

ROZKŁAD PRZEMIESZCZEŃ W MECHANICZNYM MODELU PRZEKROJU POPRZECZNEGO KORZENIA MARCHWI

Roman Stopa

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Ludomir J. Jankowski

Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wroclawska

Streszczenie. W pracy wyznaczono rozkłady przemieszczeń dwuwarstwowych modeli przekroju poprzecznego korzeni marchwi za pomocą metody fotografii plamkowej. Modele wykonano z elastomeru poliuretanowego o właściwościach wytrzymałościowych zbliżonych do właściwości obiektów rzeczywistych. W dwóch wzajemnie prostopadłych przekrojach wyznaczono przemieszczenia u_x i u_y dla modeli, w których warstwa kory i rdzeń połączone były bez użycia kleju oraz z użyciem kleju.

Słowa kluczowe: fotografia plamkowa, korzeń marchwi, przemieszczenia, model

Wstęp

Na poszczególnych etapach produkcji spożywczej, począwszy od pielęgnacji, zbioru i transportu poprzez okres przechowywania, aż po przetwarzanie, następuje wzajemny kontakt roślin lub ich kontakt z elementami roboczymi maszyn. Istotny wpływ na jakość otrzymanych produktów mają wyjściowe właściwości wytrzymałościowe materiału biologicznego. Za miarę tych właściwości najczęściej przyjmuje się takie parametry, jak umowny moduł sprężystości oraz stałą Poissona. Wyznaczenie tych parametrów w sposób doświadczalny ciągle natrafia na poważne trudności. Moduł sprężystości podłużnej najczęściej wyznacza się w próbie jednoosiowego ściskania swobodnego cylindrycznej próbki - Gołacki, Szot i Kęsik [1987]; Gołacki i Obroślak [1998] wyznaczyli stałą Poissona w próbie jednoosiowego ściskania swobodnego oraz nieswobodnego cylindrycznej próbki, a następnie dokonali obliczenia stałej na podstawie wzoru Hughesa i Segerlinda [1972].

Otrzymane w ten sposób wyniki obarczone są błędami wynikającymi między innymi z naruszenia struktury materiału w czasie wycinania próbek oraz trudności związanych z zapewnieniem dokładności wykonania próbek – szczególnie zachowania prostopadłości podstaw wycinanych walców w stosunku do ich osi podłużnych. Duże znaczenie ma konstrukcja urządzenia wymuszającego żądane obciążenie. Szczególnie istotne są błędy powstałe w trakcie obciążania próbek, jak np. zapewnienie pokrycia się kierunku działania siły z osią próbki, czy też praktycznie niemożliwe do uniknięcia tarcie pomiędzy podstawą próbki i częścią roboczą urządzenia obciążającego. Niezwykle istotne znaczenie mają

błędy związane z niedoskonałością aparatury pomiarowej stosowanej do rejestracji wartości siły obciążającej oraz odkształcenia badanej próbki [Stropek, Gołacki 2005]. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na błędy wyników pomiarów, jest nieuwzględnienie warstwowej budowy płodów rolnych.

Większość z tych trudności można uniknąć przeprowadzając wyznaczenie podstawowych parametrów wytrzymałościowych poprzez pomiar przemieszczeń przekroju poprzecznego płodów rolnych.

Badania obiektów rzeczywistych nie zawsze dają zadowalające rezultaty ze względu na brak wiarygodnych modeli obliczeniowych stosowanych przy opracowywaniu wyników pomiarów. Jednym ze sposobów poznania oddziaływania części roboczych maszyn na strukturę wewnętrzną warzyw oraz wzajemnego oddziaływania elementów ich budowy wewnętrznej mogą być badania modelowe obiektów rzeczywistych.

Pomiary przemieszczeń modeli przekroju poprzecznego korzenia marchwi zdecydowano się przeprowadzić za pomocą metody fotografii płamkowej, pozwalającej na wyznaczenie z dużą dokładnością rozkładów przemieszczeń w wybranych przekrojach. Zastosowanie metod pomiarowych opartych na wykorzystaniu źródła światła spójnego było już wykorzystywane w odniesieniu do materiału roślinnego. Pomiary odkształceń źdźbeł zbóż metodą interferometrii holograficznej były przeprowadzone przez Hamana i Gowina [1984] oraz Gowina [1982]. Również metoda fotografii płamkowej została wykorzystana do badania wpływu wilgotności na właściwości mechaniczne źdźbła pszenicy [1988]. Duży postęp jaki nastąpił w odniesieniu do źródeł światła spójnego oraz w oprzyrządowaniu niezbędnym do spełnienia bardzo dużych wymagań co do stabilności całego układu pomiarowego, pozwolił na dalszy rozwój tej metody pomiarowej.

