

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДОРОЖНІХ БАР'ЄРІВ БЕЗПЕКИ НА ЗНИЖЕННЯ РИЗИКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД ТА ЇХ НАСЛІДКІВ

Савостін-Косяк Д.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, daniel_s@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8795-5939

Міхальські Яцек, доктор хабілітований, Жешувська Політехніка, Жешув, Польща, jmichals@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-9745-9453

Статтю переклали з польської на українську мову:

Бідненко Н., Міхальчук В., Сорочинська А.

ВСТУП

Перешкоди на шляху безпеки дорожнього руху та інші бар'єри виконують профілактичну (знижує ймовірність їх виникнення) або захисну (знижує ступінь тяжкості наслідків) функцію і повинні бути адекватні до конкретного ризику [5, 9, 22, 39, 41]. Як правило, захисні бар'єри - це фізичні і технічні системи або діяльність людини, заснована на конкретних процедурах або контролюючих адміністративних рішеннях, пов'язаних з тим, як реалізується функція безпеки, наприклад, проект ARAMIS [8, 17, 47]. Якщо ці функції не виконуються, це означає відмову захисного бар'єру, який в більшості випадків призводить до катастрофічних наслідків для людей, майна або навколишнього середовища [19, 39]. Вкрай важливо забезпечити високу доступність бар'єрів безпеки і високу надійність їх компонентів, щоб утримати ризик в прийнятних межах. Під падінням з дороги розуміється така вихідна дорожня подія, коли транспортний засіб відхиляється від дороги в результаті втрати стійкості або раптової зміни напрямку руху (викликаного їздою на занадто високій швидкості, втратою зчеплення коліс з дорогою і т.д.). В результаті цієї події транспортний засіб іноді повертається на проїжджу частину, але дуже часто відбувається вторинна небезпечна подія: транспортний засіб перекидається, потрапляє в кювет, вдаряється об ухил, потрапляє в пристрій або предмет, розташований на смузі руху або в безпосередній близькості від неї, наприклад, транспортний засіб перекидає захисний дорожній бар'єр, врізається в дерево, вдаряється об дорожній стовп або знак [20]. При оцінці ризику використовується аналіз дерева подій, дерево надійності і імовірнісний метод [17, 47, 51]. Крім того, необхідно підтримувати цілісність дорожнього огороження під час удару, тобто основні компоненти не повинні ламатися або відділятися від захисного бар'єру. Після перенаправлення / зміни напрямку руху транспортного засобу на дорогу через загородження його траєкторія залишиться в позначеному первісному / призначеному полі [36]. Результати оцінок показують, що зіткнення із середнім бар'єром із сталевими канатами підвищує ймовірність виїзду транспортного засобу з дороги менш сильно, ніж зіткнення з бетонним або металевим бар'єром [18].

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ

Світова статистика показує, що дорожньо-транспортні пригоди є основною причиною смертності і травматизму, незважаючи на підвищену опірність транспортних засобів ударам, поліпшені дорожні знаки і вдосконалені системи безпеки [2]. Згідно зі статистикою дорожньо-транспортних пригод, в останні кілька років третьою за величиною причиною смерті, в передчасному віці (до 65 років), є дорожньо-транспортна пригода або її наслідки [27]. На жаль, в Польщі найвищий показник смертності на дорогах - 14,6 чол. на мільярд кілометрів транспортних засобів (найнижчий - в Норвегії 2,7, середній показник по ЄС19 становить 5,9 чол.) [2].

Методологія побудови інструментів стратегічного управління ризиками в дорожньому русі ROAD-RISK включає: моделі та міри ризику, прогнозування заходів ризику, оцінку ризику і вибір ефективних стратегічних і соціальних дій [21]. Стратегічні моделі включають просторові, демографічні, економічні, соціальні, автомобільні, інфраструктурні та транспортні змінні. З іншого боку, інвестиції, що стосуються безпеки дорожньої інфраструктури, повинні здійснюватися на конкретних ділянках доріг, що характеризуються найбільшою концентрацією аварій або найбільшим потенціалом зниження аварійності [9].

Захисний бар'єр на дорогах і мостах - це пристрій для забезпечення безпеки дорожнього руху. Він може бути з краю (на - краю проїжджої частини, розділювальної смуги, інженерної споруди) або розміщений на розділовій смузі проїжджої частини, з протилежними напрямками руху. Перешкоди обов'язково розділені дорожніми огороженнями. Бар'єри та балюстради використовуються на віадуках і набережних, а також в місцях, де поблизу знаходяться нерухомі об'єкти і перешкоди, наприклад, стовпи або будівлі [10, 11, 42, 49]. Шлагбауми також використовуються для захисту дорожньої техніки та інженерних споруд. Це, зокрема: сигнальні пристрої; несучі конструкції дорожнього знака і його щитів; залізничні греблі і острівці на проїжджій частині; паркани; гектометрові стовпи; стовпи перешкод - пілон U-7. Захисними бар'єрами є металеві U-14a (в тому числі ланцюгові, канатні, сталобетон і FLEXTRA), бетонні бар'єри U-14b і бар'єри з інших матеріалів U-14c [25]. Вибір параметрів функціонально-колізійних захисних бар'єрів ґрунтується на [6]: допустимій швидкості транспортного засобу ($V_{dp} \leq 90$ км / год, $V_{dp} > 90$ км / ч); небезпечних точок (перешкода: висока, низька, небезпечна зона); граничних відстаней (порівняння фактичного відстані від небезпечних точок до краю проїзної частини зі значеннями граничних відстаней, які визначаються лініями L_{ob} для небезпечних зон або L_{prz} для перешкод - це відповідає значенню: $P_{prz} = 2$ м, $L_{ob} = 2$ м; $P_{prz} = 4,5$ м, $L_{ob} = 7,5$ м; $P_{prz} = 7,5$ м, $L_{ob} = 11,5$ м); оцініть, чи є інший спосіб захисту, крім використання захисних бар'єрів; діапазон середньодобового руху вантажівок і автобусів ($SDRSC + A \leq 500$, $500 < SDRSC + A \leq 3000$, $SDRSC + A > 3000$) і разом - рівень стримування, бічна деформація (W, VI, D) і рівень інтенсивності подій (A, B, C).

Гармонізовані норми випробувань і безпеки захисних бар'єрів для забезпечення безпеки дорожнього руху містять стандарти і справжні публікації [5, 31, 32, 33, 34, 49].

Перешкоди для безпеки дорожнього руху, що поглинають енергію удару транспортного засобу, являє собою пристрій безпеки дорожнього руху, призначений для запобігання зміщенню транспортного засобу з дороги в небезпечних місцях або перетину дороги з протилежним напрямком руху і запобігання зіткнень з об'єктами поблизу дороги [25, 26, 41, 46]. Функціональними особливостями захисних бар'єрів є: рівень стримування, зміщення, виражене в робочій ширині, і рівень інтенсивності удару. Рівень стримування - це здатність бар'єру зупинити транспортний засіб, що потрапляє в нього. Він визначається за допомогою тестів на зіткнення і ділиться на: малі - T1, T2, T3 (призначені тільки для тимчасових захисних бар'єрів), нормальні - N1, N2, підвищені - H1, H2, H3 і дуже високі - H4a, H4b [6]. Робоча ширина бар'єру характеризується (рис. 2a): нормалізованим динамічним відхиленням (DN), нормалізованою робочою шириною (WN) і нормалізованим проникненням транспортного засобу (VIN) [32]. Стандартна робоча ширина (WN - вісім класів ширини, від $\leq 0,8$ м до $\leq 3,5$ м) - це максимальна поперечна відстань між будь-якою частиною транспортного бар'єра і його максимальним динамічним становищем. Стандартне динамічне відхилення (DN) - це максимальне бічний зсув (при певних обставинах тільки тимчасове)

будь-якої точки з боку руху захисного бар'єру. Стандартизоване вторгнення в транспортний засіб (VIN) являє собою максимальне бічне відстань будь-якій частині звичайного вантажного транспортного засобу (ТЗ) або автобуса від будь-незбалансованої частини транспортного загородження. Ступінь серйозності зіткнення - це параметр, що відображає вплив зіткнення на осіб, що знаходяться в безпосередній близькості від місця зіткнення (іменовані: А, В або С) оцінюється за допомогою індикаторів ASI, THIV і PHD [28]. Індекс тяжкості травм [5] - Скорочена шкала травм (ASI) - безрозмірне значення, розраховане відповідно до стандартів PN-EN 1317. Індекс тяжкості травм (ISS) - загальний бал при травмуванні кількох органів - являє собою квадратну суму трьох максимальних балів AIS з шести ділянок тіла: голови, обличчя, грудної клітини, черевної порожнини, кінцівок і зовнішніх пошкоджень). Максимальне значення AIS вважається мірою тяжкості аварії для водіїв і пасажирів транспортного засобу, наїхали на перешкоду. ASI є одним з найважливіших параметрів захисних бар'єрів [43]. THIV (теоретична швидкість удару голови) являє собою значення теоретичної швидкості удару голови водія і пасажирів транспортного засобу об внутрішню поверхню транспортного засобу в результаті наїзду транспортного засобу на захисний бар'єр, виміряного в ході випробувань на зіткнення, проведених відповідно до норм PN-EN 1317, вираженими в км / год. PHD (стан після удару головою при сповільненні) - утримання голови після удару [5]. Це значення уповільнення, яке відчуває голова людини в транспортному засобі в момент удару транспортного засобу об захисний бар'єр, виміряний в ході випробувань на зіткнення, що проводяться відповідно до умов, зазначених в стандарті PN-EN 1317, і виражене в одиницях прискорення землі (g) . Максимальне значення уповільнення не повинно перевищувати 20 м



Рисунок 1 - Функціональні особливості захисних бар'єрів: а) динамічне відхилення (DN), робоча ширина (WN) та вторгнення транспортного засобу (VIN), б) захисний бар'єр EASY-RAIL 1,33 смуга, що розділяє проїжджі частини, з протилежними напрямками руху [44].

