

WŁADYSŁAW BYSZEWSKI,

JANUSZ HAMAN, DANIELA OSTROWSKA,
HANNA WZOREK

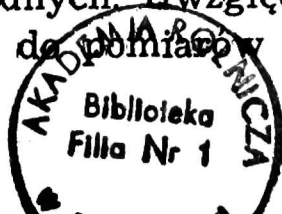
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego — Akademia Rolnicza w Warszawie

PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE PRZEMYSŁOWYCH BURAKÓW CUKROWYCH

Buraki cukrowe należą do grupy roślin, których właściwości fizyczne mają wyjątkowo duże znaczenie dla procesów produkcji i przerobu. Decydują one zarówno o potencjalnej jak i rzeczywistej plenności roślin. Wpływają również na plon biologiczny, a w znacznie większym stopniu technologiczny plon cukru, na przebieg procesu biologicznego, przetwórczego, wyraźnie warunkując wysokość powstających strat. Właściwości fizyczne buraków mają więc znacznie większe znaczenie praktyczne aniżeli u wielu innych gatunków roślin uprawnych. Konieczne jest więc ustalenie najważniejszych właściwości fizycznych buraków i prześledzenie znaczenia każdej z cech, zakresu jej zmienności jak również możliwości ich optymalizacji.

Właściwości fizyczne buraków podzielono na 7 podstawowych grup: 1-geometryczne, 2-mechaniczne, 3-akustyczne, 4-cieplne, 5-dyfuzyjne, 6-elektryczne, 7-optyczne [2]. Niektóre z nich umieszczono w tabeli 1.

Największe znaczenie praktyczne mają właściwości geometryczne i mechaniczne, gdyż dotyczą wszystkich etapów produkcji surowca, jego przechowywania i przetwarzania. Duże znaczenie ponadto mają właściwości dyfuzyjne oraz cieplne, dotyczące głównie przebiegu procesu przechowywania i przetwarzania surowca. Ustalenie głównego źródła zmienności właściwości fizycznych wyjaśnia, które z nich determinowane są cechami dziedzicznymi, a które powodowane są zmiennością środowiska. Można więc określić, czy optymalizacja właściwości fizycznych powinna być wynikiem odpowiednich prac selekcyjnych, czy przez wypracowanie właściwych systemów produkcji. Pewne wskazówki w tym zakresie można znaleźć w katalogu pt.: „Ważniejsze właściwości roślin wiążące się z pracą maszyn rolniczych” [24]. Dobierając metody badania właściwości fizycznych, należy rozróżnić badania dotyczące pojedynczych roślin oraz całych populacji. W pierwszym przypadku w pracach o charakterze metodycznym, możliwe jest zastosowanie metod bardziej pracochłonnych, lecz jednocześnie bardziej dokładnych. Uwzględniając olbrzymią zmienność osobniczą buraków, należy do pomiarów wybierać rośliny typowe



F10-2472

Tabela 1

Ważniejsze właściwości fizyczne buraka cukrowego przemysłowego

Organ rośliny	Właściwości fizyczne
Korzeń spichrzowy	1) geometryczne:— długość, grubość, szerokość — kształt — tekstura i gładkość powierzchni — kąt skręcania bruzdy korzeniowej — wysokość wyrastania korzenia nad powierzchnię gleby — wielkość siły potrzebnej do wydobycia korzenia z gleby
	2) mechaniczne:— twardość — zdrewnienie — wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie — praca ścinania — sprężystość
	3) dyfuzyjne:— ciężar objętościowy — nasiąkliwość — przesiąkliwość
Ulistnienie	1) geometryczne:— powierzchnia blaszki liściowej — długość, grubość i przekrój ogonka liściowego — wysokość, średnica, bujność rozety liściowej — liczba liści

dla danej odmiany. W przypadku, gdy stosowana metodyka wymaga posługiwania się tylko częścią korzenia, ważny jest również wybór reprezentatywnej próby, ponieważ rozkład badanych właściwości fizycznych korzeni buraków może być bardzo zróżnicowany, zależnie od budowy anatomicznej poszczególnych części korzenia (główki, szyjki, korzenia właściwego). W przypadku, gdy celem badań jest charakterystyka populacji, wówczas stosuje się metody szybkie i wykonuje oznaczenia na odpowiednio dużej próbie. Ponieważ wartości graniczne badanych właściwości mogą być modyfikowane zarówno cechami dziedzicznymi, stale zmieniających się odmian, jak i sposobami uprawy, stąd informacje muszą być zebrane w ściśle określonych warunkach agroekologicznych. Jednak oznaczenia wykonywane na zbyt małym materiale pochodzącym z jednakowych warunków środowiskowych nie pozwalają na określenie wartości granicznych badanych właściwości. Dlatego w badaniach tego typu powinno posługiwać się próbą zawierającą na ogół co najmniej 50 korzeni, stosując nie mniej niż trzy powtórzenia dla danych warunków.

Należy również uwzględnić te czynniki, które mogą modyfikować badane właściwości fizyczne. W większości przypadków będą to: poziom nawożenia, warunki wodne, różnice międzyodmianowe itp. Należy ponadto uwzględniać metamorficzność badanych parametrów. Przydatność praktyczna znajomości fizycznych właściwości wymaga jednoznacznego sprecyzowania definicji badanych parametrów i metod pomiarowych.

Niniejsze opracowanie stanowi przegląd dotychczasowych propozycji i ustaleń w dziedzinie badania geometrii i właściwości mechanicznych korzeni buraków.