Dynamiczny rozwój metod pomiarowych opartych na wykorzystaniu światła spójnego oraz postępująca miniaturyzacja urządzeń pozwoliła na przeprowadzenie pomiarów przemieszczeń przekroju poprzecznego korzenia marchwi za pomocą metody interferometrii płamkowej w wersji elektronicznej [Stopa, Romański 2003].

Cel pracy

Jako cel pracy przyjęto wyznaczenie rozkładów przemieszczeń modeli przekroju poprzecznego korzenia marchwi, w dwóch wzajemnie prostopadłych przekrojach, dla różnych wartości sił spójności pomiędzy rdzeniem i warstwą kory

Przedmiot i metodyka badań

Przedmiotem badań były mechaniczne modele przekroju poprzecznego korzenia marchwi będące odwzorowaniem fragmentu marchwi, wyciętego z korzenia dwiema równoległymi do siebie płaszczyznami w kierunku prostopadłym do osi podłużnej, o grubości 15 mm.

Modele wykonano z elastomeru poliuretanowego, dla którego moduł sprężystości podłużnej wyznaczony w próbie rozciągania wynosił $E=4,75$ MPa, natomiast współczynnik Poissona $\nu=0,47$. Są to wartości wystarczająco dobrze odpowiadające właściwościom wy-

trzymałościowym korzeni marchwi w których umowny moduł sprężystości waha się w granicach od $E=8,0$ MPa do $E=12,0$ MPa, natomiast stała Poissona jest prawie identyczna, i wynosi $\nu=0,48$. Ta zbieżność właściwości wytrzymałościowych pozwoliła na uniknięcie konieczności stosowania praw podobieństwa modelowego i umożliwiła bezpośrednią interpretację otrzymanych wyników.

Przyjęto tarczowy, dwuwarstwowy model korzenia marchwi składający się z warstwy kory i warstwy rdzenia, o jednakowych właściwościach wytrzymałościowych. W celu określenia wpływu sił spójności rdzenia i kory na obraz izochrom i rozkład przemieszczeń, przygotowano modele, w których połączenie to było zrealizowane jako kształtowe oraz modele, w których rdzeń połączony był z korą klejem poliuretanowym. Uwzględniono wartości odkształceń modelu w stopniu zbliżonym do obiektu rzeczywistego, natomiast pominięto niejednorodność i anizotropię właściwości obiektu modelowanego.

Pomiary metodą fotografii plamkowej

Pomiary przemieszczeń modelu przekroju poprzecznego korzenia marchwi przeprowadzono metodą fotografii plamkowej, na stanowisku pomiarowym przedstawionym na rysunku 1. Polegały one na zarejestrowaniu techniką dwuekspozycyjną obrazów plamkowych, odpowiadających stanom przed i po deformacji. Obraz plamkowy powstaje w efekcie interferencji promieni wiązki światła laserowego, odbitych od powierzchni obiektu dyfuzyjnego lub przechodzących przez ośrodek transmisyjny o zmiennych wartościach współczynnika załamania światła.

