

# Opracowanie modelu 3D i analiza konstrukcji kanału glebowego

## Developing of a 3D model and analysis of the soil channel structure

KONRAD WŁODARCZYK  
DARIUSZ ULBRICH  
JAROSŁAW SELECH  
JAKUB KOWALCZYK  
JACEK MARCINKIEWICZ  
KRZYSZTOF PŁOTECKI\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.7.85>

Przedstawiono projekt oraz analizę konstrukcji kanału glebowego wykorzystywanego do badania zużycia elementów maszyn pracujących w gruncie. Określono założenia, które powinien spełniać kanał glebowy. Wykonano jego model 3D. Analiza MES modelu wykazała, że elementy kanału glebowego spełniają przyjęty warunek wytrzymałościowy, a wyznaczone naprężenia zredukowane są ponad trzykrotnie mniejsze od naprężeń dopuszczalnych. Ponadto stwierdzono, że przemieszczenia elementów konstrukcji w osi  $X$  mogą spowodować uszkodzenie urządzenia, dlatego na rzeczywistym obiekcie zostanie zamocowane dodatkowe wzmocnienie w postaci belki. **SŁOWA KLUCZOWE:** budowa i eksploatacja maszyn, maszyny rolnicze, kanał glebowy

*The design and the analysis of the soil channel structure used to test the wear of working machine elements in the ground was presented. The assumptions that should be fulfilled by the soil channel and its 3D model were determined. MES analysis of the model showed that the soil channel elements fulfill the strength condition and the resulting stresses are reduced more than three times the permissible stress. In addition, it was found that displacements of structures in the  $X$ -axis may cause damage of the soil channel, so an additional reinforcement in the form of a beam will be attached to the actual object. **KEYWORDS:** construction and exploitation of machines, agricultural machinery, soil channel*

Badanie zużycia elementów pracujących w glebie – zarówno maszyn rolniczych, jak i roboczych – przeprowadza się w warunkach laboratoryjnych lub rzeczywistych. Druga z tych metod jest kosztowna, ponieważ wymaga zaangażowania całej maszyny. Dlatego coraz powszechniej wykonuje się badania zużycia narzędzi rolniczych w specjalnie przygotowanych kanałach glebowych, które pozwalają na odwzorowanie warunków rzeczywistych. Przykładem urządzenia tego rodzaju jest kanał glebowy do badań zespołów roboczych narzędzi i mechanizmów jezdnych w Katedrze Maszyn Rolniczych i Leśnych SGGW w Warszawie (rys. 1).

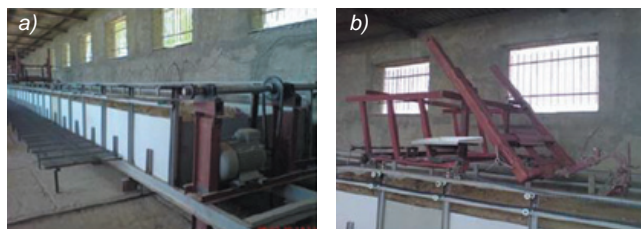
Kanał jest zbudowany z profili zamkniętych o przekroju kwadratowym, ma konstrukcję ramową, wymiary:  $10 \times 2 \times 1$  m (dł.  $\times$  szer.  $\times$  wys. warstwy gleby). Płyta denna,



Rys. 1. Kanał glebowy w Katedrze Maszyn Rolniczych i Leśnych SGGW w Warszawie [6]

na którą naciska masa gleby znajdującej się w kanale, została wzmocniona prętami ułożonymi w kształcie litery  $x$  oraz podparta belką. Ożebrowanie z profili (wykonanych z kątowników) wzmocnia ściany boczne i dolne belki ramy. Zestaw rolek wózka narzędziowego porusza się wzdłuż prowadnic zamontowanych w ramie kanału [7].

Innym przykładem jest kanał glebowy do badania interakcji narzędzia z glebą na Uniwersytecie Urmia w Iranie (rys. 2). Ma on wymiary:  $23 \times 2 \times 1$  m (dł.  $\times$  szer.  $\times$  wys. warstwy gleby) i jest zbudowany z ramy, na którą składają się belki o przekroju teowym. Dodatkowo rama ma pręty o różnych przekrojach poprzecznych oraz słupy o przekroju ceowym, jak również szyny, po których porusza się wózek, zamocowane na belkach o profilu zamkniętym prostokątnym [7].