Właściwości geometryczne

Geometryczna charakterystyka buraka cukrowego powinna zawierać zarówno wymiary poszczególnych organów (zwłaszcza korzenia spichrzowego) jak też charakterystykę kształtu tj. wzajemnych stosunków przestrzennych. Właściwości geometryczne korzenia spichrzowego określają potencjalne możliwości magazynowania asymilatów, wpływają na zawartość cukru, wielkość strat powstających podczas zbioru, przechowywania i produkcji cukru. Decydują również o konstrukcji części roboczych ogławiaczy i wyorywaczy. Wiele właściwości geometrycznych korzeni wykorzystuje się do charakterystyki odmianowej. Wyraźne różnice występują jednak tylko pomiędzy typami buraków a znacznie mniejsze między poszczególnymi odmianami. Wynika to zarówno z dużej zmienności osobniczej, jak również modyfikacji powstających pod wpływem warunków środowiskowych. Do najważniejszych parametrów geometrycznych zalicza się długość, szerokość i grubość oraz teksturę i gładkość powierzchni korzenia. Dotychczas podawana charakterystyka wymiarowa korzenia spichrzowego ograniczona jest zwykle do długości użytkowej, średnicy w najszerszym miejscu korzenia, średnicy miejsca odcięcia główki, wysokości główki zielonej i wysokości wyrastania korzenia nad powierzchnię gleby. Są to wymiary łatwe do jednoznacznego określenia. Znacznie większe trudności następuje natomiast definicja kształtu korzenia spichrzowego i jej ilościowa miara. Kształt korzenia jest w zasadzie cechą odmianową, ale ulega dużej zmienności pod wpływem warunków agroekologicznych. Na ogół formy o wysokiej zawartości cukru charakteryzują się korzeniem bardziej „wysmukłym”, podczas gdy korzenie odmian plennych są bardziej „wypełnione”. Istnieje więc pewien związek między kształtem korzenia, plonem a zawartością w nim cukru. Ponadto kształt wpływa na inne właściwości, jak np. łamliwość korzenia.

Czynniki środowiskowe jak np. ugniatanie gleby i nawożenie modyfikują bardzo silnie kształt korzenia. W przypadkach, gdy wzrasta zagęszczenie gleby na skutek ugniatania, występuje zmniejszenie średnicy

szyjki korzenia, a nawet spłaszczenie i skrócenie korzenia spichrzowego w stosunku do roślin kontrolnych. Wzrastające dawki nawożenia potasowego z 100 do 300 kg/ha powodują zwiększenie smukłości korzenia spichrzowego.

Mohsenin [15] proponuje następujące ogólne określenia kształtu obiektów: okrągły — w kształcie kuli, spłaszczony — na obu końcach, podłużny — jedna oś wyraźnie dłuższa od drugiej, stożkowy, owalny, skośny — nie posiadający wyraźnej symetrii w przekroju podłużnym, eliptyczny — stanowiący elipsoidę obrotową, ścięty — przekrój w kształcie prostokąta z zaokrąglonymi krawędziami, nieregularny, wielokątny — przekrój w kształcie wieloboku, regularny — walec o dowolnej tworzącej.

Ponieważ jednak jego opisowa charakterystyka kształtu obarczona jest znacznym błędem subiektywnym, stąd ocenę tę zastępuje się lub uzupełnia przez określenie pewnych ilościowych wskaźników kształtu, przy czym najczęściej stosuje się następujące wskaźniki: współczynnik smukłości — jako stosunek długości ogłowionego korzenia mierzonej do największej średnicy ogłowionego korzenia.

Współczynnik spłaszczenia — jest to stosunek największej i najmniejszej średnicy korzenia mierzonej w płaszczyźnie ogławiania.

Współczynnik sferyczności — według Grochowicza [8] określa się na podstawie dwóch współczynników:

$$K_w = \frac{a}{c}$$

$$K_m = \frac{b}{c}, \text{ gdzie:}$$

a oznacza najmniejszy wymiar bryły (grubość)

b oznacza średni wymiar bryły (szerokość)

c oznacza największy wymiar bryły (długość)

W takim przypadku kształt zostaje określony jako:

okrągły, gdy $a = b = c$

ówalny, gdy $a \approx b \geq \frac{c}{3}$

wydłużony, gdy $a \leq b < \frac{c}{3}$

Natomiast współczynnik sferyczności wg Mohsenina [15] wylicza się ze wzoru:

$$S_p = \frac{d_e}{d_c}$$

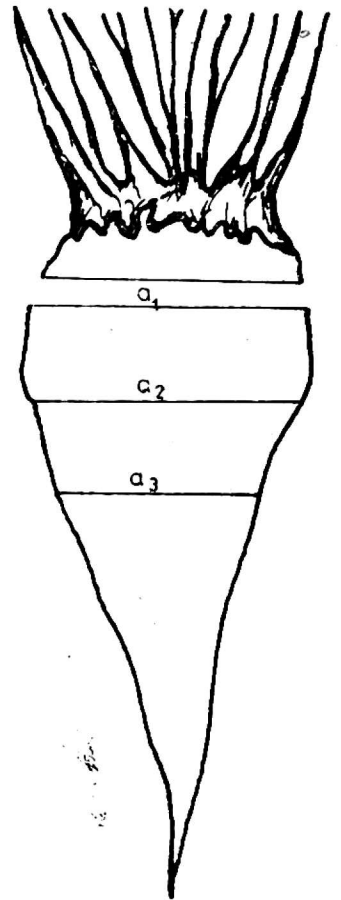
gdzie: d_e oznacza średnicę kuli o tej samej objętości, co dana bryła,
 d_c oznacza średnicę kuli opisanej na danej bryle.

Współczynnik sferyczności za Byszewskim i Hamanem [2] wg Curraya wylicza się ze wzoru:

$$S_h = \frac{d_t}{d_c} .$$

gdzie: d_t oznacza średnicę największego koła wpisanego

d_c oznacza średnicę najmniejszego koła opisanego na bryle.



Rys. 1. Sposób pomiaru średnic korzenia buraka przy obliczaniu współczynnika wcięcia (wg J. Hamana)

Współczynnik wcięcia wg Hamana określa się (np. dla korzenia spichrzowego) na podstawie średnicy mierzonej w trzech miejscach jednakowo odległych (rys. 1).

kształt stożkowy: $\frac{a_1 - a_2}{a_2 - a_3} = 1$

kształt wcięty: $\frac{a_1 - a_2}{a_2 - a_3} > 1$

kształt wypełniony: $\frac{a_1 - a_2}{a_2 - a_3} < 1$

Zaś współczynnik kształtu wg Siwickiego [18] określa się na podstawie kąta stożka wrysowanego w zarys korzenia.

