

PROPOZYCJA PROGRAMU BADAŃ UKŁADÓW HAMULCOWYCH CIĄGNIKÓW ROLNICZYCH¹

Zbigniew Kamiński, Jarosław Czaban

Katedra Pojazdów Samochodowych, Politechnika Białostocka

Streszczenie. W pracy przedstawiono propozycję programu badań układów hamulcowych ciągników rolniczych, dostosowaną do nowych wymogów homologacji. Opisano warunki badań i wymagania dotyczące skuteczności hamowania ciągnika i działania kombinowanego powietrznego układu hamulcowego.

Słowa kluczowe: ciągnik rolniczy, układ hamulcowy, instalacja pneumatyczna, wymagania, badania

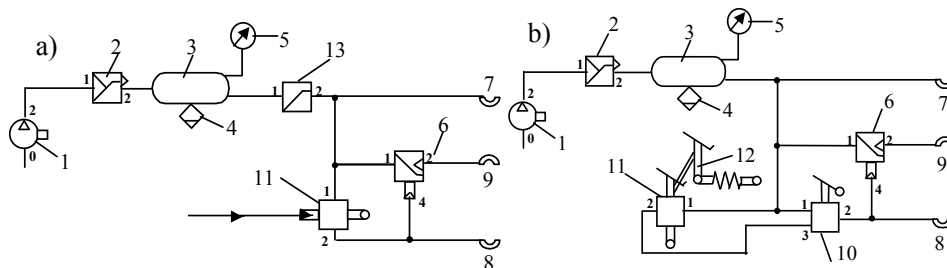
WSTĘP

Zwiększenie maksymalnej dopuszczalnej prędkości jazdy ciągników do 40 km/h dla kategorii T1-T4 (powyżej 40 km/h dla kategorii T5) spowodowało zmiany w przepisach dotyczących homologacji ciągników i przyczep rolniczych [Dyrektywa 2003/73/WE, Rozp. Min. Infrastruktury 2003]. Do najważniejszych zmian należy zaliczyć zwiększenie wartości wskaźnika hamowania ciągnika oraz wymóg stosowania dwuprzewodowego połączenia między ciągnikiem a pojazdem ciągniętym, wyposażonym w pneumatyczny układ hamulcowy. Przy czym nie jest zabronione dodatkowe wyposażenie ciągnika w połączenie jednoprzewodowe.

Na rys.1a pokazano schemat wysokociśnieniowej instalacji pneumatycznej, zawierającej zawór redukcyjny. Zawór hamulcowy przyczep (proporcjonalny) jest sterowany ciśnieniem z hydraulicznego układu hamulcowego kół tylnych ciągnika. Z kolei na rys.1b pokazano przykład instalacji niskociśnieniowej, w której zastosowano mechaniczne sterowanie zaworem hamulcowym przyczepy.

Obecnie dwuprzewodowym pneumatycznym układom hamulcowym pojazdów rolniczych stawia się takie same wymagania jak układom stosowanym w pojazdach samochodowych [Regulamin 13 ECE].

¹ Wykonano w ramach pracy własnej W/WM/7/03



Rys. 1. Schemat kombinowanego układu pneumatycznego ciągnika: a) wysokociśnieniowy, sterowany hydraulicznie, b) niskociśnieniowy, sterowany mechanicznie, 1 – sprężarka, 2 – regulator ciśnienia, 3 – zbiornik sprężonego powietrza, 4 – zawór odwadniający, 5 – manometr, 6 – zawór hamulcowy przyczepy (inwersyjny), 7 – złącze zasilające (czerwone), 8 – złącze sterujące (żółte), 9 – złącze sterująco-zasilające układu jedнопроводового (czarne), 10 – zawór ręczny sterowania przyczepą, 11 – zawór hamulcowy sterujący, 12 – układ mechaniczny, 13 – reduktor ciśnienia