Rys. 2. Kanał glebowy na Uniwersytecie Urmia w Iranie (a), wózek (b) [7]

W Instytucie Inżynierii Rolniczej na Węgrzech jest kanał glebowy do badania sił zagłębienia narzędzi w glebie (rys. 3). Jego konstrukcja różni się od opisanych wcześniej, ponieważ jest on wbudowany w posadzkę hali. Dzięki temu możliwe jest badanie siły uciągowej maszyn o podwoziu kołowym. Kanał ma 45 m długości i 2 m szerokości, natomiast głębokość – ze względu na budowę kanału – nie jest określona. Głównym elementem konstrukcji

\* Dr inż. Konrad Włodarczyk (konrad.wlodarczyk@put.poznan.pl), dr inż. Dariusz Ulbrich (dariusz.ulbrich@put.poznan.pl), dr inż. Jarosław Selech (jaroslaw.selech@put.poznan.pl), dr inż. Jakub Kowalczyk (jakub.kowalczyk@put.poznan.pl), mgr inż. Jacek Marcinkiewicz (jacek.marcinkiewicz@put.poznan.pl), inż. Krzysztof Płotecki (krzysztof.plotecki@student.put.poznan.pl) – Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych Politechniki Poznańskiej



Rys. 3. Kanał glebowy w Instytucie Inżynierii Rolniczej na Węgrzech [8]

urządzenia są szyny, po których porusza się pojazd na kołach gumowych [7].

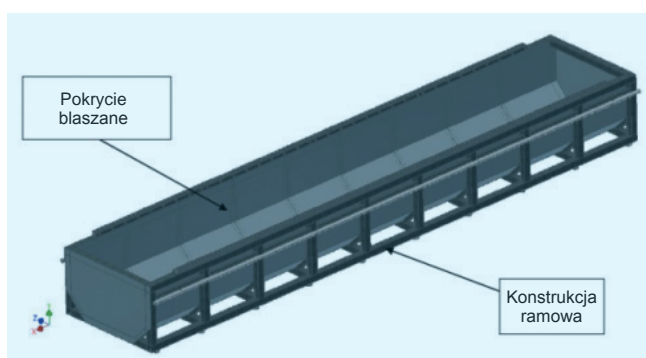
Głównym celem badań przedstawionych w niniejszej pracy jest opracowanie modelu naziemnego kanału glebowego do badania elementów maszyn roboczych i rolniczych pracujących w gruncie.

### Założenia konstrukcyjne kanału glebowego

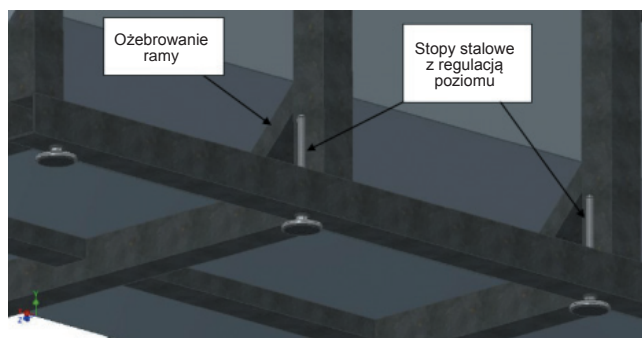
Kanał glebowy będzie miał wymiary:  $9 \times 1,5 \times 0,9$  m (dł.  $\times$  szer.  $\times$  wys. warstwy gleby), a efektywna długość pracy narzędzia powinna wynosić 8 m. Rama kanału będzie zbudowana z kwadratowych profili zamkniętych ze stali o wymiarach:  $100 \times 100$  mm (5 mm grubości ścianki). Całkowita pojemność kanału będzie wynosić  $12,3 \text{ m}^3$ . Dzięki temu pomieści on ok. 20 t gleby. Jest to wartość zależna od rodzaju gleby, stopnia jej zagęszczenia i wilgotności. Masa kanału z osprzętem do badania urządzeń pracujących w gruncie powinna wynosić ok. 3 t. Elementy kanału zostaną wykonane ze stali konstrukcyjnej ogólnego przeznaczenia S235JR. Będą to kształtowniki o wytrzymałości na rozciąganie 380 MPa, powstałe w procesie gięcia na zimno. Do konstrukcji będą przyspawane po bokach ścian, wzdłuż kanału, profile prostokątne ( $100 \times 50 \times 5$  mm, przekrój poprzeczny kształtownika) o długości 890 mm, połączone z sąsiadującymi słupami ramy. Utrzymują się one na wysokości 800 mm od podstawy kanału. Dodatkowo jako prowadnice wózka narzędziowego wybrano elementy ze stali nierdzewnej X46Cr13 firmy Rollico.

