

Uzasadnienie używania hamulca postojowego podczas postoju przed czerwonym sygnalizatorem

Analiza z punktu widzenia fizyki zderzeń,
biomechaniki urazów i praktyki bezpieczeństwa miejskiego

Najważniejsza teza

Podczas postoju w ruchu miejskim, zwłaszcza jako pierwszy pojazd przed przejściem dla pieszych, przejazdem rowerowym albo skrzyżowaniem, zasadne jest używanie hamulca postojowego lub równoważnej funkcji Auto Hold. Główną korzyścią nie jest „złagodzenie” samego uderzenia od tyłu, lecz ograniczenie wtórnego przemieszczenia pojazdu po uderzeniu. Dostępne badania niskopiętrowych uderzeń tylnych nie potwierdzają tezy, że zahamowanie pojazdu samo w sobie zwiększa urazy pasażerów pojazdu uderzonego.

Spis treści

1	Streszczenie	2
2	Obserwacja sytuacji z tyłu: konieczna, lecz niewystarczająca	2
3	Model fizyczny uderzenia w tył pojazdu stojącego	3
4	Droga wtórnego przemieszczenia po uderzeniu	4
5	Dlaczego samo trzymanie nogi na pedale hamulca nie jest pewnym zabezpieczeniem	6
6	Szczególne znaczenie pierwszej pozycji przed przejściem i skrzyżowaniem	7
7	Czy hamulec postojowy zwiększa urazy pasażerów?	7
8	Biomechanika urazu typu whiplash	8
9	Światła STOP i praktyczna sekwencja działania	9
10	Auto Hold a klasyczny hamulec postojowy	10
11	Syntetyczne porównanie wariantów postoju	11
12	Wnioski końcowe	11
	Wykaz głównych źródeł	12

1 Streszczenie

Podczas postoju w ruchu miejskim pojazd powinien być nie tylko zatrzymany, lecz także zabezpieczony przed niekontrolowanym przemieszczeniem. Ma to szczególne znaczenie, gdy samochód stoi jako pierwszy przed przejściem dla pieszych, przejazdem rowerowym lub skrzyżowaniem. W razie uderzenia od tyłu pojazd niezahamowany albo trzymany wyłącznie pedałem hamulca roboczego może zostać popchnięty do przodu. Dodatkowo nacisk stopy na pedał hamulca roboczego może zmaleć wskutek bezwładności nogi i ciała kierowcy.

Hamulec postojowy, jeśli jest skutecznie zaciągnięty, nie zależy od chwilowego utrzymywania nacisku stopą. Analiza fizyczna prowadzi do wniosku, że jego zasadniczą funkcją w tej sytuacji jest zwiększenie oporu ruchu pojazdu po uderzeniu, a więc skrócenie drogi wtórnego przemieszczenia. Ma to znaczenie prewencyjne: zmniejsza ryzyko wepchnięcia auta na przejście, w pieszych, w rowerzystów, na skrzyżowanie albo w pojazd stojący z przodu.

Nie należy jednak wyciągać z tego wniosku, że pojazd zahamowany staje się dla pasażerów bardziej niebezpieczny przy samym uderzeniu. Badania niskopiędkościowych uderzeń w tył wskazują, że pełne lub mechaniczne hamowanie pojazdu uderzonego zmniejszało jego zmianę prędkości, a jednocześnie nie wykazano różnic w kinematyce głowy pasażera między pojazdem niehamowanym i w pełni hamowanym.¹ O rzeczywistym ryzyku urazu decydują przede wszystkim: prędkość i masa pojazdu uderzającego, delta-V pojazdu uderzonego, czas trwania impulsu, konstrukcja fotela i zagłówka, pasy, pozycja ciała oraz zaskoczenie osoby siedzącej w pojeździe.

