

Biologiczne, techniczne i agroekologiczne aspekty zakładania ścieżek przejazdowych w uprawach roślin

Hanna Niemczyk

*Katedra Agronomii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
e-mail: hannaniemczyk@wp.pl*

Słowa kluczowe: ścieżki przejazdowe, rząddek brzegowy, wyrównywanie plonu, zagęszczenie gleby

Wstęp

Ścieżki przejazdowe po raz pierwszy wprowadzono w RFN na początku lat siedemdziesiątych. W 1984 r. 88% areалу pszenicy ozimej było obsiane w tym kraju z zastosowaniem ścieżek przejazdowych. Na początku ścieżki były przez farmerów niemieckich i angielskich traktowane jako element znacznie ułatwiający pracę i umożliwiający zastosowanie podzielonej dawki azotu [19].

Zboża były pierwszą grupą roślin, w której zastosowano siew ze ścieżkami przejazdowymi. W roślinach zbożowych przejeżdżanie ciągnikiem bez większych strat może odbywać się do końca fazy krzewienia. Wjeżdżanie w łan w późniejszych stadiach rozwojowych powoduje trwałe uszkodzenia roślin na śladach kół ciągnika [2, 3, 5, 17, 19, 21]. Tymczasem technologia uprawy zbóż, szczególnie pszenicy i jęczmienia, wymaga wielokrotnego wjeżdżania w łan w takich terminach, kiedy nie jest to wskazane. Na większych areałach upraw usytuowanych z dala od przeszkód naturalnych i sztucznych (drzewa, linie energetyczne) do opryskiwania można stosować sprzęt agrolotniczy. Na plantacjach małych i średnich oraz większych, ale niedostępnych dla samolotów, wykorzystywana jest aparatura naziemna przy zastosowaniu ścieżek przejazdowych.

Pod koniec lat osiemdziesiątych ścieżki wprowadzono również w uprawach rzepaku i roślinach okopowych, gdzie spełniają rolę proekologiczną – traktowane są jako jeden ze sposobów ograniczania nadmiernego zagęszczenia gleby przez koła agregatów rolniczych [6, 11, 12, 13, 16, 25, 34, 35, 37, 45].

Znaczenie i możliwości wykorzystania ścieżek

Ścieżki przejazdowe:

- stwarzają możliwość precyzyjnego stosowania środków ochrony roślin: herbicydów, fungicydów, insektycydów, retardantów w każdym stadium rozwojowym rośliny oraz podział dawki nawozów azotowych i dostarczanie roślinom w zależności od potrzeb w różnych stadiach rozwojowych [2, 3, 19, 21, 22, 36, 42];
- umożliwiają zastosowania desykacji przed zbiorem ograniczając do minimum straty nasion na plantacjach nasiennych [23] oraz zainfekowanie sadzeniaków ziemniaka przez choroby wirusowe;
- zapewniają precyzyjny oprysk bez „omijaków” i podwójnego nakładania się cieczy opryskowej, dzięki dokładnemu utrzymaniu szerokości roboczej [2, 3, 5, 19, 21, 22, 36];
- ułatwiają pracę na polach o nieregularnych kształtach, umożliwiają łatwiejszą orientację, dzięki temu zwiększa się wydajność pracy [2, 19];
- stwarzają warunki równomiernego dojrzewania i oszczędność na suszeniu ziarna [2, 19];
- ograniczają do minimum straty związane z ugniataniem roślin przy wielokrotnych przejazdach w łańcach zwartych i uszkodzaniem mechanicznym roślin okopowych w rzędkach sąsiadujących ze śladami [2, 5, 9, 19, 36, 40];
- mają znaczenie sanitarne poprzez ograniczenie źródła infekcji [2, 5, 19, 22];
- umożliwiają oszczędność materiału siewnego [3, 5, 19];
- znacznie zmniejszają powierzchnię gleby nadmiernie ugniecionej przez koła agregatów rolniczych, co wpływa korzystnie na plonowanie roślin, poprawia warunki trakcyjne, zmniejsza nakłady energii i koszty paliwa na uprawę gleby mniej ugniecionej [6, 9, 11, 12, 13, 16, 24, 34, 35].

Techniczne aspekty zakładania ścieżek

Ścieżki przejazdowe zakłada się w czasie siewu. Przed przystąpieniem do siewu z góry należy ustalić parametry maszyn, które będą stosowane do siewu, pielęgnacji chemicznej i nawożenia. Należy ustalić szerokość opon i rozstaw kół ciągnika oraz zsynchronizować szerokość roboczą siewnika z szerokością opryskiwacza i rozsiewacza nawozów. Szerokość pojedynczej ścieżki powinna być o 10 cm szersza od opony ciągnika, aby zabezpieczyć rośliny rzędów brzeżnych przed uszkodzeniami mechanicznymi i nadmiernym zagęszczeniem gleby [19, 36, 38]. Z badań niemieckich wynika, że optymalna szerokość ścieżki wynosi 36 cm i powstaje kosztem dwóch nieobsianych rzędków [19, 36]. W warunkach polskich na jedną ścieżkę zamyka się dwie

albo trzy redlice w zależności od szerokości międzyrzędzi i rozmiaru ogumienia [20, 38, 40, 41].

W starych typach siewników w miejscach, gdzie ma powstać ścieżka, należy odciąć dopływ nasion do dwóch lub trzech redlic. Nowe siewniki zbożowe zawierają automatyczne ścieżkowniki, w których po wykonaniu pierwszej ścieżki należy wybrać krotność działania i ścieżki zakładane są automatycznie [41]. Również do siewu buraków na dużych plantacjach przeznaczone są punktowe siewniki z elektrycznym napędem tarcz wysiewających. Taki napęd umożliwia łatwe zakładanie ścieżek przejazdowych z możliwością zwiększania liczby roślin w rzędach sąsiadujących ze ścieżką [39].

