RoboFoR – automat do sadzenia drzew. Podstawowe moduły i właściwości funkcjonalne

Ryszard Tadeusiewicz[1], Paweł Tylek[2], Florian Adamczyk[3], Marcin Pietrzykowski[4], Grzegorz Szewczyk[2], Marek Szychta[3], Paweł Kiełbasa[5], Sebastian Sobocki[3], Marek Danielak[3], Tadeusz Juliszewski[5], Janusz Sowa[2], Józef Walczyk[2], Julia Gościańska-Łowińska[3]

[1] AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Kraków
[2] Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny, Katedra Użytkowania Lasu, Inżynierii i Techniki Leśnej, Kraków
[3] Sieć Badawcza Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny, Poznań
[4] Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny, Katedra Inżynierii Ekologicznej i Hydrologii Leśnej, Kraków
[5] Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, Kraków

Streszczenie: Artykuł opisuje automat przeznaczony do sadzenia drzew, opracowany koncepcyjnie i zrealizowany praktycznie przez duży zespół badaczy ze znaczącym udziałem autorów tego artykułu. Automat ten, któremu nadano nazwę RoboFoR, został zbudowany w ramach zlecenia realizacji usługi badawczej zatytułowanej *Mobilny automat do leśnych prac odnowieniowych oraz zalesiania terenów porolnych i rekultywowanych*. W artykule opisano główne właściwości funkcjonalne urządzenia oraz jego podstawowe moduły. Opisano układ jezdny, podkreślając jego zdolność do utrzymywania w poziomie głównej platformy w sytuacji, gdy koła pokonują nawet duże nierówności terenu. Przedstawiono rozwiązanie techniczne sadzenia drzew, a także system wykorzystywania kaset z sadzonkami do bezobsługowego posadzenia nawet kilkuset drzew. W celu zaprezentowania całokształtu właściwości i możliwości działań realizowanych przez automat RoboFoR autorzy przygotowali liczna rysunki i zdjęcia przedstawiające ważniejsze podzespoły i ich funkcje.

Słowa kluczowe: leśnictwo, sadzenie drzew, automatyka, leśne prace odnowieniowe, inżynieria środowiska

ROBOFOR – TREE PLANTING MACHINE.
BASIC MODULES AND FUNCTIONAL PROPERTIES

Abstract: The article describes an automatic tree planting machine, developed conceptually and practically implemented by a large team of employees with a significant participation of the authors of this article. This machine, which was named RoboFoR, was built as part of the order for the research service entitled *Mobile machine for forest renewal works and afforestation of post-agricultural and reclaimed areas*. The article describes the main functional properties of the machine and its basic modules. The machine's driving system has been described, emphasizing its ability to keep the main platform level in a situation where the wheels cover even large uneven terrain. A technical solution related to the process of planting trees was presented, as well as a system of using seedling cassettes so that the machine could plant even several hundred trees without service.
In order to present the entirety of the properties and possibilities of activities carried out by the RoboFoR automat, the authors prepared numerous drawings and a photo showing the most important components and their functions.

Keywords: forestry, planting trees, automation, forest renewal works, environmental engineering

https://doi.org/10.7494/978-83-67427-15-9_7

1. Wstęp

Prace badawcze i konstrukcyjne zmierzające do zbudowania RoboFoR – samobieżnego automatu przeznaczonego do sadzenia drzew na terenie, który nie wymaga specjalnego wcześniejszego przygotowania – prowadzone były przez pracowników czterech instytucji: Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Sieci Badawczej Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny, Ośrodka Techniki Leśnej w Jarocinie i AGH. Projekt, a następnie wykonanie tego automatu udało się zrealizować dzięki przyjęciu do finansowania przez Dyrekcję Generalną Lasów Państwowych usługi badawczej *Mobilny automat do leśnych prac odnowieniowych oraz zalesiania terenów porolnych i rekultywowanych*. Główne założenia projektowe przedstawił w roku 2018 prof. Paweł Tylek (z Wydziału Leśnego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie). Realizacja umowy o numerze EO.271.3.11.2019 rozpoczęła się w dniu 24.07.2019. Przyjmując założenia dotyczące automatu RoboFoR, przeanalizowano konstrukcję automatów o podobnym przeznaczeniu budowanych i badanych za granicą, na przykład szwedzkiego (Ersson 2014) albo fińskiego (Laine 2017). Jednak tworząc koncepcję automatu RoboFoR, oparto się na całkowicie oryginalnych pomysłach twórców i konstruktorów robota, o czym świadczą przyjęte zgłoszenia patentowe:

- *Model wirtualny 3D automatu* – zgłoszenie patentowe nr P.439797,
- *Zespół sadzący w postaci rozchylanego kostura* – zgłoszenie patentowe nr P.436389,
- *Powiązanie zespołu sadzącego z automatem na suwnicy* – zgłoszenie patentowe nr P.432333,
- *Podajnik sadzonek* – zgłoszenie patentowe nr P.439795,
- *Zespół buforowy przenoszące sadzonki do kostura* – zgłoszenie patentowe nr P.440312,
- *Układ kierowania i poziomowania automatu* – zgłoszenie patentowe nr P.439796.

W dalszej części artykułu omówione będą główne założenia tworzonej konstrukcji oraz wybrane zagadnienia realizacji poszczególnych modułów konstrukcyjnych i funkcjonalnych automatu.

2. Założenia

Potrzeba pełnej automatyzacji procesów związanych z sadzeniem sadzonek drzew wynika z ogromnej pracochłonności tych procesów przy ich prowadzeniu w sposób tradycyjny, to znaczy ręcznie. Szacuje się, że przygotowanie stanowisk, na których posadzone mogą być sadzonki przygotowane przez szkółki leśne, wymaga 38 rbh/ha

(roboczogodzin na hektar), a sam proces sadzenia wymaga 34 rbh/ha. Praca ręczna związana z sadzeniem wymaga dużego wysiłku i jest monotonna, co powoduje, że coraz trudniej znaleźć robotników gotowych do jej wykonania. Tymczasem roczna produkcja sadzonek wynosi około 800 mln sztuk, w tym około 100 mln sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym – i te sadzonki trzeba wysadzić! Użycie do tej pracy automatu powinno zmniejszyć pracochłonność (automat wszystkie czynności wykonuje sam i jest jedynie zdalnie bezprzewodowo kontrolowany przez operatora) oraz polepszyć stan sadzonek wyjmowanych przez automat z kaset, w których były hodowane w szkółce kontenerowej, bezpośrednio przed momentem sadzenia, dzięki czemu uniknie się szkodliwego przesuszenia i osypywania bryłki korzeniowej.

