

RESEARCH OF SIMULATION OF KINEMATIC BEHAVIOUR OF DRAINAGE TOOLS MOUNTING

Summary

The article presents a kinematic analysis of drainage tools mounting. Different cases of simulation used to identify the problems with the functioning of designed working group while working in the drainage ditch were taken into account. Courses of the function of kinematic analysis and obtained results were discussed.

Key words: irrigation machines, units of the mounting, kinematics, simulation experimentations

BADANIA SYMULACYJNE ZACHOWAŃ KINEMATYCZNYCH ZESPOŁU ZAWIESZENIA NARZĘDZI MELIORACYJNYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę badań kinematyki zespołu zawieszenia narzędzi melioracyjnych. Uwzględniono różne przypadki symulacyjne służące do określenia problemów związanych z funkcjonowaniem zaprojektowanego zespołu roboczego podczas pracy w rowie melioracyjnym. Omówiono przebiegi funkcji analiz kinematycznych oraz dokonano dyskusji uzyskanych wyników.

Słowa kluczowe: maszyny melioracyjne, zespoły zawieszenia, kinematyka, badania symulacyjne

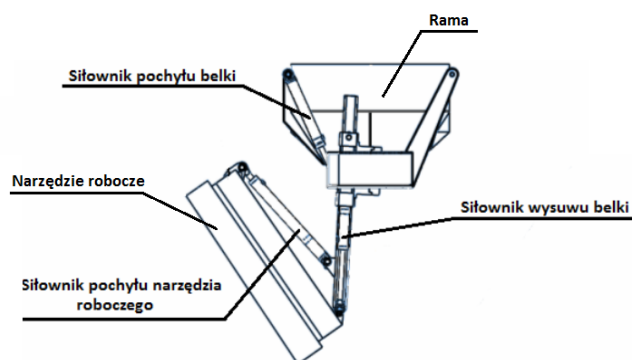
1. Wprowadzenie

W dziedzinie techniki istnieje wiele rozwiązań konstrukcyjnych układów roboczych wykonujących czynności w zakresie pielęgnacji systemów melioracyjnych, lecz na szczególną uwagę zasługują te zespoły, które charakteryzują się wysoką niezawodnością. W związku z tym konstrukcja zespołu zawieszenia narzędzi melioracyjnych musi charakteryzować się wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi ze względu na trudne warunki podczas pracy w rowach, a także właściwościami kinematycznymi pozwalającymi na szeroki zakres manipulacji oprzyrządowaniem roboczym przy prawidłowym funkcjonowaniu całego układu. Głównym celem pracy są więc analizy symulacyjne służące do określenia prawidłowości funkcjonowania zaprojektowanego zespołu roboczego podczas ruchu w cieku wodnym.

2. Obiekt badawczy

Rys. 1 przedstawia zespół zawieszenia narzędzi melioracyjnych przeznaczony do realizacji czynności regeneracyjnych wewnątrz cieku wodnego.

Warunkiem koniecznym dla prawidłowego funkcjonowania zespołu jest zdolność do zachowania prawidłowego toru ruchu narzędzia z możliwością jego zmiany przez operatora maszyny. Ważne jest, aby narzędzie robocze (np. kosiarka) utrzymało na skarpie stałą odległość od dna rowu, niezależnie od kąta nachylenia skarpy. Istnieje także niebezpieczeństwo „zaklinowania” narzędzia w przestrzeni rowu i niepożądanego zagłębienia w skarpe. Może to nastąpić w sytuacji, kiedy belka wysuwna (lub inny element mechanizmu) utraci zdolność samoistnego cofnięcia w wyniku rosnącego naporu od strony narzędzia (np. kiedy tarcie w prowadnicy będzie większe, niż pionowa siła wsuwająca). Układ zawieszenia narzędzi melioracyjnych wymaga więc weryfikacji w zakresie funkcjonalnym.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 1. Zespół zawieszenia narzędzi melioracyjnych umieszczony na ramie urządzenia wielozadaniowego
Fig. 1. Unit of the mounting of drainage tools placed on a frame of multi-function device

Układ musi umożliwiać także realizację procesu kopiowania podłoża. Kopiowanie podłoża wymaga ciągłego sterowania siłownikami hydraulicznymi pochyłu belki, pochyłu narzędzia roboczego i wysuwu belki. Czynność tę może wykonywać operator maszyny lub automatyczny układ sterowania. Istnieje również możliwość ustawienia poszczególnych siłowników w pozycję pływającą. Wówczas operator będzie odpowiedzialny za kontrolę wysuwu tylko niektórych siłowników.