W literaturze niemieckiej [6, 25, 45] istnieją dwie koncepcje zakładania ścieżek w burakach: przez zamknięcie na śladach kół po jednej redlicy (ścieżka szerokości 90 cm) lub przez zmniejszenie odległości między rzędami sąsiadującymi z przejazdami. W zależności od stosowanych w uprawie standardowej odległości rzędów (45 lub 50 cm) powstają ścieżki szerokości 60 cm lub 65 cm.

Autorzy ponadto rozpatrują dwa warianty rozmieszczenia roślin w rzędkach przylegających do utworzonych ścieżek: nie zmieniając rozmieszczenia roślin w rzędach, bądź zmniejszając odległość między roślinami z 20 cm do 18 cm.

W uprawie rzepaku ścieżki zakłada się przez zamknięcie jednej redlicy (przy odległości między rzędami 30 cm); na plantacjach ziemniaka przez nieobsadzenie jednego rzędu [16, 37].

Przy doborze maszyn stosowanych do siewu i pielęgnacji obowiązuje zasada, że szerokość robocza opryskiwacza musi odpowiadać wielokrotności szerokości roboczej siewnika. W zależności od parametrów maszyn są różne sposoby zakładania ścieżek przejazdowych. Jeśli szerokość robocza opryskiwacza jest nieparzystą wielokrotnością szerokości siewnika, para ścieżek wyznaczana jest za jednym przejazdem przez odcięcie dopływu nasion do odpowiednich redlic umieszczonych symetrycznie do szerokości siewnika. Jeśli szerokość opryskiwacza jest parzystą wielokrotnością szerokości siewnika, ścieżki są wyznaczane w dwóch następujących po sobie przejazdach: jedna ścieżka powstaje przez zamknięcie redlic oddalonych od skraju pasa siewnego o połowę rozstawy kół ciągnika, druga powstaje przy przejeździe w drugą stronę. Ta metoda wymaga dużej precyzji przejazdu, aby zachować równą odległość między ścieżkami. Lepszym sposobem jest zasianie pierwszego pasa połową szerokości siewnika (połowa zespołu wysiewającego zamknięta). Dalsze postępowanie jest identyczne, jak przy nieparzystej krotności szerokości siewnika.

Jeśli szerokość opryskiwacza nie jest całkowitą wielokrotnością szerokości siewnika, szerokość siewnika można skorygować przez zsunięcie redlic, wyłączenie skrajnych redlic lub skorygować szerokość opryskiwacza przez zaślepienie skrajnych dysz względnie przez dodanie dodatkowych dysz na przedłużaczach ramion, co jest bardziej kłopotliwe.

Zagadnienie metod zakładania ścieżek jest szeroko prezentowane w naukowej i popularno-naukowej literaturze krajowej i zagranicznej [16, 19, 20, 21, 22, 38, 40, 41].

Agrobiologiczne aspekty zakładania ścieżek przejazdowych w uprawie polowej roślin

Rośliny zbożowe

W doświadczalnictwie polowym obserwuje się, że plon z małych poletek, w przeliczeniu na powierzchnię, jest znacznie wyższy niż z dużych poletek czy pól. Jest to wynik efektu brzegowego, który powoduje pewne zafałszowanie nie tylko wielkości plonu, ale i jego struktury [1, 4, 46].

Zwyżka plonu na poletkach jest uzależniona od wielkości poletka i wzrasta wraz z szerokością pasa dzielącego poletka, ale tylko do pewnej granicy [4, 46]. Z badań Widdowsona [46] wynika, że na poletkach szerokości 16 rzędów, wzrost plonu zbóż, w zależności od roku i gatunku (przy szacowaniu powierzchni poletka liczone połowę pasa dzielącego), wynosił 2,3–12,6% jeśli odległość między poletkami wynosiła 14 cali (ok. 35,5 cm); 6–24,5% jeśli ta odległość wynosiła 21 cali (ok. 53,5 cm); ale tylko 5,3–16,1% gdy odległość między poletkami wzrosła do 28 cali (ok. 71 cm).

Austin i Blackwell [1] otrzymali wzrost plonu pszenicy w rzędkach brzeżnych w wysokości 62–80%; wynikał on głównie z większej liczby kłosów.

Braun [4] wykazał, że na ekstremalnie wąskich poletkach składających się z 5 rzędów (odległość między rzędkami 12 cm; odległość między poletkami 42 cm) plon z poletka był o 50% wyższy niż z łanu. Plon pszenicy w rzędkach brzegowych wynosił 213% plonu z rzędów łanu, rzędkie sąsiadujące z brzegowymi plonowały również wyżej niż rzędkie łanu (115%). Ten przyrost plonu w rzędkach brzegowych wynikał ze wzrostu zarówno liczby kłosów, jak i liczby ziaren w kłosie.

Badania efektu brzegowego na poletkach doświadczalnych [1, 4, 46] sugerowały możliwości znacznego zniwelowania obniżki plonu wynikającej z założenia ścieżek. Rośliny rzędów sąsiadujących ze ścieżkami mają lepsze warunki wzrostu niż rośliny w łanie: lepsze oświetlenie, od początku okresu wegetacji dysponują większą powierzchnią życiową, a więc mogą korzystać z substancji mineralnych z obszaru ścieżki.

