

Michał Napierała¹**Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu**

Ocena i dobór optymalnych parametrów środków transportowych dla efektywnego zbioru słomy

Wstęp

Rosnące zobowiązania Polski wobec Unii Europejskiej narzucające coraz większy udział Odnawialnych Źródeł Energii (OZE) w ogólnym bilansie produkcji energii (7,5% do 2010 r. i 15% do 2020 r.) a także ograniczenia nałożone przez rozporządzenie Ministra Gospodarki z 14 sierpnia 2008 r. dotyczące wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne, wymusiły potrzebę zainteresowania biomasą pozyskiwaną z rolnictwa. Wzrost zapotrzebowania na paliwa agro, a w szczególności na słomę jako głównego źródła paliw stałych, spowodował rozwój sektora energetycznego opartego na biomasie. Specyficzne właściwości tego surowca nastrożają jednak wiele problemów wynikających m.in. z konieczności przetworzenia (zagęszczenia) słomy w bele, a także dobór odpowiedniego środka transportowego niezbędnego do efektywnego przewozu. W artykule przeanalizowano parametry wybranych przyczep platformowych pod kątem optymalnego wykorzystania ich ładowności oraz określono efektywność wykorzystania dostępnej przestrzeni transportowej danego środka na podstawie wielkości i kształtu przewożonych bel.

Cel, zakres i metodyka

Wybór najlepszego sposobu wykorzystania środka transportowego wymaga analiz wielu możliwych wariantów. Przy rozwiązywaniu praktycznych zadań, wynikających z procesu kierowania transportem rolniczym, mogą być stosowane różne kryteria efektywności [1]. Niektóre z nich są pochodną głównych parametrów środków transportowych, takich jak: dopuszczalna ładowność środka, długość oraz szerokość skrzyni ładunkowej, czy jej wysokość od podłoża. Od nich zależeć więc będzie ilość jednorazowo przewiezionych ładunków, czas załadunku, a co za tym idzie minimalny czas trwania procesu logistycznego. W tabeli 1 przedstawiono ważniejsze parametry wybranych przyczep, na podstawie których przeprowadzono dalsze analizy.

¹ mgr inż. Michał Napierała Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Melioracji, Kształtowania Środowiska i Geodezji

Tab. 1. Podstawowe parametry przyczep platformowych do transportu słomy

LP.	Producent	TYP	Ładowność Q [kg]	Maksymalna długość skrzyni Lmax [mm]	Szerokość platformy Sł [mm]	Wysokość od podłoża h [mm]
1	WARFARMA	T-665	7000	6260	2440	1060
2	PRONAR	T022	7360	7270	2350	1100
3	METALTECH	PBD 8	8000	7450	2450	1330
4	ZASŁAW	D-744	8300	7200	2480	1140
5	PRONAR	T024	8900	7170	2350	1110
6	WIELTON	PRS-2S/S9	9000	7855	2425	1190
7	PRONAR	T025	9040	7270	2350	1180
8	METALFACH	T014/1	9100	7300	2500	1120
9	CYNKOMET	T608	10000	11320	2416	1130
10	METALTECH	PB11	11000	10750	2450	1330
11	PRONAR	T023	11300	10770	2350	1100
12	METALFACH	T009/1	11300	11050	2500	1120
13	PRONAR	T026	13720	10770	2350	1180
14	WIELTON	PRS-3S/S14	14000	10755	2425	1190
15	ZASŁAW	D-745	14300	11294	2480	1140
16	METALTECH	PB16	16000	10750	2450	1330

Źródło: Opracowanie własne na podstawie ogólnie dostępnych danych producentów

Podstawą doboru środka transportowego jest rozeznanie cech ładunku wpływających na optymalne wypełnienie przestrzeni ładunkowej. W przypadku transportu słomy warunek ten jest zależny od:

- rodzaju ładunku (bele cylindryczne lub prostopadłościennne);
- średnicy S_c lub wysokości W_p i długości D_p ładunku (m);
- szerokości ładunku S (m);
- stopnia zgniotu prasy (kg/m^3);

W oparciu o te dane określony został wskaźnik nośności (wykorzystania ładowności) C (1) oraz stopień wykorzystania przestrzeni ładunkowej (wskaźnik wykorzystania objętości) B (2). Obie miary służą do oceny możliwości efektywnego obciążenia platformy transportowej.