Weryfikację zespołu zawieszenia narzędzi przednich w zakresie funkcjonalnym uzyskano na podstawie analiz symulacyjnych w środowisku CAD 3D, w programie Autodesk Inventor. W ramach analiz kinematycznych zespołu zawieszenia narzędzi melioracyjnych przeprowadzono następujące symulacje.

- Symulacja I – układ z siłownikiem wysuwu belki, siłownikiem pochyłu narzędzia roboczego, siłownikiem pochyłu belki ustawionym w tryb pracy pływającej.

- Symulacja II – układ z siłownikiem pochyłu narzędzia roboczego, siłownikiem pochyłu belki ustawionym w tryb pracy pływającej. Siłownik wysuwu belki jest zablokowany.
- Symulacja III – układ z siłownikiem wysuwu belki, siłownikiem pochyłu narzędzia roboczego ustawionym w tryb pracy pływającej. Siłownik pochyłu belki jest zablokowany.

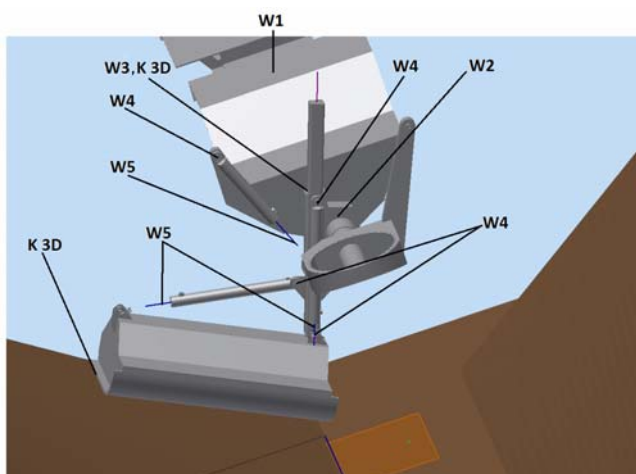
3. Budowa modelu symulacyjnego

Na potrzeby symulacji zbudowano uproszczony model kinematyczny [1]. W skład całego modelu kinematycznego wchodziły następujące elementy i zespoły:

- zespół zawieszenia narzędzi melioracyjnych, składający się z 8 brył sztywnych, modelujących belki i siłowniki hydrauliczne ($m = 170$ kg),
- kosiarka bijakowa ($m = 300$ kg),
- rama ($m = 900$ kg),
- rów melioracyjny.

Wzajemne położenie poszczególnych zespołów modelu obliczeniowego zostało ustalone przy wykorzystaniu następujących wiązań kinematycznych (rys. 2):

- W1 - wiązanie „Przestrzenne”,
- W2 - wiązanie „Obrót”,
- W3 - wiązanie „Pryzmatyczne”,
- W4 - wiązanie „Cylindryczne”,
- W5 - wiązanie „Punkt- linia”,
- K 3D - „Kontakt 3D”.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 2. Wiązania kinematyczne modelu symulacyjnego
Fig. 2. Kinematic binding of simulation model

Dla każdego przypadku symulacyjnego zdefiniowano inne stopnie swobody w mechanizmie.

- Symulacja I - z niezablokowanymi wiązaniami odpowiedzialnymi za wysuw tłoczyska we wszystkich siłownikach zespołu zawieszenia narzędzi melioracyjnych.
- Symulacja II – z zablokowanym wiązaniem odpowiedzialnym za wysuw tłoczyska w siłowniku wysuwu belki.
- Symulacja III – z zablokowanym wiązaniem odpowiedzialnym za wysuw tłoczyska w siłowniku pochyłu belki.