Z badań własnych autorki nad zbożami [27–33] wynika, że przy ścieżce powstałej kosztem trzech nieobsianych rzędów, powierzchnia dla jednej rośliny w rzędkach brzegowych jest w zależności od gatunku i zagęszczenia roślin w rzędzie od 2,5 do 5,8 razy większa niż w łanie. Wzrost oświetlenia dla roślin rzędów brzegowych w stosunku do łanu wynosił 1,4–2,6 razy dla żyta; 5,2–5,8 razy dla jęczmienia jarego i pszenicy ozimej. Rzędkie sąsiadujące z brzegowymi nie dysponowały większą powierzchnią, jednak stwierdzono, że oświetlenie było 1,2–1,8 razy większe niż w łanie zwartym.

Dzięki lepszym warunkom wzrostu rośliny w rzędkach skrajnych plonują wyżej niż w łanie zwartym. Zakres prezentowanych kompensacji plonu jest dość szeroki; należy przypuszczać, że częściowo związany jest on ze stosowaniem w badaniach różnych szerokości ścieżek co, jak wynika z literatury, ma istotne znaczenie dla wielkości efektu brzegowego [15, 46].

Braun [3] stwierdził, że pszenica ozima na 1 m rządka sąsiadującego ze ścieżkami wytworzyła o 50% więcej kłosów niż w łanie, dzięki czemu rządki te dały plon o 55% wyższy przy stałej normie wysiewu. Jeśli w rządkach brzegowych ilość wysiewu zwiększono o 30%, plon ziarna wzrósł o 65% w stosunku do plonu z rządków łanu. Analogicznie plon jęczmienia ozimego w rządkach sąsiadujących ze ścieżką był o 45% wyższy przy zachowaniu stałej ilości wysiewu i o 50% wyższy przy zwiększeniu normy wysiewu.

Zbliżone wyniki dla pszenicy i jęczmienia podaje Gärtig [2]. Ruhm [42] stwierdził, że przy rozstawie między redlicami siewnika równej 17 cm i ścieżce powstałej kosztem jednego rządka, każdy z dwu przyległych rządków daje plon o 30% wyższy.

Z badań Ptaszyńskiego [40] nad jęczmieniem jarym wynika, że plon ziarna z 1 m rządków brzegowych wynosił 96–105 g, a z 1 m rządka łanu 62,2 g; a zatem efekt brzegowy wahał się w granicach 54–69%.

Badania przeprowadzone przez autorkę [27–33] wskazują, że zdolność zbóż do wyrównywania plonu z nieobsianej powierzchni ścieżek zależy od gatunku i waha się od 61% dla jęczmienia jarego do 104% dla pszenicy ozimej (tab. 1). W rekompensowaniu plonu biorą udział również rośliny rządków sąsiadujących z brzegowymi, ale ich udział w wyrównywaniu plonu jest znacznie mniejszy. Zwyczajki plonu w rządkach sąsiadujących z brzegowymi wahają się w granicach od 17,8% dla jęczmienia jarego do 36,3% dla pszenżyta ozimego.

Tabela 1. Plon ziarna poszczególnych gatunków zbóż z 1 m rządka łanu zwartego i rządków sąsiadujących ze ścieżkami [31, 33]

Gatunek	Plon ziarna z 1 m rządka [g]		Przyrost plonu w rządkach sąsiadujących ze ścieżką [%]
	łanu zwartego	sąsiadującego ze ścieżką	
Pszenica ozima	55,5	113,1	+103,8
Pszenica jara	42,6	78,4	+84,0
Jęczmień ozimy	48,6	95,0	+95,5
Jęczmień jary	44,9	72,3	+61,0
Żyto	49,2	90,4	+83,7
Owies	40,5	66,6	+64,4
Pszenżyto ozime	52,0	98,2	+88,8
Pszenżyto jare	47,4	81,9	+72,8

O wzroście plonu u poszczególnych gatunków zbóż w różnym stopniu decydują różne elementy struktury plonu. U pszenicy ozimej i jarej, żyta, pszenżyta ozimego i jarego o wzroście plonu w rządkach brzegowych decyduje liczba kłosów i liczba ziaren w kłosie; u obu form jęczmienia – liczba kłosów wynikająca ze wzrostu intensywności krzewienia produktywnego, a u owsa przede wszystkim liczba ziaren w wieszce [27–33].

A zatem zdolność wyrównywania plonu przez rośliny rzędków brzegowych może się odbywać przez autoregulację zagęszczenia kłosów oraz wzrost liczby ziaren w kłosie, natomiast wpływ masy tysiąca nasion jest niewielki. Liczba kłosów i liczba ziarn w kłosie jest kształtowana we wczesnych stadiach rozwojowych, dlatego roślinom należy stworzyć korzystne warunki do wyrównywania strat od początku okresu wegetacji. Te przesłanki decydują o tym, że ścieżki przejazdowe powinny być zakładane w czasie siewu [3, 5, 19, 21, 27–33, 40].

Nasuwa się tu pytanie: jakiej wielkości straty mają miejsce, jeśli ścieżki nie są założone w czasie siewu, a będą wyjeżdżone w okresie wegetacji roślin zgodnie z potrzebami? Przy intensywnej uprawie liczba przejazdów w zbożach w okresie wegetacji wynosi od 5 do 10. Z badań Dziemi i Sosnowskiego [17] wynika, że przejazdy do końca krzewienia nie powodują trwałych uszkodzeń roślin i większych strat plonu. Przejazd po roślinach w fazie strzelania w źdźbło powodował straty plonu pszenicy jarej i jęczmienia jarego w granicach 14–22%. Autorzy przypisują ten spadek plonu mechanicznym uszkodzeniom roślin przez koła ciągnika.