### Model 3D kanału glebowego

Model został opracowany w programie Inventor 2016 firmy Autodesk. Podstawowe elementy kanału glebowego to konstrukcja ramowa z kształtowników o profilu kwadratowym oraz pokrycie z blachy, które zabezpiecza przed wydostaniem się gleby z kanału (rys. 4).



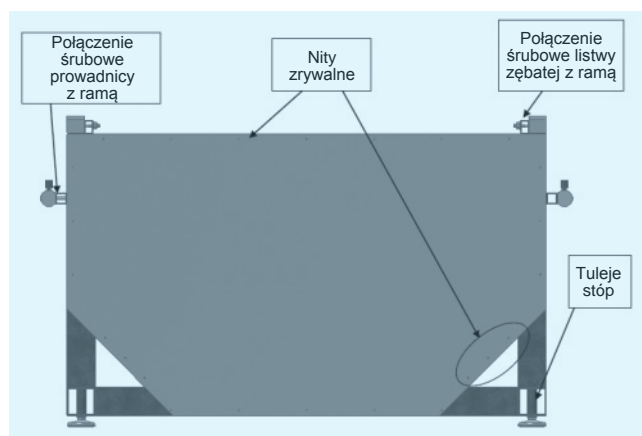
Rys. 4. Model kanału glebowego [7]



Rys. 5. Podpory kanału glebowego [7]

Kanał glebowy został wsparty na 20 regulowanych stopach (wyprodukowanych przez firmę Wibroizolacja Polska) o średnicy  $\varnothing 80$  mm (rys. 5), które zostały zamontowane na dwóch dolnych belkach o długości 9 m; stopy rozmieszczono co 990 mm. Każda stopa przenosi masę 4000 kg.

Ściana boczna ramy jest zbudowana z dwóch belek głównych o długości 9 m, połączonych za pomocą 10 słupów o długości 0,8 m (przekrój słupów jest taki sam jak przekrój belek ramy). Podstawowym rodzajem połączeń w konstrukcji ramy są spawy czołowe i pachwino-



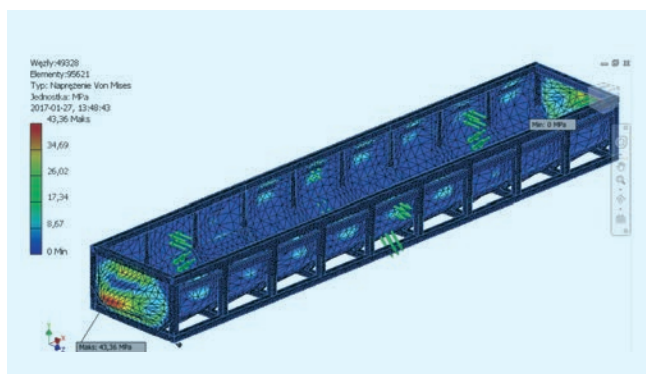
Rys. 6. Widok kanału glebowego od czoła [7]

we – w zależności od ułożenia łączonych elementów (rys. 6). Między słupami poprowadzono prostokątne profile o wymiarach:  $100 \times 50 \times 5$  mm, do których przyspawano kwadratowe profile dystansujące. Do nich przykręcono prowadnice w kształcie wałków o średnicy  $\varnothing 60$  mm i szlifowanej powierzchni płaskiej [7].