Fig. 1 A draft of combined pneumatic system of tractor: a) high-pressure with hydraulic steering, b) low-pressure with mechanical steering, 1 – compressor, 2 – pressure regulator, 3 – compressed air tank, 4 – dehydrating valve, 5 – manometer, 6 – breaking valve of trailer (inversive), 7 – feeding junction (red), 8 – steering junction (yellow), 9 – steering-feeding junction of a single-wired system (black), 10 – hand valve of trailer-steering, 11 – steering-breaking valve, 12 – mechanical system, 13 – pressure reductor

Nowa sytuacja prawna w zakresie homologacji układów hamulcowych ciągników wymaga dostosowania istniejących i opracowania nowych procedur badań oceny zgodności ciągnika z odpowiednimi normami i wymaganiami. Opracowany w Katedrze Pojazdów Samochodowych Politechniki Białostockiej program badań układów hamulcowych ciągników obejmuje sprawdzenie:

- skuteczności zasadniczego i postojowego układu hamulcowego;
- zakresu pracy regulatora ciśnienia;
- wartości ciśnień na złączach;
- szczelności układu;
- wydatku sprężarki;
- pojemności zbiornika sprężonego powietrza;
- czasu reakcji układu.

SPRAWDZENIE SKUTECZNOŚCI DZIAŁANIA UKŁADU HAMULCOWEGO CIĄGNIKA

Rodzaje i warunki badań

Badania działania układu hamulcowego ciągnika obejmują:

- a) badanie zasadniczego układu hamulcowego (hamulca roboczego), w tym:
 - skuteczności działania hamulców zimnych – badanie typu 0;
 - skuteczności działania hamulców nagranych – badanie typu I;
- b) badanie skuteczności hamulca postojowego.

Skuteczność działania zasadniczego układu hamulcowego (hamulca roboczego) powinna być określana na podstawie drogi hamowania [Rozp. Min. Infrastruktury 2003] lub na podstawie średniej wartości w pełni rozwiniętego opóźnienia [Regulamin 13 ECE].

Droga hamowania (S), a właściwie droga zatrzymania, jest drogą przebytą przez pojazd od momentu, gdy kierowca zaczyna uruchamiać zespół sterujący układu hamulcowego, aż do chwili, gdy pojazd zatrzymuje się. Jako prędkość początkową (V_o) przyjmuje się prędkość w chwili uruchamiania zespołu sterującego, przy czym prędkość ta nie może być mniejsza niż 98% prędkości przypisanej dla danych badań (maksymalnej prędkości konstrukcyjnej V_{max}). Średnie w pełni rozwinięte opóźnienie (a_m) oblicza się w odniesieniu do drogi w przedziale od V_b do V_e [Regulamin 13 ECE]:

$$a_m = \frac{V_b^2 - V_e^2}{25,92(S_e - S_b)} \text{ m/s}^2$$

gdzie:

- V_o – prędkość początkowa pojazdu, km/h,
- V_b – prędkość pojazdu odpowiadająca $0,8V_o$, km/h,
- V_e – prędkość pojazdu odpowiadająca $0,1V_o$, km/h,
- S_b – droga przebyta między V_o i V_b , m,
- S_e – droga przebyta między V_o i V_e , m.

Prędkość i drogę należy określić używając przyrządów o dokładności $\pm 1\%$ przepisanej dla badań prędkości. Przy określaniu w pełni rozwiniętego opóźnienia innymi metodami niż pomiar prędkości i drogi dokładność pomiaru może wynosić $\pm 3\%$ a_m .

Miarą skuteczności hamulca postojowego jest wyrażona w procentach wartość pochyleń, przy którym pojazd jest utrzymany w bezruchu.