Realizacja zleconej usługi badawczej wymagała opracowania koncepcji automatu, wykonania i zmontowania wszystkich elementów składowych oraz oprogramowania komputera sterującego całością. Trzeba było zaprojektować i zbudować samopoziomujący się układ trakcyjny, wyposażyć automat w system nawigacji satelitarnej oraz w system bezprzewodowego zdalnego sterowania wraz modułem pomiarowo-sterującym, zbudować mechanizm przygotowania placówki (miejsca sadzenia), zaprojektować zespół sadzący pozwalający sadzić sadzonki wraz z ich dogniataniem w trakcie płynnej jazdy automatu, stworzyć podajnik sadzonek z kaset hodowlanych oraz bufor pozwalający na kolejne podawanie sadzonek do kostura sadzącego. Ogólna koncepcja automatu została po raz pierwszy opisana w artykule Adamczyka i in. (2019).

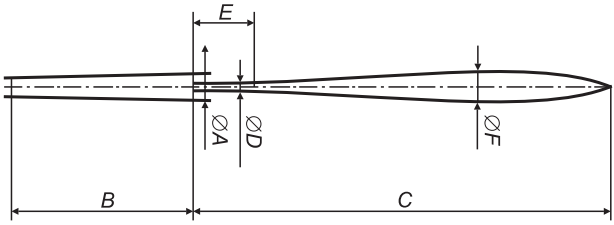
Przyjęto, że wszystkie czynności automatu będą realizowane z wykorzystaniem napędów hydraulicznych i kompaktowego zespołu spalinowo-hydraulicznego. Jednostka napędowa zasilająca zbiornik ciśnieniowy oleju powinna mieć moc nie większą niż 56 kW, żeby zapewnić zgodność z normą czystości spalin EURO 3 w zakresach odpowiednich dla samojezdnych pojazdów niedrogowych.

W dalszych częściach artykułu opisane zostaną kolejne etapy prac koncepcyjnych i konstrukcyjnych, które w sumie doprowadziły do tego, że automat RoboFoR powstał i działa.

3. Pierwsze badania dotyczące sadzonek

W pierwszym roku realizacji usługi badawczej dokonano badań sadzonek w celu ustalenia ich modelu geometrycznego (rys. 1) i właściwości fizycznych (środek ciężkości, kąt tarcia, właściwości bryłki korzeniowej, siła potrzebna do wydobycia sadzonki z kasety).

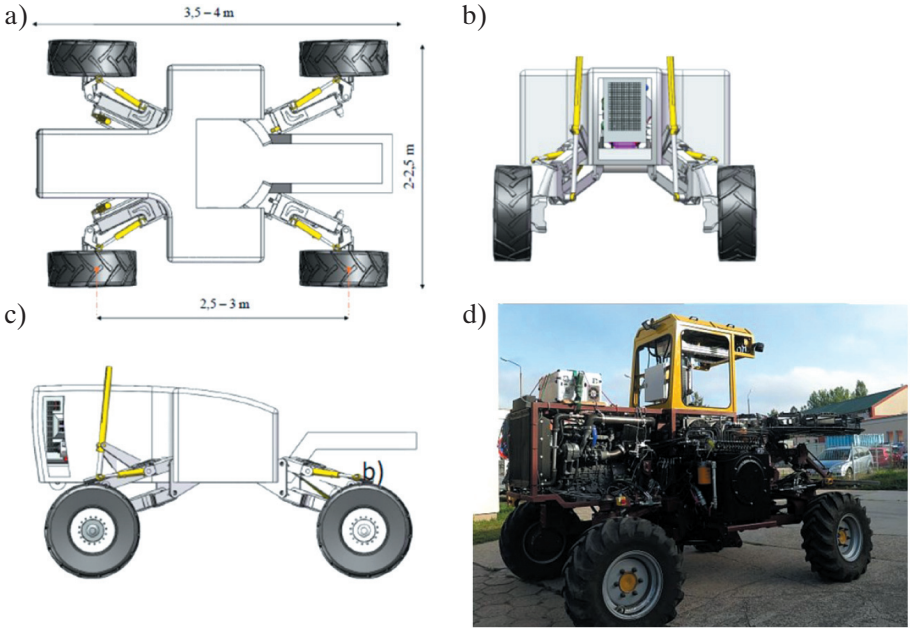
Badano także wrażliwość sadzonek na wstrząsy oraz możliwość pobierania ich za pomocą chwytaka wbijanego w bryłkę, ale w ostatecznym rozwiązaniu posłużono się metodą chwytania sadzonki za szyjkę korzeniową.



Rys. 1. Model geometryczny sadzonki: A – średnica bryłki korzeniowej, B – długość bryłki korzeniowej, C – wysokość części nadziemnej, D – średnica szyjki korzeniowej, E – długość szyjki korzeniowej, F – średnica części nadziemnej
Źródło: opracowanie własne na podstawie Tylek (2019)

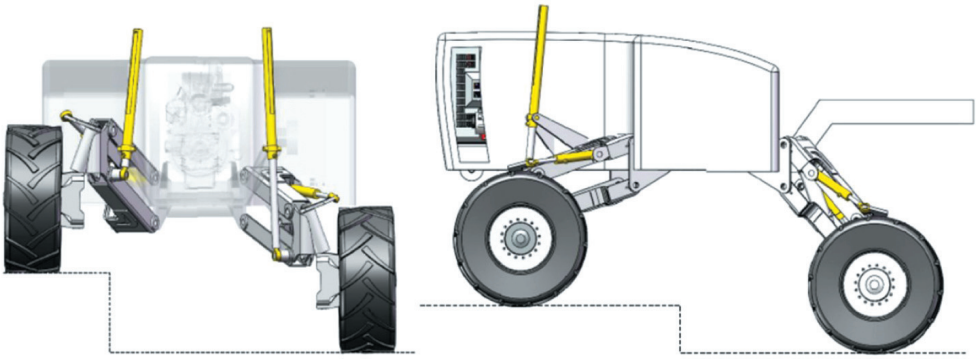
4. Układ jezdny automatu

Jedną z ważnych cech automatu RoboFoR jest to, że musi pokonywać nierówności terenu. Zwłaszcza w przypadku leśnych prac odnowieniowych napotykać on będzie pniaki po ściętych drzewach i koleiny zrobione przez pojazdy, które wywoziły ścięte drzewa, natomiast platforma, na której umieszczone są sadzonki, i zespół urządzeń wykonujących sadzenie muszą być stale w poziomie. Zaprojektowano więc czterokołowe podwozie z kołami umieszczonymi na ruchomych wahaczach (rys. 2).



