

WITOLD GRZEGOŹEK, JACEK WOJS\*

**PRÓBA OCENY KOMFORTU RUSZANIA  
Z MIEJSCA SAMOCHODU Z AUTOMATEM  
SPRZĘGŁOWYM DLA INWALIDÓW**

---

**A NEW APPROACH TO COMFORT EVALUATION  
OF STARTING A VEHICLE FOR DISABLED EQUIPPED  
WITH AUTOMATIC CLUTCH**

**Streszczenie**

W artykule przedstawiono próbę oceny komfortu ruszania z miejsca samochodem z zastosowanym nakładkowym automatem sprzęgłowym. Dokonano przeglądu wybranych sposobów oceny komfortu ruchu pojazdu podczas ruszania, wskazując na możliwości adaptacji metod stosowanych przy ocenie komfortu innych niż samochód środków transportu. Oceniono metodą adaptowaną z badań transportu kolejowego, proces ruszania z miejsca badanego samochodu z aplikowanym prostym podciśnieniowym automatem sprzęgłowym, porównując tę ocenę z innymi metodami.

*Słowa kluczowe: automat sprzęgłowy, niepełnosprawni, zryw, kryteria komfortu*

**Abstract**

The article presents the results of comfort evaluation of starting a vehicle equipped with automatic clutch. The review of the selected methods of comfort evaluation pointing to see possibility of employment methods used for comfort evaluation in other transportation means. The evaluation was carried out by the method used in railway transport.

*Keywords: automatic clutch, disabled people, jerk, comfort criterion*

---

\* Dr hab. inż. Witold Grzegozek, prof. PK, dr inż. Jacek Wojs, Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Analizy procesu ruszania samochodu z miejsca są często wykonywane w różnorodnych celach. Jednym z nich jest komfort ruszania z miejsca, szczególnie jeśli analizowany pojazd jest przeznaczony dla osób niepełnosprawnych. W tego typu pojazdach o przebiegu ruszania z miejsca decyduje bardzo często zastosowany automat sprzęgłowy o różnym stopniu złożoności.

Należałoby zdefiniować pojęcie komfortu. Według W. Kopalińskiego komfort to „zespół urządzeń, warunków, zapewniający wygodę i odpowiadający w pełni wymaganiom estetyki” [9]. Problemem pozostaje określenie obiektywnych wielkości i ich wartości decydujących o subiektywnym poczuciu komfortu. Komfort w badaniach pojazdów jest określany jako dobre samopoczucie i chociaż jest jedną z wielkości mających wpływ na dobre samopoczucie, niekoniecznie jest jego częścią [1]. Istnieje wiele określeń związanych z komfortem. Jednym z nich jest określenie „jakość jazdy”.

Przez jakość jazdy rozumie się reakcję osób na pewien obszar fizycznych doznań związanych z dynamiką ruchu pojazdu, przestrzenią w pojeździe i wokół pojazdu, oraz panującymi w niej warunkami. W określeniu „jakości jazdy” pojęcie dynamiki ruchu pojazdu obejmuje przyspieszenia i ich zmiany w kierunku poprzecznym, wzdłużnym i pionowym oraz ruchy kątowe wokół osi (umocowanych zgodnie z ISO 2631) [10]  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , a mianowicie ruch przechyłu poprzecznego, pochylenia podłużnego oraz ruch odchylania. Warunki otoczenia określają: temperatura, ciśnienie, wentylacja, hałas oraz wielkość pojazdu, sposób posadowienia kierowcy itd. Komfort jazdy albo lepiej dyskomfort jest to określenie o mniejszym zakresie oceny niż jakość jazdy i można go zdefiniować, wykorzystując zmiany dynamicznych wielkości związanych z ruchem pojazdu. Przykładowo, norma ISO-2631 do oceny komfortu wykorzystuje wartości przyspieszeń w trzech kierunkach: bocznym, wzdłużnym i pionowym, mierzonych w odpowiednich miejscach pojazdu w zakresie częstotliwości od 0,5 Hz do 80 Hz, podając jednocześnie odpowiednie ograniczenia, których przekroczenie traktowane jest jako pojawienie się dyskomfortu.

Problemem w ocenie komfortu pozostają chwilowe zaburzenia ruchu pojazdu, takie jak krótkotrwałe zmiany przyspieszeń wzdłużnych i poprzecznych podczas jazdy po torze prosto lub krzywoliniowym. Brakuje zarówno badań, jak i norm do oceny tego typu zaburzeń w pojazdach samochodowych. Autorzy postanowili wykorzystać normy lub projekty norm stosowanych w pojazdach szynowych.

