

Wpływu obniżonych dawek różnych nawozów azotowych na chemiczne zmiany właściwości gleby, odżywianie, wzrost i plonowanie jabłoni oraz jakość owoców

1. Wstęp

Nawożenie azotem jest podstawowym zabiegiem mającym na celu optymalizację wzrostu roślin, plonowania oraz jakości owoców. Niedobór azotu mineralnego w glebie w okresie wegetacji roślin prowadzi do negatywnych skutków produkcyjnych. Jego nadmiar w środowisku glebowym powoduje nie tylko obniżenie plonowania roślin i pogorszenie jakości plonu, ale także ujemnie wpływa na środowisko naturalne, głównie na wody powierzchniowe i gruntowe. Celem niniejszej ekspertyzy jest ocena wpływu obniżonych dawek azotu z użyciem różnych nawozów na zmiany właściwości chemiczne gleby, odżywianie, wzrost i plonowanie jabłoni, a także na jakość ich owoców. Poniższe informacje oparto na wynikach przeprowadzonych badań w ramach zadania celowego 4.1 (Racjonalne nawożenie), a także na wynikach doświadczeń wykonanych w krajowych i zagranicznych jednostkach badawczych.

2. Formy azotu w glebie

Azot w glebie występuje w formie organicznej i mineralnej. Większość azotu w glebie jest obecna w formie organicznej, pochodzącej głównie z resztek roślinnych, odchodów zwierząt oraz mikroorganizmów. Procesy rozkładu materii organicznej, prowadzone przez mikroorganizmy glebowe, przekształcają azot organiczny w formy mineralne (Krogstad i inni, 2023; Tagliavini i Millard, 2005).

Do głównych form azotu mineralnego w glebie zalicza się azot w formie amonowej (NH_4^+) i azotanowej (NO_3^-). Obie formy azotu są pobierane przez korzenie roślin. Jony amonowe są adsorbowane przez cząstki ilaste gleby oraz koloidy próchniczne. Aniony azotanowe są mobilne w profilu gleby, co sprawia, że są one podatne na wymywanie do wód gruntowych (Endo i inni, 2018; Toselli i inni, 2011).

3. Przemiany azotu w glebie

Azot w glebie podlega następującym procesom biogeochemicznym:

- **Mineralizacji**, w którym mikroorganizmy glebowe przekształcają azot organiczny do NH_3 a następnie do jonów amonowych;



- **Nitrifikacji**, w którym bakterie nitryfikacyjne przekształcają jony amonowe do jonów azotanowych;
- **Denitrifikacji**, procesie zachodzącym w warunkach beztlenowych, w którym bakterie denitryfikacyjne przekształcają jony azotanowe do form gazowych, tj. tlenku azotu (NO), podtlenku azotu (N₂O) i azotu cząsteczkowego (N₂);
- **Immobilizacji**, w którym mikroorganizmy glebowe pobierają azot mineralny i przekształcają go w azot organiczny, wbudowując go w swoją biomasę;
- **Adsorpcji**, procesie dotyczącym jonów amonowych, które są adsorbowane na ujemnie naładowanych miejscach związków próchnicznych oraz cząstek ilastych;
- **Wymywaniu**, procesie dotyczącym głównie jonów azotanowych, które są wypłukiwane z powierzchniowej warstwy gleby przez wodę deszczową lub pochodzącą z nawadniania (Chen i inni, 2010; Dessureault-Rompré i inni, 2010; Guntiñas i inni, 2012; Treder, 2006).

4. Nawożenie azotem a zakwaszenie gleby

Różne formy azotu mineralnego w odmienny sposób wpływają na kwasowość gleby. Nawozy amonowe (np. siarczan amonu) oraz amidowe (mocznik) powodują znaczące zakwaszenie gleby głównie w wyniku procesu nitrifikacji, podczas którego wydzielane są do środowiska glebowego jony wodorowe. Stosowanie mocznika z inhibitorami ureazy oraz nawozów amonowych z inhibitorami nitrifikacji spowalnia jedynie procesy zakwaszenia gleby (Sahrawat, 2008).

Nawozy azotanowe (saletra wapniowa, potasowa) mają mniejszy wpływ na zakwaszenie gleby, a w niektórych przypadkach mogą nawet działać neutralizująco lub zasadowo. Wynika to z faktu, że wraz z tymi nawozami wprowadza się do gleby kationy zasadowe (wapń, potas). Ponadto, podczas pobierania jonów azotanowych przez korzenie, wydzielane są jony OH⁻ lub HCO₃⁻, które prowadzą do podwyższenia odczynu w ryzosferze (Tian i Niu, 2015).

5. Azot a budowa systemu korzeniowego

Rośliny zasilane azotem amonowym mają płytki i zwarty system korzeniowy, z licznymi korzeniami bocznymi. Ten typ wzrostu korzeni powoduje, że rośliny pobierają składniki mineralne głównie z górnej warstwy gleby. Korzenie zasilane azotem azotanowym są dłuższe, głębiej się rozwijają oraz mają luźno rozgałęzione korzenie boczne. Zrównoważone



stosowanie obu form azotu pozwala na optymalizację budowy i wzrostu systemu korzeniowego (Shear i Faust, 1980).