$$C = \frac{q \cdot n}{Q} \quad (1)$$

gdzie:

C -wskaźnik nośności;

q - masa pojedynczego ładunku (kg);

n - ilość ładunków (bel) o masie q (szt);

Q - ładowność (kg);

$$B = \frac{V_j \cdot n}{V_c} \quad (2)$$

B- wskaźnik wykorzystania przestrzeni ładunkowej;

V_j - objętość pojedynczego ładunku (m^3);

n- ilość ładunków (bel) o objętości V_j (szt);

V_c - całkowita objętość ładunkowa skrzyni (m^3);

Przy obliczeniach C jak i B należy przyjąć zasadę że: $n \rightarrow n_{min}$, a $n \in \mathbb{N}$. W ten sposób określona zostanie najmniejsza ilość bel n_{min} , pozwalająca optymalnie wypełnić dostępną przestrzeń ładunkową, a tym samym zmniejszyć ilość koniecznych cykli ładunkowych. Dzięki temu możliwe jest zwiększenie wydajności całego procesu przy wykorzystaniu tego samego środka przewozowego.

Aby określić najmniejszą ilość bel, konieczne jest obliczenie maksymalnej średnicy bel cylindrycznych S_{cmax} , (3) lub w przypadku bel prostopadłościennych, ich wysokości W_{pmax} (2).

$$S_{cmax} = \frac{(4-h)}{2(\sqrt{3}+2)} \quad (3)$$

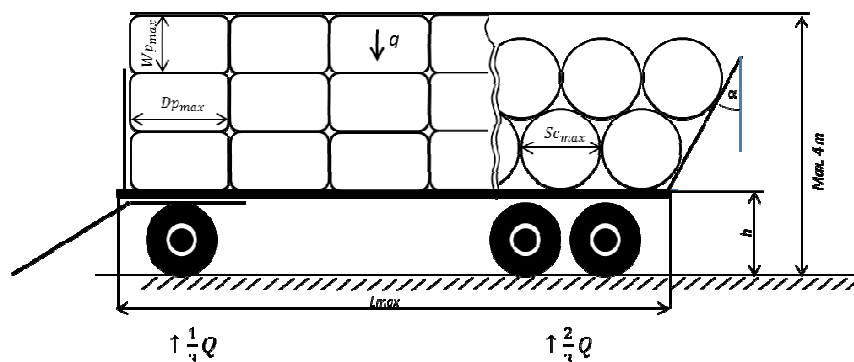
$$W_{pmax} = \frac{(4-h)}{3} \quad (4)$$

S_{cmax} -maksymalna średnica beli cylindrycznej (m);

W_{pmax} -maksymalna wysokość beli prostopadłościennnej (m);

h- wysokość platformy przyczepy (m);

W metodyce obliczeń (3) i (4) przyjęto założenia zgodne z warunkiem $n \rightarrow n_{min}$. Na tej podstawie ustalono, że na czas transportu ilość bel ułożonych jedna na drugiej, nie może przekroczyć 2 w przypadku bel cylindrycznych oraz 3 w przypadku bel prostopadłościennych. Założenia te wynikają m in. z ograniczeń czasowych (im mniej bel, tym krótszy całkowity czas załadunku), technicznych (konstrukcyjnych) jak również i norm dotyczących transportu drogowego [4]. Dla zobrazowania problemu sposób ułożenia ładunku na przyczepie przedstawiono na rysunku 1, uwzględniając jednocześnie ww. ograniczenia.



Rys. 1. Szkic sposobu załadunku środka transportowego oraz ograniczenia z nim związane.

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku przewozu ładunku, którego wymiary określono za pomocą wzoru (3) najbardziej racjonalnym wariantem transportu będzie platforma, której długość jest równa wielokrotności maksymalnej średnicy S_{Cmax} . Należy mieć tutaj na uwadze fakt, że w przypadku transportu bel cylindrycznych tylna jak i przednia ściana oporowa przyczepy zostaje zwykle pochylona o kąt 30° . W ten sposób przestrzeń ładunkowa wydłuża się dodatkowo o całą średnicę beli. Dzięki temu w drugiej warstwie uzyskuje się miejsce jeszcze dla 4 bel. We wzorze (5) przedstawiono sposób obliczania optymalnej średnicy S_{opt} .

