

*poduszkowcowy, nośnik, narzędzi, teren, wodno-bagienny,
ochrona, trawa, trzcina, biomasa,
wirtualny, model, transport*

Adam P. DUBOWSKI^{1,2}, Krzysztof ZEMBROWSKI¹, Radosław KARBOWSKI¹,
Aleksander RAKOWICZ¹, Sylwester WEYMANN¹, Jarosław MAC¹,
Jacek WOJCIECHOWSKI¹, Tomasz PAWŁOWSKI¹,
Józef ADAMOWICZ³, Ryszard KOSTEK³

PODUSZKOWCOWY NOŚNIK NARZĘDZI DO PROWADZENIA PRAC NA TERENACH WODNO-BŁOTNYCH

Poduszkowcowy Nośnik Narzędzi (PNN) został zaprojektowany w PIMR w ramach Projektu Rozwojowego nr N R 03 0077 06/2009. Nowy pojazd jest przeznaczony do pracy na terenach wodno-błotnych i będzie wyposażony w szereg narzędzi i maszyn do cięcia trawy, trzciny, zakrzaczeń i zadrzewień na terenach Narodowych Parków, Natura 2000 itp. Szereg wirtualnych modeli PNN zostało opracowanych i przetestowanych w symulacyjnych badaniach i analizach Metodą Elementów Skończonych. Wyniki tych analiz były weryfikowane na podstawie wyników z badań rzeczywistego modelu PNN z narzędziami i maszynami. Nowe pojazdy powinny być mniej uciążliwe dla środowiska w porównaniu do pojazdów kołowych i gąsienicowych.

HOVERCRAFT TOOLS CARRIER FOR WORK ON WETLANDS

Hovercraft Tools Carrier were designed by PIMR in R&D Research Projekt No. N R 03 0077 06/2009. New vehicle is dedicated for wetlands conservation and protection. It will be equipped with several tools and machines mainly for cutting grass, reeds, bushes and small trees in wetlands of National Parks, Natura 2000 etc. Several virtual models of Hovercraft Tools Carrier were designed and verified in simulation and FEM tests and analyses. Results of tests were compared with real models of new vehicles with specialised tools. New vehicles should be less harmful for land devastation comparing with wheeled and crawler type vehicles.

¹ PIMR-Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych, Poznań 60-963, Starołęcka 31,
<http://www.pimr.poznan.pl>

² E-mail: dubowski@pimr.poznan.pl

³ Hovertech, <http://www.hovertech.com.pl>

1. WSTĘP

W Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych (PIMR) w Poznaniu w Projekcie Rozwojowym nr N R 03 0077 06/2009 [1] prowadzone są prace, których celem jest opracowanie zintegrowanej technologii dla potrzeb ochrony obszarów wodno-błotnych przed niepożądaną sukcesją roślinności (traw, turzyc, trzcin, zakrzaczeń i zadrzewień). Opracowana koncepcja technologii jak i konstrukcji nowych pojazdów i narzędzi powinna przyczynić się do poprawy ochrony środowiska naturalnego na bardzo zróżnicowanym terenie: łąk o zmienno wodnym charakterze, obszarach wodno-błotnych oraz cieków wodnych – kanałów jezior, rzek. W pracach należało uwzględnić także regulacje prawne, które określają warunki prowadzenia zabiegów ochronnych – zalecane sposoby i terminy ich realizacji.

2. SPOSOBY WYKASZANIA I USUWANIA ŚCIETEJ BIOMASY

Wykaszenie i usuwanie ściętej biomasy na chronionych obszarach wodno-błotnych prowadzone jest w Polsce dwoma sposobami: przy użyciu konwencjonalnych ciągników i maszyn rolniczych, na obszarach łąk o zmienno wodnym charakterze (Park Narodowy Ujście Warty, Woliński Park Narodowy, Krajobrazowy Park Dolnej Odry) oraz zmodyfikowanych ratraków (z przystosowanymi zespołami roboczymi) na łąkach bagiennych i pobagiennych (Biebrzański Park Narodowy).