Buraki stosunkowo często wytwarzają korzenie nieprawidłowe, które zależnie od ich właściwości geometrycznych nazywamy korzeniami selerowymi, rozwidlonymi, wielogłowymi, dziuplastymi itp. Korzenie takie przedstawiają mniejszą wartość technologiczną podobnie jak korzenie drobne o średnicy mniejszej niż 4 cm, a w skrajnym przypadku nie nadają się w ogóle do przerobu na cukier. Korzenie te charakteryzuje się za pomocą umownych stopni występowania tych nieprawidłowości.

Inną ważną geometryczną cechą korzenia jest wysokość wyrastania główki nad powierzchnię gleby. Ma ona duży wpływ na jakość mechanicznego zbioru buraków, a także wpływ na wartość technologiczną surowca. Prawidłowe przeprowadzenie zbioru korzeni wymaga, aby wyrastały one na jednakową wysokość i aby zmienność w tym zakresie była możliwie jak najmniejsza. Zbyt wysokie wyrastanie korzeni powoduje obniżenie plonu surowca, co wynika ze zbyt niskiego mechanicznego ogławiania. Ułatwiało ono ręczny zbiór buraków, jest jednak szkodliwe w przypadku zbioru mechanicznego, również z tego powodu, że tarcze kopiujące ogławiaczy mogą wywracać rośliny. Również zbyt niskie wyrastanie korzeni utrudnia zbiór. Wysokość korzenia wyrastającego ponad powierzchnię gleby zależy zarówno od czynników genetycznych jak

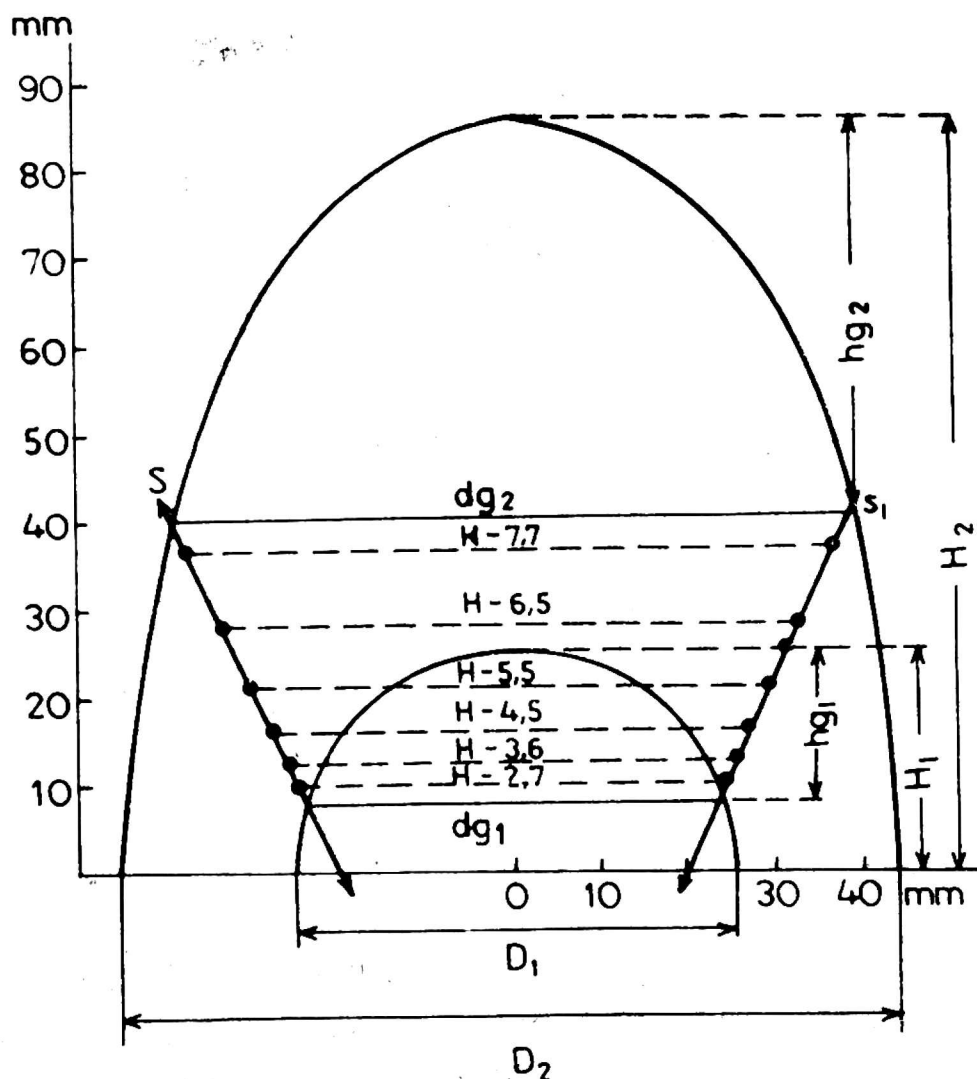
Tabela 2

Wpływ różnych czynników na wyrastanie korzeni buraków cukrowych nad powierzchnię gleby (wg W. Byszewskiego i D. Ostrowskiej)

Badane czynniki	Wysokość wyrastania w cm
Nawadnianie:	
1. kontrola	4,0
2. kombinacje nawadniane	4,4
Zagęszczanie roślin na polu:	
1. 40×30 cm	3,3
2. 60×20 cm	3,8
Dawki nawożenia azotowego: kg/ha	
1. N — 110	3,4
2. N — 220	3,5
Dzielenie dawki azotu: kg/ha	
1. jednorazowo 160	5,1
2. 100+60	4,7
3. 100+30+30	4,4

i środowiskowych. Jest ona modyfikowana zarówno przez wilgotność gleby, jej zagęszczenie, sposób rozmieszczenia roślin na polu oraz poziom nawożenia (tab. 2).

Według Siwickiego [18] wysokość wystawania główki korzenia nad powierzchnię gleby jest skorelowana ze średnicą jej podstawy i wysokością ogławiania (rys. 2). Istnieje wiele sposobów mierzenia wysokości



Rys. 2. Zależność średnicy podstawy główki od wysokości jej wystawania nad glebą,

S i S_1 — linie średnic podstaw główek ustalone na podstawie średniego przyrostu średnicy 0,45/1 cm z dokonanych pomiarów,

H -2,7 do H -7,7 — rzeczywiste średnice podstaw główek dla grup korzeni wystających nad ziemią:

do 3 cm (średnio 2,7 cm),

3—4 cm (średnio 3,6 cm),

4—5 cm (średnio 4,5 cm) itd.