2 Obserwacja sytuacji z tyłu: konieczna, lecz niewystarczająca

Kierujący zatrzymujący się przed czerwonym sygnalizatorem powinien obserwować nie tylko sygnał, linię zatrzymania, pieszych i pojazdy przed sobą, lecz także sytuację za pojazdem. Wynika to z ogólnej zasady ostrożności: uczestnik ruchu ma unikać działań i zaniechań mogących spowodować zagrożenie, a jednocześnie może zakładać, że inni uczestnicy ruchu przestrzegają przepisów, dopóki okoliczności nie wskazują na coś przeciwnego.²

Praktyczny problem polega na tym, że nie każde zbliżanie się pojazdu z tyłu jest czytelnym zagrożeniem. Jeżeli samochód nadjeżdża z bardzo dużą prędkością i bez widocznego hamowania, kierowca stojącego pojazdu może mieć podstawę do reakcji obronnej: próby przemieszczenia się do przodu, zjazdu w bok, ostrzeżenia innych albo przynajmniej przygotowania ciała na uderzenie. Jeżeli jednak pojazd z tyłu jedzie wolno albo umiarkowanie, kierowca stojącego samochodu zwykle nie ma obiektywnych podstaw do ucieczki. W ruchu miejskim ogromna część takich sytuacji

¹A. Anderson, J. Welcher, T. Szabo, J. Eubanks, W. Haight, *Effect of Braking on Human Occupant and Vehicle Kinematics in Low Speed Rear-End Collisions*, SAE Technical Paper 980298, 1998. Dostęp: https://assets.noviams.com/novi-file-uploads/tbtl/Documents/Biomechanics_Defense_Experts_Referenced_Materials/anderson_et_al_-98-effect_of_braking_of_human_occ_and_veh_kinematics_in_low_speed_rears-sae_980298-47f7954d.pdf.

²Ustawa z 20 czerwca 1997 r. - Prawo o ruchu drogowym, art. 3 i art. 4. Tekst jednolity dostępny w ISAP: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19970980602/U/D19970602Lj.pdf>.

wygląda normalnie aż do ostatniego momentu.

Nie sposób więc wymagać, aby kierujący za każdym razem rozpoznawał, czy wolno zbliżający się pojazd tylko dojeżdża do zatrzymania, czy jego kierowca patrzy w telefon, zagapił się albo błędnie ocenił odległość. Z tego powodu sama obserwacja tyłu jest potrzebna, ale nie wystarcza. Rozsądna procedura powinna być dwuetapowa:

1. obserwować sytuację za pojazdem i reagować, gdy zagrożenie jest czytelne;
2. po zatrzymaniu zabezpieczyć pojazd przed niekontrolowanym przemieszczeniem, zwłaszcza na pierwszej pozycji przed przejściem lub skrzyżowaniem.

Czerwony sygnał oznacza zakaz wjazdu za sygnalizator, a zatrzymanie powinno nastąpić w miejscu przewidzianym przepisami - zasadniczo przed linią zatrzymania, a w razie jej braku przed sygnalizatorem.³ Jeżeli pojazd stoi jako pierwszy, tuż za jego przednim zderzakiem może znajdować się obszar chroniony: przejście dla pieszych, przejazd rowerowy albo tor ruchu pojazdów poprzecznych.

3 Model fizyczny uderzenia w tył pojazdu stojącego

Rozważmy dwa pojazdy. Pojazd A jest pojazdem uderzającym i porusza się z prędkością początkową u_A . Pojazd B stoi przed sygnalizatorem, więc jego prędkość początkowa wynosi $u_B = 0$. Masy pojazdów oznaczmy przez m_A i m_B , a prędkości po pierwszej fazie zderzenia przez v_A i v_B .