Rys. 2. Układ jezdny – wstępna koncepcja (a–c) i finalne wykonanie (d)
Źródło: Tylek (2019) (rys. a–c)

Takie rozwiązanie pozwala na skuteczne poziomowanie platformy mimo jazdy po nierównym terenie (rys. 3).



Rys. 3. Poziomowanie platformy pomimo jazdy po nierównym terenie
Źródło: Tylek (2019)

Układ jezdny automatu jest tak skonstruowany, że każde koło niezależnie może być ustawiane pod innym kątem w stosunku do osi całego automatu, w wyniku czego może on jeździć w dowolnym kierunku, a także kręcić się w miejscu wokół własnej osi. Na rysunku 4 przedstawiono model CAD3D układu jezdnego automatu oraz zdjęcie jednego z kół.

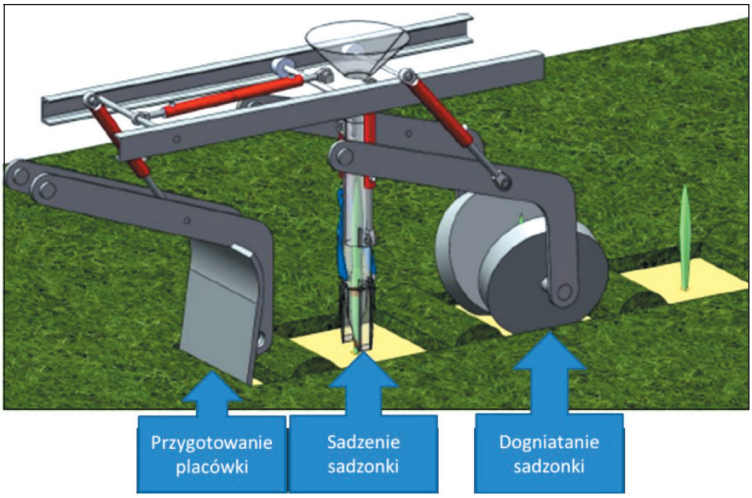
a) b)

Rys. 4. Układ jezdny automatu (a) i widok jednego z kół (b)
Źródło: opracowanie własne na podstawie Tylek i in. (2020) (rys. a)

5. Zespół przygotowania placówki i sadzenia drzewka

Koncepcja automatycznej sadzarki została opublikowana w artykule Tylka i in. (2020). Poniższy opis nawiązuje do tego artykułu.

Proces sadzenia obejmuje kolejne wykonania trzech czynności (rys. 5): przygotowanie placówki, sadzenie i dogniatanie sadzonki.

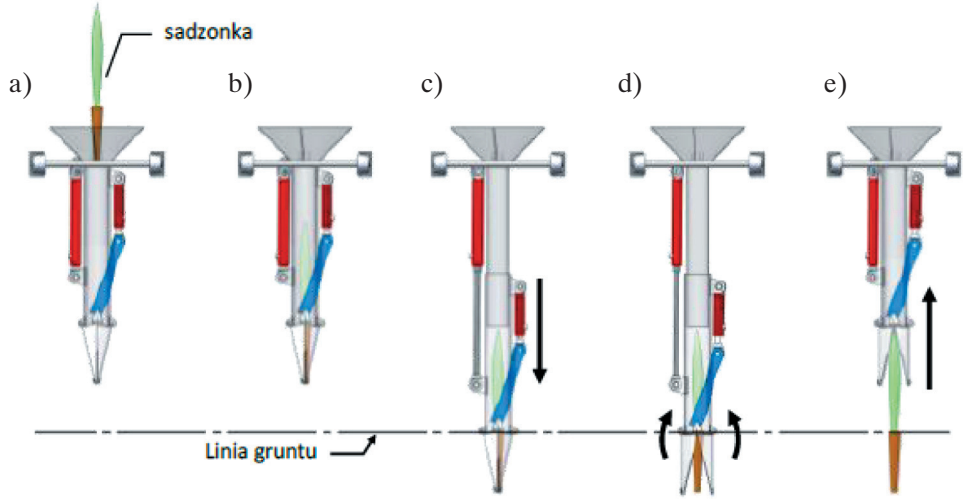


Rys. 5. Czynności związane z sadzeniem drzewka
Źródło: opracowanie własne na podstawie Tylek (2019)

Pierwszą czynnością jest przygotowanie placówki. Z miejsca, w którym ma być posadzone drzewko, trzeba zedrzeć darń i odsłonić grunt, tworząc placówkę o wymiarach zgodnych z wymogami wykonywania leśnych prac odnowieniowych i zasadami hodowli lasu. Na rysunku 5, wykorzystującym elementy graficzne z opracowania (Tylek 2019), przedstawiony jest płaski zgarniacz, który jednak w finalnym automacie został zastąpiony przez wał trójzębny (rys. 6).

Rys. 6. Wał trójzębny do przygotowania placówki

Następną czynnością, uwidocznioną na rysunku 4, jest sadzenie sadzonki. Przebiega ono w taki sposób, że sadzonka jest wrzucana do kostura, kostur jest wbijany w ziemię, sadzonka jest uwalniana i kostur jest wycofywany, a sadzonka pozostaje w gruncie. Schemat działania kostura w poszczególnych fazach sadzenia przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Pięć faz działania kostura: a) sadzonka zostaje wrzucona do kostura; b) sadzonka opada i opiera się na szczękach kostura; c) kostur zostaje wbity w grunt; d) szczęki się otwierają i uwalniają sadzonkę; e) kostur zostaje wycofany, a sadzonka pozostaje w gruncie
Źródło: Tylek (2019)

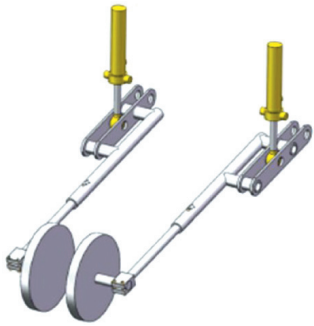
Wartość siły potrzebnej do wbicia kostura na wymaganą głębokość do około 200 mm zależy oczywiście od zwięzłości gruntu, która wyraża się ciśnieniem, które na wysokości szczęk całkowicie zagłębionego kostura dochodzi do 3 MPa. Po odpowiednich pomiarach przyjęto, że w automacie RoboFoR siła zagłębiania będzie zbliżona do 10 000 N.