## 2. Przykładowe sposoby oceny komfortu

Należy zwrócić uwagę, że w różny sposób dokonuje się oceny, jeśli chodzi o przekroczenie wymagań zdrowotnych, wymagań komfortu oraz wymagań związanych z subiektywnym odczuciem. Do oceny wymagań zdrowotnych i subiektywnego odczucia wybiera się kierunek, dla którego wartości są największe. Ponieważ wszelkie odczucia drgań przez kierowcę lub pasażera są związane nie tylko z wartością sygnału, ale również z częstotliwością jego występowania, stosuje się odpowiednie filtry w celu uzyskania oceny zgodnej z ludzką percepcją [3]. Nawet sygnały o tych samych wartościach mocy są różnie traktowane przez człowieka w zależności od częstotliwości występowania. Wartości filtrów częstotliwościowych są określone w normach ISO 2631 i BS 6841 [2].

Do oceny wykorzystywane są zazwyczaj wartości skuteczne przyspieszeń określone jako

$$a_{rms} = \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} a_w(n)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

który określa całkowitą energię zawartą w sygnale, gdzie:

$a_w(n)$  – przyspieszenie  $n$ -tej próbki po uwzględnieniu wagi w zależności od kierunku pomiarów mierzone w kierunku osi  $x, y, z$ ,  
 $N$  – ilość próbek.

Stosowana jest również dla wskaźnika przewyższenia wynoszącego 9 (ISO) lub 6 (BS) czwarta potęga zmierzonego sygnału zdefiniowana jako

$$a_{rmq} = \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} a_w(n)^4 \right]^{\frac{1}{4}}$$

zapewniająca dobrą korelację z subiektywnym odczuciem dyskomfortu. Ponadto definiowana jest doza skumulowanych sygnałów

$$VDV = \left[ \frac{1}{f_s} \sum_{n=0}^{N-1} a_w(n)^4 \right]^{\frac{1}{4}}$$

gdzie  $f_s$  to częstotliwość próbkowania.

Doza ta jest wykorzystywana do określenia możliwego czasu ekspozycji niepowodującego kłopotów zdrowotnych. Jeśli chodzi o ocenę komfortu, wykorzystywana jest wartość całkowitego przyspieszenia skutecznego. Wartość ta jest określana następującym wzorem

$$a_v = \sqrt{(k_x^2 a_{wx}^2) + (k_y^2 a_{wy}^2) + (k_z^2 a_{wz}^2)}$$

gdzie  $k$  to współczynniki mnożące w zależności od kierunku mierzonych przyspieszeń i celu wykonywania oceny.

Należy zdawać sobie sprawę, że w konstrukcji samochodu zastosowane są siedziska o pewnej określonej strukturze sprężystej, która może decydować o przenoszeniu amplitud drgań na ciało człowieka. Celem analizy wpływu drgań wzdłużnych na poczucie komfortu konieczne jest uwzględnienie parametrów sprężysto-tłumiących warstw izolujących siedzenia. Można w tym celu wykorzystać prezentowany w literaturze [8] indeks przenoszenia definiowany jako

$$S.E.A.T. [\%] = 100 \sqrt{\frac{\int G_{ss}(f) W^2(f) df}{\int G_{ff}(f) W^2(f) df}}$$

gdzie:

- $f$  – częstotliwość,
- $G_{ss}$  – gęstość widmowa mocy sygnału mierzona na siedzeniu,
- $G_{ff}$  – gęstość widmowa mocy mierzona na podłodze,
- $W$  – waga subiektywnej oceny.

Stosowane są również różne metody subiektywnej oceny, przyjmujące pewną skalę, np. proponowaną przez Forsterberga od 1 (zły komfort jazdy) do 5 (bardzo dobry komfort jazdy) czy też 10-stopniową skalę Borga [5].

Problemem w ocenie komfortu są pojawiające się zaburzenia w ruchu pojazdu, zarówno podczas jazdy po prostej, jak i po łuku wynikające z działania układu napędowego czy też z warunków drogowych. Są one bowiem pewnego rodzaju dodatkiem do zmian, np. quasi-statycznego przyspieszenia podczas jazdy po łuku. Połączenie ustalonego przyspieszenia z jego fluktuacjami znacznie częściej w zależności od wartości fluktuacji powoduje złą ocenę komfortu. W literaturze znanej autorom trudno znaleźć zarówno metody mierzenia, jak i oceny wpływu tych fluktuacji.