Podstawą opisu jest druga zasada dynamiki Newtona:

Druga zasada dynamiki Newtona

$$\sum F = ma \quad (1)$$

W zderzeniu szczególnie użyteczna jest postać impulsowa tej zasady. Pęd ciała wynosi:

$$p = mv \quad (2)$$

a zmiana pędu jest równa impulsowi siły:

Twierdzenie o impulsie i pędzie

$$\Delta p = \int_{t_0}^{t_1} \sum F(t) dt \quad (3)$$

Dla pojazdu B można zapisać uproszczony bilans impulsu:

$$m_B \Delta v_B = J_z - J_h \quad (4)$$

³Rozporządzenie Ministrów Infrastruktury oraz Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie znaków i sygnałów drogowych: sygnał czerwony oznacza zakaz wjazdu za sygnalizator. Tekst: <https://eli.gov.pl/api/acts/DU/2015/1314/text.html>.

gdzie:

- $J_z = \int F_z(t) dt$ - impuls zderzenia przekazany przez pojazd uderzający,
- $J_h = \int F_h(t) dt$ - impuls hamowania i tarcia opon o nawierzchnię, działający przeciwnie do ruchu pojazdu uderzonego.

Jeżeli pojazd B nie jest zahamowany, składnik J_h jest mały i obejmuje głównie opory toczenia oraz opory układu napędowego. Jeżeli pojazd B ma zaciągnięty hamulec postojowy, J_h rośnie, ponieważ koła objęte hamowaniem przeciwstawiają się toczeniu albo ślizgowi. Przy tym samym impulsie zderzenia można więc zapisać jakościowo:

Wpływ hamowania na zmianę prędkości pojazdu uderzonego

$$J_h \uparrow \Rightarrow \Delta v_B \downarrow \quad (5)$$

W idealnym modelu bez sił zewnętrznych obowiązuje zasada zachowania pędu:

$$m_A u_A + m_B u_B = m_A v_A + m_B v_B \quad (6)$$

Realny układ drogowy nie jest jednak układem idealnie izolowanym. Opony kontaktują się z nawierzchnią, a hamulce wprowadzają zewnętrzny impuls przeciwny do kierunku ruchu pojazdu B. Dokładniejszy zapis ma zatem postać:

$$m_A u_A + m_B u_B + J_{\text{zewn.}} = m_A v_A + m_B v_B \quad (7)$$

Dla pojazdu uderzonego impuls zewnętrzny pochodzący od hamulców i tarcia ma zwrot przeciwny do późniejszego ruchu, dlatego zmniejsza jego końcową prędkość. Ten formalny opis jest zgodny z wynikami badań zderzeniowych, w których hamowanie pojazdu uderzonego zmniejszało jego delta-V, czyli zmianę prędkości.¹

4 Droga wtórnego przemieszczenia po uderzeniu

Po pierwszej fazie zderzenia pojazd B może uzyskać pewną prędkość v_0 . Następnie zaczyna się faza wtórnego ruchu: pojazd toczy się, ślizga albo jest hamowany. Do opisu tej fazy można użyć zasady pracy i energii.

Energia kinetyczna pojazdu po uderzeniu wynosi:

$$E_k = \frac{1}{2} m v_0^2 \quad (8)$$

Energia ta musi zostać rozproszona przez pracę sił oporu:

$$W = F_{\text{op}} s \quad (9)$$

Po przyrównaniu pracy sił oporu do energii kinetycznej otrzymujemy:

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = F_{\text{op}}s \quad (10)$$

stąd:

Droga przemieszczenia po uderzeniu

$$s = \frac{mv_0^2}{2F_{\text{op}}} \quad (11)$$

Jeżeli siła oporu pochodzi głównie od tarcia hamowanych kół o nawierzchnię, można przyjąć w przybliżeniu:

$$F_{\text{op}} \approx \mu N \quad (12)$$

Dla uproszczonego przypadku poziomej jazdy:

$$N \approx mg \quad (13)$$

zatem:

Szacunkowa droga ruchu przy hamowanych kołach

$$s \approx \frac{v_0^2}{2\mu g} \quad (14)$$

Ten wzór pokazuje najważniejszą zależność: im większa skuteczna siła hamowania i tarcia, tym krótsza droga przemieszczenia pojazdu po uderzeniu. Dla pojazdu swobodnego opór jest znacznie mniejszy i wynika głównie z oporu toczenia:

$$F_{\text{op}} \approx c_{rr}mg \quad (15)$$

gdzie c_{rr} jest współczynnikiem oporu toczenia. Ponieważ zazwyczaj:

$$c_{rr} \ll \mu \quad (16)$$

to przy tej samej prędkości początkowej po uderzeniu droga pojazdu swobodnie toczącego się może być wielokrotnie większa niż droga pojazdu z hamowanymi kołami:

$$s_{\text{swobodny}} \gg s_{\text{hamowany}} \quad (17)$$

Właśnie na tym polega główny zysk z użycia hamulca postojowego. Hamulec postojowy nie usuwa impulsu zderzenia, ale zwiększa opór późniejszego ruchu i ogranicza niekontrolowane przemieszczenie samochodu.

5 Dlaczego samo trzymanie nogi na pedale hamulca nie jest pewnym zabezpieczeniem

Pedał hamulca roboczego działa tylko wtedy, gdy kierowca utrzymuje odpowiedni nacisk stopą. W uderzeniu od tyłu pojazd zostaje gwałtownie przyspieszony do przodu. Kabina, podłoga i pedały ruszają wraz z pojazdem. Ciało kierowcy, w tym stopa i noga, mają jednak bezwładność. Wynika to z pierwszej zasady dynamiki Newtona:

Pierwsza zasada dynamiki Newtona

Ciało zachowuje stan spoczynku albo ruchu jednostajnego prostoliniowego, jeżeli nie działa na nie wypadkowa siła zmieniająca ten stan.

W układzie odniesienia samochodu wygląda to tak, jakby pedał hamulca „odjechał” spod stopy. Skutkiem jest spadek nacisku na pedał. W skrajnym przypadku nacisk spada do zera. Zjawisko to jest zgodne zarówno z intuicją fizyczną, jak i z obserwacjami z badań eksperymentalnych.

W badaniu SAE z 2010 r. analizowano reakcję pedału hamulca i kinematykę pasażera podczas niskopiędkościowych uderzeń w tył. Podczas zderzenia siła nacisku na pedał i jego przemieszczenie początkowo malały u wszystkich uczestników; autorzy interpretowali to jako ruch stopy od pedału. W próbach, w których badani nie byli świadomi nadchodzącego uderzenia, siła nacisku na pedał spadała do zera.⁴

W języku praktycznym oznacza to, że kierowca może nieświadomie puścić hamulec właśnie w chwili, gdy utrzymanie hamowania byłoby potrzebne do ograniczenia wtórnego przemieszczenia pojazdu. Nagrania wideo, na których po uderzeniu od tyłu gasną światła STOP, są zgodne z tym mechanizmem. Światła stopu są zasadniczo powiązane z użyciem hamulca roboczego, a nie z samym hamulcem postojowym.⁵

Trzeba jednak zachować ostrożność dowodową: samo zgaśnięcie świateł STOP na nagraniu nie jest pełnym pomiarem siły hamowania. Może być bardzo mocną poszlaką spadku nacisku na pedał, ale na obraz mogą wpływać także próg działania włącznika świateł, konstrukcja pojazdu, uszkodzenie instalacji, działanie systemu Auto Hold albo specyfika samochodów hybrydowych i elektrycznych. Mechanizm bezwładnościowy pozostaje jednak fizycznie spójny i potwierdzony badaniami pedału hamulca.

Hamulec postojowy ma w tej sytuacji przewagę konstrukcyjną. Po aktywacji nie wymaga utrzymywania nacisku stopą. Dlatego działa także wtedy, gdy kierowca jest zaskoczony, jego noga odskakuje od pedału albo ciało zostaje przemieszczone wskutek bezwładności.

⁴J. Ivory i in., *Brake Pedal Response and Occupant Kinematics During Low Speed Rear-End Collisions*, SAE Technical Paper 2010-01-0067, 2010. Dostęp: <https://saemobilus.sae.org/downloads/papers/2010-01-0067/Full%20Text%20PDF>.