$$S_{opt} = \frac{(L + tg\alpha \cdot S_{Cmax})}{S_{Cmax}} \quad (5)$$

S_{opt} - optymalna średnica beli cylindrycznej (m);

S_{Cmax} - maksymalna średnica beli cylindrycznej (m);

L- długość platformy transportowej (m);

$tg(\alpha)$ -tangens kąta jaki tworzy pochylona ściana w wyniku załadunku drugiej warstwy bel ($^\circ$);

Natomiast dla bel prostopadłościennych optymalne wykorzystanie dostępnej przestrzeni ładunkowej zależy będzie nie tylko od wartości (4) ale od maksymalnej długości samego materiału Dp_{max} , przy założeniu, że jego wielokrotność będzie stanowił długość przyczepy L. Zależność tą można opisać za pomocą równania (6).

$$Dp_{opt} = \frac{L}{Dp_{max}} \Leftrightarrow Dp_{max} = n_{min} \quad (6)$$

Dp_{opt} optymalna długość beli (m);

Dp_{max} - maksymalna długość beli (m);

L- długość platformy ładunkowej (m);

Biorąc pod uwagę ww. zależności należy zauważyć, że wybór najbardziej racjonalnego środka przewozowego zależy będzie od maszyny poprzedzającej transport, czyli rodzaju zastosowanej prasy. Od niej bowiem zależy będzie w głównej mierze maksymalne wykorzystanie ładowności oraz przestrzeni ładunkowej. W pracy pod uwagę wzięto dwa sposoby zagęszczania słomy. Są one efektem zastosowania różnego typu pras tj. zwijającej (rolującej) oraz prasy tłokowej (wysokiego zgniotu) wielkogabarytowej. Oba typy maszyn ze względu na swoją specyfikę formują bele o różnym kształcie, masie i wielkości. W tabeli 2 zestawiono parametry techniczne słomy w zależności od zastosowanych maszyn. W oparciu o te dane określono optymalne parametry bel dostosowując je do konkretnego rodzaju środka transportowego.

Tab. 2. Parametry transportowe bel w zależności od rodzaju zastosowanej prasy wiążącej

Technologia zbioru	Wymiary bel (Średnica x Szerokość) (W x S x D)* [m ²]	Masa usypowa [kg/m ³]	Średnia masa sprasowanej słomy [kg]**
Prasa zwijająca	0,6-2,0 x 1,2	90-150	31-376
	0,8-1,8 X 1,25	90-150	76-272
Prasa kostkująca*	0,8-1,3 x 0,8-1,2 x 2,7	160-180	293-716

wielkogabarytowa	0,7-1,0 x 1,2 x 0,5-3,0	160-180	71-612
------------------	-------------------------	---------	--------