Widok kostura jeszcze niewmontowanego do omawianego tu automatu przedstawiono na rysunku 8. Kostur łączony jest z korpusem automatu RoboFoR za pomocą suwnicy, dzięki czemu w trakcie sadzenia jest tak przesuwany do tyłu automatu, by stale pozostawał nad tym samym punktem przygotowanej placówki pomimo nieprzerwanego ruchu naprzód całego automatu. Po pozostawieniu sadzonki w gruncie kostur jest wycofywany i przesuwany na suwnicy maksymalnie do przodu, żeby być przygotowanym do pobrania następnej sadzonki i wykonania następnego cyklu sadzenia.

Ostatnią czynnością pokazaną na rysunku 5 jest dogniatanie sadzonki. Czynność tę wykonują dwa koła toczone o średnicy około 400 mm ustawione pod kątem i hydraulicznie dociskane do podłoża, tak żeby otaczający sadzonkę grunt został dociśnięty do jej bryłki korzeniowej (rys. 9).

Rys. 8. Widok samego kostura sadzącego
Źródło: Tylek (2020)

a)



b)

Rys. 9. Schemat (a) i realizacja (b) zespołu dogniatającego
Źródło: Tylek (2020) (rys. a)

Dogniatanie gruntu ma duże znaczenie przy zrastaniu się sadzonki z calizną (sadzenie odbywa się w gruncie, który nie jest w żaden sposób wstępnie przygotowany – rys. 10).

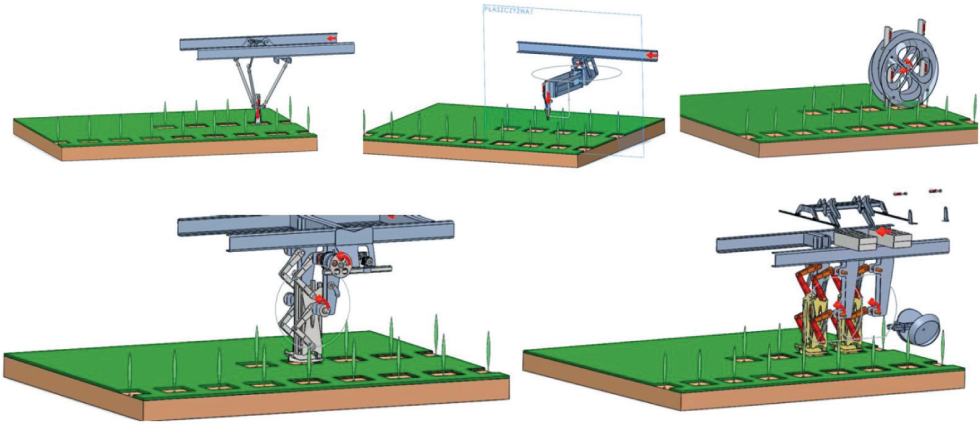
Rys. 10. RoboFoR na miejscu sadzenia. Teren zrębu został przygotowany do sadzenia zgodnie z unormowaniami obowiązującymi w tym zakresie w Lasach Państwowych

Zespół sadzący w gotowości do działania można zobaczyć na rysunku 11.

Warto dodać, że zanim wybrano i zastosowano opisaną wyżej koncepcję zespołu sadzącego, analizowano kilka rozwiązań alternatywnych pokazanych zbiorczo na rysunku 12.

Zespół sadzący automatu RoboFoR sprawdził się w działaniu, co widać po rzędzie zasadzonych sadzonek bezpośrednio za automatem na rysunku 13.

Rys. 11. Zespół sadzący w gotowości do działania



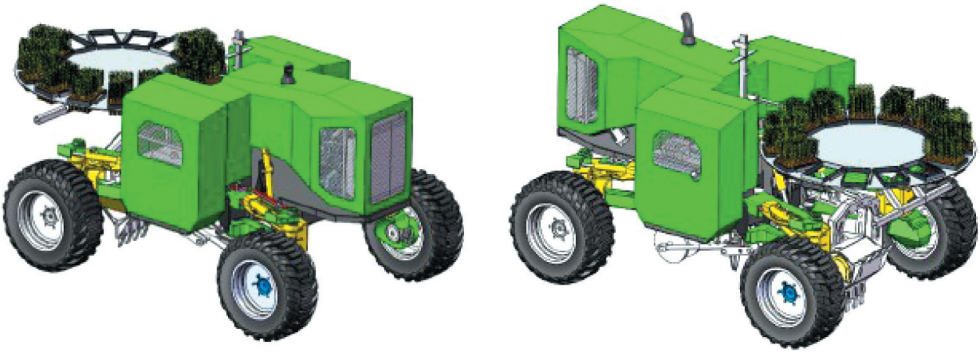
Rys. 12. Alternatywne koncepcje zespołu sadzącego
Źródło: Tylek (2020)

Rys. 13. Rządek automatycznie posadzonych i prawidłowo dogniecionych sadzonek

6. Obrotowy stół z sadzonkami

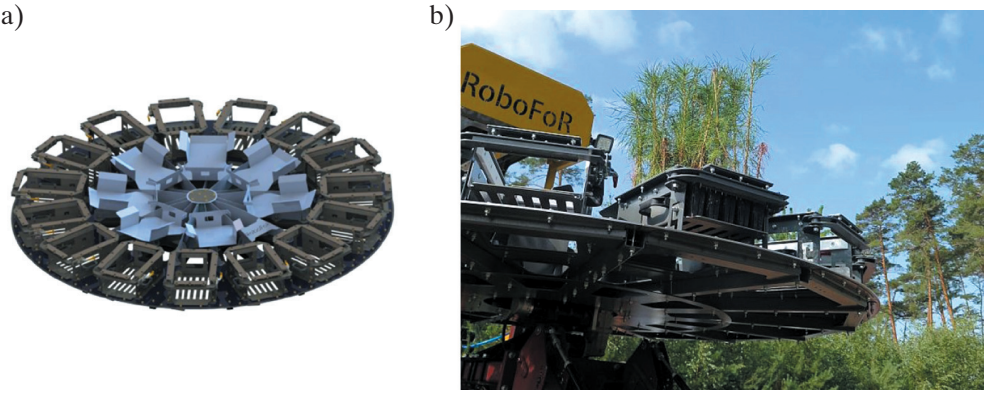
Ważnym argumentem przy podejmowaniu decyzji o budowie automatu RoboFoR było założenie, że automat ten będzie mógł jednorazowo zabrać około 600 sadzonek