Podczas badań powinny być spełnione następujące warunki ogólne:

- pojazd powinien być obciążony zgodnie z wymaganiami dla danego rodzaju badań;
- siła przyłożona do elementu sterującego hamulca nie powinna przekraczać 600 N w przypadku sterowania nożnego (na pedale) i 400 N w przypadku sterowania ręcznego;
- droga powinna być równa, płaska i sucha o nawierzchni utwardzonej i dobrej przyczepności;
- przed rozpoczęciem pomiarów ogumienie powinno być nienagrzone i napompowane do ciśnienia odpowiadającego dopuszczalnej masie całkowitej z dokładnością $\pm 0,1$ bar przy ciśnieniu nominalnym nie większym niż 3 bar, z dokładnością $\pm 0,2$ bar przy ciśnieniu nominalnym powyżej 3 bar [Polska Norma PN-76/S-47000];
- układ hamulcowy powinien być wyregulowany wg wskazań producenta oraz zawieść elementy stosowane do hamowania pojazdów ciągniętych;
- wymagana skuteczność hamowania powinna być uzyskiwana bez blokowania kół hamowanych, bez nadmiernego odchylenia od prostoliniowego toru jazdy oraz bez nienormalnych drgań;
- badania należy prowadzić przy prędkości wiatru nieprzekraczającej 3 m/s i przy temperaturze otoczenia zawartej w granicach 5–30°C [Polska Norma PN-76/S-47000].

Podczas zwykłych badań skuteczności hamowania hamulców w stanie zimnym (badania typu 0) powinny być spełnione następujące warunki szczególne:

- hamulce muszą być przed badaniami zimne, co w praktyce oznacza spełnienie jednego z następujących warunków: temperatura tarczy hamulcowej lub zewnętrznej powierzchni bębna hamulcowego nie przekracza 100°C, temperatura obudowy hamulca całkowicie zabudowanego nie przekracza 50°C, hamulce nie były używane przez okres 1 h przed badaniem;
- podczas testu oś niehamowana powinna być odłączona od osi hamowanej w czasie jazdy, jeżeli jest to konstrukcyjnie możliwe;
- pojazd do badań powinien być obciążony do swej maksymalnej masy całkowitej zgodnie z przewidzianym przez producenta rozkładem obciążenia statycznego między osie;
- koła osi hamowanej powinny być wyposażone w opony o największej dopuszczalnej przez wytwórcę średnicy;
- test musi być przeprowadzony z maksymalną możliwą do osiągnięcia prędkością początkową przy odłączonym napędzie osi hamowanej (ustawieniu przekładni napędowej w pozycji neutralnej);
- badanie należy powtórzyć dla pojazdu nieobciążonego z kierowcą, aparaturą pomiarową i ewentualnie osobą asystującą w badaniach.
- Podczas badania hamulców nagrzanego (badanie typu I) powinny być spełnione następujące warunki szczególne:
- nagrzanie hamulców powinno być przeprowadzone w taki sposób, aby energia w nich tracona odpowiadała energii potrzebnej do utrzymania za pomocą hamulców stałej prędkości jazdy równej $80 \pm 5\%$ prędkości maksymalnej na odcinku 1 km drogi o spadku 10%;
- pomiar skuteczności działania hamulca roboczego nagrzanego po intensywnym użyciu należy wykonać bezpośrednio po zakończeniu nagrzewania, w takich samych warunkach jak przy teście 0, z przekładnią napędową w pozycji neutralnej.

Badanie skuteczności hamulca postojowego należy przeprowadzić przy hamulcach zimnych przez wjechanie pojazdu obciążonego na spadek i wzniesienie o określonym pochyleniu, a następnie włączenie hamulca postojowego.

Wymagania

Skuteczność działania hamulca roboczego zimnego w badaniach typu 0 jest osiągnięta, jeżeli jest spełniony warunek dla drogi zatrzymania:

$$S \leq S_{max} = 0,15 \cdot V_o + \frac{V_o^2}{116} \text{ m}$$

lub warunek dla średniego opóźnienia hamowania: $a \geq 4,5 \text{ m/s}^2$.