У зв'язку з поглинанням дорожніми пристроями енергії удару, вони класифікуються як: високоенергетичні (ВО), низькоенергетичні (НЕ) і непоглинаючі (НЕ) [34]. Активні інтелектуальні дорожні і мостові бар'єри - це системи, які виявляють силу удару і активно регулюють рівень поглинання енергії удару транспортними засобами різної маси (легкові автомобілі, автобуси і вантажні автомобілі). Завдяки розробленій системі виявлення сили удару, яка викликає відповідну реакцію загородження, негативні наслідки зіткнення транспортного засобу і тяжкість травм, отриманих учасниками зіткнення, будуть знижені.

Багато дослідників використовували метод кінцевих елементів для імітації зіткнення автомобіля з елементами дорожньої техніки. Часто ударний елемент транспортного засобу моделюється з використанням змінюється в часі навантаження передбачуваної максимальної амплітуди [48]. Вплив кінетичної енергії удару на поведінку дорожнього пристрою і його вихід з

ладу не може братися до уваги, якщо удар транспортного засобу моделюється як імпульсне навантаження. У ньому також не враховуються місцеві деформації в місці удару, що виникають в результаті контакту транспортного засобу з шлагбаумом [48]. У свою чергу, програмне забезпечення LS-DYNA, зокрема, використовується для моделювання зіткнень з метою визначення впливу структурних і матеріальних характеристик дорожніх об'єктів на параметри травмування [12].

Чисельне моделювання часто стає реальним засобом, що підтримує аналіз відмов, оцінку експлуатаційних характеристик і проектування бар'єрів з урахуванням моделі транспортного засобу і ґрунту (жорсткість, демпфірування) [15].

Ефективність захисних бар'єрів і опорних конструкцій нерухомих вертикальних дорожніх знаків багато в чому залежить від взаємодії колони з навколишнім ґрунтом, а також від таких факторів, як швидкість транспортного засобу, кут удару, місце удару, умови навантаження [53]. Аналіз методом кінцевих елементів швидко став невід'ємною частиною аналізу і проектування дорожньої техніки та інженерних споруд, так як це надійний і відносно недорогий спосіб аналізу і моделювання ударних подій. Ці симуляції можуть допомогти сконструювати і оптимізувати ці пристрої для зниження травматизму в дорожньо-транспортних пригодах.

Для того, щоб система бар'єрних огорожень могла поглинати більше енергії і забезпечувати кращу стійкість автомобіля, жорстка контактна подушка була замінена на нову рухому конструкцію. Результати аналізу показують, що подрібнений ковпак забезпечує кращу стійкість транспортного засобу з точки зору нахилу і уповільнення, ніж раніше [37]. При зіткненні транспортного засобу зі шлагбаумом і втрати стійкості робота шлагбаумів залежить від декількох факторів, у тому числі: відстані і глибини стійок, висоти поручнів і динамічної взаємодії між стійкою і ґрунтом. Будь-яка неправильна взаємодія між ґрунтом / гравієм і стійкою може привести до небажаного поведіння системи наведення, що може призвести до нещасних випадків зі смертельними наслідками [54]. Згідно з даними вимірів, динамічний опір стійки наземного бар'єру, було майже в два рази вище квазістатичного опору. Як пасивний опір ґрунту, так і ефект деформації стали викликає цю різницю. Підвищена міцність сталевих матеріалів під час динамічного навантаження була домінуючою причиною того, що сила динамічного опору була в два рази більше квазістатичного опору.

У публікації [30] інструкція для бар'єру типу В, SP-05/2 класу N2-W4-A змодельовано як суцільну балку (без з'єднань) та складається з 4-метрових секцій, пов'язаних з балковими елементами, що моделюють з'єднання. У двох краш-тестах, TB11 і TB32, пасажирських автомобілів Geo Metro (Suzuki) та Dodge Neon (Daimler-Chrysler), використовуючи метод скінченних елементів (скорочено MES, FEM, метод скінчених елементів) в середовищі LS-Dyna, було встановлено, що інструкція передбачає безперервність під час краш-тестів, а з'єднання сегментів напрямної рейки зменшує майже всі наслідки аварії, зазначені в стандартах [32, 33, 34]. З іншого боку, публікація [23] доводить, що бар'єр SP-05/2 з накладкою з гуми / пінопласту / композиту, яка була з'єднана з напрямною В за допомогою гвинтових з'єднань, розташованих на вигинах швидкісної дороги, забезпечує прийняття результатів краш-тесту TB11.

Запропоновано новий захисний бар'єр із рухомою середньою балкою з оптимізованими двома основними параметрами [52]. Це забезпечує більш високий рівень ударостійкості, ніж звичайні бетонні огорожі та з'єднання типу W. Нова рухома центральна балка виконана з бетонних сегментів однакової довжини, з'єднаних сталевими штифтами. Запропонована

конструкція демонструє більш високий рівень безпеки при аваріях. Автомобіль зберігає стабільність при аварії та має більшу здатність поглинання енергії. Постраждалі, які перебувають у транспортному засобі, також мають кращих захист.

Було встановлено, що існуюча система захисних бар'єрів G4 (2 Вт) не може безпечно спрямовувати рух ТЗ типу пікап, мікроавтобусів та спортивних машин після зіткнення із захисним бар'єром [40]. Покращення зварних з'єднань, регулювання висоти поручнів та відстані стовпів призвели до підвищення ефективності роботи цієї системи. Таким чином, поліпшена система захисних бар'єрів може ефективно зменшити фактори ризику для пасажирів вищезазначених транспортних засобів [7, 13, 40].

Кінетична енергія автомобіля, що зазнає фронтального удару у сталевий стовп, майже ідентична під час дорожнього випробування Національної адміністрації безпеки дорожнього руху [35], і його значення базується на аналізі системи ABAQUS / Explicit, коли автомобіль являє собою спрощену систему пружинної маси [3]. У свою чергу, його значення майже вдвічі перевищує показники системи аналізу зіткнень LS-Dyna. Середня тривалість ударного контакту становить: від 0,10 с [48] до 0,15 с [3].

Легковий автомобіль вагою 900 кг під час краш-тесту TB11 з металевим бар'єром набагато безпечніший для пасажирів, ніж у випадку зіткнення з бетонними бар'єрами, що випробовуються [28]. Три індекси значущості, ASI, THIV і PHD, вивчаються і використовуються для отримання висновку про поведінку дорожніх бар'єрів при зіткненні з ним легкового автомобіля. Значення шкали ASI є високим після удару у бетонний бар'єр, теоретичні межі прискорення голови пасажирів PHD значно перевищені, що вказує на можливі смертельні травми при такому ударі. Цього не спостерігалось при випробуваннях металевої бар'єрної системи.

Досліджено зіткнення транспортного засобу зі сталеволу опорою світлофорів при фронтальному зіткненні з урахуванням п'яти конфігурацій сталевих опор, включаючи вбудовані опори безпосередньо в ґрунт [12]. Проаналізовано вплив різних типів ґрунтів (піщаних, глинистих) на безпеку пасажирів транспортного засобу. Включені значення енергопоглинання, прискорення та переміщення сталеві опори та транспортного засобу. Було виявлено, що сталева опора, вбудована безпосередньо в ґрунт, досить міцна, щоб забезпечити захист при експлуатаційному навантаженні, і досить гнучка, щоб уникнути ризику серйозних травм пасажирів автомобіля при аварії. Також було встановлено, що кругла форма поперечного перетину дорожньої опори, яка виготовлена з алюмінієвого сплаву з товщиною стінки 2 мм, мала найвищий потенціал поглинання енергії в умовах аналізу наслідків автокатастрофи.

У дослідженні [38] були проаналізовані наслідки удару транспортного засобу у сталеву циліндричну опору з різними товщинами труби (25%, 50% та 75% порівняно з початковою товщиною), враховуючи значення сили спротиву, зміщення та зменшених напружень. За допомогою методу FEM, використовуючи систему ABAQUS / Explicit, вплив кута удару на різних швидкостях (40, 80, 130 та 160 км / год) та ваги транспортного засобу (600, 1300, 1800 та 2400 кг), а також місця удару для прийнятої конструкції автомобіля.

Композитні опори з FRC (композит армований скловолокном) можуть мати як малу товщину стінки, так і високу крихкість, а тому безпечніші для пасажирів ТЗ [35]. Дерев'яні опори мають компактний перетин, що дає високий, прийнятний коефіцієнт поглинання енергії.

