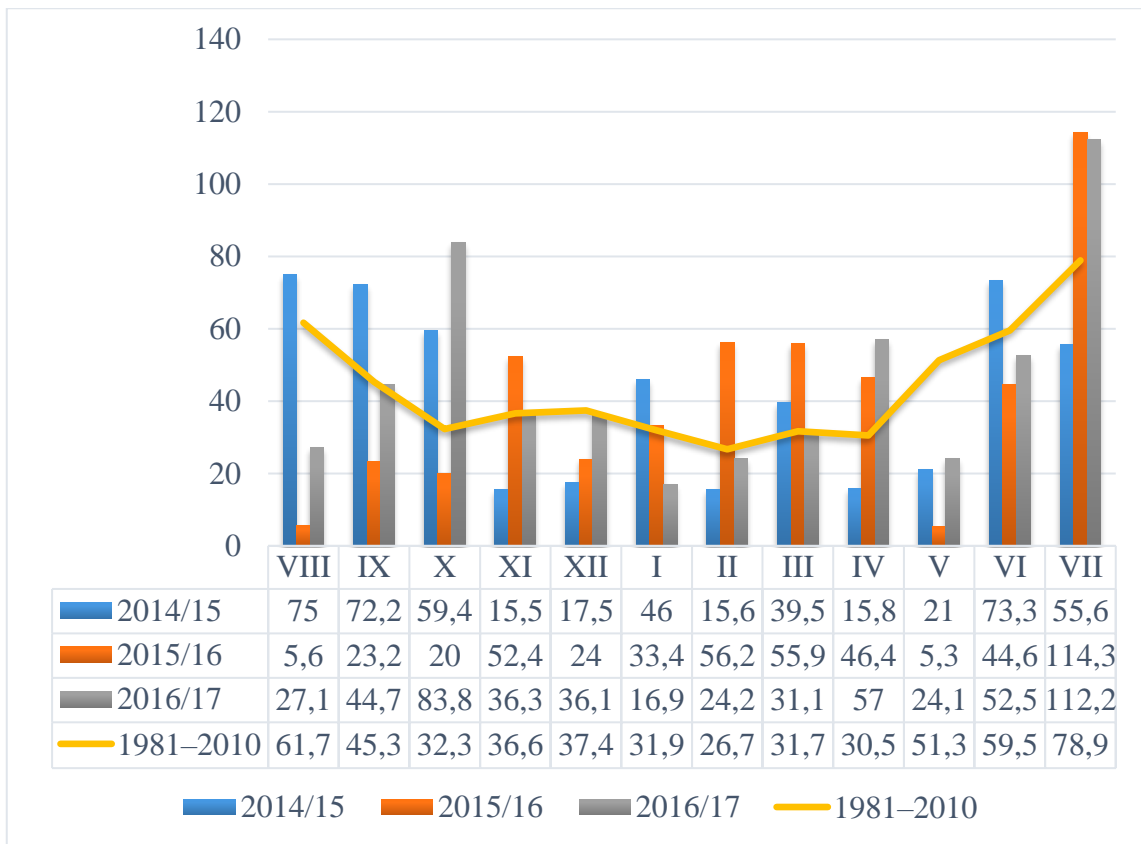


Wykres 4

Średnie miesięczne temperatury powietrza (°C) w latach 2014-2017 na tle wielolecia 1981–2010



Sumy opadów (mm) w latach 2014-2017 na tle wielolecia 1981–2010



### 5.3. Warunki glebowe

Doświadczenia polowe zakładano co roku na glebie należącej do działu gleb autogenicznych, rzędu brunatno-ziemnych, typu płowego, podtypu typowe, wytworzonej z gliny lekkiej na glinie średniej, zaliczanej do kompleksu przydatności rolniczej pszennego dobrego, klasy bonitacyjnej III b [Dobrzański i Zawadzki 1995]. Gleba ta charakteryzuje się dobrymi właściwościami fizycznymi i chemicznymi, a dzięki znacznej miąższości poziomu próchnicznego (30-40 cm) można stosować głębokie orki, bez obawy o wydostanie „martwicy” na jej powierzchnię.

Corocznie przed założeniem doświadczenia pobierano próby glebowe do analiz chemicznych, w których oznaczano zawartość składników pokarmowych P, K, Mg oraz odczyn pH gleby w 1 M KCl.

Tabela 2

Zasobność gleby w makroskładniki ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) oraz pH gleby w latach 2014–2016

Lata badań	P	K	Mg	pH w 1 M KCL
2014/2015	98,8	169	90,9	5,7
2015/2016	117	135	67,4	6,7
2016/2017	235	173	36,4	7,2

Zawartość fosforu we wszystkich latach badań była bardzo wysoka. Zasobność gleby w potas w pierwszym roku badań (2014/2015) była wysoka, a w kolejnych latach średnia. Zawartość magnezu była zróżnicowana we wszystkich latach badań, w pierwszym roku była bardzo wysoka, w drugim – średnia, natomiast w trzecim – niska.

Odczyn gleby w pierwszym roku badań był lekko kwaśny (5,7), natomiast w pozostałych latach badań obojętny (6,7 i 7,2).

#### 5.4. Agrotechnika

Przedplonem dla rzepaku w pierwszym i drugim roku badań była pszenica ozima z hodowli Danko - Ostroga. Cechuje ją późny termin kłoszenia i dojrzewania oraz średnia wysokość i ościstość. W trzecim roku badań przedplonem dla rzepaku było pszenżyto ozime odmiany Maestozo, pochodzące z hodowli Danko. Termin kłoszenia i dojrzewania tej odmiany jest wczesny, a wysokość roślin średnia. Podczas zbioru przedplonu słomę rozdrabniano szarpaczem zamontowanym na kombajnie, a następnie przeprowadzano zespół uprawek poźniowych. W pierwszej kolejności wymieszano resztki poźniwe z glebą na głębokość ok. 8 cm, w celu rozpoczęcia mineralizacji słomy oraz pobudzenia nasion chwastów oraz samosiewów do kiełkowania. Następnie wykonana została orka siewna na głębokość ok. 18 cm, co według Ojczyk i Jankowskiego [1996] pozytywnie wpływa na rozluźnienie warstwy ornej i w konsekwencji przyczynia się do uzyskania wyższych plonów. Uprawę przedsiewną na głębokość 5–7 cm wykonano przed planowanym siewem nasion w celu ograniczenia parowania wody z gleby oraz odpowiedniego spulchnienia gleby. Bezpośrednio przed siewem wysiano nawozy mineralne stosując ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ):

- 40 kg N (mocznik 46%),
- 60 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  (superfosfat potrójny 40%),
- 120 kg  $\text{K}_2\text{O}$  (sól potasowa 60%),
- 30 kg S (Wigor 90%).

Charakterystyka odmian rzepaku ozimego.

**JIMMY** – wczesna odmiana populacyjna o bardzo wysokim potencjale plonowania i dużej zawartości oleju. Bardzo dobra zimotrwałość oraz wysoka zdolność regeneracji po zimie są odzwierciedleniem genotypu atlantycko-kontynentalnego. Odmianę tę charakteryzuje także bardzo dobra odporność na choroby m.in. na zgniliznę twardzikową, suchą zgniliznę kapustnych oraz czerń krzyżowych. Według danych hodowcy optymalny termin siewu w zależności od regionu waha się od 15 sierpnia do 5 września przy obsadzie 60-70 roślin·m<sup>-2</sup>. Odmiana ta została wyhodowana przez austriacką firmę Saatbau.

**SY ALISTER** - .pierwsza zarejestrowana w Polsce (2014 r.) odmiana rzepaku odporna na kiłę kapusty. Wyróżnia się wysoką zimotrwałością dzięki szybkiemu rozwojowi jesiennemu oraz dobrą odpornością na wyleganie. Może być uprawiana na słabych stanowiskach. Charakteryzuje się średnim plonem nasion, średnią zawartością tłuszczu i glukozyolanów w nasionach oraz średnią odpornością na zgniliznę twardzikową, suchą zgniliznę kapustnych i czerń krzyżowych. Odmiana ta została wyhodowana przez szwajcarską firmę Syngenta.

**SY KOLUMB** - mieszańcowa odmiana rzepaku ozimego, zarejestrowana w Polsce w rejestrze COBORU w 2010 roku. Charakteryzuje się bardzo wysokim plonem nasion, wysoką zawartością tłuszczu w nasionach i średnią zawartość białka w suchej masie beztłuszczowej. Dzięki szybkiemu rozwojowi jesiennemu rośliny dobrze zimują z naszych warunkach klimatycznych, przez co można nieco opóźnić siew. Odmiana ta ma niewielkie wymagania glebowe, toleruje również słabsze stanowiska. Jest polecana do uprawy na terenie całego kraju. Ważnymi cechami odmiany są wysoka odporność na czerń krzyżowych oraz średnia odporność na zgniliznę twardzikową i suchą zgniliznę. Odmiana ta została wyhodowana przez szwajcarską firmę Syngenta.

Materiał siewny wykorzystywany w doświadczeniu był kwalifikowany. Wielkość nasion i stopień ich wykształcenia mają wpływ na kiełkowanie oraz dalszy rozwój siewek i plon roślin. W sprzyjających warunkach nasiona, niezależnie od wielkości i stopnia wykształcenia, wydają rośliny jednakowo duże i jednakowo plenne. Natomiast w warunkach niesprzyjających, np. w okresie suszy rośliny wyrosłe z nasion dorodnych dają plony większe i pewniejsze [Grzesiuk i Kulka 1981]. Wartość MTN oraz siły kiełkowania pozwoliły na precyzyjne określenie liczby wysiewu nasion, tak aby uzyskać obsadę

50 roślin·m<sup>-2</sup> odmian mieszańcowych i 60 roślin·m<sup>-2</sup> odmiany populacyjnej. Nasiona umieszczono na głębokość 1 cm, a rozstawa między rzędami wynosiła 30 cm. Powierzchnia pojedynczego poletka wynosiła 15 m<sup>2</sup> (1,5 m szerokości oraz 10 m długości).

Tabela 3

Charakterystyka materiału siewnego odmian rzepaku ozimego

Rok badań	Odmiana	Masa 1000 sztuk (g)	Zdolność kiełkowania (%)
2014/2015	Jimmy	5,31	95,4
	SY Alister	5,43	92,5
	SY Kolomb	5,64	97,0
2015/2016	Jimmy	5,40	95,0
	SY Alister	5,33	95,5
	SY Kolomb	4,53	97,5
2016/2017	Jimmy	5,49	94,7
	SY Alister	4,96	96,3
	SY Kolomb	5,33	96,8

Tabela 4 przedstawia poszczególne zabiegi agrotechniczne wykonane na polach doświadczalnych. Ochronę zasiewów wykonano zgodnie z zasadami integrowanej ochrony roślin w oparciu o preparaty zalecane przez IOR – PIB w Poznaniu. Wszystkie zabiegi przeprowadzono na podstawie lustracji polowych po stwierdzeniu przekroczenia progu ekonomicznej szkodliwości patogena lub szkodnika dla danego gatunku uprawianego w doświadczeniu.

Wybór substancji aktywnych do zwalczania chwastów dwuliściennych był uzależniony od panujących warunków w danym roku. W pierwszym roku badań gleba po siewie była wystarczająco wilgotna, dzięki czemu można było wykonać zabieg odchwaszczania przedwzchodowego, 5 dni po siewie. W drugim oraz trzecim roku siew rzepaku odbywał się w niekorzystnych warunkach, gleba była silnie przesuszona, przez co zabieg odchwaszczania mieszaniną dwóch środków w obu przypadkach wykonano po wschodach roślin. Dodatkowo wykonano zabieg zwalczania chwastów jednoliściennych, w drugim roku głównie samosiewów pszenicy, natomiast w trzecim roku perzu właściwego (*Agropyron repens* L.). W wyniku silnej presji chabra bławatka (*Centaurea cyanus* L.) oraz przytulii czepnej (*Galium aparine* L.) konieczne okazało się ponowne wykonanie zabiegu herbicydowego wiosną w pierwszym oraz trzecim roku badań. W drugim roku badań okazał się niezbędny powtórny jesienny oprysk w celu zwalczania bodziszka drobnego (*Geranium pusillum* L.).

W okresie jesiennym zaobserwowano narastający problem żerowania szkodników na roślinach. Wzrost występowania szkodników dotyczył śmietki kapuścianej (*Delia brassicae* Hoff.), pchełki ziemnej (*Phyllotreta* spp.), mszycy brzoskwińowo-ziemniaczanej (*Myzus persicae*) oraz kapuścianej (*Brevicoryne brassicae* L.). W sezonie 2015/2016 konieczny okazał się zabieg insektycydowy jesienią, natomiast w sezonie 2016/2017 wykonane zostały dwa zabiegi zwalczające szkodniki. W pierwszym roku badań w okresie wiosennym, w fazie pąkowania roślin, konieczne było dwukrotne zwalczanie słodyszka rzepakowego (*Meligethes aeneus* F.).

Zabiegi fungicydowe w rzepaku opierały się głównie na ochronie roślin przed zgnilizną twardzikową (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary) oraz chorobami łuszczynowymi (czerń krzyżowych – *Alternaria* spp., szara pleśń – *Botrytis cinerea* Pers.). W drugim roku w fazie pąkowania zastosowano tebukonazol w celu ograniczenia porażenia roślin przez suchą zgniliznę (*Phoma lingam* (Tode ex Fr.) Desm.).

Tabela 4

Zestawienie terminów wykonania zabiegów agrotechnicznych

Wyszczególnienie	2014/2015	2015/2016	2016/2017
Przedplon	pszenica ozima	pszenica ozima	pszenżyto ozime
Zbiór przedplonu	10.08.2014	4.08.2015	6.08.2016
Uprawa poźniwna	12.08.2014	5.08.2015	12.08.2016
Orka zimowa	19.08.2014	17.08.2015	22.08.2016
Agregat uprawowy	22.08.2014	24.08.2015	24.08.2016
Nawożenie przedsiewne (N, P, K, S)	22.08.2014	24.08.2015	24.08.2016
Siew	25.08.2014	25.08.2015	25.08.2016
Nawożenie wiosenne N:			
I dawka	11.03.2015	14.03.16	8.03.2017
II dawka	9.04.2015	7.04.2016	30.03.2017
Zbiór	24.07.2015	11.07.2016	22.07.2017
zabiegi ochrony roślin wykonywane w sezonie wegetacyjnym			
Herbicydy:			
Butisan Star Max 500 SE 2,5 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	30.08.2014	-	-
Galera 334 SL 0,35 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	19.03.2015	-	27.03.2017
Metazanex 500 SC 1,25 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	-	5.10.2015	-
Navigator 360 SL 0,25 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	-	5.10.2015	13.09.2016
Butisan 400 SC 1,5 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	-	-	13.09.2016
Leopard Extra 05 EC 0,7 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	-	28.10.2015	-
3,0 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	-	-	20.09.2016
Salsa 75 WG 25 g·ha <sup>-1</sup>	-	29.10.2015	-
Insektycydy:			
Sherpa 100 EC 0,3 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	-	28.10.2015	15.09.2016
Decis Mega 50 EW 0,15 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	-	-	28.09.2017
Proteus 110 OD 0,6 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	10.04.2015	5.04.2016	13.04.2017
Mavrik 240 EW 0,2 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	24.04.2015	-	-
Mospilan 20 SP 0,12 kg·ha <sup>-1</sup>	7.05.2015	9.05.2016	22.05.2017
Fungicydy:			
Horizon 250 EW 1 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	-	8.04.2016	-
Pictor 400 SC 0,5 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	7.05.2015	-	-
Zamir 400 EW 1,0 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	-	9.05.2016	-
Amistar Xtra 280 EC 1,0 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	-	-	22.05.2017
Nawożenie dolistne:			
Fortestim gamma 7 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	10.04.2015	8.04.2016	13.04.2017



## 6. Rozwój roślin

Warunki wilgotnościowo–termiczne były zróżnicowane w poszczególnych latach i miały znaczący wpływ na przebieg wegetacji i plonowanie rośliny uprawnej. Różnice w rozwoju pomiędzy odmianami były nieznaczne, bądź nie występowały w ogóle, dlatego w tabeli zostały podane uśrednione wyniki wszystkich odmian w poszczególnych sezonach wegetacyjnych.