W pierwszym z nich do wykaszania i usuwania biomasy używane są powszechnie stosowane ciągniki rolnicze i maszyny, takie jak kosiarki listwowe i rotacyjne oraz prasy zwijające. W przypadku, gdy poziom wody na obszarach chronionych wzrośnie, a tym samym warunki terenowe uniemożliwią poruszanie się konwencjonalnych maszyn – wszelkie prace ochronne zostają wstrzymane. Konsekwencją tego jest intensywny wzrost roślin powodujących ich niepożądaną sukcesję.

W drugim ze sposobów wykaszania i usuwania ściętej biomasy - zabiegi realizowane są jedno- lub dwuetapowo przy wykorzystaniu zmodyfikowanych ratraków z przystosowanym osprzętem. W trakcie zabiegu jednoetapowego - ścinanie trzciny, traw i turzyc realizowane jest przy użyciu zmodyfikowanego frezu do śniegu o szerokości roboczej 4 m, działającego podobnie jak kosiarka bijakowa. Ścięta i rozdrobniona masa zielona odbierana jest z gardzieli za zespołem tnącym i transportowana pneumatycznie do skrzyni ładunkowej przyczepy zbierającej. Umieszczona jest ona na beznapędowym podwoziu ratraka, ciągniętym przez jednostkę napędową – ratrak z przyrządem tnącym (rys. 1).



Rys. 1. Ratrak z przyczepą zbierającą

Podczas dwuetapowego prowadzenia zabiegów ochronnych - w pierwszym etapie koszone są trzcina, trawy i turzyce oraz układany jest pokos za maszyną. Zabieg ten realizowany jest przez zmodyfikowany ratrak z przystosowanym przyrządem tnącym kombajnu zbożowego. W trakcie drugiego etapu ułożony pokos zostaje zebrany przez prasę zwijającą umieszczoną na beznapędowym podwoziu ratraka ciągnionym przez jednostkę napędową (ratrak). Uformowane bele są pozostawione na skoszonym terenie, a ich transport do miejsca składowania lub przetworzenia odbywa się najczęściej w okresie jesiennym i zimowym.

Na podstawie obserwacji oraz opinii osób sprawujących nadzór nad prowadzeniem zabiegów ochronnych, można stwierdzić, że skuteczność i jakość prowadzonych zabiegów przy użyciu ratraków budzi szereg zastrzeżeń. Ponadto częste awarie maszyn połączone z wyciekami oleju do gruntu, powodują istotne zagrożenie dla chronionych obszarów. Innym niebezpiecznym zjawiskiem są pożary ratraków - prowizorycznie przystosowanych i naprawianych we własnym zakresie przez rolników. W okresie kilku miesięcy wystąpiły trzy pożary takich ratraków, co spowodowało skażenie środowiska oraz zniszczenie wierzchniej warstwy gruntu i roślinności podczas szeregu prób ich holowania a po ugrzęźnięciu (do wysokości lusterek bocznych kabiny) ich wyciągania z terenu podmokłych łąk torfiastych.

3. KONCEPCJA TECHNOLOGII PROWADZENIA ZABIEGÓW OCHRONNYCH

Opracowana koncepcja technologii prowadzenia zabiegów ochronnych przewiduje dwa warianty robocze.

W pierwszym wariantcie - wszystkie zabiegi ochronne prowadzone będą pojazdem, który porusza się po podmokłym gruncie. Prace te polegać będą na wykaszaniu trzciny, traw i turzyc za pomocą kosiarki zawieszanej czołowo na maszynie. Ścięta masa zielona zostanie następnie zebrana, rozdrobniona i przetransportowana do skrzyni ładunkowej maszyny/pojazdu.

W wariantcie drugim - zabiegi ochronne będą prowadzone pojazdem, który porusza się po ciekach wodnych (kanały, jeziora, rzeki) przy użyciu kosiarki listwowej czołowej (cięcie podwodne) i kosiarki bocznej do wykaszania trzciny i wodorostów rosnących wzdłuż linii brzegowej. Na przyrząd tnący kosiarki czołowej składają się dwie listwy usytuowane prostopadle do siebie w kształcie odwróconej litery T.