Braun i Schöne [5], Heege [21], Ruhm [42] podają, że straty wynikające z uszkodzeń roślin są niewielkie, jeśli ślady zostają wyjeżdżone na tyle wcześnie, że rośliny w rzędkach przy wygniecionych śladach zdołają się silniej rozkrzewić. Wjeżdżanie w łan w późniejszych stadiach rozwojowych powoduje trwałe uszkodzenia roślin na śladach kół [15, 17, 19, 40]. Jednakże rośliny jeszcze przez dłuższy lub krótszy czas (w zależności od warunków pogodowych) wegetują i konkurują z roślinami rzędków sąsiadujących o składniki pokarmowe, wodę i światło. Ograniczają one we wczesnych stadiach rozwojowych możliwość kompensacji plonu przez rośliny rzędków przy wyjeżdżonych śladach. Jeśli nie zostaną zniszczone przez kolejne przejazdy, później dojrzewają zwiększając udział pośladu i ziarna niedojrzałego w plonie. Często rośliny przygniecione na śladach kół ciągnika, łatwo są porażane przez choroby grzybowe i stanowią źródło infekcji dla całego łanu [2, 5]. Przejazdy w stadium kłoszenia prowadzą do całkowitej utraty plonu na śladach kół. W praktyce często przy kolejnych zabiegach, na skutek małej precyzji przejazdów, ślad jest o 33–50% szerszy niż szerokość opony i szerszy niż ścieżka wykonana w czasie siewu [5, 40].

Braun i Schöne [5] uzyskali w rzędkach brzegowych przy założonych ścieżkach przyrost liczby kłosów w granicach od 50% do 67,9%, a przy wyjeżdżonych w jednym roku 45,2%, a w drugim tylko 11,4%. Tak różne wyniki autorzy tłumaczą zmiennymi warunkami klimatycznymi. Plon z powierzchni dla ścieżek założonych i śladów wyjeżdżonych w tym eksperymencie w obu latach nie wykazywał istotnych różnic.

Darwinkel [15] badał wpływ momentu usunięcia roślin (powstania ścieżki) na kompensację plonu przez rośliny rzędków brzegowych. Stwierdził, że usunięcie roślin w początkowym stadium krzewienia spowodowało wzrost plonu w rzędkach skrajnych o 82%; w stadium II kolanka – 67%, a na początku stadium dojrzewania tylko 14%. Do stadium II kolanka kompensacja plonu następowała dzięki wszystkim elementom struktury plonu, ale największe znaczenia miał wzrost liczby kłosów; w stadium dojrzewania wzrost plonu następował dzięki zwiększeniu masy tysiąca nasion.

W innym eksperymencie Darwinkel [15] porównywał straty plonu przy ścieżkach założonych i wyjeżdżonych przy wzrastającej liczbie przejazdów od 1 do 9. Przy trzech przejazdach spadek plonu dla obu obiektów był identyczny. Im więcej przejazdów, tym bardziej uwydatniły się różnice na korzyść ścieżek założonych.

Autorka [33] w badaniach nad pszenżytem ozimym uzyskała tylko w jednym spośród trzech lat badań, pewną rekompensatę plonu przez rośliny rzędków przy wyjeżdżonych śladach; zostały na tyle wcześniej wyjeżdżone, że w rzędkach sąsiadujących rośliny silniej się rozkrzewiły. Straty plonu z powierzchni w obiekcie ze ścieżkami wyjeżdżonymi wynosiły w zależności od roku od 6,4% do 9,3%. W obiekcie ze ścieżkami założonymi w czasie siewu przy nieobsianej powierzchni ścieżek wynoszącej 8%, straty plonu pszenżyta ozimego wynosiły tylko 1,7%.

Rośliny okopowe

Pod koniec lat osiemdziesiątych ścieżki zaczęto stosować w roślinach okopowych. Okopowe to rośliny uprawiane w szerokie rzędy i istnieje możliwość wjechania w łan przez większą część okresu wegetacji, jednakże liczne przejazdy agregatów rolniczych powodują nadmierne ugniecenie gleby, które niekorzystnie wpływa na rozwój i plonowanie roślin oraz mogą powodować uszkodzenia mechaniczne roślin i osłabienie ich wzrostu.

Wyniki badań dowodzą, że rośliny okopowe są wrażliwe na zagęszczenie gleby i sugerują potrzebę stosowania ścieżek przejazdowych. Frisslenben i in. [18] stwierdzają, że ziemniak ma stosunkowo płasko wykształcony system korzeniowy; do głębokości 20 cm znajduje się prawie 80% masy korzeni. Na obszarze ugniatanej redliny i bruzdy znacznej redukcji ulega masa korzeni w porównaniu z takimi samymi miejscami na obiektach nieugniatanych. Z niepublikowanych badań prowadzonych pod kierunkiem Droesego w SGGW [44] wynika, że spadek plonu ziemniaka w redlinach ugniatanych w czasie uprawy międzyrzędowej wynosił 35%.

Podobnie na zagęszczenie gleby reaguje burak cukrowy. Stiede i in. [43] wykazali, że 3-krotny przejazd spowodował wzrost gęstości gleby o $0,16 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, czego konsekwencją był spadek plonu korzeni o 7% i spadek plonu cukru o 10,9%. Okopowe nie mają zdolności samoregulacji gęstości łanu; jest ona determinowana w momencie siewu lub sadzenia. Tę cechę należy uwzględnić przy zakładaniu ścieżek technologicznych.