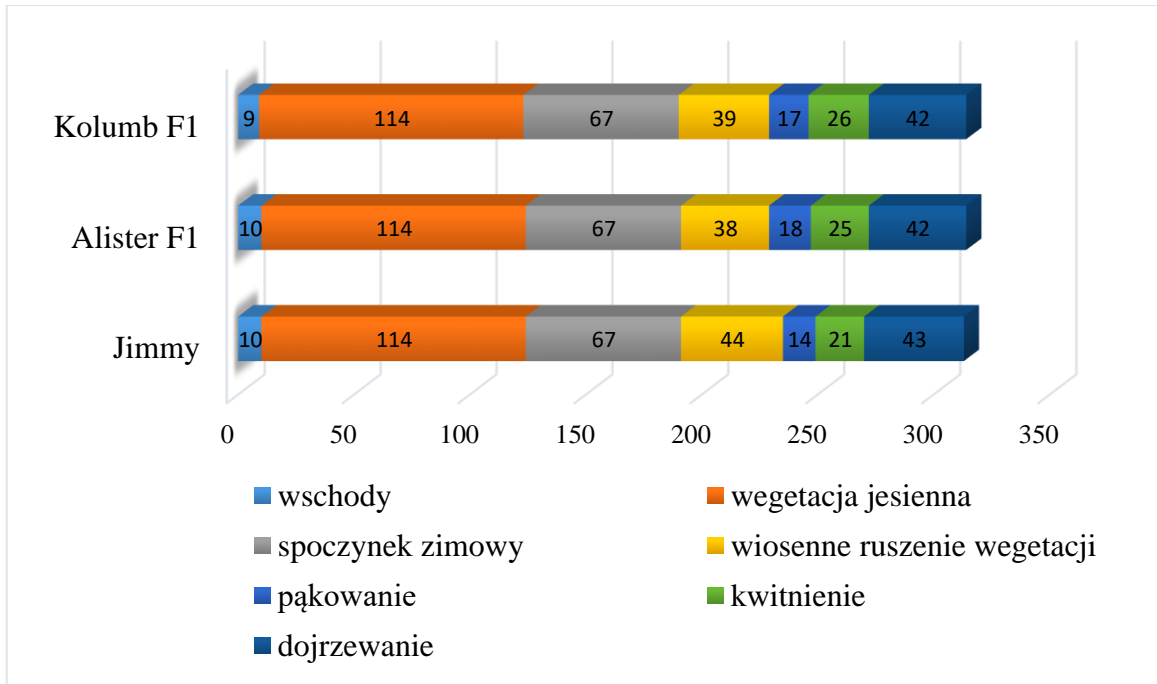
Siew rzepaku we wszystkich latach badań wykonano w terminie odpowiednim dla południowo-zachodniej części Polski, tj. w III dekadzie sierpnia. Według Ladek i Wałkowskiego [2000] opóźnienie siewu o 10 dni od optymalnego terminu agrotechnicznego pogarsza połowę zdolność kiełkowania, czego następstwem jest istotny spadek plonu nasion rzepaku. Optymalna temperatura powietrza oraz odpowiednia wilgotność gleby w pierwszym roku badań pozwoliły na szybkie oraz równomierne wschody, które wystąpiły 9 dni po siewie. Długa wegetacja jesienna umożliwiła roślinom wytworzenie 10. liści właściwych przed zahamowaniem wegetacji. Sucha gleba oraz wysoka temperatura powietrza w sierpniu i wrześniu spowodowały w drugim roku badań opóźnienie wschodów o 7 dni oraz ich nierównomierność. Niedobór opadów trwał do listopada, jednak mimo to rośliny zdołały wytworzyć do momentu zahamowania wegetacji 9–10 liści właściwych. W trzecim roku od momentu siewu do wschodów roślin upłynęło 13 dni, ponieważ nasiona zostały wysiane w mocno wysuszoną glebę. Intensywne opady we wrześniu oraz październiku spowodowały wolniejszy niż w poprzednich latach rozwój roślin i pojawianie się kolejnych faz rozwojowych. Rośliny wykształciły w tym okresie 7–8 liści właściwych. Stosunkowo ciepła i sucha zima nie spowodowała dużych strat w obsadzie roślin w żadnym z badanych sezonów. Wiosenna wegetacja w pierwszym oraz trzecim roku badań rozpoczęła się z początkiem marca, natomiast w drugim roku wznowienie wegetacji przypadło na początek II dekady marca. Faza pąkowania we wszystkich doświadczeniach przypadła na koniec I dekady kwietnia, natomiast kwitnienie rozpoczęło się po ok. 2 tygodniach od tego momentu. Długość okresu kwitnienia w pierwszy roku wynosiła 20 dni, w drugim 23 a w trzecim roku 24 dni. Wpływ na to mogły mieć kwietniowe obfite opady deszczu w drugim oraz trzecim roku prowadzenia doświadczenia, podczas gdy w pierwszym roku kwiecień był suchy w porównaniu do wielolecia. Najszybciej rozwijały się rośliny rzepaku w drugim roku prowadzenia doświadczenia i osiągnęły pełną dojrzałość pod koniec I dekady lipca.

Dojrzałość pełna w pierwszym roku badań nastąpiła 9 dni później, a w drugim roku badań dziesięć dni później.

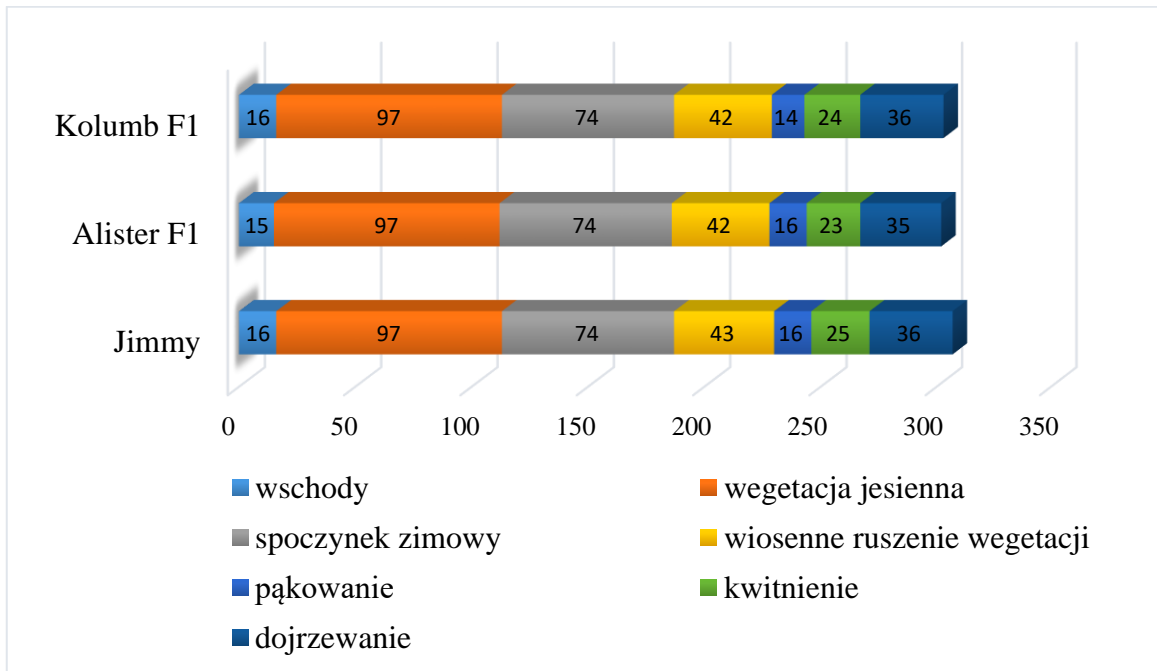
Tabela 5

Daty występowania poszczególnych faz rozwojowych rzepaku ozimego w latach 2014–2017

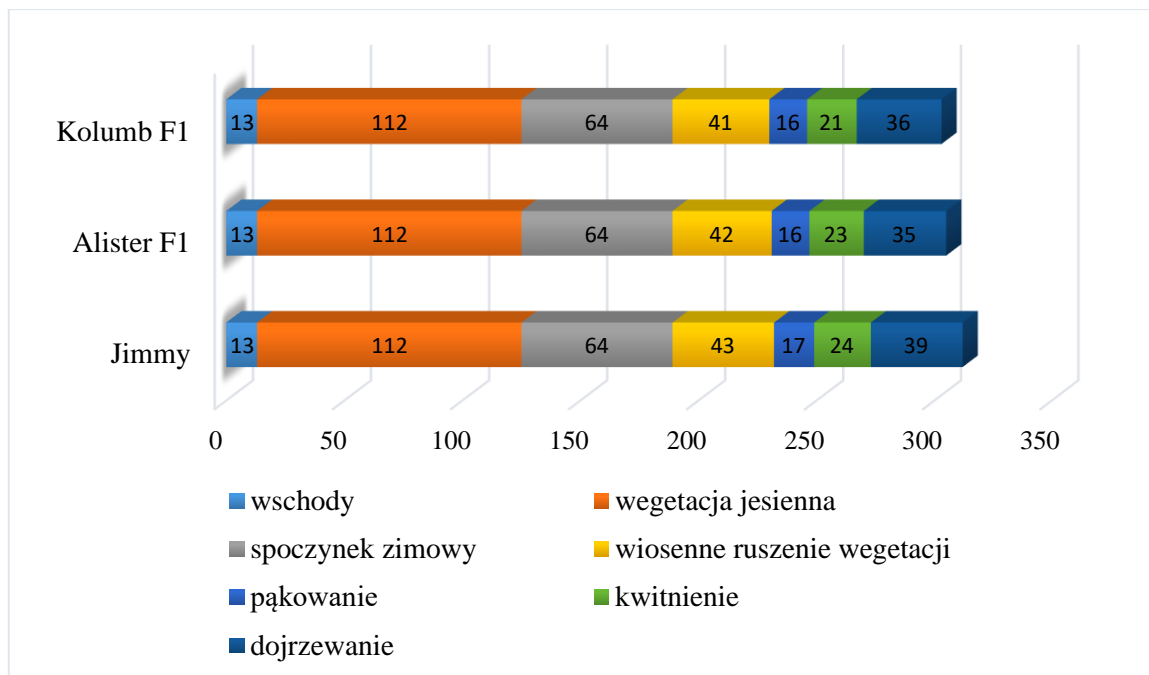
Faza rozwojowa	Skala BBCH	Data początku fazy	Liczba dni od siewu	Data początku fazy	Liczba dni od siewu	Data początku fazy	Liczba dni od siewu
siew nasion	0	25.08.2014	-	25.08.2015	-	25.08.2016	-
wschody	10	3.09.2014	9	10.09.2015	16	7.09.2016	13
3-4 liście	13-14	3.10.2014	39	9.10.2015	45	8.10.2016	44
5-6 liści	15-16	4.11.2014	71	29.10.2015	65	7.11.2016	74
7-8 liści	17-18	18.11.2014	85	20.11.2015	87	9.12.2016	106
jesienna zahamowanie wegetacji	-	27.12.2014	124	11.12.2015	108	28.12.2016	125
wiosenne ruszenie wegetacji	-	1.03.2015	188	11.03.2016	182	2.03.2017	189
pąkowanie	52	10.04.2015	228	7.04.2016	225	8.04.2017	226
początek kwitnienia	61	24.04.2015	242	23.04.2016	241	20.04.2017	238
koniec kwitnienia	69	14.05.2015	262	16.05.2016	264	14.05.2017	262
dojrzałość zielona	80	4.06.2015	283	4.06.2016	281	9.06.2017	286
dojrzałość techniczna	84	8.07.2015	317	1.07.2016	310	11.07.2017	320
dojrzałość pełna	89	17.07.2015	326	8.07.2016	317	18.07.2017	325
Zbiór	99	21.07.2015	330	11.07.2016	320	31.07.2017	340



Rys. 2. Ważniejsze fazy rozwojowe rzepaku ozimego w sezonie wegetacyjnym 2014/2015



Rys. 3. Ważniejsze fazy rozwojowe rzepaku ozimego w sezonie wegetacyjnym 2015/2016



Rys. 4. Ważniejsze fazy rozwojowe rzepaku ozimego w sezonie wegetacyjnym 2016/2017

## 7. Wyniki badań

### 7.1. Obsada roślin na jednostce powierzchni

Liczba roślin rzepaku ozimego kształtowała się pod wpływem czynnika odmianowego oraz zróżnicowanego przebiegu pogody w latach badań. Nie stwierdzono wpływu stosowania zróżnicowanego systemu nawożenia wiosennego azotem w odniesieniu do liczby roślin rzepaku przed zbiorem. Podobnie nie stwierdzono interakcji badanych odmian i nawożenia wiosennego azotem.

Na powierzchni 1 m<sup>2</sup> wysiewano 50 nasion odmian mieszańcowych oraz 60 odmiany populacyjnej. Większa obsada roślin z agronomicznego punktu widzenia jest nieuzasadniona, ponieważ rośliny w późniejszym okresie wegetacji konkurują między sobą wynosząc zbyt wysoko stożek wzrostu i ograniczają liczbę rozgałęzień bocznych. Ponadto odpowiednia obsada pozwala na osiągnięcie optymalnego pokroju rośliny, który jest niezbędny dla dobrego przezimowania. Rzepak powinien wytworzyć rozetę składającą się z 8-10 liści, z nisko umieszczonym stożkiem wzrostu, z szyjką korzeniową o grubości powyżej 5 mm i suchą masą nadziemnej części rośliny powyżej 1,5 g [Muśnicki 1989]. Ilość wysiewu nasion rzepaku decyduje także o opłacalności uprawy [Święcicki i in. 2011, Kwiatkowski 2012].

Stwierdzono, że w wieloleciu czynnik odmianowy miał istotny wpływ na obsadę roślin po ruszeniu wegetacji, przy czym zimotrwałość wyrażona w procentach była na podobnym poziomie dla wszystkich odmian i wynosiła ok. 90%. Największy ubytek roślin w okresie wiosennej wegetacji aż do momentu zbioru, odnotowano dla odmiany populacyjnej (9,4%), natomiast dla odmian mieszańcowych ubytek wyniósł 7%.

Liczba roślin rzepaku na 1 m<sup>2</sup> wiosną po ruszeniu wegetacji oraz przed zbiorem istotnie były różnicowane w latach badań, co świadczy o dużym wpływie warunków pogodowych. W stosunku do badanych lat najlepsze wschody uzyskano w pierwszym roku badań. Przyczyniła się do tego wysoka wilgotność gleby oraz optymalne warunki termiczne. W drugim oraz trzecim roku badań gleba w momencie siewu cechowała się niską zawartością wody co miało bezpośrednie przełożenie na słabe wschody roślin. Warunki termiczno-wilgotnościowe były najmniej korzystne w pierwszym roku badań. Wpłynęło to istotnie na obniżenie liczby roślin na 1 m<sup>2</sup> przed zbiorem.

Ze względu na to, że nawozy azotowe stosowano wiosną w tabeli nie podano liczba roślin po wschodach na 1 m<sup>2</sup>, po ruszeniu wegetacji na 1 m<sup>2</sup> oraz roślin zimujących.

Tabela 6

Liczba roślin rzepaku w czasie wegetacji oraz % roślin zimujących  
(średnie dla czynników)

Odmiany	Nawozy azotowe	Liczba roślin po wschodach na 1 m <sup>2</sup>	Liczba roślin po ruszeniu wegetacji na 1 m <sup>2</sup>	Liczba roślin przed zbiorem na 1 m <sup>2</sup>	% roślin zimujących
Jimmy		58	52	48	88,8
Alister		48	43	40	89,5
Kolumb		48	43	40	89,2
NIR ( $\alpha=0,05$ )		2	2	2	r.n.
	N 34	-	-	43	-
	N 46	-	-	42	-
	ALZON	-	-	42	-
	UREAs	-	-	43	-
NIR ( $\alpha=0,05$ )		-	-	r.n.	-
Lata	2014/2015	55	48	44	86,9
	2015/2016	50	45	42	90,0
	2016/2017	49	43	40	90,5
NIR ( $\alpha=0,05$ )		2	2	2	1,5

## 7.2. Zawartość azotu w liściach

Poprzez zawartość azotu w liściach można określić aktualny poziom odżywienia roślin danym składnikiem co w dalszej perspektywie może pomóc w określeniu potencjału plonowania danej plantacji. Zawartość azotu w roślinie różnicowała się istotnie w latach badań. W sezonie 2015/2016 w okresie pąkowania rośliny były najlepiej zaopatrzone w dany pierwiastek, natomiast najgorzej w latach 2014/2015. Duży wpływ na daną sytuację miał rozkład opadów w okresie wiosennym. Kwietniowe opady deszczu w latach 2015/2016 oraz 2016/2017 znacznie przewyższały średni opad z wielolecia. Dobre uwilgotnienie gleby pozwoliło na szybsze rozpuszczenie granuli nawozu oraz przedostanie się pierwiastka do roztworu glebowego skąd był on dostępny bezpośrednio dla roślin. Trend zawartości azotu w roślinie utrzymywała się do fazy kwitnienia roślin. Odpowiednio jak w pierwszej fazie najwięcej azotu znajdowało się w roślinach w sezonie 2015/2016, natomiast najmniej w sezonie 2014/2015.

Czynnik odmianowy miał istotny wpływ na zawartość azotu w liściach w fazie kwitnienia. Najwięcej azotu uzyskano w przypadku odmiany mieszańcowej Alister. Najniższą wartość uzyskano dla innej odmiany heterozyjnej Kolumb.

Tabela 7

Zawartość azotu w liściach [ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]  
(średnie dla czynników i lat)

Odmiany	Nawozy azotowe	Faza pąkowania (BBCH 55-57)	Faza kwitnienia (BBCH 67)
Jimmy		56,0	39,7
Alister		57,3	40,2
Kolumb		57,4	36,7
NIR ( $\alpha=0,05$ )		r.n.	2,0
	N 34	56,8	39,1
	N 46	56,8	38,1
	ALZON	56,1	38,7
	UREAs	57,9	39,6
NIR ( $\alpha=0,05$ )		r.n.	r.n.
Lata	2014/2015	41,2	29,1
	2015/2016	68,3	45,0
	2016/2017	61,2	42,5
NIR ( $\alpha=0,05$ )		1,7	2,0

Ponieważ czynnik nawozowy nie miał istotnego wpływu na koncentrację azotu w roślinie, również współdziałanie badanych czynników tj. odmian i nawozu nie miało istotnego wpływu na zawartość azotu w liściach.

### 7.3.Cechy morfologiczne rzepaku ozimego

Zmienne warunki termiczno-wilgotnościowe w poszczególnych latach badań istotnie wpłynęły na wszystkie oceniane cechy morfologiczne rzepaku. Wysokość roślin oraz wysokość do pierwszego rozgałęzienia była największa w pierwszym roku badań (126 i 33,4 cm), natomiast najniższe rośliny uzyskano w drugim roku badań (119 cm), a najniżej osadzone I. rozgałęzienie (20,8 cm) w trzecim roku badań. W ostatnim roku badań otrzymano również największą liczbę rozgałęzień pierwszego rzędu (6,3) (tab. 8).

W stosunku do zastosowanej kombinacji nawożenia wiosennego azotem nie stwierdzono istotnego wpływu na badane właściwości. Wysokość roślin przed zbiorem i wysokość do pierwszego rozgałęzienia zależała od właściwości odmian. Odmiana populacyjna Jimmy w porównaniu z pozostałymi odmianami wykształciła najdłuższy pęd (126 cm) przy najniżej osadzonym pierwszym rozgałęzieniu (25,6 cm), natomiast najwyższe pierwsze rozgałęzienie było umieszczone na roślinach odmiany Kolumb (33,8 cm) (tab. 8).

Tabela 8

Cechy morfologiczne rzepaku ozimego przed zbiorem  
(średnie dla czynników i lat)

Odmiany	Nawozy azotowe	Wysokość roślin przed zbiorem (cm)	Wysokość do I. rozgałęzienia (cm)	Liczba rozgałęzień I. rzędu
Jimmy		126	25,6	5,5
Alister		119	26,1	5,6
Kolumb		124	33,8	5,7
NIR ( $\alpha=0,05$ )		3	1,9	r.n.
	N 34	122	28,2	5,6
	N 46	123	28,4	5,5
	ALZON	123	28,6	5,6
	UREAs	123	28,8	5,7
NIR ( $\alpha=0,05$ )		r.n.	r.n.	r.n.
Lata	2014/2015	126	33,4	4,9
	2015/2016	119	31,3	5,6
	2016/2017	124	20,8	6,3
NIR ( $\alpha=0,05$ )		3	1,9	0,2

W przypadku współdziałania czynników (odmiany oraz rodzaj zastosowanego nawozu) nie wykazano w doświadczeniu zależności pomiędzy badanymi czynnikami dla wszystkich badanych cech morfologicznych roślin.