Zasadniczo, oba warianty zabiegów nie przewidują usuwania niepożądanych zakrzaczeń i zadrzewień, gdyż stwierdzono, że w stosunkowo prosty sposób mogą one być usunięte przy użyciu narzędzi ręcznych w okresie jesienno-zimowym. Nie mniej, w razie konieczności, narzędzia przewidziane w wyposażeniu pojazdu pozwolą na wycięcie niewielkich pojedynczych krzaków czy kilkuletnich drzewek.

4. KONCEPCJA POJAZDU DLA TERENÓW WODNO-BŁOTNYCH

Analizy stosowanych technologii wskazywały na konieczność starannego wyboru takiego pojazdu i współpracujących z nim narzędzi, by ograniczyć do racjonalnego minimum jego negatywne oddziaływanie na środowisko naturalne. Stwierdzono celowość opracowania specjalizowanego pojazdu wykorzystującego technikę poduszki, który

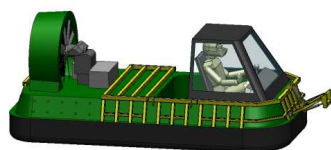
podczas przelotu ponad gruntem jak i ponad wodą, bagnem itp. będzie w bardzo niewielkim stopniu oddziaływał na powierzchnię gruntu. Poruszający się ponad powierzchnią terenu poduszkowiec w odróżnieniu od pojazdów kołowych, które na grząskim gruncie żłobią głębokie koleiny, nie pozostawia śladów na podłożu. Pojazdy gąsienicowe oprócz tego, że pozostawiają wyraźne ślady gąsienicy na gruncie to podczas wykonywania manewrów skrętu czy zawracania bardzo często niszczą podłoże i miazdzą roślinność.

Prace związane z przygotowaniem wstępnej koncepcji pojazdu poduszkowcowego pozwoliły na budowę wirtualnych modeli pojazdu z różnego typu narzędziami oraz umożliwiły dokonanie zgłoszenia patentowego pojazdu Poduszkowcowego Nośnika Narzędzi [2], nazwanego tak przez analogię do pojazdów samochodowych przystosowanych do utrzymania zieleni wzdłuż dróg i autostrad.

Poduszkowcwy Nośnik Narzędzi (PNN) przeznaczony jest do prowadzenia zabiegów ochronnych na obszarach wodno-błotnych, ze szczególnym uwzględnieniem terenów chronionych, takich jak parki narodowe i krajobrazowe oraz obszary Natura 2000. Zasadniczą cechą nowego pojazdu jest to, że jego burty i pokład są przystosowane do mocowania typowych narzędzi przy użyciu specjalnych uchwytów i adapterów. PNN jest wyposażony w silnik, który napędza śmigło główne (ruch postępowy, poduszka powietrzna) oraz zespół napędu hydraulicznego dla maszyn i narzędzi montowanych do kadłuba. Klimatyzowana kabina została zaprojektowana tak, by chronić pilota/operatora PNN przed wpływem zmiennych warunków atmosferycznych w okresie całego roku, zwłaszcza chronić przed nadmierną temperaturą, zapyleniem i hałasem z silników, śmigła głównego, wentylatora do wytwarzania poduszki powietrznej oraz pracujących narzędzi, natomiast specjalizowany fotel przed wpływem drgań oddziałujących na operatora podczas wielogodzinnej pracy w trudnym terenie.

4.1 Budowa wstępnych wirtualnych modeli PNN

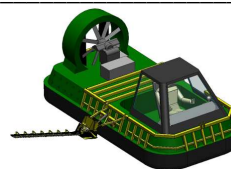
Wstępne wirtualne modele PNN zakładały zastosowanie do napędu jednego tylko silnika. Przeprowadzona symulacja oraz analiza rozkładu mas i nośności kadłuba wskazywały na potrzebę starannego rozłożenia mas, w celu zapewnienia właściwej pracy poduszki powietrznej wytwarzanej pod kadłubem pojazdu.



