http://bultrans.tu-sofia.bg

Technical University of Sofia
Faculty of Transport

SCIENTIFIC CONFERENCE on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies

BulTrans-2022
PROCEEDINGS

Sponsored by:

Research & Development Sector

BULATSA
РЪКОВОДСТВО НА ВЪЗДУШНОТО ДВИЖЕНИЕ

AutoSoft
ДИАГНОСТИКА И АВТОЕЛЕКТРОНИКА

YUNEX TRAFFIC
A Siemens Business

PEUGEOT София Франс Ауто

September 10-13, 2022
Sozopol, Bulgaria

SCIENTIFIC COMMITTEE:

Chairman:
Prof. I. Kralov, DSc, Rector, TU-Sofia, Bulgaria

Members:
Prof. A. Ams, TU-Freiberg, Germany
Prof. A. Dimitrov, TU-Varna, Bulgaria
Prof. B. Belnikolovski, TU-Sofia, Bulgaria
Prof. D. Stamenković, University of Niš
Prof. D. Stoyanov, TU-Sofia, Bulgaria
Prof. F. Massouh, Arts et Metiers ParisTech, France
Prof. G. Descombes, CNAM, France
Prof. G. Kolarov, Hamburg University, Germany
Prof. G. Mihov, TU-Sofia, Bulgaria
Prof. G. Simic, Belgrade University, Serbia
Prof. G. Vatulia, UkrSURT-Kharkov, Ukraine
Prof. I. Danilov, SSTU, Saratov, Russia
Prof. J. Majerčák, University of Žilina, Slovakia
Prof. L. Kunchev, TU-Sofia, Bulgaria
Prof. M. Karczewski, TU-Lodz, Poland
Prof. M. Sitarz, SUT-Katoviče, Poland
Prof. M. Svitek, TU-Prague, Czech Republic
Prof. N. Nenov, TU-Sofia, Bulgaria
Prof. P. Dimitrov, TU-Sofia, Bulgaria
Prof. P. Getsov, BAS, Bulgaria
Prof. P. Jordanov, HOST-Stralsund, Germany
Prof. R. Ivanov, University of Rouse, Bulgaria
Prof. R. Rusev, University of Rouse, Bulgaria
Prof. S. Medvedsky, University of Žilina, Slovakia
Prof. T. Evtimov, TU-Sofia, Bulgaria
Prof. V. Dimitrov, VTU, Sofia
Prof. V. Nikolov, TU-Sofia, Branch Plovdiv, Bulgaria
Prof. V. Stoilov, TU-Sofia, Bulgaria
Prof. V. Zhivkov, TU-Sofia, Bulgaria

ПРОГРАМЕН КОМИТЕТ:

Председател:
проф. дн инж. Иван Кралов, Ректор на ТУ-София

Членове:
проф. Алфонс Амс, TU-Фрайберг, Германия
проф. Ангел Димитров, ТУ-Варна
проф. Борис Белниколовски, ТУ-София
проф. Валери Стоилов, ТУ-София
проф. Васил Димитров, ВТУ, София
чл.-кор. проф. Венелин Живков, ТУ-София
проф. Въльо Николов, ТУ-филиал Пловдив
проф. Георги Коларов, UAS-Хамбург, Германия
проф. Георги Михов, ТУ-София
проф. Глеб Ватуля, УкрДУЗТ-Харков, Украйна
проф. Горан Симич, Университет Белград
проф. Димитър Стоянов, ТУ-София
проф. Душан Стаменкович, Университет в Ниш
проф. Жорж Декомб, CNAM, Франция
проф. Игор Данилов, СГТУ, Саратов, Русия
проф. Йозеф Майерчак, UŽ-Жилина, Словакия
проф. Лило Кунчев, ТУ-София
проф. Марек Ситарж, SUT-Катовице, Полша
проф. Мачей Карчевски, ТУ-Лодз, Полша
проф. Мирослав Свитек, TU-Прага, Чехия
проф. Ненчо Ненов, ТУ-София
проф. Петра Йорданов, HOST-Щралзунд, Германия
проф. Петър Гецов, ИКИ, БАН
проф. Петър Димитров, ТУ-София
проф. Росен Иванов, РУ-Русе
проф. Руси Русев, РУ-Русе
проф. Теодоси Евтимов, ТУ-София
проф. Фауаз Масу, ENSAM, Франция
проф. Щефан Медведски, UŽ-Жилина, Словакия

ORGANIZING COMMITTEE:

Chairman:
Prof. M. Todorov, PhD, Dean, TU-Sofia, Bulgaria

Vice-Chairman:
Assoc. Prof. N. Pavlov, PhD

Members:
Prof. V. Stoilov, PhD
Prof. Sv. Stoilova, DSc
Assoc. Prof. D. Hlebarski, PhD
Assoc. Prof. D. Minkovska, PhD
Assoc. Prof. E. Dimitrov, PhD
Assoc. Prof. K. Nedelchev, PhD
Assoc. Prof. K. Velkov, PhD
Assoc. Prof. M. Andonova, PhD
Assoc. Prof. N. Nikolov, PhD
Assoc. Prof. P. Punov, PhD
Assoc. Prof. P. Sinapov, PhD
Assoc. Prof. V. Tsonev, PhD

Secretariat:
Assoc. Prof. Krasin Georgiev, PhD
Eng. Elena Pavlova, MSc
Eng. Philip Michaylov, MSc

ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ:

Председател:
проф. д-р инж. Михаил Тодоров, Декан, ТУ-София

Зам.-председател:
доц. д-р инж. Николай Павлов

Членове:
проф. д-р инж. Валери Стоилов
проф. дтн инж. Светла Стоилова
доц. д-р инж. Веселин Цонев
доц. д-р инж. Данаил Хлебарски
доц. д-р инж. Даниела Минковска
доц. д-р инж. Евгени Димитров
доц. д-р инж. Кирил Велков
доц. д-р инж. Красимир Неделчев
доц. д-р инж. Маргарита Андонова
доц. д-р инж. Николай Николов
доц. д-р инж. Петко Синапов
доц. д-р инж. Пламен Пунов

Научни секретари:
доц. д-р инж. Красин Георгиев
маг. инж. Елена Павлова
маг. инж. Филип Михайлов

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ
ФАКУЛТЕТ ПО ТРАНСПОРТА

НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ
С МЕЖДУНАРОДНО УЧАСТИЕ
по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии

БулТранс-2022

СБОРНИК ДОКЛАДИ

10 - 13 септември 2022 г.
Морска почивна станция „Лазур“ в гр. Созопол

© Издателство на Техническия университет – София
© Technical University of Sofia Publishing House

Редактор: доц. д-р инж. Николай Павлов
Editor: Assoc. Prof. Nikolay Pavlov, PhD

Докладите в този сборник са публикувани след рецензиране от специалисти в съответната област.

The papers in this Proceedings are published after being reviewed by experts in the respective field.

ISSN 1313-955X

СЪДЪРЖАНИЕ / CONTENTS

М. Иванов и К. Георгиев, Влияние на 5G върху безопасността на полетите
M. Ivanov and K. Georgiev, Impact of 5G on flight safety 6

Д. Гинчев, Р. Илиева, Ж. Лу, Ц. Уанг и Н. Гайдаров, Приложение на авиосимулатор с виртуална реалност при рехабилитация на деца с церебрална парализа
D. Ginchev, R. Ilieva, Z. Lu, Q. Wang and N. Gaydarov, Application of virtual reality aviation simulator in rehabilitation of children with cerebral palsy 14

B. Lewandowska, K. Zawadzki, M. Pisarski, F. Gocalińska, M. Sikorski, W. Gocalińska and M. Kulak, Application of small wind turbines on sailing yachts..... 20

M. Sharabov, A. Rusev, G. Tsochev and T. Ukov, Security risks and methods for protection in autonomous vehicles 28

E. Demir and B. Bulut, Transportation detouring and facility location optimization after the flood in the Black Sea region 33

С. Мартинов, Проучване на съществуващите технологии за вертикално манипулиране на интермодални транспортни единици в интермодални терминали в Европа
S. Martinov, Study of the existing technologies for vertical handling of intermodal transport units in intermodal terminals in Europe..... 40

A. Plugin, O. Borziak, O. Kaliuzhna, O. Krykun, V. Zhuravel, Protection against electrical corrosion of railway constructions by grounded screens from silicate compositions..... 48

A. Mazgarev, Predictive system for tire-road adhesion coefficient: high-level architecture and main requirements 57

Й. Дерменджийски, Анализ на изпитателни цикли за движение на автомобили в извънградски, градски и селски условия на движение
Y. Dermendzhiyski, Analysis of test cycles for driving cars in extra-urban, urban and rural traffic conditions 63

Влияние на 5G върху безопасността на полетите

Мартин Иванов и Красин Георгиев[a)]

Катедра „Въздушен транспорт“, Технически университет – София, бул.„Кл. Охридски“ №8, 1000 София, България

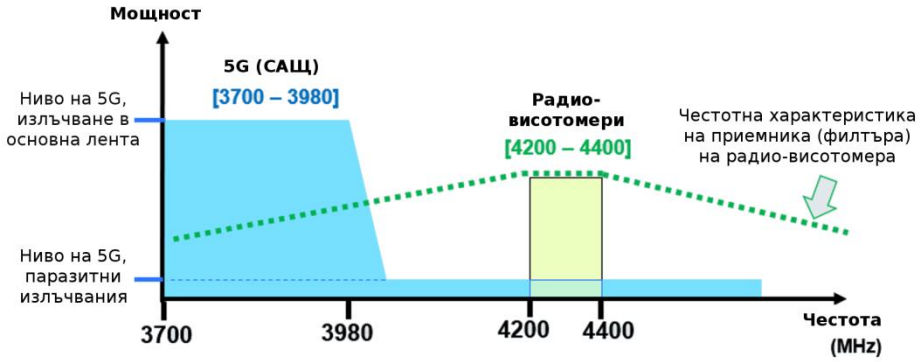
[a)] krasin@tu-sofia.bg

Резюме. Осигуряването на безопасността на полетите е основен приоритет при изграждане и поддържане на авиационната транспортна система. Промени както на авиационната, така и на свързаните с нея системи, могат да имат неочакван ефект върху безопасността и следователно трябва да бъдат оценявани и контролирани. Такъв е случаят с повсеместното въвеждане на 5G комуникации. В настоящото изследване е направен преглед на опасностите за полетите вследствие на смущения от 5G и е изготвен качествен модел на риска за безопасността на полетите. Моделът позволява да се идентифицират текущите мерки за поддържане на нивото на безопасност. Обърнато е внимание, че част от мерките за осигуряване на безопасността са извън контрола на авиационната транспортна система и съответните системи за качество.

ВЪВЕДЕНИЕ

Радио-висотомерите са единствените сензори на борда на гражданските самолети, които осигуряват директно измерване на височината на самолета над терена или други препятствия. Повсеместното изграждане на 5G комуникационни станции има потенциал да наруши работата на висотомерите и следователно е опасност за авиацията, която не е достатъчно добре изучена. Липсва натрупан емпиричен опит и утвърдени практики за управление на безопасността.

Радио-висотомерите работят в глобално разпределената аеронавигационна лента 4.2–4.4 GHz. Новите 5G приложения са в различна, но близка честотна лента, например 3.7–3.98 GHz в Съединените щати и 3.3–3.8 GHz в Европа. Радио-оборудването, както за 5G, така и за висотомерите, не е идеално. Това означава, че радарният приемник няма да може да филтрира някои от основните 5G емисии и част от тях ще се смесят с полезния сигнал за височината. Оборудването на 5G ще има и паразитни излъчвания извън основната му лента, които попадат директно в обхвата на радарния приемник (виж Фиг. 1 [1]).



ФИГУРА 1. Излъчване 5G в основна лента 3.7–3.98 GHz и паразитни 5G излъчвания в честотната лента на висотомерите 4.2–4.4 GHz, адаптирано от [1].

Опасността от 5G комуникациите за авиацията е обект на изследване от няколко години [1-3]. Опасения за въздействието върху авиационната безопасност са изразени от множество водещи авиационни организации [4-6]. Въздействието на 5G върху работата на авиокомпаниите и регулярността на полетите продължава да е актуална тема за пресата [7-9]. Разгръщането на 5G в С-лента в Съединените щати е свързано с множество директиви за летателна годност, алтернативни начини за съответствие, допълнителни указания и ограничения на полетната дейност (издадени NOTAM-и) [10, 11].

Съществуват множество техники, методи, модели и методологии, които се използват във високорисковите индустрии при осигуряване на безопасността, в това число за идентифициране, анализ и оценка на риска за безопасността [12]. Някои от най-използваните подходи в авиационната индустрия са представени в [13]. Всеки метод/модел има определена област на приложение, което трябва да се отчете при изготвяне на методология, например:

- Анализ на опасностите и функционален анализ на опасностите (Hazard Analysis и Functional Hazard Assessment –FHA) – подходящи при оценка на риска на ниво идеен проект, когато не се разполага с подробна информация за проекта / явленията или когато размерът на опасността е достатъчно малък, че да не изисква по-задълбочен анализ.
- Анализ на вида и ефекта от отказите (Failure Mode and Effect Analysis – FMEA) – подробен анализ на хардуерно или функционално ниво. Много полезен при напреднал стадий на проектиране и при натрупан експлоатационен опит.
- Детерминистични анализи – моделират се избрани аварийни сценарии или пространства от параметри – помагат за разбиране на изучаваните явления.
- Метод на папионката (Bowtie), дървета на събития (Event Trees – ET), дървета на отказите (Fault Tree Analysis – FTA) – методи с нарастваща степен на задълбоченост за представяне на аварийни сценарии и логически връзки между събития.
- Вероятностен анализ на риска (Probabilistic Risk Analysis – PRA, Probabilistic Safety Assessment – PSA) – комбинация от ET, FTA и FMEA за представяне на структурата на множество сценарии и за изрично пренасяне на неопределеностите на вероятностите от базовите събития към крайните рискове.

Посочените методи могат да се използват поотделно или в комбинация, като част от интегрирана методология. Отчитайки, че технологията за 5G комуникации е в начален етап на въвеждане на терен и въз основа на наличната информация в литературата, за изучаване на риска от 5G смущения върху безопасността на полетите ще използваме комбинация от FHA, детерминистични анализи и Bowtie модел.

Въпреки че изследването на въздействието на 5G върху авиационните дейности продължава вече няколко години, може да се приеме, че няма разработен прост и нагледен модел на всички свързани рискове и мерки за управлението им. Целта на настоящето изследване е да осигури модел, подходящ за използване от ръководния състав, който рядко включва специалисти във всички засегнати области, в това число комуникационни технологии, авиационни системи и моделиране на риска.

Разработени са следните въпроси:

- преглед на опасността, създадена от 5G излъчвания;
- разработване на качествен модел на риска за безопасността на полетите;
- идентифициране на наличните и липсващите мерки за управление на безопасността на полетите.

АНАЛИЗ НА ОПАСНОСТТА ОТ 5G СМУЩЕНИЯ НА РАДИО-ВИСОТОМЕРИТЕ

Въздействието на мобилните комуникации на честоти в С-диапазона върху работата на радиовисотомерите е разгледано подробно в доклад на комисия към RTCA, специална създадена за изследване на тези въздействия на 19.12.2019 г. [1]. Съществуват два нови типа смущения, които трябва да се отчитат – от основните 5G излъчвания и от паразитните 5G излъчвания. Смущения от други висотомери, както на борда на летателния апарат, така и от други летателни апарати, досега не са представлявали значима опасност. Уязвимостта, а следователно и рискът от смущенията, може да варира за различните модели радио-висотомери и за различните полетни случаи (височина, разстояние и положение на летателния апарат). В тази секция са обобщени резултатите от гореспоменатото изследване [1], като база за по-нататъшни анализи.

Потенциални последствия

Грешни показания за височината над терена или неочакваната загуба на показания са основните видове откази на радио-висотомерите, които имат най-сериозни последствия:

- Загуба на пространствена ориентация – опасна ситуация, която може да прерасне в произшествия.
- Управляем сблъсък с терена (Controlled Flight into Terrain - CFIT) – катастрофална ситуация.
- Грешни сигнали към системата управление на самолета и установяване на грешни защитни режими на полетните параметри – катастрофална ситуация.
- Конфликти с траекторията на други самолети – сложна (или опасна) ситуация. Например неочакван маньовър за избягване на сблъсък с терена вследствие грешно активиране на системата за избягване на сблъсък с терена; пропуснат заход за кацане и преминаване на втори кръг вследствие фалшиво сработване на ограничения за кацане; невъзможност за кацане в условия на намалена видимост (Категория II/III) и отклонение към друго летище.

Ненадеждната работа на радио-висотомерите би изключила възможността за използването им за кацане в условия на намалена видимост (Категория II/III).

Заплахи (източници на смущения)

Разглеждат се и се предоставят резултати за следните източници на смущения [1]:

- 5G базови станции (на земя).
- 5G потребителски устройства (мобилни телефони) на борда.
- 5G потребителски устройства на земя.
- Радио-висотомери.

Детерминистични пресмятания за различни ситуации

Размерът на опасността (мощността на смущенията или спектралната плътност на мощността, Power Spectral Density - PSD) са изследвани за голямо разнообразие от условия, отчитайки наличното оборудване, летателни дейности, височини, положения и разстояния:

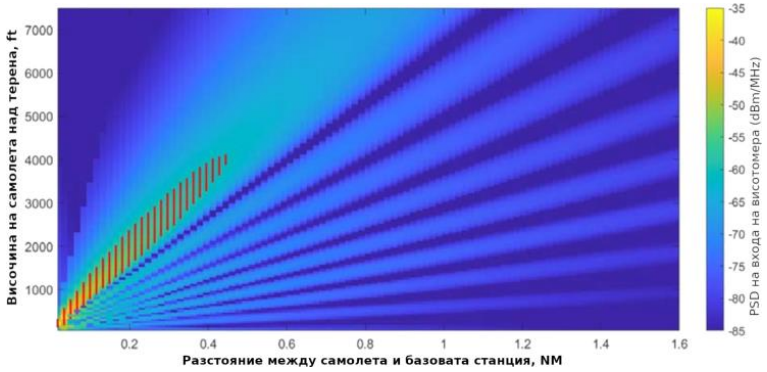
- Болшинството инсталирани модели радио-висотомери са групирани в три категории потребители:
  - Потребители категория 1 – самолети за търговски полети (пътнически и карго)
  - Потребители категория 2 – други самолети с неподвижно крило (регионални полети и обща авиация)
  - Потребители категория 3 – хеликоптери за транспортна и обща авиация
- Различни видове базови станции, характеризирани въз основа на размера и вида на антената (усъвършенствани антенни системи (advanced-antenna-systems – AAS) с различен брой елементи – 8x8 AAS, 16x16 AAS, секторна антена с фиксиран лъч) и режим на работа(градски, крайградски, извънградски))

Изследванията са организирани, като

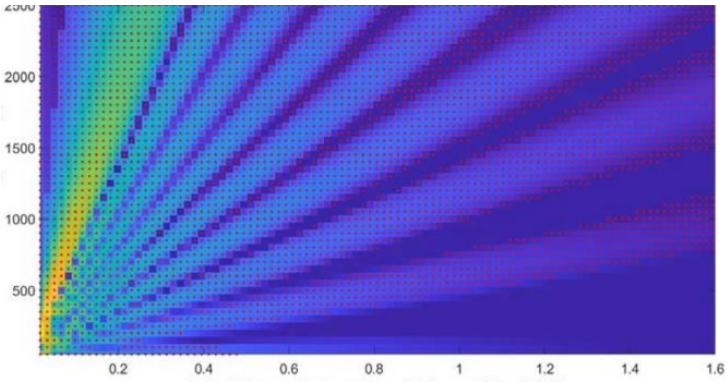
- Параметрични анализи
- Характерни примерни сценарии

Допустимото ниво (ДН) на смущенията е определено в [1], както с отчитане на приложимите стандарти за оборудването, така и емпирично, чрез изпитания. Допустимите нива се различават по потребителски категории.

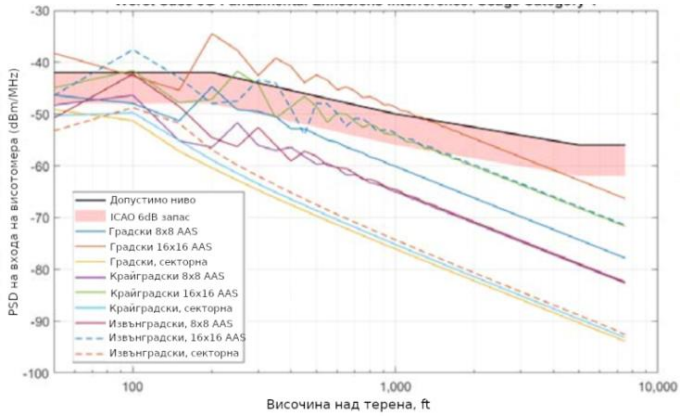
Мощността на излъчването, регистрирано на входа на приемника на висотомера, е симулирано при различни комбинации от разстояние до базовата станция, височина на самолета, ъгъл на поставяне на антената на базовата станция, ъгъл на тангаж или наклон на самолета. Примерни резултати са дадени на Фиг. 2(а) и 2(б). С червени точки са маркирани зоните, в които допустимото ниво е надвишено. Посоченият параметричен анализ е допълнен от два примерни сценарии – кацане по прибори на летище в Чикаго и кацане на въздушна линейка-хеликоптер в градска среда. За улесняване на анализите максималните 5G смущения са представени графично като функция от височината на въздухоплавателното средство за различни категории потребители (Фиг. 2 (в) и 2 (г)).



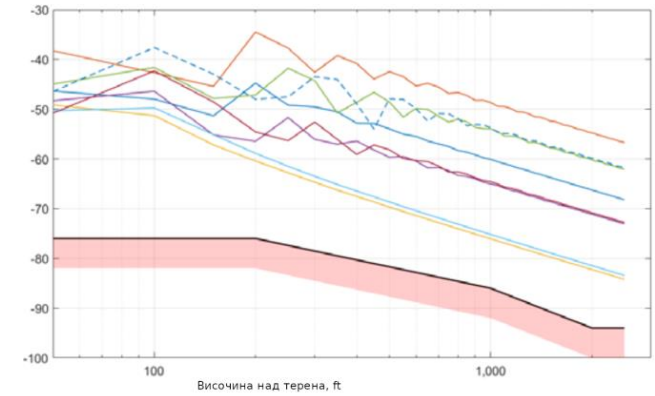
(а) Параметричен анализ по разстояние и височина, градски 16 x 16 AAS с наклон -30° потребители категория 1, страничен наклон или тангаж на ВС – не влияе.



(б) Параметричен анализ, градски 16 x 16 AAS с наклон -30° потребители категория 2, страничен наклон или тангаж на ВС от 0°.



(в) Максимални 5G смущения, потребители категория 1, различни видове базови станции.



(г) Максимални 5G смущения, потребители категория 2, различни видове базови станции.

ФИГУРА 2. PSD на входа на висотомера (dBm/MHz), 5G излъчване в основна лента 3.7-3.98 GHz – подобни графики са налични за всички изследвани случаи (категории потребители, тип смущения, конфигурации на базовите станции, конкретни сценарии за полетни задачи), (адаптирано от [1]).

Вероятност за опасна ситуация

Вероятността за превишаване на допустимите нива на смущенията може да се оцени качествено на база на разликата между максималното и допустимото ниво. Като се отчете, че при детерминистичните анализи целенасочено са допуснати най-неблагоприятните комбинации от параметри, постигането на смущения под допустимото ниво може да се приеме за еквивалентно на вероятност за опасна ситуация под $1x10^{-5}$ за летателен час (малко вероятно събитие) [1, т. 6.3.2.]. Допълнителна защитна зона от 6 dB осигурява т.нар. безопасно допустимо ниво (БН), гарантиращо вероятност $1x10^{-7}$ за летателен час (зоната под допустимото ниво на Фиг. 2 (в, г)) (крайно малко вероятно събитие). Посочените стойности отговарят на ограниченията за опасни и сложни отказни ситуации по регламент CS 25.1309 на европейската комисия. Резултатите от обширните симулации, експерименти и анализи, изпълнени в [1], са обобщени в Табл. 1. Комбинирана с приетите правила по-горе, тази таблица осигурява качествена оценка на вероятността за опасни смущения от различни източници на 5G сигнал.

