Acta Agrophysica, 2002, 60, 53-62

KIERUNKI BADAŃ AGROFIZYCZNYCH DLA POTRZEB PRODUKCJI I PRZETWÓRSTWA BURAKA CUKROWEGO

K. Gołacki[1], P. Kołodziej[1], M. Bzowska – Bakalarz[2]

[1]Katedra Podstaw Techniki, Zakład Teorii Maszyn i Automatyki AR
ul. Doświadczalna 50 A, 20-280 Lublin
e – mail: golacki@faunus.ar.lublin.pl
[2] Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego AR, ul. Głęboka 28, 20 – 612 Lublin
e – mail: mrosl@hortus.ar.lublin.pl

Streszczenie. Praca prezentuje przegląd dokonań badawczych oraz sygnalizuje propozycje przyszłych kierunków prowadzenia badań agrofizycznych, mających na celu podwyższenie jakości surowca buraczanego dostarczanego cukrowniom w ramach ciągu technologicznego od wyorania do uzyskania krajanki.

Słowa kluczowe: korzenie buraków, straty, uszkodzenia mechaniczne.

WSTĘP

Wzrost wydajności procesu produkcji cukru jest jednym z głównych celów polityki ekonomicznej cukrowni. Wartości wskaźników produkcyjnych są bezpośrednio związane z jakością surowca buraczanego dostarczanego przemysłowi cukrowniczemu. Określenie wpływu czynników agrotechnicznych pozwalających na otrzymanie pełnowartościowego produktu oraz redukcja strat spowodowanych uszkodzeniami mechanicznymi powstającymi podczas zbioru, czyszczenia, transportu, składowania oraz pozostałych operacji w ramach wstępnego przygotowania surowca w cukrowni stanowi od wielu lat poważny problem dla plantatorów buraków i producentów cukru.

Praca wykonana w ramach projektu badawczego KBN Nr SP 06 F006/19

Obniżenie plonu korzeni spowodowane urazami mechanicznymi podczas procesów uprawowych oraz ubytek cukru przy przechowywaniu buraków w pryzmach były przedmiotem wielu badań. Wyniki tych badań są pomocne przy projektowaniu i modernizacji konstrukcji maszyn zbierających, czyszczących, sortujących oraz transportowych jak również doskonaleniu technologii uprawy, składowania i przetwarzania buraków.

Ważnym zagadnieniem jest lokalizacja punktów krytycznych w cyklu produkcyjnym. Ich obecność jest wynikiem nie tylko pewnych niedoskonałości rozwiązań konstrukcyjnych mechanizmów maszyn, ale także wynika ze sposobu przemieszczania surowca buraczanego wewnątrz urządzeń transportowych i sortujących.

W pracy przedstawiono propozycje kierunków rozwoju badań zmierzających do ograniczenia strat materiału biologicznego spowodowanych urazami mechanicznymi korzeni podczas obróbki surowca od momentu zbioru do uzyskania krajanki.

CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA JAKOŚĆ KORZENI BURAKÓW CUKROWYCH

Jakość surowca buraczanego jest podstawowym parametrem decydującym o przydatności produkcyjnej korzeni i efektywności procesu pozyskiwania cukru. Rysunek 1 przedstawia zestawienie czynników wpływających na jakość technologiczną korzeni buraków cukrowych [16].

Buraki mogą ulegać uszkodzeniom mechanicznym, powodującym straty bezpośrednie (obniżające jakość) podczas zabiegów produkcyjnych związanych z pielęgnacją, zbiorem, czyszczeniem, załadunkiem oraz transportem (polowym i zewnętrznym). Czynniki przedstawione na Rys. 1 cz. 2 mają znaczenie nadrzędne, gdyż oddziałują bezpośrednio na dojrzały technologicznie surowiec. Jednym z procesów agrotechnicznych powodujących największe straty buraków cukrowych jest zbiór [4]. Stosowanie jedno-etapowego zbioru kombajnami 6 – rzędowymi bardzo wyraźnie ogranicza straty i wielkość uszkodzeń korzeni [10, 23, 24].

Rys. 1. Cz. 1. Czynniki wpływające na jakość technologiczną korzeni buraków cukrowych.
Fig. 1. Part 1. The factors influence the technological quality of sugar beet roots.