Brytyjskie koleje wprowadziły do oceny komfortu spowodowanego krótkotrwałymi fluktuacjami przyspieszenia dwa wskaźniki. Wskaźniki te dotyczą oceny wpływu zmian przyspieszenia poprzecznego pojawiających się podczas jazdy po łuku. Wskaźniki te są definiowane w następujący sposób [7]

$$P_{CT} = \text{Max}(A\ddot{y} - B\ddot{y} - C, 0) + D\dot{\phi}^E \quad [\%]$$

gdzie:

- $\ddot{y}$  – maksimum przyspieszenia poprzecznego [% g],
- $\ddot{y}$  – maksymalny zryw [% g/s],
- $\dot{\phi}$  – maksymalna prędkość przechyłu [°/s],
- $A, B, C, E$  – stałe wg [4]

oraz

$$P_{DE} = a\ddot{y}_p + b\ddot{y}_n - c \quad [\%]$$

gdzie:

- $\ddot{y}_p$  – różnica między wartościami ekstremów przyspieszeń [% g],
- $\ddot{y}_n$  – średnia wartość bocznego przyspieszenia [% g],
- $a, b, c$  – stałe wg [4].

Jak widać, do oceny komfortu zostały wprowadzone zryw oraz historia przebiegu przyspieszeń. Prowadzone badania przez koleje szwedzkie, a ostatnio także brytyjskie i japońskie, również dotyczące zaburzeń w komforcie podróżowania spowodowanych drganiami niskiej częstotliwości występujących sporadycznie, pozwoliły na określenie akceptowalnych wartości przyspieszenia poprzecznego i wartości zrywu. Według tych badań limit wartości średniego przyspieszenia wynosi 0,9–1,0 m/s<sup>2</sup>, a wartości zrywu 0,4 m/s<sup>3</sup> po prze-filtrowaniu (filtr dolnoprzepustowy 0,3 Hz) [5]. W znanych autorom normach dla oceny zarówno komfortu, jak i ograniczeń zdrowotnych kierunku wzdłużny i poprzeczny działania przyspieszeń traktowane są jednakowo.

### 3. Ocena komfortu ruszania pojazdu z miejsca na podstawie kryterium maksymalnych wartości przyspieszenia

Ocena komfortu procesu ruszania z miejsca samochodu jest utrudniona z tego względu, że ten proces charakteryzuje pewne określone średnie przyspieszenie, które wpływa na poczucie komfortu kierowcy/pasażera, ale ponadto na to przyspieszenie nakładają się także jego gwałtowne zmiany. Dlatego proponowana ocena komfortu [4, 7] zawiera obydwa te składniki i jest wyrażona w formie zależności

$$P_{DE} = a\ddot{y}_p + b\ddot{y}_m - c \quad [\%]$$

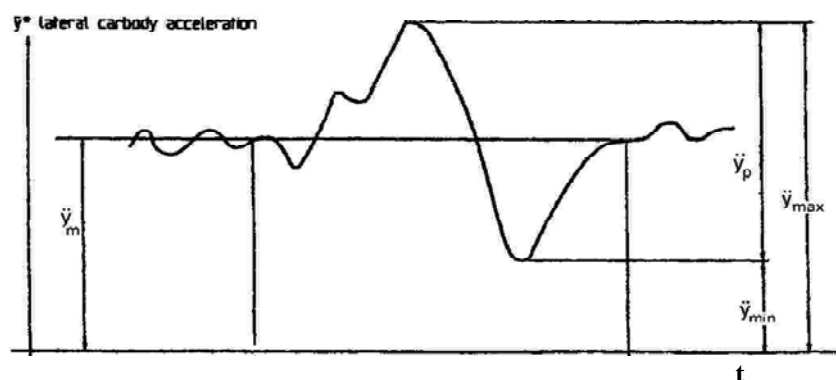
gdzie:

- $P_{DE}$  – wskaźnik dyskomfortu,
- $\ddot{y}_p$  – różnica między ekstremalnymi wartościami przyspieszeń [% g],
- $\ddot{y}_m$  – średnia wartość bocznego przyspieszenia [% g],
- $a, b, c$  – stałe.

Stosując takie kryterium do występujących w samochodzie i analizowanych drgań wzdłużnych, ponieważ wg [7] oddziaływanie przyspieszeń wzdłużnych i poprzecznych na ludzki organizm jest bardzo zbliżone, można zapisać przez analogię dla przyspieszeń wzdłużnych