W literaturze niemieckiej istnieją dwie koncepcje zakładania ścieżek w burakach: przez zagęszczanie roślin w rzędach brzegowych lub przy zachowaniu stałej obsady roślin. Kromer i Strätz [25] stosując sposób tworzenia ścieżek przez zmianę odległości między rzędami i zwiększenie liczby roślin w rzędach przyległych, uzyskali w obiekcie ze ścieżkami, w każdym roku trzyletniego okresu badań, plon wyższy w porównaniu z uprawą standardową. Brunotte i Sommer [6] badali plonowanie roślin buraka cukrowego przy ścieżkach założonych przez wyłączenie jednej redlicy przy siewie (ścieżka założona szerokości 90 cm) i stałej obsadzie roślin w rzędach

przylegających do ścieżki. Uzyskali efekt brzegowy w granicach 31–42%. Przy uprawie standardowej stwierdzili spadek plonu w rzędach sąsiadujących z przejazdami wynoszący 15% (plon z powierzchni bez wpływu przejazdów przyjęto za 100%). Plon z powierzchni z obiektu ze ścieżkami (rozstawa ścieżek 18 m, ścieżka powstała kosztem jednego rzędka) wyniósł $619 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$, a z odpowiadającej powierzchni bez jakichkolwiek śladów pielęgnacyjnych $614 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Autorka w badaniach własnych [34, 35] uzyskała średnio za 3 lata badań efekt brzegowy dla buraka cukrowego w wysokości 45%, natomiast plonowanie w rzędkach sąsiadujących ze strefą przejazdu w uprawie standardowej w wysokości 93,9% plonu uzyskanego z łanu bez jakichkolwiek przejazdów. Teoretycznie wyliczony plon z powierzchni przy rozstawie ścieżek 12 m dla obiektu ze ścieżkami jest o 0,8% wyższy w porównaniu do uprawy standardowej; zatem rośliny rzędków przylegających do ścieżek w pełni rekompensowały straty wynikające ze zmniejszenia obsady.

Parametry maszyn rolniczych a wielkość nieobsianej powierzchni ścieżek

Ścieżki zajmują określoną powierzchnię w łanie roślin. Wielkość nieobsianej powierzchni wynika z odległości między parami ścieżek i liczby nieobsianych rzędków przypadających na każdą ścieżkę. Odległość między parami ścieżek wynika z szerokości roboczej opryskiwacza; im jest ona większa, tym mniejsza jest nieobsiana powierzchnia, np. jeśli odległość między rzędami w łanie zbóż wynosi 12,5 cm, a na każdą ścieżkę wyłączono dwie redlice, przy zastosowaniu opryskiwacza szerokości roboczej 8 m powierzchnia nieobsiana wynosi 6%; jeśli szerokość opryskiwacza wynosi 12 m – nieobsiana powierzchnia wynosi 4%; a przy szerokości 18 m – maleje do 2,7% [40].

W burakach (rozstawa rzędów 45 cm) przy odległości między parami ścieżek 12 m powierzchnia nieobsiana wynosi 8% i maleje do 3,3%, jeśli odległość między parami ścieżek wzrośnie do 27 m [6].

Na plantacji ziemniaka przy rozstawie ścieżek 12 m powierzchnia ścieżek wynosi 12,5% i maleje do 6,25%, jeśli odległość między parami ścieżek wynosi 24m [37].

Według Gajtkowskiego [20] wielkość nieobsianej powierzchni można obliczyć ze wzoru:

$$S_n = \frac{i}{J} \cdot 100$$

gdzie: S_n – wielkość nieobsianej powierzchni ścieżek [%],

i – liczba nieobsianych rzędków poświęconych na ścieżki na każdą szerokość opryskiwacza,

J – liczba rzędków możliwych do obsiania na szerokość roboczą opryskiwacza.

Przy najczęściej stosowanych zestawach maszyn do siewu i ochrony wielkość nieobsianej powierzchni ścieżek wynosi 3–8% [6, 20, 31].

Wielkość nieobsianej powierzchni ścieżek a straty w plonie roślin

Jak wynika z wcześniejszych rozważań, zmniejszenie powierzchni zajętej przez rośliny nie jest równoznaczne z taką samą obniżką plonu. Straty plonu są kompensowane przez efekt brzegowy roślin rzędków rosnących przy ścieżkach. W ramach jednej szerokości roboczej opryskiwacza straty w plonie są wyrównywane przez cztery rzędkie brzegowe i w znacznie mniejszym stopniu cztery sąsiadujące z brzegowymi. Spadek plonu jest tym mniejszy, im większa jest odległość między parami ścieżek w łanie [6, 21, 31, 37]. Braun i Schöne [5] otrzymali dla pszenicy ozimej z obiektu bez ścieżek plon $5,63 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a ze ścieżkami $5,64 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Heege za Ruhmem [21] podaje obniżki plonu z plantacji ze ścieżkami w porównaniu z łaniem bez ścieżek w wysokości 1,0–1,2%.

Autorka [27–33] na podstawie uzyskanego w badaniach efektu brzegowego wyliczyła szacunkowy spadek plonu zbóż, który przy odległości między parami ścieżek w łanie 8 m (nieobsiana powierzchnia wynosi 8%) waha się w zależności od gatunku w granicach 0,7–4,2%. Jeśli odległość między parami ścieżek wzrośnie do 18 m (nieobsiana powierzchnia 3,6%) spadek plonu wynosi 0,4–1,8% (tab. 2).

Tabela 2. Teoretycznie wyliczone obniżenie plonu ziarna w obiekcie ze ścieżkami założonymi w czasie siewu w % plonu dla łanu zwartego [31, 33]

Gatunek	Szerokość opryskiwacza	
	8 m	18 m
Pszenica ozima	0,7	0,4
Żyto	1,8	0,8
Jęczmień ozimy	0,7	0,4
Pszenżyto ozime	1,4	0,6
Pszenica jara	1,4	0,7
Jęczmień jary	4,2	1,8
Owies	2,2	1,2
Pszenżyto jare	3,0	1,4
Pszenżyto ozime	1,7	0,5

W uprawie buraka cukrowego Brunotte i Sommer [6] uzyskali przy 18-metrowej odległości między parami ścieżek w łanie identyczny plon dla uprawy standardowej i obiektu ze ścieżkami, a przy odległości 27 m plon z obiektu ze ścieżkami był wyższy niż przy uprawie standardowej.