Rys. 1. Cz. 2. Czynniki wpływające na jakość technologiczną korzeni buraków cukrowych.
Fig. 1. Part 2. The factors influence the technological quality of sugar beet roots.

USZKODZENIA MECHANICZNE – PRZYCZYNĄ STRAT KORZENI BURAKÓW PODCZAS ZBIORU, CZYSZCZENIA I TRANSPORTU

Uderzenia korzeni buraków o elementy maszyn i urządzeń produkcyjnych powodują stłuczenia, otarcia skórki, pęknięcia oraz odłamania końców korzeni [19]. Uszkodzenia powierzchni buraków, będące efektem działania mechanizmów kombajnów, mają bezpośredni wpływ nie tylko na obniżenie plonu z hektara, ale powiększają straty powstające podczas kolejnych operacji technologicznych: czyszczenia, przechowywania, mycia. Ocena wielkości strat masy korzeniowej spowodowanych uszkodzeniami w wyniku uderzeń była przedmiotem wielu badań.

Parks [21] zdefiniował tzw. Indeks Uszkodzeń Korzeni (Bruise Index), na podstawie obserwacji przepływu surowca buraczanego przez maszyny zbierające czyszczące i transportujące. Ustalił, że największe obszary uszkodzeń powstają na skutek upadków korzeni na twarde powierzchnie zbiornika kombajnu lub skrzyni ładunkowej samochodu. Duże i średnie uszkodzenia powierzchni korzenia powodowane są przez: wyorywacze, gwiazdowe koła czyszczące i prętowe przenośniki transportowe. Vukow [29] stwierdził, że uszkodzona powierzchnia na ogół nie przekracza 10% powierzchni całkowitej korzenia, ale w szczególnych przypadkach może wzrastać do 30%. Steensen [27] wyznaczył obszary uszkodzeń korzeni, liczbę obić występujących w korzeniach na podnośniku (86%), w zbiorniku (87%) oraz w pryzmach (89%) i wykazał, że większość strat masy korzeniowej w wyniku urazów mechanicznych występuje podczas zbioru. Bzowska – Bakalarz i inni [7] wyodrębniła dziesięć stref uszkodzeń korzeni oraz badała wpływ technologii zbioru i prędkości jazdy maszyny na wielkość strat. Houghton i Armstrong [12] oceniając wielkość szkód wywołanych spadkiem z wysokości, stwierdzili że zakres uszkodzeń korzeni w wyniku uderzenia o twardą powierzchnię jest trzykrotnie większy od obszaru urazów w przypadku uderzeń buraków o buraki.

Bartlett [3] oraz Hopkinson i Houghton [13] zastosowali „elektroniczny model buraka" do rejestracji wielkości i częstości udarów w kolejnych etapach technologicznych. Sugerowali oni, że znaczne zmniejszenie strat spowodowanych urazami mechanicznymi można uzyskać przy wykazaniu większej ostrożności podczas prac przeładunkowych (ograniczenie spadków z dużej wysokości) oraz zastosowaniu właściwych wartości parametrów roboczych poszczególnych operacji.

Brown [5] określił straty korzeni spowodowane urazami mechanicznymi (od 0,73 t/ha do 3,28 t/ha) dowodząc, że prawidłowa obsługa techniczna oraz prawidłowe operowanie kombajnem są czynnikami decydującymi o wielkości strat, natomiast optymalizacja operacji technologicznych jest problemem drugoplanowym.

Istotne zagadnienie stanowi również rozpoznanie i redukcja strat spowodowanych operacjami wstępnego przygotowania surowca w cukrowni. Przeładunek korzeni przy zastosowaniu przestarzałych maszyn czyszczących i formujących pryzmę jest przyczyną dużej liczby uszkodzeń wywołanych uderzeniami mechanicznymi i łamaniem ogonków w wyniku zmiennego kierunku przepływu buraków. Wadą hydromechanicznego transportu korzeni z wykorzystaniem kanałów spławnych, jest utrata sacharozy wskutek wymywania wodą spławiakową z uszkodzonej powierzchni roślin. De Vletter i VanGils [9] ustalili, że 15-minutowe działanie wody powoduje całkowite wypłukanie cukru z uszkodzonych komórek.