6. Forma azotu a pobieranie innych składników mineralnych

Stosowanie azotu w formie amonowej ogranicza pobieranie przez korzenie tych składników, które występują w roztworze glebowym jako kationy (np. potas, magnez, wapń). Redukcja pobierania jonów wapnia przez aniony amonowe jest szczególnie istotna w uprawie jabłoni ze względu na występowanie wielu chorób fizjologicznych jabłek związanych z niedoborem wapnia (Kowalczyk i inni, 2022).

Jony azotanowe hamują pobieranie składników występujących w roztworze glebowym w formie anionów (np. fosfor, siarka, molibden). Jednocześnie, jony azotanowe stymulują pobieranie składników w postaci kationów. Wpływ obu form azotu na procesy pobierania innych składników przez korzenie jest bardziej złożony, ponieważ dostępność składników w glebie, a tym samym zdolność roślin do ich pobrania, zależy od wielu czynników w tym kwasowości gleby, która jest determinowana m.in. obecnością azotu w formie amonowej i azotanowej (Yadav i inni, 2020).

7. Forma azotu a procesy wegetatywne, plonowanie i jakość owoców

Wpływ mineralnego azotu w glebie, występującego w różnych formach chemicznych, na wzrost jabłoni nie jest jednoznaczny. Przyjmuje się powszechnie, że jabłonie zasilane azotem amonowym mają słabszy wzrost w porównaniu do drzew zasilanych azotem azotanowym. Jednakże, różnice te mogą wynikać pośrednio z oddziaływania poszczególnych form azotu na procesy zakwaszania oraz zmiany fizyko-chemiczne właściwości gleby (Nielsen i inni, 1994).

Jabłonie zasilane azotem amonowym wykazują tendencję do wcześniejszego owocowania niż drzewa nawożone azotem azotanowym. Efekt ten jest szczególnie widoczny w przypadku jabłoni szczepionych na silniej rosnących podkładkach (Shear i Faust, 1980).

Plony jabłoni zasilanych azotem amonowym są na ogół mniejsze niż drzew nawożonych azotem azotanowym, choć efektywność plonotwórcza jabłoni (plon owoców w przeliczeniu na jednostkę powierzchni przekroju poprzecznego pnia) zasilanych obiema formami azotu jest porównywalna (Kühn i inni, 2011; Shear i Faust, 1980).



Jabłonie zasilane azotem amonowym mają tendencję do produkcji mniejszych owoców, co jest szczególnie widoczne w pierwszych latach wzrostu drzew. Jabłka z tych drzew są jednocześnie bardziej podatne na choroby fizjologiczne związane z niedoborem wapnia (Kowalczyk i inni, 2022; Zhang i inni, 2017).

8. Badań polowe w ramach zadania celowego

Celem badań było zbadanie wpływu nawożenia jabłoni azotem w zróżnicowanych warunkach glebowych na reakcję roślin oraz zmiany właściwości gleby. Doświadczenie stanowiło kontynuację badań przeprowadzonych w 2023 r. w ramach ówczesnego zadania celowego 4.1 (Nawożenie użytków rolnych). Badania przeprowadzono w dwóch lokalizacjach: w Sadzie Pomologicznym w Skierniewicach, należącym do Instytutu Ogrodnictwa – PIB oraz w prywatnym sadzie koło Łowicza. W obu sadach, jabłonie zasilano fosforem i potasem w dawce 20 kg P₂O₅/ha (2 g P₂O₅/m²) oraz 80 kg K₂O/ha (8 g K₂O/m²). Nawozy fosforowe (w postaci superfosfatu potrójnego) i potasowe (jako siarczan potasu) rozsiano w fazie zielonego pąka na powierzchnię ugoru herbicydowego. Nawożenie azotem wykonano w fazie różowego pąka, w dawkach pokrywających w 50%, 75% lub 100% potrzeby nawozowe jabłoni, oszacowane na podstawie zawartości materii organicznej gleby zgodnie z aktualną Metodą Integrowanej Produkcji Jabłek. W sadzie w Skierniewicach, dawki nawozów azotowych wyniosły 40 kg, 60 kg i 80 kg N/ha (co odpowiada 4 g, 6 g i 8 g N/m²), a w sadzie koło Łowicza ilości N wyniosły 30 kg, 45 kg i 60 kg N/ha (co odpowiada 3 g, 4,5 g i 6 g N/m²). Do zasilania drzew użyto saletry amonowej (34% N), mocznika (46% N) lub saletry wapniowej (15% N). Nawozy azotowe rozsiano równomiernie na powierzchnię ugoru herbicydowego.

W każdym testowanym sadzie, układ doświadczenia miał charakter dwuczynnikowy, w którym jednym czynnikiem była użyta dawka N, a drugim – rodzaj nawozu azotowego. W sadzie w Skierniewicach, na jednym poletku znajdowało się 8 drzew, a w prywatnym sadzie było 10 drzew. Niezależnie od lokalizacji sadu, pomiędzy poletkami znajdowały się dwa drzewa stanowiące strefę ochronną.