Autorka [34] w badaniach własnych stwierdziła pełną rekompensatę plonu buraka cukrowego przy szerokości roboczej opryskiwacza 12 m. Taka wysokość plonu z jednostki powierzchni zarówno w badaniach własnych, jak i cytowanej literaturze niemieckiej, wynika z efektu brzegowego roślin rzędków sąsiadujących ze ścieżkami, a także z niższego plonowania roślin rzędków sąsiadujących z przejazdami w uprawie standardowej.

Ścieżki przejazdowe a problem ugniatania gleby

Powyższe rozważania strat i zysków wynikających z założenia ścieżek nie uwzględniają wpływu nadmiernego zagęszczenia gleby na plonowanie roślin oraz zmniejszenia nakładów energii i kosztów paliwa związanych z uprawą mniej ugnieczonego pola. Uczeni zajmujący się stanem gleby uważają, że ścieżki przejazdowe są jedną z najlepszych metod zmierzających do ograniczenia jej nadmiernego zagęszczenia [6, 7, 9, 10, 16, 24, 26], a wzrost plonów roślin uzyskany dzięki temu może przekroczyć nawet 20% [9].

Byszewski i Haman [14] stwierdzają, że podczas wykonywania zabiegów agrotechnicznych na powierzchni 1 ha ciągnik pokonuje 20–100 km, a każdy punkt pola może być ugniatany dziesięciokrotnie.

Buliński [7, 9, 10] ocenia, że przy dowolnym systemie poruszania się agregatów po polu 70–90% powierzchni pokryte jest śladami. A zatem taka powierzchnia ulega znacznemu zagęszczeniu, z czego pewna powierzchnia nadmiernemu ugnieceniu.

Z badań Kozicza [24] wynika, że sumaryczna powierzchnia śladów kół pięciokrotnie przewyższa powierzchnię pola przy uprawie zbóż i ośmiokrotnie przy uprawie okopowych. Ze względu na wielokrotne przejazdy agregatów i ich zróżnicowaną szerokość roboczą następuje nakładanie się śladów kół. Tylko 14,6% powierzchni pola przy uprawie pszenicy, 5,8% przy uprawie buraków i 1,2% przy uprawie ziemniaków było wolne od śladów kół; pozostała powierzchnia pola była ugniatana wielokrotnie. Przy uprawie buraka cukrowego ponad 17% powierzchni pola było ugniatane ponad 10-krotnie. Ugniecenie gleby może spowodować obniżkę plonu roślin zbożowych i okopowych od 7% do 30% w zależności od warunków glebowych i atmosferycznych na 40–50% powierzchni pola oraz wzrost nakładów energii od 20% do 50% na uprawę gleby na 60–70% powierzchni pól.

Ścieżki przejazdowe są jedną z koncepcji ochrony gleby przed nadmiernym ugnieceniem. Pozwalają oddzielić strefę ugniecioną od strefy wzrostu roślin i ograniczają obszar nadmiernie zagęszczony do 5–10% powierzchni pola. Stopień ugniecenia gleby na ścieżkach nie odzwierciedla wielokrotności przejazdów, ponieważ największe zagęszczenie gleby powodują 2–3 przejazdy tym samym śladem, przy kolejnych przejazdach gęstość gleby zmienia się nieznacznie [7, 14, 26, 34, 35].

Z badań własnych autorki przeprowadzonych na czarnej ziemi [34, 35] wynika, że pierwsze przejazdy w okresie wegetacji buraka powodowały wzrost gęstości gleby na obszarze ścieżek przejazdowych o $0,23\text{--}0,32\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ w porównaniu z powierzchnią nieugniataną, a efekt zagęszczenia sięgał na głębokość 20 cm. W wyniku zagęszczenia gleby przez koła agregatów rolniczych porowatość ogólna spadała poniżej 40%, a porowatość aeracyjna do poziomu 17–18%; w niektóre lata nawet poniżej 15% objętości gleby, czyli poniżej poziomu minimum aeracyjnego [12, 32, 33].

Na stopień ugniecenia wpływa nie tylko liczba przejazdów, ale również całkowita masa agregatu i wielkość powierzchni styku opony z podłożem. Ścieżki

umożliwiają zastąpienie wąskich opon ciągników do pielęgnacji normalnym ogumieniem, a dzięki większej powierzchni styku opon z glebą, oddziaływanie zgniatające sięga płycej [6, 24].

Na skutek wielokrotnych przejazdów po polu wzrasta zwięzłość gleby, a zatem znacznie pogarszają się warunki wzrostu roślin i pracy narzędzi i maszyn do uprawy gleby [10, 11, 12, 13, 17, 34, 35]. Wzrost zwięzłości gleby prowadzi do szybszego zużycia się sprzętu rolniczego, większego zużycia paliwa i wydłużania czasu pracy przy uprawie mechanicznej gleby. Nadmierne zagęszczenie gleby w strefie rozwoju systemu korzeniowego hamuje jego rozwój, zmniejsza masę i zasięg prowadząc do słabszego zaopatrywania roślin w składniki pokarmowe i wodę. Ujemny wpływ na system korzeniowy jest widoczny, jeśli koła agregatu poruszają się bliżej niż 30 cm od rzędu roślin [8].