Do badanego modelu kinematycznego dodano również parametry opisujące sztywność układu, tłumienie, współczynniki tarcia oraz siłę ciężkości. Parametry te pomiędzy wprowadzonymi kontaktami wynoszą:

- kontakt kosiarka-gleba: $\mu = 1$; sztywność 603 N·mm⁻¹; tłumienie 300 N·s·mm⁻¹,

- kontakt prowadnica - belka wysuwna: $\mu = 0,6$; sztywność 603 N·mm⁻¹; tłumienie 60 N·s·mm⁻¹.
- Sztywność uzyskano na podstawie ugięcia wynikającego z wcześniejszej analizy MES zespołu zawieszenia narzędzi melioracyjnych. Wartość tłumienia została określona metodą doświadczalną w taki sposób, aby liczba amplitud drgań nie przekraczała 3.

Symulację przeprowadzono w rowie o zmiennym kącie nachylenia skarpy. Początkowy kąt nachylenia skarpy wynosił 35° w stosunku do dna rowu, a końcowy kąt wynosił 80° . Na początku analizy kosiarka była uniesiona nad skarpią rowu. W ciągu pierwszych 2 s kosiarka opadała na jej powierzchnię, po czym rama z zespołem zawieszenia narzędzi przednich zaczęła się przemieszczać wzdłuż rowu. Zespół poruszał się z prędkością 2 km·h⁻¹, natomiast czas symulacji wynosił 30 s.

4. Wyniki symulacji i ich dyskusja

4.1. Wyniki dla symulacji I

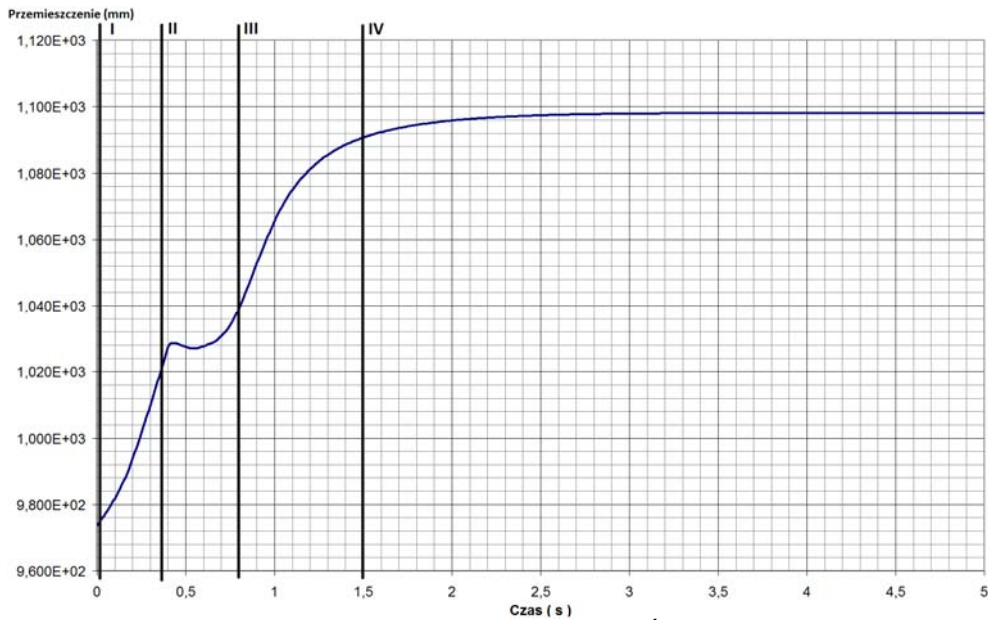
W tej symulacji wszystkie siłowniki zostały ustawione w pozycję pływającą. Na podstawie wyników analiz wykazano, że kosiarka nie jest w stanie utrzymać stałej odległości od dna rowu. Narzędzie robocze ulega zsunięciu na dno rowu. Na rys. 3 przedstawiono przemieszczenie tłoczyska siłownika pochyłu belki odczytane dla wiązania kinematycznego W5. Natomiast na rys. 4 pokazano wybrane pozycje kosiarki, jakie przyjmowała ona podczas symulacji. Położenie kosiarki nie jest jednoznacznie ustalone i wymagane jest dodatkowe blokowanie stopni swobody w mechanizmie, np. zablokowanie wysuwu belki. To rozwiązanie zbadano w symulacji II.