⁵NHTSA, interpretacja dotycząca aktywacji lamp stopu przy użyciu hamulców roboczych: <https://www.nhtsa.gov/interpretations/nht91-322>.

6 Szczególne znaczenie pierwszej pozycji przed przejściem i skrzyżowaniem

Największe znaczenie hamulca postojowego ujawnia się wtedy, gdy pojazd stoi jako pierwszy w kolejce. Jeżeli przed samochodem znajduje się inny pojazd, wtórne przemieszczenie może zakończyć się kolejną kolizją. Jeżeli jednak pierwszy pojazd zostaje wepchnięty do przodu, może wjechać bezpośrednio w przestrzeń, którą sygnał czerwony lub linia zatrzymania miały chronić.

Dotyczy to w szczególności:

- przejścia dla pieszych,
- przejazdu dla rowerzystów,
- toru ruchu pojazdów poprzecznych na skrzyżowaniu,
- powierzchni akumulacji pieszych i rowerzystów przy sygnalizacji,
- miejsca, w którym pojazd poprzeczny rozpoczął już przejazd na swoim sygnale zielonym.

Przepisy techniczne dotyczące znaków poprzecznych wskazują, że znak P-10 wyznacza powierzchnię przejścia dla pieszych, a znak P-11 powierzchnię przejazdu dla rowerzystów; krawędzie tych powierzchni mogą określać miejsce zatrzymania, jeżeli nie zastosowano linii zatrzymania.⁶ Oznacza to, że pierwszy pojazd stoi często bezpośrednio przed obszarem szczególnej ochrony.

W świetle Prawa o ruchu drogowym kierujący zbliżający się do przejścia dla pieszych ma obowiązek zachować szczególną ostrożność, zmniejszyć prędkość tak, aby nie narazić pieszego, oraz ustąpić pierwszeństwa pieszemu znajdującemu się na przejściu albo wchodzącemu na przejście.⁷ Skoro więc obowiązek bezpieczeństwa jest tak silny podczas dojazdu do przejścia, racjonalne jest również ograniczanie ryzyka, że pojazd już zatrzymany zostanie wtórnie wepchnięty w ten obszar.

Hamulec postojowy jest zabezpieczeniem pasywnym. Nie wymaga przewidzenia błędu kierowcy z tyłu. Nie wymaga natychmiastowego refleksu. Nie wymaga utrzymywania nacisku na pedał w chwili zderzenia. Z punktu widzenia prewencji jest to środek prosty i proporcjonalny do ryzyka.

7 Czy hamulec postojowy zwiększa urazy pasażerów?

Najczęstszy kontrargument brzmi: jeżeli pojazd będzie zahamowany, uderzenie będzie „twardsze”, a pasażerowie bardziej ucierpią. Ta intuicja jest zrozumiała, ale zbyt uproszczona.

Uraz pasażera w uderzeniu tylnym zależy nie od samego faktu, ile metrów pojazd przejedzie po zderzeniu, lecz od przebiegu przyspieszenia kabiny, fotela i ciała w

⁶Załącznik do rozporządzenia w sprawie znaków i sygnałów drogowych, oznakowanie poziome P-10 i P-11. Tekst: <https://eli.gov.pl/api/acts/DU/2015/1314/text/0/D20151314.pdf>.

⁷Prawo o ruchu drogowym, art. 26. Tekst jednolity: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19970980602/U/D19970602Lj.pdf>.

krótkim czasie. Uproszczona zależność ma postać:

Średnie przyspieszenie w czasie impulsu

$$a_{\text{sr}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (18)$$

gdzie Δv jest zmianą prędkości pojazdu lub segmentu ciała, a Δt czasem, w którym ta zmiana następuje. Dla urazu szyi istotne są także: czas narastania impulsu, geometria fotela, ustawienie zagłówka, odległość głowy od zagłówka, pozycja ciała, skręt głowy, napięcie mięśni oraz zaskoczenie.