**na podstawie średniej masy usypowej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie literatury [2], [3]

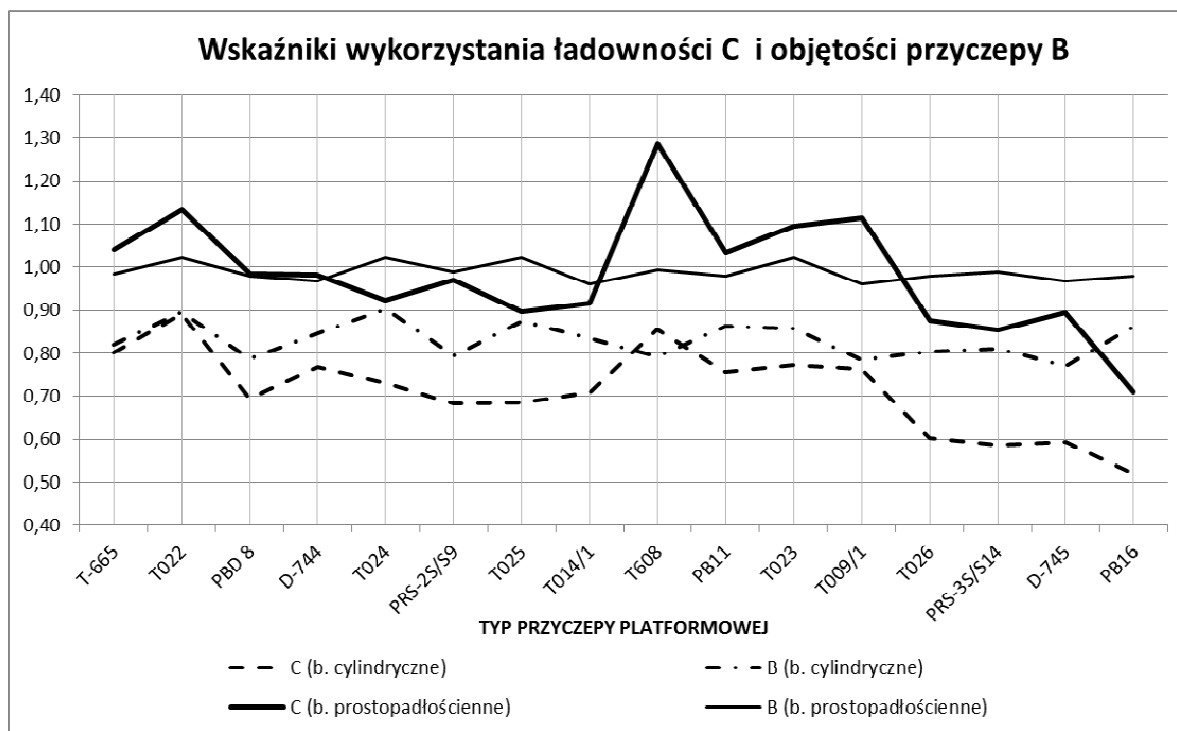
Wyniki

Transport biomasy rolniczej (w głównej mierze słomy) do energetyki, a właściwie jego efektywna ekonomika wpływa w znacznym stopniu na opłacalność dostaw. Stąd przy co raz większym promieniu rozwoju punktów spalania biomasy rolniczej optymalne wykorzystanie ładowności oraz dostępnej przestrzeni ładunkowej staje się przy tego rodzaju działalności kluczowym warunkiem zysku.

W pracy przeanalizowano podstawowe parametry 16 przyczep platformowych z pośród 7 czołowych producentów tych maszyn w Polsce. W oparciu o kształt, stopień zgniotu oraz wielkość przewożonego ładunku określono podstawowe wskaźniki logistyczne opisujące efektywność wykorzystania ładowności C oraz przestrzeni ładunkowej B. Dla celów obliczeniowych przyjęto na podstawie tabeli 2 średni poziom zagęszczenia ładunku. W zależności od rodzaju zastosowanej prasy wynosi on odpowiednio: 120 kg/m^3 dla pras rolujących oraz 165 kg/m^3 dla prostopadłościennych pras wielkogabarytowych. Wyniki przedstawiono na rysunku 2 szeregując typy poszczególnych przyczep wg ich wielkości, od najmniejszej do największej.

Analizując otrzymane dane logiczne wydaje się początkowe stwierdzenie, że transport bel prostopadłościennych będzie bardziej korzystny niż w przypadku przewozu bel cylindrycznych. W większości bowiem przypadków stopień wykorzystania dostępnej przestrzeni ładunkowej jest prawie że stuprocentowy. W wielu jednak sytuacjach transport tego typu ładunku jest niemożliwy ze względu na pewne ograniczenia. Dla 6 z 16 analizowanych przyczep platformowych, dopuszczalna ładowność środka transportowego była niewystarczająca w stosunku do przewożonego ładunku. W pozostałych natomiast przypadkach transport słomy odbywałby się w sposób efektywny tylko przy użyciu 3 z nich tj. PBD 8, D-744 oraz PRS 2S/S9. Pod tym względem najmniej ekonomiczny byłby transport przyczepą PB16.

W przypadku transportu bel cylindrycznych stopień wypełnienia dostępnej przestrzeni ładunkowej wahał się w granicach od 77% (D-745) aż do 90% (T022 i T024). Jeśli chodzi o wykorzystanie dopuszczalnej ładowności środka, to sytuacja przedstawia się następująco. Dla większości przypadków (9) wskaźnik nośności znajdował się w przedziale od 68% do 77%. Tylko w przypadku przyczepy PB16 wyniósł on zaledwie 52%. Najbardziej uzasadniony ekonomicznie transport odbywać się powinien za pomocą przyczep T022 (wskaźnik C i B na poziomie 89% i 90%) oraz T009/1 (wskaźnik C i B na poziomie 76% i 78%). W pozostałych przypadkach ze względu na zbyt duże różnice porównywanych wskaźników transport byłby mniej efektywny. W przypadku przyczepy PB16 różnice te okazały się znaczące i wyniosły aż 34%. Można przypuszczać, że ww. platforma transportowa została zaprojektowana dla ściśle określonych celów, a w tym przypadku prawdopodobnie dla gospodarstw mlecznych, gdzie konieczny jest transport ciężkich bel sianokiszonki.