Skuteczność działania hamulca roboczego nagrzanego po badaniach typu I nie może być mniejsza niż 75% wymaganej skuteczności hamulców zimnych i nie mniejsza niż 60% skuteczności osiągniętej w badaniach typu 0.

Skuteczność działania hamulca postojowego powinna być taka, aby można było utrzymać unieruchomiony ciągnik o dopuszczalnej masie całkowitej na spadku i na wzniesieniu o nachyleniu 18%. Hamulec postojowy ciągnika przeznaczony do cią-

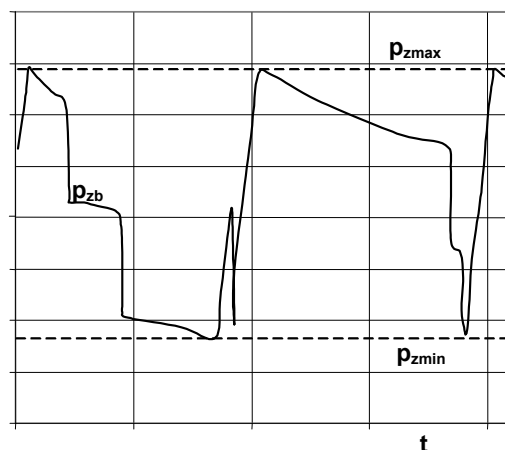
gnięcia przyczep powinien utrzymać zespół pojazdów, składający się z ciągnika o masie własnej i niezahamowanej przyczepy o masie równej masie ciągnika, lecz nie większej niż 3 t, na spadku i na wzniesieniu o nachyleniu 12%.

SPRAWDZENIE ZAKRESU PRACY REGULATORA CIŚNIENIA

Pracę regulatora ciśnienia ocenia się na podstawie zgodności wartości ciśnienia załączania i wyłączania, mierzonego w zbiorniku sprężonego powietrza ciągnika, z wartościami podanymi w jego charakterystyce technicznej (rys. 2). W przypadku instalacji niskociśnieniowej, w której nie występuje reduktor ciśnienia, zakres pracy regulatora powinien mieścić się w zakresie ciśnienia wymaganym dla instalacji pneumatycznej dwuprzewodowej.

Warunki badań:

- sprawdzenie wartości ciśnienia w zbiorniku sprężonego powietrza należy przeprowadzić przy pracującym silniku dla hamowania i odhamowania;
- do złącza sterującego instalacji dwuprzewodowej (lub do złącza instalacji jednoprzewodowej) jest podłączony zasobnik o pojemności $385 \pm 5 \text{ cm}^3$, stanowiący równoważnik pojemności przewodu sterującego przyczepy o długości 2,5 m i średnicy 13 mm.



Rys. 2. Przykładowy przebieg zmian ciśnienia w zbiorniku ciągnika podczas sprawdzania regulatora ciśnienia

Fig. 2. Sample run of the pressure changeability in a tractor's tank during a pressure regulator's check

SPRAWDZENIE WARTOŚCI CIŚNIEŃ NA ZŁĄCZACH

Ciśnienie na wejściu do układu dwuprzewodowego przyczepy powinno się mieścić w zakresie od 6,5 do 8,0 bar na złączu przewodu sterującego i zasilającego. Ciśnienie na wejściu do układu jednoprzewodowego powinno mieścić się w granicach od 5,8 do 6,3 bar.