4.2. Wyniki dla symulacji II

W tej symulacji został zablokowany ruch siłownika wysuwu belki. Na podstawie wyników analiz wykazano, że utrzymanie prawidłowego toru ruchu kosiarki jest utrudnione, gdyż narzędzie to nie zachowuje na skarpi stałej odległości od dna rowu. Na rys. 5 przedstawiono przemieszczenie tłoczyska siłownika pochyłu belki odczytane dla wiązania kinematycznego W5. Natomiast na rys. 6 pokazano wybrane pozycje kosiarki, jakie przyjmowała ona podczas symulacji. W tym przypadku pojawia się problem z dostępnością do górnych obszarów skarpy, gdyż kosiarka ma skłonność do opadania na dno rowu. Utrudniony jest dodatkowo proces kopiowania podłoża, gdyż siłę docisku kosiarki do podłoża musiałby kontrolować operator maszyny.

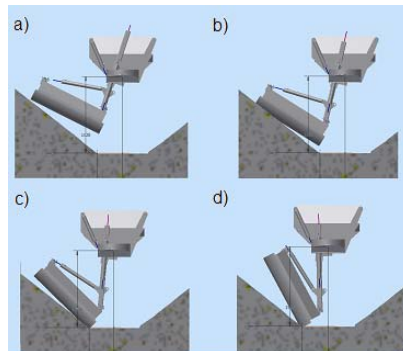
4.3. Wyniki dla symulacji III

Na podstawie tej symulacji (zablokowany ruch siłownika pochyłu belki) wykazano, że kosiarka prawidłowo kopiuje powierzchnię, a zablokowany siłownik pochyłu belki pozytywnie wpływa na zachowanie prawidłowego toru ruchu narzędzia. Natomiast przy kącie nachylenia skarpy wynoszącym powyżej 55° następuje zaklinowanie się kosiarki pomiędzy belką wysuwą a podłożem. Oznacza to, że siła wsuwająca działająca na belkę wysuwą jest bardzo małej wartości i nie jest w stanie pokonać sił tarcia występujących w prowadnicy. W tym niekorzystnym przypadku działa natomiast bardzo duża siła zginająca belkę wysuwą. Pozycja maszyny z zespołem zawieszenia narzędzi przednich podczas zaklinowania się kosiarki została przedstawiona na rys. 7, natomiast przekrój poprzeczny rowu z kątem nachylenia skarpy przedstawiono na rys. 8.