Rys. 2. Wskaźniki opisujące efektywność wykorzystania możliwości wybranych środków transportowych.

Źródło: Opracowanie własne.

Wnioski

Analiza wybranych przyczep platformowych pozwoliła przedstawić pewne spostrzeżenia. W przypadku transportu bel cylindrycznych po drogach publicznych optymalna średnica beli wyniosła w zależności od rodzaju zastosowanego środka transportowego od 143 do 158 cm. Taki rozmiar bel pozwala w optymalny sposób zagospodarować dostępną przestrzeń ładunkową. W przypadku bel prostokątnych ich wysokość uzależniona jest od wysokości samej platformy i wyniosła w zależności od typu przyczepy od 86 do 98 cm. Natomiast optymalna długość transportowanych bel wahała się w granicach od 209 do 283 cm. Warto tutaj dodać, że już sama zmiana ogumienia przyczepy będzie miała wpływ na optymalny rozmiar beli.

Przy projektowaniu procesów logistycznych nawet na poziomie lokalnym wybór sposobu zbioru powinien być poprzedzony rzetelną analizą i wyborem odpowiedniego rodzaju maszyny prasującej. Od niej bowiem zależeć będzie sposób formowania oraz wielkość bel, a tym samym zapewnienie optymalnego obciążenia środka transportowego oraz wykorzystania dostępnej przestrzeni ładunkowej.

Należy jednak stwierdzić, że pomimo doboru odpowiedniego rozmiaru bel tylko w 5 na 16 analizowanych przypadków poziom wykorzystania ładowności przyczep platformowych w stosunku do ich przestrzeni ładunkowej był wykorzystany. W pozostałych sytuacjach natomiast okazało się, że dostępna ładowność przyczep w zależności od kształtu transportowanego materiału był niewystarczająca. Należy

dodać, że w niektórych przypadkach regulacja poziomu zgniotu w zastosowanej prasie przyczyni się do poprawy wskaźnika ładowności. Sposób ten ma jednak bardzo wąskie zastosowanie.

Streszczenie

Organizacja pracy środków transportowych zaangażowanych przy przewozach biomasy rolniczej, którą stanowi w głównej mierze różnego rodzaju słoma, stwarza określone problemy do rozwiązania. Dla racjonalnego wykorzystania środków transportowych konieczna jest minimalizacja ich liczby przy jednoczesnym zapewnieniu pełnej realizacji zadania przewozowego. Artykuł ma na celu przybliżyć problem związany z doбором odpowiedniego środka transportowego dla lokalnego zbioru słomy. W pracy zwrócono szczególną uwagę na zależność pomiędzy kształtem i wielkością sprasowanych bel, a rodzajem powszechnie stosowanych przyczep rolniczych do ich transportu.

Evaluation and selection of optimum means of transport parameters for effective crop straw

Abstract

Organization of work of vehicles engaged in transportation of agricultural biomass, which is largely different straw, creates certain problems to solve. For the rational use of means of transport is needed to minimize their number ensuring at once the full implementation of the task. The aims of this article is to explain the problem of selection of appropriate platform trailer for the local crop straw. The study take notes of the relationship between shape and size of compressed bales, and a kind of commonly used agricultural trailers to transport them.

Literatura

- [1]. Kuboń M., Cupiał M. Założenia wejściowe do programu optymalizującego dobór liczby środków transportowych dla gospodarstw rolniczych. *Inżynieria Rolnicza* 2005, 14: 1-7
- [2]. Denisiuk W. Brykiet/pellet ze słomy w energetyce. *Inżynieria Rolnicza* 2007, 9: 41-47
- [3]. Kowalczyk-Juško. Kompaktowanie się opłaca. *Agroenergetyka* 2010, 1: 12-15
- [4]. Tabela dopuszczalnych wymiarów pojazdów <http://www.psm.pl/informacje/wymiary.html>