W fazie nabrzmiewania-pęknięcia pąków (przed zastosowaniem nawozów mineralnych), pobierano próbki gleby z ugoru herbicydowego z głębokości 0-20 cm oraz 21-40 cm. Analiza chemiczna gleby dotyczyła jej odczynu oraz zawartości dostępność składników pokarmowych. W sadzie w Skierniewicach, na poletkach zasilanych saletrą amonową oraz mocznikiem w największej dawce (80 kg N/ha), wartości odczynu gleby w warstwie 0-20 cm były mniejsze



niż na poletkach nawożonych saletrą wapniową (niezależnie od jej dawki) oraz saletrę amonową i mocznikiem w dawkach 40 kg i 60 kg N/ha (tabela 1). W warstwie tej, na poletkach, gdzie w poprzednim roku stosowano saletrę amonową oraz mocznik w największej dawce stwierdzono najmniej wapnia (tabela 1). Najwięcej wapnia w glebie zanotowano na poletkach, gdzie zastosowano saletrę wapniową w dawce 60 i 80 kg N ha⁻¹. Zawartości dostępnych form P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu i B w warstwie gleby 0-20 cm nie różniła się między badanymi obiektami.

Tabela 1. Odczyn gleby oraz dostępność składników mineralnych w glebie przed rozpoczęciem doświadczenia w warstwie gleby 0-20 cm na poletkach nawożonych azotem – Sad Pomologiczny w Skierniewicach.

Nawóz/ dawka	pH	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		mg L ⁻¹									
<i>Saletra amonowa</i>											
40 kg ha ⁻¹	6,0b	26a	90a	51a	781b	7,1a	90a	8,1a	3,3a	3,6a	0,7a
60 kg ha ⁻¹	6,0b	25a	88a	54a	770b	7,1a	88a	8,8a	3,2a	3,7a	0,7a
80 kg ha ⁻¹	5,6a	26a	86a	50a	687a	7,2a	87a	8,3a	3,5a	3,8a	0,8a
<i>Mocznik</i>											
40 kg ha ⁻¹	6,0b	25a	86a	55a	756b	7,1a	85a	8,3a	3,6a	3,9a	0,6a
60 kg ha ⁻¹	5,9ab	26a	85a	53a	751b	7,1a	89a	8,7a	3,8a	3,7a	0,7a
80 kg ha ⁻¹	5,7a	25a	89a	57a	645a	7,2a	89a	8,9a	3,6a	3,7a	0,7a
<i>Saletra wapniowa</i>											
40 kg ha ⁻¹	6,1b	27a	87a	54a	976c	7,1a	89a	8,0a	3,5a	3,6a	0,6a
60 kg ha ⁻¹	6,1b	25a	89a	55a	1143d	7,1a	85a	8,1a	3,3a	3,9a	0,7a
80 kg ha ⁻¹	6,1b	25a	85a	53a	1121d	7,3a	89a	8,2a	3,4a	3,9a	0,7a
Istotność testowanych czynników											
Nawóz (A)	*	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-
Dawka (B)	*	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-
A x B	*	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-

W sadzie jabłoniowym w Skierniewicach, odczyn gleby w warstwie 21-40 cm był porównywalny między poletkami (tabela 2). W warstwie tej, poletka nawożone saletrą wapniową miały więcej wapnia niż na pozostałych poletkach (tabela 2).

Tabela 2. Odczyn gleby oraz dostępność składników mineralnych w glebie przed rozpoczęciem doświadczenia w warstwie gleby 20-41 cm na poletkach nawożonych azotem – Sad Pomologiczny w Skierniewicach.

Nawóz/ dawka	pH	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		mg L ⁻¹									
<i>Saletra amonowa</i>											
40 kg ha ⁻¹	6,0a	6a	79a	51a	699a	4,3a	72a	8,9a	2,9a	2,1a	0,2a
60 kg ha ⁻¹	6,0a	6a	75a	52a	701a	4,1a	79a	8,6a	2,5a	2,6a	0,3a
80 kg ha ⁻¹	6,0a	5a	80a	48a	688a	4,0a	76a	8,8a	2,6a	2,4a	0,3a
<i>Mocznik</i>											



40 kg ha ⁻¹	6,1a	7a	80a	45a	678a	4,5a	79a	8,5a	2,6a	2,5a	0,3a
60 kg ha ⁻¹	6,1a	8a	76a	47a	687a	4,6a	78a	8,9a	2,9a	2,7a	0,4a
80 kg ha ⁻¹	6,0a	8a	78a	47a	691a	4,1a	79a	8,4a	2,7a	2,5a	0,3a
<i>Saletra wapniowa</i>											
40 kg ha ⁻¹	6,1a	7a	78a	44a	758b	4,3a	72a	8,7a	2,7a	2,5a	0,3a
60 kg ha ⁻¹	6,0a	7a	75a	48a	798b	4,2a	78a	8,9a	2,9a	2,7a	0,3a
80 kg ha ⁻¹	6,0a	5a	77a	49a	787b	4,3a	79a	8,6a	2,6a	2,7a	0,3a
Istotność testowanych czynników											
Nawóz (A)	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-
Dawka (B)	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-
A x B	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-

W sadzie jabłoniowym koło Łowicza, tylko poletka nawożone mocznikiem w największej dawce (60 kg N/ha) miały obniżone wartości odczynu gleby w warstwie powierzchniowej. Na poletkach zasilanych w poprzednim roku saletrą amonową oraz mocznikiem w dawce 60 kg N/ha, zawartości dostępnego wapnia były obniżone (tabela 3). Najwięcej dostępnego wapnia było na poletkach zasilanych saletrą wapniową w dawce 45 i 60 kg N ha⁻¹ (tabela 3).