Oddziaływanie warunków pogodowych w poszczególnych latach badań z odmianami miało pozytywny wpływ na wysokość roślin oraz na wysokość osadzenia I. rozgałęzienia. Odmiany mieszańcowe dzięki silnemu wigorowi wiosennemu tworzyły rośliny wyższe niż odmiana populacyjna. Wraz z wysokością roślin wysokość I. rozgałęzienia była również najwyższa. Nie odnotowano statystycznie istotnych różnic w przypadku danej korelacji dla liczby rozgałęzień I. rzędu (tab.9).



Tabela 9

Cechy morfologiczne rzepaku ozimego przed zbiorem  
(średnie dla współdziałania lat z odmianami)

Lata	Odmiany	Wysokość roślin przed zbiorem (cm)	Wysokość do I. rozgałęzienia (cm)	Liczba rozgałęzień I. rzędu
2014/2015	Jimmy	121	29,2	4,8
	Alister	126	30,5	4,9
	Kolumb	129	40,5	5,1
2015/2016	Jimmy	112	27,8	5,7
	Alister	115	28,8	5,5
	Kolumb	129	37,3	5,5
2016/2017	Jimmy	121	19,7	6,0
	Alister	123	20,0	6,2
	Kolumb	129	23,7	6,6
NIR ( $\alpha=0,05$ )		5	3,4	r.n.

W badaniach wykazano współdziałanie lat badań z rodzajem zastosowanego azotu dla wysokości roślin przed zbiorem (tab. 10). W pierwszym roku badan najwyższe rośliny uzyskano po zastosowaniu mocznika (128 cm). W kolejnych latach najwyższe rośliny uzyskano odpowiednio dla nawozu (UREAs 124) cm oraz Alzonu (127 cm). Saletra amonowa nie przyczyniła się do wytworzenia najwyższych roślin. W odniesieniu do elementów struktury plonu nie wykazano współdziałania warunków pogodowych oraz czynnika genetycznego na wysokość do I. rozgałęzienia oraz liczbę rozgałęzień I. rzędu.

Tabela 10

Cechy morfologiczne rzepaku ozimego przed zbiorem  
(średnie dla współdziałania lat z nawożeniem)

Odmiany	Nawozy azotowe	Wysokość roślin przed zbiorem (cm)	Wysokość do I. rozgałęzienia (cm)	Liczba rozgałęzień I. rzędu
2014/2015	N 34	125	34,0	4,8
	N 46	128	32,6	4,9
	ALZON	124	33,6	4,9
	UREAs	126	33,3	5,0
2015/2016	N 34	117	31,2	5,6
	N 46	118	31,5	5,5
	ALZON	119	31,1	5,5
	UREAs	121	31,3	5,7
2016/2017	N 34	124	19,3	6,3
	N 46	123	21,1	6,1
	ALZON	127	21,1	6,3
	UREAs	122	21,7	6,3
NIR ( $\alpha=0,05$ )		5	r.n.	r.n.

#### 7.4. Elementy struktury plonu

Elementy struktury plonu kształtował czynnik odmianowy, rodzaj nawozu oraz zmienne warunki w latach prowadzonego doświadczenia (tab. 11). Czynnik genetyczny różnicował liczbę łuszczyń na roślinie, masę nasion w łuszczyńce oraz masę 1000 nasion. Odmiana Alister charakteryzowała się największymi wartościami we wszystkich badanych cechach. Odmiana populacyjna Jimmy na jednej roślinie wytworzyła najmniejszą liczbę łuszczyń, które zawierały najmniej nasion o najmniejszej masie 1000 nasion. Czynnik nawozowy pozytywnie wpłynął jedynie na liczbę łuszczyń na roślinie. Najwięcej łuszczyń uzyskano po zastosowaniu saletry amonowej, natomiast najmniej po zastosowaniu mocznika i mocznika z NBPT. Warunki klimatyczne istotnie kształtowały wszystkie badane cechy. W trzyletnim cyklu badań najwyższą liczbę łuszczyń na roślinie uzyskano w roku 2015/2016. Dla pozostałych cech tj. liczby nasion w łuszczyńce, masy nasion w łuszczyńce oraz masy 1000 nasion najwyższe wartości uzyskano w sezonie 2014/2015 (tab. 11).

Tabela 11

Elementy struktury plonu (średnie dla czynników i lat)

Odmiany	Nawozy azotowe	Liczba łuszczyń na roślinie	Liczba nasion w łuszczyńce	Masa nasion w 1 łuszczyńce (mg)	Masa 1000 nasion (g)
Jimmy		93	22,2	101	5,05
Alister		102	22,3	111	5,56
Kolumb		97	22,2	109	5,46
NIR ( $\alpha=0,05$ )		2	r.n.	3	0,14
	N 34	101	22,2	107	5,36
	N 46	96	22,4	108	5,35
	ALZON	97	22,3	107	5,34
	UREAs	96	22,0	106	5,37
NIR ( $\alpha=0,05$ )		3	r.n.	r.n.	r.n.
Lata	2014/2015	85	23,3	126	6,08
	2015/2016	121	22,0	98	4,95
	2016/2017	87	21,5	97	5,03
NIR ( $\alpha=0,05$ )		2	0,4	3	0,14

W odniesieniu do elementów struktury plonu wykazano współdziałanie warunków pogodowych w poszczególnych latach oraz czynnika genetycznego odmian na liczbę nasion w łuszczyńce (tab. 12). Najwięcej nasion w łuszczyńce uzyskano u odmian

mieszańcowych. Wpływ na to mógł mieć intensywny wigor wiosenny odmian mieszańcowych, dzięki czemu roślina mogła wytworzyć więcej łuszczyń na roślinie.

W przypadku współdziałania czynników (lata badań oraz odmian) nie wykazano w doświadczeniu zależności pomiędzy badanymi czynnikami dla liczby nasion w łuszczyń, masy nasion w 1 łuszczyń oraz masy 1000 nasion (tab. 12).

Tabela 12

Elementy struktury plonu (średnie dla współdziałania lat z odmianami)

Lata	Odmiany	Liczba łuszczyń na roślinie	Liczba nasion w łuszczyń	Masa nasion w 1 łuszczyń (mg)	Masa 1000 nasion (g)
2014/2015	Jimmy	82	23,0	123	5,94
	Alister	84	23,2	127	6,20
	Kolumb	88	23,6	127	6,10
2015/2016	Jimmy	113	22,0	91	4,56
	Alister	129	22,4	104	5,17
	Kolumb	120	21,4	99	5,12
2016/2017	Jimmy	84	21,5	90	4,64
	Alister	91	21,3	102	5,32
	Kolumb	84	21,6	100	5,15
NIR ( $\alpha=0,05$ )		4	r.n.	r.n.	r.n.

#### 7.4. Skład mineralny nasion rzepaku ozimego

Właściwości genetyczne odmian rzepaku oraz warunki wilgotnościowo–termiczne kształtowały zawartość P, K Ca i Mg w nasionach. Spośród ocenianych odmian nasiona odmiany populacyjnej Jimmy zawierały istotnie najwięcej fosforu oraz magnezu. Natomiast największa koncentracja potasu została odnotowana u odmiany Alister, a wapnia u odmiany Kolumb. Przebieg warunków pogodowych w okresie wegetacji rzepaku w latach 2014/2015 był najkorzystniejszy dla gromadzenia się w nasionach wszystkich analizowanych makroskładników.

Rodzaj zastosowanego nawozu nie miał istotnego wpływu na zawartość żadnego z badanych pierwiastków, co może świadczyć o braku wpływu azotu na kształtowanie składu mineralnego nasion rzepaku.

Tabela 13

Skład mineralny nasion rzepaku [ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]  
(średnie dla czynników i lat)

Odmiany	Nawozy azotowe	P	K	Mg	Ca
Jimmy		5,74	4,41	2,78	1,35
Alister		5,51	4,73	2,51	1,22
Kolumb		5,39	4,53	2,62	1,38
NIR ( $\alpha=0,05$ )		0,13	0,07	0,19	0,10
	N 34	5,53	4,54	2,75	1,34
	N 46	5,56	4,56	2,60	1,34
	ALZON	5,57	4,60	2,59	1,28
	UREAs	5,52	4,53	2,61	1,31
NIR ( $\alpha=0,05$ )		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
Lata	2014/2015	6,18	6,23	4,04	2,65
	2015/2016	4,97	3,87	1,92	0,47
	2016/2017	5,50	3,57	1,96	0,83
NIR ( $\alpha=0,05$ )		0,13	0,07	0,19	0,10

Współdziałanie warunków atmosferycznych oraz czynnika odmianowego miało istotne znaczenie w kształtowaniu zawartości potasu oraz wapnia w nasionach rzepaku (tab. 14). Najkorzystniejsze warunki na gromadzenie dla obu składników pokarmowych były w pierwszym roku badań, natomiast odmianą która cechowała się z największą zawartością była Alister dla potasu oraz Kolumb dla wapnia.

Nie wykazano interakcji pomiędzy badanymi czynnikami dla zawartości fosforu i magnezu.

Tabela 14

Skład mineralny nasion rzepaku [ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]  
(średnie dla współdziałania lat z odmianami)

Lata	Odmiany	P	K	Mg	Ca
2014/2015	Jimmy	6,47	6,15	4,07	2,62
	Alister	6,11	6,48	3,96	2,49
	Kolumb	5,95	6,04	4,08	2,85
2015/2016	Jimmy	5,20	3,63	2,07	0,47
	Alister	4,95	4,03	1,70	0,42
	Kolumb	4,75	3,95	1,97	0,50
2016/2017	Jimmy	5,56	3,45	2,19	0,95
	Alister	5,46	3,68	1,87	0,74
	Kolumb	5,47	3,60	1,82	0,81
NIR ( $\alpha=0,05$ )		r.n.	0,12	r.n.	0,17

### 7.5. Zawartość składników organicznych i popiołu surowego nasion rzepaku ozimego

Zawartość tłuszczu surowego, białka ogółem, włókna surowego, popiołu surowego oraz bezazotowych związków wyciągowych były istotnie różnicowane przez czynnik odmianowy oraz zmienne warunki w latach badań. Czynnik nawozowy nie miał istotnego wpływu na żadną z badanych cech.

Odmiana populacyjna Jimmy charakteryzowała się najwyższą zawartością białka ogółem, i najniższą zawartością bezazotowych związków wyciągowych. Najwyższą zawartością tłuszczu surowego cechowała się odmiana Kolumb, a bezazotowych związków wyciągowych odmiana Alister (tab. 15).

Skład chemiczny był istotnie różnicowany w latach badań, co świadczy o wpływie warunków pogodowych na kształtowanie tych cech (tab. 15). Korzystne warunki pogodowe w sezonie 2015/2016 pozwoliły na uzyskanie najwyższych wartości dla tłuszczu surowego oraz BZW. Natomiast w sezonie 2016/2017 uzyskano najwyższe wartości dla pozostałych badanych cech. W drugim roku badań, gdzie uzyskano najwyższą wartość tłuszczu surowego ( $440 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), zawartość białka była najniższa ( $197 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) spośród wszystkich badanych lat. Analogiczna, lecz odwrotna sytuacja miała miejsce w trzecim roku badań, gdzie zawartość białka ogółem była najwyższa ( $247 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), natomiast zawartość tłuszczu surowego najniższa ( $397 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) (tab. 15).

Tabela 15

Zawartość ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) składników organicznych i popiołu surowego w nasionach rzepaku ozimego (średnie dla czynników)

Odmiany	Nawozy azotowe	Tłuszcz surowy	Białko ogółem	Włókno surowe	Popiół surowy	Bezazotowe związki wyciągowe
Jimmy		420	227	94	37	221
Alister		421	216	93	36	234
Kolumb		428	218	89	36	229
NIR ( $\alpha=0,05$ )		5	5	3	1	5
	N 34	422	223	94	36	225
	N 46	424	217	90	37	231
	ALZON	424	217	91	37	230
	UREAs	422	223	93	36	227
NIR ( $\alpha=0,05$ )		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
Lata	2014/2015	432	216	81	42	229
	2015/2016	440	197	81	22	259
	2016/2017	397	247	114	45	196
NIR ( $\alpha=0,05$ )		5	5	3	1	5

Współdziałanie warunków atmosferycznych i czynnika genetycznego miało istotny wpływ na wszystkie badane czynniki (tab. 16). W pierwszym roku badań najwyższą zawartością tłuszczu surowego w nasionach odznaczała się odmiana Kolumb ( $441 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), natomiast białka ogółem ( $229 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), włókna surowego ( $85 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) i popiołu surowego ( $43 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) odmiana Jimmy. W drugim roku badań nasiona odmiany Jimmy cechowały się najwyższą zawartością tłuszczu surowego ( $442 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), białka ogółem ( $200 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) oraz włókna ( $85 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) i popiołu surowego ( $23 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), z kolei nasiona odmiany Kolumb zawierały najwięcej bezazotowych związków wyciągowych ( $268 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). W ostatnim roku badań zawartość tłuszczu surowego ( $401 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) oraz włókna surowego ( $117 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) była najwyższa w nasionach odmiany Kolumb. Zawartość białka ogółem ( $251 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) i popiołu surowego ( $46 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) była najwyższa w nasionach odmiany Jimmy.

Tabela 16

Zawartość ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) składników organicznych i popiołu surowego w nasionach rzepaku ozimego (średnie dla współdziałania lat z odmianami)

Lata	Odmiany	Tłuszcz surowy	Białko ogółem	Włókno surowe	Popiół surowy	Bezazotowe związki wyciągowe
2014/2015	Jimmy	423	229	85	43	220
	Alister	430	206	83	41	239
	Kolumb	441	213	75	41	230
2015/2016	Jimmy	442	200	85	23	250
	Alister	437	198	83	22	260
	Kolumb	440	194	76	21	268
2016/2017	Jimmy	395	251	113	46	195
	Alister	395	243	113	45	204
	Kolumb	401	247	117	45	189
NIR ( $\alpha=0,05$ )		8	8	5	2	9

W badaniach wykazano współdziałanie przebiegu pogody w poszczególnych latach badań z rodzajem zastosowanego azotu dla włókna surowego. W pierwszym ( $86 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) oraz drugim ( $86 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) roku badań najwyższą zawartością badanej cechy charakteryzowała się kombinacja nawozowa z saletrą amonową, natomiast w ostatnim roku kombinacja z mocznikiem zawierającym inhibitor ureazy – UREAs ( $118 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) i inhibitor nitryfikacji – ALZON ( $117 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) (tab. 17).

Tabela 17

Zawartość ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) składników organicznych i popiołu surowego w nasionach rzepaku ozimego (średnie dla współdziałania lat z nawożeniem czynników)

Lata	Nawozy azotowe	Tłuszcz surowy	Białko ogółem	Włókno surowe	Popiół surowy	Bezazotowe związki wyciągowe
2014/2015	N 34	427	219	86	42	227
	N 46	437	212	80	42	229
	ALZON	435	214	78	42	231
	UREAs	429	218	80	41	231
2015/2016	N 34	440	204	86	21	249
	N 46	438	193	80	24	264
	ALZON	440	195	79	23	264
	UREAs	440	197	81	21	261
2016/2017	N 34	399	245	111	45	199
	N 46	398	247	111	45	200
	ALZON	397	243	117	46	196
	UREAs	395	253	118	46	188
NIR ( $\alpha=0,05$ )		r.n.	r.n.	6	r.n.	r.n.

W odniesieniu do zawartości w nasionach tłuszczu surowego, białka ogółem, popiołu surowego oraz bezazotowych związków wyciągowych nie wykazano współdziałania pomiędzy badanymi czynnikami.

### 7.6. Skład chemiczny śruty rzepakowej

Odmiany miały istotny wpływ na zawartość w śrucie białka ogółem, włókna surowego i bezazotowych związków wyciągowych (tab. 18). Najwyższą zawartość białka ogółem i włókna surowego, przy najniższej zawartości bezazotowych związków wyciągowych stwierdzono u odmiany Jimmy.

Rodzaj zastosowanego azotu w drugiej dawce miał wpływ na zawartość w śrucie bezazotowych związków wyciągowych. Mocznik oraz ALZON charakteryzowały się podobnymi wartościami danej cechy, natomiast istotnie niższe wartości uzyskano w przypadku zastosowania saletry amonowej i UREAs.

Śruta rzepakowa uzyskana w sezonie wegetacyjnym 2016/2017 charakteryzowała się najwyższą zawartością białka ogółem i włókna surowego przy jednocześnie najniższej zawartości bezazotowych związków wyciągowych. Najniższą zawartość białka ogółem i popiołu surowego uzyskano w drugim roku badań.

Tabela 18

Zawartość ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) składników organicznych i popiołu surowego w śrucie rzepaku ozimego (średnie dla czynników)

Odmiany	Nawozy azotowe	Białko ogółem	Włókno surowe	Popiół surowy	Bezazotowe związki wyciągowe
Jimmy		390	162	64	384
Alister		371	160	63	406
Kolumb		380	155	62	402
NIR ( $\alpha=0,05$ )		7	5	r.n.	7
	N 34	385	163	62	391
	N 46	376	156	65	403
	ALZON	377	158	64	402
	UREAs	384	160	62	394
NIR ( $\alpha=0,05$ )		r.n.	r.n.	r.n.	9
Lata	2014/2015	380	143	74	404
	2015/2016	352	145	40	463
	2016/2017	410	189	75	325
NIR ( $\alpha=0,05$ )		7	5	3	7

Stwierdzono interakcję zmiennych warunków w latach badań oraz właściwości odmian dla białka ogółem, włókna surowego i bezazotowych związków wyciągowych (tab.19). Zawartość białka ogółem była najwyższe we wszystkich latach badań w śrucie rzepakowej uzyskanej z odmiany Jimmy. U wszystkich odmian stwierdzono podwyższoną zawartość włókna surowego w ostatnim roku badań, natomiast najwyższe wartości bezazotowych związków wyciągowych uzyskano w sezonie wegetacyjnym 2015/2016.