Przyczyną obniżenia wartości produkcyjnej buraków są również urazy powodowane przez urządzenia podnoszące, dozujące i separatory zanieczyszczeń (przeciwprądowy ruch wody i materiału roślinnego), oraz przez przenośniki zgarniakowe lub kubełkowe transportujące oczyszczone korzenie do zbiornika nad krajalnicami. Peterson [22] prowadząc badania z wykorzystaniem nieuszkodzonego surowca buraczanego stwierdził, że zakres urazów mechanicznych podczas technologicznego etapu oczyszczania korzeni w cukrowni stanowi około 2/3 strat powstających w czasie zbioru. Zmniejszenie liczby uszkodzeń spowodowanych obciążeniami dynamicznymi jest niezbędne ze względu na konieczność poprawy jakości rozdrobnienia korzeni (sporządzanie krajanki).

Uszkodzenia korzeni w wyżej wymienionych operacjach powodują powstawanie strat podczas wysładzania, gdyż intensywność procesu dyfuzji, osmozy i dializy w ekstraktorze jest związana z osiąganiem odpowiedniego kształtu i wymiarów przygotowanej krajanki. Zmniejszenie grubości oraz wzrost powierzchni styku krajanki z sokiem surowym podczas wysładzania pozwala zwiększyć intensywność wydobycia cukrów z wnętrza tkanek do roztworu. Dlatego grubość pasków (strużyn) nie powinna przekraczać 1 mm. Urazy mechaniczne buraków powodują trudności w uzyskaniu wymaganych parametrów geometrycznych materiału przygotowanego do przerobu. Niewymiarowa i uszkodzona krajanka zalega w komorach ekstraktora korytowego, powodując powstawanie niedrożności i związanego z nią spadku wartości wskaźników produkcyjnych procesu pozyskiwania soku surowego oraz w konsekwencji wzrostu kosztów produkcji cukru.

USZKODZENIA MECHANICZNE – PRZYCZYNĄ STRAT CUKRU PODCZAS PRZECHOWYWANIA

Spadek koncentracji sacharozy podczas przechowywania korzeni buraków cukrowych w stosach wynosi ok. 0,02% dziennie [6, 13] i stanowi istotny problem ekonomiczny dla producentów cukru. Badania mające na celu wyjaśnienie przyczyn oraz określenie kierunków działania w celu redukcji strat cukru w czasie składowania były prowadzone przez Houghtona i Armstronga [2, 12]. Stwierdzili oni, że utrata sacharozy ze składowanych korzeni rośnie ze wzrostem uszkodzeń mechanicznych, zwłaszcza gdy brak jest zabezpieczeń pryzm przed deszczem, jak również podczas mycia korzeni w cukrowniach [1]. Mumford i Wyse [20] wykazali, że urazy mechaniczne są jednym z istotnych czynników mających wpływ na redukcję cukru w przechowywanych korzeniach. Wynika to ze wzrostu tempa wymiany gazowej pomiędzy otoczeniem a uszkodzoną powierzchnią rośliny. Wzmożona respiracja ułatwia powstawanie infekcji bakteryjnych oraz ognisk gnilnych na skutek działania grzybów i mikroorganizmów zawartych w glebie. Testy przeprowadzone na korzeniach nieuszkodzonych oraz z 20% powierzchnią infekcji wykazały mniejsze o 5% tempo respiracji dla buraków bez uszkodzeń. Według Wyse'a [20] szybki rozwój ognisk gnilnych i trzykrotnie wyższy wzrost redukcji cukru następuje po zainfekowaniu ponad 15% powierzchni całkowitej korzenia. Pewnym potwierdzeniem są tu prace Imury, Hayasaki, Saito i Kanzawy [14], którzy przedstawili wyniki badań z czteromiesięcznego okresu przechowywania buraków, stwierdzając że zbiór mechaniczny powoduje 19% - a zbiór ręczny 2% ubytku sacharozy. Koster, Raats i Jorritsma [18] określili, że 70% – 80% ubytku sacharozy podczas przechowywania buraków następuje na skutek respiracji. Ponadto autorzy ci zwrócili uwagę na konieczność prowadzenia doświadczeń w dwóch kierunkach: wyznaczenia wpływu wielkości powierzchni urazów mechanicznych na wzrost szybkości oddychania oraz określenia związków pomiędzy tempem respiracji i powstawaniem infekcji wywołanych działaniem grzybów i mikroorganizmów.