(15 kaset po 40 sadzonek drzew iglastych w kasecie i po 28 sadzonek drzew liściastych w kasecie), które do ostatniej chwili będą się znajdowały w kasecie, w której były hodowane w szkółce leśnej, a wydobycie sadzonki będzie następowało bezpośrednio przed opisaną wyżej czynnością sadzenia. Wyeliminowane jest ręczne wyjmowanie sadzonek z kaset i umieszczanie ich w zespole sadzącym, dzięki czemu sadzonki będą w znacznie lepszym stanie niż w przypadku tradycyjnego ręcznego sadzenia, gdy pomiędzy wydobyciem sadzonki z kasety a posadzeniem jej w gruncie upływało często od kilku do kilkunastu godzin. Żeby jednak osiągnąć wskazany efekt, trzeba było opracować sposób transportu kaset z sadzonkami oraz sposób wydobywania sadzonek i wkładaniu ich do kostura. Kasety z sadzonkami zostały ulokowane na okrągłym stole obrotowym. Schematyczny widok tego stołu przedstawiony jest na rysunku 14, a dokładniejszy schemat pokazano na rysunku 15, gdzie zamieszczono także zdjęcie rzeczywiście wykonanego stołu.



Rys. 14. Widok umiejscowienia stołu obrotowego, na którym umieszczane są kasety z sadzonkami
Źródło: Tylek (2020)

a) b)



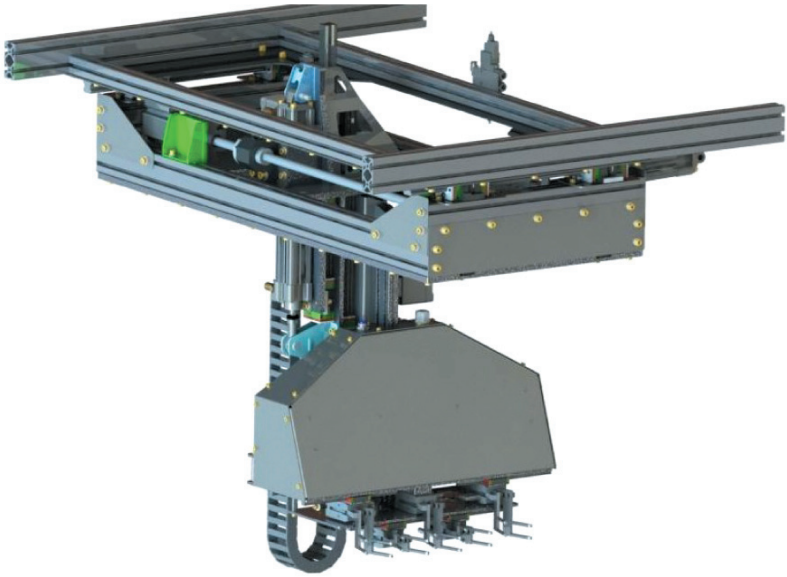
Rys. 15. Schemat budowy stołu obrotowego, na którym umieszczone są kasety z sadzonkami (a), oraz jego rzeczywisty widok (b)
Źródło: Tylek (2020) (rys. a)

Widoczne na rysunku 15 gniazda pozycjonujące kasety wyposażone są w system ryglowania i listwy pozycjonujące, w wyniku czego położenie kasety w momencie, kiedy trzeba z niej pobierać sadzonki i przenieść do zespołu buforowego (opisanego dalej), jest dokładnie znane. Teoretycznie znane też powinno być położenie szyjki korzeniowej każdej sadzonki, chociaż zdarza się niekiedy, że sadzonka nie jest ulokowana centralnie w swojej celi w kasecie, wtedy jej pochwycenie przez zespół pobierania i podawania sadzonek może być nieskuteczne. Maksymalne obciążenie stołu wynikające z masy umieszczonych na nim wypełnionych kaset nie przekracza 200 N, a moment napędowy potrzebny do jego obracania wynosi 116,8 Nm.

Obracający się stół przemieszcza kolejne kasety pod chwytakiem do pobierania sadzonek. Po opróżnieniu kasety obrót stołu wprowadza pod zespół chwytający kolejną kasetę, a opróżniona kaseta przesunięta jest na dalszą pozycję, skąd będzie zabrana i zastąpiona przez kasetę pełną podczas najbliższej przerwy serwisowej, czyli po opróżnieniu wszystkich 15 kaset.

7. Zespół chwytający

Model CAD-3D zespołu chwytania i pobierania sadzonek przedstawiony jest na rysunku 16.

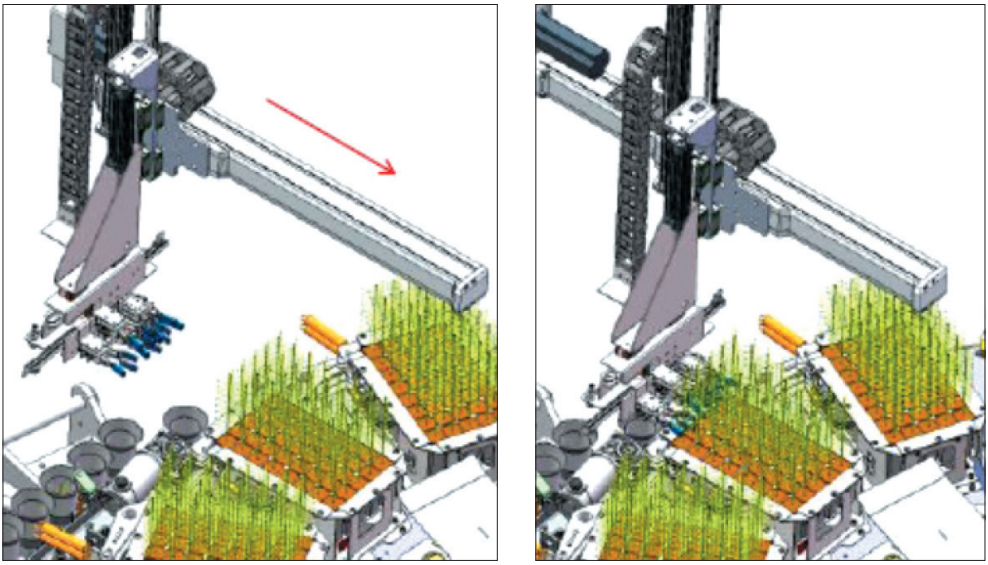


Rys. 16. Zespół chwytania i pobierania sadzonek
Źródło: Tylek (2021)