Tabela 19

Zawartość ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) składników organicznych i popiołu surowego w śrucie rzepaku ozimego (średnie dla współdziałania lat z odmianami)

Lata	Odmiany	Białko ogółem	Włókno surowe	Popiół surowy	Bezazotowe związki wyciągowe
2014/2015	Jimmy	397	147	75	381
	Alister	362	145	73	419
	Kolumb	381	135	73	411
2015/2016	Jimmy	358	153	41	448
	Alister	351	148	39	462
	Kolumb	347	136	39	479
2016/2017	Jimmy	416	187	76	322
	Alister	401	186	75	337
	Kolumb	413	195	75	317
NIR ( $\alpha=0,05$ )		13	8	r.n.	13



Zmienne warunki pogodowe oraz rodzaj zastosowanego nawozu azotowego istotnie różnicowały włókno surowe, popiół surowy oraz bezazotowe związki wyciągowe w śrucie (tab. 20). W pierwszym i drugim roku badań zawartość włókna surowego w największym stopniu była determinowana nawożeniem saletrą amonową, natomiast w sezonie 2016/2017 mocznikiem z inhibitorem ureazy. Inhibitor nitryfikacji pozytywnie oddziaływał na kształtowanie się bezazotowych związków wyciągowych w dwóch pierwszych latach doświadczenia, podczas gdy w ostatnim roku na daną cechę w największym stopniu wpływała saletra amonowa oraz standardowy mocznik.

Nie zaobserwowano interakcji pomiędzy badanymi czynnikami dla zawartości w śrucie rzepaku białka ogółem oraz popiołu surowego.

Tabela 20

Zawartość ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) składników organicznych i popiołu surowego w śrucie rzepaku ozimego (średnie dla współdziałania lat z nawożeniem)

Lata	Nawozy azotowe	Białko ogółem	Włókno surowe	Popiół surowy	Bezazotowe związki wyciągowe
2014/2015	N 34	383	150	73	396
	N 46	376	142	75	407
	ALZON	379	138	75	408
	UREAs	382	140	73	405
2015/2016	N 34	364	154	38	444
	N 46	344	143	43	470
	ALZON	348	141	40	471
	UREAs	351	144	38	467
2016/2017	N 34	409	185	75	332
	N 46	410	184	75	332
	ALZON	403	194	76	326
	UREAs	418	195	76	311
NIR ( $\alpha=0,05$ )		r.n.	9	r.n.	15

Wykazano istotne oddziaływanie właściwości odmian i kombinacji nawożenia na zawartość bezazotowych związków wyciągowych w śrucie (tab. 21). Najwyższą zawartość BZW w śrucie stwierdzono u odmiany Alister przy zastosowaniu standardowego mocznika ( $421 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), natomiast u odmiany Jimmy ( $389 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) oraz Kolumb ( $413 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) po zastosowaniu Alzonu.

Tabela 21

Zawartość ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) składników organicznych i popiołu surowego w śrucie rzepaku ozimego (średnie dla współdziałania odmian z nawożeniem)

Odmiany	Nawozy azotowe	Białko ogółem	Włókno surowe	Popiół surowy	Bezazotowe związki wyciągowe
Jimmy	N 34	393	166	63	379
	N 46	386	164	69	382
	ALZON	389	160	63	389
	UREAs	393	159	62	387
Alister	N 34	384	165	61	390
	N 46	367	151	62	421
	ALZON	366	163	65	405
	UREAs	369	160	62	409
Kolumb	N 34	379	158	61	403
	N 46	377	153	63	407
	ALZON	375	150	62	413
	UREAs	390	161	62	387
NIR ( $\alpha=0,05$ )		r.n.	r.n.	r.n.	15

### 7.7.Plon nasion, wydajność tłuszczu surowego, białka ogółem i śruty rzepakowej

Plon nasion, wydajność tłuszczu surowego, białka ogółem i śruty rzepakowej kształtowały się pod wpływem zmiennego przebiegu pogody w latach badań, czynnika odmianowego oraz rodzaju nawozu azotowego zastosowanego wiosną (tab. 22). Najwyższy plon nasion, wydajność tłuszczu surowego, białka ogółem i śruty rzepakowej z 1 ha stwierdzono u odmiany Alister, natomiast najniższe wartości uzyskano u odmiany populacyjnej Jimmy.

W kombinacji, w której zastosowano saetrę amonową uzyskano najwyższe wartości dla plonu nasion, wydajności tłuszczu surowego, białka ogółem i śruty rzepakowej. Zastosowanie w drugiej dawce mocznika spowodowało spadek plonu nasion i wydajności tłuszczu surowego o 6,4%, wydajności białka ogółem o 9,8% i wydajności śruty rzepakowej o 7,1%. W przypadku mocznika z inhibitorem nitryfikacji plon był niższy o 6,1%, wydajność tłuszczu surowego o 5,8%, wydajność białka ogółem o 9,0% i wydajność śruty o 6,6%, natomiast po zastosowaniu mocznika z inhibitorem ureazy, plon był niższy o 6,9%, wydajność tłuszczu surowego o 7,1%, wydajność białka ogółem o 7,8% i wydajność śruty rzepakowej o 7,0%.

Plon nasion był zróżnicowany w poszczególnych latach i wahał się od  $4,09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  w drugim roku badań do  $2,93 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  w trzecim roku badań. Oprócz najwyższego plonu

nasion w drugim roku badań uzyskano najwyższą wydajność tłuszczu surowego, białka ogółem oraz śruty rzepakowej, natomiast najniższe wartości otrzymano w trzecim roku badań.

Tabela 22

Plon nasion, wydajność tłuszczu surowego, białka ogółem i śruty rzepakowej  
(średnie dla czynników i lat)

Odmiany	Nawozy azotowe	Plon nasion (t·ha <sup>-1</sup> )	Wydajność (kg·ha <sup>-1</sup> )		
			tłuszczu surowego	białka ogółem	śruty rzepakowej
Jimmy		3,38	1301	687	1776
Alister		3,72	1431	720	1950
Kolumb		3,66	1431	716	1897
NIR ( $\alpha=0,05$ )		0,09	35	17	45
	N 34	3,77	1457	757	1976
	N 46	3,52	1364	684	1835
	ALZON	3,54	1374	690	1846
	UREAs	3,51	1355	699	1839
NIR ( $\alpha=0,05$ )		0,09	36	19	49
Lata	2014/2015	3,73	1469	732	1931
	2015/2016	4,09	1635	734	2085
	2016/2017	2,93	1059	658	1607
NIR ( $\alpha=0,05$ )		0,09	35	17	45

Współdziałanie odmian i nawożenia miało istotny wpływ na wydajność białka (tab. 23). U wszystkich badanych odmian nawożenie saletrą amonową w najwyższym stopniu wpływało na wydajność białka ogółem. Najwyższą wartość uzyskano u odmiany Alister (800 kg·ha<sup>-1</sup>), natomiast niższą wydajność o 10% uzyskano u odmiany Jimmy i o 8,2% u odmiany Kolumb. Najniższe wartości uzyskano u odmiany Jimmy (675 kg·ha<sup>-1</sup>) po zastosowaniu nawozu Alzon, natomiast u odmian mieszańcowych po zastosowaniu mocznika (690 kg·ha<sup>-1</sup> oraz 687 kg·ha<sup>-1</sup>).

Tabela 23

Plon nasion, wydajność tłuszczu surowego, białka ogółem i śruty rzepakowej  
(średnie dla współdziałania odmian z nawożeniem)

Lata	Nawozy azotowe	Plon nasion (t·ha <sup>-1</sup> )	Wydajność (kg·ha <sup>-1</sup> )		
			tłuszczu surowego	białka ogółem	śruty rzepakowej
Jimmy	N 34	3,51	1351	720	1845
	N 46	3,37	1294	677	1768
	ALZON	3,34	1288	675	1751
	UREAstabil	3,31	1271	678	1740
Alister	N 34	3,96	1509	800	2089
	N 46	3,64	1410	690	1898
	ALZON	3,64	1413	691	1903
	UREAstabil	3,63	1393	699	1908
Kolumb	N 34	3,86	1513	753	1995
	N 46	3,55	1388	687	1840
	ALZON	3,64	1422	703	1885
	UREAstabil	3,59	1400	721	1868
NIR ( $\alpha=0,05$ )		r.n.	r.n.	33	r.n.

Współdziałanie poszczególnych lat badań z odmianami miało istotny wpływ na wszystkie badane cechy (tab. 24). W każdym sezonie wegetacyjnym najwyższe plony uzyskano dla odmian mieszańcowych. W pierwszych dwóch latach najwyższy plon nasion uzyskano dla odmiany mieszańcowej Alister, natomiast w ostatni roku dla odmiany Kolumb.

Podobna zależność została odnotowana w przypadku wydajności tłuszczu surowego, białka ogółem oraz śruty rzepakowej. Odmiana Alister charakteryzowała się najwyższą wydajnością tłuszczu surowego w drugim roku badań, białka ogółem oraz śruty rzepakowej w pierwszym i drugim roku badań. Z kolei najwyższa wydajność tłuszczu surowego, białka ogółem i śruty rzepakowej w sezonie 2016/2017 uzyskano u odmiany Kolumb.

Tabela 24

Plon nasion, wydajność tłuszczu surowego, białka ogółem i śruty rzepakowej  
(średnie dla współdziałania lat z odmianami)

Lata	Odmiany	Plon nasion (t·ha <sup>-1</sup> )	Wydajność (kg·ha <sup>-1</sup> )		
			tłuszczu surowego	białka ogółem	śruty rzepakowej
2014/2015	Jimmy	3,36	1296	700	1766
	Alister	3,99	1564	751	2070
	Kolumb	3,85	1545	744	1956
2015/2016	Jimmy	3,97	1597	721	2016
	Alister	4,20	1667	756	2151
	Kolumb	4,10	1641	724	2087
2016/2017	Jimmy	2,81	1009	641	1546
	Alister	2,96	1063	653	1627
	Kolumb	3,03	1106	679	1648
NIR ( $\alpha=0,05$ )		0,15	60	30	78

### 7.8. Zawartość glukozyolanów w nasionach

Największą zawartością glukozyolanów alkenowych, indolowych oraz sumy glukozyolanów odznaczała się odmiana populacyjna Jimmy (odpowiednio 11,5, 5,6 i 17,1  $\mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$  nasion), a najmniejszą odmiana mieszańcowa Kolumb (6,6, 4,9 i 11,5  $\mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$  nasion) (tab. 25). Nawożenie azotowe nie wykazało istotnego wpływu na zawartość glukozyolanów alkenowych i indolowych oraz na całkowitą zawartość glukozyolanów w nasionach. Zróżnicowane warunki pogodowe w latach badań miały istotny wpływ na zawartość glukozyolanów. Największe wartości dla wszystkich badanych czynników uzyskano w sezonie 2016/2017, natomiast najniższe w drugim roku badań.

Tabela 25

Zawartość glukozynolanów w nasionach [ $\mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$ ]  
(średnie dla czynników i lat)

Odmiany	Nawozy azotowe	Alkenowe	Indolowe	Suma
Jimmy		11,5	5,6	17,1
Alister		9,3	5,2	14,5
Kolumb		6,5	5,0	11,5
NIR ( $\alpha=0,05$ )		1,3	r.n.	1,2
	N 34	9,4	5,2	14,7
	N 46	8,7	5,6	14,3
	ALZON	9,0	5,0	13,9
	UREAs	9,3	5,3	14,6
NIR ( $\alpha=0,05$ )		r.n.	r.n.	r.n.
Lata	2014/2015	9,3	5,4	14,7
	2015/2016	6,2	4,7	10,9
	2016/2017	11,7	5,8	17,5
NIR ( $\alpha=0,05$ )		1,3	0,7	1,2

Odmiany istotnie różniły się zawartością glukozynolanów w nasionach (tab. 26). Największą zawartością glukonapiny, progoitryny i 4OH-glukobrassicyny charakteryzowała się odmiana populacyjna Jimmy, natomiast odmiana Alister odznaczała się największą zawartością napoleiferyny. Z kolei najmniejsze wartości wszystkich analizowanych glukozynolanów uzyskano u odmiany mieszańcowej Kolumb.

Lata badań miały istotny wpływ na zawartość poszczególnych glukozynolanów. Największe wartości dla glukonapiny, progoitryny, 4OH-glukobrassicyny oraz glukobrassicapiny otrzymano w sezonie 2016/2017, natomiast dla napoleiferyny w latach 2014/2015. Najniższe wartości dla wszystkich badanych glukozynolanów odnotowano w sezonie 2015/2016.

Rodzaj zastosowanego nawozu nie wpłynął istotnie na zawartość poszczególnych glukozynolanów z wyjątkiem napoleiferyny.

Tabela 26

Zawartość glukozynolanów w nasionach [ $\mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$ ]  
(średnie dla czynników i lat)

Odmiany	Nawozy azotowe	Alkenowe				Indolowe
		glukonapina	glukobrassicapina	progoitryna	napoleiferyna	4OH-glukobrassicyna
Jimmy		3,43	0,53	7,23	0,22	5,60
Alister		2,37	0,47	6,14	0,25	5,22
Kolumb		1,63	0,37	4,42	0,15	4,95
NIR ( $\alpha=0,05$ )		0,28	r.n.	0,82	0,03	r.n.
	N 34	2,59	0,47	6,14	0,21	5,21
	N 46	2,37	0,47	5,66	0,19	5,60
	ALZON	2,40	0,43	5,88	0,20	4,94
	UREAs	2,54	0,47	6,03	0,22	5,27
NIR ( $\alpha=0,05$ )		r.n.	r.n.	r.n.	0,03	r.n.
Lata	2014/2015	2,72	0,54	5,82	0,27	5,36
	2015/2016	1,79	0,29	3,95	0,16	4,62
	2016/2017	2,92	0,54	8,02	0,18	5,79
NIR ( $\alpha=0,05$ )		0,28	0,13	0,82	0,03	0,73

## 8. Dyskusja

Głównymi czynnikami kształtującymi plon nasion rzepaku w Polsce są: warunki pogodowe, nawożenie azotem, dobór odmiany, ochrona roślin oraz stanowisko w zmianowaniu [Kotecki i in. 2004, Jankowski i in. 2016, Zajac i in. 2016]. W badaniach własnych cechy morfologiczne, elementy struktury plonu i plon nasion kształtowały się przede wszystkim pod wpływem zróżnicowanego w latach układu warunków pogodowych, natomiast w mniejszym stopniu zależały od czynnika odmianowego i rodzaju zastosowanego nawozu. Jedynie w sprzyjających warunkach wilgotnościowych ujawnia się potencjał plonotwórczy i rola poszczególnych elementów w jego kształtowaniu.

Według badań przeprowadzonych przez Wielebskiego i Wójtowicza [2001], Kuliga i in. [2010] oraz Wójtowicza [2013] zmienne warunki pogodowe mają istotny wpływ na rozwój rzepaku ozimego. W badaniach własnych wykazano, że różnice w długości poszczególnych faz rozwojowych oraz długości okresu wegetacji zależały od sumy opadów i temperatur. Przebieg pogody miał wpływ na wschody roślin co bezpośrednio decydowało o obsadzie roślin na jednostce powierzchni. Jak podaje Jankowski i in. [2016] odpowiedni rozwój roślin uzyskuje się przy małej obsadzie, która kształtuje się na poziomie 29 sztuk na  $m^2$ . Ratajczak i in. [2017] wykazały, że zmniejszenie ilości wysiewu z 60 do 40 nasion  $\cdot m^{-2}$  nie skutkowało istotną redukcją plonu rzepaku odmian mieszańcowych, natomiast dalsze zmniejszenie ilości wysiewu do 30 roślin  $\cdot m^{-2}$  spowodowało spadek plonu. Na istotne znaczenie obsady roślin zwracają uwagę Różyło i Pałys [2014], którzy wykazali tendencję do obniżenia plonowania odmian mieszańcowych wraz ze zmniejszeniem obsady z 38 do 23 roślin  $\cdot m^{-2}$ . Dominujące obecnie na rynku odmiany mieszańcowe rzepaku cechują się szybszym tempem wzrostu, dzięki czemu mogą lepiej sobie radzić w przypadku małego zagęszczenia roślin w łanie. Przyjmuje się, że ilość wysiewu mieszańcowych odmian rzepaku ozimego wynosi ok. 50 zdolnych do kiełkowania nasion na  $m^2$ , natomiast dla odmian populacyjnych jest zwykle wyższa [Malarz i in. 2006]. Duże zdolności adaptacyjne i regeneracyjne, odmian mieszańcowych, pozwalają na uzyskanie zadowalającego plonu nawet przy mniejszym zagęszczeniu roślin od zakładanego [Cichy i in. 2006, Jaskulska i Jaskulski 2011]. Zagęszczenie roślin na jednostce powierzchni wpływa nie tylko na wielkość plonu, ale także na jego jakość [Christensen i in. 1985, Malarz i in. 2006, Różyło i Pałys 2014, Czarnik i in. 2015]. W uprawie roślin na nasiona ilość wysiewu, a dokładniej



zagęszczenie roślin na jednostce powierzchni jest istotnym elementem agrotechniki [Zajac i Kulig 2000], bowiem uzyskiwany plon jest funkcją obsady roślin, liczby łuszczyn na roślinie oraz liczby nasion i ich masy 1000 sztuk. Jasińska i Kotecki [1995] oraz Kulig i in. [2010] stwierdzają, że obsada roślin od której zależą m.in. cechy morfologiczne roślin czy struktury plonu odgrywają ważną rolę w kształtowaniu uzyskiwanego plonu nasion. Czynniki genetyczny oraz poszczególne lata badań w istotnym stopniu różnicowały liczbę roślin przed zbiorem, niemniej we wszystkich przypadkach liczba roślin na 1 m<sup>2</sup> była większa lub równa 40.

Wielu autorów [Muśnicki 1989, Wójtowicz 2005, Cieśliński i in. 2007] wykazało istotne zróżnicowanie cech morfologicznych pod wpływem warunków pogodowych. W badaniach własnych stwierdzono wyraźny wpływ zmiennych warunków pogodowych na analizowane cechy morfologiczne roślin. Zaobserwowano natomiast istotne różnice w liczbie rozgałęzień bocznych w zależności od sezonu wegetacyjnego. Najwięcej rozgałęzień bocznych wykształciły rośliny w trzecim sezonie wegetacji, na co wpłynęła niska obsada roślin oraz odpowiednie rozłożenie opadów w początkowych fazach rozwojowych. W wyniku małej obsady na jednostce powierzchni dochodzi do kompensacji zagęszczenia na poziomie rośliny i łanu. Badania Koteckiego i in. [2004] dowiodły, że w zależności od sezonu wegetacyjnego rzepak wykształca zróżnicowaną liczbę rozgałęzień bocznych (4,3 i 7,9) z jednej rośliny w wyniku zróżnicowanej obsady roślin przed zbiorem.