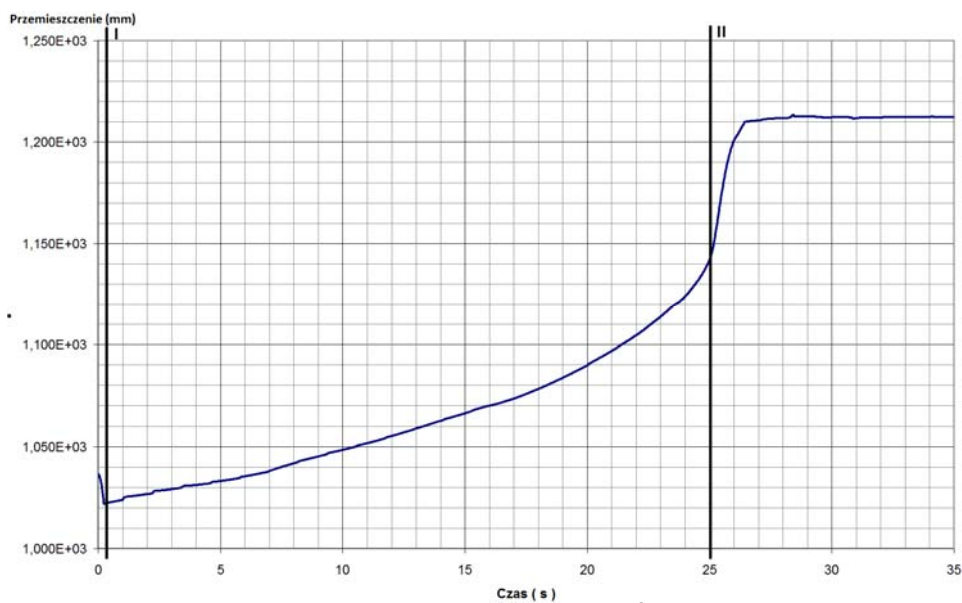
Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 3. Symulacja I - przemieszczenie siłownika pochyłu belki
 Fig. 3. Simulation I - displacement of hydraulic cylinder of tilt beam



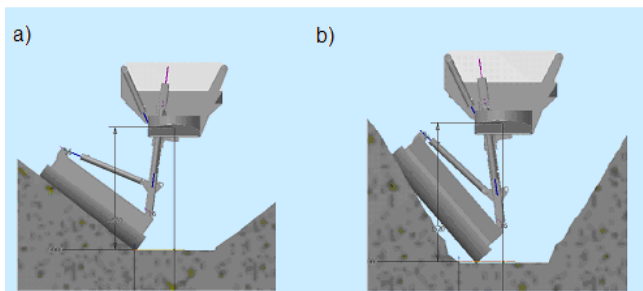
Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 4. Symulacja I - pozycje kosiarki w poszczególnych przedziałach: a) I - etap wyjściowy, b) II - etap opadania narzędzia na dół skarpy, c) III - etap początkowego podnoszenia narzędzia, d) IV - etap końcowego podnoszenia narzędzia
 Fig. 4. Simulation I - positions mower in particular sections: a) I - output stage, b) II - stage of fall tools down escarpment, c) III - initial stage of tools lifting, d) IV - final stage of tools lifting



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 5. Przeszczenie siłownika pochyłu belki
 Fig. 5. Displacement of hydraulic cylinder of tilt beam

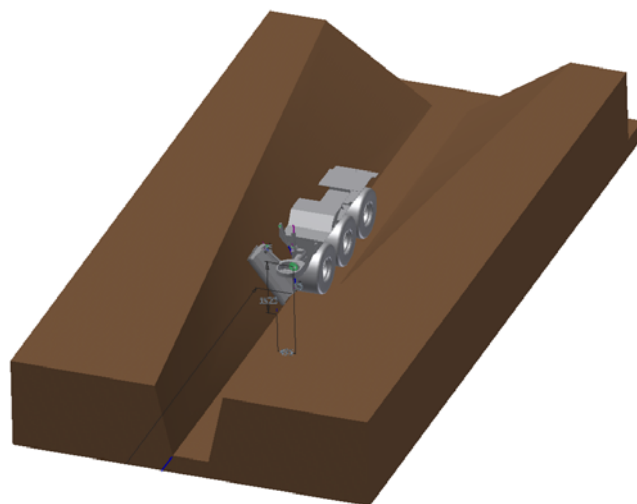


Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 6. Pozycje kosiarki w poszczególnych przedziałach: a) I- etap wyjściowy, b) II- etap zsuwania się narzędzia na dno rowu