Tabela 3. Odczyn gleby oraz dostępność składników mineralnych w glebie przed rozpoczęciem doświadczenia w warstwie gleby 0-20 cm na poletkach nawożonych azotem – Sad jabłoniowy koło Łowicza.

Nawóz/ dawka	pH	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		mg L ⁻¹									
<i>Saletra amonowa</i>											
30 kg ha ⁻¹	6,2b	43a	89a	45a	792b	9,2a	88a	8,8a	4,6a	4,5a	0,7a
45 kg ha ⁻¹	6,2b	43a	93a	44a	790b	9,1a	89a	8,7a	4,7a	4,7a	0,6a
60 kg ha ⁻¹	6,3b	45a	98a	47a	699a	9,2a	85a	8,4a	4,5a	4,3a	0,8a
<i>Mocznik</i>											
30 kg ha ⁻¹	6,3b	47a	94a	45a	758b	9,1a	87a	8,8a	4,7a	4,4a	0,8a
45 kg ha ⁻¹	6,1b	46a	99a	48a	765b	9,0a	83a	8,7a	4,6a	4,0a	0,6a
60 kg ha ⁻¹	5,7a	42a	96a	49a	687a	8,9a	86a	8,7a	4,5a	4,5a	0,7a
<i>Saletra wapniowa</i>											
30 kg ha ⁻¹	6,3b	42a	90a	44a	851c	8,8a	81a	8,1a	4,9a	4,4a	0,7a
45 kg ha ⁻¹	6,3b	43a	99a	48a	987d	8,7a	88a	8,5a	4,3a	4,6a	0,7a
60 kg ha ⁻¹	6,3b	43a	92a	46a	999d	8,8a	83a	8,7a	4,2a	4,8a	0,6a
Istotność testowanych czynników											
Nawóz (A)	-	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-
Dawka (B)	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-
A x B	*	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-

Zarówno odczyn gleby, jak i zawartości makro- i mikroskładników w warstwie gleby 21-40 cm nie różniły się istotnie między testowanymi kombinacjami (tabela 4).



Tabela 4. Odczyn gleby oraz dostępność składników mineralnych w glebie przed rozpoczęciem doświadczenia w warstwie gleby 21-40 cm na poletkach nawożonych azotem – Sad jabłoniowy koło Łowicza.

Nawóz/ dawka	pH	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		mg L ⁻¹									
<i>Saletra amonowa</i>											
30 kg ha ⁻¹	6,0a	5a	61a	40a	789a	6,1a	85a	6,0a	3,1a	2,9a	0,5a
45 kg ha ⁻¹	6,0a	5a	60a	42a	776a	6,0a	83a	6,2a	3,2a	3,1a	0,4a
60 kg ha ⁻¹	6,0a	4a	60a	40a	769a	6,3a	80a	6,5a	3,0a	2,8a	0,6a
<i>Mocznik</i>											
30 kg ha ⁻¹	6,1a	6a	65a	43a	756a	6,2a	80a	6,4a	3,3a	3,1a	0,6a
45 kg ha ⁻¹	6,0a	6a	63a	41a	767a	6,0a	82a	6,2a	3,4a	3,2a	0,4a
60 kg ha ⁻¹	6,1a	5a	61a	42a	771a	6,2a	84a	6,5a	3,4a	3,0a	0,6a
<i>Saletra wapniowa</i>											
30 kg ha ⁻¹	6,1a	6a	61a	43a	788a	6,1a	83	6,6a	3,5a	3,2a	0,7a
45 kg ha ⁻¹	6,0a	6a	60a	42a	776a	6,0a	87a	6,3a	3,6a	3,0a	0,5a
60 kg ha ⁻¹	6,1a	5a	63a	43a	789a	6,3a	85a	6,3a	3,5a	3,2a	0,5a
Istotność testowanych czynników											
Nawóz (A)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dawka (B)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A x B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Analizy liści jabłoni w sadzie w Skierniewicach oraz koło Łowicza wykazały, że jedynie zawartość azotu i wapnia zależała od testowanych kombinacji (tabele 5, 6). Niezależnie od użytego nawozu azotowego, obniżone dawki azotu spowodowały zmniejszenie zawartości tego składnika w liściach. W przypadku wapnia, jego zawartość w liściach była najwyższa na poletkach nawożonych saletrą wapniową w największej dawce.

Tabela 5. Zawartość składników pokarmowych w liściach jabłoni odmiany ‘Idared’, zasilanych nawozami azotowymi w zróżnicowanych dawkach (Sad Pomologiczny w Skierniewicach)