Бокові краш-тести транспортних засобів із початковою швидкістю удару 35, 50 і

мережі датчиків віртуального зору відповідної конфігурації або радіолокатора вздовж одного з узбіч дороги [14]. В останні роки такі заходи набули першочергового значення для підвищення безпеки; системи раннього попередження автомобіля VANET (автомобільні спеціальні мережі), WiMAX (Всесвітня взаємодія у мікрохвильовому доступі), Android, AES (вдосконалений стандарт шифрування). Вони здебільшого використовуються для розпізнавання та визначення дорожніх умов або виникнення аварій для забезпечення безпеки транспортного руху та передбачення динамічної мобільності. Дорожній рух також все більше впливає на забрудненість повітря. Це пов'язано зі зростанням викидів в атмосферу таких елементів як Fe, Ba, Cr, Mn та концентрації часток PM10, PM2.5, PM1, зростання кількості PN та концентрації чорного вуглецю [1]. Тому все більше уваги приділяється наявності дерев, особливо листяних, живоплотів та дуже ефективних зелених смуг уздовж доріг.

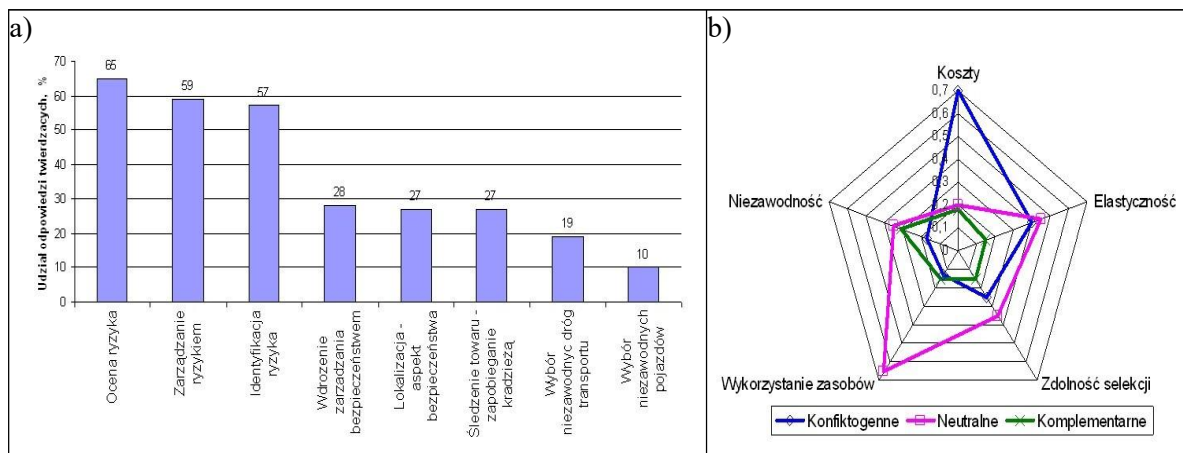


Рис. 3 - Методи вдосконалення / підвищення надійності та безпеки логістичної системи (а).
Зв'язок між безпекою та цілями логістичної системи (b).

Дослідження засновано на [29, 45]

ВИСНОВКИ

Доцільно оцінити ризики зіткнення транспортного засобу з придорожніми перешкодами, а також провести випробування на аварію (краш-тести), які визначають придатність цієї дорожньої та мостової бар'єрної системи для використання. Це дозволяє покращити безпеку дорожнього руху та зменшити негативні наслідки можливих аварій. Основною перспективою розвитку обмеження виносу транспортного засобу з дороги є використання кращих та якісніших енергоємних бар'єрів та опорних конструкцій для дорожніх знаків та щитів, які завдяки своїй конструкції можуть врятувати життя пасажирів транспортного засобу та пішоходів при зіткненні.

Комп'ютерна підтримка методом скінченних елементів - САПР, для сил, моментів сил та деформацій, та система LS-DYNA для наслідків та параметрів пошкоджень, значно покращує конструкційні роботи та дослідницькі випробування, пов'язані з безпекою дорожнього руху та дозволяє отримати більш сприятливі функціональні параметри систем безпеки при зіткненнях.

Це стосується, зокрема, розробки безпечних захисних бар'єрів, стовпів, опорних конструкцій, дорожніх знаків та іншого дорожнього обладнання.

ANALIZA WPŁYWU DROGOWYCH BARIER OCHRONNYCH NA ZMNIEJSZENIE RYZYKA NIEBEZPIECZNYCH ZDARZEŃ DROGOWYCH I ICH SKUTKÓW

Savostin-Kosiak D.O., dr inż., Narodowy Uniwersytet Transportu, Kijów, Ukraina, daniel_s@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8795-5939

Michalski Jacek, Dr hab. inż., Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, Polska, jmichals@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-9745-9453

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДОРОЖНІХ БАР'ЄРІВ БЕЗПЕКИ НА ЗНИЖЕННЯ РИЗИКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД ТА ЇХ НАСЛІДКІВ

Савостін-Косяк Д.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, daniel_s@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8795-5939

Міхальскі Яцек, доктор хабілітований, Жешувська Політехніка, Жешув, Польща, jmichals@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-9745-9453

ANALYSIS OF THE IMPACT OF ROAD SAFETY BARRIERS ON REDUCING THE RISK OF DANGEROUS ROAD ACCIDENTS AND THEIR CONSEQUENCES

Savostin-Kosiak D.O., Ph.D in Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, daniel_s@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8795-5939

Michalski Jacek, Doctor of Technical Science, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland, jmichals@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-9745-9453

WSTĘP

Drogowe bariery ochronne oraz inne bariery, mają funkcję zapobiegawczą (zmniejszania prawdopodobieństwa wystąpienia) lub ochronną (zmniejszającą dotkliwość konsekwencji) i powinny być adekwatne do konkretnego ryzyka [5, 9, 22, 39, 41]. Ogólnie, bariery ochronne to systemy fizyczne i techniczne lub jest to działanie człowieka oparte na konkretnych procedurach lub kontrolnych decyzjach administracyjnych, związane ze sposobem, w jaki funkcja bezpieczeństwa jest realizowana np. projekt ARAMIS [8, 17, 47]. Jeśli te funkcje nie zostaną spełnione, oznacza to awarię bariery bezpieczeństwa, która w większości przypadków powoduje katastrofalne skutki dla ludzi, mienia lub środowiska [19, 39]. Zasadnicze znaczenie ma zapewnienie wysokiej dostępności bariery bezpieczeństwa oraz spełnienie dużej niezawodności ich elementów, aby utrzymać ryzyko w dopuszczalnych granicach. Pod pojęciem wypadnięcia z drogi rozumie się takie pierwotne zdarzenie drogowe, w którym pojazd zjeżdża z jezdni w wyniku utraty stateczności lub nagłej zmiany kierunku jazdy (spowodowanej jazdą ze zbyt dużą prędkością, utratą przyczepności kół do nawierzchni itp.). W następstwie tego zdarzenia niekiedy następuje powrót pojazdu na jezdnię, ale bardzo często występuje wtórne zdarzenie niebezpieczne polegające na: wywróceniu się pojazdu, wjechaniu pojazdu do rowu, uderzeniu w skarpetę, uderzeniu w urządzenie lub obiekt zlokalizowany w pasie drogowym albo jego bliskim otoczeniu, np. najechanie pojazdu na barierę ochronną drogową, najechanie na drzewo, najechanie na słup lub znak drogowy [20]. W ocenie ryzyka stosuje się analizy metodą drzewa zdarzeń, drzewa niezawodności i metodę probabilistyczną [17, 47, 51]. Ponadto wymaganym jest zachowanie integralności bariery bezpieczeństwa drogowego podczas uderzenia, tj. główne części składowe nie powinny się łamać ani oddzielać od bariery. Po przekierowaniu/modyfikowaniu ruchu pojazdu na drogę przez barierę, jego trajektoria pozostanie w wyznaczonym polu wyjściowym/zamierzonym [36]. Wyniki estymacji wskazują, że zderzenia drogowe z barierą środkową z liny stalowej, zwiększa prawdopodobieństwo mniej poważnych skutków wypadnięcia pojazdu z drogi, aniżeli zderzenie z barierą o konstrukcji betonowej lub z blachy stalowej [18].

ANALIZ LITERATURY

Statystyki ogólnoświatowe pokazują, że wypadki pojazdów silnikowych są główną przyczyną śmierci i obrażeń, pomimo poprawy wytrzymałości pojazdów na uderzenia, ulepszonych znaków drogowych i stosowania zaawansowanych systemów bezpieczeństwa [2]. Według statystyk wypadków drogowych, w

ciągu ostatnich kilku lat, trzecia największa przyczyna ofiar śmiertelnych, w przedwczesnym wieku (poniżej 65 lat), to wypadek drogowy lub konsekwencje to generujące [27]. W Polsce, niestety, jest największa liczba śmierci osób na drogach na miliard pojazdów•km, wynosząca 14,6 osób (najniższa jest w Norwegii 2,7, średnia Unii Europejskiej UE19, wynosi 5,9) [2].