Warunki badań:

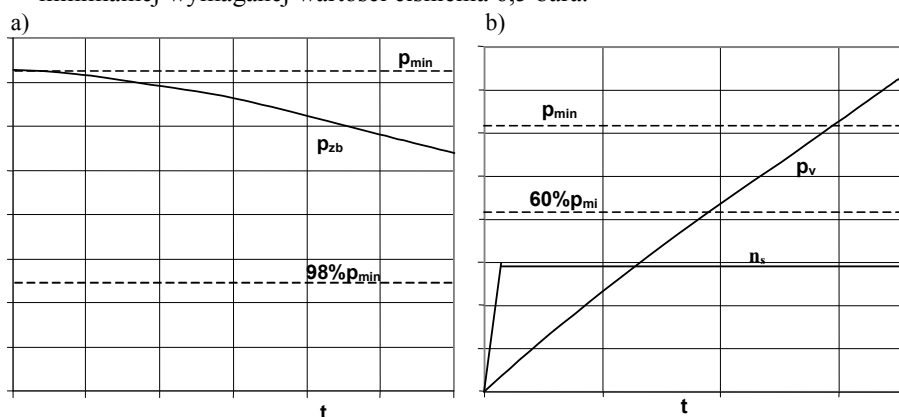
- sprawdzenie wartości ciśnień na złączu sterującym i zasilającym dla układu dwuprzewodowego oraz na złączu układu jednoprzewodowego należy prowadzić przy pracującym silniku;
- sprawdzanie układu dwuprzewodowego odbywa się przy maksymalnym wciśnięciu pedału hamulca zasadniczego (roboczego) ciągnika;
- sprawdzenie układu jednoprzewodowego wykonuje się przy zwolnionych hamulcach roboczych ciągnika.

SPRAWDZENIE SZCZELNOŚCI UKŁADU

Szczelność instalacji pneumatycznej ciągnika powinna być taka, aby w ciągu 10 min spadek ciśnienia nie był większy niż 2% ciśnienia początkowego (rys. 3a).

Warunki badań:

- sprawdzenie szczelności należy przeprowadzić w czasie postoju przy niepracującym silniku, mierząc ciśnienie na złączu zasilającym układu dwuprzewodowego przy zwolnionych hamulcach roboczych ciągnika;
- początkowe ciśnienie w instalacji pneumatycznej ciągnika powinno być równe minimalnej wymaganej wartości ciśnienia 6,5 bara.



Rys. 3. Zmiany ciśnienia: a) w złączu zasilającym układu dwuprzewodowego podczas sprawdzania szczelności instalacji, b) w zbiorniku zastępczym podczas sprawdzania wydatku sprężarki

Fig. 3. Pressure changes: a) in the feeding junction of a bi-wired system during, b) in the replacement tank during compressor expenditure check

SPRAWDZENIE WYDATKU SPRĘŻARKI

Wydatek sprężarki w ciągnikach przeznaczonych do ciągnięcia przyczep powinien być tak dobrany, aby czas potrzebny do napełnienia zbiornika zastępczego (imitującego układ hamulcowy przyczepy) wynosił nie więcej niż 360 s w zakresie ciśnień od 0 do 65% wartości ciśnienia minimalnego i 540 s w zakresie ciśnień od 0 do wartości ciśnie-

nia minimalnego (rys. 3b). W przypadku ciągnika nieprzystosowanego do ciągnięcia przyczep czasy te wynoszą odpowiednio 180 i 360 s.

Warunki badań:

- zasobniki energii (zbiorniki) dla wyposażenia pomocniczego powinny być odcięte;
- sprawdzenie należy przeprowadzić mierząc ciśnienie w podłączonym do przewodu zasilającego zbiornikiem zastępczym o pojemności V obliczonej w dm^3 wg wzoru:

$$V = 20 \cdot R / p$$

gdzie:

p – maksymalna wartość ciśnienia w przewodzie zasilającym, bar,
 R – dopuszczalna maksymalna masa przypadająca na wszystkie osie przyczepy, t;

- początkowe ciśnienie w układzie powinno wynosić 0 bar;
- czas napełniania zbiornika zastępczego należy mierzyć od chwili uruchomienia rozgrzanego silnika do chwili osiągnięcia wymaganych wartości ciśnienia przy maksymalnych obrotach silnika.