Nawóz/ dawka	N	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	%						mg kg ⁻¹				
<i>Saletra amonowa</i>											
40 kg ha ⁻¹	2,16a	0,19a	1,45a	0,23a	1,75a	0,18a	102a	93a	29a	7,2a	25a
60 kg ha ⁻¹	2,18a	0,20a	1,41a	0,22a	1,78a	0,19a	110a	94a	27a	6,9a	30a
80 kg ha ⁻¹	2,22b	0,18a	1,39a	0,25a	1,79a	0,17a	112a	90a	29a	7,0a	28a
<i>Mocznik</i>											
40 kg ha ⁻¹	2,16a	0,21a	1,44a	0,25a	1,81a	0,18a	108a	89a	27a	6,8a	26a
60 kg ha ⁻¹	2,18a	0,20a	1,42a	0,26a	1,80a	0,16a	109a	88a	29a	7,2a	28a
80 kg ha ⁻¹	2,24b	0,19a	1,41a	0,26a	1,79a	0,17a	103a	90a	29a	7,1a	29a
<i>Saletra wapniowa</i>											
40 kg ha ⁻¹	2,15a	0,19a	1,41a	0,26a	1,87a	0,18a	111a	92a	27a	7,5a	30a
60 kg ha ⁻¹	2,17a	0,20a	1,43a	0,25a	2,21b	0,19a	112a	90a	27a	7,1a	31a
80 kg ha ⁻¹	2,23b	0,19a	1,42a	0,26a	2,31c	0,18a	103a	87a	29a	7,0a	28a



Istotność testowanych czynników											
Nawóz (A)	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-
Dawka (B)	*	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-
A x B	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-

Tabela 6. Zawartość składników pokarmowych w liściach jabłoni odmiany ‘Red Jonaprince’, zasilanych nawozami azotowymi w zróżnicowanych dawkach (sad jabłoniowy w okolicach Łowicza)

Nawóz/ dawka	N	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	%						mg kg ⁻¹				
<i>Saletra amonowa</i>											
30 kg ha ⁻¹	2,19a	0,25a	1,34a	0,23a	1,98a	0,17a	79a	92a	25a	7,5a	29a
45 kg ha ⁻¹	2,19a	0,23a	1,38a	0,24a	1,91a	0,15a	81a	95a	24a	7,4a	30a
60 kg ha ⁻¹	2,24b	0,22a	1,37a	0,25a	1,94a	0,15a	83a	92a	27a	7,3a	27a
<i>Mocznik</i>											
30 kg ha ⁻¹	2,19a	0,22a	1,41a	0,25a	1,92a	0,16a	79a	95a	25a	7,0a	30a
45 kg ha ⁻¹	2,20a	0,23a	1,38a	0,24a	1,91a	0,15a	82a	94a	29a	7,5a	30a
60 kg ha ⁻¹	2,25b	0,21a	1,39a	0,26a	1,90a	0,15a	82a	97a	26a	7,5a	29a
<i>Saletra wapniowa</i>											
30 kg ha ⁻¹	2,19a	0,23a	1,41a	0,24a	1,95a	0,17a	84a	95a	27a	7,5a	31a
45 kg ha ⁻¹	2,20a	0,21a	1,38a	0,24a	2,10b	0,15a	86a	90a	25a	7,9a	29a
60 kg ha ⁻¹	2,26b	0,22a	1,40a	0,25a	2,19c	0,17a	83a	98a	25a	7,8a	29a
Istotność testowanych czynników											
Nawóz (A)	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-
Dawka (B)	*	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-
A x B	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-

W obu sadach, obniżone dawki azotu powodowały osłabienie wzrostu drzew; wpływ ten miał miejsce niezależnie od użytego nawozu azotowego (tabele 7, 8). W badanych sadach, plonowanie jabłoni zasilanych obniżonymi dawki azotu było zredukowane, jakkolwiek najsilniejszy wpływ zanotowano w przypadku użycia mocznika i saletry amonowej (tabele 7, 8). Obniżone dawki azotu w postaci saletry wapnia wywierały mniejszy negatywny wpływ na plonowania drzew niż pozostałe testowane nawozy azotowe (tabele 7, 8). Średnia masa owocu oraz ordzawienie i wybarwienie jabłek, a także ich jędrność i zawartość ekstraktu w miąższu jabłek w czasie zbioru nie zależały od użytego nawozu azotowego oraz dawki azotu (tabele 7, 8).



Tabela 7. Wzrost i plonowanie jabłoni odmiany ‘Idared’ oraz jakość owoców w zależności od nawożenia nawozami azotowymi w zróżnicowanych dawkach (Sad Pomologiczny w Skierniewicach)

Nawóz/ dawka	Suma jednorocznych pędów na drzewie (m)	Plon (kg drzewo ⁻¹)	Średnia masa owocu (g)	Ordzawienie owoców (1-5)	Rumieniec (1-5)	Jędrność (N)	Ekstrakt (%)
<i>Saletra amonowa</i>							
40 kg ha ⁻¹	24,3a	20,1a	182a	1,5a	3,1a	18,9a	13,3a
60 kg ha ⁻¹	25,5a	19,5a	185a	1,7a	3,3a	18,3a	13,5a
80 kg ha ⁻¹	28,3b	23,5c	186a	1,5a	3,2a	18,9a	13,6a
<i>Mocznik</i>							
40 kg ha ⁻¹	25,5a	20,4a	184a	1,3a	3,6a	18,9a	13,5a
60 kg ha ⁻¹	25,1a	20,9a	186a	1,2a	3,3a	18,4a	13,6a
80 kg ha ⁻¹	31,2b	24,3c	185a	1,6a	3,5a	18,6a	13,6a
<i>Saletra wapniowa</i>							
40 kg ha ⁻¹	24,7a	22,1b	184a	1,7a	3,6a	18,9a	13,4a
60 kg ha ⁻¹	24,9a	22,2b	186a	1,5a	3,7a	18,6a	13,6a
80 kg ha ⁻¹	32,3b	25,3c	189a	1,2a	3,4a	18,7a	13,7a
Istotność testowanych czynn timerów							
Nawóz (A)	-	*	-	-	-	-	-
Dawka (B)	**	**	-	-	-	-	-
A x B	*	*	-	-	-	-	-