Podsumowanie

Ścieżki przejazdowe są standardem w uprawie zbóż w krajach Europy Zachodniej i krajach skandynawskich, a również w dużych, nowoczesnych gospodarstwach w Polsce. Są one koniecznym elementem technicznym w osiąganiu wysokich i stabilnych plonów dzięki temu, że wszystkie środki ochrony roślin i nawożenie azotowe mogą być stosowane w optymalnych terminach. Mają ważne znaczenie sanitarne poprzez ograniczenie źródła infekcji w łanie. Stały się one nie tylko elementem ułatwiającym i usprawniającym pracę na polu, ale również są traktowane jako jeden ze sposobów ograniczania nadmiernego zagęszczenia gleby przez koła agregatów rolniczych wielokrotnie przejeżdżających po polu w czasie uprawy mechanicznej i pielęgnacji roślin. Przy systemie ścieżek powierzchnia ugniatana przez koła agregatów rolniczych jest ograniczona do kilku procent powierzchni pola. Aktualnie ścieżki są zakładane nie tylko w zbożach, ale również w rzepaku, roślinach okopowych i na plantacjach nasiennych.

Zmniejszenie powierzchni zajętej przez rośliny spowodowane założeniem ścieżek nie wpływa w równym stopniu na obniżenie plonu roślin. Rośliny z rzędków sąsiadujących ze ścieżkami plonują wyżej niż w łanie i w znacznym stopniu, a czasami całkowicie, wyrównują obniżkę plonu wynikającą z nieobsianej powierzchni ścieżek.

Straty są tym mniejsze, im ścieżki są rzadziej rozmieszczone w łanie, co jest uzależnione od szerokości roboczej opryskiwacza. Wydaje się, że zbyt ograniczone stosowanie ścieżek w praktyce rolniczej wynika przede wszystkim z dużego rozdrobnienia pól i słabego wyposażenia naszego rolnictwa w nowoczesny sprzęt dostosowany do zakładania ścieżek, który te czynności automatyzuje.

-
- [1] Austin B., Blackwell D. 1980. Edge and neighbour effects in cereal yield trials. *J. Agric. Sci. Camb.* 94: 731–734.
- [2] Bojarski S. 1983. Techniczne aspekty chemicznego zwalczania chorób zbóż. *Ochrona Roślin* 7: 18–21.
- [3] Braun H. 1978. Tramlines in corn. *International Pest Control* 5: 16–18.
- [4] Braun H. 1980. Bedeutung des Randeinflusses bei Winterweizenfeldversuchen. *Fachhochschule des Landes Rheinland – Pfalz. Aktenordner* 16: 821–830.
- [5] Braun H., Schöne J. 1973. Intensiver Getreidebau mit Fahrgassen. *DLG-Mitt.* 33: 936–938.
- [6] Brunotte J., Sommer C. 1993. Fahrgassen im Zuckerrübenanbau. *Landtechnik* 48, 8/9: 468–470.
- [7] Buliński J. 1991. Wpływ czynników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych agregatu ciągnikowego na ugniatanie gleby. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze i Leśne* 7: 15–17.
- [8] Buliński J. 1993. Wpływ ugniatania gleby kołami agregatów rolniczych na warunki rozwoju roślin. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej* 8: 4–5.
- [9] Buliński J. 1994. Możliwości zmniejszania ugniatania gleby agregatami rolniczymi. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej* 6: 2–3.
- [10] Buliński J. 1998. Zagęszczenie gleby w różnych technologiach uprawy roślin i związane z tym opory orki. Rozprawa habilit. Warszawa: 67–75, 83–87.
- [11] Buliński J., Niemczyk H. 2001. Effect of method of agricultural outfit running on the field on soil properties and sugar beet yielding. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. – SGGW, Agricult.* 41: 39–44.
- [12] Buliński J., Niemczyk H. 2003: Changes in soil physical-mechanical properties in the period of sugar beet vegetation under various cultivation systems. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. – SGGW, Agricult.* 44: 3–10.
- [13] Buliński J., Niemczyk H. 2004. Changes in soil physical properties in a three-year experiment on sugar beet cultivation. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. – SGGW, Agricult.* 45: 3–9.
- [14] Byszewski W., Haman J. 1977. Gleba–maszyna–roślina. PWN: 87–100.
- [15] Darwinkel A. 1984. Yield responses of winter wheat to plant removal and to wheelings. *Netherlands J. Agric. Sci.* 32: 293–300.
- [16] Domsch H. 1993. Dauerhafte Fahrspurbereiche? *Neue Landwirtschaft* 2: 72–74.
- [17] Dzieńka S., Sosnowski A. 1989. Wpływ ugniatania gleby i roślin kołami ciągnika na jej właściwości fizyczne, zachwaszczenie i plonowanie jęczmienia jarego i pszenicy jarej. *Fragm. Agron.* 4: 67–78.
- [18] Friessleben R., Timmermann A. 1988. Untersuchungen zur Ausbreitung von Kartoffelwurzeln unter Praxisbedingungen und Schlußfolgerungen für gezielte agrotechnische Maßnahmen. *Feldwirtschaft* 29: 40–42.
- [19] Gärtig W., Böning H., Peitz B. 1980. Fahrspuren in Getreide zur Qualitätssicherung bei der Applikation von Agrochemikalien. *Feldwirtschaft* 4: 179–182.
- [20] Gajtkowski A. 1986: Trasowanie ścieżek technologicznych w uprawie pszenicy. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze* 3: 12–14.
- [21] Heege H.J. 1979. Getreidebestellung aktuell. DLG-Verlag: 126–130.