Таблица 1. Наличие на превишаване на допустимото ниво (ДН) и безопасно ниво (БН) на смущенията. Безопасното допустимо ниво осигурява запас от 6dB под допустимото ниво (таблицата е съставена по данни от [1])

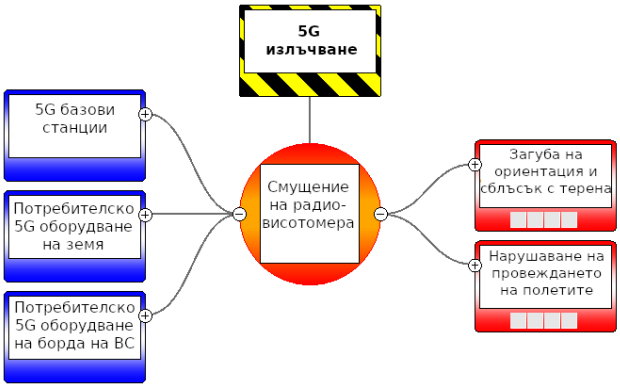
Заплаха		**Потребители кат. 1**		**Потребители кат. 2**		**Потребители кат. 3**	
Източник	**Излъчване**	**ДН**	**БН**	**ДН**	**БН**	**ДН**	**БН**
Базова станция (параметрично изследване)	Основна лента	Да *	Да * (0-13.5) dB	Да	Да ** (32-47) dB	Да	Да ** (25-45) dB
	Паразитно	Не	Не	Да	Да ** (22-27) dB	Да	Да ** (6-12) dB
5G мобилни устройства на земя	Основна лента	Не	Не	Не	Не ***	Не	Не ***
	Паразитно	Не	Не	Не	Не	Не	Не
5G мобилни устройства на борда	Основна лента	Не	Не	Да	Да, 39 dB	Да	Да, 52 dB
	Паразитно	Не	Не	Да	Да, 20 dB	Да	Да, 33 dB

* само за някои базови станции при малък брой специфични комбинации от параметри на полета
** значителни смущения за всички експлоатационни сценарии
*** пренебрежими смущения

Таблица 1 показва, че превишаване на безопасното и допустимото ниво е възможно за категория потребители 1, но не е крайно малко вероятно. За категории потребители 2 и 3 не се осигурява малка вероятност на смущенията, като значими са не само смущенията от базовите станции, но и от мобилните телефони на борда на ВС. Важно е да се отбележи, че ситуацията за всички категории потребители може да е много по-песимистична, ако вертикалният ъгъл на поставяне (сканиране) на антените превишава допусканията, които се осигуряват от спазване на нормативните предписания.

АНАЛИЗ НА БЕЗОПАСНОСТТА ПРИ НАЛИЧИЕ НА 5G ПО МЕТОДА НА ПАПИОНКАТА (BOWTIE)

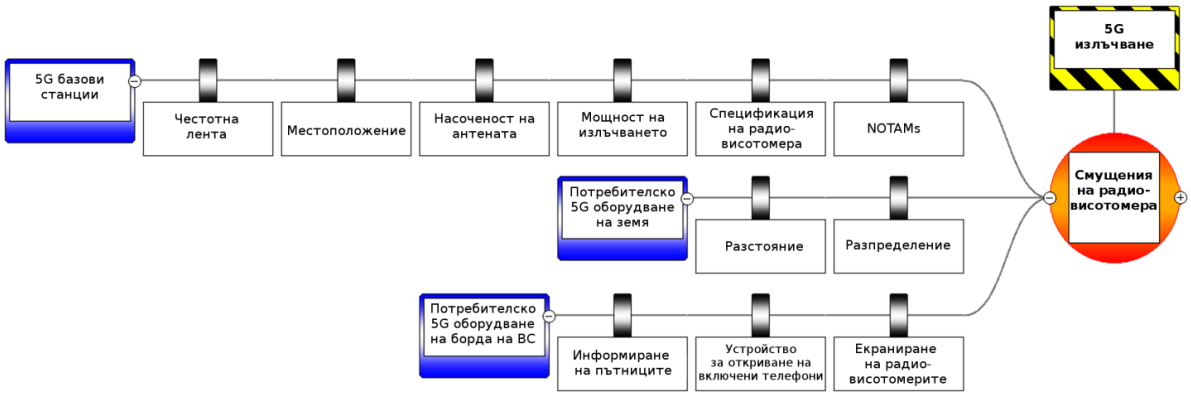
Изготвен е графичен модел за визуализиране на риска от 5G смущения при въздействие върху радио-висотомерите. Използван е методът на папионката (Bowtie). Моделът служи за подпомагане идентифицирането и управлението на риска за безопасността. На Фиг. 3 са показани опасността (горно блокче в средата), опасното събитие (кръгло блокче в центъра на фигурата), заплахите (причините за опасното събитие – дават се в лявата част на схемата) и последствията (възможните най-неблагоприятни изходи, дясната част).



ФИГУРА 3. Модел Bowtie на риска от 5G смущения – опасност, заплахи и последствия.

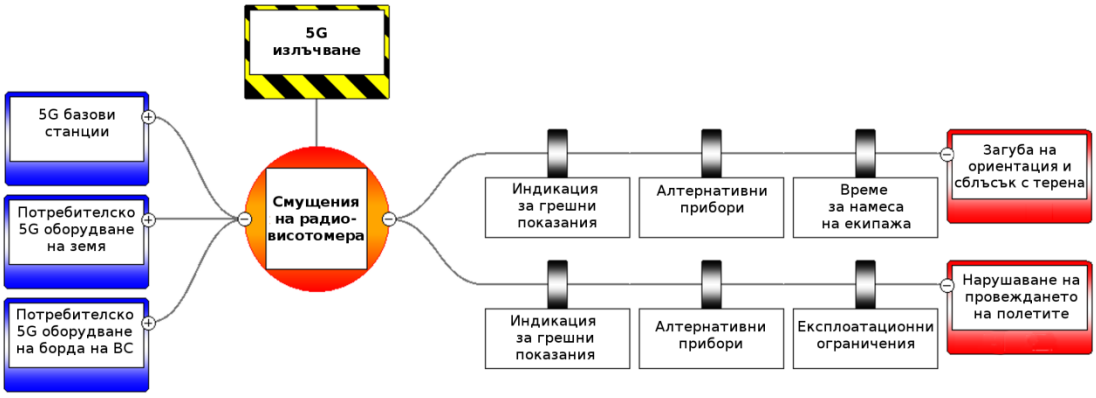
Основните превантивни мерки за управление на риска за категория потребители 1 са разположението на антените спрямо пистите за излитане и кацане, конфигурацията на антените и гарантиране на спазване на експлоатационните ограничения (мощност на излъчването, ъгли на вертикално сканиране) (Фиг. 4). За осигуряване на безопасността на потребители категории 2 и 3, за които анализите на опасностите са показали значително по-високо ниво на смущенията (Табл. 1), са необходими допълнителни мерки. Мерките могат да включват хардуерни или софтуерни подобрения на висотомерите. Кратковременни решения са налагането на експлоатационни ограничения посредством издаване на съобщения NOTAM. Опасността може да бъде премахната напълно, ако честотният диапазон на 5G се отдалечи от този на радио-висотомерите, но това също може да се разглежда като кратковременно решение, отчитайки нарастващите нужди от нови честотни ленти за комуникационни цели.

Анализът на опасностите показва, че въздействието от потребителски устройства за 5G на земя е пренебрежимо, но въздействието от устройствата на борда на ВС има сериозен потенциал за нарушаване на работата на висотомерите. Текущата практика за осведомяване на пътниците за необходимостта да изключат мобилните си телефони може да се приеме за недостатъчна. Добре е да се разгледат допълнителни мерки за управление на риска, например осигуряване на активни устройства за засичане на действащи мобилни устройства. Още повече че активирането на 5G устройство на борда може да стимулира базовите станции да фокусират излъчване с повишена мощност към ВС, което не е отчетено в представения модел.



ФИГУРА 4. Модел Bowtie на риска от 5G смущения – разширено представяне на превантивните бариери.

Към мерките за понижаване на риска посредством смекчаване на последствията от опасната ситуация могат да се посочат осигуряване на надеждна информация за наличие на смущения, осигуряване на алтернативни прибори и допълнително обучение на пилотите за откриване на смущения при ненадеждна работа на висотомерите, балансиране на риска за безопасността с размера на нарушаване на комфорта на пътниците и вземане на решение за действие, в това число и отклоняване на полета до резервно летище (Фиг. 5).



ФИГУРА 5. Модел Bowtie на риска от 5G смущения – разширено представяне на защитните бариери.

Нивото на риска се определя от състоянието на бариерите и от нивото на контрол на авиационните организации и регулаторни органи върху тях. В някои държави са установени по-големи ограничения, отколкото в други. Сравнение на мерките в САЩ и Франция е показано графично на Фиг. 6 [11]. Честотната лента за 5G услуги, размерите на защитните зони около летищата и нивата на излъчванията на базовите станции варират значително в различните държави. Вероятно обяснение може да бъде установеното ниво на контрол върху спазване на приетите ограничения.

ФИГУРА 6. Превантивни бариери – сравнение на статуса на някои от мерките за управление на риска във Франция и САЩ (Източник: FAA [11]).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработен е качествен модел на риск за безопасността на полетите при 5G смущения. Чрез него са изследвани по систематичен начин текущите и потенциалните мерки за осигуряване на безопасността на полетите. Някои от мерките за безопасност не са част от авиационната транспортна система и следователно качеството им не се гарантира по стандартите, определени за авиационната индустрия. Предпазните бариери, включващи контрол за активно 5G оборудване на пътници на борда, е друга неизследвана зона за подобряване на безопасността.

Може да се очаква в бъдеще да се натрупат емпирични доказателства за ефективността на различни бариери и нива на защита. Те могат да бъдат оценени в контекста на сложността на авиационните операции и нивото на култура на безопасност (без да се ограничава до авиационната индустрия).

ЛИТЕРАТУРА

1. RTCA Paper No. 274-20/PMC-2073, Assessment of C-Band Mobile Telecommunications Interference Impact on Low Range Radar Altimeter Operations, (7 October 2020).
2. J.-L. Robin, S. Frick, Dr. S. Kalyanaraman, “Interference risk to radar altimeters from planned 5G telecommunication systems”, RTCA Webinar: 30 November 2020. https://www.rtca.org/wp-content/uploads/2020/12/Slides-5G-Interference-Risk-to-Radar-Altimeters.pdf

3. Airlines for America, "5G Interference won't fly. Learn why...", https://www.airlines.org/5g/ (accessed on 17.01.2023).
4. IATA & IFALPA, "Problem statement - 5G interference with radar altimeter frequency band", Montreal, 27 November 2020.
5. W. Bellamy, "FAA Issues new radar altimeter 5G C-Band risk assessment request to aviation industry", 23 December 2021. https://www.aviationtoday.com/2021/12/23/faa-issues-new-radar-altimeter-5g-c-band-risk-assessment-request-aviation-industry/
6. ICAO, Information Paper: Study of Interference with Radio Altimeters from Potential 5G Implementations in the United States, FSMP-WG/11 IP/07, 2021-03-01.
7. J. Hemmerdinger, "5G may have caused dozens of troubling in-flight avionics failures", FlightGlobal, 2 November 2022. https://www.flightglobal.com/safety/5g-may-have-caused-dozens-of-troubling-in-flight-avionics-failures/150780.article
8. M. Harris, "How 5G's Rollout Rattled Hundreds of Pilots Complaints about altimeter failures jumped after consumer C-band deployment", 13 October 2022, https://spectrum.ieee.org/faa-5g
9. M. Koziol, "What you need to know about the FAA 5G Kerfuffle. Why is 5G only a problem for planes in the U.S.? IEEE Spectrum, 20 January 2022. https://spectrum.ieee.org/5g-faa
10. FAA, "Radio altimeters and administration 5G C-Band deployment", April 2022. https://www.faa.gov/air_traffic/flight_info/aeronav/acf/media/Presentations/22-01-Radio-Altimeters-5g-Deployment-Clausnitzer-Silagyi.pdf
11. FAA, "5G and Aviation Safety", https://www.faa.gov/5g (accessed on 17.01.2023).
12. M.H. Everdij, H.A. Blom, "Safety methods database", Maintained by Netherlands Aerospace Centre NLR, The Netherlands, http://www.nlr.nl/documents/flyers/SATdb.pdf, Version 1.1, August 2016.
13. K. Georgiev, "Aviation safety training methodology", Heliyon **7**(12), e08511 (2021).

Impact of 5G on Flight Safety

Martin Ivanov and Krasin Georgiev[a)]

Department of Aeronautics, Technical University of Sofia, 8 Kl. Ohridski Blvd.
1000 Sofia, Bulgaria

[a)] Corresponding author: krasin@tu-sofia.bg

Abstract. Ensuring flight safety is a top priority in building and maintaining the aviation transportation system. Changes to both aviation and connected systems can have an unexpected effect on safety and, therefore, must be evaluated and monitored. Such is the case with the ubiquitous rollout of 5G communications. In this study, flight hazards from 5G interference are reviewed and a qualitative flight safety risk model is developed. The model allows us to identify the current measures to assure the level of safety. It is noted that some of the safety measures are outside the control of the aviation transport system and the corresponding quality systems.

Приложение на авиосимулатор с виртуална реалност при рехабилитация на деца с церебрална парализа

Димитър Гинчев[1, а)], Румяна Илиева[2, б)], Женли Лу[3, в)],
Циан Уанг[4], Никола Гайдаров[5, г)]

[1]*Катедра „Въздушен транспорт“, Технически университет – София, София, България.*
[2]*Катедра „Мениджмънт и бизнес информационни системи“, Стопански факултет, Технически университет – София, София, България.*
[3]*Училище по електротехника и автоматизация, Чаншу Технологичен Институт, Чаншу 215500, Китай.*
[4]*Училище по машиностроене, Янченг технологичен институт, Янченг 224051, Китай.*
[5]*УД към Френски факултет за обучение по електротехника, Технически университет – София*

[а)] dimgnchev@tu-sofia.bg
[б)] rilieva@tu-sofia.bg
[в)] zhenlilu@cslg.edu.cn
[г)] nikola.gaydarov@abv.bg

Резюме. Съвременното социално-ориентирано общество се нуждае от подкрепа на всички, най-вече на тези, които са в неравностойно положение. Солидарността с проблемите на тези лица предполага мероприятия в тяхна помощ, за да могат да ползват обществената инфраструктура и блага, поради спецификата на своите заболявания [1, 8]. Един добър вариант за такава подкрепа или приобщаване на хора със здравословни и социални проблеми е включването им в различни дейности, които да покажат, че те не са отхвърлени от обществото. Тяхното интегриране в обществото е заложено в редица европейски програми, които успешно финансират проекти, свързани с еднакъв достъп за индивидите с увреждания до всички обществени инфраструктурни обекти и предоставени услуги в съответствие с техните потребности. Техническият университет – София, като организация, която е корпоративно социално отговорна също развива дейности в подкрепа на интеграцията на студенти в неравностойно положение [2, 9]. В Технически университет – София със съдействието на Катедра „Въздушен транспорт“, Научноизследователски сектор, студенти и фирми бяха изградени два авиационни симулатора (АС) за виртуален тренинг на пилоти на самолети, дронове и др. [3-5]. Тези симулатори се използват също за обучение на студенти, визуализация на различни процеси по време на експлоатация на летателни апарати (ЛА). Демонстрират се процеси пред бъдещи пилоти или наземно опериране със средствата. Използва се за изследователска дейност, за запознаване на децата с принципите за работа и експлоатацията на ЛА, както и за мотивационни полети. Разработена е програма за обучение с цел запознаване на основни принципи на полета и експлоатация на симулаторите. Всички тези приложения, както и новите, които в момента се усвояват – следене на поглед, внимание, което пилота съсредоточава в полета, моментни или други състояния – умора, стрес, „прегаряне“, прекалена самоувереност и т.н., както и следене на биофизиологични показатели като пулс, дишане, кожно-галванична реакция, кръвно налягане, мозъчната активност и други, допълват възможността системата да бъде използвана при лица с влошена подвижност или затруднена мисловна дейност, която е вследствие на някакво заболяване като детската церебрална парализа. Този доклад има за цел да представи именно тази възможност.

ВЪВЕДЕНИЕ

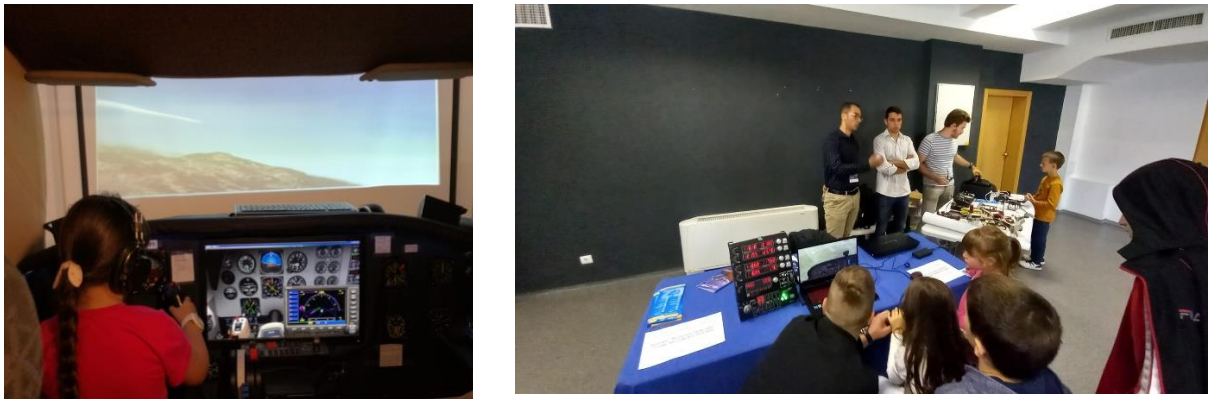
Церебралната парализа е често срещано заболяване на централната нервна система. Тя е свързана със смущения, които се проявяват в ранните стадии на човешкия биологичен растеж и в ранна детска възраст. Тези смущения биха могли да се проявяват под различни форми и с различна тежест. Заболяването се локализира в мозъка, засягайки крайниците, като нерядко е придружено от умствена

изостаналост, епилепсия и необичайно поведение. Често наблюдавани съпътстващи признаци са психични разстройства, зрителни, слухови, езикови и други симптоми. Потърпевшето дете има ниско самочувствие, разфокусирано внимание, чест плач и отказва да съдейства на лечението. Най-често разглежданата форма се отнася до разстройство в двигателните функции на децата, засягайки тяхното движение и пространствена ориентация. Децата, диагностицирани с това заболяване, не притежават правилна пространствена ориентация. Някои изследвания сочат, че церебралната парализа влияе върху социалното поведение и комуникация, както и върху познавателните способности, усещанията и емоциите [6].

Именно поради това рехабилитационната терапия е наложително да започне възможно най-рано и би могла да бъде много неудобна, уморителна и дори болезнена за деца с церебрална парализа. Така че, най-съществениият проблем, който възниква е как децата да бъдат мотивирани и стимулирани да преминат през такава дълга, скучна и трудна терапия. Той засяга не само децата, но също така терапевтите и родителите. Практиката показва, че все повече изследователи търсят възможности за ангажиране на детското внимание чрез съвременни интелигентни средства върху игрови платформи във виртуална среда за установяване на социален контакт и обмен на информация с децата чрез интерактивен човеко-компютърен интерфейс. Това е необходимо с цел задействане на социалните взаимодействия и за улесняване на връзката между децата и техните терапевти.

НАБЛЮДЕНИЕ НА ПОВЕДЕНИЕ НА ДЕЦА ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕ НА СИМУЛАТОР

При различни събития, когато са представяни двата АС, най-голям интерес е наблюдаван при малките деца, които много бързо свикват и се справят с управлението на различни ЛА. Според Ян Коменски (1592-1670) децата най-добре се обучават по време на игра. На Фиг. 1 са показани малки деца, които се справят много добре с полети, при положение, че само веднъж им е обяснено и демонстрирано. Децата изключително много се забавляват и това реално „помага в процеса на обучение“. Чрез игра се учи лесно и именно този факт се използва при деца с церебрална парализа, където задачата е с повишена сложност. В процеса на обучение те се запознават с даден ЛА или задача и след това по време на игровата тренировка се извършват наблюдения, които проследяват или стимулират мускулни спазми или други процеси, които се случват върху лицата им. Тези наблюдения целят да послужат на екипа за съставяне на работещи програми, методики за работа с хора със затруднен контрол и движение на определени мускулни групи, вследствие на церебралната парализа.



ФИГУРА 1. Малки деца „играят“ на системите по време на различни събития.

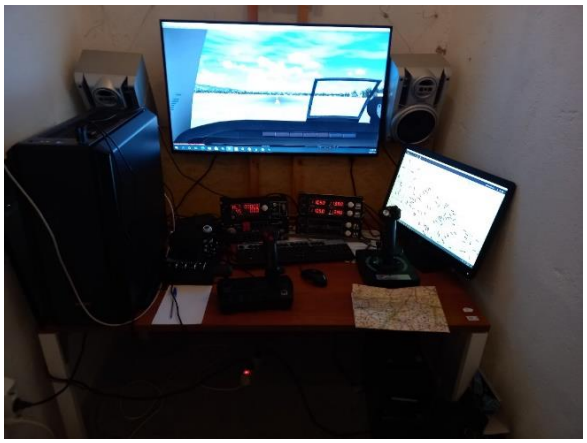
Принципът за използване и на двата АС е еднакъв и се състои от следните процеси:

- теоретична част – предоставя се теоретичната основа за ползване на системата;
- поставяне на задачите – разясняват се задачите;
- управление на ЛА – стоене на място и извършване на наблюдението;
- извършване на поставените задачи;
- анализ на свършената работа;
- планиране на следващи задачи или действия.

Към този процес се допълва изследователската част, която включва ЕЕГ сигнали, проследяване движенията на очите, електро-окулограмен сигнал и други биологични сигнали, които намират широко приложение в тренинга при рехабилитация и помощ за всички видове хора с увреждания.

Системата е оборудвана със следните сензори и контроли за управление и визуализация:

1. Сензори за следните физиологични показатели:
   - кожно-галванична реакция;
   - дишане (честота);
   - сърдечна честота;
   - кръвно налягане;
   - движение на очите;
   - движение на главата;
   - ЕЕГ.
2. Управление на ЛА:
   - лост за управление;
   - ръчка за газ;
   - различни контроли върху тях;
   - педали (които се използват за управление на ляво и дясно).
3. Визуализация
   - 3D очила за виртуална реалност;
   - монитори;
   - софтуер;
   - хардуер за допълнителни визуализации и управление на системи на ЛА.