Zróżnicowane dawki azotu wpływają istotnie na zdolność roślin rzepaku do tworzenia rozgałęzień. Pod wpływem wyższych dawek azotu ok. 200 kg N·ha<sup>-1</sup>, rośliny wykształcają przeciętnie 8,0-8,2 pędów bocznych [Özer 2003, Öztürk 2010, Li i in. 2014 i Oleksy 2018]. Badania własne nie wykazały istotnego wpływu rodzaju zastosowanego nawozu na badane cechy morfologiczne rzepaku ozimego.

Czynnik odmianowy miał istotny wpływ na wysokość roślin oraz wysokość do pierwszego rozgałęzienia. Najwyższą rośliną okazała się odmiana populacyjna Jimmy, natomiast najniższą odmianą z najniżej osadzonym rozgałęzieniem była odmiana Alister. Kolumb miał najwyżej osadzone pierwsze rozgałęzienie.

Badania własne potwierdziły wyniki uzyskane przez Wójtowicza i Muśnickiego [2001], że warunki klimatyczne kształtują w największym stopniu elementy struktury plonu. Do innych wniosków doszli Ojczyk i Jankowski [1996] oraz Jasińska i in. [1997] którzy stwierdzili, że liczba nasion w łuszczynie oraz masa 1000 nasion w najmniejszym

stopniu różnicowana jest pod wpływem zmiennych warunków pogodowych. Według Wójtowicza i in. [2017] liczba łuszczyń na roślinie jest najważniejszym komponentem plonu, w największym stopniu limitującym jego wysokość. Warunki wilgotnościowe w okresie wegetacji silnie oddziałują na ten istotny element struktury plonu. Największą liczbę łuszczyń rośliny wytworzyły w drugim roku badań, który charakteryzował się największą sumą opadów w okresie kwitnienia. Relatywnie suchy maj oraz czerwiec w sezonach 2015/2016 oraz 2016/2017 przyczyniły się do obniżenia liczby nasion w łuszczyńce oraz MTN. Z drugiej strony, optymalne zaopatrzenie roślin w wodę w sezonie 2014/2015 pozwoliło na uzyskanie najwyższych wartości wyżej wymienionych cech. Wyniki własne potwierdzają opinię Wójtowicza [2005], który stwierdził, że brak opadów w okresie kwitnienia powoduje redukcję liczby łuszczyń na roślinie, natomiast niedobór wody w okresie dojrzewania ogranicza liczbę nasion w łuszczyńce oraz ich masę.

Według Wójtowicza [2013], Wójtowicza i in. [2017] warunki klimatyczne w istotnym stopniu decydują o efektywności nawożenia azotowego, z kolei azot istotnie wpływa na wykształcanie łuszczyń przez rośliny [Fathi i in. 2002, Podleśna 2004, Moradi-Telavat i in. 2008, Wielebski 2008, Zhang i in. 2012, Li i in. 2014]. W przeprowadzonym doświadczeniu zastosowane nawozy azotowe w drugiej dawce determinowały liczbę łuszczyń na roślinie. Decydujące w tym przypadku jest tempo rozpuszczania się nawozów, które decyduje o ilości pobranego azotu przez rośliny i wykorzystanego do rozwoju. Według doświadczenia przeprowadzonego przez Stanisławską-Głubiak i in. [2018] pszenica ozima po dwóch miesiącach wegetacji od momentu aplikacji pobrała więcej azotu na obiekcie, gdzie zastosowano saletrę amonową w porównaniu do mocznika. Największe różnice w doświadczeniach wazonowych zaobserwowano na obiektach w warunkach stymulowanej suszy.

W badaniach własnych czynnik odmianowy w istotnym stopniu determinował liczbę łuszczyń na roślinie, masę nasion w jednej łuszczyńce oraz masę tysiąca nasion. Zależność ta wskazuje, że odmiany ujawniają potencjał do tworzenia określonego komponentu plonu w zależności od panujących warunków pogodowych.

Podstawowymi składnikami nasion rzepaku są tłuszcz surowy oraz białko ogółem. Zarówno tłuszcz jak i białko decydują o przydatności technologicznej i żywieniowej nasion rzepaku [Adomas 2003]. Największe znaczenie w kształtowaniu składu chemicznego nasion ma czynnik genetyczny i środowiskowy [Kotecki i in. 2002].

Canvin [1965] i Dembińska [1970] wykazali, że wysoka temperatura oraz brak opadów w okresie od momentu kwitnienia do dojrzewania nasion obniża zawartość tłuszczu w nasionach. W przeprowadzonych przez COBORU doświadczeniach w latach 1996–1998 wykazano, że różnice w zawartości tłuszczu pomiędzy odmianami dochodziły do 3,2%, natomiast białka w suchej masie do 6%. W badaniach własnych wykazano istotny wpływ warunków pogodowych na zawartość wszystkich badanych składników w nasionach. Warunki pogodowe w drugim roku badań przyczyniły się do uzyskania najwyższej wartości tłuszczu surowego ( $440 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), natomiast zawartość białka była najniższa

( $197 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) spośród wszystkich badanych lat. W trzecim roku badań rozkład opadów oraz warunki termiczne wpłynęły na uzyskanie najwyższej zawartości białka ogółem ( $247 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) natomiast zawartość tłuszczu surowego była najniższa ( $397 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). W badaniach własnych wykazano istotny wpływ odmiany na zawartość białka ogółem oraz tłuszczu surowego. Najwyższą zawartość obu badanych składników uzyskano u odmiany mieszańcowej Kolumb.

Plon nasion stanowi wypadkową liczby nasion na jednostce powierzchni oraz masy tysiąca nasion [Muśnicki 1989]. Struktura elementów plonowania determinowana jest między innymi przez zagęszczenie roślin, warunki pogodowe oraz nawożenie azotowe. Wyniki doświadczenia Jacksona [2000] sugerują, że optymalna dawka azotu to od 180 do 220  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , w zależności od warunków siedliskowych. Według doniesień Özera [2003] dawka azotu w czystym składniku w wysokości 160  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  w pełni zaspokaja zapotrzebowanie roślin rzepaku na ten pierwiastek. Ponadto stwierdził, że zmienność w plonowaniu nasion rzepaku wynikająca z zastosowania różnych dawek azotu jest pochodną zmian kształtowania się elementów struktury plonu. W badaniach Jankowskiego i in. [2005] wykazano pozytywny wpływ nawożenia azotowego do poziomu 180  $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , podczas gdy wyższe dawki cechowała niższa efektywność. W doświadczeniu czynnik nawozowy istotnie różnicował plon nasion. W badaniach własnych najwyższy plon nasion uzyskano w kombinacji, w której zastosowano saletrę amonową w drugim terminie. Podobne wyniki uzyskali Vinzent i in. [2018], gdzie kombinacje zawierające inhibitor nityfikacji plonowały słabiej od standardowych powszechnie stosowanych rozwiązań nawozowych. Po zastosowaniu mocznika oraz mocznika z dodatkiem DCD (Alzon) i NBPT (UREAstabil) plony nasion rzepaku były bardzo zbliżone. Jak podają Barłóg i Grzebisz [2000] wysokie plony uzyskane po

zastosowaniu saletry amonowej w dwóch dawkach po  $80 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  można tłumaczyć wysokim pobraniem magnezu, wapnia, sodu a zwłaszcza azotu. Jak podaje Yang i in. [2016], inhibitor nityfikacji DCD istotnie wpływa na plonowanie różnych gatunków roślin przyczyniając się do wzrostu plonu średnio o 6,5%. Do podobnych wniosków doszli Abalos i in. [2014]. Ponadto stwierdzili, że działanie inhibitorów nityfikacji oraz ureazy nasila się wraz ze zmniejszaniem się pH gleby, co jest związane z silnym uwalnianiem  $\text{NH}_3$  do atmosfery. Odwołując się do Yanga i in. [2016], DCD wpływa pozytywnie na plon niezależnie od zastosowanej formy nawozu (organiczna lub mineralna) oraz zastosowanej dawki nawozu. W badaniu przeprowadzonym przez Vinzenta i in. [2018] rodzaj zastosowanego nawozu odgrywa duże znaczenie w kształtowaniu plonu. W wyniku wiosennej aplikacji mocznika w dawce  $180 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , podzielonej na dwie części w stosunku 2/3 do 1/3 uzyskano wyższy plon w kombinacji, gdzie zastosowano sam mocznik niż w przypadku mocznika z inhibitorem nityfikacji (DCD). Potwierdza to wyniki badań uzyskanych przez Gaj i in. [2007], Rudko [2011], Ghatei i in. [2013] oraz Mousavian i in. [2013] którzy dowiedli, że o plonie nie decyduje wyłącznie wysokość dawki azotu ale także termin nawożenia. Według Cruchaga i in. [2011], Arkouna i in. [2013], Zanin i in. [2015] obecność inhibitora ureazy NBPT w roztworze glebowym poza hamowaniem przemianom azotu w glebie, może przyczynić się do inhibicji pobierania związków azotowych z gleby przez rośliny. Stosowanie nawozu zawierającego NBPT jesienią w rzepaku przyczyniło się do wzrostu plonu [Byrnes i Amberger 1989, Hocking i Stapper 2001, Li i in. 2011]. Jak wskazuje Béreš i in. [2019] zastosowanie  $40 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  nawozu z NBPT jesienią jest wystarczające i przyczyniło się do wzrostu plonu o 10,6%. W doświadczeniu przeprowadzonym w roślinach zbożowych przez Mohd Zuki i in. [2020] plony ziarna kukurydzy były istotnie wyższe po zastosowaniu nawozu zawierającego inhibitor ureazy (NBPT) w dawce  $96 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  w porównaniu z mocznikiem zastosowanym w dawce  $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Do podobnych wniosków doszli Espindula i in. [2013], gdzie po zastosowaniu nawozu z dodatkiem NBPT w dawce  $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  uzyskano plony pszenicy wyższe o 4% w porównaniu do  $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  mocznika. Po aplikacji nawozu z NBPT w dawce  $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  uzyskano wzrost plonu o 13%.

Sukces, jaki odniósł rzepak w ciągu dwóch ostatnich dekad na świecie i w Polsce można przypisać głównie zmianom jakościowym dwóch głównych produktów: oleju i śruty oraz wprowadzenie do uprawy odmian mieszańcowych zapewniających wyższe

plony nasion [Bartkowiak-Broda 2002]. Według Wałkowskiego [2012] większa popularność odmian mieszańcowych nad populacyjnymi wiąże się z wyższym plonowaniem, średnio o 10% oraz wieloma pozytywnymi cechami agronomicznymi. Do podobnych wniosków doszły Ogrodowczyk i Bartkowiak-Broda [2013]. Jak donosi Hudewenz i in. [2013] odmiany mieszańcowe wysoki plon nasion zawdzięczają liczbie zawiązanych łuszczyń, liczbie nasion w łuszczyńce oraz masie tysiąca nasion. W badaniach własnych czynnik genetyczny istotnie różnicował plon nasion rzepaku. Najwyższy plon uzyskano w przypadku odmiany mieszańcowej SY Alister, natomiast najslabiej plonowała odmiana populacyjna Jimmy.

Jak podkreślają Kotecki i in. [2004] oraz Kulig i in. [2010], rzepak należy do roślin silnie reagujących na zmieniające się warunki klimatyczne, o czym świadczą uzyskiwane różnice w plonach nasion w poszczególnych latach [Oleksy 2016]. Rzekpak należy do roślin wymagających optymalnych warunków wilgotnościowych w trakcie rozwoju. Doświadczenie wazonowe Dembińskiej [1970] wskazało na niską wrażliwość rzepaku w trakcie jesiennej wegetacji, natomiast istotny spadek plonu powodował dopiero niedobór opadów w okresie wiosennym [Dembińska 1970, Pieczka 1974]. Jak wskazuje Ahmadi i Bahrani [2009] rośliny w okresie kwitnienia są najbardziej wrażliwe na niedobór wody, czego rezultatem jest obniżka plonu rzędu 29,5%. Według Dembińskiego [1983] roczna suma opadów w granicach 500–600 mm jest wystarczająca dla uzyskania zadowalającego plonu.

Według Söchtlinga i Verreta [2004] oraz Ahmada i in. [2007] formy zastosowanego azotu nie mają istotnego wpływu na zawartość glukozyzolanów w nasionach, natomiast wzrost dawki azotu może różnicować poziom glukozyzolanów [Bilsborrow i in 1993, Chen i in. 2006, Omirou i in. 2009, Narits 2010]. W badaniach własnych czynnik nawozowy nie miał wpływu na zawartość glukozyzolanów w nasionach, podobnie jak w doświadczeniu przeprowadzonym przez Wójtowicza i Jajor [2006].

Wydajność tłuszczu surowego oraz białka ogółem to funkcje plonu nasion i procentowej zawartości składnika. Jak wykazali Kotecki i in. [2005] warunki hydrotermiczne mają istotny wpływ na wydajność tłuszczu surowego i białka ogółem. Badania własne potwierdziły powyższe stwierdzenie. Wydajność tłuszczu surowego i białka ogółem kształtowały się analogicznie jak plony nasion pod wpływem warunków pogodowych. W mniejszym stopniu determinował je czynnik odmianowy. W kombinacji

nawozowej, gdzie zastosowano saletrę amonową, plon nasion, wydajność tłuszczu surowego i białka ogółem były najwyższe.

Powszechnie wiadomo, że zawartość glukozyolanów jest determinowana przez genotyp oraz warunki klimatyczne [Mert-Turk i in. 2008, Turhan i in 2011]. Jak donosi Moghadam i in. [2011] w warunkach suszy średnia zawartość glukozyolanów dla wszystkich badanych odmian wzrosła o 15%. W badaniach własnych najwyższą zawartość glukozyolanów alkenowych i indolowych uzyskano w trzecim roku badań, gdzie suma opadów w okresie wegetacji była najwyższa. Odnotowano także dodatnią korelację wszystkich badanych glukozyolanów w stosunku do sumy opadów w danym sezonie wegetacyjnym.

Z analiz wykonanych przez Ogrodowczyk i Bartkowiak-Brodę [2013] wynika, że poziom zawartości glukozyolanów dla odmian, zarówno populacyjnych jak i mieszańcowych, w latach 2006–2013 jest zbliżony. Nie jest to zgodne z wynikami badań własnych, które sugerują, że w przypadku glukozyolanów alkenowych najwyższe wartości uzyskano dla odmiany populacyjnej.

Dynamika pobierania i akumulacji azotu w dużym stopniu zależy od składu chemicznego nawozu. Jak podaje Muśnicki i in. [2005], różnice w działaniu różnych form azotu wynikają z odmiennego wpływu pH ryzosfery na związki azotu. Zawartość azotu w poszczególnych częściach roślin zależy od fazy rozwojowej rośliny [Dapoigny i in. 2000]. Początek wiosennej wegetacji to okres o intensywnym pobieraniu azotu i trwa on do końca kwitnienia [Grzebisz i in. 2008]. W roślinach rzepaku po zakończeniu kwitnienia spada ilość zakumulowanego azotu, szczególnie w pędach głównych, bocznych i łuszczynach [Barłóg i Grzebisz 2000].

## 9. Wnioski

Wyniki badań przeprowadzonych w latach 2014–2017 pozwalają na sformułowanie następujących wniosków mających odniesienie do warunków wrocławskich:

1. Zmienne warunki termiczno-wilgotnościowe miały wpływ na rozwój odmian rzepaku ozimego, cechy morfologiczne i elementy struktury plonu.
2. Cechy morfologiczne i elementy struktury plonu zależały przede wszystkim od zmiennych lat badań, następnie właściwości odmianowych, natomiast w małym stopniu od rodzaju nawozu azotowego stosowanego wiosną.
3. Zawartość azotu w liściach w fazie pąkowania była zróżnicowana przez zmienny przebieg pogody w latach badań, natomiast w fazie kwitnienia zależała od zmiennych warunków termiczno-wilgotnościowych oraz czynnika odmianowego.
4. Skład chemiczny nasion i śruty różnicował zmienny w latach przebieg pogody i czynnik odmianowy.
5. Najniższe plony nasion ( $3,38 \text{ t ha}^{-1}$ ) uzyskano wysiewając populacyjną odmianę Jimmy, natomiast odmiany mieszańcowe Alister i Kolumb plonowały istotnie wyżej o 10% i 8%. Podobną zależność stwierdzono w przypadku wydajności tłuszczu surowego, białka ogółem i śruty rzepakowej.
6. Zastosowanie saletry amonowej pozwoliło uzyskać najwyższy plon nasion wynoszący średnio za 3 lata badań  $3,77 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Niższe plony nasion odpowiednio o 6,9%, 6,6% i 6,1% uzyskano stosując UREAstabil, mocznik (N 46) i Alzon. Podobną zależność uzyskano w stosunku do wydajności tłuszczu surowego, białka ogółem i śruty rzepakowej.
7. Zawartość glukozyolanów w nasionach zależała od zmiennych warunków pogodowych w latach badań oraz właściwości odmianowych. Najwięcej glukozyolanów gromadziła odmiana populacyjna Jimmy ( $17,1 \mu\text{M} \cdot \text{g}^{-1}$ ), zaś najmniej odmiana Kolumb ( $11,5 \mu\text{M} \cdot \text{g}^{-1}$ ). U badanych odmian spośród wszystkich glukozyolanów alkenowych najwięcej gromadziło się szkodliwej progoitryny.
8. Nie stwierdzono istotnego wpływu rodzaju nawozu azotowego na zawartość glukozyolanów w nasionach rzepaku.

9. W gospodarstwach towarowych produkujących rzepak ozimy zaleca się stosowanie w drugiej dawce wiosennego nawożenia azotowego saletry amonowej, która dzięki szybkiej dostępności dla rośliny poprawia plon nasion rzepaku. Stosowanie wolno działających form azotu skutkuje obniżką plonu nasion ze względu na duże zapotrzebowanie rzepaku na azot w okresie kwitnienia i wykształcania nasion.