- [22] Józefowicz T. 1997. Ścieżki ułatwiają nawożenie i ochronę roślin. *Top Agrar Polska* 3: 58–61.
- [23] Kowalczyk J. 1993. Desykacja zmniejsza straty nasion. *Przegląd Techniki Roln. i Leśnej* 8: 5.
- [24] Kozicz J. 1996: Ugniatanie gleby mechanizmami jezdnyimi agregatów przy uprawie roślin zbożowych i okopowych. *Post. Nauk Rol.* 4 : 51–63.
- [25] Kromer K.H., Strätz J. 1991. Beetanbau. *Landtechnik* 46(3): 94–96.
- [26] Marks M. 1996. Problemy ugniatania gleby we współczesnym rolnictwie. W: Czynniki agrotechniczne w rolnictwie zrównoważonym. Konferencja AR Olsztyn: 86–91.
- [27] Niemczyk H. 1993. Zdolność zbóż do wyrównywania plonu z nieobsianej powierzchni ścieżek przejazdowych. cz. I. Pszenica ozima i jara. *Rocz. Nauk Rol.*, ser. A t. 109, z.4: 9–19.
- [28] Niemczyk H., Radecki A., 1993. Zdolność zbóż do wyrównywania plonu z nieobsianej powierzchni ścieżek przejazdowych. cz. II. Jęczmień ozimy i jary. *Rocz. Nauk Rol.*, ser. A t. 109, z. 4: 21–30.
- [29] Niemczyk H., Radecki A. 1993. Zdolność zbóż do wyrównywania plonu z nieobsianej powierzchni ścieżek przejazdowych. cz. III. Żyto i owies. *Rocz. Nauk Rol.*, ser. A t. 109, z. 4: 31–40.
- [30] Niemczyk H. 1996. Zdolność zbóż do wyrównywania plonu z nieobsianej powierzchni ścieżek przejazdowych. cz. IV. Pszenżyto jare. *Rocz. Nauk Rol.*, ser. A t.112 z. 1–2: 27–35
- [31] Niemczyk H. 1996: Wpływ ścieżek przejazdowych na plonowanie zbóż. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* z. 439: 237–246.
- [32] Niemczyk H. 1998. Wpływ ścieżek przejazdowych na plonowanie pszenżyta. *Rocz. Nauk Rol.* ser. A, t. 113, z. 3–4 : 49–61.
- [33] Niemczyk H. 2002: Zdolność zbóż do wyrównywania plonu z nieobsianej powierzchni ścieżek przejazdowych cz. V. Pszenżyto ozime. *Rocz. Nauk Rol.*, ser A t.116 z. 1–4: 38–50.
- [34] Niemczyk H. 2002: Wpływ ścieżek przejazdowych na ochronę gleby przed niekorzystnym działaniem kół agregatów rolniczych i plonowanie buraka cukrowego. *Rocz. Nauk Rol.*, ser A t. 116 z. 1–4: 193–203.
- [35] Niemczyk H. 2004. Znaczenie ścieżek przejazdowych w ograniczaniu niekorzystnego oddziaływania kół agregatów rolniczych na właściwości fizyczne gleby i plonowanie roślin. *Annales UMCS, Sec. E*, 59, nr 2: 913–922.
- [36] Otto R, Lubadel O.A., Kramer K. 1983. Fahr- und Leitspuren – wichtiges Hilfsmittel i der Getreideproduktion. *Feldwirtschaft* 8: 368–370.
- [37] Peters R. 1995. Fahrgassen auch in Kartoffeln – was bringt das? Wywiad dla *DLZ Agrar-magazin* 4: 64–67.
- [38] Polak T. 2000. Ustawienie ścieżek. *Top Agrar Polska* 3: 144–146.
- [39] Przybył J. 2001. Nowoczesne techniki w uprawie buraka cukrowego. *Wieś Jutra* 1: 24–28.
- [40] Ptaszyński S. 1984. Wytyczanie ścieżek przejazdowych w uprawie zbóż. *Mechanizacja Rolnictwa* 11: 10–13.
- [41] Ptaszyński S. 1998. Nakładooszczędne technologie uprawy gleby. *Technika Rolnicza* 47(1): 18–19.

- [42] Ruhm E. 1976: Fahrgassen ermöglichen eine exakte Dünger verteilung. *Hannoversche Land- und Forstwirtsch.* 34: 4–5.
- [43] Stiede M., Spicher J., Kästner B., Eichelbaum U. 1988. Die Nutzung des Regelspurprinzips im Zuckerrübenanbau – Anwendungsmöglichkeiten und zu erwartende Effekte. *Feldwirtschaft* 29: 30–33.
- [44] Szydłowska B. 1984. Wpływ ugniatającego działania kół ciągnika na właściwości fizyczne gleby i plonowanie ziemniaków. Praca magisterska. Biblioteka SGGW.
- [45] Thelen M. 1995. Fahrgassen in Zuckerrüben. Wywiad dla *DLZ Agrarmagazin* 12: 58–60.
- [46] Widdowson F.V. 1973. Results from experiments with wheat and barley measuring the effects of paths on yield. *Experimental Husbandry* 23: 16–20.

Biological, technical and agro-ecological aspects of using tramlines in field crops

Key words: tramlines, border rows, yield compensation, soil compaction

Summary

Tramlines may be used in cultivation of cereals, rape and root crops as well as in seed production. They facilitate and simplify mechanized field works. They enable to apply nitrogen and pesticides application throughout the growing season in terms optimal for cultivation measures.

Tramlines play an important role in minimizing undesirable effects of soil compaction caused by the wheels of heavy agricultural machinery. The area affected is greatly reduced as compared with a more random application procedure.

Potential yield loss resulting from the absence of plants in the tramlines themselves is more than compensated for by better growing conditions created in the rest of field area. Moreover, the border-row plants yield much higher than the plants in compact stand.