Na ograniczenie ciężkich uszkodzeń korzeni jako szczególnie niebezpiecznych – ze względu na wymywanie sacharozy z wnętrza komórek – zwrócił uwagę Vukow [28] utrzymując, że suberyzacja jest możliwa tylko w przypadku niewielkich urazów powierzchni korzenia. Satoh, Sturm, Fuji i Chrispeels [25], określili wpływ infekcji bakteryjnych oraz procesów gnilnych na odporność komórki i regenerację ściany komórkowej wydzieliną glikoprotein, ligniny i suberyny oraz w konsekwencji utratę sacharozy[1, 6]. Hopkinson i Houghton [13] ustalili, że

przy natychmiastowym myciu wielkość strat cukru białego powstających w wyniku obić mechanicznych wynosi około 63 kg/ha. Schouten i van Schaik [26] zaobserwowali wzrost obecności tzw. „czarnych plam" (black spot) w korzeniach zbieranych mechanicznie podobnych do defektów występujących w ziemniakach i powstających podczas uderzeń przy składowaniu [11].

PODSUMOWANIE

Minimalizacja strat masy korzeniowej buraków cukrowych, warunkująca uzyskanie produktu o wysokiej jakości technologicznej jest jednym z podstawowych celów strategii przemysłowej producentów cukru.

W badaniach dotyczących wpływu uderzeń na jakość produkcyjną korzeni buraków skoncentrowano wysiłki na wyznaczeniu wielkości strat będących efektem urazów mechanicznych, mniej miejsca poświęcając określeniu jakie uszkodzenia powstają w poszczególnych procesach agrotechnicznych. Przyporządkowanie miejsc urazów mechanicznych odpowiednim procesom technologicznym (wyoranie, czyszczenie, mycie, transport), umożliwiłoby dokonanie zmian konstrukcyjnych w maszynach oraz podzespołach maszyn zbierających i czyszczących – ogławiaczach, wyorywaczach, przenośnikach transportowych, rynnach spławnych, separatorach zanieczyszczeń itp. Poza tym badacze ogniskowali swoje zainteresowania na określeniu wielkości strat a nie wyjaśnianiu mechanizmu ich powstawania.

Istotnym „punktem krytycznym" procesu zbioru jest cykl wyorywania przy zastosowaniu mechanizmów wibracyjnych. Wynikający z analizy kinematyki wyorywacza przebieg zmian przemieszczenia liniowego centralnego punktu lemiesza (stanowiący wymuszenie kinematyczne), pozwala na określenie siły działającej na materiał biologiczny w glebie. Wyznaczenie wartości siły pochodzącej od lemiesza może się przyczynić do modyfikacji konstrukcyjnej mechanizmu wykonawczego (np. odpowiedni kształt krzywizny lemiesza, kąt nachylenia względem pionu), umożliwiającej osiągnięcie odpowiednich wartości nacisków powierzchniowych.

Opis matematyczny warstwy gleby za pomocą nieliniowego modelu standardowego wraz z zależnościami charakteryzującymi współczynniki lepkości dynamicznej (η) oraz sprężystości (E) w oparciu o termodynamikę statystyczną [17], precyzuje nowe możliwości prowadzenia doświadczeń. Badania polegałyby na wyznaczeniu (drogą symulacji komputerowej i badań polowych) zakresu zmian odległości pomiędzy narzędziem a korzeniem buraka, umożliwiającej obserwację zachowania się układu lemiesz - gleba - burak w warunkach wzajemnego oddziaływania dynamicznego.

Model reologiczny warstwy gleby powinien być uzupełniony wynikami eksperymentów laboratoryjnych pozwalających na ustalenie wartości współczynników E i η dla gleb przeznaczonych pod uprawę buraków, przy uwzględnieniu wartości prędkości punktu centralnego lemiesza wyznaczonej z analizy kinematyki wyorywacza.

Określenie grubości warstwy gleby pomiędzy narzędziem a rośliną byłoby istotne ze względu na wielkość działających (w tym układzie) sił dynamicznych będących przyczyną powstawania uszkodzeń mechanicznych korzeni.