Tabela 8. Wzrost i plonowanie jabłoni odmiany ‘Red Jonaprince’ oraz jakość owoców w zależności od nawożenia nawozami azotowymi w zróżnicowanych dawkach (sad jabłoniowy w okolicach Łowicza)

Nawóz/ dawka	Suma jednorocznych pędów na drzewie (m)	Plon (kg drzewo ⁻¹)	Średnia masa owocu (g)	Ordzawienie owoców (1-5)	Rumieniec (1-5)	Jędrność (N)	Ekstrakt (%)
<i>Saletra amonowa</i>							
30 kg ha ⁻¹	26,4a	21,3a	188a	1,3a	4,5a	17,5a	14,6a
45 kg ha ⁻¹	25,9a	20,5a	186a	1,3a	4,6a	17,6a	14,4a
60 kg ha ⁻¹	32,8b	24,5c	189a	1,2a	4,7a	17,0a	14,5a
<i>Mocznik</i>							
30 kg ha ⁻¹	24,6a	21,0a	185a	1,2a	4,8a	17,5a	14,1a
45 kg ha ⁻¹	25,0a	22,5a	188a	1,5a	4,6a	17,4a	14,6a
60 kg ha ⁻¹	32,5b	25,1c	189a	1,5a	4,6a	17,5a	14,6a
<i>Saletra wapniowa</i>							
30 kg ha ⁻¹	26,3a	23,6b	189a	1,4a	4,8a	17,3a	14,6a
45 kg ha ⁻¹	25,4a	23,1b	185a	1,4a	4,6a	17,3a	14,2a
60 kg ha ⁻¹	32,5b	26,9c	186a	1,3a	4,6a	17,3a	14,3a



Istotność badanych czynników										
Nawóz (A)	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-
Dawka (B)	**	**	-	-	-	-	-	-	-	-
A x B	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-

W sadzie w Skierniewicach, odczyn gleby został najsilniej obniżony na poletkach nawożonych saletrą amonową oraz mocznikiem w największej dawce. Stosowanie saletry wapniowej „łagodziło” ujemny wpływ nawożenia azotem na zakwaszenie gleby; zjawisko to obserwowano zarówno w warstwie 0-20 cm, jak i 21-40 cm (tabele 9, 10). Najmniej dostępnego wapnia w glebie zanotowano na poletkach zasilanych saletrą amonową oraz mocznikiem w największej dawce, a najwięcej na poletkach, gdzie stosowano saletrę wapnia (tabele 9, 10).

Tabela 9. Odczyn gleby oraz dostępność składników mineralnych w glebie po zakończeniu sezonu wegetacyjnego w warstwie gleby 0-20 cm – Sad Pomologiczny w Skierniewicach.

Nawóz/ dawka	pH	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		mg L ⁻¹									
<i>Saletra amonowa</i>											
40 kg ha ⁻¹	5,8b	25a	97a	50a	721b	7,0a	88a	10,2	3,2a	3,9a	0,6a
60 kg ha ⁻¹	5,8b	25a	90a	52a	734b	7,1a	85a	9,8a	3,4a	3,9a	0,7a
80 kg ha ⁻¹	5,4a	27a	87a	51a	647a	7,2a	89a	10,4a	3,5a	3,9a	0,6a
<i>Mocznik</i>											
40 kg ha ⁻¹	5,8b	26a	85a	54a	720b	7,0a	89a	9,3a	3,4a	3,6a	0,7a
60 kg ha ⁻¹	5,7b	24a	85a	52a	731b	7,0a	88a	9,5a	3,6a	3,5a	0,7a
80 kg ha ⁻¹	5,3a	25a	88a	54a	628a	7,3a	92a	10,4a	3,5a	3,7a	0,8a
<i>Saletra wapniowa</i>											
40 kg ha ⁻¹	6,0c	26a	82a	52a	1132c	7,0a	86a	8,6a	3,4a	3,8a	0,6a
60 kg ha ⁻¹	6,0c	24a	86a	53a	1288d	7,1a	84a	8,0a	3,3a	3,7a	0,7a
80 kg ha ⁻¹	5,8b	25a	86a	51a	1297d	7,2a	84a	8,0a	3,4a	3,7a	0,6a
Istotność testowanych czynników											
Nawóz (A)	**	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-
Dawka (B)	**	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-
A x B	**	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-

Tabela 10. Odczyn gleby oraz dostępność składników mineralnych w glebie po zakończeniu sezonu wegetacyjnego w warstwie gleby 20-41 cm – Sad Pomologiczny w Skierniewicach.