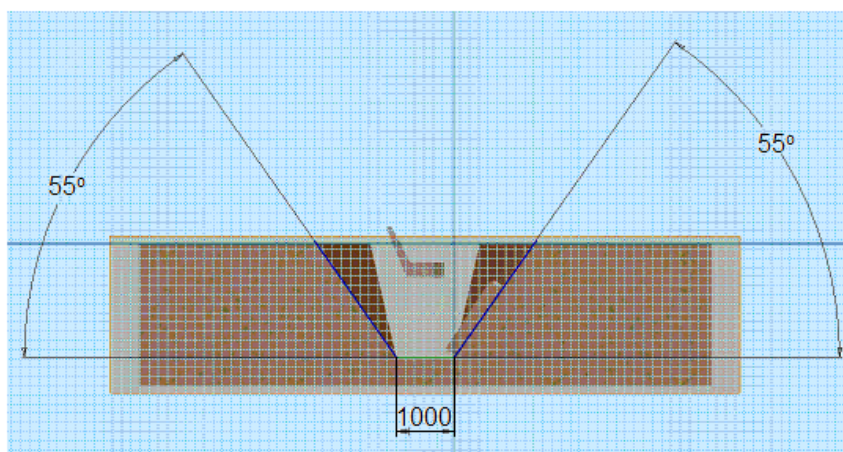
Fig. 6. Positions of the mower in particular sections: a) I- output stage, b) II- stage of slide of tools on the bottom of ditch

Wartość sił działających na połączenie sworzniowe belki wysuwnej z kosiarką przedstawiono na rys. 9. Podczas pracy ciągłej siła wypadkowa wynosi ok. 200 kN, natomiast w momencie klinowania się kosiarki siła ta zaczyna rosnąć (po ok. 25 s czasu symulacji).



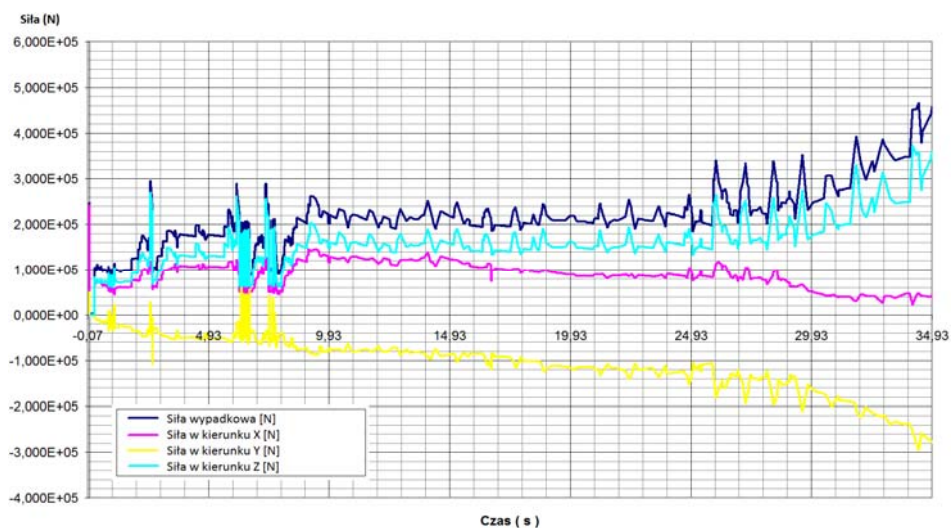
Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 7. Pozycja maszyny z zespołem zawieszenia narzędzi melioracyjnych podczas zaklinowania się kosiarki
Fig. 7. Position of the machine with the drainage tools mounting during spline of mower



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 8. Przekrój poprzeczny rowu z kątem pochylenia skarpy podczas zaklinowania się kosiarki
Fig. 8. Cross- section of ditch with tilt escarpment angle during spline of mower