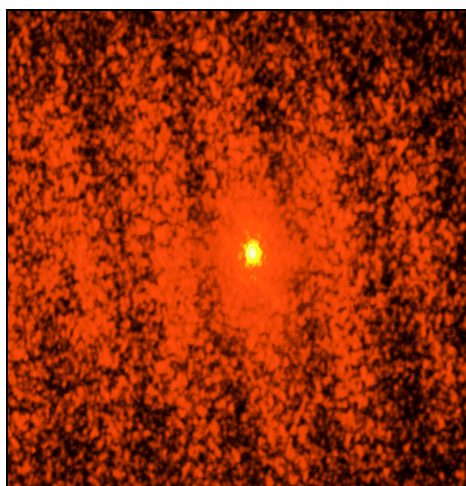


Rys. 1. Stanowisko pomiarowe do badań metodą fotografii plamkowej

Fig. 1. Test stand for speckle photography method investigation

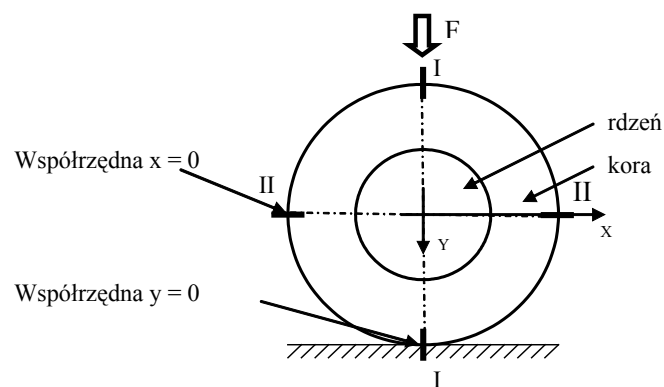
Zarejestrowany za pomocą fotografii obraz plamkowy został poddany analizie punktowej. Na skutek dyfrakcji, w pewnej odległości od plamkogramu, obserwuje się rozkład natężenia światła modulowany zgodnie z przebiegiem funkcji Bessela. Powstaje charakterystyczny obraz równoległych i równoodległych, jasnych i ciemnych prążków (rys. 2) zawierający informację o kierunku i wartości wektora przemieszczenia w płaszczyźnie xy . Ogólnie można powiedzieć, że kierunek tego wektora jest prostopadły do kierunku

prążków dyfrakcyjnych, a jego wartość jest odwrotnie proporcjonalna do odległości międzyprążkowej. Opis zastosowania metody fotografii płamkowej do badań obiektów pochodzenia roślinnego, przedstawiono w pracy [Andruszkiewicz, Jankowski, Stopa 2007].



Rys. 2. Przykładowy obraz prążków interferencyjnych
Fig. 2. Example of interference pattern picture

Ze względu na wysoką czułość zastosowanej metody pomiarowej, rozkłady przemieszczeń wyznaczono dla zmian wartości siły obciążającej wynoszących $\Delta F=1\text{N}$. Rozkłady przemieszczeń wyznaczono w dwóch wzajemnie prostopadłych przekrojach (rys. 3.), z których jeden pokrywał się z kierunkiem działania siły.

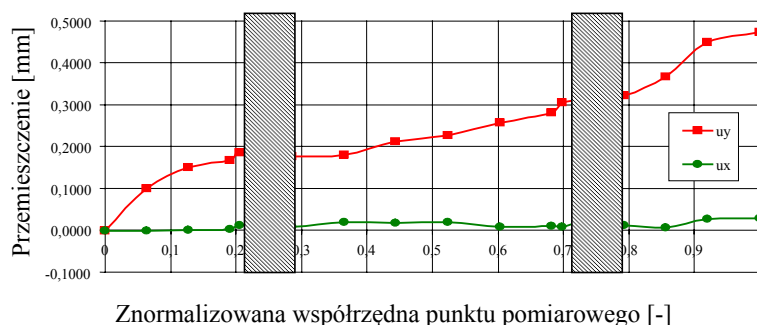


Rys. 3. Schemat pomiarowy modelu przekroju poprzecznego korzenia marchwi
Fig. 3. Measurement scheme of carrot roots cross-section model