Metodyka budowy narzędzi zarządzania ryzykiem strategicznym w ruchu drogowym, ROAD-RISK, zawiera: modele i miarach ryzyka, prognozowanie miar ryzyka, wartościowanie ryzyka i wybór skutecznych działań strategicznych i społecznych [21]. Modele strategiczne zawierają zmienne: przestrzenne, demograficzne, ekonomiczne, społeczne, motoryzacyjne, infrastrukturalne oraz transportowe. Z kolei inwestycje dotyczące bezpieczeństwa infrastruktury drogowej powinny być realizowane na określonych odcinkach dróg charakteryzujących się największą koncentracją wypadków lub największymi możliwościami ograniczenia wypadków [9].

Bariera ochronna drogowa i mostowa jest urządzeniem służącym bezpieczeństwu ruchu drogowego. Może być ona skrajna (przy - krawędzi jezdni, pasie dzielącym, obiekcie inżynierskim) lub umieszczona na pasie dzielącym jezdnie, o przeciwnych kierunkach jazdy. Przeszkody obowiązkowo są oddzielone barierami drogowymi. Bariery i balustrady są stosowane na wiaduktach i nasypach, jak również w miejscach, gdzie w pobliżu znajdują się obiekty i przeszkody stałe np. słupy lub budynki [10, 11, 42, 49]. Bariery służą także do zabezpieczenia urządzeń drogowych oraz obiektów inżynierskich. Są to zwłaszcza: sygnalizatory; konstrukcje wsporcza znaku drogowego oraz jego tablice; zapory i półzapory kolejowe; wysepki na jezdni; ogrodzenia; słupki hektometrowe; słupki przeszkodowe - pylon U-7. Bariery ochronne są metalowe U-14a (w tym łańcuchowe, linowe, stalowo-betonowe i FLEXTRA), bariery betonowe U-14b oraz bariery z innych materiałów U-14c [25]. Dobór parametrów funkcjonalno-kolizyjnych barier ochronnych dokonuje się na podstawie [6]: dopuszczalnej prędkości pojazdu ($V_{dp} \leq 90$ km/h, $V_{dp} > 90$ km/h); miejsca zagrożenia (przeszkoda: wysoka, niska, obszar zagrożony); odległości granicznych (porównanie rzeczywistej odległości od miejsc zagrożeń do krawędzi jezdni z wartościami odległości granicznych wyznaczonymi przez linie L_{ob} dla obszarów zagrożonych lub L_{prz} dla przeszkód – odpowiada to wartości: $P_{prz}=2$ m, $L_{ob}=2$ m; $P_{prz}=4,5$ m, $L_{ob}=7,5$ m; $P_{prz}=7,5$ m, $L_{ob}=11,5$ m); oceny czy istnieje inny sposób zabezpieczenia niż przez zastosowanie barier ochronnych; przedziału średniego dobowego natężenia ruchu samochodów ciężarowych i autobusów ($SDR_{SC+A} \leq 500$, $500 < SDR_{SC+A} \leq 3000$, $SDR_{SC+A} > 3000$) oraz łącznie od - poziomu powstrzymywania, odkształcenia poprzecznego (W , VI , D) i poziomu intensywności zdarzenia (A , B , C).

Zharmonizowane normatywy badań i bezpieczeństwa drogowych barier ochronnych zawierają normy i przedstawiają publikacje [5, 31, 32, 33, 34, 49].

Bariera ochronna drogowa przejmująca energię uderzenia pojazdu jest urządzeniem służącym bezpieczeństwu ruchu drogowego, mającym na celu zapobieżenie zjechaniu pojazdu z drogi w miejscach niebezpiecznych lub przejechaniu na jezdnię z przeciwnym kierunkiem ruchu, a także niedopuszczenie do kolizji z obiektami w pobliżu drogi [25, 26, 41, 46]. Cechy funkcjonalne barier ochronnych to: poziom powstrzymywania, przemieszczenie wyrażonego szerokością pracującą i poziom intensywności zderzenia. Poziom powstrzymywania jest to zdolność bariery do powstrzymywania uderzającego w nią pojazdu. Określany jest na podstawie badań zderzeniowych oraz dzieli się na: mały - T1, T2, T3 (przeznaczony tylko do tymczasowych barier ochronnych), normalny - N1, N2, podwyższony - H1, H2, H3 oraz bardzo wysoki – H4a, H4b [6]. Szerokość pracująca bariery charakteryzowana jest przez (rys. 2a): znormalizowane ugięcie dynamiczne (D_N), znormalizowaną szerokość pracującą (W_N) oraz znormalizowaną intruzję pojazdu (V_{IN}) [32]. Znormalizowana szerokość pracująca (W_N - osiem klas szerokości, od $\leq 0,8$ m do $\leq 3,5$ m) to maksymalna poprzeczna odległość pomiędzy dowolną częścią bariery ochronnej od strony ruchu a jej maksymalnym dynamicznym położeniem. Znormalizowane ugięcie dynamiczne (D_N) to maksymalne boczne przemieszczenie (w pewnych okolicznościach tylko tymczasowe) dowolnego punktu powierzchni czołowej bariery ochronnej od strony ruchu. Znormalizowana intruzja pojazdu (V_{IN}) to maksymalna boczna odległość dowolnej części samochodu zwykle ciężarowego HGV (Heavy goods vehicle) lub autobusu od dowolnej nieodkształconej części bariery ochronnej od strony ruchu. Poziom intensywności zderzenia jest to parametr odzwierciedlający oddziaływanie zderzenia na osoby znajdujące się w pojeździe (określany jako; A, B lub C) oceniany wskaźnikami ASI, THIV i PHD [28]. Wskaźnik intensywności przyspieszenia [5] - skrócona skala obrażeń ASI (Abbreviated Injury Scale) jest wielkością bezwymiarową obliczaną zgodnie z normami PN-EN 1317. Wskaźnik ciężkości obrażeń ISS (Injury severity score) – ogólny wynik wielkości urazu wielonarządowego - jest sumą kwadratową trzech maksymalnych ocen AIS, z sześciu obszarów ciała: głowa, twarz, klatka piersiowa, jama brzuszna, kończyny oraz zewnętrzny). Maksymalna wartość AIS jest uważana za miarę ciężkości wypadku pasażerów w pojeździe, uderzającym w przeszkodę. ASI jest jednym z najważniejszych parametrów barier ochronnych [43]. THIV (Theoretical head impact velocity) to wartość teoretycznej prędkości uderzenia głowy osoby przebywającej w pojeździe w powierzchnię wewnątrz

pojazdu, na skutek uderzenia pojazdu w barierę ochronną, zmierzona w trakcie badań zderzeniowych wykonywanych zgodnie z normami PN-EN 1317, wyrażona w km/h. PHD (Post-impact head. deceleration) - opóźnienie głowy po zderzeniu [5]. Jest to wartość opóźnienia, jakiej doznaje głowa osoby znajdującej się w pojeździe w momencie uderzenia pojazdu w barierę ochronną, zmierzona w trakcie badań zderzeniowych wykonywanych zgodnie z warunkami określonymi w normach PN-EN 1317, wyrażona w jednostkach przyspieszenia ziemskiego (g). Maksymalna wartość opóźnienia nie może przekroczyć 20 g.



Rysunek 1 – Cechy funkcjonalne barier ochronnych: a) ugięcie dynamiczne (D_N), szerokość pracująca (W_N) oraz intruzja pojazdu (V_{IN}), b) bariera ochronna EASY-RAIL 1.33 pasie dzielącym jezdnie, o przeciwnych kierunkach jazdy [44]

Figure 1 – Functional features of protective barriers: a) dynamic deflection (D_N), working width (W_N) and vehicle intrusion (V_{IN}), b) protective barrier EASY-RAIL 1.33 lane dividing roadways, with opposite directions of travel [44].

Ze względu na pochłanianie energii uderzenia przez urządzenia drogowe, klasyfikuje się je jako: pochłaniające energię w wysokim stopniu (HE), pochłaniające energię w niskim stopniu (LE) oraz nie pochłaniające energii (NE) [34]. Aktywne inteligentne bariery drogowe i mostowe to systemy wykrywania siły uderzenia i aktywnie dostosowujące poziom absorpcji energii uderzenia do pojazdów o różnej masie (samochód osobowy, autobus i samochód ciężarowy). Dzięki opracowanemu systemowi wykrywania siły uderzenia, wyzwalającego odpowiednią reakcję bariery, zmniejszą się negatywne skutki zderzenia pojazdu i ciężkość obrażeń uczestników kolizji.

Wielu badaczy wykorzystało metodę elementów skończonych do symulacji wpływu uderzenia samochodu z elementami urządzeń drogowych. Często uderzenie pojazdu jest symulowane przy użyciu zmiennego w czasie obciążenia o założonej maksymalnej amplitudzie [48]. Wpływ energii uderzenia kinetycznego na zachowanie urządzenia drogowego i jego awarię, nie może być brana pod uwagę, jeśli uderzenie pojazdu jest modelowo zadane, jako obciążenie impulsowe. Nie uwzględnia ono także lokalnych odkształceń w punkcie uderzenia, w wyniku kontaktu między pojazdem a barierą [48]. Z kolei oprogramowanie LS-DYNA, służy zwłaszcza do symulacji zderzeń, w celu określenia wpływu strukturalnych i materiałowych charakterystyk obiektów drogowych na parametry obrażeń [12].