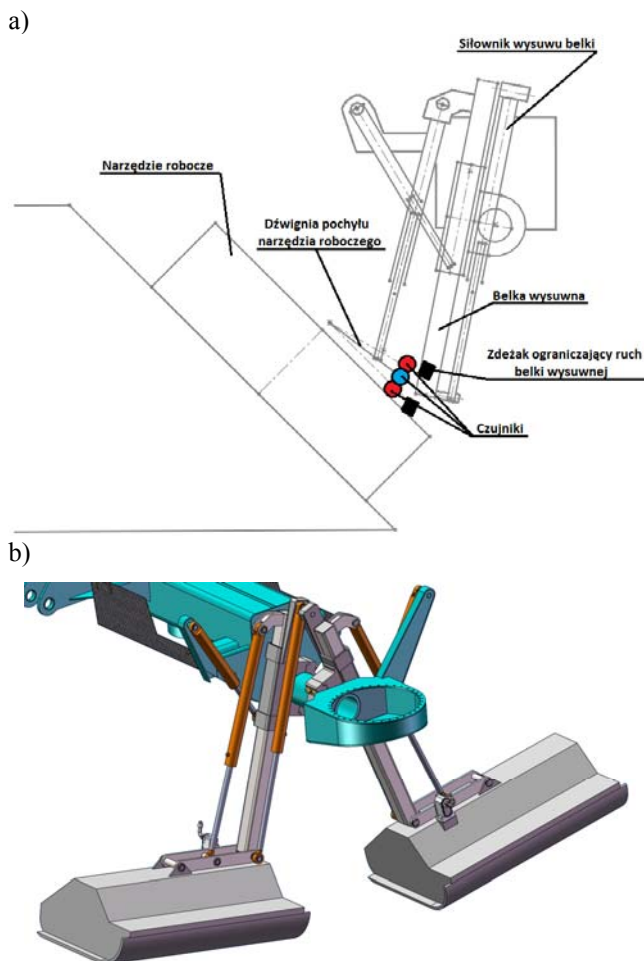


Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 9. Wartość sił działających na połączenie sworzniowe belki wysuwnej z kosiarką
Fig. 9. Values of the forces acting on the bolt connection of drawing out beam with mower

5. Propozycja rozwiązania problemu

W związku z problemem klinowania się narzędzia roboczego podczas pracy w rowie zaproponowano zamianę konstrukcyjną w zespole zawieszenia narzędzi melioracyjnych (rys. 10).



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 10. Propozycja nowego rozwiązania konstrukcyjnego zespołu zawieszenia narzędzi melioracyjnych: a) szkic, b) model 3D

Fig. 10. Proposition of new design solution of the drainage tools mounting: a) sketch, b) model 3D

Proponowane rozwiązanie polega na zastosowaniu dodatkowej dźwigni pochylu narzędzia roboczego, która jednym końcem jest zamocowana do narzędzia roboczego, a drugim – do belki wysuwnej. W części środkowej dźwigni pochylu narzędzia roboczego jest zaczepiony siłownik hydrauliczny, który po ustawieniu w tryb pracy wpływającej umożliwi realizację procesu kopiowania podłoża.

Ruch dźwigni pochylu narzędzia jest ograniczony przez zderzaki. Kiedy w wyniku zmiany geometrii rowu dźwignia dojdzie do zderzaka operator powinien zareagować, cofając belkę wysuwą ku górze, lub – jeśli kosiarka zacznie być unoszona nad skarpią – wysuwając belkę. Korekcja położenia może być kontrolowana przez operatora maszyny lub przy wykorzystaniu procesu automatycznego sterowania (np. na podstawie odczytu informacji z czujników położenia dźwigni względem zderzaków). Zastosowane powinny być trzy czujniki. Dwa skrajne powinny sygnalizować dotarcie dźwigni do zderzaka i uruchomić korektę położenia belki wysuwnej (uruchomić siłownik wysuwu belki). Czujnik trzeci, umieszczony pośrodku między czujnikami skrajnymi, dawałby sygnał do zatrzymania siłownika.

6. Bibliografia

- [1] Rutkowski J., Szczepaniak J.: Modelowanie węzłów kinematycznych w wytrzymałościowej analizie dynamicznej konstrukcji wybranej maszyny rolniczej. *Journal of Research and Application in Agricultural Engineering*, 2003, Vol. 48(4), s. 60-64.
- [2] Stasiak F.: Zbiór ćwiczeń. Autodesk Inventor 11. Wydawnictwo ExpertBooks, Łódź, 2006.