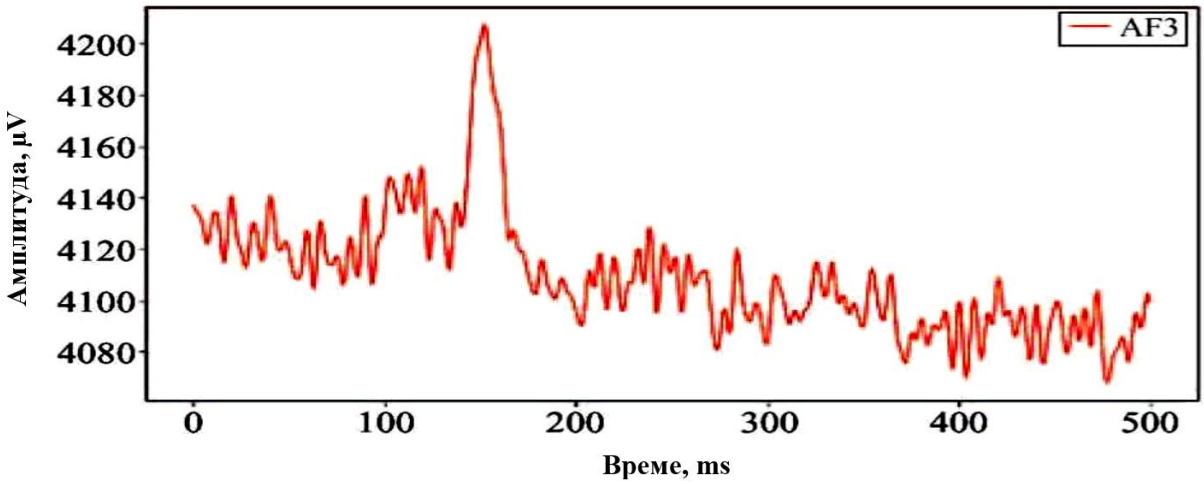


ФИГУРА 2. Помещения на авиационния симулатор.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПОСТАНОВКА

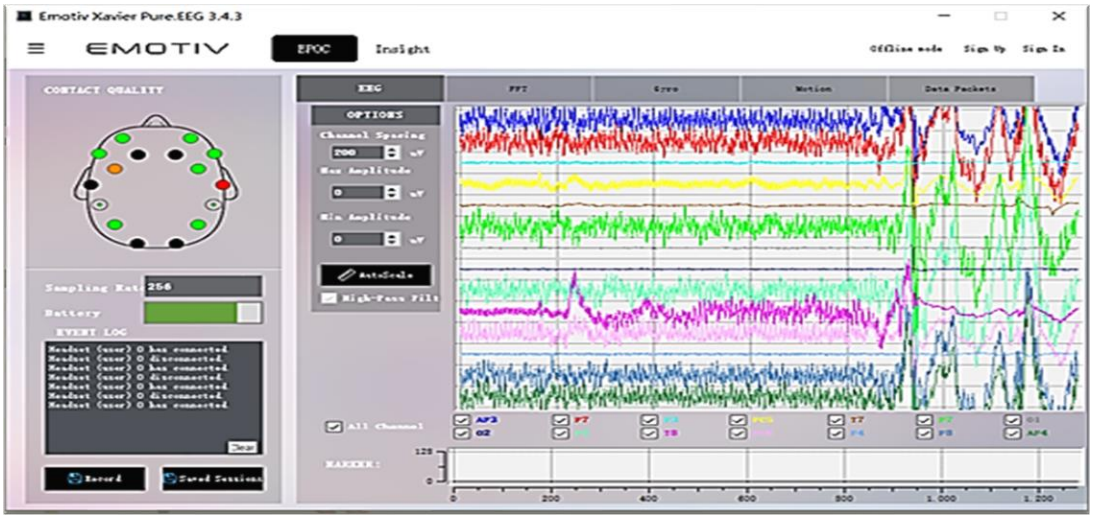
Китайските партньори от Училището по електротехника и автоматизация към Технологичния институт на Чангшу, в тясно сътрудничество с Отделението по рехабилитационна медицина към Втората народна болница на Чангшу и Училището по машиностроене към Технологичния институт на Янченг любезно предоставиха проверена, доказала се във времето, методика за асистирана от робот лицева рехабилитация при церебрална парализа. Тя е базирана на мозъчно-компютърен интерфейс (BCI), оборудван с Emotiv EPOC+. Тя представлява система за трениране на изражения върху лицето. Системата използва комуникационния протокол WebSocket в средата за разработка на Python, за да настрои системата клиент-сървър за постигане на пълна дуплексна комуникация между браузъра и сървъра, базирана на TCP протокол. Тя реализира двупосочно предаване и приемане на информация, опростява обмена на данни между сървъра и клиента. Използва се за комбиниране на дейностите по придобиване на сигнали от оборудването, обработка и прилагане на сигналите, като се използва методът за обработка на уейвлет трансформация за улавяне на промяната в лицеви конвулсии и изражения.

Специфичният сигнал на единичен канал в определен период на обучение задейства връзката между съответния характеристичен сигнал и командата за действие за задвижване на двигателя на емоджи робот, ползван от китайските партньори. В настоящия случай виртуалният симулатор се явява в качеството на интелигентен заместител на експресионния емоджи робот, базиран на оборудване за интерфейс мозък-компютър. На Фиг. 3 е представена диаграма на вълновата форма на едно мигане на окото за определен период от време. На нея може да се види, че сигналът има откроявящ се пик.



ФИГУРА 3. Диаграма на мигащия сигнал на окото за определен период от време.

На Фигура 4 е показана схематичната диаграма на качеството на връзката на сигнала.



ФИГУРА 4. Изпитване на комуникационните връзки на устройството.

Предвижда се след това, съгласувано с родители и лекуващ доктор, на децата да бъдат приложени разработените методи, да бъдат анализирани резултатите, да се създадат и обучат допълнителен екип от сътрудници, защото системите са сложни и изискват квалифициран персонал. В този експеримент са заложени облекчаване на симптоматиката при децата и техните родителите при справяне с проблемите, свързани с болестта и самата рехабилитация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Посредством създадения интерфейс за взаимодействие човек-компютър се помага на треньорите да стимулират деца с церебрална парализа да извършват предвидения тренинг, така че да се постигне задържане и ангажиране на вниманието на децата и стимулиране на тяхното съдействие в тренировъчния процес на лицевите мускулни групи в естествен игрови ритъм. При тренинга се съчетават способностите на човешкия мозък и компютърното оборудване за управление, за да си взаимодействат едновременно като по такъв начин мултиплицират синергичния ефект, който се получава в резултат от съвместното им действие.

Рехабилитационната система е проектирана за проблеми като напр., фарингеална дисфония. Съзнателното контролиране на мигането и усмивката може да упражни лицевите мускули около очите, мускули на бузите, дъвкателни мускули и други мускули, което значително повлиява и подпомага процеса за подобряване на състоянието на някои деца с церебрална парализа при съществуващи симптоми като дисфагия и дисфония, но и за подобряване на вниманието. След анализ на получените резултати ще бъде решено до кой етап от обучението ще бъдат допуснати лицата със затруднения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите биха искали да изкажат благодарност на НИС към Технически университет – София за финансовата подкрепа. Настоящият доклад е разработен в хода на изпълнение на Проект в помощ на докторант №222ПД0024-15 на тема: „Гъвкави (Agile) подходи за интелигентна интеграция и управление на ИТ услуги и процеси“ [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Накова, „Промяната на потребителското поведение под влияние на Ковид пандемията“, *XIX Международна научна конференция „Мениджмънт и инженеринг'21“, (23-25 Юни 2021, Созопол, България)*, стр. 199–201.
2. Р. Накова, „Потребителската лоялност на Baby Boomers, X, Y и Z поколенията при покупка на бързооборотна стока“, Годишник „Икономика и Бизнес“ **5**, Нов български университет, департамент „Икономика“, (2020).
3. В. Генов, Д. Гинчев, „Анализ на видове долитане и заход на летище София чрез авиационен симулатор“, *Сборник доклади на Научна конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии „БулТранс-2020“, (10-13 септември 2020, Созопол, България)*, стр. 29–34.
4. П. Куцарова, В. Генов, Д. Гинчев, „Възможности за обучение и научно развитие на студенти чрез проекти“, *Сборник доклади на Научна конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии „БулТранс-2021“, (10-13 септември 2021, Созопол, България)*, стр. 28–34.
5. D. Ginchev, S. Stavrev, “A low-cost battle tank simulator using Unreal Engine 4 and open-hardware microcontrollers”, *2020 XXIX Int. Sci. Conf. Electronics (ET), (Sozopol, Bulgaria)*, IEEE, pp. 1–4 (2020).
6. P. Weber et al., “Behavioral and emotional problems in children and adults with cerebral palsy”, European Journal of Paediatric Neurology **20**(2), pp. 270–274 (2016).
7. Проект в помощ на докторант №222ПД0024-15 на тема: “Гъвкави (Agile) подходи за интелигентна интеграция и управление на ИТ услуги и процеси“.
8. Комисия на европейските общности, Брюксел, 2.7.2008, COM(2008) 412 окончателен**,** *Съобщение на комисията до Европейския Парламент, Съвета, Европейския икономически и социален комитет и Комитета на регионите***,** *Обновена социална програма: Възможности, достъп и солидарност в Европа на 21-ви век***,** {SEC(2008) 2156}{SEC(2008) 2157}{SEC(2008) 2178}{SEC(2008) 2184}, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/?uri=CELEX%3A52008DC0412
9. *Access to Justice for Persons with Disabilities. Seminar for Members of the Judiciary*, (13-15 November 2019, Sofia, Bulgaria), www.era-comm.eu/uncrpd/kiosk/pdf/seminar_documents/s_c_419DV21.pdf

Application of Virtual Reality Aviation Simulator in Rehabilitation of Children with Cerebral Palsy

Dimitar Ginchev[1, a)], Roumiana Ilieva [2, b)], Zhenli Lu [3, c)], Qian Wang[4], Nikola Gaydarov[5, d)]

[1]*Department of Aeronautics, Technical University of Sofia, 8 Kliment Ohridski Blvd., 1000 Sofia, Bulgaria.*
[2]*Department of Management and Business Information Systems, Faculty of Management, Technical University of Sofia, 8 Kliment Ohridski Blvd., 1000 Sofia, Bulgaria.*
[3]*School of Electrical Engineering and Automation, Changshu Institute of Technology, 215500 Changshu, China.*
[4]*School of Mechanical Engineering, Yancheng Institute of Technology, 224051 Yancheng, China.*
[5]*PhD School at French Faculty of Electrical Engineering, Technical University of Sofia, 8 Kliment Ohridski Blvd., 1000 Sofia, Bulgaria.*

[a)] Corresponding author: dimgnchev@tu-sofia.bg
[b)] rilieva@tu-sofia.bg
[c)] zhenlilu@cslg.edu.cn
[d)] nikola.gaydarov@abv.bg

Abstract. Today's social society needs support for everyone, especially those who are disabled. Solidarity implies action to help those who are disadvantaged, those who cannot use public infrastructure and public goods because of the specifics of their diseases. A good option for such support or inclusion of people with health and social problems is to involve them in various activities to show that they are not rejected by society. Their integration into society is embedded in a number of European programs that successfully fund projects related to equal access for people with disabilities to all public services and public objects in a way tailored to their needs. The Technical University of Sofia, as an organization that is corporate socially responsible, also develops activities to support the integration of disadvantaged students. At the Technical University of Sofia with the assistance of the Department of Air Transport, Research Sector, Students and Companies was built aviation simulator. This simulator, in addition to training students, visualising different processes during the operation of aircraft in front of future pilots or ground operation with the means and research, is used to introduce children to the principles of operation of an aircraft, as well as to motivational flights. An established training programme has been established. All these applications, as well as the new ones that are currently being digested – eye monitoring, attention that the pilot pays in flight, momental or other conditions – fatigue, stress, "burnout", excessive self-confidence, etc., as well as monitoring of biophysiological indicators such as pulse, breathing, skin-galvanic reaction, blood pressure, brain activity, etc., complement the possibility that the system can be used in persons with impaired mobility or difficulty in mental activity, disease such as cerebral palsy. This report aims to precisely present this possibility.

Application of Small Wind Turbines on Sailing Yachts

Barbara Lewandowska[a)], Karol Zawadzki, Marcin Pisarski,
Fryderyka Gocalińska, Michał Sikorski, Wiktoria Gocalińska and Michał Kulak

Institute of Turbomachinery, Lodz University of Technology, 93 - 005 Lodz,
217/221 Wolczanska Street, Poland

[a)] Corresponding author: basia.lewa@gmail.com

Abstract. The growing demand for clean energy prompts new technologies to search for unique solutions on a small, previously unnoticeable scale. Marine transport has been known for centuries as one of the most widely used in transit and shipping. Its universal application creates an excellent opportunity to collect the kinetic energy of the wind by installing small turbines. An in-depth exploration of the wind energy potential in marine applications could be a ground-breaking innovation for more sustainable power. While larger size turbines may be ineffective due to weight, their smaller counterpart may find use in powering small devices. Exploring new possibilities of obtaining clean energy and storage of wind energy in the water transportation industry may be a contribution to solving an existing problem. This article mainly focuses on the application of the microturbines on mid-size yachts. The aerodynamic analysis of the wind energy potential on the southern region of the Baltic Sea was performed. Moreover, the annual energy production and savings generated by the small wind turbine installed on mid-size yacht were calculated. The research was executed based on an exemplary route of a sailing yacht at the Baltic Sea as a proof of the applicability of small wind turbines in marine conditions.

INTRODUCTION

The UN, European Union, and the IPCC [1] intend to reach carbon neutrality by 2050. As the world recognizes the existing problem of climate change, the maritime sector must adapt to the requirements enforced by governments. Maritime shipping transports produced nearly 3 percent of the world's carbon dioxide emissions [2], and it is responsible for 90 percent of world trade [3]. Although growing focus for the long-term systems starts to bring the first results, such as digital software for wing sail systems and intelligent wing sails [4], renewable sources may be the short-term solution. Solar panels and wind turbines begin to capture attention of many international shipping companies; however, it is the small private yachts owners, who first saw its potential [5]. By adjusting already existing sustainable power supply to the marine conditions, one can quickly and effectively reduce greenhouse gas emissions.

GUST (Generative Urban Small Turbine) device, built in 2015 and modified throughout the years, is the current biggest accomplishment of the student association group from Lodz University of Technology based in Poland. Although never tested before in the maritime conditions, it could be a potential candidate for this kind of applications. The wind turbine would achieve the highest efficiency for medium-sized vessels, due to its size and energy production. It could be applied to yachts with sails only and motorboats alike. Even though it may be installed on a vessel regardless of its traveling route, the Baltic Sea is a local water reservoir selected for further investigation due to its location close to the University. Further examination will reveal its effectiveness under those conditions. In addition, the GUST turbine may have restrictions on yachts due to the size of its diameter and weight.

WIND CONDITIONS AT THE BALTIC SEA

To investigate the performance of the GUST HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) on ships, one should firstly establish the specific location of the wind turbine operation. For this study the potential route of the ship is Kołobrzeg-Bornholm which is one of the most popular ferry and sea yacht routes in the southern Baltic region. This route was taken as an example of GUST SWT implementation for yachts sailing on Baltic Sea (see

Fig. 2). The next step is to analyse the data about the wind (direction and magnitude) for the chosen location. Based on this information, one can adjust the wind turbine parameters for the operation at any specific location.

The data about the wind was obtained from the Earth observations by the QuikSCAT satellite collected from 1999 to 2009 by NASA [6]. Pena Diaz et al. developed the wind atlas for the South Baltic Sea which describes the wind distribution and verified it with measured data on the masts [7]. Furthermore, Hasager et al. created the maps of the Weibull A and k parameters in the South Baltic and Danish seas [8] (see Fig. 1), where A is the parameter of the Weibull scale in m/s. In other words, the parameter A is a measure of the characteristic wind speed of the distribution), which is proportional to the average wind speed. The second parameter, k, determines the shape of the Weibull distribution and can range from 1 to 3. For a smaller value of k (e.g. 0.5), the wind is highly varying, while a greater value of k (e.g. 2) indicates more stable, constant wind speed [9]. According to [8], Weibull A parameter varies between 8.0 m/s and 8.5 m/s in the South Baltic Sea, and Weibull parameter k is in the range from 1.9 to 2.3.

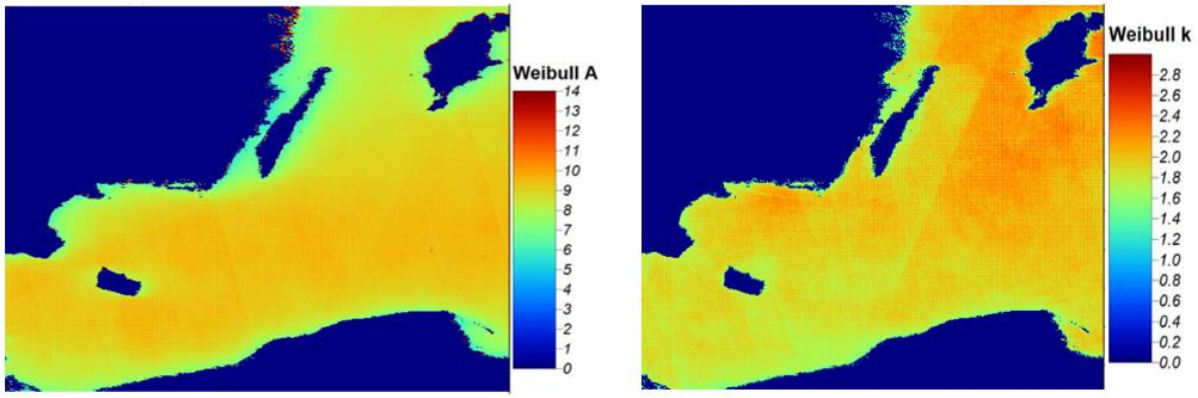


FIGURE 1. Weibull A within a range from 7.5 (yellow) to 10.0 (orange) m/s and Weibull k ranging from 1.8 (yellow) to 2.5 (orange) in the Baltic region, QuikSCAT ocean wind maps [8].

Based on the study done by Zalewska and Jakusik [10] and Wind Frequency Rose [6] one can deduce the distribution of wind speed and direction. On average, it can be assumed that the most frequent wind direction is west wind. Hence, the value of apparent wind speed (for ship in movement, see Fig. 2) can be calculated, using the basic trigonometric law of cosines:

$$Vapparent^2 = Vship^2 + Vwind^2 - 2 \cdot Vship \cdot Vwind \cdot \cos(alpha)$$

The straight-line distance between the above-mentioned locations is approximately 100 km. Assuming that the average speed of the yacht in the Baltic Sea is 4-5 knots (2 m/s = 7.2 km/h) [11], it can be calculated that the yacht covers this distance in about 14 hours.

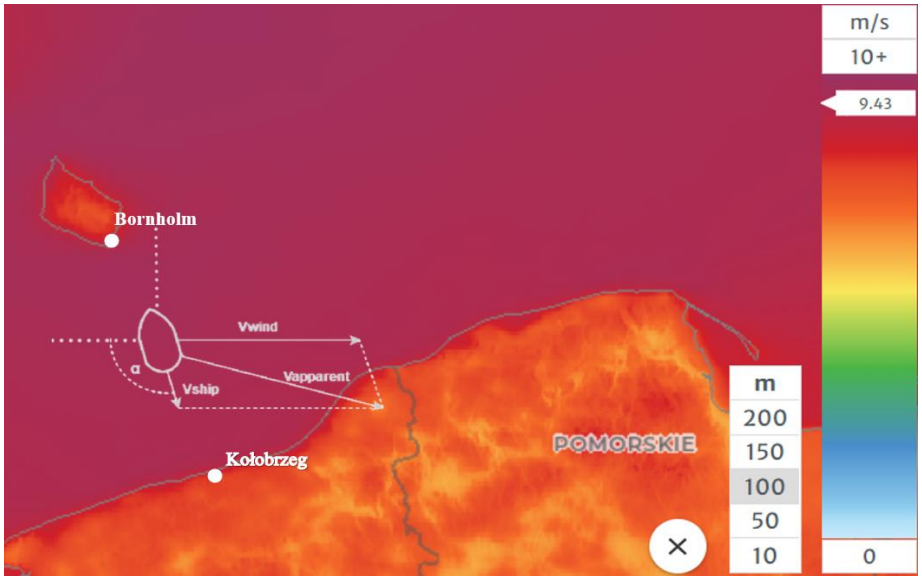


FIGURE 2. Average wind speed in the Baltic on the route Kołobrzeg- Bornholm on 30.08.2022 and method of calculation for the apparent wind speed [6].

For the first case (yacht sailing from Kołobrzeg to Bornholm), along an approximated straight-line route (see Fig. 2), the tested value of the apparent wind speed is 8.88 m/s and is taken as the average value for the Weibull wind distribution. The parameter k = 2 was selected based on Fig. 1. For the return route to Kołobrzeg, the average wind speed equal to 7.55 m/s was calculated. The k parameter was selected as before. During the investigation it is assumed the vessel anchored only in Kołobrzeg, hence Weibull A parameter is equal to 8.0 and Weibull k is 2. The Weibull wind distribution graphs for these cases are shown in Fig. 3.

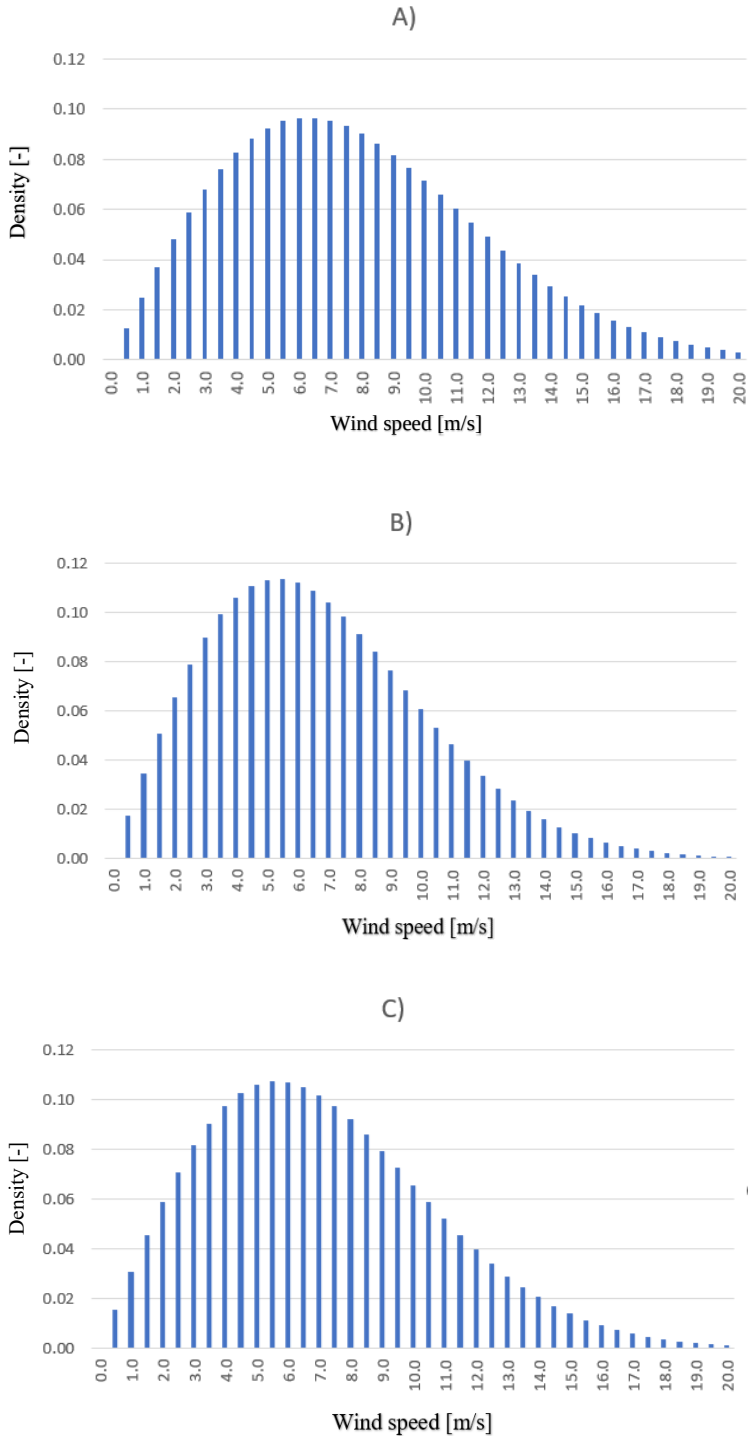


FIGURE 3. Weibull wind speed distribution on the route Kołobrzeg-Bornholm:
A) From Kołobrzeg to Bornholm; B) From Bornholm to Kołobrzeg; C) Anchor in the port in Kołobrzeg.