Rys. 2. PNN – miejsca mocowania narzędzi zaznaczono kolorem żółtym



Rys. 3. PNN z kosiarką czołową do koszenia z gruntu



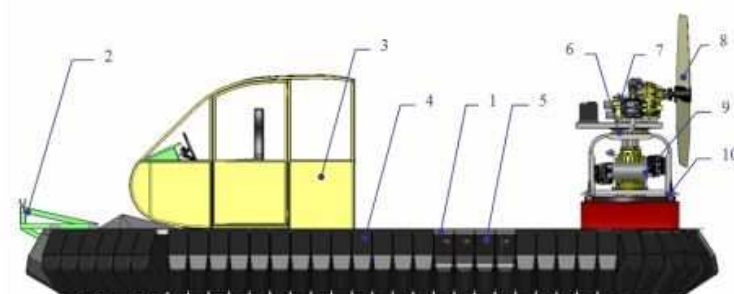
Rys. 4. PNN z kosiarką czołową do koszenia roślinności podwodnej Rys. 5. PNN z kosiarką boczną do koszenia z wody skarp i brzegów akwenów

W miarę postępu prac symulacyjnych analizowano także inne możliwości zabudowy kadłuba tak, by zapewnić lepsze zrównoważenie mas: kabiny, niezbędnego wyposażenia, a także narzędzi mocowanych do kadłuba PNN. W wyniku tych prac dokonano kolejnych zgłoszeń patentowych [3,4], które dotyczyły nowej opcji zabudowy silnika do wytwarzania poduszki powietrznej i silnika napędu śmigła głównego oraz dotyczyły nowego sposobu usytuowania pompy hydraulicznej i zbiornika obwodu hydraulicznego bezpośrednio pod wentylatorem do wytwarzania poduszki powietrznej. Takie usytuowanie zbiornika powinno wystarczająco efektywnie schładzać olej w całym obwodzie hydraulicznym, którym zasilany jest wybrany moduł narzędziowy. W ten sposób można zrezygnować z dodatkowych zbiorników i chłodnic w obwodzie hydraulicznym.

4.2 Budowa nowych wirtualnych modeli PNN

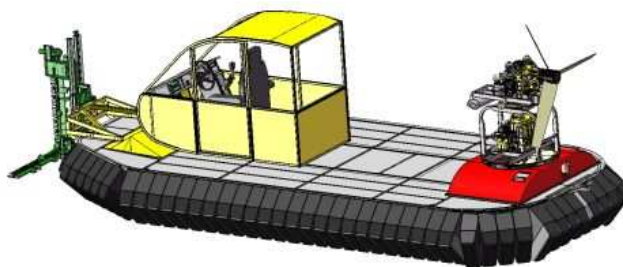
Na podstawie obu zgłoszeń patentowych opracowano nowe modele geometryczne CAD 3D Poduszkowcowego Nośnika Narzędzi. Na ich podstawie zbudowano modele obliczeniowe, które służyły do wyznaczania parametrów statyczno-kinematycznych i wytrzymałościowych. W pierwszej kolejności opracowano modele wirtualne (MBS) elementów osprzętu modułów maszyny/pojazdu oraz poddano badaniom symulacyjnym. Na podstawie modeli geometrycznych opracowano model topologiczny konstrukcji z wykorzystaniem elementów skończonych. Po określeniu warunków pracy oraz uwzględnieniu wyznaczonych wcześniej obciążeń przeprowadzono obliczenia metodą elementów skończonych (MES) oraz stanu wytrzymałości konstrukcji

Wirtualne modele 3D modułów PNN wykonano na podstawie opracowanej roboczej dokumentacji konstrukcyjnej oraz równocześnie budowanych modeli rzeczywistych PNN. Model rzeczywisty PNN będzie w pełni funkcjonalnym pojazdem, będzie służył do prowadzenia prac związanych z koszeniem, usuwaniem zakrzaczeń i zadrzewień. Wyposażony będzie w kabinę operatora oraz zespoły narzędzi, które w zależności od potrzeb będą każdorazowo montowane na Układzie Zawieszenia Narzędzi (UZN). Konstrukcja UZN powinna umożliwić zamontowanie zakupionych i zmodyfikowanych narzędzi w taki sposób, by mogły bezpiecznie i efektywnie realizować zabiegi technologiczne. W terenie, podczas przejazdów transportowych narzędzie powinno być przewożone w stanie złożonym, natomiast po dotarciu na miejsce pracy powinno być w miarę szybko i w bezpieczny sposób rozłożone do pozycji roboczej.