D — średnica korzenia w najgrubszym miejscu

d_g — średnica podstawy główki

h_g — wysokość główki, która powinna być ścięta (wg Siwickiego).

wyrastania korzeni nad powierzchnię gleby. Najczęściej wykonuje się pomiar za pomocą wycechowanego stojaka zaopatrzonego w skalę. Należy jednak wyeliminować błędy spowodowane niedokładnym usunięciem liści i drobnymi różnicami poziomu powierzchni gleby.

Tekstura i gładkość powierzchni korzenia spichrzowego

Zarówno tekstura korzenia jak i jego gładkość mają wpływ na proces czyszczenia korzeni. Korzenie gładkie o płytkiej bruzdzie, nie posiadające wgłębień łatwiej jest czyścić. Wprawdzie dawniej hodowcy wybierali pojedynki o silnie zarysowanej i bardziej skróconej bruzdzie, gdyż sprzyjało to rozwojowi korzeni bocznych, a także istniał pogląd, że pomarszczona powierzchnia korzenia jest związana z większą zawartością cukru, jednak korzenie o głębokiej i silnie skróconej bruzdzie trudniej jest zebrać mechanicznie i następnie oczyścić. Skręcenie bruzdy korzeniowej wyraża się kątem w stosunku do osi podłużnej korzenia. Kąt ten jest dość zmienny i waha się od 5 do 35°. Głębokości bruzdy i głębokość powierzchni korzenia określa się w stopniach na podstawie oceny wzrokowej.

Właściwości mechaniczne

Właściwości geometryczne liści

Dokonyje się opisu geometrycznego pojedynczych liści, a także całej rozety. W pierwszym przypadku należy czasem nie zaleźnie uwzględniać geometrię blaszki oraz ogonków liściowych, gdyż wpływają one na przebieg fotosyntezy i gospodarkę wodną buraków. Mają również wpływ na wartość użytkową liści i przydatność do zakiszania dlatego geometrię liści powinno się znać przy projektowaniu transporterów, silników i dołów do kiszania. Dokładne ustalenie kształtu liści jest trudne, gdyż są one nieregularne i o zmiennych wymiarach. Często jednak wystarcza określić stosunek długości do szerokości liścia względnie porównać go z szablonami. Bardziej dokładne wyznaczenie kształtu liścia ma małe znaczenie praktyczne lecz można je przeprowadzić za pomocą wzorów podobnych do opisanych przy omawianiu kształtu korzenia.

Rzeczywista powierzchnia blaszki liściowej jest wyjątkowo trudna do zmierzenia, gdyż jest ona w dużym stopniu pofałdowana. Przy pomiarach przybliżonych stosuje się metodę polegającą na wyświetlaniu zarysu liścia na papierze światłoczułym, a następnie określa się ich powierzchnię

ważąc wycięty obraz, ponieważ jednostkowa masa papieru jest stała. Znana jest metoda krążków, która polega na wycinaniu krążków o znanej powierzchni z blaszki liściowej, następnie oznaczaniu suchej masy tych krążków oraz pozostałej części blaszki liściowej przy założeniu, że powierzchnia liścia jest proporcjonalna do masy. Erbas i Fischbeck [6] opisali metodę doświadczalną pomiaru powierzchni liści. W metodzie tej pobiera się liście z buraków rosnących na powierzchni 1 m² i mierzy się długość oraz szerokość każdej blaszki liściowej. Następnie mnoży się przez siebie te liczby, sumuje i sumę mnoży przez współczynnik 0,77 co daje wartość indeksu ulistnienia [w ha/ha] (powierzchnia liścia do powierzchni gleby).

Właściwości geometryczne ogonka liściowego oznacza się czasem w pracach hodowlanych. Mają one wpływ na ustawienie blaszki liściowej w stosunku do źródła światła i wskazują na warunki transportu asymilatów do korzenia. Najczęściej oznacza się ich długość i średnicę.

Właściwości geometryczne rozety liściowej mają duże znaczenie zarówno dla przebiegu ważniejszych procesów fizjologicznych buraków jak i dla sprawnego przebiegu zabiegów uprawnych. Najczęściej oznacza się wysokość rozety liściowej, jej średnicę i bujność tj. liczbę i wielkość liści wchodzących w skład rozety.

Współczynnik ulistnienia jest stosunkiem masy liści do masy korzenia. Oznacza się go przy charakterystyce odmianowej, w pracach hodowlanych a niekiedy w doświadczeniach uprawowych. Współczynnik ten wskazuje na rozkład asymilatów w roślinie i pozwala określić czy nie zużywa ich ona zbyt wiele na budowę liści. Jedynie w początkowym okresie wzrostu roślin korzystna jest duża wartość współczynnika ulistnienia.

Wielkość siły potrzebnej do wyciągnięcia korzenia z gleby

Siła ta różni się w zależności od rodzaju gleby i odmiany buraka. Ogólnie biorąc wzrasta, gdy rośnie długość i średnica korzenia. Duży wpływ na siłę wyciągania wywiera kształt korzenia oraz występowanie korzeni rozwidlonych, co jest cechą odmianową. Jednakże żadna odmiana nie ma korzeni jednego typu, przy czym wpływ warunków pogodowych i sposobu uprawy jest większy niż cech odmianowych. Im bardziej korzeń buraka zgłębniony jest w glebie i im silniej jest on rozbudowany tym większa jest siła wyciągania. Cechy te zależą w dużym stopniu od tego, czy rośliny w rzędzie rozmieszczone są rzadziej lub czy były

nawadniane w okresie wegetacji względnie różnie nawożone azotem. Wszystkie te czynniki powodują większe zagłębienie korzeni a co za tym idzie silniejsze osadzenie ich w glebie.

Siłę wyciągania mierzy się dynamometrem, przy czym pomiary te wykonuje się bez żadnych wstępnych zabiegów lub po uprzednim podkopaniu korzeni. W tym ostatnim przypadku, gdy spulchnienie gleby w międzyrzędziach jest kontrolowane eliminuje się zmienność warunków glebowych.