## 10. Piśmiennictwo

1. Abalos D., Jeffery S., Sanz-Cobena A., Guardia G., Vallejo A. 2014. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 189, 136–144.
2. Adomas B. 2003. Plon i jakość nasion rzepaku jarego (*Brassica napus* var. *oleifera* f. *annua*, łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.) oraz łubinu wąskolistnego (*Lupinus angustifolius* L.) w zależności od stosowanych środków ochrony roślin. Rozprawy i Monografie. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, 75, 1–85.
3. Afshar R.K., Lin R., Mohammed Y.A., Chen C. 2018. Agronomic effects of urease and nitrification inhibitors on ammonia volatilization and nitrogen utilization in a dryland farming system: Field and laboratory investigation. *J. Clean. Prod.*, 172, 4130–4139.
4. Ahmad G., Jan A., Arif M., Jan M.T., Khattak R.A. 2007. Influence of nitrogen and sulfur fertilization on quality of canola (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. *J. of Zhejiang University Sci. B*, 8 (10), 731–737.
5. Ahmadi M., Bahrani M.J. 2009. Yield and yield components of rapeseed as influenced by water stress at different growth stages and nitrogen levels. *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.*, 5, 755–761.
6. Ali R., Iqbal J., Tahir G.R., Mahmood T. 2008. Effect of 3,5-dimethylpyrazole and nitrapyrin on nitrification under high soil temperature. *Pakistan J. Bot.*, 40(3), 1053–1062.
7. Amberger A. 1996. Pflanzenernährung (Plant Nutrition). 4th Edition. (German) Uni-Taschenbücher 846, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Germany.
8. Amberger A. 2008. 100 Jahre Kalkstickstoff – ein multifunktionaler N-Dünger. (German) AlzChem Trostberg GmbH, Chemiepark Trostberg, Germany.
9. Ara J., Ryad M.S., Islam M.M., Shahriar S., Mehraj H., Uddin A.J. 2015. Morphological Characteristics and Yield Components of Rapeseed in Response to Different Nitrogen and Boron Levels. *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.*, 15(3), 359–366.
10. Arkoun M., Jannin L., Laine P., Etienne P., Masclaux-Daubresse C., Citerne S. 2013. A physiological and molecular study of the effects of nickel deficiency and phenylphosphorodiamidate (PPD) application on urea metabolism in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Plant Soil* 362, 79–92.

11. Arp D.J. Stein L.Y. 2003. Metabolism of inorganic N compounds by ammonia-oxidizing bacteria. *Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol.*, 38, 471–495.
12. Arseniuk E., Krzymuski J., Martyniak J., Oleksiak T. 2003. "Historia hodowli i nasiennictwa na ziemiach polskich". Wyd. ProDruk, Poznań.
13. Arseniuk E., Oleksiak T. 2004. Polski rzepak - dorobek badawczy i hodowlany. W: *Rzepak - nowe wyzwania*. Wyd. Agro Serwis 6, 9–15.
14. Bañuls J., Serna M.D., Quiñones A., Martín B., Primo-Millo E., Legaz, F. 2000. Optimización de la fertilización nitrogenada con el inhibidor de la nitrificación (DMPP) con riego por goteo en cítricos. *Levante Agricola* 351, 117–121.
15. Barłóg P., Grzebisz W. 2000. Dynamika wzrostu i pobierania makroskładników przez rzepak ozimy w zależności od rodzaju nawozu i podziału drugiej dawki azotu. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXI, 1, 8596.
16. Barłóg P., Grzebisz W. 2004. Effect of Timing and Nitrogen Fertilizers Application on Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). I. Growth Dynamics and Seed Yield. *J. Argon. Crop Sci.*, 190, 305–313.
17. Barszczak T., Barszczak Z. 1995. Wpływ nawożenia azotowego, wilgotności i zakwaszenia gleby na plony oraz zawartość tłuszczu i białka w nasionach odmian rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XVI, 1, 165–172.
18. Bartkowiak-Broda I. 2000. 17. Konferencja Technologii Upraw Rzepaku. Hluk, Czechy, 14-16.11. 2000. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXI, 3, 845–847.
19. Bartkowiak-Broda I. 2002. Wzajemny związek postępu w agrotechnice i hodowli rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXIII, 1, 61–71.
20. Bartkowiak-Broda I., 2004. Kierunki hodowli rzepaku ozimego. W: *Rzepak – nowe wyzwania*. Wyd. Agro Serwis, 6, 16–21.
21. Bartkowiak-Broda I. 2005. Kierunki hodowli i nasiennictwo. W: *Technologia produkcji rzepaku*. Muśnicki Cz. i in. (red. ). Wyd. Wieś Jutra, 52–61
22. Bass C., Denholm I., Williamson M.S., Nauen R. 2015. The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides. *Pestic. Biochem. Phys.*, 121, 78–87.
23. Basten M., Brynildsen P.,v. Belzen R. 2005. Stabilized urea for enhanced nitrogen use efficiency. IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Frankfurt. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.

24. Bechmann M. 2016. Emissions of N<sub>2</sub>O from agricultural soil and mitigation options. A review with special reference to Norwegian agriculture. Norsk Institutt for Bioøkonomi, 2 (25): pp. 71.
25. Beckie H.J., Harker K.N., Legere A., Morrison M.J., Seguin-Swartz G., Falk K.C. 2011. GM Canola: The Canadian experience. Farm Policy J., 8, 43–49.
26. Béréš J., Bečka D., Tomášek J., Vašák J. 2019. Effect of autumn nitrogen fertilization on winter oilseed rape growth and yield parameters. Plant Soil Environ., 65(9), 435–441.
27. Bilsborrow P.E., Evans J., Zhao F. 1993. The influence of spring nitrogen on yield, yield components and glucosinolate concentration of autumn-sown oilseed rape (*Brassica napus*). J. Agric. Sci., 120, 219–224.
28. Boelcke B., Leon J., Schulz R.R., Schröder G., Diepenbrock W. 1991. Yield Stability of Winter Oil-Seed Rape (*Brassica napus* L.) as Affected by Stand Establishment and Nitrogen Fertilization. J. Agron. Crop Sci., 167, 4, 241–248.
29. Brenner K. 1991. Versuchsergebnisse zur Wirkung stabilisierter Stickstoffdünger auf den Ertrag von Kartoffeln, Mais und Zuckerrüben. In: Brenner K., Zerulla W. (eds) Proceedings of the conference Stabilisierte Stickstoffdünger – ein Beitrag zur Verminderung des Nitratproblems, Tagung mit Vertretern aus Landwirtschaft, Wasserwirtschaft und Düngemittel-Industrie, 15–16 October 1991, Würzburg. BASF, SKW Trostberg, Limburgerhof, pp 139–143.
30. Broniarz J., Paczocha J. 2016. Synteza wyników doświadczeń rejestrowych, oleiste i włókniste 2016. z. 140.
31. Budeiwing S., Leon J. 2003. Higher yield stability for oilseed rape hybrids? Proc. 11<sup>th</sup> Intern. Rapeseed Congress. Copenhagen, 1, 347–349.
32. Budzyński W., Jankowski K., Zielonka R. 2000. Efektywność nawożenia azotem rzepaku jarego chronionego i niechronionego przed szkodnikami. I. Nawożenie i ochrona a plon nasion. Rośl. Oleiste Oilseed Crops, XXI, 2, 513–525.
33. Bundy L.G. 2001. Managing Urea-Containing Fertilizers. 2001 Area Fertilizer Dealer Meetings, University of Wisconsin-Madison.
34. Byrnes B.H., Amberger A. 1988. Fate of broadcast urea in flooded soil when treated with N-(n-butyl) thiophosphoric triamide, a urease inhibitor. Fert. Res., 18, 221–231.

35. Cantarella H., Bolonhezi D., Gallo P.B., Martins A.L.M., Marcelino R. 2009. Ammonia volatilization and yield of maize with urea treated with urease inhibitor. 16th Nitrogen Workshop, Turin, Italy.
36. Canvin D.T. 1965. The effect of temperature on the oil content and fatty acid composition of the oils from several oil seed crops. *Can. J. Bot.*, 43(1), 63–69.
37. Chaozhi M., Gertsson B., Tuveesson S., Bengtsson L., Dayteg C., Tingdong F. 2003. Seed yield of self-incompatibility hybrids (*Brassica napus*) in China and Sweden. The 11th International Rapeseed Congress. Proceedings 1, 362–364.
38. Cheema M.A., Malik M.A., Hussain A., Shah S.H., Basra S.M.A. 2001. Effects of time and rate of nitrogen and phosphorus application on the growth and the seed and oil yields of canola (*Brassica napus* L.). *J. Agron. Crop Sci.*, 186, 103–110.
39. Chen X.J., Zhu Z.J., Ni X.L., Qian Q.Q. 2006. Effect of Nitrogen and Sulfur Supply on Glucosinolates in *Brassica campestris* ssp. *chinensis*. *Agri. Sci. China*, 5, 8, 603–608.
40. Chibowski P., Izdebski W., Laskowska E., Makarchuk O., Skudlarski J., Zaika S.A., Zajac S. 2016. Stan i perspektywy produkcji roślin oleistych w Polsce i na Ukrainie w kontekście rozwoju sektora biopaliw transportowych. *Zesz. Nauk. SGGW w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego*, 16(1).
41. Christen O. 2001. Ertrag, Ertragsstruktur und Ertragsstabilität von Weizen, Gerste und Raps in unterschiedlichen Fruchtfolgen. *German J. Agron.*, 5, 33–39.
42. Christensen J.V., Legge W.G., De Pauw R.M., Hennig A.M.F., McKenzie J.S., Siemens B., Thomas J.B. 1985. Effect of seeding date, nitrogen and phosphate fertilizer on growth, yield and quality of rapeseed in Northwest Alberta. *Can. J. Plant Sci.*, 65, 275–284.
43. Cichy H., Cicha A., Starzycki M., Rybiński W. 2006. Wpływ obsady roślin na plonowanie rzepaku ozimego. *Biul. IHAR*, 242, 225–232.
44. Cieśliński M., Ostrowska D., Gozdowski D. 2007. Wpływ zagęszczenia roślin oraz nawożenia azotem na wybrane cechy morfologiczne i plonowanie rzepaku jarego (*Brassica napus* var. *oleifera* f. *annua*). I. Cechy morfologiczne. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXVIII, 2, 251–260.
45. Cramer N. 1993. Umweltverträglichkeit der N-Versorgung des Rapses. *Raps* 11, 4–7.

46. Cruchaga S., Artola E., Lasa B., Ariz I., Irigoyen I., Moran J.F. 2011. Short term physiological implications of NBPT application on the N metabolism of *Pisum sativum* and *Spinacea oleracea*. J. Plant Physiol., 168, 329–336.
47. Czarnik M., Jarecki W., Bobrecka-Jamro D., Jarecka A. 2015. Wpływ gęstości siewu oraz nawożenia dolistnego na plonowanie odmian rzepaku ozimego. Rośl. Oleiste – Oilseed Crops, XXXVI, 60–68.
48. Czuba R. 1996. Technika nawożenia mineralnego a zawartość azotanów w roślinach. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 440, 65–73.
49. Dapoigny L., de Tourdonnet S., Roger-Estrade J., Jeuffroy M.H., Fleury A. 2000. Effect of nitrogen nutrition on growth and nitrate accumulation in lettuce (*Lactuca sativa* L.), under various conditions of radiation and temperature. Agronomie, 20, 843–855.
50. Dembińska H. 1970. Wpływ wiosennych okresowych niedoborów wody na rozwój i strukturę plonu rzepaku ozimego przy różnych sposobach dawkowania azotu. Rocz. Nauk Rol., Ser. A, 97(1), 33–47.
51. Dembiński F. 1983. Jak uprawiać rzepak i rzepik. PWRiL, Warszawa.
52. Deryło S., Szymankiewicz K., Grotkowska Z., Stachowska J. 2003. Zachwaszczenia owsa siewnego w płodozmianie i wielogatunkowej monokulturze zbożowej. Biul. IHAR, 229, 73–84.
53. Di H.J., Cameron K.C. 2007. Nitrate leaching losses and pasture yields as affected by different rates of animal urine nitrogen returns and application of a nitrification inhibitor – a lysimeter study. Nutr. Cycl. Agroecosys., 79, 281–290.
54. Dobrzański A., Adamczewski K. 2008. Niechemiczne metody zwalczania chwastów – stan obecny i perspektywy. Ekspertyza. Projekt „Rozwój potencjału innowacyjnego członków Sieci Naukowej AgEngPol, 29, 51–58.
55. Dobrzański B., Zawadzki S. 1995. Gleboznawstwo: praca zbiorowa. PWRiL, Warszawa.
56. Eagle A., Olander L.P., Henry L.R., Haugen-Kozyra K., Millar N., Robertson G.P. 2012. Greenhouse Gas Mitigation Potential of Agricultural Land Management in the United States. A Synthesis of the Literature. Companion Report to Assessing Greenhouse Gas Mitigation Opportunities and Implementation Strategies for Agricultural Land Management in the United States. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, Duke University: pp. 84.

57. Edmeades D.C. 2004. Nitrification and Urease Inhibitors – A Review of the National and International Literature on their Effects on Nitrate Leaching, Greenhouse Gas Emissions and Ammonia Volatilisation from Temperate Legume-Based Pastoral Systems. Environment Waikato Technical Report 2004/22.
58. Engelsjord M.E., Fostad O., Singh B.R. 1997. Effects of temperature on nutrient release from slow-release fertilizers. I. Commercial and experimental products. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 46, 179–187.
59. Espindula M.C., Rocha V.C., Souza, M.A., Campanharo M., Paula G.S. 2013. Rates of urea with or without urease inhibitor for topdressing wheat. *Chil. J. Agric. Res.*, 73, 160–167.
60. Fathi G., Banisaeidi A., Siadat S.A., Ebrahimpour F. 2002. The effect of different nitrogen levels and plant density on canola yield in climate conditions of Khouzestan province. *Iran Sci. J. Agric.*, 25, 43–57.
61. Fettweis U., Mittelstaedt W., Schimansky C., Führ, F. 2001. Lysimeter experiments on the translocation of the carbon-14-labelled nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in a gleyic cambosol. *Biol. Fert. Soils*, 34, 126–130.
62. Gaj R., Grzebisz W., Gwiazdowski R., Heimann S., Korbas M., Lewandowski A., Mrówczyński M., Muśnicki C., Praczyk T., Pruszyński G., Pruszyński S., Przybył J., Seta G., Wachowiak H. 2007. *Metodyka integrowanej produkcji rzepaku ozimego i jarego*. PIORiN Warszawa, 6–10.
63. Galloway J.N., Townsend A.R., Cai Z.C., Sutton M.A. 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, potential solutions. *Science*, 320, 889–892.
64. Gammellvind L.H., Schjoerring J.K., Mogensen V.O., Jensen C.R., Bock J.G.H. 1996. Photosynthesis in leaves and siliques of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Plant Soil*, 186, 227–236.
65. Geddes C.M., Cavalieri A., Daayf F., Gulden R.H. 2015. The allelopathic potential of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) mulch. *Am. J. Plant Sci.*, 6(16), 2651.
66. Gehringer A., Snowdon R.J., Spiller T., Basunanda P., Friedt W. 2007. New oilseed rape (*Brassica napus*) hybrids with high levels of heterosis for seed yield under nutrient-poor conditions. *Breed. Sci.*, 57, 315–320.

67. Ghatei A., Bakhshandeh A., Saeed K.A., Fathi G., Nadian H. 2013. Effect of nitrogen and sulphur on canola yield and yield components in Mollasani, Iran. *Int. J. Agron. Plant Prod.*, 4, 3255–3261.
68. Grosse F., Leon J., Diepenbrock W. 1996. Ertragsbildung und Ertragsstruktur bei Winterraps (*Brassica napus* L.) II. Vergleich zwischen Elternlinien und deren F1- und F2- Generationen. *J. Agron. Crop Sci.*, 169, 94–103.
69. Grzebisz W., Gaj R., Waszak M. 2008. Zintegrowany system nawożenia rzepaku. Integrowana produkcja rzepaku ozimego i jarego, IOR Poznań, 19–28.
70. Grzesiuk S., Kulka K. 1981. Fizjologia i biochemia nasion. PWRiL Warszawa.
71. Hanus H., Sieling K. 1998. Zur optimalen N-Versorgung von Rapsbeständen. *Raps* 16, 12–15.
72. Herrera J.M., Rubio G., Häner L.L., Delgado J.A., Lucho-Constantino C.A., Islas-Valdez S., Pellet D. 2016. Emerging and established technologies to increase nitrogen use efficiency of cereals. *Agron. J.*, 6(2), 25.
73. Hocking P.J., Randall P.J., Demarco D., Bamforth I. 1997. Assessment of the nitrogen status of field grown canola (*Brassica napus* L.) by plant analysis. *Aust. J. Exp. Agric.* 37, 83–92.
74. Hocking P.J., Stapper M. 2001. Effects of sowing time and nitrogen fertiliser on canola and wheat, and nitrogen fertiliser on Indian mustard. I. Dry matter production, grain yield, and yield components. *Aust. J. Agric. Res.*, 52, 623–634.
75. Horst W.J., Behrens T., Heuberger H., Kamh M., Reidenbach G., Wiesler F. 2003. Genotypic differences in nitrogen use-efficiency in crop plants. In: Lynch, J.M., Schepers, J.S., Ünver, I. (Eds.), *Innovative soil-plant systems for sustainable agricultural practices*, OECD Workshop 2002, OECD Publications Paris, pp. 75–92.
76. Hrynko I. 2021. Optymalizacja metod oznaczania 7 neonikotynoidów w pszczołach, miodach, dziko rosnących roślinach miododajnych i cieczach. *Progress in Plant Protection*, 61(1), 82–92.
77. Hudewenz A., Pufal G., Bögeholz A.L., Klein A.M. 2013. Cross-pollination benefits differ among oilseed rape varieties. *J. Agric. Sci.*, 152(5), 770–778.
78. Izdebski W., Skudlarski J., Zajac S. 2014. Wykorzystanie surowców pochodzenia rolniczego do produkcji biopaliw transportowych w Polsce. *Roczniki Naukowe SERiA T. 16 Z. 2*, 93–97.