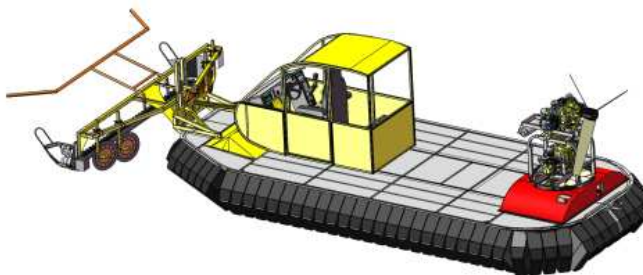


Rys. 6. Wirtualny model nowej wersji Poduszkowcowego Nośnika Narzędzi:

1 - kadłub PNN, 2 - układ zawieszenia narzędzi, 3 - kabina operatora, 4 - segmentowe kurtyny powietrzne, 5 - dysze kanałów powietrznych, 6 - obrotnica, 7 - silnik napędu śmigła ruchu postępowego, 8 - śmigło ruchu postępowego, 9 - silnik zespołu wytwarzającego poduszkę powietrzną i napędu pomp układu hydraulicznego, 10 - rama silników układu napędowego



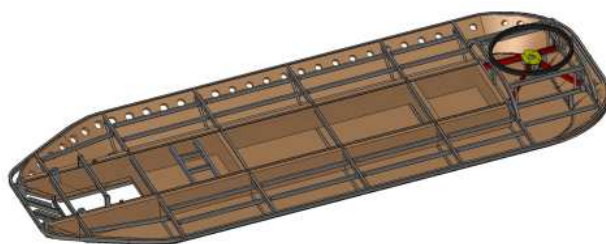
Rys. 7. PNN z kosiarką do cięcia podwodnego w pozycji roboczej



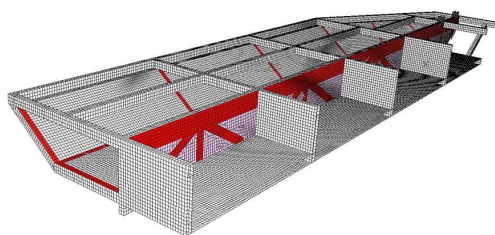
Rys. 8. PNN z kosiarką czołową do cięcia traw, turzyc, trzciny

Analizy kinematyczne przeprowadzono w oparciu o modele bryłowe na podstawie, których możliwe jest m. in. dokładne określenie masy i momentów bezwładności zespołów pojazdu [5]. Możliwe jest ponadto na etapie budowy modeli bryłowych sprawdzenie poprawności wykonania projektu w zakresie współpracy zespołów oraz badania możliwości ich kolizji.

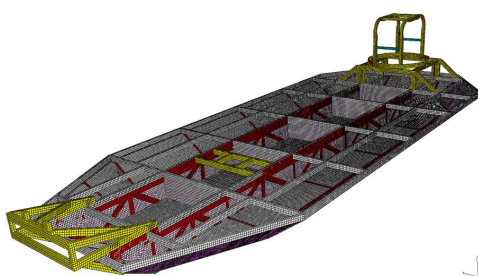
Przykłady zbudowanych modeli PNN przedstawiono poniżej – geometryczny model bryłowych CAD 3D (rys. 9), model topologiczny za pomocą siatki elementów skończonych (rys. 10). Modele bryłowe zbudowano w systemie SolidWorks [6], w którym przeprowadzono analizy kinematyczne. Modele topologiczne zbudowano w systemie I-DEAS [7], w którym prowadzono obliczenia wytrzymałościowe metodą elementów skończonych. Przykład modelu dyskretnego przedstawiono na rysunku 11.