GUST SMALL WIND TURBINE

After completing the wind conditions analysis, next step is to develop the aerodynamic design of the small wind turbine. The construction and geometry of the rotor as well as the entire construction should be optimized in such a way that the turbine could harvest the greatest amount of energy from wind in the chosen location.

Gust wind turbine aerodynamic design has been developed to have the optimal performance for Weibull distribution of rated wind speed 5 m/s. The aerofoil chosen to meet those requirements is the S826 profile, which according to acquired data corresponds to rated wind speed assumed basing of Weibull distribution (see Table 1). The turbine operates in the wind speed range from 3 m/s to 15 m/s meaning it produces energy through gentle breeze (3.3 m/s - 5.3 m/s) to near gale (13.9 m/s - 16.9 m/s) conditions, with the most preferable working conditions are between 7 m/s and 8 m/s. 1kW can be achieved during operation in the wind speed of 13 m/s, at rotational speed equal to 895 RPM.

The rotational speed of the generator can be adjusted for different wind speeds, allowing it to work in the most efficient way, regardless of weather conditions. The turbine is equipped with a passive yawing system which allows it to adjust itself to the direction of the wind. Components that are used in the production of GUST wind turbine are cheap and reliable. The materials used in manufacturing are characterized by high durability and low weight. The turbine cover is made in 3D-Print technology and coated with acrylic primer and paint, which contributed to the resistance to weather conditions, providing protection against long-term exposure to sunlight and humidity. In addition, multiple seals protect it from salt and corrosion, while making it resistant to dust and water. The modularity of the turbine saves assembly and disassembly time. Moreover, it can be mounted on custom made stand, allowing variety of heights it can operate on, where lowest possible height is 1.7 m imposed by rotor 1.6 m diameter, which is slightly above 1.2 m than some of the largest used wind turbine on yachts [12].

TABLE 1. Summary of characteristics features of the considered small wind turbine.

Parameter	Value
Aerofoil	S826
Number of blades	4
Rotor diameter	1.6 m
Rated wind speed	5 m/s
Cut-in wind speed	3 m/s
Cut-out wind speed	15 m/s
Survival wind speed	39 m/s
Rated power	57 W
Rated TSR	3.6
Rated rotational speed	214 RPM
Rated rotor torque	2.54 Nm
Design Weibull distribution	A = 5.5 m/s, K = 2.5

The unit blades are made of CFRP (carbon fiber reinforced polymer) which is a composite material. CFRP is composed of carbon fiber, which provides most of the key mechanical properties of the composite, and polymer resin, which guarantees its integrity, stiffness, and resistance to compression. Such properties, combined with affordable price, ensure high strength and resistance to vibrations (see Table 2).

TABLE 2. Basic properties of the CFRP material.

Parameter	Value
Young's Modulus (along the fibres)	70 GPa
Ultimate Tensile Strength	600 MPa
Poisson's Ratio	0.77
Density	1.6 g/cm^3

Calculations of the strength were made for extreme conditions following the standard IEC (International Electrical Committee) 61400-2 defined in Simple Load Model [13], which outlines static strength calculations for wind turbines. Those calculations can be regarded as an introduction to further evaluation, since there are no explicit standards, which explore application of small wind turbines used on the sea. The extreme load cases thus evaluated make certain that turbine would be able to withstand hurricane speed between 32.8 m/s and 36.9 m/s (force 12 established in Beaufort scale).

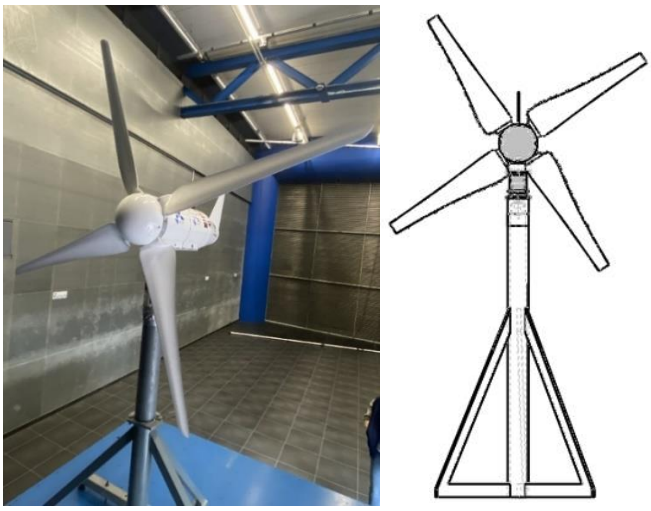
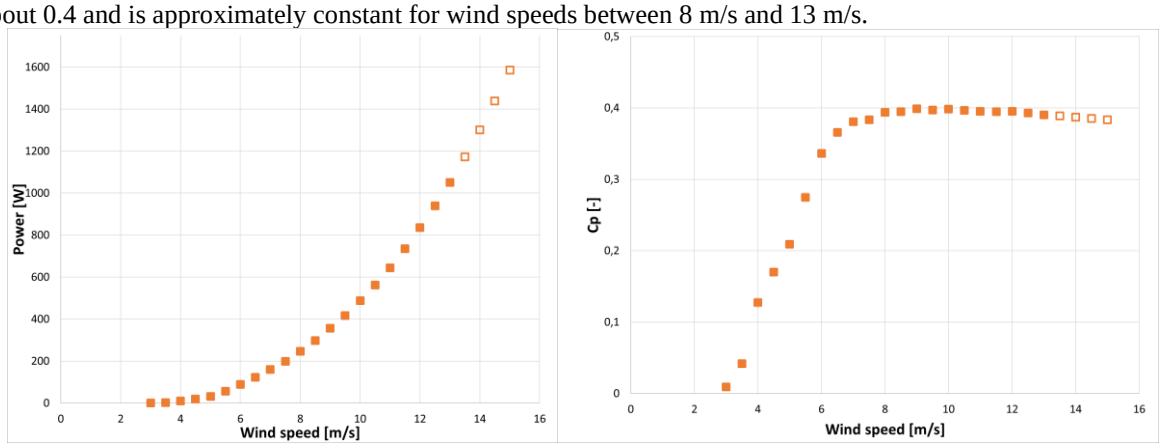


FIGURE 4. Model of GUST small wind turbine.

THE USE OF THE GUST SWT ON YACHTS

This chapter will describe the benefits coming from the use of the GUST SWT on ships according to the wind conditions (e.g., Weibull distribution, annual energy potential) presented beforehand. The next step is to check effectiveness and benefits of using GUST SWT on yachts.

Wind tunnel experiments of the GUST turbine prototype, conducted in the Delft University, enabled to measure the power of the wind turbine (see Fig. 5 (a)) and the efficiency (described by the power coefficient Cp, see Fig. 5 (b)). All data were gathered for wind speeds ranging from 3 m/s to 13 m/s. As can be seen from the graphs, the maximum wind power of 13 m/s produced around 1 kW The maximum value of cp coefficient is about 0.4 and is approximately constant for wind speeds between 8 m/s and 13 m/s.



(a) (b)

FIGURE 5. (a): The characteristics P(v_{wind}) of the GUST SWT; (b): The Cp (v_{wind}) curve for the GUST SWT

The combination of the annual energy potential of the wind speed in the Baltic Sea and the power factor of the GUST small wind turbine allows for the creation of the Annual Energy Production Characteristics (AEP) based on the following formula:

$$AEP = n \cdot \frac{P}{1000} \cdot Cp \cdot A,$$

where: n – frequency of occurrence in days (coming directly from the Weibull distribution), P – available aerodynamic power from the wind, Cp – power coefficient, A – rotor swept surface area.

For the purpose of this study, it was assumed that during the year-round operation, a medium-sized yacht sails from the beginning of May until the end of October on the exemplary route (back and forth) from Bornholm to Kołobrzeg with the average speed 4-5 knots. It will take approximately 14 hours travel the straight-line distance between the above-mentioned locations.

Additionally, it was assumed that the average number of days a year the yacht sails is 80 (4 days a week for 5 full months), which translates into 560 hours on the route from Kołobrzeg to Bonholm and 560 hours on the route from Bornholm to Kołobrzeg. The remaining time (7640 hours) is considered a stopover in port. Based on the above conditions, the characteristics of energy production as a function of wind speed were obtained for three mentioned variants. In Figure 6 the annual energy production (AEP) of the GUST SWT in off-shore conditions (Baltic Sea) is presented, including:

- Figure 6 A: 560 hours, route from Kołobrzeg to Bornholm,
- Figure 6 B: 560 hours, route from Bornholm to Kołobrzeg,
- Figure 6 C: 7640 hours, yacht at anchor in the port (Kołobrzeg).

For the route Kołobrzeg - Bornholm the largest amount of energy (about 42 kWh) is collected at the apparent wind speed 12 m/s. From Bornholm to Kołobrzeg, the greatest amount of energy (around 28 kWh) is accumulated at the apparent speed equal to 10 m/s -11 m/s.

During the stay in the port (yacht at anchor) the highest amount of energy (around 118 kWh) is gathered at the apparent speed (equal to the wind speed): 10 m/s -12 m/s.

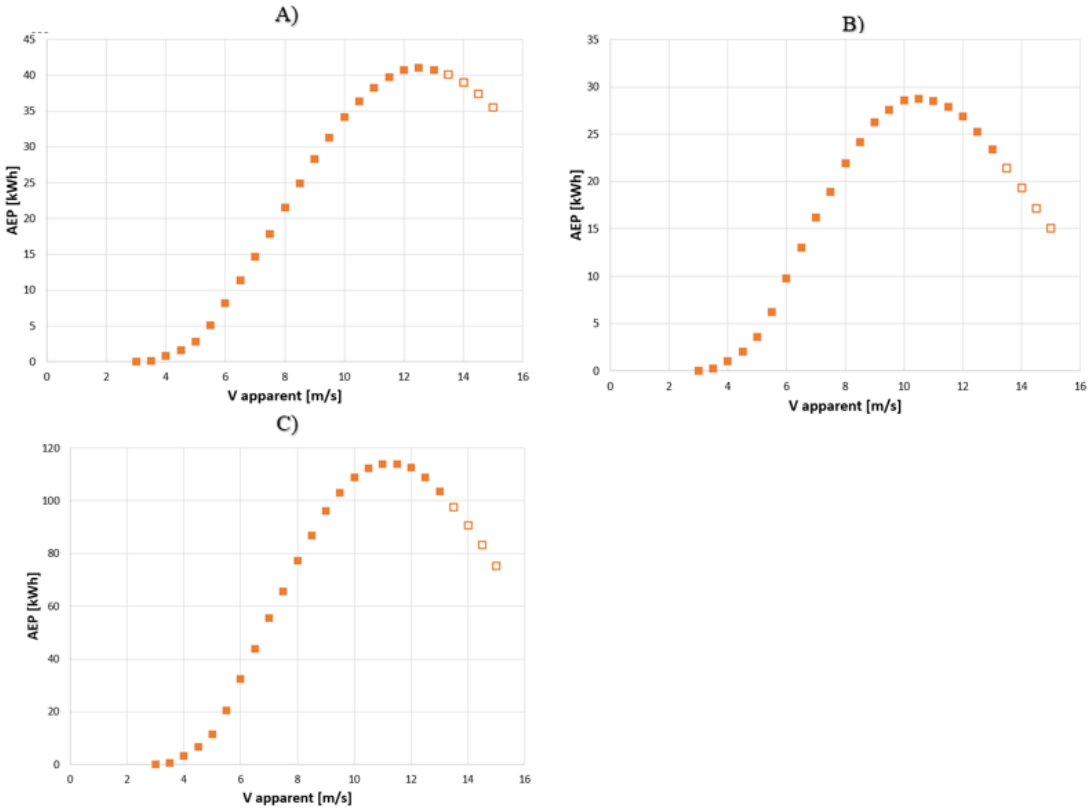


FIGURE 6. Function of annual energy production to apparent speed:
A) Route from Kołobrzeg to Bornholm; B) Route from Bornholm to Kołobrzeg; C) Anchor in the port in Kołobrzeg.

Considering the 3 aforementioned yacht status variants and by integrating AEP ($v_{apparent}$) functions, it is possible to obtain the total annual energy generated by SWT GUST. The result is presented in Table 3.

TABLE 3. Total AEP for the mid-size yacht at the Baltic Sea.

	Kołobrzeg-Bornholm	**Bornholm - Kołobrzeg**	**Anchor in the port**
Avg. Energy [kWh]	354.6	236.4	2070
Total annual energy (sum) [kWh]	591		2070
Electric charge at 12V [Ah]	140		473

Having the 2661 kWh "extra" from the use of the GUST SWT (591 kWh underway and 2070 kWh at anchor), it is possible to estimate the potential savings of equipment operating on board during a sea voyage. Table 4 presents the most important elements of the ship's equipment together with the energy consumed.

TABLE 4. Energy consumed by the equipment at the yacht based on help guide of Dick McClary [14].

Device	Underway		At anchor	
	Daytime Ah	**Nightime Ah**	**Daytime Ah**	**Nightime Ah**
Anchor lights and windlass	0	0	8	17
Autopilot	48	48	0	0
Cabin Light	0	1.8	0	7.2
Cockpit Lights	0	0	0	4
GPS	9.6	9.6	0	0
Cockpit Instruments	3.6	3.6	0	0
Deck Lights	0	1.7	0	1.7
DB Board & DCM	1.2	1.2	1.2	1.2
Freshwater pump	4	4	4	4
Fridge	24	24	24	24
Gas alarm	7.2	7.2	7.2	7.2
Laptop/Computer	0	0	16	0
SSB	37	12	37	12
VHF	4.	4.2	4.2	4.2
Watermaker	6	6	12	0
TOTAL	**144.8**	**123.3**	**113.6**	**82.5**
	268.1		**196.1**	

A typical yacht battery can provide the voltage equal to around 12V [15]. Thus, the 2661 kWh of energy is enough to provide in annual scale:

- 140 Ah of electric charge in underway conditions,
- 473 Ah at anchor.

This covers 52% of the energy demand at underway conditions and over 241% of the energy demand at anchor for electrical equipment operating on a medium-sized sailing yacht. While the GUST turbine is theoretically capable of producing almost three times more energy than is needed for an anchored vessel, more research is required to confirm this calculation. Wind conditions at different ports can be highly dependent on many factors such as nearby urbanization and port location. In addition, it should be emphasized that all the data used is the average over the years, a more detailed study would be able to measure it for each month.

CONCLUSION

In the presented research the suitability of the GUST small wind turbine for marine applications was assessed. The performance and effectiveness of the unit mounted on medium-sized sailing vessels in the South Baltic region were estimated. On this basis, the annual energy generated by the wind turbine in seashore conditions was calculated and the following conclusions can be drawn:

- The GUST SWT produces the highest amount of energy for the yacht's apparent average speed (wind speed + own yacht speed) at 10 m/s - 12 m/s.
- The wind turbine produces an average of 2661 kWh on the Kołobrzeg - Bornholm route, for a medium-sized sailing yacht, it can cover up to 52% of the total energy demand.
- The examined turbine is capable of withstanding extreme weather conditions at Baltic Sea, such as windstorm up to almost 37 m/s. Moreover, it is resistant to high humidity and salt concentration in the sea air due to protective layer and seals.

Although the GUST SWT has proven to be a suitable renewable energy sources for the marine units in the South Baltic Sea region, the following aspects should also be considered when installing such a device:

- The height and position of the turbine should be adjusted to the size of the vessel. The installation of the turbine causes a shift of the center of gravity, which affects boat stability and buoyancy. Additionally, with the added weight, the overall weight changes. Moreover, the turbine should withstand the acceleration generated by rocking or tilting during the passage.
- The turbine should not interfere with the daily activities performed on the vessel, as it may adversely affect the safety during the voyage. For instance, the operation of radio and navigation

equipment must remain undisturbed to ensure constant contact with other units and the land. Potential disturbances may be caused by the reflection of the radio beam from the turbine structure or its mountings.

- There is no set dimension of the units on which the GUST turbine may be installed. Although it has a greater diameter than a regular marine turbine available on the market, the size limitations cannot be estimated. Each case should be considered independently, due to differences such as; mast position, sail size, weight distribution and battery capacity.
- Approximate lower size limit of the yacht may be set based only on the average power consumption and vessel physical limitations.
- Even though there is no fixed maximum vessel length restriction it needs to be acknowledged that as the size increases, so does the power requirement. Enlarging the unit will reduce the share of wind energy in total energy consumption, while still beneficial, it becomes less important to overall power production. However, it is still possible to use several turbines to overcome this effect.

REFERENCE

1. European Commission, Directorate-General for Climate Action, Going climate-neutral by 2050: A strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate-neutral EU economy, Publications Office, 2019, https://data.europa.eu/doi/10.2834/02074.
2. AGCS: Safety and Shipping Review 2022. Allianz Global Corporate & Specialty (2022). https://www.agcs.allianz.com/content/dam/onemarketing/agcs/agcs/reports/AGCS-Safety-Shipping-Review-2022.pdf.
3. Y. Wu, K. Wen, X. Zou, "Impacts of shipping carbon tax on dry bulk shipping costs and maritime trades – the case of China", J. Mar. Sci. Eng. **10**(8), 1105 (2022).
4. UK Research and Innovation, *Shipping Industry Reduces Carbon Emissions with Space Technology*, https://www.ukri.org/news/shipping-industry-reduces-carbon-emissions-with-space-technology/#:~:text=The%20shipping%20industry%20is%20responsible,the%20world%27s%20total%20CO2%20emissions.
5. Southern Alliance for Clean Energy, *19 1/2 Similarities Between Sailboats and Wind Turbines*, https://cleanenergy.org/blog/sailingwindpower/#:~:text=First%20"modern"%20sailboats%20and%20wind,turbine%20was%20erected%20in%20Vermont.
6. Global Wind Atlas 3.0, A free, web-based application developed, owned and operated by the Technical University of Denmark (DTU). The Global Wind Atlas 3.0 is released in partnership with the World Bank Group, utilizing data provided by Vortex, using funding provided by the Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). For additional information: https://globalwindatlas.info.
7. A. Pena et al., "South Baltic wind atlas. South Baltic offshore wind energy regions project", Technical Report, Technical Univ. of Denmark, Risoe National Lab. for Sustainable Energy. Wind Energy Div., Roskilde (Denmark), RISO-R-1775(EN) (2011).
8. C. B. Hasager, M. Badger, A. Peña, X. G. Larsén, F Bingöl, "SAR-based wind resource statistics in the Baltic Sea", Remote Sens. **3**(1), pp. 117–144 (2011).
9. The Swiss Wind Power Data Website produced by Meteotest and mandated by the Swiss Federal Office of Energy, www.wind-data.ch.
10. T. Zalewska, E. Jakusik, "Warunki meteorologiczne i hydrologiczne oraz charakterystyka elementów fizycznych, chemicznych i biologicznych Południowego Bałtyku w 2018 roku", Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej − Państwowy Instytut Badawczy, https://www.imgw.pl/sites/default/files/2020-08/imgw-baltyk-monografia_final.pdf.
11. S. Buckles, "What is the average speed of sailboat?", Improve Sailing, https://improvesailing.com/questions/average-sailboat-speed.
12. D. Diston, ECO (Eco Power Shop), *Guide to Marine Wind Turbines – 4 Steps to Finding the Perfect Wind Turbine for Your Boat*, (2021), https://www.ecopowershop.com/amfile/file/download/file/206/product/1232.
13. EN 61400-2:2006: *Wind Turbines – Part 2: Design Requirements for Small Wind Turbines*.
14. Help guide by Dick McClary (2022), https://www.sailboat-cruising.com/boat-electrics.html.
15. https://pl.wikisource.org/wiki/Praktyka_ba%C5%82tycka_na_ma%C5%82ym_jachcie/Jachtowa_instalacja_elektryczna

Security Risks and Methods for Protection in Autonomous Vehicles

Maksim Sharabov[a)], Alexander Rusev[b)], Georgi Tsochev[c)] and Teodor Ukov[d)]

Department Information Technologies in Industry, Technical University of Sofia, 8 Kl. Ohridski Blvd. 1000 Sofia, Bulgaria

[a)] Corresponding author: msharabov@tu-sofia.bg
[b)] alrusev@tu-sofia.bg
[c)] gtsochev@tu-sofia.bg
[d)] teakov@tu-sofia.bg

Abstract. Self-driving vehicles are the engineers dream since the dawn of transportation. In recent years it becomes reality thanks to the modern technologies. Autonomous vehicles are designed to be connected cyber-physical systems. This is possible mostly due the rapid advancement in Industry 4.0 and the concepts of smart cities. This arises the danger of ill-intended actions towards such systems. This article will explore how such system works, the most common security flaws and how engineers aim to remedy them. Based on the results, the article will propose a method of how such system can be protected.

INTRODUCTION

Cities' populations are growing rapidly, and it is expected to rise in the future. Technologies, communications and artificial intelligence has improved the standard of living of the people to a great extent. Many scientific discoveries and inventions in the area of autonomous vehicles and smart cities has led to the rapid development in countries and in the world. Smart cities could solve various problems in today's urban life such as transportation, energy, citizen inclusion, etc. Driverless cars, taxis and buses can be connected to important information that reduces traffic and makes driving safer. Nowadays, more and more cities are collecting data to manage traffic flow. They are now using connected networks and cloud technologies to collect, analyze and link the data. The next step is combining the ready-made infrastructures with sophisticated data analysis and artificial intelligence algorithms.

SMART CITIES

Smart city, the concept is around since the 90s [1]. But it took a leap forward towards the beginning of Industry 4.0 [2]. Thanks to IoT (Internet of Things) the network infrastructure is far more advanced, and this gives the possibility many devices to be connected to each other or to a cloud that gives endless possibilities for innovative technologies such as fully autonomous and safe city. One of the main goals of a smart city is that its applications are designed to manage urban flows and allow for real-time responses.

For a smart city project to be effective several frameworks are required for it to be successful [3]:

- Technology framework – This is one of the most important frameworks, because the concept heavily relies on technologies. Communication between every node of the system is done through this framework.
- Human framework – Another key framework because this affects citizens lives and they must be provided with the knowledge how to use it safely and productively [4].
- Energy framework – For a smart energy infrastructure to be created a different kind of datasets are required [5]. They can be received through the various sensors that monitor core aspects of the smart city project.

- Data management framework – The core of those kind of project is the data. It is key for the concept. The data collecting and process is necessary to improve a city that aims to become a smart one, this can be narrowed down to some of those key dimensions – health, government, and transportation [6].

Nowadays there are at least a dozen examples of such cities, thanks to the new technologies that they implemented. Those are such an example – New York, Dubai, Oslo and more [7]. Copenhagen is a great example. In 2017 [8], it has received an award for centralized system that combines traffic lights, electric vehicle charging points and smart metering to a single platform to help deliver a more efficient automotive experience.

If we look into the US market for smart cities, it is predicted that there will be increased investment into those kinds of project [9]:

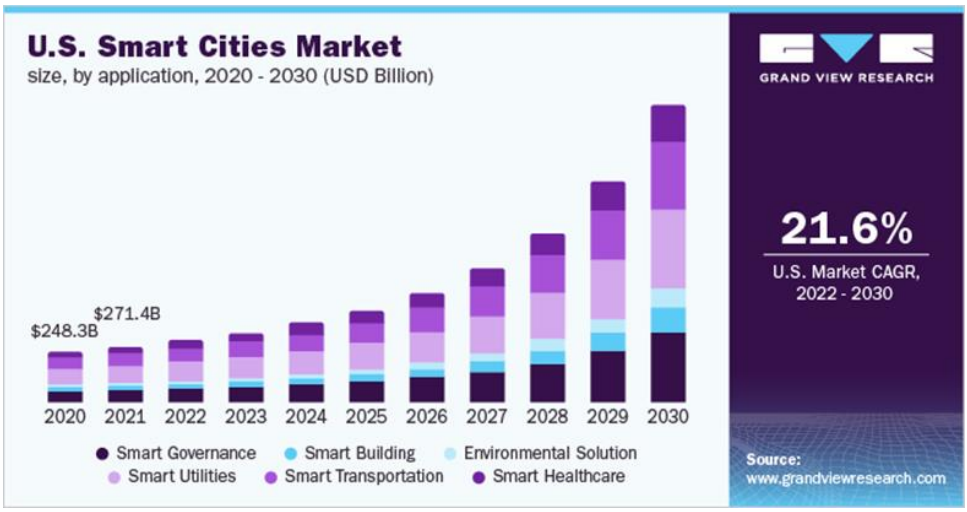


FIGURE 1. Predicted growth of the Smart Cities market in the US.