SPRAWDZENIE POJEMNOŚCI ZBIORNIKA SPRĘŻONEGO POWIETRZA

W ciągnikach przystosowanych do ciągnięcia przyczep pojemność zbiornika sprężonego powietrza powinna być taka, aby po 8 bezpośrednio po sobie następujących zahamowaniach i odhamowaniach spadek ciśnienia mierzonego w zbiorniku na końcu przewodu sterującego nie przekraczał 50% wartości ciśnienia po pierwszym zahamowaniu. Dla układów jedнопrzewodowych pojemność zbiornika powinna być taka, aby po pełnym jednorazowym zahamowaniu i odhamowaniu spadek ciśnienia w zbiorniku mierzony od wartości minimalnej nie był większy niż 0,5 bar [Polska Norma PN-90/R-36123].

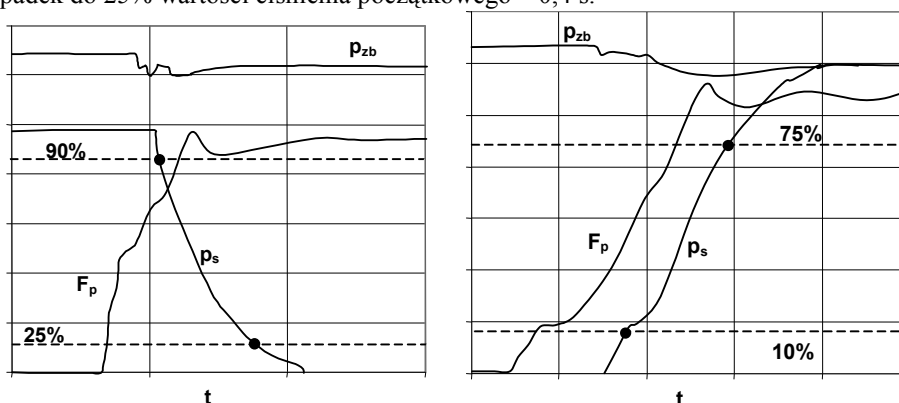
Warunki badań:

- zasilanie zbiornika instalacji hamulcowej było odcięte (wyłączony silnik);
- początkowe ciśnienie w zbiorniku ciągnika było równe wartości minimalnej;
- przy sprawdzaniu układu dwuprzewodowego miejscem pomiaru ciśnienia kontrolnego jest zbiornik sprężonego powietrza o pojemności 500 cm^3 , podłączony do przewodu sterującego i odpowietrzany przed każdym kolejnym zahamowaniem, przy zaślepionym przewodzie zasilającym;
- przy sprawdzaniu układu jedнопrzewodowego do złącza przyczepy jest podłączany przewód o długości 2,5 m i średnicy wewnętrznej 13 mm (imitujący pojemność przewodu zasilająco-sterującego przyczepy); w układach niskociśnieniowych miejscem pomiaru może być zbiornik sprężonego powietrza ciągnika, natomiast w układach wysokociśnieniowych miejscem pomiaru jest złącze zasilające instalacji dwuprzewodowej.

W układach kombinowanych pomiar ciśnienia na końcu przewodu podłączanego do złącza instalacji jedнопrzewodowej (jak zaleca PN-90/R-36123) nie ma sensu.

SPRAWDZENIE CZASU REAKCJI UKŁADU HAMULCOWEGO CIĄGNIKA

Czas reakcji jest zdefiniowany jako czas mierzony od chwili rozpoczęcia nacisku na pedał hamulca do momentu osiągnięcia na złączu przewodu sterującego określonej wartości ciśnienia asymptotycznego (rys. 4). Dla układu dwuprzewodowego czas osiągnięcia wartości 10% ciśnienia asymptotycznego nie powinien przekraczać 0,2 s, a czas osiągnięcia 75% wartości tego ciśnienia – 0,4 s. W układach jednoprzewodowych spadek ciśnienia do wartości 90% ciśnienia początkowego nie powinien przekraczać 0,2 s, a spadek do 25% wartości ciśnienia początkowego – 0,4 s.