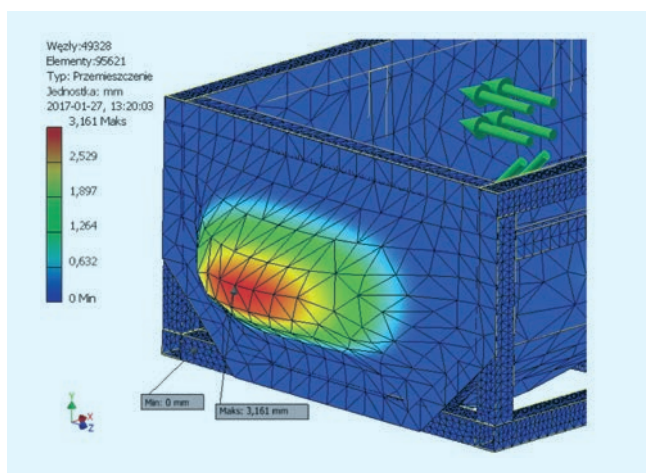
Taka konstrukcja kanału glebowego może być wykorzystana do badania zużycia narzędzi pracujących w gruncie, a w przypadku zmiany przyrządów będzie pozwalała na badanie sił zagłębienia narzędzia w glebie [7].

### Analiza MES modelu

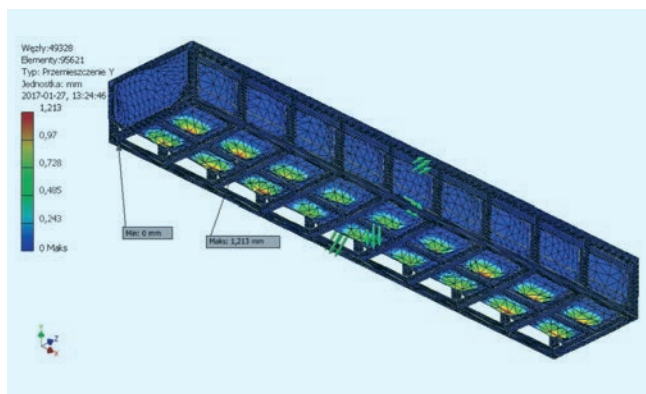
Analiza MES modelu została wykonana za pomocą zintegrowanego pakietu obliczeniowego w programie Inventor 2016. Z wykorzystaniem pre- i postprocesorów graficznej interpretacji inżynierskiej opisano model obliczeniowy elementami bryłowymi oraz powierzchniowymi [3–5]. Dla opracowanego i narysowanego modelu wyznaczono rozkład naprężeń zredukowanych i przemieszczeń oraz wartości współczynnika bezpieczeństwa konstrukcji. Aby przyspieszyć obliczenia, w symulacji zastosowano uproszczenia [1]. Podczas analizy z modelu zostały



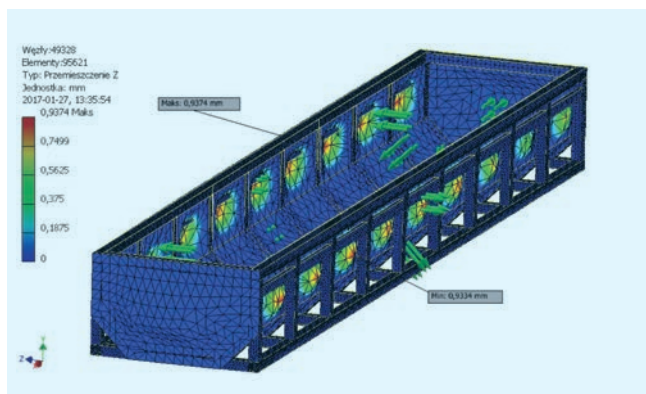
Rys. 7. Naprężenia Misesa [7]



Rys. 8. Przemieszczenia konstrukcji w osi X [7]



Rys. 9. Przemieszczenia konstrukcji w osi Y [7]



Rys. 10. Przemieszczenia konstrukcji w osi Z [7]

usunięte zbędne elementy konstrukcji oraz otwory, co pozwoliło na uniknięcie koncentracji naprężeń w tych miejscach. Na miejsce podpór wybrano powierzchnię wewnątrz tulei stóp stalowych ramy, z których usunięto gwint. W jednej podporze znajdującej się w narożniku zablokowano przesuw w każdym kierunku i obrót wokół każdej osi. Pozostałym 19 podporom odebrano ruch jedynie w pionie, w osi Y. W symulacji uwzględniono masę gleby i powstałe w ten sposób siły. Naprężenia zredukowane Misesa zostały przedstawione na rys. 7. Na rys. 8–10 zobrazowano wyniki przemieszczeń konstrukcji w trzech kierunkach.