Symulacje numeryczne stają się często realnymi środkami wspierającymi analizę awarii, ocenę wydajności i projektu barier, uwzględniające model pojazdu i model gruntu (sztywność, tłumienie) [15].

Wydajność barier ochronnych i konstrukcji wsporczych stałych pionowych znaków drogowych, w dużej mierze zależy od interakcji między słupem oraz otaczającą go glebą jak i takich czynników jak: prędkość pojazdu, kąt uderzenia, miejsce uderzenia, warunki obciążenia [53]. Analiza elementów skończonych szybko stała się podstawową częścią analizy i projektowania urządzeń drogowych i obiektów inżynierskich, ponieważ jest to niezawodny i stosunkowo niedrogi sposób analizowania i symulowania zdarzeń uderzeniowych. Symulacje te mogą pomóc w projektowaniu i optymalizacji tych urządzeń w celu zmniejszenia obrażeń w wypadkach drogowych.

Aby system prowadnica bariery-słup mógł pochłaniać więcej energii i zapewniać lepszą stabilność pojazdu, sztywną nakładkę stykową zastąpiono nowym przemieszczalnym jej projektem. Wyniki analizy wskazują, że zgniatana nakładka zapewnia lepszą, niż dotychczas, stabilność pojazdu pod względem kąta przechyłu i opóźnienia pojazdu [37]. Podczas zderzenia pojazdu z barierą i utracie stabilności, działanie barier zależy od kilku czynników, w tym od: odległości i głębokości osadzenia słupów, wysokości poręczy oraz dynamicznej interakcji między słupem a glebą. Jakkolwiek błędna interakcja między ziemią/zwirem a słupem może spowodować niepożądane zachowanie systemu prowadnic, co może prowadzić do wypadków śmiertelnych [54]. Zgodnie z danymi pomiarowymi opór dynamiczny, słup bariery-gleba, był około dwukrotnie większy od oporu quasi-statycznego. Zarówno pasywne zamknięcie gleby, jak i efekt

odkształcenia stali spowodowały tę różnicę. Zwiększona wytrzymałość materiału stalowego podczas obciążenia dynamicznego była dominującym powodem, dla którego siła oporu dynamicznego była dwukrotnie większa od siły oporu quasi-statycznego.

W publikacji [30] modelowano prowadnicę typu B bariery SP-05/2, klasy N2–W4–A jako belkę ciągłą (bez złączy) oraz jako składającą się z 4 metrowych odcinków połączonych elementami belkowymi modelującymi złącza. W dwu testach zderzenia, TB11 i TB32, samochodów osobowych Geo Metro (Suzuki) i Doge Neon (Daimler-Chrysler), za pomocą metody elementów skończonych (w skrócie MES, FEM, Finite element method) w środowisku LS-Dyna stwierdzono, że prowadnica zachowa ciągłość w trakcie testu zderzeniowego oraz połączenie segmentów prowadnic powoduje zmniejszenie prawie wszystkich parametrów zderzeniowych określonych w normach [32, 33, 34]. Z kolei w publikacji [23] udowodniono, że bariera SP-05/2 z nakładką z gumy/pianki/kompozytu, która została połączona z prowadnicą B z łącznikami śrubowymi, znajdująca się na zakrętach drogi przyspieszonego ruchu drogowego, zapewnia akceptację testu zderzeniowego TB11.

Zaproponowano nową barierę ochronną z ruchomą listwą środkową, z dwoma zoptymalizowanymi głównymi parametrami [52]. Zapewnia to wyższy poziom odporności na zderzenia niż konwencjonalne bariery z betonu i listwą typu W. Nowa ruchoma listwa środkowa wykonana jest z wielu betonowych segmentów o jednolitej długości, połączonych stalowymi kołkami. Proponowana konstrukcja wykazuje wyższy poziom skuteczności zderzeniowej. Pojazd cechuje się lepszą stabilnością po zderzeniu i większą zdolnością pochłaniania energii. Także osoby uderzającego pojazdu są lepiej chronione.

Stwierdzono, że istniejący system barier ochronnych G4 (2W), nie jest w stanie bezpiecznie przekierować/modyfikować samochody typu pickupy, samochody dostawcze i pojazdy sportowe, po zderzeniu z barierą ochronną [40]. Dokonane ulepszenia połączeń spawanych, regulacje wysokości poręczy oraz odstępów słupków zapewniły poprawę wydajności tego systemu. Tak zmodyfikowany system barier ochronnych może skutecznie zmniejszyć czynniki ryzyka dla pasażerów powyższych pojazdów [7, 13, 40].

Siła uderzenia czołowego samochodu w słup stalowy jest prawie identyczna, w teście drogowym National Highway Traffic Safety Administration [35], z jej wartością, na podstawie analizy systemem ABAQUS/Explicite, gdy samochód jest uproszczonym systemem sprężynowo-masowym [3]. Z kolei jej wartość jest prawie dwukrotnie większa na podstawie analizy za pomocą systemu analizy zderzeń LS-Dyna. Średni czas trwania kontaktu zderzenia wynosi: od 0,10 s [48] lub do 0,15 s [3].

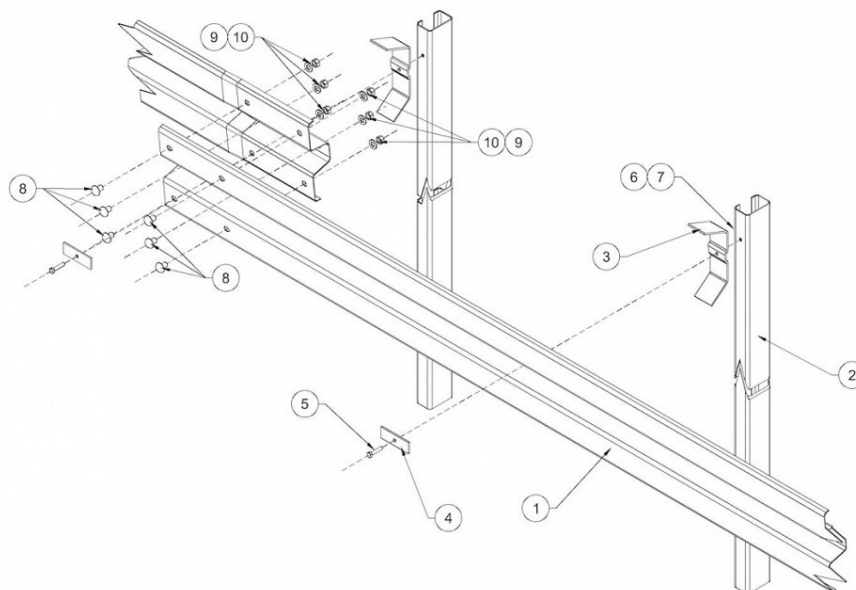
Samochód osobowy, o masie 900 kg, w teście zderzenia TB11 z metalową barierą jest o wiele bezpieczniejszy dla pasażerów niż w przypadku zderzenia z analizowanymi barierami betonowymi [28]. Trzy wskaźniki istotności, ASI, THIV i PHD, są badane i wykorzystywane do wnioskowania o zachowaniu barier drogowych podczas interakcji z tym lekkim samochodem. Wartość skali ASI jest wysoka po najechnaniu na barierę betonową, limity teoretycznego przyspieszenia głowy pasażera PHD zostały znacznie przekroczone, co wskazuje na możliwe śmiertelne obrażenia w takim scenariuszu uderzenia. Nie zaobserwowano tego dla metalowego systemu barier ochronnych.

Zbadano kolizję pojazdu ze stalowym słupem sygnalizacji świetlnej w zderzeniu czołowym, biorąc pod uwagę pięć konfiguracji podpór słupów stalowych, w tym osadzenie słupa bezpośrednio w glebie [12]. Analizowano wpływ różnych rodzajów warunków glebowych (piaszczystych, gliniastych) na bezpieczeństwo pasażerów pojazdu. Zamieszczono wartości absorpcji energii, przyspieszenia i przemieszczenia stalowego słupa i pojazdu. Stwierdzono, że stalowy słup osadzony bezpośrednio w glebie jest wystarczająco mocny, aby zapewnić ochronę podczas obciążenia eksploatacyjnego i wystarczająco elastyczny, aby uniknąć ryzyka dużych obrażeń pasażerów pojazdu. Stwierdzono także, że okrągły kształt przekroju poprzecznego słupa drogowego, wykonany ze stopu aluminium i grubość ścianki 2 mm miał największy potencjał pochłaniania energii, w warunkach prowadzonej analizy zderzenia samochodu.

W pracy [38] analizowano wyniki badań uderzenia pojazdu w słup stalowy, o różnej grubości walcowej rury (25%, 50% i 75% redukcji w porównaniu z grubością początkową), podając wartości siły reakcji, przemieszczenia i naprężeń zredukowanych. Stosując metodę MES, za pomocą systemu ABAQUS/Explicite, zbadano wpływ kąta uderzenia udarowego dla różnej prędkości (40, 80, 130 i 160 km/h) i masy pojazdu (600, 1300, 1800 i 2400 kg) jak i lokalizacji uderzenia dla przyjętej konstrukcji samochodu.