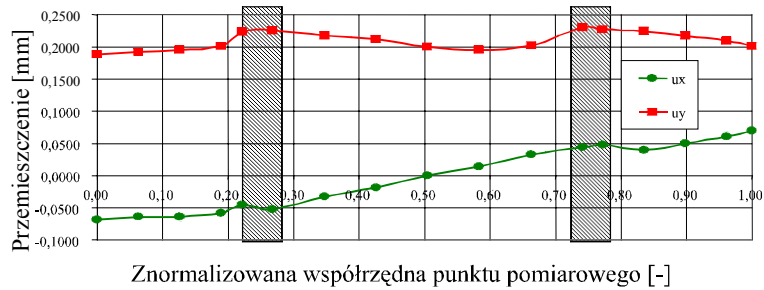
Wyniki badań

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono rozkłady przemieszczeń u_x i u_y w dwóch wzajemnie prostopadłych przekrojach (rys. 3 modeli), w których rdzeń był połączony z warstwą kory jedynie na zasadzie połączenia kształtowego (bez użycia kleju). W przekroju I-I, pokrywającym się z kierunkiem działania siły, rozkład przemieszczeń u_y składa się z trzech fragmentów krzywych, które można aproksymować odcinkami prostych o różnym nachyleniu w stosunku do osi x . Granicą tych odcinków są miejsca: przyłożenia obciążenia, podpora oraz miejsca styku rdzenia z korą. Największe przyrosty przemieszczeń widoczne są w warstwie kory i wynoszą ok. 0,2 mm na długości wynoszącej 0,25 całkowitej długości przekroju. W przekroju poprzecznym rdzenia przyrosty te są o połowę mniejsze, przy dwukrotnie większej długości przekroju rdzenia. Przemieszczenia w kierunku prostopadłym do kierunku działania siły u_x (rys. 4) są praktycznie równe zero i nie zmieniają się wzdłuż przekroju. W przekroju II-II przemieszczenia u_y w kierunku działania obciążenia (rys. 5) mają praktycznie stałą wartość wzdłuż całego przekroju wynoszącą około 0,2 mm. Inaczej wyglądają przemieszczenia u_x w kierunku osi x (rys. 3). Maksymalne wartości przemieszczeń pojawiają się w warstwie kory, w punktach najbardziej odległych od osi pionowej modelu i wynoszą ok. 0,05 mm. W okolicach osi pionowej modelu przemieszczenie u_x mają wartość równą zero.

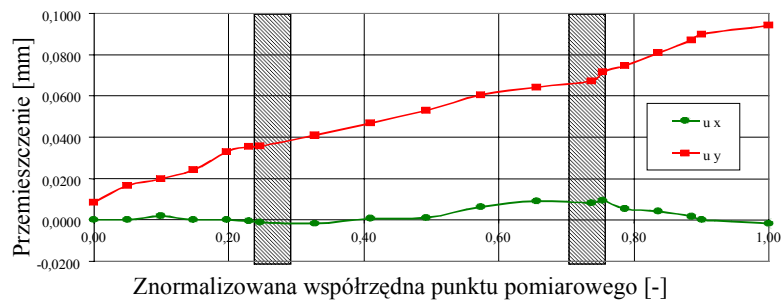
Po zwiększeniu sił spójności pomiędzy warstwą kory i rdzeniem (rys. 6 i rys. 7) wyraźnie zmniejszyły się wartości przemieszczeń. Maksymalne wartości przemieszczeń u_y w przekroju I-I (rys. 6), które w przypadku modelu nie sklejonego wynosiły ok. 0,5 mm, zmniejszyły się pięciokrotnie, i w modelu sklejonym wynosiły tylko 0,1 mm. Wykres rozkładu przemieszczeń u_y w przekroju I-I uległ wygładzeniu, chociaż pozostały wyraźnie widoczne miejsca połączenia rdzenia z korą. Na wartość i rozkład przemieszczenia u_x zwiększenie sił spójności pomiędzy warstwą kory i rdzeniem nie miało żadnego wpływu. Na całej długości przekroju poprzeczne przemieszczenia te miały wartość równą zero.



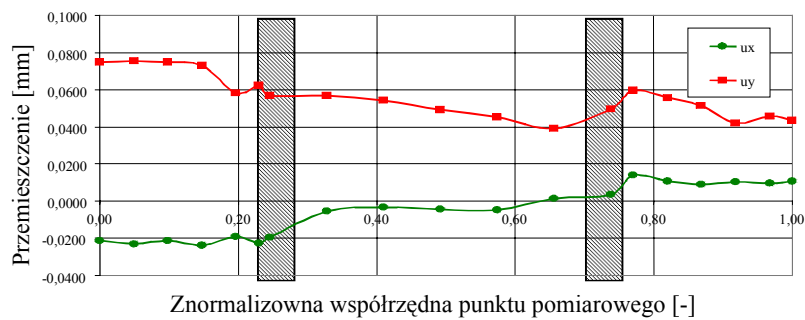
Rys. 4. Rozkłady przemieszczeń w przekroju I-I w modelu nie sklejonym
 Fig. 4. Displacements distribution in unglued model's I-I cross-section



Rys. 5. Rozkłady przemieszczeń w przekroju II-II w modelu nie sklejonym
 Fig. 5. Displacements distribution in unglued model's II-II cross section



Rys. 6. Rozkłady przemieszczeń w przekroju I-I w modelu sklejonym
 Fig. 6. Displacements distribution in glued model's I-I cross section



Rys. 7. Rozkłady przemieszczeń w przekroju II-II w modelu sklejonym
 Fig. 7. Displacements distribution in glued model's II-II cross section

W przekroju II-II (rys. 7) wartości przemieszczeń u_x i u_y uległy znaczącemu zmniejszeniu. Średnia wartość przemieszczenia u_y wyniosła ok. 0,6 mm i miała w przybliżeniu stałą wartość wzdłuż całego przekroju. Natomiast przemieszczenie u_x nadal osiągały maksymalne wartości na swobodnych końcach rozpatrywanego przekroju, ale ich wartość wynosiła od 0,015mm do 0,02mm. W warstwie rdzenia pojawił się obszar, w okolicach osi pionowej modelu, w którym wartość przemieszczeń u_x była równa zero.