In the advancement of the new technologies and the vision of the engineers that design such cities there is the uplifting danger for them. Ill-intended attackers can become extremely dangerous for the people and infrastructure. We will investigate possible main weak points of the network in such concepts and more in particular how autonomous vehicles can be affected.

SECURITY RISKS AND VULNERABILITIES IN AUTONOMOUS VEHICLES

Autonomous vehicles, or driverless vehicles, are a category of automobile where some or all of the driving tasks are executed without human's intervention. "Autonomous" comes from the vehicle operation mode. An autonomous car is capable of using sensors to get a picture of its operating environment make decisions based on the collected data.

The Society of Automotive Engineers defines 6 levels of driving automation ranging from 0 to 5 [9]. The classification describes the extent to which the vehicle may take over the tasks of the driver.

Level 0 (No Driving Automation) refers to a vehicle that has no driving automation technology, which means that they are completely manually controlled – without ESP, parking assistance or any other kind of assistance system.

Level 1 (Driver Assistance) is the lowest level of automation. The vehicle has a single automated system for driver assistance such as cruise control, lane departure warning and emergency brake assistance. These automated systems can support the driver and increase its safety.

Level 2 (Partial Driving Automation) means advanced driver assistance systems. Here, several assistance systems are often combined with one another so that the vehicle can independently perform different tasks such as parking, driving maneuvers, etc. Tesla Autopilot and Cadillac Super Cruise systems are classified as Level 2.

Level 3 (Conditional Driving Automation) may use several driving assistance systems and artificial intelligence in order to make decisions, based on changing driving situations around the vehicle. People inside the vehicle do not need to supervise the technology, which means that they can devote themselves to other tasks during this time. Mercedes has a level 3 technology called Drive Pilot.

Level 4 (High Driving Automation) vehicles can operate in self-driving mode. These cars do not require human interaction in most cases. However, a human still has the option to manually drive. A few companies already develop various technologies and test them in different environments.

Level 5 (Full Driving Automation) is the highest classification of driving automation. Level 5 vehicle can drive itself everywhere in all conditions without any human interaction. The only human involvement will be to set a destination. Fully autonomous cars are tested in several places on earth, but they are not yet available to the public.

According to a market report published in January 2022 [10], the autonomous vehicle market is forecasted to grow at a compound annual growth rate of 13.3% from 2021 to 2030. This growth has many positives, including more people's lives saved, as well as cut down on traffic congestion and carbon dioxide emissions. With the benefits comes one drawback – autonomous vehicle security concerns. The dependence of automated vehicles on software exposes them to significant cybersecurity challenges. The higher the level of autonomy, the greater the risk of cyberattack.

In 2016, Troy Hunt and his student discovered a vulnerability in the Nissan Leaf car which allowed hackers to remotely use and control some of the car's functionalities. Software developers, who work in Nissan, have designed an app for Android and iOS that allows users to control some of car's functionalities. The security researchers discovered that the iOS app used only VIN (Vehicle Identification Number) for authentication. Further analysis revealed that the API used by the app could be accessed completely anonymously. Figure 2 depicts GET request which gives battery status information. Vehicle Identification Number and hostname are obfuscated to ensure user's privacy.

```
GET https://[redacted].com/orchestration_1111/gdc/BatteryStatusRecordsRequest.php?
RegionCode=NE&lg=no-NO&DCMID=&VIN=SJNFAAZE0U60XXXXX&tz=Europe/Paris&TimeFrom=2014-09-
27T09:15:21
```

FIGURE 2. GET request [11].

Figure 3 illustrates the JSON response from executing the GET request on Fig. 2 [11].


```
{
    status: 200,
    message: "success",
  - BatteryStatusRecords: {
        OperationResult: "START",
        OperationDateAndTime: "jan 21,2016 21:47",
      - BatteryStatus: {
            BatteryChargingStatus: "NORMAL_CHARGING",
            BatteryCapacity: "12",
            BatteryRemainingAmount: "12",
            BatteryRemainingAmountWH: "",
            BatteryRemainingAmountkWH: ""
        },
        PluginState: "CONNECTED",
        CruisingRangeAcOn: "135664.0",
        CruisingRangeAcOff: "157904.0",
        NotificationDateAndTime: "2016/01/21 20:47",
        TargetDate: "2016/01/21 20:47"
    }
}
```


FIGURE 3. Response from executing the GET request in Fig. 2 [11].

This indicates that an authentication module is not implemented. The experts discovered that the exposed vulnerability allows users, using only vehicle's VIN, to control vehicle's climate system and to collect vehicle's details such as fuel consumption, distance travelled, number of trips and information about them. As a result, the hacker can drain the car's battery by turning on the air conditioner. In addition, attackers having access to the entire vehicle's travel history, can pose a serious risk to users' privacy. At first glance, targeting the VIN of the target vehicle is not that easy. In reality, the researchers noted that the VIN is the same consecutive characters excluding the last 5. Hackers need small amount of time to try different combinations and successfully get a response from the car.

In 2015, two white hats named Charlie Miller and Chris Valasek discovered a vulnerability in the Jeep Cherokee model that allowed access to the steering and braking systems of the car. Based on their work and analysis, they have created detailed research [12], containing the sequence of steps for executing the exposure. There are number of steps to get control of the vehicle. An attack starts with targeting a particular vehicle. The

IP address is needed for the hack to work. If the attacker has the VIN and knows the location of the vehicle, the IP address would be easily guessable. The next step is running the exploit of the car's computer (head unit). The infotainment head unit is a specialized computer that can be used to control the car's functions. Jeep Cherokee uses the Fiat Chrysler Automotive Uconnect System. Researchers exploit the OMAP chip, embedded in the system. In this way, they get full control of both the system and most of car's functionalities. Hackers can control radio stations, adjust the climate system, etc. Charlie Miller and Chris Valasek should hack the Renesas V850 chip, which is responsible for carrying out most of vehicle's features, in order to take control over the Jeep Cherokee. Therefore, they developed a custom firmware, which is installed remotely through the Uconnect System. After the full installation of the firmware, hackers have full physical access to vehicle's steering and breaking systems.

RECOMMENDATIONS

For the autonomous vehicles to become more mainstream first their security must be on the bleeding edge. As seen with the Nissan Leaf example, poorly written application can become serious threat for the automobile and/or the passenger. The security of the platforms must be main concern for the manufacturers when creating and implementing system for communication and control of the car or any other autonomous vehicle.

Another key factor is the cloud. Again, it must be protected from all kinds of attacks and exploits, and it must be worked on solutions that could prevent or mitigate damage from zero-day attacks. The communication between the autonomous vehicle and the cloud must be done through secure and encrypted connections. Also, the authentication process must be more secure and to rely on modern cyphers.

ECUs are particularly important part. They control the core parts of the vehicles, so attackers often try to target it to gain illegal access. To remedy that is recommended of upgrading the entire electronic of the automobile so it can work with new security modules that handle security tasks. Such models are TPMs (trusted platform module). They are used for secure storage of security keys for encryption of processes and data in the vehicles [13].

For an autonomous drive system to be secure, some precautions must be taken to the driving environment itself. The kind of exploits that are discussed here and the security issues can be scaled up to the entire infrastructure of a smart city. If it is not well protected from ill intended actions the danger and the fallouts of it could endanger the safety of the people who live in a city who aims to become smart and autonomous. It must be invested into protection from all points of a possible breach. From the application that the user uses to the cloud servers that collect and process all the data. Nothing can be 100% secure, but the efforts must be focused on everlasting maintenance and developing modern technologies that ensure that people data and lives are safe and cannot be used against their interest and safety. This can be done through use of hardware security like TPMs, ensuring that network infrastructure is modern and well secured and regular software updates that patch newly find exploits that are find through ethical hacking. But even that may not be enough in some cases, so it must be worked on technologies or at least procedures when zero-day attack occurs.

CONCLUSION

The concept of the smart city is a promising one and it could be the future of all cities in the world. For such evolution to become reality, security is key factor. It must not be taken lightly because people safety depends on it. Autonomous vehicles are a focus of such a city. There are never ending security vulnerabilities, but it must be invested into technologies that aims to protect the people and their data. Ethical hacking is important in the testing and providing data for prevention of zero days attacks. They can be most dangerous so campaigns that challenge systems can be very beneficial for data that can be used for patching. Future work's needs to be driven by techniques for Artificial Intelligence. It can make autonomous vehicles more reliable and the systems that makes them more secure. The data for training such algorithms can be collected through the campaigns for ethical hacking.

ACKNOWLEDGMENT

This research is realized and funded under the scientific research project 221ПР0002-09 "Design of a system for protection of remote connections based on artificial intelligence methods" by the contract with TU-Sofia Internal Competition-2022.

REFERENCES

1. V. Shetty, "A tale of smart cities", Commun. Int. **24**(8), p. 16, (1997).
2. M. Sharabov, G. Tsochev, "Use of artificial intelligence in industry 4.0", PECR **73**, pp. 17–29 (2020).
3. A. Sharifi, "A critical review of selected smart city assessment tools and indicator sets", Journal of Cleaner Production **233**, pp. 1269–1283 (2019).
4. J. Woetzel et al., "Smart cities: Digital solutions for a more livable future", Available on: https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/smart-cities-digital-solutions-for-a-more-livable-future (Link accessible as 25.08.2022).
5. P. Donti, J. Kolter, "Machine learning for sustainable energy systems", Annual Review of Environment and Resources **46**, pp. 719–747 (2021).
6. A. Gharaibeh et al., "Smart cities: a survey on data management, security, and enabling technologies", in IEEE Communications Surveys & Tutorials **19**(4), pp. 2456–2501 (2017).
7. The American Society of Mechanical Engineers, "Top 10 growing smart cities", Available on: https://www.asme.org/topics-resources/content/top-10-growing-smart-cities (Link accessible as 25.08.2022).
8. D. Slater, "Top 10 smart cities", Available on: https://mobile-magazine.com/top10/top-10-smart-cities-3 (Link accessible as 25.08.2022).
9. J3016_202104: *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*, Standards, SAE International, Available on: https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/.
10. https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/near-autonomous-passenger-car-market-1220.html.
11. T. Hunt, "Controlling vehicle features of Nissan LEAFs across the globe via vulnerable APIs", Available on: https://www.troyhunt.com/controlling-vehicle-features-of-nissan/.
12. C. Miller, C. Valasek, "Remote exploitation of an unaltered passenger vehicle", Available on: https://illmatics.com/Remote%20Car%20Hacking.pdf.
13. V. K. Kukkala, S. V. Thiruloga, S. Pasricha, "Roadmap for cybersecurity in autonomous vehicles" in IEEE Consumer Electronics Magazine **11**(6), pp. 13-23 (2022).

Transportation Detouring and Facility Location Optimization after the Flood in the Black Sea Region

Emre Demir[a)] and Beyza Bulut[b)]

Antalya Bilim University, Department of Civil Engineering, Antalya, Turkiye

[a)] Corresponding author: emre.demir@antalya.edu.tr
[b)] beyza.bulut@std.antalya.edu.tr

Abstract. This study contains the solutions for detouring after the flood in the Black Sea Region in Turkey back in the summer of 2021. Moreover, it proposes an emergency support facility location in the vicinity of the disaster area. However, the region's problem is lacking a detouring plan for transportation management in the case of road closures due to flood effects such as damaged bridges or landslides. Since the region is prone to heavy precipitations and the terrain is appropriate for possible floods and landslides, the region's transportation management during or after a disaster is vital. In this manner, Dynamic Programming (DP) is utilized for arranging the detours for the transportation road network in the area of disaster. Furthermore, Stochastic Based Optimization (SBO) techniques are powerful in solving network optimization problems. Hence, location analysis via Whale Optimization Algorithm (WOA) is conducted for siting an emergency support facility according to the spatial characteristics of the road network. Results indicate that although detouring lengthens the transportation paths between origins and destinations, disasters such as floods can obligate such interventions. Moreover, the deterioration of a network link plays a critical role because it changes the spatial topology. Therefore, a facility for emergency cases is located based on the current data in the region for quick intervention using an SBO technique of WOA.

INTRODUCTION

This research provides options for detours following the flood in Turkey's Black Sea Region in 2021. According to the records, some regions' precipitation per square meter was high. For example, the rainfall in the cities of Kastamonu, Sinop, and Bartin between 10-12 August 2021 was recorded as 2/3 of the total precipitation in a year [1, 2]. Furthermore, this paper suggests locating an emergency assistance facility near the catastrophe area. The region's difficulty, however, is a lack of a detouring plan for transportation management in the event of road closures owing to flood effects such as destroyed bridges or landslides. Because the region is prone to significant precipitation and the terrain lends itself to possible floods and landslides, transportation management during or after a disaster is critical.

Due to the geographical location of a country, it can be in a position to face natural disasters, but in recent years, floods have increased in Turkey, especially in Black Sea Region. Floods may cause loss of life and significant damage to infrastructure. In the summer of 2021, the flood influenced the western Black Sea due to excessive precipitation and weather warming. It caused significant damage to the roads and bridges with the loss of life and transportation problems due to floods and landslides. Apart from meteorological reasons, geomorphological-lithological conditions, soil moisture, and vegetation are also effective [3]. Although the precipitation in the region is not very heavy, it has been reported that the deterioration of the hydrological balance by human activities aggravated the results [1]. A couple of flood disasters happened in the past. For instance, in May 1998 and in June 1998, similar tragedies took effect. However, enough types of precautions against the flood effects were not considered.

In case of an emergency or a disaster, a region's transportation network may require a solution to address trip assignment concerns. Network flow problems, which have been utilized to classify the quantity of flows on transportation networks, occur at this point. Many methodologies have been investigated to the transportation problem since it requires a particular mathematical structure and solution procedures to clarify [4]. The process of the solution was close to the commonly used simplex approach [4–6] since the design of the transportation problem was initially described [7]. The problem has been and continues to be applied to a wide range of engineering optimization methods [6, 8]. For example, while one study indicated that the transportation problem

can answer a case of shipping routes and periods [9], another study indicated that the transportation problem may direct services on a business or residential network [10].

An expansive range of transportation problem assessments is carried out in order to identify the shortest path. In this respect, the shortest route or least cost path challenges in transportation-related difficulties are addressed by re-implementing mathematical techniques [4, 11]. For example, one common technique is to designate the least-cost path by claiming that all of a network's nodes are structured for the same purpose in the network [12, 13]. Additionally, the mathematical approaches used in those research were linear-integer.

Moreover, the other technique to be applied in this paper is WOA, which is inspired by the bubble-net behavior of humpback whales [14]. WOA's performance regarding transport facility location assessment is a priority since it provides enhanced tools for dealing with such circumstances. The studies, however, incorporated WOA application to seek solutions to real-life transportation facility site challenges, despite the fact that many used the WOA approach to address a considerable number of engineering challenges [15–20].

METHODOLOGY

Dynamic Programming Phase

Many criteria in transportation concerns, including the cost (i.e., time and distance) with an origin and a destination site, are subject to frequent adjustments. In such non-static instances, dynamic programming (DP), one of the most effective methods for determining the shortest paths on a transportation network, may be securely implemented [4]. DP aids in the resolution of these complicated network issues. As a result, DP is used to plan diversions for the transportation route network in the disaster region. The DP is an effective strategy to address relatively big-scale transportation issues because it is an approach to discovering an optimal value in large-scale computational problems by breaking the problem down into smaller components. A case study is presented next to show the DP's approach and capabilities, including its application procedures, to discover the ideal solution.

Whale Optimization Algorithm (WOA) Phase

Secondly, Stochastic Based Optimization (SBO) approaches effectively optimize the network. As a result, a location study using the Whale Optimization Algorithm (WOA) was carried out to locate an emergency assistance facility in the region based on the spatial features of the road network. Mirjalili and Lewis [14] proposed a singular objective algorithm (WOA), a stochastic population-based and nature-inspired approach. The program was driven by humpback whales' spiral bubble-net predation strategy for capturing prey. WOA is a solid and innovative meta-heuristic approach. Moreover, WOA has been shown to be useful in engineering challenges such as optimizing complicated frameworks. As a result, WOA's resilience has already been demonstrated in current research [21, 22], and the essential algorithm stages are below (Fig. 1).

```
Generate the whale population randomly Xi (i = 1, 2, ..., n)
Calculate the fitness of each whale(solution)
x*=the best solution
Do t =1 to maximum number of iterations
        Do i =1 to each search agent
        Update a, A, C, l, and p
                If (p<0.5)
                        If (|A| < 1)
                            Update the position of the current search agent by the encircling prey operator
                        else if (|A| >=1)
                            Select a random search agent (Xrand)
                            Update the position of the current search agent by the search prey operator
                        end if
                else if (p >= 0.5)
                        Update the position of the current search by the bubble-net attacking operator
                end if
        end do
        Check if any search agent goes beyond the search space and amend it
        Calculate the fitness of each search agent
        Update x* if there is a better solution
   End do
Return x*
```

FIGURE 1. The Pseudocode of WOA [14].

- Step-1: 'Setting the initial solutions'. The initial solutions in the WOA memory are generated [14].
- Step-2: 'Solutions update'. WOA determines the kind of operator for the application [14].
- Step-3: 'The memory refresh'. The comparison of the new solutions and their fitness values between the prior solutions takes place. Next, new versions are replaced rather than using the old ones only if the new solutions' fitness values are better. Then, WOA goes back to Step-2, and all operations between Step-2 and Step-3 goes on until the arrival of the maximum number of iterations [14].

APPLICATION

After the flood, the investigators reported 11 damaged roads or bridges in the region (Fig. 2). The data in this study consist of 41 nodes with 44 arcs linking specific origin and destination network nodes (Fig. 3, Table 1). The connections or links between roads and bridges, including those damaged 11 locations, are depicted in Fig. 3. Looking at Fig. 3, it has been determined that many of the points are interconnected. In this case, it has been concluded that there may be alternative roads when the roads are closed during maintenance or floods. Although DP computations might take a lengthy time, computer tools or software available on the market can provide rapid solutions. Because the LINGO software can solve the DP to disclose the shortest path, it is employed in this work as a tool for studying the shortest distance and thereby optimizing [23]. The reported script in the software explaining the DP is used to discover the shortest transit pathways in the example network.

FIGURE 2. The pseudocode of WOA [24].

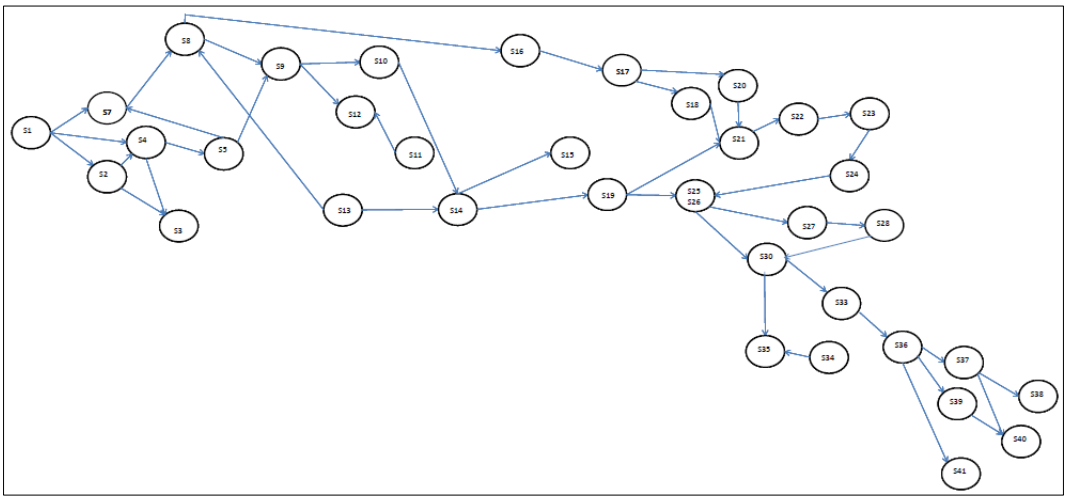


FIGURE 3. The connections of the state roads.

TABLE 1. Roads, bridges and corresponding stations.

Road or Bridge Name	From Station-A	To Station-B	Distance (km)
Road (Bartin-Arit)	S1	S2	28
Bridge (Kumluca1)	S2	S3	0.033
Road (Derbent-Kavlakdibi Br)	S2	S4	18
Bridge (Bartin-Kumluca1)	S1	S3	40
Road (Bartin-Pinarbasi)	S1	S7	94
Road (Bartin-Kavlakdibi Br)	S1	S4	32
Road (Kumluca1-Kavlakdibi Br)	S3	S4	19.1
Bridge (Kavlakdibi)	S4	S5	0.11
Road (Kavlakdibi-Pinarbasi)	S5	S7	61.3
Road (Kavlakdibi-Asiklar)	S5	S9	37
Road (Azdavay-Pinarbasi)	S7	S8	22.6
Road (Kastamonu-Cide)	S8	S16	145
Bridge (Asiklar)	S9	S10	0.046
Road (Asiklar-Cide)	S10	S14	115
Road (Daday-Azdavay)	S11	S12	40.3
Road (Senpazar-Azdavay)	S13	S8	52.2
Road (Cide-Inebolu)	S14	S19	136
Bridge (Irmak)	S15	S16	0.10
Road (Irmak Br-Irmakkoy)	S16	S17	76
Bridge (Zarbana)	S17	S18	0.10
Road (Zarbana Br-Bozkurt)	S18	S21	57.3
Road (Inebolu-Kure)	S19	S21	20
Road (Inebolu-Kure link)	S19	S22	27
Road (Inebolu-Devrekani)	S19	S25	71.4
Bridge (Kure2)	S20	S21	0.050
Road (Kure2 Br-Kure)	S21	S23	4.5
Road (Kure Connection)	S22	S23	4
Road (Kure R-Kure)	S23	S24	6
Road (Kure-Devrekani)	S24	S25	55
Road (Abana-Devrekani)	S25	S27	61.1
Road (Gemiciler-Catalzeytin)	S26	S30	47.3
Bridge (Harmason)	S27	S28	0.15
Road (Harmason-Catalzeytin)	S28	S30	23
Road (Abana-Catalzeytin)	S29	S30	32.4
Bridge (Catalzeytin)	S30	S31	0.07
Road (Catalzeytin-Akcakese)	S30	S33	39
Road (Catalzeytin-Yali Br)	S30	S35	44.2
Bridge (İkizi)	S32	S33	0.10
Road (İkizi Br-Ayancik)	S33	S36	20.6
Bridge (Yali)	S34	S35	0.10
Road (Ayancik-Erfelek)	S36	S39	34
Bridge (Sevki Senturk)	S37	S38	0.15
Road (Sevki Senturk Br-Erfelek)	S37	S40	42.2
Road (Yenikonak-Erfelek)	S39	S40	31.9
Road (Turkeli-Ayancik)	S36	S41	50.1

RESULTS AND DISCUSSION

Although detouring lengthens transportation routes between sources and destinations, events such as floods sometimes need such interventions. The degradation of a network connection is critical. As a result, a center for emergencies is established in the region for speedy intervention employing a WOA, an SBO approach.