Właściwości mechaniczne korzenia spichrzowego buraka cukrowego

Właściwości mechaniczne korzenia wpływają zarówno na wielkość strat powstających podczas produkcji a zwłaszcza przy zbiorze, jak i na przydatność surowca do przerobu czy zużycia na paszę. Do najważniejszych właściwości korzeni buraków zaliczamy: twardość, moduł sprężystości, wytrzymałość na ściskanie, rozciąganie, ścinanie oraz jednostkowy opór cięcia.

Twardość korzenia ma istotne znaczenie technologiczne. Duża twardość utrudnia ogławianie, przerób i dyfuzję. Twardość korzenia zależy w dużym stopniu od turgoru tkanek. Po przeprowadzeniu plazmolizy twardość korzenia zmniejsza się do około 30% początkowej wartości. Dlatego też wyniki pomiarów są porównywalne jedynie wówczas, gdy wykonywane są na korzeniach niewyschniętych. Badania twardości korzeni buraków wykazały, że jest to cecha w pewnym stopniu dziedziczna, jednakże występują duże różnice między osobnikami w obrębie odmiany. Wszystkie czynniki środowiskowe wpływają na turgor oraz w znacznym stopniu na twardość. O twardości korzeni decyduje zdrewnienie wiązek łykodrzewnych wokół komórek przewodzących i towarzyszących. Zdrewnienie wynika z większej zawartości błonnika i ligniny. Prace w tej dziedzinie rozpoczął w Polsce Smoleński w latach 20-tych, a w okresie międzywojennym kontynuował je Rosnowski [cyt. 7]. Autorzy ci stwierdzili, że wraz ze wzrostem zawartości ligniny i celulozy wzrasta zdrewnienie korzenia. Korzenie zdrewniałe zawierają o 40% więcej celulozy i dwukrotnie więcej ligniny niż korzenie normalne. Do oznaczania zdrewnienia stosuje się metody chemiczne i mikroskopowe. Hodowcy stosują metodę Brykczyńskiej, polegającą na przeciskaniu przez sito, o średnicy 0,7 mm świeczki wyciętej z korzenia w prasce Wolskiego i na podstawie siły przeciskania odpowiednio klasyfikuje się korzenie. Wielkość próby stanowi 100 sztuk korzeni. Otrzymane wyniki są o tyle niezgodne z rze-

czywistością, że opór stawiany przez świeczkę zależy również od jej długości. Jedną z metod badania twardości jest pomiar głębokości śladu powstałego na skutek wciskania trzpienia lub ostrza w miąższ korzenia pod działaniem stałej siły. Pomiary twardości wykonuje się często za pomocą konsystomera Höpplera o szerokości noży wynoszącej 3,8 mm. Aparat ten powoduje pęknięcie tkanek korzenia i z tego względu pomiar jest niezbyt dokładny, przy czym pomiary wykonuje się na małym wycinku, który nie jest reprezentatywny dla całego korzenia. Inny rodzaj penetrometru do pomiaru twardości opracował Kozera i wsp. [cyt. za 7]. Metoda ta jest również obciążona błędem, ponieważ głębokość wbicia igły w korzeń przy tym samym obciążeniu ze względu na małą powierzchnię igły nie zapewnia równomiernego przebiccia wiązek naczyniowych. Natomiast ten typ penetrometru można stosować w masowych badaniach porównawczych, przy czym nie niszczy on badanego korzenia. W zakładzie Buraka IHAR opracowano aparat zaopatrzony w ostrze o kształcie noża Herlesa. Przy pomiarze zdrewnienia nóż należy wbijać w kierunku prostopadłym do osi korzenia. Dla uzyskania reprezentatywnych wyników, należy wykonać około 10 pomiarów, wbijając nóż w różne części korzenia [7].

Wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie

Wytrzymałość korzeni na ściskanie ma duże znaczenie przy zbiorze mechanicznym i przechowywaniu korzeni buraków cukrowych. W prowadzonych badaniach nad wytrzymałością na ściskanie korzeni spichrzowych przechowywanych w przyzmacach i kopcach nie udało się uzyskać ścisłych danych [22]. Wytrzymałość na ściskanie określona za pomocą konsystomeru Höpplera z przystawką plastometru wynosi około 2 MN/m². Według innych doświadczeń wartość ta może się zmieniać w granicach od 1,6 do 3,6 MN/m², przy czym u zdrowych korzeni wynosi ona najczęściej od 2 do 2,5 MN/m², zaś dla odtajałych korzeni od 1,5 do 2,0 MN/m². Wytrzymałość na ściskanie korzeni zczerniałych, po rozmrażeniu jest bardzo mała. Korzenie średniej wielkości znajdujące się w przyzmacie, poddane ściskaniu z siłą wynoszącą 3—4 kN narażone są na zmiżdżenie szczególnie w części główki [11]. Podczas zbioru powstają także widoczne uszkodzenia korzenia i tak wytrzymałość korzeni średnicy wynoszącej 3 cm na obciążenie wywołane działaniem płaskiej płyty wynosi 1—2 kN, a przy korzeniach o średnicy 8 cm, 2,8 do 5,0 kN [10]. Wytrzymałość na rozciąganie zdrowych korzeni buraka waha się w granicach od 0,5 do 1,9 MN/m².

Wytrzymałość korzeni na ścinanie

Wytrzymałość korzeni na ścinanie określa się metodą Staněka i Pavlasa [cyt. za 22]. Polega ona na wciskaniu walca stalowego o \varnothing 1,5 mm w plaster poprzeczny korzenia o grubości 5 mm. Uzyskane tą metodą wyniki zmieniają się w znacznych granicach i wynoszą od 0,3 do 0,8 MN/m², przy czym najczęściej występuje wartość około 0,6 MN/m². Korzenie drobne o masie poniżej 300 g, poza nielicznymi wyjątkami są bardziej wytrzymałe od korzeni większych.