Zjawisko łamania końca korzenia wymusza konieczność wyznaczenia granicznych wartości współczynników wytrzymałości materiału biologicznego na zginanie, przy dwóch lub trzech cyklach działania siły gnącej, odpowiadających sekwencyjnej pracy lemiesza. Niezbędna jest lokalizacja miejsc wzmożonego oddziaływania dynamicznego maszyn na materiał biologiczny.

Ograniczenie uszkodzeń korzeni wywołanych uderzeniami o ściany i dno zbiorników transportowych można uzyskać poprzez określenie wpływu kąta nachylenia ścian bocznych oraz wysokości położenia dna zbiornika transportowego, na występowanie: stłuczeń powierzchni, łamania ogonków, powstawania pęknięć, itp.

Wyjaśnienie zjawisk zachodzących w uszkodzonej komórce roślinnej oraz wpływu środowiska i zakresu zmienności genetycznej na szybkość regeneracji ściany komórkowej podczas przechowywania korzeni w stosach może prowadzić do doskonalenia technologii składowania jak również kontroli oraz redukcji strat cukru w następstwie urazów mechanicznych. Na podstawie prac DeVlettera i VanGilsa [9], sugerować można konieczność ograniczenia stosowania rozładunku hydrodynamicznego w cukrowni, zmniejszenia czasu mycia korzeni lub stosowania stałej kontroli zawartości cukru w wodach spławiakowych.

Kolejnym problemem jest wyjaśnienie zjawisk powodujących powstawanie tzw. „czarnych plam" wywołanych uderzeniami podczas przechowywania, oraz określenie czynników powodujących wzrost odporności korzeni na występowanie tych defektów.

Poznanie wzajemnych relacji pomiędzy wielkością powierzchni uszkodzenia, rodzajem uszkodzeń, parametrami charakteryzującymi warunki przechowywania, jak również wpływu tych wielkości na rozmiary oraz intensywność rozwoju infekcji spowodowanych działaniem grzybów i bakterii, wyznacza nowe kierunki postępowania, mające na celu ograniczające straty sacharozy.

W wielu opracowaniach monograficznych analizowano dokonania badaczy w dziedzinie ograniczania strat, jednak w obliczu nowych technologii produkcji a tym samym nowych konstrukcji istnieje konieczność modyfikowania tych analiz, dotyczy to zwłaszcza prędkości maszyn zbierających i transportowych.

PIŚMIENNICTWO

1. **Antkowiak J.:** Przechowywanie surowca w przemyśle cukrowniczym. WNT, Warszawa, 1978.
2. **Armstrong M., Houghton B.:** Sugar beet storage trials: the results. British Sugar Beet Review, 64 (3), 4-7, 1996
3. **Bartlett D. I.:** Development of an electronic damage analogue for sugar beet. Aspects of Applied Biology 52, Protection and production of sugar beet and potatoes, 185 - 190, 1998.
4. **Brown S., Piltbrow J.:** Effective harvesting: the way to cut sugar beet losses. British Sugar Beet Review, 64 (3), 8-10, 1996.
5. **Brown S. P.:** Quality harvesting of sugar beet. Aspects of Applied Biology 52, Protection and production of sugar beet and potatoes, 179-184, 1998
6. **Byszewski W.:** Biologia buraka cukrowego. PWN, Warszawa 1979.
7. **Bzowska – Bakalarz M., Przybył J., Drabko H.:** Wpływ technologii zbioru buraków cukrowych na uszkodzenia korzeni. Inżynieria Rolnicza, 1, 99-106, 1997.
8. **Cole D. F.:** Effect of cultivar and mechanical damage on respiration and storability of sugar beet roots. Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists, 19, 240-245, 1977.
9. **DeVletter R., VanGils W.:** Influence of the mechanical handling of sugar beets on sugar yield in the factory. The Sugar Journal, Jan, 8-13, 1976.
10. **Dobek T.:** Wpływ odmian buraka cukrowego na wielkość strat przy jego zbiorze. Inżynieria Rolnicza, 5, 108-111, 1998.
11. **Edgel T., Brierley E. R., Cobb A. H.:** An ultrastructural study of bruising in stored potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. Annals of Applied Biology, 132, 143-150, 1998.
12. **Houghton B., Armstrong M.:** Fragile. Handle with care. British Sugar Beet Review, 62 (3), 13-15, 1994.
13. **Hopkinson I. P., Houghton B. J.:** Electronic sugar beet measurements: assessments of beet handling and harvesting sugar losses. Aspects of Applied Biology 52, Protection and production of sugar beet and potatos, 169-172, 1998.
14. **Imura E., Hayasaka M., Saito H., Kanzawa K.:** Relation between mechanical damage and storability in sugar beets. 1. Influence of root damage given in the harvesting and pilling processes on the quality of stored sugar beets. Procedings of the Sugar Beet Research Association, Japan, 28, 108-114, 1986.
15. **Jaggard K. W., Clark C. J. A., May M. J., McCullagh S., Draycott A. P.:** Changes in the weight and quality of sugar beet (*Beta vulgaris*) roots in storage clamps on farms. Journal of Agricultural Science. Cambridge, 129, 287-301, 1997.
16. **Karwowski T.:** Mechanizacja produkcji buraków cukrowych. Nowe technologie, IBMER – Warszawa, 1996.
17. **Konstankiewicz K.:** Wpływ prędkości odkształceń na charakterystyki mechaniczne gleb. Problemy Agrofizyki 51, Rozprawa habliltacyjna, 1987.
18. **Koster P.B., Raats P., Jorritsma J.:** The effect of some agronomical factors on the respiration rates of sugar beet. Proceedings of the 43rd IIRB Congress. February, Brussells, 109-125, 1980.
19. **Malec J.:** Straty przy zbiorze buraków cukrowych. Mechanizacja Rolnictwa 10, 33, 30-32, 1984.