Słupy z kompozytów, z wzmocnionym włóknem szklanym FRC (Glassfiber reinforced composite), mogą mieć zarówno małą grubość ścianki, jak i zachowanie kruche, a zatem są korzystne dla bezpieczeństwa pasażerów [35]. Słupy z litego drewna wykazują zwartość przekroju, prowadzącą do wysokiego, korzystnego współczynnika pochłaniania energii. Boczne testy zderzeniowe pojazdów o prędkości początkowej zderzenia 35, 50 i 100 km/h oraz analizy dynamiczne zderzenia w słupy drewniane bukowe, zagęszczone i sprasowane puste wewnątrz, wykazały wysoką ich łamliwość i niską energię rozpraszania.

Wzmocnienie włóknem szklanym rur skutecznie zmniejsza rozprzestrzenianie się odpadów drewna [16]. Autorzy stwierdzają że drewniane słupy rurowe są skutecznym środkiem do budowy niskoenergetycznych słupów, które mogą być wykorzystane do wyposażenia infrastruktury drogowej.



Rysunek 2 – Schemat montażowy modelu bazowego bariery ochronnej Easy Rail 1.33 N2 opracowany w system Autodesk Inventor Professional 2018: 1) prowadnicę typu B, 2) słup typu C 110x1750 mm, 3) wspornik ER typu B, 4) nakładka stykowa, 5) śruby M10x45, 6) podkładki $\Phi 11$, 7) nakrętki sześciokątne M10, 8) śruby noskowe M16x27, 9) podkładki $\Phi 18$, 10) nakrętki sześciokątne M16

Figure 2 – Installation diagram of Easy Rail 1.33 N2 base model developed in Autodesk Inventor Professional 2018 system: 1) B-type guide, 2) C-type pole 110x1750 mm, 3) ER type B bracket, 4) contact patch, 5) M10x45, 6 screws) washers $\Phi 11$, 7) M10 hex nuts, 8) M16x27 nose screws, 9) $\Phi 18$, 10) washers M16 hex nuts.

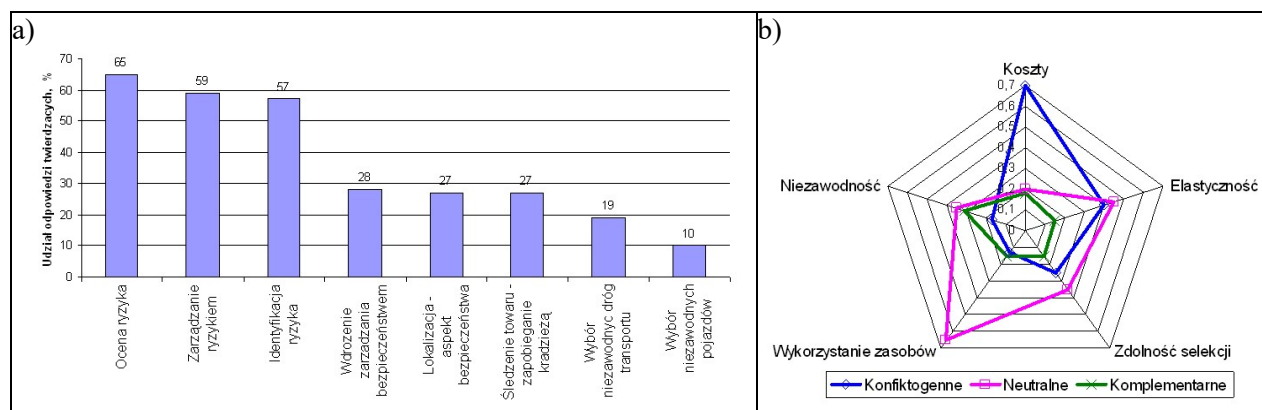
Przeprowadzono także porównanie wyników analizy, opracowanego matematycznego modelu awarii ładowarki oraz samochodu jak i słupa drogowego, po ich najechaniu o różnych początkowych prędkościach uderzenia, z wynikami testów eksperymentalnych [24]. Wykazały one wysoką dokładność modelu numerycznego w zakresie prędkości, przyspieszenia i przemieszczenia.

Analiza metodą MES, przy użyciu systemu ABAQUS uderzenia bocznego pojazdu samochodowego w prostokątne stalowe słupy rurowe pomostu mostowego, także gdy te słupy są częściowo wypełnione betonem, była zgodna z wynikami badań eksperymentalnych uderzenia młotem wahadłowym [50]. Stwierdzono także, że kierunek uderzenia i energia znacząco wpłynęły na odporność słupów na uderzenie.

Zwiększanie niezawodności i bezpieczeństwa systemu logistycznego transportu: drogowego, kolejowego, lotniczego, morskiego i żeglugi śródlądowej, skutecznie dokonuje się, zwłaszcza, w wyniku: oceny ryzyka, zarządzania ryzykiem oraz identyfikacji ryzyka, rys. 3a [29, 45]. Najbardziej konfliktogenne relacje pomiędzy bezpieczeństwem a celami funkcjonowania systemu logistycznego występują pomiędzy: ograniczeniem kosztów logistycznych a niezawodnością, wykorzystaniem zasobów, zdolnością selekcji i elastycznością (rys. 3b). Natomiast najbardziej neutralne są problemy wykorzystania zasobów naturalnych. Z kolei najbardziej komplementarne działania dotyczące podnoszenia niezawodności funkcjonowania systemu.

Aktualnie, zapewnienie bezpieczeństwa ruchu drogowego, zwłaszcza autonomicznych pojazdów, proponuje się realizować poprzez nieprzerwany nadzór drogowy siecią odpowiedniej konfiguracji wirtualnej wizji lub czujników radarowych, wzdłuż jednego pobocza drogi [14]. W ostatnich latach zyskały wysoki priorytet ochrony bezpieczeństwa; pojazdowe systemy wczesnego ostrzegania VANET (Vehicular ad-hoc networks), WiMAX (World interoperability for microwave access), Android, AES (Advanced encryption standard). Są one używane głównie do rozpoznawania i wykrywania warunków drogowych lub wypadków w celu zapewnienia bezpiecznego transportu oraz dynamicznego przewidywalna mobilności. Ruch drogowy zwiększa także narażenie zanieczyszczenia powietrza. Zwiększa bowiem zawartości Fe, Ba, Cr, Mn oraz

stężenie cząstek stałych PM10, PM2,5, PM1, liczby cząstek stałych PN jak i stężenia węgla czarnego [1]. Dlatego przykładem się coraz większa uwagę do występowania w pobliżu dróg drzew, zwłaszcza liściastych, żywopłotów i bardzo skutecznych pasów zieleni.



Rysunek 3 – Metody podnoszenia/zwiększania niezawodności i bezpieczeństwa systemu logistycznego (a). Relacje pomiędzy bezpieczeństwem a celami funkcjonowania systemu logistycznego (b). Opracowanie na podstawie [29, 45]

Figure 3 – Methods of increasing / increasing the reliability and security of the logistics system (a). Relations between security and the goals of the logistics system (b). Development based on [29, 45].

PODSUMOWANIE

Szacowanie ryzyka dla przypadku kolizji pojazdu z przeszkodami przy drodze, a także przeprowadzanie testów zderzenia, które określają przydatność danego systemu barier ochronnych drogowych i mostowych do użytku, są celowe. Umożliwia to, poprawę poziomu bezpieczeństwa na drogach oraz zmniejszenie negatywnych skutków ewentualnych wypadków. Główną perspektywą rozwojową, w ograniczeniu wypadnięcia pojazdu z drogi, jest stosowanie coraz to lepiej działających barier energochłonnych oraz konstrukcji wsporczych znaków i tablic drogowych, które dzięki swojej budowie mogą uratować życie, osób przebywających w pojeździe w czasie zderzenia, jak i pieszych.

Wspomaganie komputerowe metodą elementów skończonych - systemami CAD, dla sił, momentów sił i deformacji oraz systemem LS-DYNA dla, zdarzeń oraz parametrów obrażeń, w istotny sposób usprawnia prace konstrukcyjne i testy badawcze dotyczące bezpieczeństwa ruchu drogowego jak i pozwala uzyskać korzystniejsze parametry funkcjonalno-kolizyjne systemów bezpieczeństwa. Dotyczy to zwłaszcza opracowywania konstrukcji bezpiecznych barier ochronnych; słupów, konstrukcji wsporczych, znaków drogowych i innych elementów wyposażenia drogi.

LITERATURA

1. Abhijith K.V.; Kumar P. (2019) Field investigations for evaluating green infrastructure effects on air quality in open-road conditions. *Atmospheric Environment*, 301, 132-147.
2. Adminaite D., Calinescu T., Jost G., Stipdonk H., Ward H. (2018) Ranking EU progress on road safety. 12th Road safety performance index report. European Transport Safety Council, Brussels.
3. Al-Thairy H., Wang Y.C. (2014) Simplified FE vehicle model for assessing the vulnerability of axially compressed steel columns against vehicle frontal impact. *Journal of Constructional Steel Research*, 102, 190-203.
4. Bera P. (2015) Powikłania septyczne u pacjentów z mnogimi obrażeniami ciała leczonych w Oddziale Anestezjologii i Intensywnej Terapii. Praca doktorska, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, promotor prof. K. Słowiński, Poznań.
5. Borovinsek M., Vesenjnak M., Ulbin M., Ren Z. (2007) Simulation of crash tests for high containment levels of road safety barriers. *Engineering Failure Analysis*, 14, 8, 1711-1718.
6. Bujalski M., Sandecki T., Wierzcholski M., Mikolajkow L., Erden K. D. (2012) Część 1. Wytyczne stosowania drogowych barier ochronnych na drogach wojewódzkich województwa opolskiego. Zarząd Dróg Wojewódzkich w Opolu, Opole.
7. Coon B.A., Reid J.D. (2006) Reconstruction techniques for energy-absorbing guardrail end terminals. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 1, 1-13.