Badanie SAE 980298 jest ważne właśnie dlatego, że porównywało warunki hamowania pojazdu uderzonego. Autorzy wskazali, że pełne lub mechaniczne hamowanie zmniejszało zmianę prędkości pojazdu uderzonego i zwiększało zmianę prędkości pojazdu uderzającego. Jednocześnie nie stwierdzono różnic w kinematyce głowy pasażera pojazdu uderzonego między próbami bez hamowania i z pełnym hamowaniem.¹

Wniosek jest kluczowy: nie ma podstaw, aby twierdzić, że zaciągnięty hamulec postojowy sam przez się zwiększa urazy pasażerów pojazdu uderzonego. Może on wpływać na bilans impulsów i zmniejszać przemieszczenie pojazdu po uderzeniu, ale nie oznacza to automatycznego wzrostu obciążeń szyi, głowy lub tułowia pasażera.

Dodatkowo trzeba pamiętać, że hamulec postojowy w wielu samochodach działa głównie na jedną oś, najczęściej tylną. Nie jest to więc idealne „zakotwiczenie” pojazdu w miejscu. Przy większym impulsie zderzenia pojazd i tak może zostać przesunięty, tyle że z większym oporem. Fizycznie samochód nie staje się sztywną ścianą; pozostaje masą na kołach, na którą działa dodatkowa siła przeciwna ruchowi.

8 Biomechanika urazu typu whiplash

Uraz typu whiplash, czyli uraz przyspieszeniowo-opóźnieniowy szyi, jest związany z przeniesieniem energii na odcinek szyjny kręgosłupa, typowo między innymi w zderzeniach tylnych.⁸ W uproszczeniu fotel gwałtownie przyspiesza tułów pasażera do przodu, podczas gdy głowa wskutek bezwładności przez krótką chwilę pozostaje opóźniona względem tułowia. Następnie dochodzi do złożonego ruchu szyi, kontaktu głowy z zagłówkiem oraz fazy odbicia.

Dlatego współczesne testy ochrony przed whiplash koncentrują się na fotelu, zagłówku, pasach i ruchu głowy względem tułowia. IIHS opisuje swoje testy jako symulację skutków uderzeń tylnych dla ciała kierowcy, ze szczególnym naciskiem na szyję i kręgosłup.⁹

Ryzyko urazu można opisać symbolicznie jako funkcję wielu zmiennych:

⁸Przegląd medyczny dotyczący whiplash-associated disorders: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4753964/>.

⁹Insurance Institute for Highway Safety, *Whiplash prevention*: <https://www.iihs.org/ratings/about-our-tests/whiplash-prevention>.

Uproszczona funkcja ryzyka urazu

$$R = f(\Delta v, \Delta t, a(t), k, m, G_f, G_z, P_c, M_n) \quad (19)$$

gdzie:

- Δv - zmiana prędkości pojazdu i ciała,
- Δt - czas trwania impulsu,
- $a(t)$ - przebieg przyspieszenia w czasie,
- k - efektywna sztywność układu pojazd-fotel-ciało,
- m - masa segmentów ciała i pojazdu,
- G_f - geometria fotela,
- G_z - geometria i położenie zagłówek,
- P_c - pozycja ciała i głowy,
- M_n - napięcie mięśniowe i przygotowanie osoby do zderzenia.

W tym modelu sam fakt użycia hamulca postojowego jest co najwyżej jedną ze zmiennych pośrednich, wpływającą głównie na Δv pojazdu i przemieszczenie po zderzeniu, a nie na całość biomechanicznego mechanizmu urazu. Badania nad fotelami i zagłówkami wskazują, że poprawa ich geometrii i konstrukcji zmniejsza ryzyko urazów szyi w uderzeniach tylnych.¹⁰

9 Światła STOP i praktyczna sekwencja działania

Używanie hamulca postojowego nie powinno być rozumiane jako natychmiastowe zdejmowanie nogi z hamulca roboczego zawsze w chwili zatrzymania. Światła STOP są ważnym sygnałem dla kierowców nadjeżdżających z tyłu. Zbyt szybkie ich zgaszenie może pogorszyć czytelność sytuacji dla pojazdu, który dopiero dojeżdża do kolejki.