$$P_{DE} = a\ddot{x}_p + b\ddot{x}_m - c \quad [\%]$$

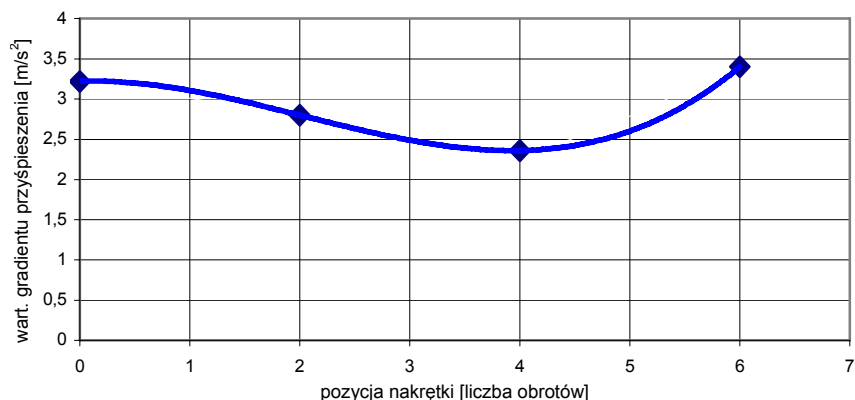
Czasowe przebiegi wartości przyspieszenia pozwalają określić chwilowe wartości maksymalne przyspieszeń tzw. metodą *pick to pick* i wartość średnią przyspieszenia  $s$  w sposób przedstawiony na rys. 1. Badania drogowe i symulacyjne wykonano z zastosowaniem nakładkowego automatu sprzęgłowego podciśnieniowego sterowanego elektrycznie. Najistotniejszy punkt regulacyjny tego automatu, to nakrętka, której pozycjonowanie jest proporcjonalne do czynnej powierzchni zaworu (wydatku przepływu powietrza) oraz wpływa na przedział czasowy drugiej fazy załączania sprzęgła.



Rys. 1. Schemat odczytywania wartości amplitudy przyspieszeń wg [4, 7]

Fig. 1. Method of elaboration, of the acceleration amplitude values

Stosując tę metodę, odczytano z wykresów badawczych i symulacyjnych wartości różnic między wartościami ekstremalnymi przyspieszeń  $\ddot{x}_p$ , następnie obliczono średnie wartości przyspieszeń  $\ddot{x}_m$ . Na rysunku 2 przedstawiono wartości różnic przyspieszeń wyznaczone zgodnie z regułą pokazaną na rys. 1.



Rys. 2. Wartości gradientu przyspieszeń w zależności od ustawienia położenia nakrętki

Fig. 2. Acceleration gradient values of a function a nut setting

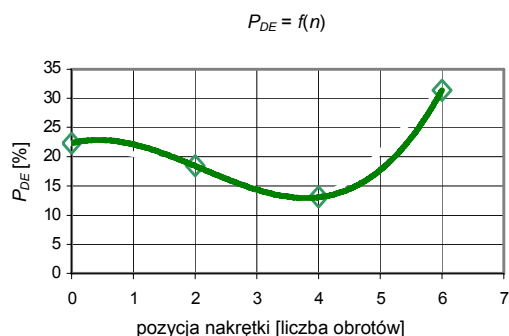
Przedstawiono na nim zmienność różnic chwilowych wartości maksymalnych przyspieszeń, występujących podczas ruszania z miejsca, w zależności od różnych ustawień nakrętki. Pokazane na rys. 2. różnice przyspieszeń, nazwane w [4, 7] *peak to peak value*, osiągają najniższe wartości przy położeniu nakrętki w otoczeniu pozycji ok. 4 obrotów wkręcenia nakrętki regulacyjnej badanego automatu sprzęgłowego polskiej produkcji.

Dla każdej z zarejestrowanych pozycji regulacyjnych określono przyspieszenie średnie  $\ddot{x}_n$ . Następnie obliczono  $P_{DE}$  z uwzględnieniem stałych empirycznych  $a, b, c$  [4, 7].

Na podstawie ogólnej zależności

$$P_{DE} = 0,83\ddot{x}_p + 1,28\ddot{x}_n - 21,7 \text{ [%]}$$

uzyskano przebieg wartości wskaźnika dyskomfortu jak na rys. 3.



Rys. 3. Zależność wskaźnika dyskomfortu  $P_{DE}$  od położenia nakrętki regulacyjnej

Fig. 3. Discomfort indicator as a function of nut setting

Wartość wskaźnika dyskomfortu, analogicznie do rys. 2, jest najkorzystniejsza przy wskazanej pozycji nakrętki regulacyjnej ok. 4 obrotów wkręcenia, co potwierdza wcześniejszy wniosek o najwłaściwszym ustawieniu nakrętki ze względu na minimalizację zrywu, który także jest najniższy przy tej pozycji regulacyjnej nakrętki.