Zaobserwowano, że korzenie zamrożnięte i zwiędnięte mają od 30 do 40% mniejszą wytrzymałość na ścinanie aniżeli korzenie zdrowe. Korzenie podgrzewane 30 min. w wodzie tracą wytrzymałość w zależności od czasu trwania zabiegu i wzrostu temperatury. Wytrzymałość wzrasta początkowo przy nagrzewaniu korzeni w temperaturze 338—343 K, gdyż występuje ich pęcznienie. W temperaturze około 348 K wytrzymałość na ścinanie zaczyna maleć, osiągając wartość minimalną w temperaturze 363 K (tab. 3). Wytrzymałość na ścinanie plastra korzenia buraka cukrowego poddanego procesowi ekstrakcji w temperaturze 353 K zmienia się w bardzo szerokich granicach od 0,064 do 0,310 MN/m² przy czym najczęściej występują wartości w granicach 0,13 do 0,19 MN/m².

Tabela 3

Wytrzymałość na ścinanie korzenia przy różnej temperaturze ekstrakcji
w wodzie destylowanej
(wg Staněka i Pavlasa)

Temperatura w K	Wytrzymałość w MN/m ²	
	doświadczenie I	doświadczenie II
338	0,420	—
343	—	0,496
348	0,092	0,334
353	—	0,148
358	—	0,125
363	0,031	0,042

Ogrzewanie korzeni zamrożonych, w ciągu 1 h w wodzie destylowanej o temperaturze 353 K zmniejsza ich wytrzymałość na ściskanie w stopniu zależnym od ich przemrożenia (tab. 4).

Jednak rzeczywisty stan naprężeń w przypadku stosowania metody Staněka i Pavlasa znacznie odbiega od warunków odpowiadających zjawisku ścinania.

Tabela 4

Wytrzymałość na ścinanie korzeni zmarzniętych ekstrahowanych
w wodzie destylowanej w temperaturze 353 K
(wg Staněka i Pavlasa)

Sposób zamrażania temperatura w °K	Wytrzymałość w MN/m ²			
	nie zamrożone		zamrożone	
	zakres	średnia	zakres	średnia
Szybkie temp. 260	0,096—0,168	0,124	0,074—0,140	0,106
Powolne temp. 266	0,087—0,328	0,221	0,062—0,145	0,089

Wytrzymałość na ścinanie jest między innymi miarą zdrewnienia i zależy ona od terminu siewu buraków. Gdy kiełkowaniu wcześniej sianych buraków towarzyszy zimna pogoda, wówczas korzenie charakteryzują się większą wytrzymałością na ścinanie, nawet w przypadku jeśli nie wytwarzają pośpiechów. Podobne zależności zachodzą odnośnie terminu zbioru. Późniejszy zbiór zwiększa zdrewnienie korzeni. Na przykład, buraki zbierane na początku września charakteryzowały się pracą ścinania o 10% mniejszą niż na początku listopada. Wytrzymałość na ścinanie korzeni buraków cukrowych zależy również od sumy opadów sierpień—wrzesień (tab. 5). W roku 1962 Chelemski [cyt. 22] porównał pracę ścinania różnych odmian buraka cukrowego. Uzyskane wyniki wskazują, że zakres zmienności w granicach 0,81—1,35 kJ/m² jest typowy dla korzeni normalnych (tab. 6). Praca ścinania może służyć jako kryterium klasyfikacji korzeni (tab. 7).

Tabela 5

Zależność pracy ścinania od sumy opadów w miesiącach sierpień — wrzesień
(wg K. Vukowa)

Suma opadów w mm	Praca ścinania kJ/m ²	
	średnia	rozrzut
3— 48	1,16	±0,10
64— 89	1,15	±0,13
107—205	0,94	±0,10
Różnica graniczna	±0,14	

Tabela 6

Praca ścinania różnych odmian buraków cukrowych
(wg Chelemskiego i wsp.)

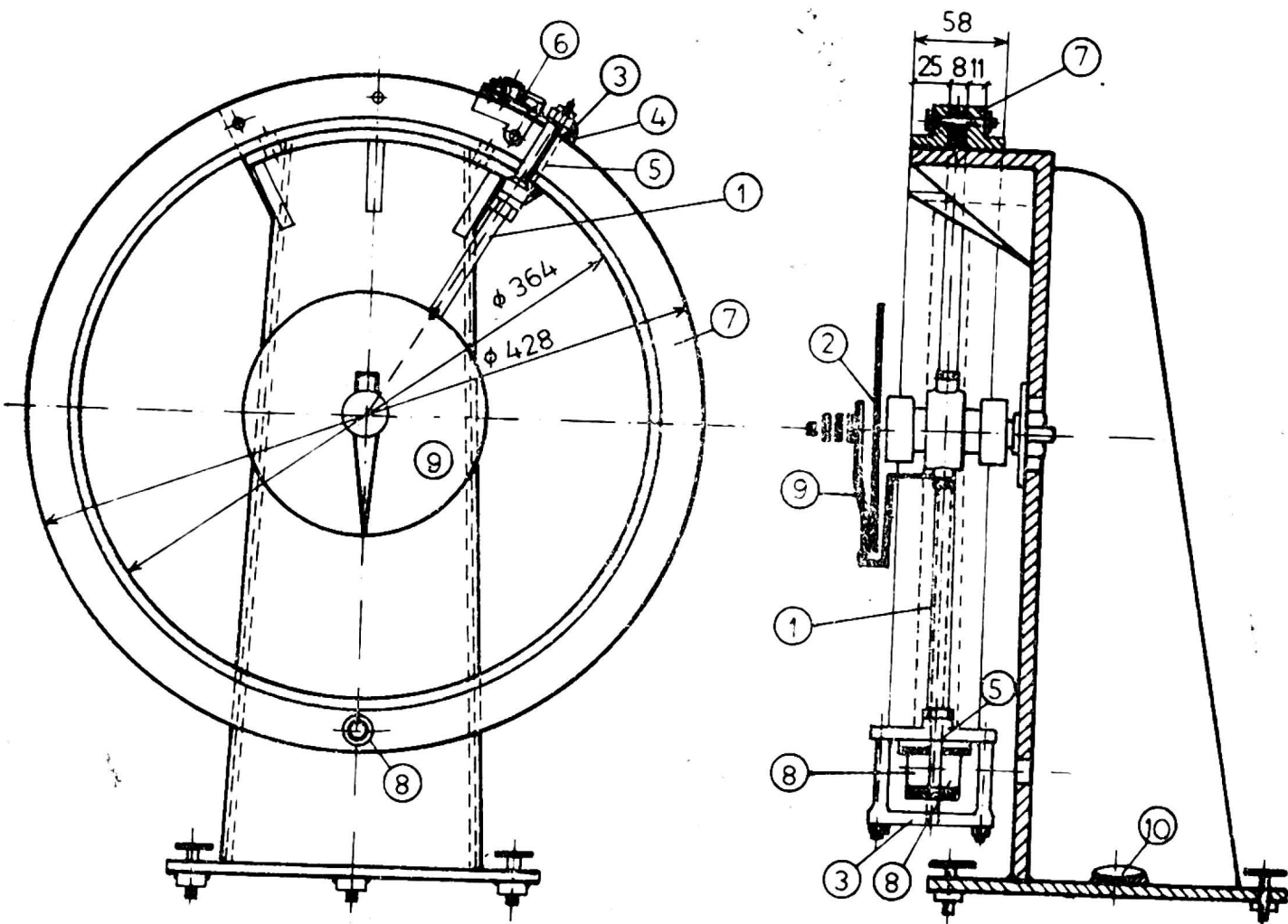
Odmiana	Wytrzymałość na cięcie w kJ/m ²
Ramon 0,6	1,35
Verchnjatschka 031	0,81
Verchnjatschka 038	1,20
Meshotnen 080	1,27
Belozerkower Einkeimige	1,16
Multmedia	1,21
BETA Poly 4	1,19
Dobrovicka V	0,87
Dobrovicka N	0,98
AJ ₃	1,20