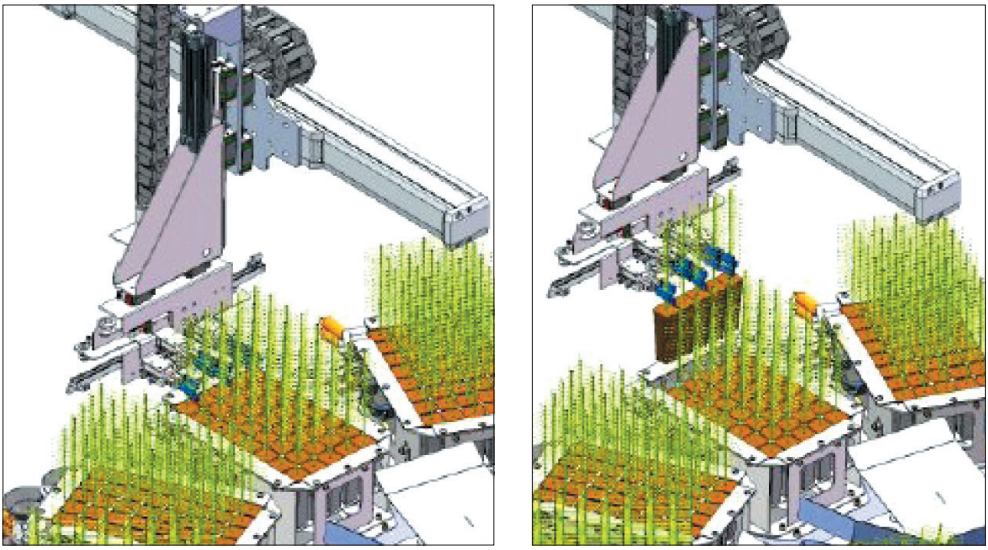
Zespół ten składa się z pięciu chwytaków, których zadaniem jest pochwycenie (za szyjki korzeniowe) pięciu sadzonek tworzących jeden rząd w kasecie, wydobycie ich pionowo w górę z gniazd i przemieszczenie ponad przenośnik buforowy, do którego sadzonki są wrzucane w celu przemieszczenia ich dalej do kostura sadzącego. Dzięki zastosowaniu osi wrzecionowej zespół chwytania ustawia się krok po kroku nad kolejnymi rzędami sadzonek w kasecie i wydobywane z nich sadzonki przewozi do przenośnika buforowego.

Warto podkreślić, że w odróżnieniu od wszystkich „siłowych" hydraulicznych napędów automatu RoboFoR (napędu kół jezdnych, wału trójzębnego przygotowującego placówkę, kostura i zespołu dogniatającego) elementy zespołu chwytania i pobierania sadzonek oraz przenośnika buforowego są sterowane i napędzane pneumatycznie. Wynika to z możliwości uzyskania przy zastosowaniu tej technologii mniejszych gabarytów urządzenia, a zarazem większej precyzji jego działania.

Ponieważ przewiduje się używanie dwojakiego rodzaju kaset – mniejszych, mających 7 rzędów cel po 4 w każdym rzędzie albo większych, mających 8 rzędów cel po 5 w każdym rzędzie – założono, że w przypadku używania mniejszych kaset skrajnie prawy chwytak będzie wykonywał ruch jałowy. Na rysunku 17 pokazano proces podjazdu zespołu chwytania pod określony rząd sadzonek w kasecie, a na rysunku 18 zilustrowano pochwycenie sadzonek przez zespół chwytania i ich wydobycie z kasety.



Rys. 17. Proces podjazdu zespołu chwytania pod określony rząd sadzonek w kasecie
Źródło: Tylek (2020)



Rys. 18. Pochwycenie sadzonek i ich wydobycie z kasety
Źródło: Tylek (2020)

8. Zespół buforowy

Jak wynikało z przytoczonego wyżej opisu działania zespołu chwytającego, sadzonki są wydobywane z kaset grupami po 5 (lub po 4), natomiast do kostura sadzącego muszą być wrzucane pojedynczo, i to w ściśle określonych momentach (gdy jest on podniesiony i odpowiednio przesunięty do przodu automatu po wykonaniu cyklu sadzenia poprzedniej sadzonki). Żeby zsynchronizować proces pobierania sadzonek z kaset z procesem umieszczania sadzonek w kosturze, konieczne było skonstruowanie zespołu buforowego odbierającego sadzonki grupami i dozującego je do kostura pojedynczo. Schemat tego zespołu przedstawiony jest na rysunku 19.