Najbardziej racjonalna sekwencja w ruchu miejskim wygląda następująco:

1. Kierowca dojeżdża do czerwonego sygnalizatora i zatrzymuje pojazd przed linią zatrzymania albo przed sygnalizatorem, zgodnie z warunkami miejsca.
2. Bezpośrednio przed zatrzymaniem i po zatrzymaniu kontroluje lusterka, zwracając uwagę na prędkość i zachowanie pojazdu z tyłu.
3. Przez chwilę utrzymuje hamulec roboczy, aby światła STOP były widoczne dla nadjeżdżających z tyłu.
4. Gdy pojazd z tyłu wyraźnie zwalnia albo zatrzymuje się, kierowca aktywuje hamulec postojowy lub skuteczną funkcję Auto Hold.

¹⁰C. M. Farmer, J. K. Wells, J. V. Werner, *Effects of head restraint and seat redesign on neck injury risk in rear-end crashes*, *Traffic Injury Prevention*, 2005. Streszczenie: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16210192/>.

5. Przy dłuższym postoju może odciążyć nogę z hamulca roboczego, pozostawiając pojazd zabezpieczony przed wtórnym przemieszczeniem.

Podobną logikę przyjmuje brytyjski Highway Code: w stojących kolejkach zaleca użycie hamulca postojowego, a gdy ruch z tyłu już się zatrzyma, zdjęcie nogi z hamulca roboczego w celu dezaktywacji świateł hamowania i ograniczenia olśnienia użytkowników z tyłu.¹¹ Nie jest to polskie źródło prawa, ale jest to dobry przykład oficjalnie opisaney praktyki bezpieczeństwa i kultury jazdy.

10 Auto Hold a klasyczny hamulec postojowy

W nowszych samochodach klasyczny hamulec postojowy bywa zastąpiony elektrycznym hamulcem postojowym lub funkcją Auto Hold. Z punktu widzenia niniejszej analizy decydujące jest nie to, jak system się nazywa, lecz czy pojazd pozostaje skutecznie hamowany bez nacisku stopy na pedał.

Można to zapisać jako warunek praktyczny:

Warunek funkcjonalny

$$\text{skuteczne zabezpieczenie} \iff F_h > 0 \quad \text{bez nacisku stopy na pedał} \quad (20)$$

Jeżeli Auto Hold utrzymuje ciśnienie w układzie hamulcowym albo aktywuje hamulec postojowy i nie zwalnia go wskutek samego uderzenia, jego funkcja bezpieczeństwa jest zbliżona do funkcji hamulca postojowego. Jeżeli natomiast system działa tylko warunkowo, wyłącza się przy określonych sygnałach z pedałów lub nie jest aktywny po zatrzymaniu, nie daje tej samej gwarancji.

Dlatego kierowca powinien znać instrukcję własnego pojazdu. W jednych samochodach Auto Hold jest bardzo dobrym rozwiązaniem miejskim, w innych bezpieczniej jest świadomie aktywować hamulec postojowy podczas dłuższego postoju.

¹¹The Highway Code, Rule 114: <https://www.gov.uk/guidance/the-highway-code/general-rules-techniques-and-advice-for-all-drivers-and-riders-103-to-158>.

11 Syntetyczne porównanie wariantów postoju

Wariant	Zalety	Ryzyko / ograniczenie
Tylko pedał hamulca roboczego	Działa silnie, uruchamia światła STOP, jest naturalny przy krótkim zatrzymaniu.	Nacisk stopy może spaść po uderzeniu od tyłu wskutek bezwładności; po puszczeniu pedału pojazd może przemieścić się dalej.
Hamulec postojowy	Nie wymaga nacisku stopą; ogranicza wtórne przemieszczenie pojazdu po uderzeniu; szczególnie przydatny jako pierwszy pojazd przed przejściem lub skrzyżowaniem.	Nie zatrzymuje pojazdu absolutnie; przy dużym impulsie pojazd może zostać przesunięty mimo zaciągniętego hamulca.
Auto Hold	Może łączyć wygodę z utrzymaniem hamowania bez nacisku stopy.	Skuteczność zależy od konstrukcji i warunków działania systemu w danym pojeździe.