Tabela 7

Podział korzeni buraków zależnie od pracy ścinania
(wg K. Vukova)

Praca ścinania kJ/m ²	Rodzaj korzeni
< 0,8	miękkie
0,8—1,4	normalne
1,4—1,8	skorkowaciałe
1,8—3,0	zdrewniałe
> 3,0	silnie zdrewniałe

Dla statycznego określenia pracy ścinania Staněk i Pavlas zastosowali podobny aparat jak dla określenia wytrzymałości na ścinanie. Określali oni siłę niezbędną dla przyjęcia plasterka korzenia o grubości 5 mm nożem o długości 19,6 mm. Kryž [12] poleca natomiast metodę dynamiczną, polegającą na opuszczaniu stalowej kulki z wysokości 1 m na powierzchnię świeżo ogłowionego korzenia i pomiarze wielkości wgłębienia. Metody te jednak budzą wątpliwości ze względu na niepowtarzalność uzyskiwanych wyników. Inną, mniej znaną metodą określania wytrzymałości korzeni buraków cukrowych na ścinanie przez pomiar pracy ścinania jest metoda opracowana przez Tegze, Siposa i Vukova [22].



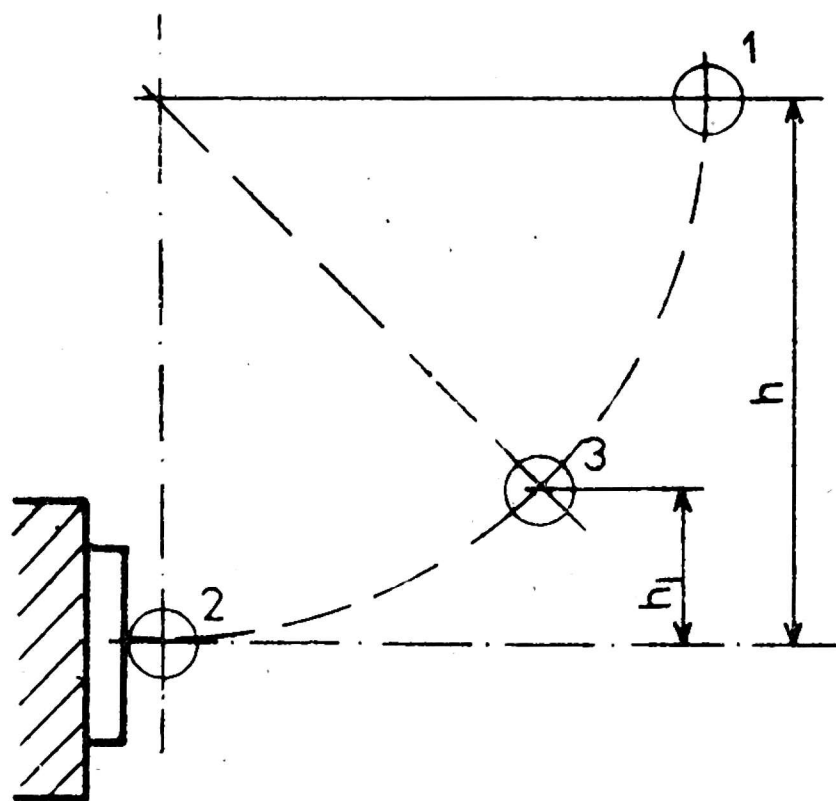
Rys. 3. Aparat do pomiaru wytrzymałości korzeni buraków na ścinanie

Oznaczenia:

1. Wahadło
2. Łożysko kulkowe
3. Ramka
4. Śruba
5. Druk
6. Zapadka
7. Pierścienie obudowy
8. Otwór
9. Wskazówka
10. Libela