Dynamic Programming Phase

The data in the case were handled in LINGO 17.0 x64 to accomplish the DP results. The script and the data were moved into the software [23]. Accordingly, a processor with Intel® Core™ i7-2640M CPU @ 2.80GHz was utilized to run the solver program. Since there are 41 points in total in the program, the sample network, including the farthest points (station-1 and station-41) was used as input. Thus, the shortest path in the largest possible network provided by the data is found as follows. The least cost path was discovered by running the program by assessing the inputs, as shown in Table 2. The route begins at station-1 as the starting node and ends

at station-41 as the destination node. In other words, in order to approach station-15 from station-1 with the lowest cost path, one should visit nodes 1, 4, 5, 9, 10, 14, 19, 25, 27, 28, 30, 33, 36, and 41. The solver also reports a total of 0.000 infeasibilities. Likewise, alternative pathways offered and their distances are computed using the software. Thus, the percentage changes in the distance were reported in Table 3. Although most of the alternative roads between the stations can be determined, the damaged roads and bridges (a total of 11 locations) were considered in the first instance. Therefore, the alternative paths and the distance changes in percent are suggested in this study.

TABLE 2. The least cost path between S1 and S41.

Road or Bridge Name	From	To	Distance (km)
Road (Bartin-Kavlakdibi Br)	S1	S4	32
Bridge (Kavlakdibi)	S4	S5	0.11
Road (Kavlakdibi-Asiklar)	S5	S9	37
Bridge (Asiklar)	S9	S10	0.046
Road (Asiklar-Cide)	S10	S14	115
Road (Cide-Inebolu)	S14	S19	136
Road (Inebolu-Devrekani)	S19	S25	71.4
Road (Abana-Devrekani)	S25	S27	61.1
Bridge (Harmason)	S27	S28	0.15
Road (Harmason-Catalzeytin)	S28	S30	23
Road (Catalzeytin-Akcakese)	S30	S33	39
Road (İkizi Br-Ayancik)	S33	S36	20.6
Road (Turkeli-Ayancik)	S36	S41	50.1

TABLE 3. Alternative roads.

Road or Bridge Name	From Station-A	To Station-C	Distance (km)	Distance Change
Road (Bartin-Pinarbasi)	S1	S7	126	+34.04%
Road (Derbent-Kavlakdibi Br)	S2	S4	19	+5.55%
Road (Kavlakdibi-Pinarbasi)	S5	S7	75.7	+23.49%
Road (Daday-Azdavay)	S11	S12	58.9	+46.15%
Road (Zarbana Br-Bozkurt)	S18	S21	59.4	+3.66%
Road (Abana-Devrekani)	S25	S27	87.7	+43.56%
Road (Abana-Catalzeytin)	S29	S30	49.8	+53.70%
Road (Catalzeytin-Akcakese)	S30	S33	48	+23.08%
Road (İkizi Br-Ayancik)	S33	S36	38.7	+87.86%
Road (Ayancik-Erfelek)	S36	S39	70.8	+108.24%
Road (Turkeli-Ayancik)	S36	S41	68.1	+35.93%

Transportation Optimization Phase

The primary goal of this operation research challenge is site optimization. The weighted Euclidean distances were minimized in order to discover an ideal site supplying the demand locations. The weights represented the traffic flows. When the WOA was used in conjunction with the inputs, the optimal solution coordinate (X_f: the final location related to the X axis; Y_f: the final location related to the Y axis) was obtained as (0.729570, 0.625664). The geographic findings of 0.729570 and 0.625664 for the Mercator projection correspond to 41°48'04.6"N and 33°42'53.3"E, respectively (Table 4). Furthermore, despite being the local optimal solution with no infeasibilities indicated by the solver, the above local minimum is really the global minimum. The reason for this is that the problem is convex. As a consequence, the results are confirmed.

TABLE 4. The results of WOA process.

	Optimum Location
Latitude	41°48'04.6"N
Longitude	33°42'53.3"E
Place	Town of Kure, Kastamonu

CONCLUSION

State roads in the Black Sea Region are one of the critical infrastructures of Turkey for road transport. The fact that the region is mountainous and rugged and has many creek beds makes transportation difficult, but state roads and bridges were built to overcome this difficulty. Considering these conditions, flood damage causes severe deterioration to multiple state roads and bridges and significantly changes the traffic flow. In the summer of 2021, a large flood struck the region. However, the region lacks a detouring strategy for transportation management in the case of road closures due to flood outcomes such as damaged bridges. Since the region is prone to heavy precipitations and the terrain is suitable for potential floods and landslides, the region's transportation management during or after a disaster is vital. Furthermore, the region also lacks an emergency support facility location in the vicinity of the disaster zone. In this manner, DP is utilized to position the detours for the transportation highway network in the disaster neighborhood. Secondly, a facility for emergency cases is located according to the current data in the province for rapid intervention using WOA, an effective method of SBO.

Several transportation engineering issues are solved using mathematical approaches and models, including allocating the shortest pathways based on network topology structure. The shortest transportation routes were identified using a powerful tool of the DP approach that took into account the network factors in the current scenario. Obviously, the primary origin may generate travels to a final destination, and the other nodes in the network can also generate journeys to the same destination. Because DP can handle such enormous problems, this article shows how it may be used to tackle transportation problems. This article's contribution can be in making beneficial judgments on transportation alternatives for non-static phases of regional traffic and in boosting the comfort of many travelers by providing the most convenient routes. Thus, time loss, especially in emergencies, can be avoided.

Additionally, it is critical to intervene quickly in an emergency to reduce the loss of lives and money. The town of Kure was recommended for the placement of the personnel and equipment required for emergency response in this research as a result of the analysis done using traffic flow and location data. As a consequence of the WOA optimization strategy and under the study suggestions, it is envisaged that progress will be made in limiting the loss of life and lowering time and money loss. As a result, a significant contribution is projected to result in regional growth.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank the Turkish General Directorate of Highways, for which traffic research data used for academic analysis were obtained over the internet.

REFERENCES

1. G. Bilgen, E. Balci, M. Y. Kalça, "Kastamonu Bozkurt İlçesinde 11.08. 2021 Tarihinde Meydana Gelen Sel Felaketinin Yerinde İncelenmesi", Tasarım Mimar. ve Mühendislik Derg. **2**, pp. 20–35 (2022), (in Turkish).
2. General Directorate of Meteorology: No Title, https://mgm.gov.tr/
3. G. Gürgen, "Doğu Karadeniz Bölümünde Maksimum Yağışlar ve Taşkınlar Açısından Önemi", Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Derg. **24**, (2004), (in Turkish).
4. D. R. Anderson, D. J. Sweeney, T.A. Williams, J.D. Camm, J. J. Cochran, *An Introduction to Management Science: Quantitative Approach* (Cengage Learning, 2018), p. 912.
5. R. K. Ahuja, T. L. Magnanti, J. B. Orlin, *Network Flows*, (1988).
6. T. Tokuyama, J. Nakano, "Efficient algorithms for the Hitchcock transportation problem", SIAM J. Comput. **24**, pp. 563–578 (1995).
7. D. R. Fulkerson, *Hitchcock Transportation Problem*, Rand. Corp., Santa Monica CA, (1956).
8. U. Brenner, "A faster polynomial algorithm for the unbalanced Hitchcock transportation problem", Oper. Res. Lett. **36**, pp. 408–413 (2008).
9. A. Sharma, V. Verma, P. Kaur, K. Dahiya, "An iterative algorithm for two level hierarchical time minimization transportation problem", Eur. J. Oper. Res. **246**, pp. 700–707 (2015).
10. M. Jia, W. Liang, Z. Xu, M. Huang, "Cloudlet load balancing in wireless metropolitan area networks", in *IEEE INFOCOM 2016-The 35th Annual IEEE International Conference on Computer Communications, (San Francisco, CA, USA, 2016)*, IEEE, pp. 1–9.
11. E. W. Dijkstra, "A note on two problems in connexion with graphs", Numer. Math. **1**, pp. 269–271 (1959).
12. J. Current, C. Re Velle, J. Cohon, "Symposium on location problems: In memory of Leon Cooper: The shortest covering path problem: An application of locational constraints to network design", J. Reg. Sci. **24**, pp. 161–183 (1984).

13. T. C. Matisziw, E. Demir, "Inferring network paths from point observations", Int. J. Geogr. Inf. Sci. **26**, pp. 1979–1996 (2012).
14. S. Mirjalili, A. Lewis, "The whale optimization algorithm", Adv. Eng. Softw. **95**, pp. 51–67 (2016).
15. J. Ghahremani-Nahr, R. Kian, E.Sabet, "A robust fuzzy mathematical programming model for the closed-loop supply chain network design and a whale optimization solution algorithm", Expert Syst. Appl. **116**, pp. 454–471 (2019).
16. U. Nawaz, T. N. Malik, M. M. Ashraf, "Least-cost generation expansion planning using whale optimization algorithm incorporating emission reduction and renewable energy sources", Int. Trans. Electr. Energy Syst. **30**, e12238 (2020).
17. M. H. Abidi, U. Umer, M. K. Mohammed, M. K. Aboudaif, H. Alkhalefah, "Automated Maintenance Data Classification Using Recurrent Neural Network: Enhancement by Spotted Hyena-Based Whale Optimization", Mathematics. **8**, 2008 (2020).
18. F. Wang, Z. Pei, L. Dong, J. Ma, "Emergency resource allocation for multi-period post-disaster using multi-objective cellular genetic algorithm", IEEE Access. **8**, pp. 82255–82265 (2020).
19. A. Arasteh, P. Alemi, M. Beiraghi, "Optimal allocation of photovoltaic/wind energy system in distribution network using meta-heuristic algorithm", Appl. Soft Comput. **109**, 107594 (2021).
20. P. Zhang, X. Ma, K. She, "A novel power-driven fractional accumulated grey model and its application in forecasting wind energy consumption of China", PLoS One. **14**, e0225362 (2019).
21. B. N. Kale, İ. Aydoğdu, E. Demir, "Performance of the Whale Optimization Algorithm in Space Steel Frame Optimization Problems", in International Conference on Harmony Search Algorithm, pp. 139–154, Springer (2020).
22. E. Demir, "Weiszfeld, tree-seed, and whale optimization algorithms comparison via locating transportation facilities with weightings considering the vulnerability and uncertainty", PLoS One. **17**, e0269808 (2022).
23. LINDO Systems Inc.: No Title, https://www.lindo.com/index.php/ls-downloads/try-lingo
24. Ministry of Transportation and Infrastructure: No Title, https://twitter.com/UABakanligi?ref_src=twsrc%5Egoogle%7Ctwcamp%5Eserp%7Ctwgr%5Eauthor

Проучване на съществуващите технологии за вертикално манипулиране на интермодални транспортни единици в интермодални терминали в Европа

Светослав Мартинов

Катедра „Железопътна техника“, Факултет по транспорта, Технически университет – София, бул. „Кл. Охридски“ №8, 1000 София, България

s.martinov@tu-sofia.bg

Резюме. В интермодалните терминали се прилагат различни технологии за манипулиране на интермодалните транспортни единици. Върху избора на технология влияние оказват множество фактори – технологични, технически, икономически и др. В настоящият доклад е извършено проучване на съществуващите технологии за вертикално манипулиране на интермодални транспортни единици в интермодални терминали, разположени на територията на Европа. Изследвани са 415 интермодални терминала, разположени в 24 държави. Разгледани са железопътно-автомобилни и пристанищни интермодални терминали в Европа, обслужващи вътрешноводни пътища и/или фидерни контейнерни линии. Проучени са основните видове машини, използвани за вертикално манипулиране на интермодални транспортни единици в изследваните интермодални терминали – мобилни стрелови товарачи, релсови контейнерни кранове, кранове с гумени ходови колела и кранове за товарене и разтоварване на баржи и/или фидерни кораби. Извършено е класифициране на технологиите за манипулиране на товарите според вида на използваните товарно-разтоварни машини. В резултат на проучването и извършената класификация е установено разпределението на технологиите за вертикално манипулиране. Най-често прилагани, за манипулиране на товарите в изследваните интермодални терминали, са технологии с мобилни стрелови товарачи (41,9 %), комбинация между релсови козлови кранове и мобилни стрелови товарачи (18,8 %), релсови козлови кранове (15,4 %) и пристанищни кранове в комбинация с мобилни стрелови товарачи (15,4 %).

ВЪВЕДЕНИЕ

Интермодалната транспортна система е система за превоз на товари с два или повече вида транспорт. Товарите са разположени в транспортна единица, наречена „интермодална транспортна единица“ [1], която се манипулира при смяна на вида на транспортното средство без да се извършва претоварване на товара, разположен в нея. Натоварването на товара в интермодалната транспортна единица се извършва в началото на превоза – при товародателя, а разтоварването му в края на превоза – при товарополучателя. Процесът на транспортиране на интермодалната транспортна единица от товародателя до товарополучателя се извършва в една непрекъсната транспортна верига, наречена „интермодална транспортна верига“ [2].

Основните принципи на интермодалните превози са: основната част от транспортирането на товара на голямо разстояние се осъществява с железопътен и/или воден транспорт; използват се интермодални транспортни единици, които се претоварват при смяна на вида на превозното средство в интермодални терминали; началния и/или крайния етап от транспортирането се осигурява с превоз по шосе, като тези етапи са възможно на най-късо разстояние. Транспорт, който отговаря на тези принципи се нарича интермодален транспорт. Разновидност на интермодалния транспорт е т. нар. „комбиниран транспорт“ [1], като при него основната част от Европейския маршрут се осъществява с железопътен и/или воден транспорт – вътрешноводен и/или по море.

При интермодалните превози са обособени няколко основни вида интермодални транспортни единици: голямотонажни контейнери, сменяеми надстройки, полуремаркета, подходящи за превоз с интермодален транспорт и съчленени превозни средства (влекач и полуремарке).

Понятието „голямотонажен контейнер“ е обобщаващ термин за стандартизирано товарно пространство, позволяващо многократна употреба, подходящо за транспортиране с различни видове транспорт – шосеен, железопътен и, в някои случаи, воден и снабдено с ъглови устройства за захващане и манипулиране (фитинги) при смяна на вида на превозното средство. Позволяват подреждане на редове един върху друг. Голямотонажните контейнери (или само контейнери), според дължината им, са четири вида – 20, 30, 40 или 45 футови. Според предназначението си, контейнерите се класифицират най-общо като контейнери: с общо предназначение; със специално предназначение (платформени, открити и др.); за специфични товари (изолирани, с топлинен режим, цистерни, насипни товари, живи животни, опасни товари и т.н.) и др. Според вида на транспорта с който могат да бъдат транспортирани, контейнерите са два вида: контейнери за превоз с наземен транспорт (железопътен и шосеен), които са със спецификации, отговарящи на изискванията на Международния железопътен съюз за превоз по железница (на англ. „Inand containers“) и морски контейнери (на англ. „Sea containers“), позволяващи да се превозват по вода с контейнерни кораби [3].

Сменяемите интермодални надстройки (на англ. „Swap body“) са стандартизирани товарни пространства за многократна употреба с подходящи спецификации за транспортиране, основно с железопътен и шосеен транспорт. Съоръжени са с устройства, позволяващи да се манипулират със специални хватове с рамена при смяна на вида на транспортното средство. Не позволяват подреждане по височина, едно върху друго. Често използвани в железопътно-автомобилните комбинирани превози са сменяеми надстройки от клас „A“ (дължина 13,6 m) и клас „C“ (с дължини 7,15 m, 7,45 m или 7,82 m).

Интермодалните полуремаркета (на англ. „Craneable semi-trailers“) са шосейни превозни средства за превоз на товари, които се съчленяват и задвижват от влекач. Те са подходящи за интермодален превоз с железопътен транспорт, като се разполагат в специални интермодални вагони. Оборудвани са със странични приспособления, позволяващи вертикално манипулиране от кранове, съоръжени с товарохватни приспособления със специални рамена.

При интермодалните превози са познати два основни метода за претоварване на интермодалните транспортни единици при смяна на вида на транспорта – хоризонтален (т. нар. „Roll-on – Roll-off“ метод или „Ro-Ro“) и вертикален (т. нар. „Lift-on – Lift-off“ метод или „Lo-Lo“) [1, 4]. При хоризонталните методи, натоварването/разтоварването на товара върху/от влака или кораба обикновено се извършва чрез използване на ходовите колела на товарния автомобил или вагона (при фериботни превози на железопътни вагони) без използване на товарно-разтоварни машини с които да се повдигне товара. При вертикалните методи се използват товарно-разтоварни машини, които повдигат интермодалните транспортни единици (контейнери, сменяеми надстройки или интермодални полуремаркета) при смяна на вида на транспорта.

Съществуват две основни направления интермодални превози – придружени и непридружени [1]. Придружените интермодални превози се отнасят за превоз на съчленено шосейно превозно средство – влекач и полуремарке, транспортирано с железопътен или воден (фериботен) транспорт. По време на превоза, водачът на товарния автомобил го придружава в специален пътнически вагон от състава на интермодалния влак или каюта в кораба. Придружените интермодални превози на съчленено превозно средство с железопътен транспорт са познати като „Ro-La“ превоз или т. нар. „подвижно шосе“. При тези превози, натоварването и разтоварването на товарните автомобили върху/от специализираните железопътни вагони с нисък под се извършва чрез хоризонтален метод. Непридружените интермодални превози се отнасят за транспортиране на интермодални транспортни единици - контейнери, сменяеми надстройки и/или интермодални полуремаркета, които не се придружават от водача/водачите на товарните автомобили по време на превоза с влак и/или кораб (най-често при комбинираните превози).

Интермодалните терминали са основни елементи на интермодалната транспортна система. Основно тяхно предназначение е да осигуряват възможност за претоварване на интермодалните транспортни единици при смяна на вида транспорт (шосеен, железопътен, вътрешноводен и/или морски, включително и фериботен) и условия за временното им (краткосрочно) складиране при необходимост [5]. Според вида на интермодалните транспортни единици, които се манипулират в интермодалните терминали се използват различни технологии за манипулирането им – хоризонтални или вертикални. В зависимост от предназначението и разположението им, интермодалните терминали могат, най-общо, да се класифицират като:

- контейнерни пристанищни терминали – обикновено са част от пристанище и осигуряват условия за вертикално товарене и разтоварване на кораби, транспортиращи контейнери. Терминалът е свързан с шосейната и, в повечето случаи, с железопътната инфраструктура;

- наземни интермодални терминали, наричани още железопътно-автомобилни интермодални терминали – обслужват се от железопътен и шосеен транспорт и, в зависимост от специализацията си, в тях могат да се манипулират контейнери, сменяеми надстройки и/или полуремаркета чрез вертикални методи на претоварване;
- сухи пристанища (т. нар. „Dry ports“) - железопътно-автомобилни интермодални терминали, специализирани за обслужване на едно или повече контейнерни пристанища;
- Ro-La терминали – интермодален терминал, организиран и оборудван за хоризонтално претоварване на съчленени превозни средства върху/от железопътни вагони за превозването им по системата „подвижно шосе“;
- фериботно пристанище – специализирано пристанище за хоризонтално натоварване/разтоварване на товарни автомобили и/или железопътни товарни вагони върху/от фериботни кораби.
- вътрешноводно интермодално пристанище – свързано с железопътната и/или шосейна инфраструктура и осигуряващо условия за вертикално натоварване и разтоварване на интермодални транспортни единици (най-често контейнери и сменяеми надстройки) за превоз с баржи и/или фидерни кораби.

МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕ

В доклада е извършено проучване на основните видове товарно-разтоварни технологии [6, 7], използвани за вертикално манипулиране на интермодални транспортни единици в интермодални терминали на Европа. Чрез сравнителен анализ са класифицирани и групирани проучените интермодални терминали според използваните технологии за вертикално манипулиране на товарите. Изследването е проведено в три основни етапа:

Етап 1. Проучване на съществуващи интермодални терминали в Европа. В този етап, на базата на достъпни литературни източници, е извършено проучване на съществуващи интермодални терминали в Европа [8, 9, 10], в които се извършва манипулиране на интермодални транспортни единици. Разгледани са наземни железопътно-автомобилни, вътрешноводни и пристанищни интермодални терминали, в които се извършва вертикално манипулиране на съответни интермодални транспортни единици, според специализацията на терминала – контейнери, сменяеми надстройки и/или полуремаркета.

Етап 2. Класифициране на терминалите. В този етап се дефинират критериите за класификация на терминалите и се извършва класифициране на терминалите според избраните критерии.

Етап 3. Определяне на критериите за класификация на технологиите за манипулиране. Целта на етапа е да се формулират критерии по които да се класифицират технологиите за вертикално манипулиране на интермодалните транспортни единици според извършеното проучване за интермодалните терминали.

Проучване на съществуващи интермодални терминали в Европа

За провеждане на изследването е извършено проучване на съществуващите интермодални терминали в които се извършва вертикално манипулиране на интермодални транспортни единици. На база на достъпни литературни източници е изготвен списък на интермодални терминали на територията на Европа в които се извършва манипулиране на интермодални транспортни единици. Проучени са 415 интермодални терминала на територията на Европа, разположени в 24 държави – Белгия, България, Чехия, Дания, Германия, Гърция, Испания, Франция, Хърватия, Италия, Латвия, Литва, Люксембург, Унгария, Холандия, Австрия, Полша, Румъния, Словения, Словакия, Швеция, Швейцария, Северна Македония и Сърбия [10].

Класификация на терминалите

В проучването, интермодалните терминали са класифицирани според обслужваните в терминала видове транспорт. Според броя на обслужваните видове транспорт, интермодалните терминали се класифицират като двумодални или тримодални. Двумодалните терминали се обслужват от два вида транспорт – железопътен и автомобилен или автомобилен и воден. Тримодалните терминали се обслужват от трите вида транспорт – автомобилен, железопътен и воден. Броят на проучените интермодални терминали по държави е посочен в Таблица 1.

ТАБЛИЦА 1.

Държава	Брой проучени интермодални терминали	Държава	Брой проучени интермодални терминали
Белгия	26	Люксембург	1
България	6	Унгария	6
Чехия	15	Холандия	24
Дания	4	Австрия	16
Германия	140	Полша	34
Гърция	1	Румъния	20
Испания	19	Словения	5
Франция	23	Словакия	10
Хърватия	6	Швеция	15
Италия	19	Швейцария	16
Латвия	1	Северна Македония	1
Литва	5	Сърбия	2

Според вида на транспорта, интермодалните терминали се класифицират като:

- железопътно-автомобилни, наричани още наземни терминали - двумодални терминали, които се обслужват от железопътен и автомобилен транспорт. Разновидност на наземните терминали са и т. нар. „сухи пристанища“ и

- пристанищни терминали – терминали, които се обслужват от воден транспорт, като в зависимост от броя на обслужващите видове транспорт могат да са двумодални – обслужвани от воден и автомобилен транспорт или тримодални – обслужвани от воден, железопътен и автомобилен транспорт.

В пристанищните терминали, обхванати в изследването, се извършва вертикално манипулиране на интермодални транспортни единици - контейнери и/или сменяеми надстройки. Данни за броя и дела на терминалите с осигурен достъп до съответен вид транспорт – шосеен, воден или железопътен са посочени в Таблица 2.

ТАБЛИЦА 2.

Достъп до	Брой на терминалите	Дял, %
Шосеен транспорт	415	100,0
Железопътен транспорт	391	94,2
Воден	113	27,2

Разпределението на броя на изследваните терминали според вида на терминала – железопътно-автомобилен или пристанищен и според броя на обслужваните видове транспорт е посочено в Таблица 3.

ТАБЛИЦА 3.

Вид на терминала	Обслужван вид транспорт	Брой на терминалите	Дял, %
Железопътно – автомобилен, двумодален	Железопътен и автомобилен	302	72,8
Пристанищен, двумодален	Воден и автомобилен	24	5,8
Пристанищен, тримодален	Железопътен, воден и автомобилен	89	21,4

Двумодалните терминали са 326 броя с дял 78,6 % от общия брой проучени терминали. От двумодалните терминали, железопътно-автомобилни са 302 терминала или 92,6 %, а 24 терминала или 7,4 % са обслужвани от воден и автомобилен транспорт. Графично, делът на интермодалните терминали според броя на обслужваните в тях видове транспорт (дву- или тримодални терминали) и вида на транспортните средства, обслужвани в двумодалните терминали са посочени на Фиг. 1 и 2.