8. de Dianous V, Fievez C. (2006) ARAMIS project: A more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance. *Journal of Hazardous Materials*, 130, 3, 230-233.
9. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/96/WE z listopada 2008 r. w sprawie zarządzania bezpieczeństwem infrastruktury drogowej.
10. Dz.U.00.63.735 (2000) Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie.
11. Dz.U. 2015 poz. 1422: Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
12. Elmarakbi A., Sennah K., Samaan M., Siriya P. (2006) Crashworthiness of motor vehicle and traffic light pole in frontal collisions. *Journal of Transportation Engineering-ASCE*, 132, 9, 722-733.
13. Gabauer D. J., Kusano K. D., Marzougui D., Opiela K., Hargrave M., Gabler H. C. (2010) Pendulum testing as a means of assessing the crash performance of longitudinal barrier with minor damage. *International Journal of Impact Engineering*, 37, 11, 1121-1137.
14. Geissler F., Kohnert S., Stolle R. (2018) Designing a roadside sensor infrastructure to support automated driving. *Book Series IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems-ITSC*, 703-708.
15. Gutowski M., Palta E., Fang H. (2017) Crash analysis and evaluation of vehicular impacts on W-beam guardrails placed on sloped medians using finite element simulations. *Advances in Engineering Software*, 112, 88-100.
16. Hartig J.U., Facchini S., Haller P. (2018) Investigations on lateral vehicle impact on moulded wooden tubes made of beech (*Fagus sylvatica* L.). *Construction and Building Materials*, 174, 547-558.
17. Hollnagel E. (2008) Risk + barriers = safety?. *Safety Science*, 46, 2, 221-229.
18. Hu W., Donnell E.T. (2010) Median barrier crash severity: some new insights. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 6, 1697-1704.
19. IEC 61508 (2010) Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 1 ÷ Part 7. International Electrotechnical Commission, Geneva.
20. Jamroz K., Antoniuk M., Jeliński Ł., Wachnicka J., Gronowska K. (2015) Częstość i konsekwencje wypadnięcia pojazdu z drogi na przykładzie województwa pomorskiego. *Drogownictwo*, 4-5, 117-125.
21. Jamroz K., Budzynski M., Romanowska A., Zukowska J., Oskarbski J. (2019) Experiences and challenges in fatality reduction on polish roads. *Sustainability*, 11, 4, Article Number: 959.
22. Jin H., Lundteigen M.A., Rausand M. (2011) Reliability performance of safety instrumented systems: A common approach for both low- and high-demand mode of operation. *Reliability Engineering & System Safety*, 96, 3, 365-373.
23. Kłasztorny M, Nycz D, Romanowski R K. (2016) Rubber/foam/composite overlay onto guide B of barrier located on road bend. *The Archives of Automotive Engineering - Archiwum Motoryzacji*, 69, 3, 65-86.
24. Lu Q., Karimi H.R., Robbersmyr K.G. (2013) A data-based approach for modeling and analysis of vehicle collision by LPV-ARMAX models. *Journal of Applied Mathematics*, Article Number: 452391.
25. Maciejewski A., Wyrwich N., Gierasimiuk W., Śakowski R., Kowalski K., Miecznikowski P., Kaszyński A., Kobus Z., Kwiecień-Szczepańska K., Trojanek vel Trojanowski R., Lendner Ł., Gacparski J. (2014) Wytyczne stosowania drogowych barier ochronnych na drogach krajowych. *Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad*. Warszawa, styczeń.
26. Mikołajków L. (1983) *Drogowe bariery ochronne*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKiŁ, Warszawa.
27. Miralbes R. (2013) Design of motorcycle rider protection systems using numerical techniques. *Accident Analysis and Prevention*, 59, 94-108.
28. Neves R. R., Fransplass H., Langseth M., Driemeier L., Alves M. (2018) Performance of some basic types of road barriers subjected to the collision of a light vehicle. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40, 6, Article Number: UNSP 274.
29. Nowakowski T. (2011) *Niezawodność systemów logistycznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
30. Nycz D.B. (2016) Effect of the B-type guiderail joints of a road barrier on the TB11 and TB32 virtual crash tests. *Archiwum Motoryzacji*, 71, 1, 73-85.

31. PN-EN 1317-1:2010 (2010) Systemy ograniczające drogę - Część 1: Terminologia i ogólne kryteria metod badań. PKN, Warszawa.
32. PN-EN 1317-2:2010 (2010) Systemy ograniczające drogę - Część 2: Klasy działania, kryteria przyjęcia badań zderzeniowych i metody badań barier ochronnych i balustrad. PKN, Warszawa.
33. PN-EN 1317-5+A2:2012 (2012) Systemy ograniczające drogę - Część 5: Wymagania w odniesieniu do wyrobów i ocena zgodności dotycząca systemów powstrzymujących pojazd. PKN, Warszawa.
34. PN-EN 12767:2008 (2008) Bierne bezpieczeństwo konstrukcji wsporczych dla urządzeń drogowych - Wymagania i metody badań. PKN, Warszawa.
35. Traffic safety facts - a compilation of motor vehicle crash data from the fatality analysis reporting system and the general estimates system. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Tech. rep., U.S. Department of Transportation, 1994–2015.
36. Otte D., Haasper C., Eis V., Schaefer R. (2008) Characteristics of pole impacts to side of passenger cars in european traffic accidents and assessment of injury mechanisms - Analysis of German and UK in-depth data. *Stapp Car Crash Journal*, 52, 2008-P-403.
37. Sassi S., Sassi A., Ghrib F. (2017) Effect of crushable blockouts on a full-scale guardrail system. *International Journal of Crashworthiness*, 22, 1, 63-82.
38. Senthil K.; Rupali S. (2018) Crashworthiness of highway lamp post against vehicle impact. *Journal of Materials and Engineering Structures*, 5, 4, 371-385.
39. Sobral J., Guedes S.C. (2019) Assessment of the adequacy of safety barriers to hazards. *Safety Science*, 114, 40-48.
40. Soltani M., Topa A., Karim M. R., Sulong N. H. R. (2017) Crashworthiness of G4(2W) guardrail system: a finite element parametric study. *International Journal of Crashworthiness*, 22, 2, 169-189.
41. Stankiewicz B. (2015) Wytyczne doboru drogowych barier ochronnych. <https://www.google.com/search?q=Wytyczne+doboru+drogowych+barier+ochronnych+Stankiewicz+&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b> (dostęp 2019).
42. Strona internetowa (2019): <http://www.hus-gmbh.com/de/ce-service?id=64>.
43. Strona internetowa (2019): WIMED, Oznakowanie Dróg Sp. z o.o., ul. Tarnowska 48, 33-170 Tuchów, Poland, www.wimed.pl/info@wimed.pl, NIP: 685-230-95-96, Regon: 180188573, Numer rejestrowy: 000033746, Zarejestrował: Sąd Rejonowy Kraków-Śródmieście XII Wydz. Gosp. KRS, pod nr 0000270367, kapitał 31.300.000,00 zł.
44. Strona internetowa (2019): http://www.v-r-bariery.pl/easyrail_133_pl.html.
45. Straube F., Pfohl H.-Chr. (2008) Trends und Strategien in der Logistik - Globale Netzwerke im Wan DVV Media Group GmbH/Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg.
46. Szczegółowe specyfikacje techniczne, D - 07.05.01. Bariery ochronne stalowe. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad Oddział w Poznaniu.
47. Szopa T. (2016) Niezawodność i bezpieczeństwo. Wydanie 2 zaktualizowane i uzupełnione, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
48. Thilakarathna H.M.I., Thambiratnam D.P., Dhanasekar M., Perera N. (2010) Numerical simulation of axially loaded concrete columns under transverse impact and vulnerability assessment. *International Journal of Impact Engineering*, 37, 11, 1100-1112.
49. Thomson R., Fagerlind H., Martinez A. V., Amenguel A., Naing C., Hill J., Hoschopf H., Dupré G., Bisson O., Kelkka M., van der Horst R., Garcia J. (2006) Roadside infrastructure for safer european roads. Project RISER funded by the European Community under the 'Competitive and Sustainable Growth' Programme (1998-2002), Chalmers University of Technology, report: 28/02/2006.
50. Zhu A-Z, Xu W., Gao K., Ge H-B, Zhu J-H (2018) Lateral impact response of rectangular hollow and partially concrete-filled steel tubular columns. *Thin-Walled Structures*, 130, 114-131.
51. Unarski J., Wach W., Dąbczyński Z., Bohatkiewicz J. (2008) Analiza ryzyka wielkości obrażeń w kolizjach z niektórymi obiektami przydrożnymi. Informacja Nr 65. Klub Inżynierii Ruchu, Biuro Zarządu, ul. Leśna 40, 62-081 Przeźmierowo k/Poznania. Bochnia - Tuchów – Raciechowice, listopad 2008.
52. Yang J., Xu G., Cai C. S., Kareem A. (2019) Crash performance evaluation of a new movable median guardrail on highways. *Engineering Structures*, 182, 459-472.
53. Whitworth H.A., Bendidi R., Marzougui D., Reiss R. (2004) Finite element modeling of the crash performance of roadside barriers. *International Journal of Crashworthiness*, 9, 1, 35-43.
54. Wu W., Thomson R. (2007) A study of the interaction between a guardrail post and soil during quasi-static and dynamic loading. *International Journal of Impact Engineering*, 34, 5, 883–898.