Autorzy ci posługują się aparatem przedstawionym na rysunku 3. Najważniejszą częścią tego aparatu jest wahadło, które obraca się w łożyskach kulkowych, na ramie za pomocą śruby naciągnięty jest drut o średnicy 0,4 mm, który przecina próbkę buraka. Wahadło za pomocą zapadki ustawione jest na początku pomiaru w górnym położeniu, z którego jest zwalniane. Obudowę aparatu stanowi rama składająca się z dwóch pierścieni. W dolnej części ramy znajduje się otwór o średnicy wewnętrznej 16,0 mm, do którego wkłada się cylindryczną próbkę korzenia. Druk

umocowany na ramieniu wahadła przecina próbkę, gdy wahadło opada. Wskazówka służy do wyznaczania punktu, do którego dochodzi wahadło po przecięciu próbki. Praca przecinania może być obliczona przez określenie różnicy energii początkowej i końcowej wahadła, podobnie jak to się czyni badając próbki młotem Charpy'ego. Najmniejszą pracę ścinania wykazuje korzeń właściwy (część środkowa korzenia spichrzowego), nieco wyższe wartości osiąga ona dla ogonka korzenia, zaś najwyższe dla główki. Próbki korzeni pobrane pionowo z części centralnej korzenia wyróżniały się niższą o 10% pracą ścinania niż próbki z innych jego części. Sprężystość — jest to właściwość ciała polegająca na całkowitym zanikaniu odkształceń po ustaniu działania wywołujących je naprężeń. Największe naprężenie po osiągnięciu którego materiał zachowuje się sprężysto nazywa się granicą sprężystości. Jej wartość jest funkcją turgoru tkanek korzenia i zależy od warunków pogodowych podczas wegetacji buraków. Granica sprężystości może być również niższa w przypadku porażenia roślin przez choroby i szkodniki. Badania węgierskie wykazały, że korzenie buraków zbierane na początku września wykazywały mniejszy moduł sprężystości podłużnej niż zbierane pod koniec listopada, który wynosił $7,7 \text{ MN/m}^2$. Moduł sprężystości zależy także od stanu korzeni. Dla korzeni świeżych wynosi on dla przykładu około $8,0 \text{ MN/m}^2$, a dla zmarzniętych około $12,0 \text{ MN/m}^2$. Stwierdzono, że sprężystość korzeni jest cechą odmianową, ale ponadto ulega modyfikacji pod wpływem warunków środowiskowych. Między innymi wyższy po-



Rys. 4. Schemat pomiarów współczynnika restytucji energii kinetycznej
Oznaczenia: 1, 2, 3 — kolejne fazy ruchu wahadła z ciężarkiem.

ziom nawożenia mineralnego wpływa na większą sprężystość korzeni buraków. Oznaczenie granicy sprężystości przeprowadza się na elastomerze Schoba (rys. 4). Badania te polegają na uderzaniu odpowiednio przygotowanej próbki (ze skórką) buraka ciężarkiem umieszczonym na końcu wahadła i zmierzeniu stosunku energii kinetycznej odbicia ciężarka i pierwotnej energii kinetycznej. Jest to więc metoda określania współczynnika restytucji energii, który jednak w badaniach porównawczych zastępuje moduł sprężystości. Inna metoda oznaczania modułu sprężystości pojedynczych próbek korzenia polega na zastosowaniu przystawki plastometru w konsystometrze Höpplera. Przy badaniach masowych najbardziej przydatna jest metoda oparta na czasowym przebiegu deformacji korzenia. Jeśli próbki korzeni o odpowiednim kształcie poddawać ścisłaniu lub zginaniu występują odkształcenia sprężyste i plastyczne. Po sporządzeniu wykresu w układzie naprężenie — odkształcenie można łatwo wyznaczyć granice sprężystości. Zostało udowodnione, że w określonym zakresie odkształcenia sprężyste są zgodne z prawem Hooke'a. Korzenie buraków można klasyfikować zależnie od modułu sprężystości (tab. 8).

Tabela 8

*Klasyfikacja korzeni buraka cukrowego zależnie od sprężystości i turgoru
(wg K. Vukova)*

Moduł sprężystości (E) MN/m ²	Rodzaj korzenia	Turgor	masa po ubytku wody w % masy początkowej
7,0—14,0	twarde	świeże	96—100
4,2— 7,0	elastyczne	przesuszone	90— 96
1,8— 4,2	miękkie	zwiędnięte	80— 90
< 1,8	bardzo miękkie	bardzo zwiędnięte	80

LITERATURA

1. Bzowska-Bakalarz M.: Nowe Rolnictwo, 19. 4—6, 1977.
2. Byszewski Wł., Haman J.: Gleba — maszyna — roślina. PWN, 1977.
3. Byszewski Wł., Kiełbaska M.: Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 135, 77—85, 1972.
4. Byszewski Wł., Ostrowska D.: Międzynarodowe Czasopismo Rolnicze, 6, 1969.
5. Byszewski Wł., Szklarska J.: RNR, S. A, T. 9, 1969.
6. Erbas S., Fischbeck G.: Z. Acker und Pflanzenbau. B. 135, 2, 122—133, 1972.
7. Gniłka W.: Hodowla Roślin, Aklim. i Nas. T. 7, Z. 5, 1963.
8. Grochowicz J.: Zeszyty Probl. Postępów Nauk Rolniczych, nr 112, 115—128, 1971.
9. Höppler F.: Das Höppler Konsistometr. Dresden 1940.
10. Hüllst H., Göhlick H., Söckting B.: Zucker LO, s. 535—538, 1957.
11. Kiczigin N. M., Sacharnaja prom. 38, s. 675—678, 1964 r.
12. Kryž F.: Zschr. Zuckerind. Čechosl. Rep. nr 49, s. 93—96, 1924.
13. Kuźdowicz A.: Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 112, 1971.
14. Martens M.: Publ. Techn. Inst. Belge Amél. Bett. Z. 6, 1960.
15. Mohsein N. N.: Gordon and Breach Science Publ. Nev York 1970.
16. Nowocki W., Kołodziejczyk P., Banasiak P., Gąsiorowski M.: Gazeta Cukrownicza nr 1, 1977.
17. Sipos A., Vukov K.: Cuk. Kut. Evk. nr 1, s. 79—82, 1954.
18. Siwicki S.: Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, nr 112, 1971.
19. Staněk V.: Zschr. Zuckerind. Čechosl. Rep. nr 63, 1938.
20. Vukov K.: Zuckererzeugung. T. 10, nr 2, 1958.
21. Vukov K.: Zucker T. 14, nr 4, s. 80—86, 1961.
22. Vukov K.: Akademiiai Kiado Budapest, 1977.
23. Vukov K., Magyar K.: Cuk. Kut. Kozl. nr 3, s. 1—31, 1959.
24. Zbiorowa: Katalog: Ważniejsze właściwości roślin wiążących się z pracą maszyn rolniczych. PWN, Warszawa, 1975.