ФИГУРА 1.

ФИГУРА 2.

Класификация на технологиите за манипулиране на интермодални транспортни единици

Основните технологии, които се използват за вертикално манипулиране на интермодалните транспортни единици в проучените интермодални терминали са с използване на мобилни стрелови товарачи (на англ. Reach Stackers), релсови козлови кранове (на англ. Rail Mounted Gantry cranes), козлови кранове с гумени ходови колела (на англ. Rubber Tyred Gantry cranes), пристанищни кранове за товарене на баржи и/или фидерни кораби – мобилни или релсови (на англ. Barge cranes).

Данни за технологиите за манипулиране, които се използват самостоятелно или в комбинация в проучените терминали, са посочени в Таблица 4.

ТАБЛИЦА 4.

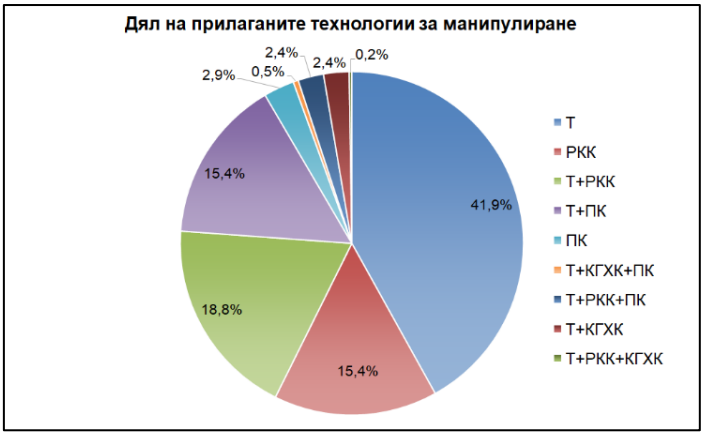
Технология за вертикално манипулиране	Брой на терминалите в които се прилага технологията
Мобилен стрелов товарач (Т)	339
Релсов козлов кран (РКК)	153
Козлов кран с гумени ходови колела (КГХК)	13
Пристанищен кран (ПК)	88

РЕЗУЛТАТИ

Обобщени данни за разпределението на технологиите за вертикално манипулиране на интермодалните транспортни единици, според броя на терминалите в които се прилагат, са посочени в Таблица 5 и графично на Фиг. 3.

ТАБЛИЦА 5.

Технология за вертикално манипулиране	Брой терминали в които се прилага	Дял, %
Мобилен стрелов товарач (Т)	174	41,9
Релсов козлов кран (РКК)	64	15,4
Мобилен стрелов товарач и релсов козлов кран (Т+РКК)	78	18,8
Мобилен стрелов товарач и пристанищен кран (Т+ПК)	64	15,4
Пристанищен кран (ПК)	12	2,9
Мобилен стрелов товарач, козлов кран с гумени ходови колела и пристанищен кран (Т+КГХК+ПК)	2	0,5
Мобилен стрелов товарач, релсов козлов кран и пристанищен кран (Т+РКК+ПК)	10	2,4
Мобилен стрелов товарач и козлов кран с гумени ходови колела (Т+КГХК)	10	2,4
Мобилен стрелов товарач, релсов козлов кран и козлов кран с гумени ходови колела (Т+РКК+КГХК)	1	0,2



ФИГУРА 3.

Според дефинираните критерии за вида на интермодалните терминали и технологиите, прилагани за манипулиране на интермодални транспортни единици в проучените терминали, е класифициран броя на терминалите в които се прилага съответна технология или комбинация от технологии за манипулиране.

В Таблица 6 е посочена обобщена информация за технологиите за вертикално манипулиране на интермодални транспортни единици, използвани в двумодалните железопътно-автомобилни терминали и броя на терминалите в които се прилага съответна технология или комбинация от технологии.

ТАБЛИЦА 6.

Технология за вертикално манипулиране в железопътно-автомобилни терминали	**Брой терминали в които се прилага**	**Дял, %**
Мобилен стрелов товарач (Т)	154	51,0
Релсов козлов кран (РКК)	64	21,2
Мобилен стрелов товарач и релсов козлов кран (Т+РКК)	74	24,5
Мобилен стрелов товарач и козлов кран с гумени ходови колела (Т+КГХК)	10	3,3

В Таблица 7 е посочена обобщена информация за технологиите за вертикално манипулиране на интермодални транспортни единици, използвани в проучените пристанищни интермодални терминали, обслужвани от воден и автомобилен транспорт и броя и дела на терминалите в които се прилага съответна технология или комбинация от технологии.

ТАБЛИЦА 7.

Технология за вертикално манипулиране в пристанищни интермодални терминали, обслужвани от воден и автомобилен транспорт	**Брой терминали в които се прилага**	**Дял, %**
Мобилен стрелов товарач (Т)	8	33,3
Мобилен стрелов товарач и пристанищен кран (Т+ПК)	12	50,0
Пристанищен кран (ПК)	4	16,7

В Таблица 8 е посочена обобщена информация за технологиите за вертикално манипулиране на интермодални транспортни единици в проучените тримодални интермодални терминали и броя и дела на терминалите в които се прилага съответна технология или комбинация от технологии.

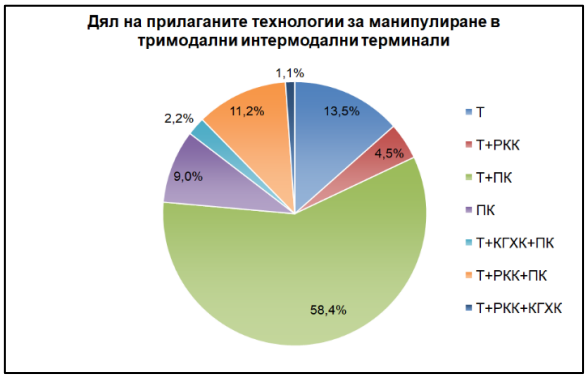
Графично, делът на съответните технологии за манипулиране в изследваните двумодални – железопътно-автомобилни и пристанищни и тримодални интермодални терминали е изобразен съответно на Фиг. 4, 5 и 6.

ТАБЛИЦА 8.

Технология за вертикално манипулиране в тримодални терминали	**Брой терминали в които се прилага**	**Дял, %**
Мобилен стрелов товарач (Т)	12	13,5
Мобилен стрелов товарач и релсов козлов кран (Т+РКК)	4	4,5
Мобилен стрелов товарач и пристанищен кран (Т+ПК)	52	58,4
Пристанищен кран (ПК)	8	9,0
Мобилен стрелов товарач, козлов кран с гумени ходови колела и пристанищен кран (Т+КГХК+ПК)	2	2,2
Мобилен стрелов товарач, релсов козлов кран и пристанищен кран (Т+РКК+ПК)	10	11,2
Мобилен стрелов товарач, релсов козлов кран и козлов кран с гумени ходови колела (Т+РКК+КГХК)	1	1,1

ФИГУРА 4.

ФИГУРА 5.



ФИГУРА 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проучени са 415 интермодални терминала на територията на Европа в които се извършва вертикално манипулиране на обработваните интермодални транспортни единици – контейнери, интермодални полуремаркета и/или сменяеми надстройки. От проучените терминали, двумодалните терминали са 326 броя (78,6 %), като 302 (92,6 %) от тях са наземни, обслужвани от железопътен и автомобилен транспорт, а 24 терминала (7,4 %) са пристанищни – обслужвани от воден и автомобилен транспорт. Тримодалните терминали, обслужвани от железопътен, автомобилен и воден транспорт са 89 броя или 21,4 % от всички проучени в изследването терминали.

От данните, описани по-горе в доклада, е видно разнообразието в прилаганите технологии за вертикално манипулиране на интермодалните транспортни единици в различните изследвани терминали. В двумодалните железопътно-автомобилни интермодални терминали предпочитани са самостоятелните технологии с мобилни стрелови товарачи (дял 51 %) или релсови козлови кранове (дял 21,2 %), като общия дял на терминалите в които не се прилага комбиниране на технологии е над 72 %. В останалите терминали най-често се прилага комбинация между релсови козлови кранове и мобилни товарачи (в 24,5 % от изследваните терминали от този вид).

В пристанищните двумодални терминали, обслужвани от воден и автомобилен транспорт, предпочитана технология е комбинирането на пристанищен кран с мобилни стрелови товарачи, като тази технология се прилага в 50 % от изследваните терминали. В останалите терминали се използват самостоятелни технологии с мобилни товарачи (33,3 %) или с пристанищни кранове – релсови или мобилни (при 16,7 % от терминалите от тази група).

По-голямо разнообразие от прилагани технологии се наблюдава при изследваните тримодални интермодални терминали. Предпочитана технология при терминалите от този вид е комбинацията между пристанищен кран и мобилен стрелов товарач (при 58,4 % от терминалите в тази група). Следващата предпочитана технология с 13,5 % е манипулиране на товарите с мобилни стрелови товарачи. На трето място по използване е комбиниране на пристанищен кран, релсов козлов кран и мобилен стрелов товарач (11,2 % от изследваните терминали в тази група). На следващо място с 9 % се подрежда самостоятелно използване на пристанищни кранове.

ЛИТЕРАТУРА

1. Terminology on combined transport. UN/ECE, ECMT and EC, (2001).
2. С. Ананиев и С. Мартинов, "Възможности на железопътната инфраструктура в трансграничния регион България - Румъния за обособяване на товарни интермодални центрове", Годишник на Висше транспортно училище „Тодор Каблешков" **9**, ISSN 1314-362X, (2018).
3. *Comparative Evaluation of Transhipment Technologies for Intermodal Transport and Their Cost* (EC, PricewaterhouseCoopers and KombiConsult, Brussels, 2022).
4. B. Wiegmans, B. Behdani, "A review and analysis of the investment in, and cost structure of, intermodal rail terminals", Transport Reviews **38**(1), pp. 33–51 (2018).
5. I. F. A. Vis, R. de Koster, "Transshipment of containers at a container terminal: An overview", European Journal of Operational Research **147**, pp. 1–16 (2003).
6. M. Bielenia et al., *Combined Transport Terminals Benchmark Analysis* (University of Gdansk, 2020), edited by Ernest Czermański.
7. R. Stahlbock, S. Voß, "Operations research at container terminals: a literature update", OR Spectrum **30**, pp. 1–52 (2008).
8. B. Wiśnicki, D. Bonk, *Analysis of Combined Transport Terminal Operations. Identification of Measures to Improve Terminals in BSR* (COMBINE Project, Bydgoszcz, 2020).
9. *European Road-Rail Combined Transport*, UIRR, Report 2020-21, Brussels, Belgium, (2021).
10. https://www.intermodal-terminals.eu/database (достъп от 27.08.2022 г.)

Study of the Existing Technologies for Vertical Handling of Intermodal Transport Units in Intermodal Terminals in Europe

Svetoslav Martinov

Department of Railway Engineering, Faculty of Transport, Technical University of Sofia, 8 Kl. Ohridski Blvd., 1000 Sofia, Bulgaria

Corresponding author: s.martinov@tu-sofia.bg

Abstract. Different technologies are applied for handling of intermodal transport units in the intermodal terminals. The technology selection is influenced by various factors - technological, technical, economical, etc. A study of existing technologies for vertical handling of intermodal transport units in intermodal terminals located in Europe is carried out in the present report. In the paper, 415 intermodal terminals located in 24 European countries have been studied in total. Rail-road and port intermodal terminals in Europe, serving inland waterways and/or feeder container lines, have been included in the study. The main types of transshipment equipment for vertical handling of intermodal transport units in the intermodal terminals have been studied - reachstackers, rail mounted gantry cranes, rubber tyred gantry cranes and barge cranes in inland waterway ports. A classification of the cargo handling technologies in intermodal terminals according to the type of transshipment equipment has been done. As a result of the study and classification, the distribution of the vertical transshipment technologies that are used in the studied intermodal terminals has been determined. The most frequently used cargo handling technologies in the studied intermodal terminals are the reachstackers (41,9 %), rail mounted gantry cranes in combination with reachstackers (18,8 %), rail mounted gantry cranes (15,4 %) and reachstackers in combination with barge cranes (15,4 %).

Protection Against Electrical Corrosion of Railway Constructions by Grounded Screens from Silicate Compositions

Andrii Plugin[1, a)], Olga Borziak[1, b)], Olena Kaliuzhna[1,2, c)], Oksana Krykun[1, d)], Vitalii Zhuravel[1, e)]

[1]*Ukrainian State University of Railway Transport, 7 Feuerbach Sq., 61050 Kharkiv, Ukraine*
[2]*Vienna University of Technology, 13 Karlsplatz, 1040 Vienna, Austria*

[a)] Corresponding author: aaplugin@gmail.com
[b)] borziak.olga@gmail.com
[c)] olena.kaliuzhna@tuwien.ac.at
[d)] 0509ksushka@gmail.com
[e)] 1987robota@gmail.com

Abstract. Research is devoted to the development of an electrically conductive silicate composition and the improvement of screen protection against electrical corrosion of reinforced concrete and concrete structures, in particular high passenger platforms, overpasses, and bridges operated on sections of railways electrified with direct current. Theoretical and experimental investigations of electrical corrosion of concrete supports of passenger platforms have been carried out. It was found that under the influence of the pulsating unidirectional electric potential, which occurs during the passing of the trains, a stray current, carrying Ca^{2+} and OH^{-} anions, flows through the concrete supports of the passenger platforms. On the supports, zones of neutralization and concrete leaching are created, where destruction takes place. These processes can be prevented by eliminating the electric current through the concrete of the support or by reducing its density. The dependence of efficiency of grounded screen-coatings Ep of electric conductor compositions based on mineral compositions on the frequency of contact of the steel grounding electrode with the screen X has been investigated. It was found that with increasing of X efficiency of protection increases. For the grounded screen-coat composition based on Portland cement optimum protective effect of 0.92 is achieved at a fraction of the contact area of the electrode with the screen X = 6.9 %. For the grounded screen-coating with a composition based on sodium silicate the optimum protective effect of 0.59 is achieved in case X = 5.9 %. According to the results of investigations ordering measures of repair and protection of concrete supports of passenger platforms is in dependence on the degree of their deterioration. The structural and technological solution for the protection of concrete supports of passenger platforms by grounded screen-coating from electric conductive compositions is developed, which provides an optimum part of the contact area of steel electrode of grounding with screen-coating of 6-7 %.

INTRODUCTION

Currently, a significant amount of freight and passenger traffic in the world is carried by railways. The most economically efficient and environmentally friendly are the electric rail lines. But electrified railway lines are a source of current flows and stray currents which flow from the rails into structures, facilities, and soil. A significant number of railway lines are electrified by direct current. It is known that metal structures and reinforcement of reinforced concrete structures under the influence of direct current flows are a subject ofelectrical corrosion [1-5]. Electrocorrosion damage, although to a lesser extent, can be observed even on steel fiber reinforced concrete [6]. The concrete supports of passenger platforms of the railways (Fig. 1) are susceptible to electrical corrosion. Perhaps due to this, in the 1980s, more massive concrete supports were installed on the Ukrainian railways as a primary protection against electrical corrosion in many cases instead of concrete columns. But in fact, in the zone of action of stray current they also quickly acquired damage (Fig. 2), which allows us to assume that these damages also have electrocorrosive character. This assumption is supported by the fact that [1] indicated destructive changes in the concrete under the influence of direct current

in the reinforcement, and in [7] determined, that the concrete in the volume of the structure causes electrical corrosion, which consists in intensive electromigration leaching of lime from cement stone under the influence of pulsating unidirectional electric potential of PUEP, which occurs during the passing of trains on the electrified with direct current section of a railroad track.

Concrete supports of passenger platforms are usually repaired by plastering, replacement of damaged elements with new prefabricated or monolithic elements, including concreting in unremovable formwork (Fig. 3), without special measures to prevent further electrical corrosion. Therefore, the study aims are to establish the electrocorrosive effect of current flows on concrete supports of passenger platforms and to supplement the structural and technological solutions for their repair with electric corrosion protection measures.

FIGURE 1. Longitudinal cracks in the reinforced concrete pillar of the high passenger platform due to electrical corrosion of the reinforcement.

(a) (b)

FIGURE. 2. Wrecking of concrete supports of high passenger platforms: (a) - efflorescence; (b) - support ribbing.

FIGURE 3. Repair of concrete support of a high passenger platform by replacing the damaged part with concrete in an unremovable formwork.

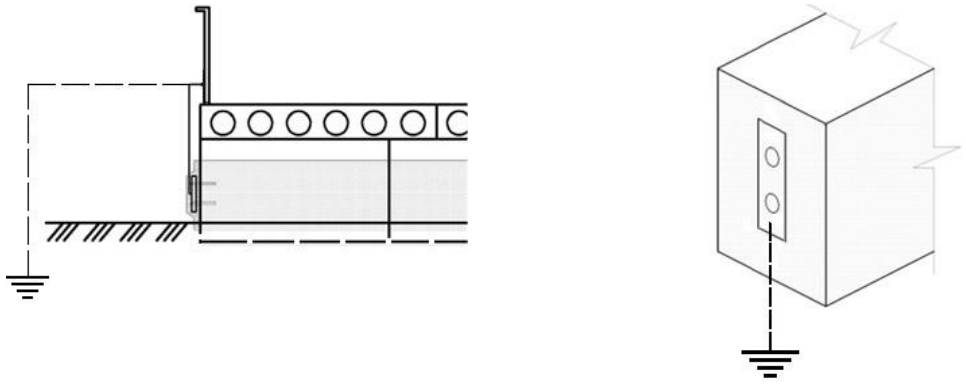
ANALYSIS OF RECENT STUDIES, DEVELOPMENTS AND PUBLICATIONS

The structure shown in Fig. 3 is a steel-concrete jacke. This jacke increases the load-bearing capacity of the structures, ensuring their complete water tightness. The metal sheathing completely protects the concrete against carbonization and leaching, and the concrete cement stone protects the sheathing in the middle against electrochemical corrosion. But in conditions of influence of stray current the metal covering will be susceptible to electrical corrosion which will occur in anodic zones. To protect against electric corrosion of analogous structures, a diode grounding was suggested in [8] (Fig. 4). This grounding protects the covering against electrical corrosion by transferring the anodic zones to the grounding. This structure is a grounded screen that absorbs the current flow and drains it through the ground. However, the steel-concrete structure is metal-included, expensive, and therefore suitable for use if the load-bearing capacity of supports with significant damages is to be renewed.

(a) (b)

FIGURE 4. Diode grounding for electric corrosion protection: (a) - scheme: 1 - metal covering, 2 - diode, 3 - steel grounding bar; (b) - exterior view.

In [9] to reduce the cost of repair and protection of similar structures, it was suggested to use grounded screens-coatings made of electroconductive compositions based on silicate compositions (Portland cement, sodium silicate) with graphite powder as a filler. As a result of experimental investigations, it was found that they provide a reduction of current density through the structure: coating based on Portland cement with a complex chemical additive [10] - by 49-66%; coating based on sodium silicate hardened with sodium siliconifluorite [11] - by 34-60%. It was recognized that the protective properties of the grounded screen also depend on the part of the contact area of the steel grounding electrode with the screen-coating of electric conductor composition (Fig. 5) and increase with increasing of this contact area part. Therefore, establishing and using of this dependence for protection design is an urgent task.



(a) (b)

FIGURE 5. Grounding with screen-coating using a metal plate: (a) - general view; (b) - ground conductor fixing to the plate.

In [8] a scheme of current flow through the concrete supports of passenger platforms has been proposed (Fig. 6). Figure 6 shows that the railway track sections with positive pulsating unidirectional potential on rails current (2) and concrete supports of the passenger platforms. Figure 6 shows that at the lath stake sections with positive pulsating unidirectional potential on rails the current (2) flows through the rail fastenings, sleepers, and ballast

into the ground, from here it flows onto the wet structure, passes through zone (3), flows from there into the ground and is spread by it. Since the metal handrails of the platforms are obligatorily grounded, part of the current (4) flows through the handrails. It is unclear from Fig. 6 what causes the current to flow across the wet ground and concrete, and which electrochemical or chemical reactions cause the current to flow across the spreading boundaries ground-concrete. An analysis of these reactions is important due to determine the mechanics of electrical corrosion in order to prevent it.

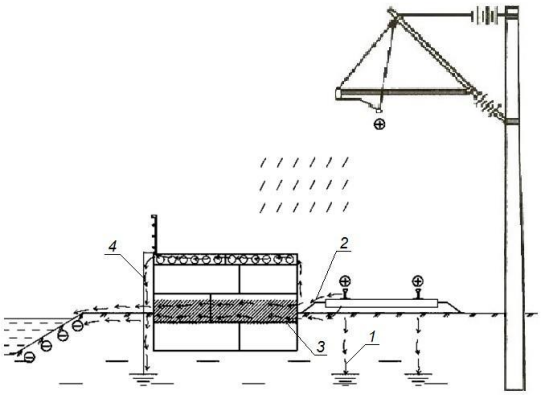


FIGURE 6. Scheme of stray current through the concrete supports of the passenger platform: 1 - stray current, which prevails in dry weather; 2 - stray current, which prevails in wet weather; 3 - support area, where concrete is exposed to electrical corrosion; 4 - part of the stray current through the grounding of the platform's metal handrails.

Therefore, in order to complete the task, the following research tasks are to be carried out:

- the theoretical study of the mechanism of stray current flowing through the concrete, particularly the analysis of corrosion reactions at the soil-concrete boundary;
- experimental investigation of the efficiency of the grounded screens depending on the contact area of the screen and the grounding electrode;
- arrangement of repair and protection measures for concrete supports of passenger platforms and improvement of design and technological solutions of their protection with a grounded-screen covering.

THEORETICAL INVESTIGATION OF THE FLOW OF STAY CURRENT THROUGH CONCRETE AND THE ELECTRO-CORROSIVE EFFECT ON IT

The scheme of the flowing of the stray current (Fig. 6) is detailed taking into account possible electrochemical and exchange reactions, which ensure the flow of the current across the dividing boundaries ground - concrete (Fig. 7).

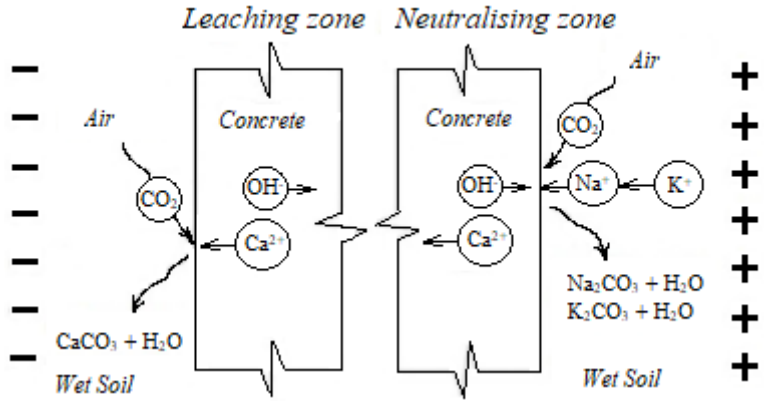


FIGURE 7. Scheme of the stray current flow through the concrete support and its electrical corrosion leaching.

It can be seen from Fig. 7 that the most movable mineral ions in the ground electrolyte are sodium Na^+ and potassium K^+ cations, which are transported from the rails to the structure. In concrete, the stray current carriers are calcium Ca^{2+} cations and hydroxyl anions OH^-, which are the components of the most soluble mineral of the cement stone - portlandite $Ca(OH)_2$. The electric current is carried by electrons e– in rails, rail fasteners, and grounding electrodes. As a result of this and due to the conditions of the penetration of water and gases into the soil and concrete in quantities that are sufficient for chemical reactions, the presence of free water H_2O in the concrete and the presence of oxide O_2 and carbon dioxide CO_2 in the concrete structure, two zones of concrete neutralization and concrete leaching are created.