12 Wnioski końcowe

Używanie hamulca postojowego podczas postoju przed czerwonym sygnalizatorem, szczególnie gdy pojazd stoi jako pierwszy przed przejściem dla pieszych, przejazdem rowerowym albo skrzyżowaniem, ma mocne uzasadnienie fizyczne i prewencyjne.

Po pierwsze, kierujący powinien obserwować sytuację za pojazdem, ale nie może w każdej sytuacji przewidzieć, że wolno nadjeżdżający pojazd jednak nie wyhamuje. Po drugie, pedał hamulca roboczego nie jest pewnym zabezpieczeniem w chwili uderzenia, ponieważ stopa kierowcy może wskutek bezwładności utracić nacisk na pedał. Po trzecie, hamulec postojowy zwiększa opór wtórnego ruchu pojazdu po uderzeniu, co można wyrazić zależnością:

$$s \approx \frac{v_0^2}{2\mu g} \quad (21)$$

Oznacza to, że większa skuteczna siła hamowania i tarcia skraca drogę przemieszczenia pojazdu. Po czwarte, dostępne badania zderzeniowe nie potwierdzają tezy, że zahamowanie pojazdu w typowych niskopiędkościowych uderzeniach tylnych zwiększa urazy pasażerów. W testach nie wykazano różnic w kinematyce głowy pasażera między pojazdem niehamowanym i w pełni hamowanym.¹

Najkrócej: hamulec postojowy nie służy do „usztywnienia” samochodu na czas zderzenia. Służy do tego, aby po zderzeniu samochód nie stał się bezwładnie toczącą się masą, która może zostać wepchnięta na przejście, skrzyżowanie albo w inny pojazd. Dlatego jego używanie podczas postoju w mieście jest dobrą i racjonalną praktyką bezpieczeństwa.

Wykaz głównych źródeł

- [1] Anderson A., Welcher J., Szabo T., Eubanks J., Haight W., *Effect of Braking on Human Occupant and Vehicle Kinematics in Low Speed Rear-End Collisions*, SAE Technical Paper 980298, 1998. https://assets.noviams.com/novi-file-uploads/tbtl/Document/Biomechanics_Defense_Experts_Referenced_Materials/anderson_et_al_-98-effect_of_braking_of_human_occ_and_veh_kinematics_in_low_speed_rears-sae_980298-47f7954d.pdf
- [2] Ivory J. i in., *Brake Pedal Response and Occupant Kinematics During Low Speed Rear-End Collisions*, SAE Technical Paper 2010-01-0067, 2010. <https://saemobilus.sae.org/downloads/papers/2010-01-0067/Full%20Text%20PDF>
- [3] Ustawa z 20 czerwca 1997 r. - Prawo o ruchu drogowym. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19970980602/U/D19970602Lj.pdf>
- [4] Rozporządzenie w sprawie znaków i sygnałów drogowych. <https://eli.gov.pl/api/acts/DU/2015/1314/text.html>
- [5] NHTSA, interpretacja dotycząca aktywacji świateł stopu. <https://www.nhtsa.gov/interpretations/nht91-322>
- [6] Insurance Institute for Highway Safety, *Whiplash prevention*. <https://www.iihs.org/ratings/about-our-tests/whiplash-prevention>
- [7] Farmer C. M., Wells J. K., Werner J. V., *Effects of head restraint and seat redesign on neck injury risk in rear-end crashes*, *Traffic Injury Prevention*, 2005. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16210192/>
- [8] The Highway Code, Rule 114. <https://www.gov.uk/guidance/the-highway-code/general-rules-techniques-and-advice-for-all-drivers-and-riders-103-to-158>