20. **Mumford D. L., Wyse R. E.:** Effect of fungus infection on respiration and reducing sugar accumulation of sugar beet roots and use of fungicides to reduce infection. Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists, 19, 157-162, 1976.
21. **Parks D. L.:** Sugar beet injury within harvesting and handling equipment. Transactions of ASAE Nov/Dec, 22 (6), 1238-1244, 1979.
22. **Peterson C. L., Muller E. R., Hall M. C., Thompson J. C.:** An analysis of root damage during pilling. Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists,19, 550-551, 1981.
23. **Przybył J.:** Polski Pokaz Buraczany w Chodowie. Przegląd Techniki Rol. I Leśnej, 11, 11–13, 1996.
24. **Przybył J., Sęk T.:** Wybrane problemy techniki rolniczej w uprawie buraka cukrowego. Materiały Konferencyjne Ogólnopolskiej Konferencji pt. „Badanie Maszyn i Urządzeń Rolniczych". Wyd. SGGW. Warszawa, 99–110, 1999.
25. **Satoh S., Sturm A., Fuji T., Chrispeels M. J.:** DNA cloning of an extra cellular dermal glycoprotein of carrot and its expression in response to wounding. Planta,188, 432–438, 1992.
26. **Schouten S. P., van Schaik A. C. R.:** Storage of red beets. Acta Horticulturae,116, 25–29, 1980.
27. **Steensen J. K.:** Root injuries in sugar beets as affected step wise by lifting, dumping and cleaning. Proceedings of the 56th IIRB Congress, February, Brussells, 525–532, 1996.
28. **Vukow K.:** Phisics and Chemistry of Sugar – Beet in Sugar Manufacture (English Edition), Elsevier Scientific Publishing Company,1977.

AREAS OF THE AGROPHYSICAL RESEARCH OF SUGAR BEET PRODUCTION AND PROCESSING

K. Gołacki[1], P. Kołodziej[1], M. Bzowska – Bakalarz[2]

[1]Faculty of Agricultural Engineering, Department of Machine Theory and Automatics
University of Agriculture, Doświadczalna 50 A, 20 - 280 Lublin
e - mail: golacki@faunus.ar.lublin.pl
[2] Faculty of Agricultural Engineering, Department of Agricultural Machines
University of Agriculture, Głęboka 28, 20 - 612 Lublin
e - mail: mrosl@hortus.ar.lublin.pl

Summary. This study includes roundup of research accomplishments and indicates suggestions of future directions in agrophysical studies, which aims to increase quality of sugar beet raw material delivered to industry, includes technological processes from peeling to receive of beet slices

Keywords: sugar beet roots, losses, mechanical damage.