Można zatem wnioskować, że przyjęte w niniejszym artykule kryterium, niestosowane dotychczas do oceny komfortu ruszania z miejsca samochodem, może być przydatne przy kształtowaniu charakterystyk automatów sprzęgłowych ze względu na zmiany przyspieszeń i drgania wzdłużne samochodów wyposażonych w takie automaty.

W tabeli 1 zestawiono wartości sumarycznej pracy tarcia w sprzęgle przy różnych pozycjach regulacyjnych nakrętki i przy ustalonym czasie pełnego otwarcia przepustnicy, a także przedstawiono obliczone odpowiadające im wskaźniki dyskomfortu  $P_{DE}$  wg [4, 7].

Tabela 1

Pozycja nakrętki regulacyjnej [liczba obrotów]	Praca poślizgu sprzęgła [J]	Wskaźnik dyskomfortu $P_{DE}$ [%]
0	12 582	13,1
2	9474	9,9
4	6913	3,7
6	1377	0,4
8	468	10,9

Praca sumaryczna poślizgu sprzęgła jest najmniejsza przy pozycji nakrętki regulacyjnej 8 obrotów, ale wtedy, jak wykazały badania eksperymentalne, silnik na początku ruszania zostaje gwałtownie obciążony. Najmniejszy, najkorzystniejszy współczynnik dyskomfortu odpowiada pozycji regulacyjnej nakrętki – ok. 4–6 obrotów wkręcenia w przypadku rozpatrywanego typu automatu sprzęgłowego. Na podstawie przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że określenie sposobu realizacji przez automat sprzęgłowy ruszania z miejsca wymaga kompromisu między trwałością (praca poślizgu sprzęgła) a poczuciem komfortu użytkowników pojazdu.

#### 4. Podsumowanie

Problematyka automatycznego włączania sprzęgła jest wciąż aktualna. Można nawet zaryzykować stwierdzenie, że współcześnie, wskutek wprowadzania coraz powszechniej zautomatyzowanych skrzyń biegów, problem właściwego załączania sprzęgła, które zapewnia nie tylko realizację techniczną, ale także poczucie komfortu, stał się tematem wielu nowych opracowań naukowych.

Oczywiście, współcześnie stosowane rozwiązania konstrukcyjne automatów sprzęgłowych w dużej mierze wykorzystują układy mechatroniczne. Jednak sposób załączania sprzęgła i kryteria oceny realizacji tego zagadnienia pozostają takie same bez względu na stosowane rozwiązanie. Nawet prosty układ mechaniczny powinien spełniać w miarę możliwości przedstawione wymagania. Przeprowadzenie analiz teoretycznych drgań układu na-

pędowego w trakcie załączania sprzęgła i po jego załączeniu wymaga opracowania odpowiednich modeli fizycznych i matematycznych badanego układu.

Można zauważyć tendencję stosowania w miarę prostych modeli układów napędowych do rozwiązania zagadnienia sterowania. Problemem pozostaje ocena prawidłowego ukształtowania charakterystyki układu załączania tak, aby zapewnić odpowiednią trwałość sprzęgła przy jednoczesnym komfortowym przebiegu załączania. Brak jest odpowiednich unormowanych zaleceń czy też ograniczeń, które pozwalałyby na ocenę zastosowanego rozwiązania technicznego. Autorzy przedstawili dostępne współcześnie normy dotyczące komfortu, których zastosowanie mogłoby przyczynić się do powstania zaleceń odnośnie ukształtowania charakterystyki załączania sprzęgła.

#### Literatura

- [1] Almqvist I., *Transportable comfort-comfortable transport V17 rapport 347*, Linköping VTI, 1989.
- [2] BS 6841 *British standard guide to measurement and evaluation of human exposure to whole body mechanical vibration and repeated shock*, London 2001.
- [3] CEN Railway application – *Ride comfort for passengers- Measurement and evaluation, ENV12299*, Brussels 1999.
- [4] DRAFT prEN 12229 2006 European Standard.
- [5] EPA *Vibration Criteria*, <http://www.environment.nsw.gov.au>.
- [6] Förstberg J., *Ride comfort and motion sickness in tilting trains*, Department of Vehicle Engineering Royal Institute of Technology, Doctoral thesis, Stockholm 2000.
- [7] Förstberg J., *Ride comfort and motion sickness in tilting trains*, Department of Vehicle Engineering Royal Institute of Technology, Doctoral thesis, Stockholm 2000.
- [8] Giacomini J., Haccamba T.M., *Subjective response to seated fore and aft direction whole body vibration*, Proceedings of the Imech E, Part D 1997.
- [9] [www.slownik-online.pl/kopalinski](http://www.slownik-online.pl/kopalinski).
- [10] ISO 2631, *Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole body vibration*.