STRESZCZENIE

Savostin-Kosiak D.O. Analiza wpływu drogowych barier ochronnych na zmniejszenie ryzyka niebezpiecznych zdarzeń drogowych i ich skutków / D.O. Savostin-Kosiak, Jacek Michalski // Wisnyk Narodowego Uniwersytetu Transportu. – K. : NTU, 2020. – № 1 (46).

Analizowano mankamenty sieci drogowej, a w tym zdarzenia niebezpieczne związane z wypadnięciem pojazdu z drogi oraz powstawanie wtórnych zdarzeń niebezpiecznych takich jak: najechanie na przeszkodę, obiekt niebezpieczny zlokalizowany przy drodze lub wywrócenie się pojazdu. Rozpatrywano zwłaszcza bezpieczeństwo, dostępność rozwiązania technologiczne barier ochronnych, słupów oraz znaków drogowych w systemach drogowych i mostowych. Podano funkcje zapobiegawcze i ochronne urządzeń drogowych oraz obiektów inżynierskich, adekwatne do konkretnego ryzyka. Analizowano awarie barier bezpieczeństwa i barier ochronnych drogowych oraz ich prawdopodobne skutki dla ludzi, mienia lub środowiska. Rozwiązania konstrukcje barier drogowych analizowano pod kątem: dostępności, stopnia spełnienia niezawodności ich elementów oraz możliwości utrzymania ryzyka w dopuszczalnych granicach. Analizowano zakres spełniania wymaganych cech funkcjonalnych, metody projektowania, nowoczesne rozwiązania technologiczne, metody badań testowych oraz procedury certyfikacji. Uwzględniono cechy funkcjonalne barier ochronnych dotyczące: poziomu powstrzymywania, przemieszczenia oraz poziomu intensywności zderzenia. Zamieszczono stanowisko literatury na temat wspomagania opracowywanych konstrukcji barier ochronnych; metodą elementów skończonych (metodą sumy przemieszczeń) z wyodrębnieniem analizy systemami CAD - dla sił, momentów sił i przemieszczeń oraz systemem LS-DYNA dla - zdarzeń oraz parametrów obrażeń. Duża część publikacji dotyczy współczesnych rozwiązań technologicznym oraz analiz: konstrukcji barier ochronnych, modelowania ich elementów jak i modelowania zderzeń z pojazdami samochodowymi, z uwzględnieniem oddziaływania gruntu.

SŁOWA KLUCZOWE: BARIERY BEZPIECZENSTWA, AWARIE BARIER BEZPIECZENSTWA, METODY PROJEKTOWANIA, FUNKCJE ZAPOBIEGAWCZE I OCHRONNE DROGOWYCH ORAZ.

РЕФЕРАТ

Савостін-Косяк Д.О. Аналіз впливу дорожніх бар'єрів безпеки на зниження ризику небезпечних дорожньо-транспортних пригод та їх наслідків /Д.О. Савостін-Косяк, Яцек Міхальські // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Були проаналізовані слабкі місця дорожніх систем, у тому числі небезпечні події, що виникли внаслідок виходу автомобіля з дороги та наступних вторинних небезпечних подій, таких як: пересування через бар'єр або інший небезпечний об'єкт, розташований поруч з дорогою або дахом автомобіля. Зокрема, розглядалася безпека, наявність технологічних рішень для захисних бар'єрів, колон і дорожніх знаків на дорогах і мостах. Наведено профілактичні та захисні функції дорожнього обладнання та інженерних об'єктів, які є адекватними конкретному ризику. Проаналізовано відмови бар'єрів безпеки та бар'єри захисту доріг та наслідки їх невдач для людей, властивостей та навколишнього середовища. Проаналізовано рішення для побудови дорожніх бар'єрів: наявність, ступінь надійності їх компонентів та можливість збереження ризику в допустимих межах. Проаналізовано сферу виконання необхідних функціональних особливостей, методи проектування, сучасні технологічні рішення, методи випробувань та процедури сертифікації. Враховувались функціональні особливості захисних бар'єрів щодо: рівня захисту, переміщень та рівня інтенсивності впливу. Розглянуто літературну точку зору щодо автоматизованого проектування захисних бар'єрів, яка охоплює метод скінченних елементів (метод суми переміщень) з відповідним аналізом сил, моментів і переміщень з системами САПР, включаючи використання системи LS-DYNA для подій і параметрів ушкоджень. Значна частина публікації присвячена сучасним технологічним рішенням та аналізам, включаючи розробку захисних бар'єрів, моделювання їх елементів, а також моделювання зіткнень з транспортними засобами з урахуванням впливу землі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗАХИСНІ БАР'ЄРИ, ВІДМОВИ ЗАХИСНИХ БАР'ЄРІВ, МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ, ПРОФІЛАКТИЧНІ ТА ЗАХИСНІ ФУНКЦІЇ БАР'ЄРІВ.

ABSTRACT

Savostin-Kosiak D.O., Michalski Jacek. Analysis of the impact of road safety barriers on reducing the risk of dangerous road accidents and their consequences. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The weaknesses of the road systems were analyzed, including dangerous events generated by vehicle getting out of the road and consequent secondary dangerous events such as: driving over a barrier or other dangerous object located next to road or roofing of the vehicle. Particularly, the security, availability of technological solutions for protection barriers, columns and road signs on roads and bridges were considered. The preventive and protective functions of road equipment and engineering objects are given, which are adequate to the specific risk. Failures of safety barriers and road protection barriers and the consequences of their failures for people, properties and the environment were analyzed. Solutions for the construction of road barriers were analyzed in terms of: availability, the degree of reliability of their components and the possibility of maintaining risk within acceptable limits. The scope of fulfillment of required functional features, design methods, modern technological solutions, test methods and certification procedures were analyzed. Functional features of protective barriers regarding: the protection level, displacements and the level of impact intensity were taken into account. Literature point of view on aided design of protective barriers has been included which covers finite element method (method of sum of displacements) with appropriate analysis of forces, torques and displacements with CAD systems including use of LS-DYNA system for events and damage parameters. A large part of the publication deals with modern technological solutions and analyzes including design of protective barriers, modeling of their elements as well as modeling collisions with vehicles, taking into account the impact of the ground.

KEYWORDS: PROTECTION BARRIERS, FAILURES OF PROTECTION BARRIERS, DESIGN METHODS, SECURITY OF PROTECTION BARRIERS.

AUTOR:

Savostin-Kosyak Danylo, dr inż., Narodowy Uniwersytet Transportu, asystent, Katedra Operacja Techniczny Samochodów i Serwisu Samochodowego, e-mail: daniel_s@ukr.net, tel.: +38 (044) 280 56 21, 01010, Kijów, Ukraina, św. M. Omelyanovich-Pavlenka 1, orcid.org/0000-0002-8795-5939.

Michalski Jacek, dr hab. inż., prof. Politechniki Rzeszowskiej, profesor, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, jmichals@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1570, 35-959, Rzeszów, Polska, Al. Powstańców Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-9745-9453.

АВТОРИ:

Савостін-Косяк Данило Олександрович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, асистент кафедри «Технічна експлуатація автомобілів та автосервіс», e-mail: daniel_s@ukr.net, тел. +38 (044) 280 56 21, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, orcid.org/0000-0002-8795-5939.

Міхальські Яцек, професор, доктор хабілітований, Жешувська Політехніка, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння і транспорту, jmichals@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1570, 35-959, Жешув, Польща, бульвар Повстанців Варшави 12, orcid.org/0000-0002-9745-9453.

AUTHORS:

Savostin-Kosyak Danylo O., Ph.D in Technical Science, National Transport University, assistant lecturer of the Department of Technical operation of cars and car services, e-mail: daniel_s@ukr.net, tel. +38 (044) 280 56 21, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovych-Pavlenko str. 1, orcid.org/0000-0002-8795-5939.

Michalski Jacek, Professor, Doctor of Technical Science, Rzeszow University of Technology, professor of the internal combustion engines and transport department, jmichals@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1570, 35-959, Rzeszow, Poland, Warsaw Insurgents Boulevard 12, orcid.org/0000-0002-9745-9453.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Любас Януш, доктор технічних наук, професор, Жешувська політехніка, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння і транспорту, Жешув, Польща.

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту і матеріалознавства, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Lubas Janush, Doctor of Technical Sciences, professor, Rzeszow University of Technology, professor of the internal combustion engines and transport department, Rzeszow, Poland.

Posviatenko E.K., Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, professor of the production, repair and materials science department, Kyiv, Ukraine.