Wnioski

1. Zwiększenie sił spójności pomiędzy warstwą kory i rdzeniem powoduje wyraźny spadek maksymalnych wartości przemieszczeń. Na przykład maksymalne wartości przemieszczeń u_y w przekroju pionowym modelu niesklejonego wynosiły ok. 0,5 mm, natomiast w przypadku modelu sklejonego wynosiły tylko 0,1 mm.
2. Wraz ze wzrostem sił spójności, między warstwą kory i rdzeniem, zmniejszają się zaburzenia rozkładów przemieszczeń na granicy warstwy kory i rdzenia, szczególnie w przekroju pokrywającym się z kierunkiem działania siły. Jednak zaburzenie to jest wyraźne i przy analizie przemieszczeń nie można pominąć wpływu warstwowej budowy korzenia marchwi na ich rozkład.
3. Przemieszczenia u_x w przekroju prostopadłym do kierunku obciążenia mają wartość zero niezależnie od wartości sił spójności pomiędzy warstwą kory i rdzeniem.
4. Zarówno dla modeli sklejonych i nie sklejonych rozkłady przemieszczeń u_y w rdzeniu i w warstwie kory w przekroju I-I można było aproksymować odcinkami o różnych nachyleniach w stosunku do osi poziomej.

Bibliografia

- Andruszkiewicz M., Jankowski L.J., Stopa R.** 2007. Zastosowanie fotografii plamkowej w ocenie odkształcalności korzenia marchwi – badania wstępne, Materiały konferencyjne, Ogólnopolska Konferencja Naukowa, Teoretyczne i aplikacyjne problemy inżynierii rolniczej, Polanica 2007.
- Gołacki K., Kęsik T., Szot B.** 1987. Badanie zmienności właściwości korzeni marchwi w zależności od cech odmianowych, czynników agrotechnicznych i okresu przechowywania. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. z. 316. s. 227-343.
- Gołacki K., Obroślak R.** 1998. Wyznaczanie współczynnika Poissona korzeni marchwi, Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych. 454. s. 221-227.
- Gowin J.** 1982. Badanie odkształceń źdźbła pszenicy metodą interferometrii holograficznej, Praca doktorska, Akademia Rolnicza w Lublinie. Maszynopis.
- Gowin J., Haman J.** 1984. Feasibility of using holographic interferometry to determine the mechanical properties of wheat stalks. Trans ASAE 27 (3). s. 697-700.
- Gowin J.** 1988. Zastosowanie laserowej fotografii plamkowej do badania wpływu wilgotności na własności mechaniczne źdźbła pszenicy, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 351. s. 248-256.
- Hughes H., Segerlind L.J.** 1972. Rapid mechanical method for determining Poisson's ratio in biological materials, ASAE. Paper No72-310.

Stopa R., Romański L. 2003. Zastosowanie metody interferometrii plamkowej do pomiaru przemieszczeń przekroju poprzecznego korzenia marchwi, *Scientiarum Polonorum Tech. Agr. Inż. Rol.* 2(1). s. 43- 54.

Stropek Z., Gołacki K. 2005. Niektóre błędy wyznaczania parametrów modelu reologicznego na podstawie testu relaksacji naprężeń na przykładzie bulwy ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza.* Nr 4(64). s. 291-297.

DISPLACEMENT DISTRIBUTIONS IN MECHANICAL MODEL OF CARROT ROOTS CROSS-SECTION

Abstract. Displacement distributions of two layer carrot root's cross-section models measured using speckle photography method are presented. Models were made from polyurethane resin which mechanical properties are similar to real objects. Displacements u_x i u_y in glued and unglued bark to core models in two perpendicular cross-sections were determined.

Key words: speckle photography method, carrot roots, displacements, model

Adres do korespondencji:

Roman Stopa; e-mail: stopa@imr.ar.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chełmońskiego 37/41
51-630 Wrocław