Nawóz/ dawka	pH	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		mg L ⁻¹									
<i>Saletra amonowa</i>											
40 kg ha ⁻¹	5,9b	6a	82a	52a	721b	4,1a	68a	9,2a	2,9a	2,6a	0,3a
60 kg ha ⁻¹	5,9b	6a	85a	53a	731b	4,2a	69a	9,6a	2,4a	2,9a	0,3a
80 kg ha ⁻¹	5,7a	5a	82a	48a	688a	4,0a	66a	10,2a	2,3a	2,9a	0,3a
<i>Mocznik</i>											
40 kg ha ⁻¹	5,9b	8a	82a	45a	751b	4,4a	68a	9,5a	2,4a	2,7a	0,3a
60 kg ha ⁻¹	5,9b	8a	85a	46a	758b	4,4a	68a	9,5a	2,5a	2,9a	0,3a



80 kg ha ⁻¹	5,7a	8a	82a	48a	682a	4,2a	67a	9,8a	2,6a	2,7a	0,3a
<i>Saletra wapniowa</i>											
40 kg ha ⁻¹	6,0b	8a	79a	46a	854c	4,2a	60a	8,2a	2,6a	2,4a	0,3a
60 kg ha ⁻¹	6,0b	7a	79a	46a	861c	4,1a	68a	8,1a	2,5a	2,8a	0,3a
80 kg ha ⁻¹	5,9b	6a	79a	49a	982d	4,2a	65a	8,0a	2,4a	2,7a	0,3a
Istotność testowanych czynników											
Nawóz (A)	*	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-
Dawka (B)	**	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-
A x B	*	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-

W sadzie koło Łowicza, najniższą wartość odczynu w powierzchniowej warstwie gleby stwierdzono na poletkach nawożonych saletrą amonu i mocznikiem użytych w największej dawce. W przypadku saletry wapniowej, jej użycie nie powodowało obniżenia odczynu gleby (tabela 11).

Tabela 11. Odczyn gleby oraz dostępność składników mineralnych w glebie po zakończeniu sezonu wegetacyjnego w warstwie gleby 0-20 cm – Sad jabłoniowy koło Łowicza.

Nawóz/ dawka	pH	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		mg L ⁻¹									
<i>Saletra amonowa</i>											
30 kg ha ⁻¹	6,1b	43a	96a	41a	758b	9,5a	82a	9,5a	4,7a	4,7a	0,6a
45 kg ha ⁻¹	6,1b	43a	95a	40a	745b	9,5a	84a	9,3a	4,6a	4,3a	0,6a
60 kg ha ⁻¹	5,8a	44a	95a	45a	647a	9,6a	83a	9,9a	4,5a	4,3a	0,8a
<i>Mocznik</i>											
30 kg ha ⁻¹	6,1b	45a	99a	42a	723b	9,4a	82a	9,3a	4,5a	4,2a	0,7a
45 kg ha ⁻¹	6,0b	44a	96a	43a	755b	9,3a	81a	9,4a	4,5a	4,3a	0,6a
60 kg ha ⁻¹	5,7a	44a	93a	44a	662a	9,4a	83a	9,7a	4,4a	4,2a	0,7a
<i>Saletra wapniowa</i>											
30 kg ha ⁻¹	6,1b	45a	95a	41a	912c	9,3a	84a	9,3a	4,7a	4,1a	0,7a
45 kg ha ⁻¹	6,1b	43a	96a	45a	945d	9,2a	86a	9,9a	4,5a	4,1a	0,6a
60 kg ha ⁻¹	6,1b	44a	97a	44a	1112e	9,3a	85a	9,5a	4,4a	4,3a	0,6a
Istotność testowanych czynników											
Nawóz (A)	*	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-
Dawka (B)	*	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-
A x B	*	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-

W warstwie 21-40 cm, odczyn gleby nie był istotnie zróżnicowany między testowanymi kombinacjami (tabela 12). Dostępność wapnia w powierzchniowej warstwie gleby była zależała od badanej kombinacji (tabela 12). Poletka nawożone saletrą amonu oraz mocznikiem w największej dawce zawierały mniejsze ilości wapnia w porównaniu do poletek, gdzie stosowano obniżone dawki tych nawozów. W przypadku zastosowania saletry wapniowej, zawartość dostępnego wapnia w powierzchniowej warstwie gleby wzrastała wraz z ilością



użytego nawozu. W warstwie gleby 21-40 cm nie stwierdzono wpływu nawozów azotowych na zmiany zawartości dostępnego wapnia.

Tabela 12. Odczyn gleby oraz dostępność składników mineralnych w glebie po zakończeniu sezonu wegetacyjnego w warstwie gleby 21-40 cm – Sad jabłoniowy koło Łowicza.

Nawóz/ dawka	pH	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		mg L ⁻¹									
<i>Saletra amonowa</i>											
30 kg ha ⁻¹	6,0a	5a	65a	45a	792a	6,0a	81a	7,3a	3,3a	2,8a	0,5a
45 kg ha ⁻¹	6,0a	5a	66a	48a	787a	6,0a	80a	7,2a	3,4a	3,0a	0,6a
60 kg ha ⁻¹	6,0a	5a	67a	46a	779a	6,2a	81a	7,2a	3,1a	2,9a	0,6a
<i>Mocznik</i>											
30 kg ha ⁻¹	6,0a	6a	68a	48a	749a	6,1a	80a	7,1a	3,3a	3,2a	0,5a
45 kg ha ⁻¹	6,0a	5a	64a	47a	777a	6,2a	80a	7,2a	3,5a	3,3a	0,4a
60 kg ha ⁻¹	6,0a	5a	65a	46a	782a	6,0a	83a	7,6a	3,5a	3,1a	0,5a
<i>Saletra wapniowa</i>											
30 kg ha ⁻¹	6,0a	5a	63a	44a	789a	6,0a	87	7,6a	3,6a	3,3a	0,6a
45 kg ha ⁻¹	6,0a	5a	63a	45a	787a	6,0a	82a	7,2a	3,4a	3,2a	0,5a
60 kg ha ⁻¹	6,0a	5a	63a	48a	782a	6,1a	83a	7,9a	3,4a	3,1a	0,6a
Istotność testowanych czynników											
Nawóz (A)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dawka (B)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A x B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Podsumowanie