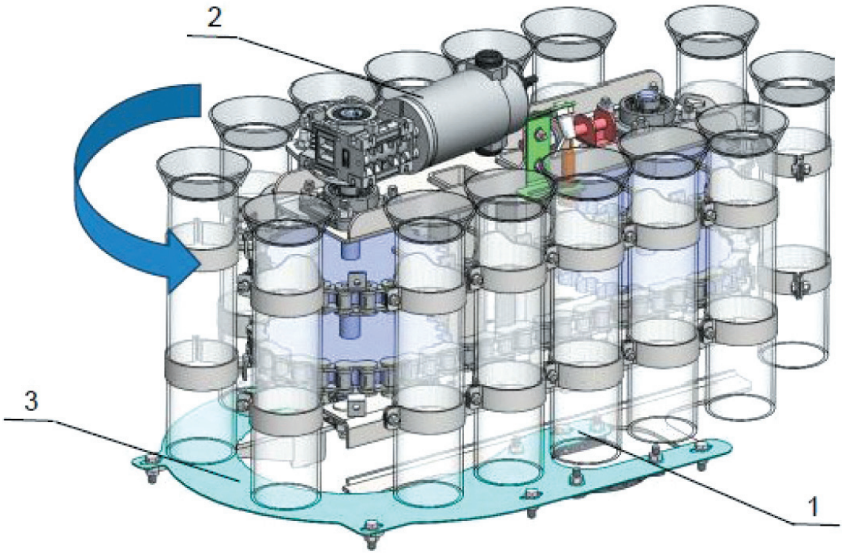
Zespół pięciu cylindrów widocznych w tylnej części mechanizmu, w pobliżu pneumatycznego elementu napędowego całego zespołu buforowego (nr 2), to są te pojemniki, do których zespół chwytający wrzuci wydobyte z kasety sadzonki. Pojemniki są otwarte u dołu, ale wrzucone do nich sadzonki nie wypadają, bo opierają się od dołu na gładkiej płycie ślizgowej (nr 3). W tym stanie pojemniki wraz z sadzonkami przemieszczają się do przodu zgodnie z kierunkiem wskazywanym przez niebieską strzałkę i jednocześnie oddalają się nieco od siebie. Podczas wrzucania sadzonek pojemniki musiały być zgrupowane ciasno, żeby sadzonki nie wpadały pomiędzy nie. Jest to ko-

nieczne, chociaż chwytaki zespołu chwytającego, ciasno ulokowane jeden obok drugiego w momencie wydobywania sadzonek z kastety, przed wykonaniem wrzutu zostają trochę rozsunięte.

Natomiast po pobraniu sadzonek pojemniki zespołu buforowego zostają rozsunięte i zmierzają do miejsca (oznaczonego na rysunku numerem 1), w którym każda kolejna sadzonka będzie wrzucona do podstawionego od dołu kostura.

Po wrzuceniu sadzonki do kostura pusty pojemnik zmierza dalej ku tylnej części zespołu buforowego, gdzie zostanie ponownie dołączony ciasno do zespołu czterech innych pojemników, by utworzyć nowy pięciokomorowy zasobnik na sadzonki, które zespół chwytający wydobył z kasety w kolejnym cyklu.

Ponieważ kinematyka opisanych czynności jest nieco złożona, poniżej przedstawiono kilka kadrów z animacji prezentującej współdziałanie zespołu chwytającego i zespołu buforowego.

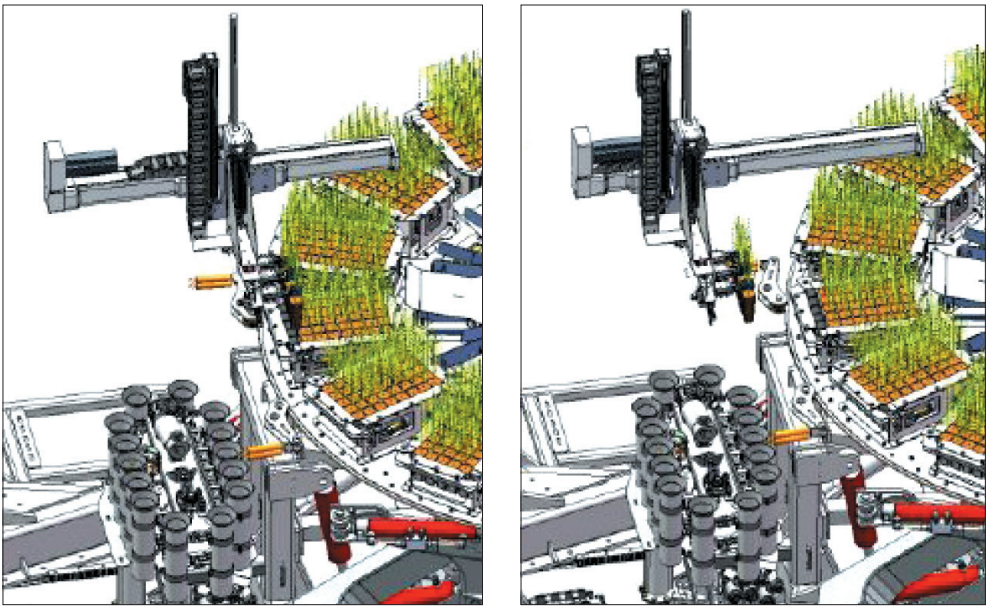


Rys. 19. Zespół buforowy. Opis w tekście
Źródło: Tylek (2020)

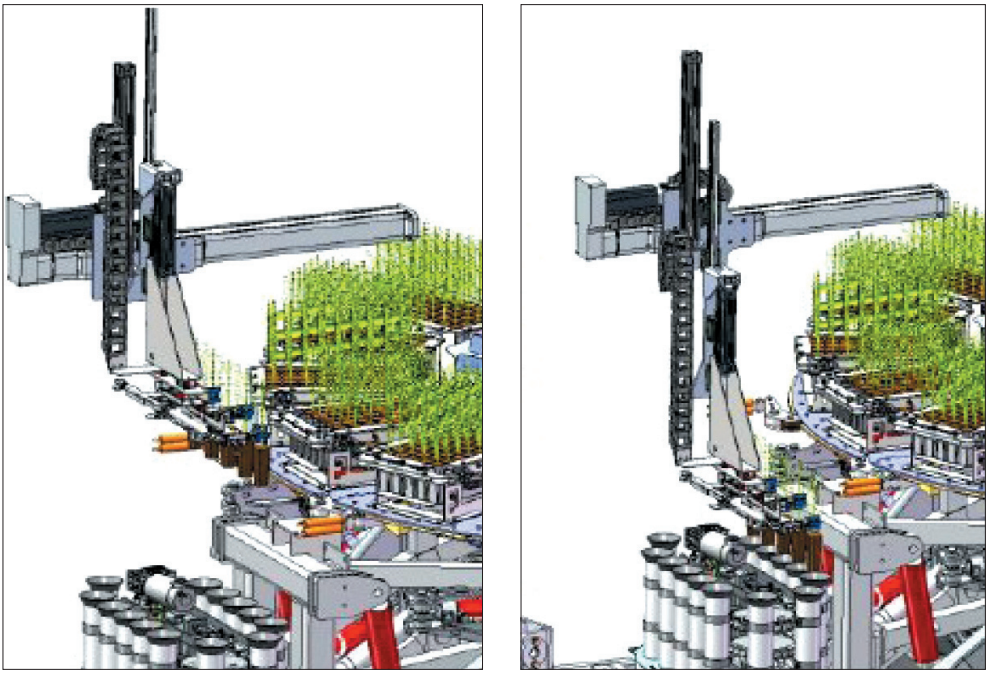
Ten fragment cyklu pracy, który związany jest z przeniesieniem wydobytych z kasety sadzonek do zespołu buforowego, zilustrowano na rysunku 20.