79. Jackson G. 2000. Effect of nitrogen and sulphur on canola yield and nutrient uptake. *Agron. J.*, 92, 644–649.
80. Jahns T., Kaltwasser H. 2000. Mechanism of microbial degradation of slow-release fertilizers. *J. Polymer Environ.*, 8(1), 11–16.
81. Jankowski K., Budzyński W. 2000. Wpływ sposobu wiosennego nawożenia azotem na plonowanie i energochłonność produkcji rzepaku ozimego. I. Wysokość i jakość plonu nasion. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXI, 2, 429–438.
82. Jankowski K., Budzyński W. 2007. Reakcja różnych form hodowlanych rzepaku ozimego na termin i gęstość siewu II. Plon nasion i jego składowe. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXVIII, 2, 195–207.
83. Jankowski K., Budzyński W., Załuski D., Hulanicki P., Dubis B. 2016. Using a fractional factorial design to evaluate the effect of the intensity of agronomic practices on the yield of different winter oilseed rape morphotypes. *Field Crops Res.*, 188, 50–61.
84. Jankowski K., Rybacki R., Budzyński W. 2005. Nawożenie a plon nasion rzepaku ozimego w gospodarstwach wielkoobszarowych. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXVI, 2, 437–450.
85. Jasińska Z., Kotecki A. 1995. Wpływ rozstawy rzędów i ilości wysiewu na rozwój, plonowanie oraz wartość pokarmową kilku odmian bobiku. Cz. II. Plony i wartość pokarmowa. *Rocz. Nauk. Rol.*, A., 111(1–2), 155–159.
86. Jasińska Z., Kotecki A., Kozak M. 1997. Masa i skład chemiczny resztek poźniwnych wybranych odmian grochu i bobiku. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 446, 239–246.
87. Jaskulska I., Jaskulski D. 2011. Wpływ rozmieszczenia roślin na powierzchni pola na plonowanie rzepaku ozimego przy małej jego obsadzie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 559, 87–96.
88. Jędrzycka M., Korbas M., Jajor E., Danielewicz J., Kaczmarek J. 2013. The occurrence of *Plasmodiophora brassicae* in agricultural soils in the Wielkopolska region, in 2011–2012. *Prog. Plant Prot.*, 53(4), 774–778.
89. Kapusta F. 2015. Ewolucja miejsca i roli rzepaku w rolnictwie oraz gospodarce Polski. *Zesz. Nauk. SGGW Warszawa. Problemy Rolnictwa Światowego*, 15, 2, 85–95.



90. Kasiotis K.M., Anagnostopoulos C., Anastasiadou P., Machera K. 2014. Pesticide residues in honeybees, honey and bee pollen by LC-MS/MS screening: Reported death incidents in honeybees. *Sci. Total Environ.* 485, 633–642.
91. Keshavarz M.H., Abadi Y. H., Esmaeilpour K., Damiri S., Oftadeh M. 2017. A Novel Class of Nitrogen-rich Explosives Containing High Oxygen Balance to Use as High Performance Oxidizers in Solid Propellants. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 42(10), 1155–1160.
92. Kessel B., Schierholt A., Becker H.C. 2012. Nitrogen use efficiency in a genetically diverse set of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Crop Sci.*, 52, 2546–2554.
93. Korbas M., Jajor E., Budka A. 2009. Clubroot (*Plasmodiophora brassicae*) - a threat for oilseed rape. *J. Plant Prot. Res.*, 49(4), 446–451.
94. Korzeniowska, J. 2009. Postęp w badaniach nad nawozami o kontrolowanym działaniu. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 18, 9–26.
95. Kotecki A., Kozak M., Malarz W. 2002. Wykorzystanie słomy pszenicy ozimej do nawożenia rzepaku ozimego (cz. I-IV). *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXIII, 2, 287–336.
96. Kotecki A., Kozak M., Malarz W. 2004. Wpływ zróżnicowanego poziomu agrotechniki na rozwój i plonowanie odmian rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXV, 1, 97–107.
97. Kotecki A., Kozak M., Malarz W. 2005. Wpływ zróżnicowanej technologii uprawy na rozwój i plonowanie odmian rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXVI, 1, 111–124.
98. Kotecki A., Malarz W., Kozak M. 2001. Wpływ nawożenia azotem na rozwój i plonowanie pięciu odmian rzepaku jarego. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXII, 1, 69–80.
99. Krzymański J. 2000. Perspektywy badań nad rzepakiem i jego hodowlą. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXXI, 1, 7–14.
100. Krzymanski J., Downey R.K. 1969. Inheritance of fatty acid composition in winter forms of rapeseed, *Brassica napus*. *Can. J. Plant Sci.*, 49(3), 313–319.
101. Kulig B., Oleksy A., Pyziak K., Styrc N., Staroń J. 2010. Wpływ warunków siedliskowych na plonowanie oraz zróżnicowanie wybranych wskaźników roślinnych populacyjnych odmian rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXXI, 1, 91 – 114.

102. Kumar U., Jain M.C., Kumar S., Pathak H., Majumdar D. 2000. Role of nitrification inhibitors on nitrous oxide emissions in a fertilized alluvial clay loam under different moisture regimes. *Curr. Sci.*, 79 (2), 224–228
103. Kwiatkowski C.A. 2012. Response of winter rape (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* Metzg., Sinsk) to foliar fertilization and different seeding rates. *Acta Agrobot.*, 65(2), 161–169.
104. Kwiatkowski M., Paliw W. E. 2009. Analiza stanu aktualnego i perspektyw rozwoju produkcji oraz wykorzystania biodiesela w Polsce. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 11(3), 13-26.
105. Ladek A., Wałkowski T. 2000. Wpływ gęstości nasion na wschody i plonowanie rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXI, 2, 409–418.
106. Leinker M., Reinhardt-Hanisch A., Hartung E., von Borell E. 2005. Reducing Ammonia Emissions by Using Urease Inhibitors. *Landtechnik* 6.
107. Li Y.S., Lu J.W., Liao X., Zou J., Li X.K., Yu C.B., Ma C.B., Gao X.Z. 2011. Effect of nitrogen application rate on yield and nitrogen fertilization efficiency in rapeseed. *Chin. J. Oil Crop Sci.*, 33, 379–383.
108. Li Y.S., Yu C.B., Zhu S., Xie L.H., Hu X.J., Liao X., Liao X.S., Che Z. 2014. High planting density benefits to mechanized harvest and nitrogen application rates of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Soil Sci. Plant Nutr.*, 60, 384–392.
109. Liu H.L. 1987. Practical cultivation of rape seed. Shanghai: Scientific Technology Press. pp. 235–251.
110. Liu Q., Song H.X., Rong X.M. 2008. Differences in nitrogen use efficiency among different rape varieties and their physiological basis. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 14, 113–119.
111. Malagoli P., Laine P., Rossato L., Ourry A. 2005. Dynamics of nitrogen uptake and mobilization in field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) from stem extension to harvest. *Ann. Bot.*, 95, 853–861.
112. Malarz W., Kozak M., Kotecki A. 2006. Wpływ zagęszczenia roślin w łanie na wysokość i jakość plonu trzech odmian rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXVII, 2, 299–310.
113. Martyniuk S. 2008. Znaczenie procesu biologicznego wiązania azotu atmosferycznego w rolnictwie ekologicznym. *J. Res. Applic. Agr. Eng.*, 53(4), 9–14.

114. Mason M.G., Brennan R.F. 1998. Comparison of growth response and nitrogen uptake by canola and wheat following application of nitrogen fertilizer. *J. Plant Nutr.*, 21(7), 1483–1499.
115. Matyjaszczyk E., Dobrzański A. 2015. Ochrona rabarbaru (*Rheum raponticum* L.) przed chwastami w Polsce i innych krajach. *Prog. Plant Prot.*, 55(4), 466–471.
116. Merino P., Estavillo J.M., Graciolli L.A., Pinto M., Lacuesta M., Munoz-Rueda A., Gonzalez-Murua C. 2006. Mitigation of N<sub>2</sub>O emissions from grassland by nitrification inhibitor and Actilith F2 applied with fertilizer and cattle slurry. *Soil Use Manag.*, 18(2), 135–141.
117. Mert-Turk F., Gul M.K., Egesel C.O. 2008. Nitrogen and fungicide applications against *Erysiphe cruciferarum* affect quality components of oilseed rape. *Mycopathologia*, 165, 27–35.
118. Min Z., Yuechao Y., Fupeng S., Yanxi S. 2005. Study and Industrialized Development of Coated Controlled-Release Fertilizers. *J. Chem. Fert. Ind.*, 177–196.
119. Mocek-Płóćiniak A. 2010. Wykorzystanie aktywności enzymatycznej do oceny wpływu antropogenicznych zmian wywołanych przez metale ciężkie w środowisku glebowym. *Nauka Przyr. Technol.*, 4(6), 86.
120. Moghadam H.R.T., Zahedi H., Ghooshchi F. 2011. Oil quality of canola cultivars in response to water stress and super absorbent polymer application. *Pesqui. Agropecu. Trop.*, 41, 579–586.
121. Mohd Zuki M.M., Sakimin S.Z., Yusop M.K. 2020. N-(n-Butyl) Thiophosphoric Triamide (NBPT)-Coated Urea (NCU) Improved Maize Growth and Nitrogen Use Efficiency (NUE) in Highly Weathered Tropical Soil. *Sustainability*, 12(21), 8780.
122. Moir J.L., Cameron K.C., Di H.J. 2007. Effects of the nitrification inhibitor dicyandiamide on soil mineral N, pasture yield, nutrient uptake and pasture quality in a grazed pasture system. *Soil Use Manage.*, 23, 111–120.
123. Moradi-Telavat M.R., Siadat S.A., Nadian H., Fathi G. 2008. Effect of nitrogen and boron on canola yield and yield components in Ahwaz, Iran. *Int. J. Agric. Res.*, 3, 415–422.
124. Mousavian S.N., Siadat S.A., Telavat M.R.M., Mousavi S.H. 2013. Yields reaction, Nitrogen uptake and canola qualitative attributes to nitrogen levels and previous plants. *Int. J. Farm. Alli. Sci.*, 2, 698–703.

125. Muśnicki C. 1989. Charakterystyka botaniczno-rolnicza rzepaku ozimego i jego plonowanie w zmiennych warunkach siedliskowo-agrotechnicznych. Roczn. AR Poznań. Rozprawy Naukowe, 191, 93–97, 110–112.
126. Muśnicki C., Bartkowiak-Broda I., Mrówczyński M. 2005. Technologia produkcji rzepaku. Wieś Jutra, 203.
127. Najera F., Tapia Y., Baginsky C., Figueroa V., Cabeza R., Salazar O. 2015. Evaluation of soil fertility and fertilization practices for irrigation maize (*Zea mays* L.) under Mediterranean conditions in Central Chile. J. Soil Sci. Plant Nutr., 15, 84–97.
128. Narits L. 2010. Effect of nitrogen rate and application time to yield and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *oleifera* subvar. *biennis*). Agron. Res., 8 (Spl Issue III), 671–686.
129. Ogrodowczyk M., Bartkowiak-Broda I. 2013. Ocena postępu biologicznego w hodowli rzepaku (*Brassica napus* L.). Rośl. Oleiste – Oilseed Crops, XXXIV, 2, 289–301.
130. Ojczyk T., Jankowski K. 1996. Głębokość orki a zimowanie i plonowanie rzepaku ozimego. Rośl. Oleiste – Oilseed Crops, XVII, 1, 249–255.
131. Oleksy A. 2018. Reakcja produkcyjno-rozwojowa odmian rzepaku ozimego na zróżnicowane dawki N i S. Fragm. Agron., 35(2), 79–97.
132. Omirou M.D., Papadopoulou K.K., Papastylianou I., Constantinou M., Karpouzas D.G., Asimakopoulos I., Ehaliotis C. 2009. Impact on Nitrogen and Sulfur Fertilization on the Composition of Glucosinolates in Relation to Sulfur Assimilation in Different Plant Organs of Broccoli. J. Agri. Food Chem., 57(20), 9408–9417.
133. Orlovius K. 2003. Oilseed rape. In: Kirbky, E.A. (ed.). Fertilizing for High Yield and Quality, IPI Bulletin, Basel, 16, p.125.
134. Özer H. 2003. Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapeseed cultivars. Europ. J. Agron., 19, 453–463.
135. Öztürk Ö. 2010. Effects of source and rate of nitrogen fertilizer on yield, yield components and quality of winter rapeseed (*Brassica napus* L.). Chil. J. Agric. Res., 70(1), 132–141.
136. Parylak D., Pytlarz E., Paluch M. 2016. Zmiany zachwaszczenia łąnu w wieloletniej monokulturze pszenżyta ozimego. Fragm. Agron., 33(2), 63–70.

137. Pasda G., Hähndel R., Zerulla W. 2001. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biol. Fert. Soils*, 34, 85–97.
138. Pei Z.F., Ming D.F., Liu D., Wan G.L., Geng X.X., Gong H.J., Zhou W.J. 2010. Silicon improves the tolerance to water-deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *J. Plant Growth Regul.*, 29(1), 106–115.
139. Pellet D. 2002. Oilseed rape varietal response to nitrogen fertilization. *GCIRC Bulletin* 18.
140. Perek A., Jajor E., Pieczul K., Świerczyńska I., Korbas M. 2019. Methods of soil sterilization contaminated with spores of *Plasmodiophora brassicae*, causal agent of clubroot. *Prog. Plant Prot.*, 59(1), 32–37.
141. Perez-García S., Fernández-Pérez M., Villafranca-Sánchez M., González-Pradas E., Flores-Céspedes F. 2007. Controlled release of ammonium nitrate from ethylcellulose coated formulations. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 46(10), 3304–3311.
142. Phongpan S., Freney J.R., Keerthisinghe D.G., Chaiwanakupt P. 1995. Use of phenylphosphorodiamidate and N-(n-butyl)thiophosphorictriamide to reduce ammonia loss and increase grain yield following application of urea to flooded rice. *Fert. Res.*, 41(1), 59–66.
143. Pieczka H. 1974. Wpływ uwilgotnienia gleby na rozwój roślin i strukturę plonu rzepaku ozimego przy stosowaniu dwóch sposobów oznaczania jej optymalnej wilgotności, jak i niedoborów wody w glebie. *Maszynopis rozpr. dokt, KURR AR Poznań*.
144. Podleśna A. 2004. Wpływ nawożenia siarką na zawartość i pobieranie składników pokarmowych przez rzepak ozimy. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXV, 2, 627–636.
145. Ratajczak K., Sulewska H., Szymańska G. 2017. New winter oilseed rape varieties - seed quality and morphological traits depending on sowing date and rate. *Plant Prod. Sci.*, 20(3), 262–272.
146. Rathke G.W., Behrens B., Diepenbrock W. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agric., Ecosyst. Environ.*, 117, 80–108.

147. Rathke G. W., Christen O., Diepenbrock W. 2005. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Res.*, 94(2-3), 103–113.
148. Rembeza J. 2012. Powiązania pomiędzy cenami rzepaku w Polsce i na rynku międzynarodowym. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXXIII, 1, 19–26.
149. Roll R. 1999. Zur Toxikologie von DMPP. (German) In: BASF AG (ed) Düngen mit einer neuen Technologie. Innovation in der Düngung Entec. Proceedings of a Scientific Colloquium 1999, BSAF Agricultural Center Limburgerhof. Scientific, pp. 39–44.
150. Rossato L., Dantec L.C., Laine P., Ourry A. 2002. Nitrogen storage and remobilization in *Brassica napus* L. during the growth cycle: Identification characterization and immunolocalization of a putative taproot storage glycoprotein. *J. Exp. Bot.*, 53, 265–275.
151. Różyło K., Pałys E. 2014. New oilseed rape (*Brassica napus* L.) varieties – canopy development, yield components, and plant density. *Acta Agric. Scand. Sect. B – Soil Plant Sci.*, 64(3), 260–266.
152. Rudko T. 2011. Uprawa rzepaku ozimego. *Rzepak. Zasady uprawy. Zdrowa żywność*. Inst. Agrofiz. PAN Lublin, 78.
153. Sauermann W. 2000. Anbautechnik Hybridraps. *Raps* 18(1), 4–8.
154. Schuster C., Wozniak H., Niclas H.J. 2005. Neue Stickstoff-Düngemittel – Anforderungen und Potentiale. *Tagungsbericht wissenschaftliche Konferenz Bernburg-Strenzfeld*, Okt.
155. Serna M.D., Bañuls J.A., Quiñones A., Primo-Millo E., Legaz F. 2000. Evaluation of 3,4-dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibitor in Citrus-cultivated soil. *Biol. Fertil. Soils*, 32, 41–46.
156. Shavit U., Reiss M., Shaviv A. 2003. Wetting mechanisms of gel-based controlled-release fertilizers. *J. Contr. Release.*, 88, 71–83.
157. Shaviv A. 1996. Plant response and environmental aspects as affected by rate and pattern of nitrogen release from controlled release N fertilizers. *Progress in nitrogen cycling studies*. Eds. Van Clempet et al., Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 285–291.

158. Shaviv A. 2005. Controlled release fertilizers. IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Frankfurt, International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
159. Shaviv A., Mikkelsen R.I. 1993. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation - a review. *Fertil. Res.*, 35, 1-12.
160. Siadat S.A., Moradi-Telavat M.R., Fathi G., Mazarei M., Alamisaeid K., Mousavi S.H. 2011. Rapeseed (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) response to nitrogen fertilizer following different previous crops. *Ital. J. Agron.*, 6, e31, 199–203.
161. Sidlauskas G., Bernotas S. 2003. Some factors affecting seed yield of spring oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Agron. Res.*, 1(2), 229–243.
162. Sieling K., Beims S. 2007. Effects of 15N Split-application on Soil and Fertiliser N Uptake of Barley, Oilseed Rape and Wheat in Different Cropping Systems. *J. Agron. Crop Sci.*, 193(1), 10–20.
163. Sieling K., Gunther-Borstel O., Teebken T., Hanus H. 1999. Soil mineral N and N net mineralization during autumn and winter under an oilseed rape - winter wheat - winter barley rotation in different crop management systems. *J. Agric. Sci. Camb.*, 132, 127–137.
164. Šimka J., Mikšík V., Bečka D., Vašák J., Zukalová H. 2012. Importance of autumnal application of nitrogen and stabilized nitrogen fertilizers in winter rapeseed nutrition (*Brassica napus* L. convar. *napus* f. *biennis*). *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXXIII, 1, 89–97.
165. Skiba U., Smith K.A., Fowler D. 1993. Nitrification and denitrification as sources of nitric oxide and nitrous oxide in a sandy loam soil. *Soil Biol. Biochem.*, 25(11), 1527–1536.
166. Sobik M. 2005. *Klimat. Przyroda Dolnego Śląska*, pod redakcją Fabiszewskiego. Polska Akademia Nauk-Oddział we Wrocławiu, Wrocław, 39–57.
167. Söchtling H.P., Verret J.A. 2004. Effects of different cultivation systems (soil management and nitrogen fertilization) on the epidemics of fungal diseases in oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *napus*). *J. Plant Dis. Protect.*, 111, 1–29.
168. Song H.X., Peng J.W., Liu Q. 2008. Nitrogen redistribution characteristics of oilseed rape varieties with different nitrogen physiological efficiency during later growing period. *Sci. Agric. Sin.*, 41, 1858–1864.