Rys. 9. Geometryczny model bryłowy ramy PNN wypełnionej pianką i pokrytej laminatem



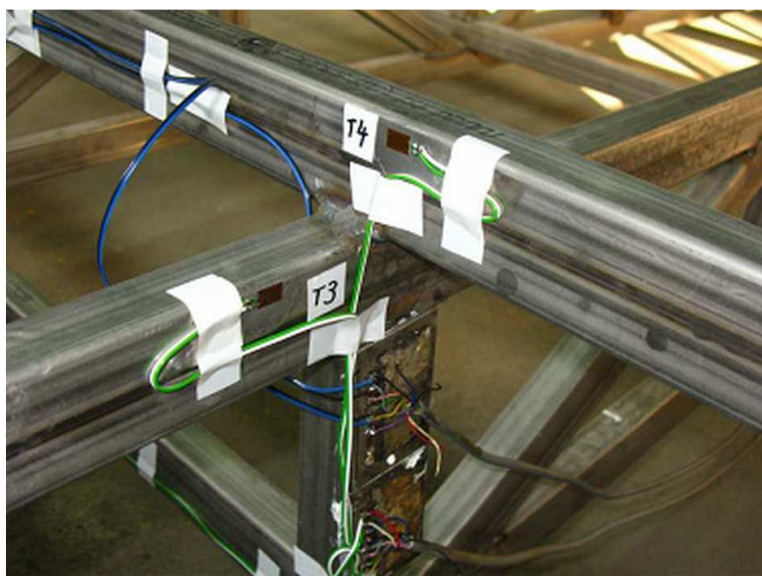
Rys. 10. Model topologiczny za pomocą siatki elementów skończonych kadłuba PNN, kratownicy ramy wypełnionej pianką i pokrytej laminatem



Rys. 11. Model dyskretny kadłuba PNN (elementy skończone pokładu ukryto w celu przedstawienia wewnętrznych struktur)

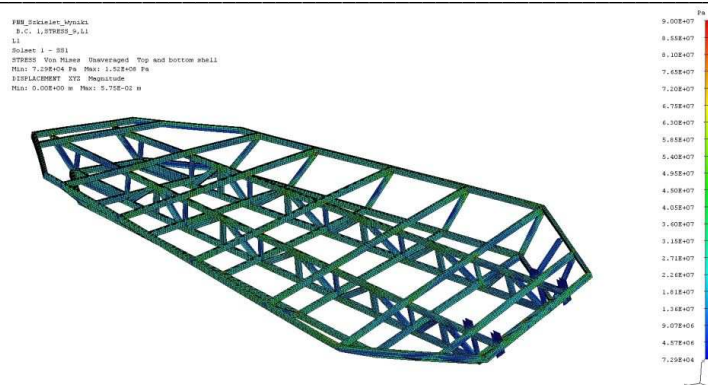
5. BADANIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE KADŁUBA PNN

Podczas budowy rzeczywistego modelu kadłuba PNN konieczne było wcześniejsze rozmieszczenie czujników tensometrycznych na kratownicy kadłuba jeszcze przed wypełnieniem pianką przestrzeni między elementami nośnymi kratownicy oraz przed naniesieniem laminatu na poszycie i wewnętrzne elementy kadłuba. Przeprowadzono pomiary poziomu naprężeń w wybranych węzłach kratownicy oraz kadłuba przed oraz po jego zalaminowaniu. Badania te pozwoliły ocenić poziom naprężeń w ramie przed i po laminowaniu jak również na weryfikację wyników otrzymanych w trakcie badań symulacyjnych. Przykładowy sposób usytuowania punktów (T3, T4) pokazany został na rysunku 12.



Rys. 12. Przykładowe rozmieszczenie czujników tensometrycznych na ramie PNN

W celu weryfikacji modelu rzeczywistego kadłuba PNN, który ma służyć wielowariantowej komputerowej analizie konstrukcji, przeprowadzono porównanie pomiarów laboratoryjnych (przeprowadzonych na ramie bez laminatu jak i z laminatem) z modelem obliczeniowym. W tym celu utworzono 27 kombinacji warunków brzegowych, w których zawarte były cztery różne sposoby utwierdzenia modeli obliczeniowych i trzynaście przypadków obciążenia (rys. 13). Przyjęte warunki brzegowe odpowiadały zarówno warunkom badań pomiarów laboratoryjnych, jak również najbardziej niekorzystnym przyjętym do analiz warunkom eksploatacyjnym.