Wyniki analizy opracowanego modelu konstrukcji potwierdziły, że nie zostały przekroczone naprężenia maksymalne dla zastosowanego materiału. Dopuszczalne naprężenia mogą wynosić 145 MPa, natomiast maksymalne naprężenia wyznaczone podczas badań symulacyjnych wynosiły ok. 43 MPa. Przedstawione przemieszczenia w trzech kierunkach dotyczą przede wszystkim płyt bocznych kanału. Maksymalne przemieszczenie w kierunku osi X wyniosło ok. 3,2 mm, dlatego na obiekcie rzeczywistym w tym miejscu konstrukcji zostanie zamocowane dodatkowe wzmocnienie w postaci pionowej belki, która zmniejszy naprężenia oraz przemieszczenie tego elementu kanału [7].

## Podsumowanie

- Kanał glebowy jest wykorzystywany do odtworzenia warunków rzeczywistych panujących podczas pracy narzędzi oraz maszyn roboczych i rolniczych, znajduje też zastosowanie na etapie badania zużycia tych elementów.
- Maksymalne naprężenia zredukowane opracowanej konstrukcji kanału glebowego wynosiły ok. 43 MPa, zatem były zdecydowanie niższe od wartości dopuszczalnych dla zastosowanego materiału (145 MPa).
- Analiza MES wykazała możliwe przemieszczenie w osi X elementów kanału glebowego równe 3,2 mm, co mogłoby doprowadzić do uszkodzenia kanału, dlatego w obiekcie rzeczywistym zostanie zastosowane dodatkowe wzmocnienie.

## LITERATURA

1. Bern M., Eppstein D., Gilbert J.R. „Provably good mesh generation”. *Journal of Computer and System Sciences*. 48, 3 (1994): s. 384–409.
2. Buliński J., Klonowski J., Sergiel L. „Wykorzystanie kanału glebowego do badań zespołów roboczych narzędzi i mechanizmów jezdnych”. *Inżynieria Rolnicza*. 1, 119 (2010): s. 93–98.
3. Ho-Le K. „Finite element mesh generation methods: a review and classification”. *Computer-Aided Design*. 20, 1 (1988): s. 27–38.
4. Kukielka K., Kukielka K., Kulakowska A., Patyk R., Maląg L., Bohdal L. „Incremental modelling and numerical solution of the contact problem between movable elastic and elastic/visco-plastic bodies and application in the technological processes”. *Applied Mechanics and Materials*. 474 (2014): s. 159–164.
5. Marcinkiewicz J., Bieńczyk A., Dembicki D., Dudziński P., Mac J., Szczepaniak J. „Strength analysis of insulated body with use of FEM”. *Journal of Research and Application in Agriculture Engineering*. 60, 1 (2015): s. 44–49.
6. Mardani A., Shahidi K., Rahmani A., Mashoofi B., Karimmaslak H. „Studies on a long soil bin for soil-tool interaction” *Cercetări Agronomice în Moldova*. XLIII, 2, 142 (2010): s. 5–10.
7. Płoteczki K. „Projekt ramy z układem napędowym urządzenia do badania elementów pracujących w gruncie”. Praca inżynierska. Poznań: IMRIPS, 2017.
8. [https://www.researchgate.net/figure/275099415\\_fig1\\_Figure-2-Soil-bin-at-the-Hungarian-Institute-of-Agricultural-Engineering-for-the-Draught](https://www.researchgate.net/figure/275099415_fig1_Figure-2-Soil-bin-at-the-Hungarian-Institute-of-Agricultural-Engineering-for-the-Draught) (2017).