Wyniki badań wykazały, że największy wpływ na zakwaszenie gleby w sadach jabłoniowych miało nawożenie azotanem amonu i mocznikiem w największej dawce (pokrywającej w 100% potrzeby jabłoni w stosunku do N). Niezależnie od zastosowanego nawozu azotowego, wzrost drzew zależał od użytej dawki N; obniżone jego dawki powodowały osłabienie wzrostu drzew. Zastosowanie obniżonych dawek N obniżały także zawartość tego składnika w liściach. Drzewa zasilane azotanem amonu i mocznikiem w obniżonych dawkach najslabiej plonowały. Saletra wapniowa, zastosowana w obniżonych dawkach, zmniejszała owocowanie drzew, lecz w mniejszym stopniu niż w przypadku pozostałych testowanych nawozów. Jakość owoców w czasie zbioru nie zależała od użytego nawozu oraz wielkości dawki N.

W podsumowaniu można stwierdzić, że niezależnie od użytego nawozu azotowego, obniżenie dawek N do poziomu równego lub poniżej 75% zapotrzebowania jabłoni ogranicza ich wzrost i owocowanie. Jest to szczególnie obserwowane w przypadku nawożenia saletrą amonową i mocznikiem, a w mniejszym stopniu saletrą wapniową. Wnioskuje się, że w pełni owocujących sadach jabłoniowych właściwie odżywionych, stosowanie obniżonych dawek N



mineralnego może być praktykowane co najwyżej w pojedynczych latach. W takim przypadku, preferowaną formą N powinna być saletra wapniowa.

Literatura

- Chen D., Suter H.C., Islam A., Edis R. 2010. Influence of nitrification inhibitors on nitrification and nitrous oxide (N₂O) emission from a clay loam soil fertilized with urea. *Soil Biol. Biochem.* 42: 660–664.
- Dessureault-Rompré J., Zebarth B.J., Georgallas A., Burton D.L., Grant C.A., Drury C.F. 2010. Temperature dependence of soil nitrogen mineralization rate: comparison of mathematical models, reference temperatures and origin of the soils. *Geoderma* 157: 97–108.
- Endo A., Kato K., Sarker B.C. 2018. Leaching characteristics of nitrate nitrogen in an apple orchard andosol under significant snow accumulation. *Geoderma*, 319: 24-33.
- Gutiñas M.E., Leirós M.C., Trasar-Cepeda C., Gil-Sotres F. 2012. Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen mineralization: a laboratory study. *Eur. J. Soil Biol.* 48: 73–80.
- Kowalczyk W., Wrona D., Przybylko S. 2022. Effect of nitrogen fertilization of apple orchard on soil mineral nitrogen content, yielding of the apple trees and nutritional status of leaves and fruits. *Agriculture* 12, 17
- Krogstad T., Zivanovic V., Simic A., Aksic M.F., Licina V., Meland M. 2023. Nitrogen mineralization of apple orchard soils in regions of Western and South-Eastern Norway. *Agronomy*, 13, 2570.
- Kühn B.F., Bertelsen M., Sorensen L. 2011. Optimising quality-parameters of apple cv. ‘Pigeon’ by adjustment of nitrogen. *Sci. Hortic.* 129: 369–375.
- Neilsen G.H., Parchomchuk P., Hogue E.J., Wolk W.D., Lau O.L. 1994. Response of apple trees to fertigation-induced soil acidification. *Can. J. Plant Sci.*, 74: 347-351.
- Sahrawat K.L. 2008. Factors affecting nitrification in soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 39: 1436-1446.
- Shear C.B., Faust M. 1980. Nutritional ranges in deciduous tree fruits and nuts. *Hort. Rev.*, 2: 142-163.
- Tagliavini M., Millard P. 2005. Fluxes of nitrogen within deciduous fruit trees. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 4: 21-30.



- Tian D., Niu S. 2015. A global analysis of soil acidification caused by nitrogen addition. *Environ. Res. Letters* 2, 024019.
- Toselli M., Perry R.L., Flore J.A. 2011. Evaluation of nitrate-nitrogen leaching from lysimeter-grown bearing apple trees. *Soil Sci.*, 176: 280-287.
- Treder W. 2006. Influence of fertigation with nitrogen and a complete fertilizer on growth and yielding of Gala apple trees. *J. Fruit Ornam. Plant Res.*, 14: 143-154.
- Yadav D.S., Jaiswal B., Gautam M., Agrawal M. 2020. Soil acidification and its impact on plants. W: Singh P., Singh S.K., Prasad S.M. (red.) *Plant Responses to Soil Pollution*. Springer, Singapore.
- Zhang Q., Li X., Li M., Zhou B., Zhang J., Wei Q. 2017. Correlation analysis between quality characteristics and fruit mineral element contents in 'Fuji' apples. *Agric. Sci. Technol.* 18: 212–218.

Opracował
Dr hab. Paweł Wójcik