Rys. 13. Naprężenia zredukowane dla jednego z przypadków obliczeniowych ramy kadłuba Poduszkowcowego Nośnika Narzędzi

6. PODSUMOWANIE BADAŃ

Na podstawie wyników MES naprężeń występujących w 14 węzłach modelu obliczeniowego, poddawanego skręcaniu i zginaniu jak i na podstawie danych zarejestrowanych podczas badań tensometrycznych można stwierdzić, że udało się uzyskać zadowalającą zbieżność wyników.

W przypadku wyników naprężeń otrzymanych z badań tensometrycznych i symulacyjnych kadłuba PNN stwierdzono pewne rozbieżności wartości naprężeń głównych, które mogą wynikać z następujących przyczyn:

- wybrane miejsca odczytu wartości naprężeń w wirtualnych modelach tylko w przybliżony sposób odpowiadały miejscom usytuowania tensometrów,
- modelowanie kadłuba pokrytego laminatem wykonano w sposób wyidealizowany przyjmując na całej powierzchni laminat o grubości 2 mm, tymczasem w rzeczywistości wielkość ta była zróżnicowana.

Konstrukcja nośna kadłuba Poduszkowcowego Nośnika Narzędzi spełnia wymagania wytrzymałościowe dla przyjętego kryterium naprężeń dopuszczalnych statycznych, w zakresie przebadanych symulacyjnie przypadków obciążeń eksploatacyjnych statycznych.

Z uwagi na unikalne rozwiązanie konstrukcyjne i przeznaczenie PNN nie dysponujemy jeszcze niezbędnymi informacjami o jego rzeczywistych warunkach pracy w tak trudnych i zróżnicowanych terenach (cieki wodne, tereny bagienne, podmokłe łąki itp.). Przypadki obciążeń przyjęte do analizy MES są jedynie przybliżone i będą sprawdzane podczas badań modelu rzeczywistego (rys. 14) w dalszych etapach realizacji projektu.



Rys. 14. Model rzeczywisty Poduszkowcowego Nośnika Narzędzi z kosą czołową, podczas pierwszych eksploatacyjnych prób terenowych

7. LITERATURA

- [1] Zembrowski K. : Projekt Rozwojowy nr N R 03 0077 06/2009 pt.: Zintegrowana technologia ochrony obszarów wodno-błotnych przed sukcesją roślinności powodującej degradację środowiska przyrodniczego – dedykowana do realizacji przez wysoce mobilną o modułowej zabudowie maszynę.
- [2] Dubowski A., Grzelak J., Pawłowski T., Rakowicz A., Weymann S., Zembrowski K.: Poduszkowcowy nośnik narzędzi do prowadzenia zabiegów ochronnych na terenach wodno błotnych, zwłaszcza parków narodowych i krajobrazowych Zgłoszenie PIMR nr P.391292 [WIPO ST 10/C PL391292].
- [3] Dubowski A. , Adamowicz J., Zembrowski K., Weymann S., Rakowicz A.: System mocowania silnika głównego w poduszkowcach, zwłaszcza w rolniczym poduszkowcowym nośniku narzędzi. Patent P.395327 [WIPO ST 10/C PL395327].
- [4] Dubowski A., Adamowicz J., Zembrowski K., Rakowicz A., Karbowski R.: System zabudowy pompy hydraulicznej i zbiornika obwodu hydraulicznego modułów narzędziowych w poduszkowcach, zwłaszcza w rolniczym poduszkowcowym nośniku narzędzi. Patent P395325 [WIPO ST 10/C PL395325].
- [5] Mac J., Zbytek Z.: Model wirtualny i symulacja komputerowa zachowań kinematycznych areatora przyzm materiałów organicznych. Międzynarodowa Konferencja n.t. „MODELOWANIE I PROJEKTOWANIE MASZYN ROLNICZYCH Z ZASTOSOWANIEM WSPOMAGANIA KOMPUTEROWEGO”. Poznań, 12 kwietnia 2002 r. Publ: Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, Poznań, 2002, Vol (47) (3), str. 71-78.
- [6] SolidWorks - <http://www.solidworks.com/>
- [7] I-DEAS - http://www.plm.automation.siemens.com/pl_pl/