Rys. 4. Przebiegi siły F_p na pedale hamulca, ciśnienia p_s w przewodzie sterującym oraz ciśnienia p_{zb} w zbiorniku podczas badania czasu reakcji układu jednoprzewodowego (z lewej) i dwuprzewodowego (z prawej)

Fig. 4. Runs of force F_p on the braking pedal, of pressure p_s in the steering wire and of pressure p_{zb} in the tank during tests on reaction time in a single wired system (on the left) and in a bi-wired systems (on the right)

Warunki badań:

- podczas badań instalacji dwuprzewodowej do złącza zasilającego instalacji powinien być podłączony zasobnik o pojemności $385 \pm 5 \text{ cm}^3$, stanowiący równoważnik pojemności przewodu zasilającego przyczepy o długości 2,5 m i średnicy 13 mm;
- na początku próby ciśnienie w układzie powinno być równe wartości minimalnej;
- czas reakcji układu ciągnika należy określać rejestrując czas zmian ciśnienia na złączu przewodu sterującego w badaniach instalacji dwuprzewodowej, na złączu zasilająco-sterującym w badaniach instalacji jednoprzewodowej; do złącza jest podłączony przewód o długości 2,5 m i średnicy 13 mm, będący imitacją przewodu sterującego przyczepy;
- czas reakcji w funkcji czasu uruchamiania należy uzyskać przez kolejne pełne uruchamiania, począwszy od najkrótszych możliwych, powiększając je do czasu około 0,4 s i przedstawić w postaci wykresu;
- wynikiem badań jest czas reakcji uzyskany z wykresu przez interpolację przy czasie uruchomienia pedału hamulca wynoszącym 0,2 s (hamowanie nagłe).

PODSUMOWANIE

Opisany w pracy zakres badań kombinowanych układów hamulcowych ciągników rolniczych obejmuje najważniejsze aspekty diagnozowania obwodu sterującego i zasilającego instalacji powietrznej ciągnika oraz określanie skuteczności działania roboczego i postojowego układu hamulcowego. Przyjęte wymagania i warunki badań zostały dostosowano do aktualnych norm i przepisów w zakresie hamowania. Zaproponowana metoda badań może być wykorzystana w całości lub częściowo do opracowania programu badań kwalifikacyjnych i kontroli zgodności produkcji z warunkami homologacji.

LITERATURA

- Dyrektywa 2003/73/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dn. 26 maja 2003 r. w sprawie homologacji typu ciągników rolniczych i leśnych, ich przyczep i wymiennych holowanych maszyn, łącznie z ich układami, częściami i oddzielnymi zespołami technicznymi oraz uchylająca dyrektywę 74/150/EWG.
- Polska Norma PN-90/R-36123. Ciągniki. Przyczepy i przyczepiane maszyny rolnicze. Powietrzny jednoprzewodowy układ przenoszący hamulców. Wymagania i badania.
- Polska Norma PN-76/S-47000. Pojazdy samochodowe i przyczepy. Skuteczność działania układów hamulcowych. Wymagania i badania.
- Regulamin 13 ECE. Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów kategorii M, N i O w zakresie hamowania.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 30 grudnia 2003 r. w sprawie homologacji ciągników rolniczych. Rozdz. 6. Układy hamulcowe. Dz.U.04.5.31 z dnia 15 stycznia 2004.

PROPOSITION OF EXPLORATION PROGRAM OF BRAKING SYSTEMS
OF AGRICULTURE TRACTORS

Summary. The paper presents a possibility of a programme for agricultural tractors brake systems testing, adapted for the new homologation needs. Tests condition and requirements were described concerning a tractor's braking efficiency and the performance of a combined air braking system.

Key words: agriculture tractor, braking system, pneumatic instalation, requirements, tests

Recenzent: prof. dr hab. Henryk Tylicki