169. Sowiński J., Głąb L. 2018. The effect of nitrogen fertilization management on yield and nitrate contents in sorghum biomass and bagasse. *Field Crops Res.*, 227, 132–143.
170. Spsychalski B., Pietkiewicz S., Ławicki A., Adamski A., Kalaji H. M. 2018. Analiza wzrostu rzepaku ozimego w okresie zawiązywania i wypełniania łuszczyń. *Inżynieria Ekologiczna*, 19(5), 36–46.
171. Stahl A., Pfeifer M., Frisch M., Wittkop B., Snowdon R.J. 2017. Recent genetic gains in nitrogen use efficiency in oilseed rape. *Front. Plant Sci.*, 8, 963.
172. Stahl A., Vollrath P., Samans B., Frisch M., Wittkop B., Snowdon R. J. 2019. Effect of breeding on nitrogen use efficiency-associated traits in oilseed rape. *J. Exp. Bot.*, 70(6), 1969–1986.
173. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., Moszowski B., Biskupski A., Krawczyński T., Żak K. 2018. Porównanie efektywności nawozowej saletry amonowej granulowanej metodą mechaniczną i wieżową oraz mocznika w warunkach suszy i optymalnej wilgotności gleby. *Przem. Chem.*, 97.
174. Storer K.E., Berry P.M., Kindred D.R., Sylvester-Bradley R. 2018. Identifying oilseed rape varieties with high yield and low nitrogen fertiliser requirement. *Field Crops Res.*, 225, 104–116.
175. Sułek A., Podolska G., Jaśkiewicz B. 2016. Plonowanie i zdrowotność dwóch podgatunków pszenicy w zależności od udziału zbóż w strukturze zasiewów w warunkach integrowanej produkcji. *Pol. J. Agron.*, 27, 118–125.
176. Szymankiewicz K., Jankowska D., Deryło S. 2003. Wpływ płodozmianu i monokultury oraz sposobu uprawy roli na bioróżnorodność flory zachwaszczającej pszenżyto ozime. *Acta Agrophys.*, 1(4), 746–772.
177. Świącicki W.K., Surma M., Koziara W., Skrzypczak G., Szukała J., Bartkowiak-Broda I., Zimny J., Banaszak Z., Marciniak K. 2011. Nowoczesne technologie w produkcji roślinnej – przyjazne dla człowieka i środowiska. *Pol. J. Agron.*, 7, 102–112.
178. Tańska M., Rotkiewicz D. 2003. Wpływ różnych czynników na jakość nasion rzepaku. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXIV, 2, 595–616.
179. Tomaszewska M., Jarosiewicz A. 2006. Inteligentne nawozy, *Chemik*, 6, 328.



180. Tommey A.M., Evans E.J. 1992. The influence of pre-floral growth and development on the pathway of floral development, dry matter distribution and seed yield in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Ann. Appl. Biol.*, 121, 687–696.
181. Trenkel M.E. 2010. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture, IFA, Paris.
182. Turhan H., Gül M. K., Egesel C. Ö., Kahriman F. 2011. Effect of sowing time on grain yield, oil content, and fatty acids in rapeseed (*Brassica napus* subsp. *oleifera*). *Turk. J. Agric. For.*, 35, 225–234.
183. Van Veen J.A. 2000. Nitrogen: recent developments in related microbial processes. W: Biological resource management, Eds: E. Balazs i in., INRA Editions, s.71–80.
184. Varel V.H., Nienaber J.A., Freetly H.C. 1999. Conservation in cattle feedlot waste with urease inhibitors. *J. Anim. Sci.*, 77(5), 1162–1168.
185. Vinzent B., Fuss R., Maidl F.X., Huelsbergen K.J. 2018. N<sub>2</sub>O emissions and nitrogen dynamics of winter rapeseed fertilized with different N forms and a nitrification inhibitor. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 259, 86–97.
186. Wałkowski T. 2012. Výnos hybridních odrůd řepky ozimé v poregistračních zkouškách v Polsku. Yield of winter oilseed rape hybrid varieties in post-registration trials in Poland. *Prosperující olejniný. Sborník Konference s Mezinárodní Účasti, Česká Zemědělská Univerzita v Praze. 6-7.12.2012.*
187. Watson C.J. 2005. Urease inhibitors. IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Frankfurt. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
188. Watson C.J., Akhonzada N.A., Hamilton J.T.G., Matthews D.I. 2008. Rate and mode of application of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide on ammonia volatilization from surface-applied urea. *Soil Use Manage.*, 24(3), 246–253.
189. Watson C.J., Poland P., Miller H., Allen M.D.B., Garrett M. K., Christianson C.B. 1994. Agronomic assessment and 15N recovery of urea amended with the urease inhibitor nBTPT (N-(n.butyl)thiophosphoric triamide) for temperate grassland. *J. Plant. Soil*, 161,167–177.
190. Weber A., Gutser R., Michel H.J., Wozniak H., Chen G.X., Xu H., Niclas H.J. 2004a. Dicyandiamide and 1H-1,2,4-Triazole – a new effective nitrification inhibitor for reducing nitrous oxide emissions from cultivated land. In: A. Weiske:

- Greenhouse Gas Emissions from Agriculture – Mitigation Options and Strategies, 158 Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers Proceedings, International Conference, February 10-12, 2004, Leipzig, Germany, pp. 273–275.
191. Weber A., Gutser R., Schmidhalter U. 2004b. Effect of New Urease Inhibitors on Gaseous N Emissions (NH<sub>3</sub>, Nox, N<sub>2</sub>O) Following Surface Application to Arable Soil. In: A. Weiske: Greenhouse Gas Emissions from Agriculture – Mitigation Options and Strategies, Proceedings, International Conference, February 10-12.2004, Leipzig, Germany, pp. 271–272.
192. Weiske A., Benckiser G., Herbert T., Ottow J.C.G. 2001. Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. *Biol. Fertil. Soils*, 34, 109–117.
193. Wielebski F. 2008. Efektywność nawożenia siarką różnych typów hodowlanych odmian rzepaku w świetle wyników wieloletnich doświadczeń polowych. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXIX, 1, 91–103.
194. Wielebski F. 2011. Wpływ nawożenia siarką w warunkach stosowania zróżnicowanych dawek azotu na skład chemiczny nasion różnych typów odmian rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXXII, 1, 79–95.
195. Wielebski F., Wójtowicz M. 2001. Wpływ gęstości siewu na plon nasion oraz cechy morfologiczne i elementy struktury plonu odmian populacyjnych i mieszańcowych rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXII, 2, 349–362.
196. Wiesler F., Behrens T., Horst W.J. 2001a. Nitrogen efficiency of contrasting rape ideotypes. *Kluwer Academic Publishers*, 60–61.
197. Wiesler F., Behrens T., Horst W.J. 2001b. The role of nitrogen-efficient cultivars in sustainable agriculture. *Sci. World J.*, 1, 61–69.
198. Wojnowska T., Panak H., Sienkiewicz S. 1995. Reakcja rzepaku ozimego na wzrastający poziom nawożenia azotem w warunkach czarnych gleb kętrzyńskich. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XVI, 1, 173–180.
199. Wójtowicz M. 2004. Wpływ nawożenia azotowego i warunków środowiskowych na cechy biologiczne i użytkowe złożonych odmian mieszańcowych rzepaku ozimego Kaszub i Mazur. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXV, 1, 109–123.

200. Wójtowicz M. 2005. Wpływ warunków środowiskowych na zmienność i współzależność pomiędzy plonem nasion rzepaku ozimego oraz komponentami jego struktury. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXVI, 1, 99–110.
201. Wójtowicz M. 2013. Rola czynników środowiskowych i agrotechnicznych w kształtowaniu wielkości i jakości plonu rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.). *Monografie i rozprawy naukowe IHAR-PIB*, 45, ss 111.
202. Wójtowicz M., Jajor E. 2006. Wpływ nawożenia azotowego na skład chemiczny nasion pięciu odmian rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops*, XXVII, 1, 31–44.
203. Wójtowicz A., Korbas M., Wielebski F. 2017. Wpływ gęstości wysiewu nasion i poziomu nawożenia azotem na rozwój i plonowanie rzepaku ozimego. *Fragm. Agron.*, 34(3), 130–141.
204. Wójtowicz M., Muśnicki C. 2001. Zmienność i współzależność pomiędzy plonem nasion podwójnie ulepszonych odmian rzepaku ozimego a komponentami jego struktury. *Rocz. AR Poznań*, 335, 125–139.
205. Woźniak H., Fuchs M., Michel H.J., Niclas H.J., Zhang Z.M., Chen, G.X. 2001. The efficacy of the new nitrification inhibitor DCD + 1H-1,2,4 triazole in agricultural crops in China. 12th World Fertilizer Congress of CIEC, August 2001, Beijing, China; Vol II.
206. Woźniak H., Michel H.J., Fuchs M. 1999. Nitrification inhibitors for economically efficient and environmentally friendly nitrogen fertilization. In: *Proceedings of the IFA Agricultural Conference on Managing Plant Nutrition*, Barcelona. International Fertilizer Industry Association, Paris, France. pp 182–194.
207. Wu L., Liu M. 2008. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled release and water retention. *Carbohydr. Polym.*, 72, 240–247.
208. Wu L., Liu M., Liang R. 2008. Preparation and properties of a double coated slow release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water retention. *Bioresour. Technol.*, 99, 547–554.
209. Yang M., Fang Y., Sun D., Shi Y. 2016. Efficiency of two nitrification inhibitors (dicyandiamide and 3, 4-dimethylpyrazole phosphate) on soil nitrogen transformations and plant productivity: a meta-analysis. *Sci. Rep.*, 6, 22075.

210. Yasari I., Patwardhan A.M., Ghole V.S., Omid G.C., Ahmad A. 2008. Relationship of growth parameters and nutrients uptake with canola (*Brassica napus* L.) yield and yield contribution at different nutrients availability. Pak. J. Biol. Sci., 11, 845–853.
211. Zając T., Klimek-Kopyra A., Oleksy A., Lorenc-Kozik A., Ratajczak K. 2016. Analysis of yield and plant traits of oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivated in temperate region in light possibilities of sowing in arid areas. Acta Agrobot., 69(4), 1696–1709.
212. Zając T., Kulig B. 2000. Plonowanie odmian bobiku o zróżnicowanym rytmie wzrostu uprawianych w siewie czystym i jako mieszaniny odmianowe. Fragm. Agron., 17(2), 109–119.
213. Zanin L., Tomasi N., Zamboni A., Varanini Z., Pinton R. 2015. The urease inhibitor NBPT negatively affects DUR3-mediated uptake and assimilation of urea in maize roots. Front. Plant Sci., 6, 1007.
214. Zhang Z.H., Song H.X., Liu Q., Rong X.M., Peng J.W., Xie G.X., Zhang Y.P. 2009. Study on differences of nitrogen efficiency and nitrogen response in different oilseed rape (*Brassica napus* L.) varieties. Asian J. Crop Sci., 1, 105–112.
215. Zhang Z.H., Song H.X., Liu Q., Rong X.M., Peng J.W., Xie G.X., Zhang Y.P., Chen L.R., Guan C.Y., Gu J.D. 2012. Responses of seed yield and quality to nitrogen application levels in two oilseed rape (*Brassica napus* L.) varieties differing in nitrogen efficiency. Plant Prod. Sci., 15(4), 265–269.

## 11. Streszczenie

W latach 2014–2017 na polach doświadczanych Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej w Pawłowicach, przeprowadzono dwuczynnikowe doświadczenie, założone w układzie „split-plot”, w którym badano wpływ różnych nawozów azotowych (saletra amonowa, mocznik, Alzon, UREAstabil) na wysokość i jakość plonu odmian rzepaku ozimego (Jimmy, SY Alister F<sub>1</sub>, SY Kolumb F<sub>1</sub>). Wiosenne nawożenie azotem podzielono na dwie części. Pierwszą dawkę azotu zastosowano w postaci saletry amonowej w dawce 80 kg·ha<sup>-1</sup> N, natomiast druga dawka azotu również w wysokości 80 kg·ha<sup>-1</sup> została wysiana zgodnie ze schematem doświadczenia.

Wyniki badań pozwalają na sformułowanie następujących wniosków :

1. Zmienne warunki termiczno-wilgotnościowe miały wpływ na rozwój odmian rzepaku ozimego, cechy morfologiczne i elementy struktury plonu.
2. Cechy morfologiczne i elementy struktury plonu zależały przede wszystkim od zmiennych lat badań, następnie właściwości odmianowych, natomiast w małym stopniu od rodzaju nawozu azotowego stosowanego wiosną.
3. Zawartość azotu w liściach w fazie pąkowania była zróżnicowana przez zmienny przebieg pogody w latach badań, natomiast w fazie kwitnienia zależała od zmiennych warunków termiczno-wilgotnościowych oraz czynnika odmianowego.
4. Skład chemiczny nasion i śruty różnicował zmienny w latach przebieg pogody i czynnik odmianowy.
5. Najniższe plony nasion (3,38 t ha<sup>-1</sup>) uzyskano wysiewając populacyjną odmianę Jimmy, natomiast odmiany mieszańcowe Alister i Kolumb plonowały istotnie wyżej o 10% i 8%. Podobną zależność stwierdzono w przypadku wydajności tłuszczu surowego, białka ogółem i śruty rzepakowej.
6. Zastosowanie saletry amonowej pozwoliło uzyskać najwyższy plon nasion wynoszący średnio za 3 lata badań 3,77 t·ha<sup>-1</sup>. Niższe plony nasion odpowiednio o 6,9%: 6,6% i 6,1% uzyskano stosując UREAstabil, mocznik (N 46) i Alzon. Podobną zależność uzyskano w stosunku do wydajności tłuszczu surowego, białka ogółem i śruty rzepakowej.

7. Zawartość glukozyzolanów w nasionach zależała od zmiennych warunków pogodowych w latach badań oraz właściwości odmianowych. Najwięcej glukozyzolanów gromadziła odmiana populacyjna Jimmy ( $17,1 \mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$ ), zaś najmniej odmiana Kolumb ( $11,5 \mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$ ). U badanych odmian spośród wszystkich glukozyzolanów alkenowych najwięcej gromadziło się szkodliwej progoitryny.
8. Nie stwierdzono istotnego wpływu rodzaju nawozu azotowego na zawartość glukozyzolanów w nasionach rzepaku.
9. W gospodarstwach towarowych produkujących rzepak ozimy zaleca się stosowanie w drugiej dawce wiosennego nawożenia azotowego saletry amonowej, która dzięki szybkiej dostępności dla rośliny poprawia plon nasion rzepaku. Stosowanie wolno działających form azotu skutkuje obniżką plonu nasion ze względu na duże zapotrzebowanie rzepaku na azot w okresie kwitnienia i wykształcania nasion.

Słowa kluczowe: rzepak ozimy, odmiany, azot, inhibitory, plon nasion, jakość plonu

## 12. Abstract

Due to the high nitrogen demand of oilseed rape plants a three year experiment (2014–2017) was carried out in the fields of the Institute of Agroecology and Plant Production in Pawłowice. The experiment had a split-plot design with two levels of experimental factors in which effect of applying different nitrogen fertilizers as a second spring dose on yielding and yield quality of three winter oilseed rape cultivars was analyzed. Winter oilseed rape cultivar (Jimmy, Alister, Kolumb) was the first experimental factor, and different nitrogen fertilizer (AN, urea, Alzon, UREAstabil) was the second. Spring nitrogen fertilization was divided into two parts. First dose of nitrogen was applied in the form of ammonium nitrate in the dose of  $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , while the second dose, also in the amount of  $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , was applied according to the experiment scheme. On the basis of obtained results the following conclusions were drawn:

1. Fluctuating weather pattern in the research years had an effect on plants' growth, morphological features and yield components.
2. Years of research had a greater effect on plants' morphological features and yield components than cultivar features and applied nitrogen.
3. During vegetation period the concentration of nitrogen in plants leaves at the budding stage was determined by changeable weather pattern, whereas at the flowering stage the concentration was characterized by weather conditions and varieties
4. The chemical content of rape seeds and meal, was mostly affected by fluctuating weather conditions during years of experiment, and to a lesser degree by types of cultivars.
5. The lowest seed yields were obtained with the heterotic cultivar Jimmy, compared to Alister F1 and Kolumb F1. Hybrid cultivar seed yields were significantly higher by 10% and 8%, respectively. Similar results were observed in case of crude fat, total protein yield and meal yield.
6. Yield of seeds depended on type of the second nitrogen application. The highest yield was harvested while applying ammonium nitrate  $3,77 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Using urea, Alzon and UREAstabil decreased the seed yield by 6,9%, 6,1 % and 6,6%, respectively. Similar results were observed in case of crude fat, total protein yield and meal yield.

7. Significant differences were recorded in the glucosinolates concentration depending on variable weather pattern and the type of a cultivar. The totals of glucosinolate were the least affected by Kolumb ( $11,5 \mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$ ) and the highest effect was recorded for Jimmy ( $17,1 \mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Among all glucosinolates the highest content of harmful progoitrin was recorded in all studied cultivars.
8. Nitrogen fertilization did not modify the glucosinolates composition.
9. It is recommended for commercial farms to use ammonium nitrate as a second dose of spring nitrogen fertilization, which, thanks to its quick availability to the plant improves the rape seed yield. Using slow-acting forms of nitrogen may result in a reduction of the seed yield, due to the high nitrogen demand of rapeseed plants during key stages: flowering and seed development.

Key words: oilseed rape, cultivars, nitrogen, inhibitors, seed yield, yield quality