Wrzucanie sadzonek do pojemników zespołu buforowego pokazano na rysunku 21.

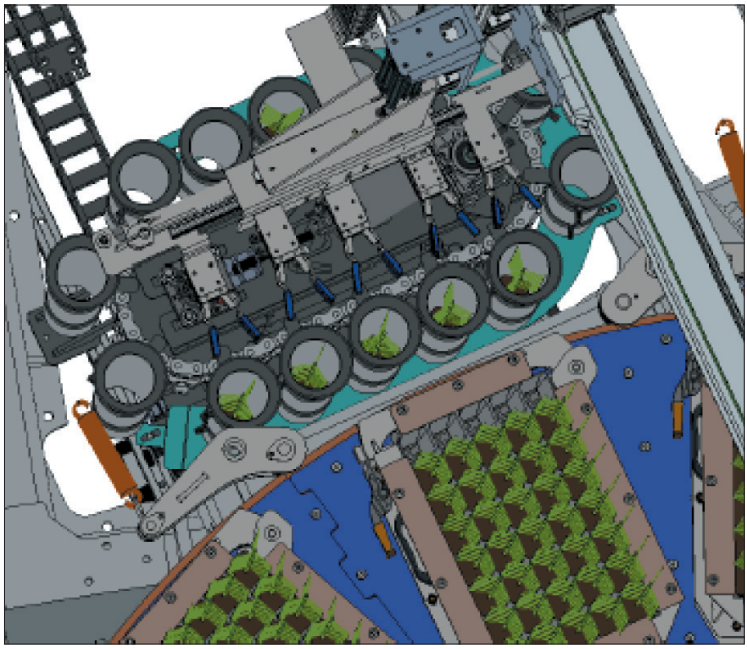
Przedstawiony w widoku od góry proces transportowania w zespole buforowym wrzuconych do pojemników sadzonek do miejsca, gdzie wpadną one do podstawionego kostura, można zobaczyć na rysunku 22.



Rys. 20. Przenoszenie wydobytych sadzonek do zespołu buforowego
Źródło: Tylek (2020)



Rys. 21. Wrzucanie sadzonek do pojemników zespołu buforowego
Źródło: Tylek (2020)



Rys. 22. Transportowanie sadzonek w zespole buforowym
Źródło: Tylek (2020)

9. Uwagi końcowe

W artykule opisano, od strony funkcjonalnej, działanie automatu RoboFoR. Automat ten został zaprojektowany, zbudowany i przetestowany najpierw w warunkach laboratoryjnych, a następnie na leśnej powierzchni odnowieniowej. Urządzenie zdało egzamin w trudnym terenie leśnym, można więc oczekiwać, że spełni swoje zadanie także podczas nasadzeń na zrębach oraz zalesiania terenów porolnych i rekultywowanych. Wydaje się, że przedstawiony w artykule automat RoboFoR znacznie przewyższa rozwiązania zagraniczne (Ersson i in. 2022).

Artykuł nie podejmuje tematów szczegółowych: napędu automatu, jego sterowania, instalacji elektrycznych, hydraulicznych i pneumatycznych, a także jego orientacji w terenie na podstawie GPS. Nie przedstawiono także obszernego wątku ergonomii zdalnego sterowania automatem. Wszystkie te zagadnienia są ciekawe, a osiągnięcia zespołu twórców automatu RoboFoR także i w tych wzmiankowanych tylko obszarach będą przedmiotem następnych publikacji. Prezentowany tutaj tekst należy więc traktować jedynie jako wprowadzenie do tematu.

Literatura

Adamczyk F., Wojciechowski J., Tylek P., Sowa J.M., Walczyk J., Tadeusiewicz R., 2019, *The concept of construction of a mobile automatic device for forest regeneration tasks and afforestation of former farmland and reclaimed areas*, [w:] Lorencowicz E., Uziak J., Huyghebaert B. (eds.), *Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture: X International Scientific Symposium FMPMSA 2019: Lublin, [20–22 listopada 2019]*, Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium", Radom, s. 13–17.

Ersson B.T., 2014, *Concepts for mechanized tree planting in southern Sweden*, Acta Universitatis agriculturae Sueciae, 76, Faculty of Forest Sciences, Department of Forest Biomaterials and Technology, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå.

Ersson B.T., Sundblad L.-G., Manner J., 2022, *Cost analysis of seedling supply systems adapted for mechanized tree planting: a case study from southern Sweden*, Silva Fennica, vol. 56(2), 10663. https://doi.org/10.14214/sf.10663.

Laine T., 2017, *Mechanized tree planting in Finland and improving its productivity*, Dissertationes Forestales, 239, Department of Forest Sciences Faculty of Agriculture and Forestry University of Helsinki, Finland.

Tylek P., 2019, *Mobilny automat do leśnych prac odnowieniowych oraz zalesiania terenów porolnych i rekultywowanych, sprawozdanie etapowe, etap I*, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie [niepublikowane].

Tylek P., 2020, *Mobilny automat do leśnych prac odnowieniowych oraz zalesiania terenów porolnych i rekultywowanych, sprawozdanie etapowe, etap II*, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie [niepublikowane].

Tylek P., 2021, *Mobilny automat do leśnych prac odnowieniowych oraz zalesiania terenów porolnych i rekultywowanych, sprawozdanie etapowe, etap III*, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie [niepublikowane].

Tylek P., 2022, *Mobilny automat do leśnych prac odnowieniowych oraz zalesiania terenów porolnych i rekultywowanych, sprawozdanie etapowe, etap IV*, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie [niepublikowane].

Tylek P., Walczyk J., Sowa J., Szewczyk G., Kormanek M., Pietrzykowski M., Juliszewski T. i in., 2020, *Koncepcja automatycznej sadzarki do sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym*, [w:] Klamerus-Iwan A. (red.), *Nowoczesne technologie i inżynieria w zrównoważonym użytkowaniu lasu: monografia*, Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego, Kraków, s. 451–464.