In the neutralization zone of the concrete, exchange reactions take place:

$$2Na^+ + 2OH^- + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O \quad (1)$$

$$2K^+ + 2OH^- + CO_2 = K_2CO_3 + H_2O \quad (2)$$

Neutralization of the OH^- is taking place in this zone, pH reduction of the pore electrolyte concrete and portlandite decomposition $Ca(OH)_2$ and calcium hydrosilicates $nCaO{\times}SiO_2{\times}mH_2O$ cement stone with ion formation Ca^{2+}, OH^- amorphous silica SiO_{2am} (in conditions of water deficit) or silicic acid $Si(OH)_4$:

$$Ca(OH)_2 = Ca^{2+} + 2OH^- \quad (3)$$

$$2CaO{\times}SiO_2{\times}2H_2O = 2Ca^{2+} + SiO_{2am} + 4OH^- \quad (4)$$

$$2CaO{\times}SiO_2{\times}4H_2O = 2Ca^{2+} + Si(OH)_4 + 4OH^- \quad (5)$$

Produced ions Ca^{2+}, OH^- are responsible for the transfer of electric current. Created instead of portlandite $Ca(OH)_2$ and calcium hydrosilicates $nCaO{\times}SiO_2{\times}mH_2O$ amorphous silica SiO_{2am} and silicic acid $Si(OH)_4$ do not have compressive properties, which leads to a decrease in strength and frost resistance of the concrete, its deterioration, and ruin, as shown in Fig. 2, (b).

In the concrete leaching area, calcium Ca^{2+}cations are removed from the surface and the exchange reaction of carbonization takes place:

$$Ca^{2+} + 2OH^- + CO_2 = CaCO_3 + H_2O \quad (6)$$

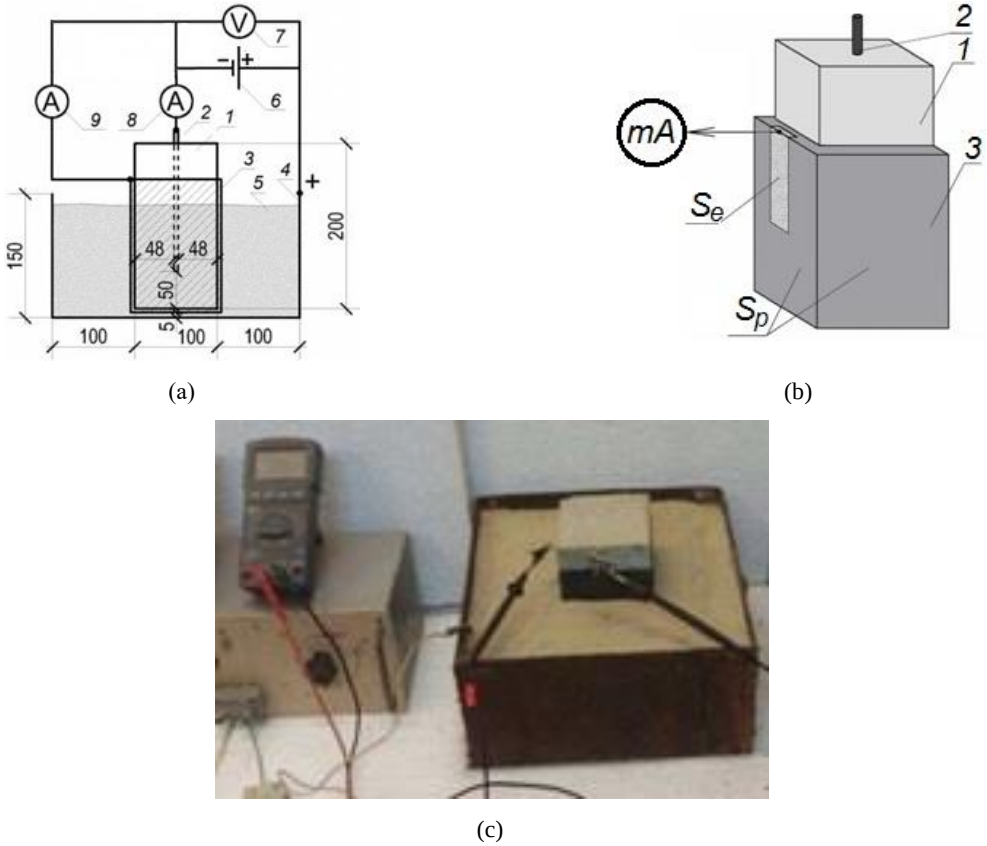
This zone, the concrete surface has intense salt efflorescence (Fig. 2, *a*), which are indicative of an intensive leaching process. Leaching, as in the neutralization zone of the concrete, leads to a decrease in pH, decomposition of portlandite $Ca(OH)_2$ and calcium hydrosilicates $nCaO{\times}SiO_2{\times}mH_2O$,decreasing the strength and frost resistance of concrete, its deterioration, and the need for repair (Fig. 3). The analysis of these processes allows us to conclude that their prevention can be achieved by eliminating the electric current flow through the concrete support or by reducing its density.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE EFFICIENCY OF GROUNDED COVERING SCREENS ON THE CONTACT AREA OF THE SCREEN AND THE GROUNDING ELECTRODE

The dependence of efficiency of grounded screen-coatings with electroconductive compositions with a graphite powder based on Portland cement (infiltrated) and sodium silicate hardened with sodium silicon fluoride, the compositions of which were taken from [10] and [11] respectively from the contact area of the screen and the ground electrode. The investigation was carried out on model supports, which were subjected to electric influence and its characteristics were measured according to schemes and methods suggested in [9]. Models and electrical scheme of the research (Fig. 8) were developed on the basis of the scheme of stray current flowing through the support from the rails on the site with the positive PUEP (Fig. 6). The model is a prism made of high-strength concrete with a strength of 20 MPa (1), with a steel bar (2) installed in it. The concrete between the bar and the external face of the prism corresponds to the concrete of the building between its sides (Fig. 6). The model-prism was installed into the soil model - water-saturated and very fine sand (4), filled into the metal container (3). The current which are flowing through the concrete and onto the support from the rails was simulated by an application of 40 V potential difference between Container (3) and Reinforcing Bar (2), and its strength was checked by means of lancet-mounted micro-ammeters (Sanwa PC510 digital multimeters) (8) and (9). Part of the contact area of the steel ground electrode with the screen-coat X, which was changed during the investigation, was defined as the ratio of the square of the contact area of the steel electrode with the screen-coat S_e to the square of the entire screen-coat S_p:

$$X = 100S_e/S_p, \%$$ (7)

Measurements were carried out simultaneously on the models without and with protection for 240 hours at an interval of 24 hours. To evaluate the effectiveness of the protection with formula 7, the maximum values for 240 hours were taken.



(a) (b)

(c)

FIGURE 8. Experimental study of the effectiveness of grounded screens made of electroconductive compositions for protection of structures against electrical corrosion: (a) - scheme in general; (b) - model with coating; (c) - general view; 1 - model concrete; 2 - model reinforcement bars; 3 - protective screen (coating); 4 - steel container; 5 - water-intensive sand; 6 - electric current generator; 7 - voltmeter; 8 - milli-ammeter for measuring the force of the current flowing through the concrete Is; 9 - milli-ammeter for measuring the force of the current flowing through the protective screen and ground (not available in the model without protective screen).

In contrast to [9], a significant reduction of the current strength through the concrete by fitting a grounded screen-covering is suggested as an efficiency indicator:

$$E_p = (I_{c0} - I_c)/I_{c0} = 1 - I_c/I_{c0}$$ (8)

where Ic_0 – current strength through the concrete of a support model without a safety screen, мА; I_c–current strength through the concrete of a support model with a safety screen, мА.

Maximum protection with the highest efficiency equals $E_p = 1$, without protection - $E_p=0$.

As a result of the research, graphs of the dependence of the protection efficiency E_p on the part of the contact area of the grounding electrode with the screen-coating X were created (Fig. 9). Figure 9 shows that the efficiency of protection grows with increasing X up to 5% intensively, after 5% - continuously. Part of the obtained graphs up to value X = 5% were approximated by second-order polynomials and by differentiation more precisely the optimum values of X were found, after further increase of which no further increase of E_p is observed.

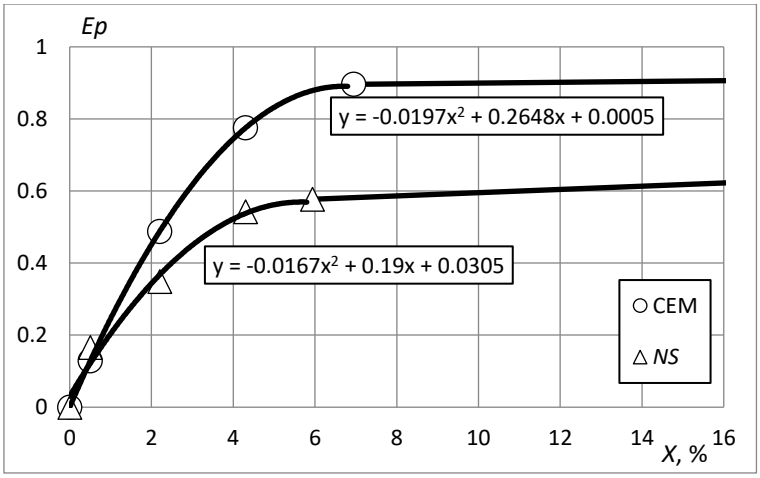


FIGURE 9. Dependence of protection performance indicators E_p with grounded screens made of electroconductive compositions based on Portland cement CEM and sodium silicate *NS* on the contact area of the steel grounding electrode with the screen *X*.

For screen-coating with a Portland cement-based composition:

$$Y = -0.019X^2 + 0.264X \tag{9}$$

$$Y' = 2 \cdot 0.019X - 0.264$$

$$0.038X - 0.264 = 0$$

$$X = 6.95;\ Y = E_p = 0.92$$

For a screen-coating composition based on sodium silicate:

$$Y = -0.016X^2 + 0.19X + 0.03 \tag{10}$$

$$Y' = 2 \cdot 0.016X - 0.19$$

$$0.032X - 0.19 = 0$$

$$X = 5.94;\ Y = E_p = 0.59$$

Therefore, for a grounded screen-coating with a composition based on Portland cement has an optimum protective effect $E_p = 0.92$ is achieved at a fraction of the contact area of the steel ground electrode with the screen $X = 6.9$ %. For a grounded screen coating with a composition based on sodium silicate, an optimum protective effect $E_p = 0.59$ is achieved at a fraction of the contact area of the steel grounding electrode with the screen $X = 5.9$ %.

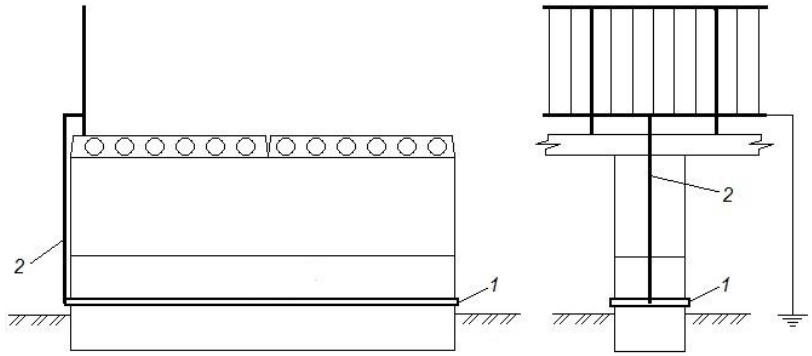
ARRANGEMENTS FOR REPAIR AND PROTECTION OF CONCRETE SUPPORTS OF PASSENGER PLATFORMS AND IMPROVEMENT OF THE STRUCTURAL AND TECHNICAL SOLUTIONS FOR THEIR PROTECTION WITH A GROUNDED COATING SCREEN

As a result of the research, a set of measures for repair and protection against electrical corrosion of concrete supports of passenger platforms on the sections of railways, electrified by direct current (in places with a positive potential on the rails) has been arranged. The approaches are selected depending on the condition of the support (Tab. 1).

TABLE 1. Measures for repair and protection of concrete supports of passenger platforms depending on their condition (in places with a positive potential on rails).

Condition of the Support	Measures for Repair and Protection
The stray current is critical, but there is still no damages	Protection shielding with 3-5 mm thickness from electroconductive silicate composition with graphene filler
Damages does not reduce load-bearing capacity, but reduces durability	Repair of surface and protection with 7-10 mm thick grounded screen coating with electroconductive composition based on Portland cement with complex chemical additive and graphite filler
Damages reduce load-bearing capacity	Steel-concrete or metal injection jacke with diode grounding
Damages is critical and cause an accident emergency	Replacement of the support with a new structure with 3-5 mm thick earthed screen-coating made of electroconductive silicate compositions with graphite filler

The structural and technological solution for the protection of concrete supports of passenger platforms with a grounded screen-coating of electroconductive compositions has been developed. It enables to ensure an optimum fraction of the contact area of the steel grounding electrode with the screen-coating X = 67 % (Fig. 10).



(a)

(b)

FIGURE 10. Constructional and technological solution for the protection of the passenger platform support with a grounded screen made from an electroconductive composition (a), (b): 1 - electrode - belt made from steel cord of 40-50 mm width, 3-5 mm thickness, fixed with anchors; 2 - steel conductor ∅10 mm.

CONCLUSION

1. As a result of theoretical investigations, it was found that on sections of railways electrified by direct current, under the influence of a pulsating unidirectional electric potential, which occurs when the trains are passing through, a stray current flow through the concrete supports of the passenger platforms and causes electrical corrosion of the concrete. The current flow is carried by Na^+ and K^+ ions in the soil, by Ca^{2+} and OH^-

ions in the concrete, and by e- electrons in the steel elements. The concrete structure of the support under the influence of this potential leads to corrosion cracking and the formation of zones of neutralization and release of concrete, where demolition takes place. These processes can be prevented by eliminating the electric current through concrete support or by reducing its density.

2. As a result of experimental investigations of dependence of efficiency of grounded screen-coatings E_p from electroconductive compositions on the basis of mineral compositions from the frequency of contact of the grounding electrode with the screen X is established, with the increase of X the efficiency of E_p grows. For the grounded screen made of Portland cement-based composition, the optimum protective effect E_p = 0.92 is achieved at a part of contact area of the steel grounding electrode with the screen X = 6.9 %. For a grounded screen consisting of a composition based on sodium silicate, an optimum protective effect E_p = 0.59 is achieved if X = 5.9 %.

3. Based on the results of the research, an order of measures for repair and protection of concrete supports of passenger platforms depending on the degree of their damage has been established. The structural and technological solution for the protection of concrete supports of passenger platforms by grounded screen-coating from electroconductive compositions which allows providing an optimum part of the contact area of steel electrode of grounding with screen-coating X = 6-7 % is developed.

REFERENCES

1. A. A. Staroselskiy, Elektrokorroziya Zhelezobetona (Budivelnik, Kyiv, 1978).
2. Y. C. Liu et al., “Dynamic analysis of the leakage current corrosion for the non-grounded DC railway systems”, International Journal of Electrical Energy **3**(4), pp. 257–261 (2015).
3. L. Bertolini, M. Carsana, P. Pedeferri, “Corrosion behaviour of steel in concrete in the presence of stray current”, Corrosion Science **49**, pp. 1056–1068 (2007).
4. T. Eichler, B. Isecke, “Stray current-induced corrosion in cathodic protection installations of steel-reinforced concrete structures: FEM study of the critical parameters”, Mater. Corrosion **71**(5), pp. 738–748 (2020).
5. S. J. Duranceau, W. J. Johnson, R. J. Pfeiffer-Wilder, “A study examining the effect of stray current on the integrity of continuous and discontinuous reinforcing bars”, Experimental Techniques **35**, pp. 53–58 (2011).
6. K. Tang, “Stray current induced corrosion of steel fibre reinforced concrete”, Cem. Concr. Res. **100**, pp. 445–456 (2017).
7. O. A. Plugin, “Issledovanie vlijanija velichiny naprjazhenija pul'sirujushhego odnonapravlennogo postojannogo jelektricheskogo polja na jelektrokorroziju betona”, Zb. nauk. prac' UkrDUZT **115**, pp. 56–67 (2010).
8. O. A. Plugin, O. S. Borziak, A. A. Dudin, “Zashhita metallicheskih i zhelezobetonnyh sooruzhenij zheleznodorozhnogo transporta ot jelektrokorrozii s pomoshh'ju diodnogoza zemlenija”, Zb. nauk. prac' UkrDUZT **127**, pp. 204–212 (2011).
9. D. Plugin, V. Kasyanov, V. Konev, S. Nesterenko, A. Afanasiev, “Research into the effectiveness of grounded screens of electroconductive silicate compositions for electrocorrosion protection”, Matec Web of Conferences **116**, 01012 (2017).
10. V. V. Kasyanov, “The electrically conductive coating for electrocorrosion protection and repair of railway structures”, PhD thesis, UkrSURT, Kharkiv (2018).
11. V. V. Koniev, “Electrically conductive silicate composition for protection against electrocorrosion of railway structures”, PhD thesis, UkrSURT, Kharkiv (2021).

Predictive System for Tire-Road Adhesion Coefficient: High-level Architecture and Main Requirements

Asen Mazgarev

Faculty of Transport, Technical University of Sofia, 8 Kl. Ohridski Blvd., 1756 Sofia, Bulgaria

asen@mazgarev.com

Abstract. As the capabilities of vehicles on the global market increase, their drivers, who are not professionals by definition, have to deal with the physical limitations beyond which the vehicles can take them. One of the most important aspects of this challenge is the transmission of power, whether for acceleration, braking or cornering, from the wheels of the vehicle to the road surface. In this article is considered the definition of a program, which should work in advance, with predictive accuracy, and to determine the coefficient of adhesion with the road surface in front of the car. It should work with visual inputs, and will work with artificial intelligence to serve the determination. Some constraints, system usability suggestions, as well as several architectures will be introduced, depending on the application of the program. Results from a survey is also presented in which participants share the number of different types of road pavements that come to their mind in stressful situations. Determining the requirements can also be seen as the first part of creating the solution that will benefit the automotive industry in terms of driver assistance and also the higher levels of autonomous driving programs.

INTRODUCTION

The main purpose of the system for determining the relative coefficient of adhesion between the tire and the road surface is to provide an important input parameter to the autonomous driving system. This parameter is of primary importance for determining the mode of movement of the vehicle.

During the long history of the automotive industry, this task has been performed only by the driver of the vehicle. They, on the basis of their experience and visual capabilities, takes into account the type of the pavement and predicts with not particularly high accuracy and in an indirect way the coefficient of adhesion between the car tire and the road surface. Based on familiar surfaces and what appears in their mind in milliseconds, they determine the speed of movement. It must be such that it does not put the vehicle in a state of loss of control or traction.

During driving, the driver must take into account many constantly changing parameters of the surrounding environment. This leads to deterioration of concentration, accuracy itself and accuracy of the judgements and decisions. A misjudgment could lead to a poorly chosen mode of movement and determine a future accident. A large amount of incidents occur long before the initial contact. Therefore, the presence of a system that determines the relative coefficient of adhesion between the vehicle tire and the road surface can significantly increase safety by providing information to the driver about the recommended maximum speed or be an important factor in determining the driving mode of the autonomous system.

The system itself can be realized in these two variants: Standalone – which uses its own perceivers and input data and Auxiliary – which is included in a part of an autonomous system and supplies only part of the necessary information to determine the maximum speed of movement.

HIGH-LEVEL ARCHITECTURE

The high-level architecture shows the main components of the system as well as the logical blocks that must process the information. The more complex concept is Standalone. Figure 1 shows the architecture of this variant.

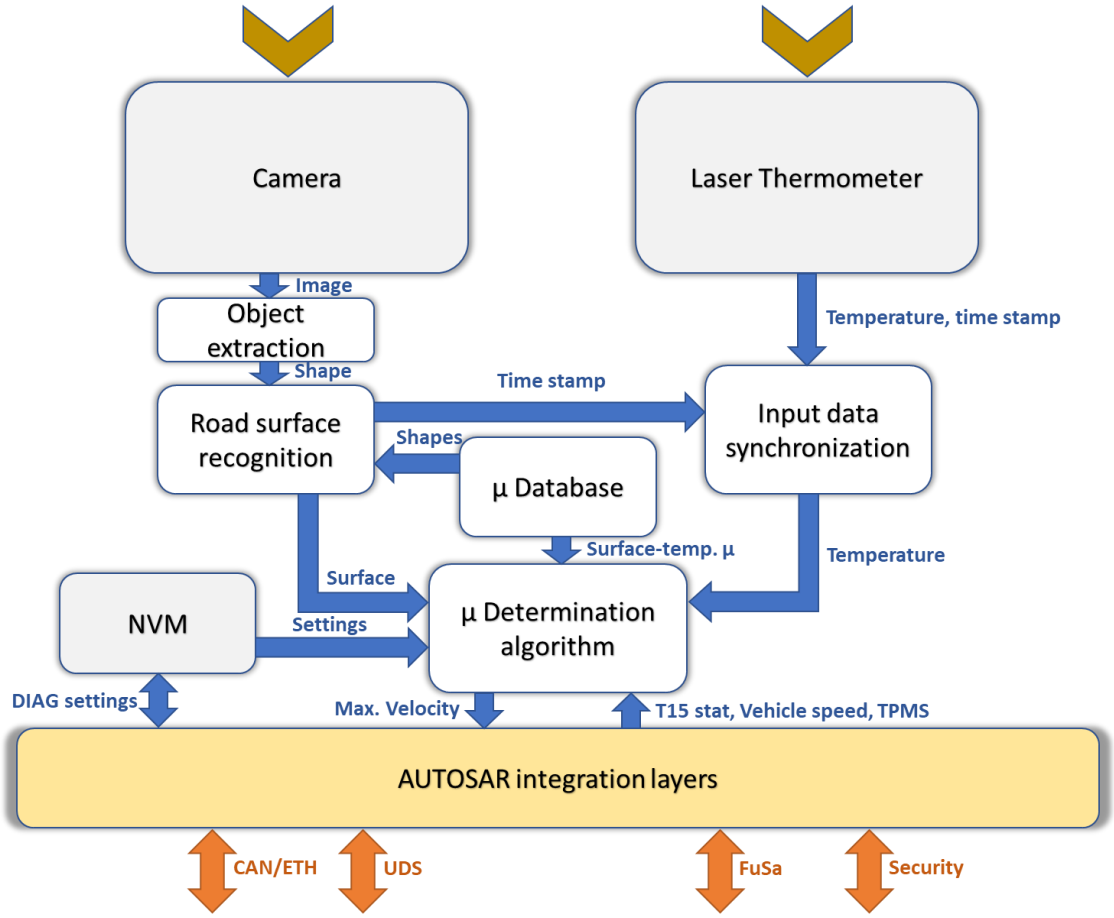


FIGURE 1. System architecture of Standalone variant.

The system has two main sensors. The camera shall capture the ambient in front of the vehicle and shall provide picture frames to the Object extraction algorithm. It will decompose the image and extract the road in front of the vehicle as a separate object [1]. The shape of this object has to be sent to the Road surface recognition algorithm which should compare it with the provided by μ Database. The last consists of shape images and measured values about their coefficient of adhesion at different temperatures.

Laser thermometer shall measure the temperature of the road surface in front of the vehicle. At higher speeds the friction between vehicle tire and pavement has the tend to increase with increased temperature, but for low speeds the tend is inverted [2]. This is the reason why surface temperature is important for determining the vehicle speed mode. The sensor shall provide continuously information about the measured temperature in a raw format of 0x00-0xFF which represents the temperature in °C with resolution of 0.5 °C. The minimum valid value should represent -40°C and the maximum one - +87°C. Values 0x00 and 0xFF are reserved for inoperability and signal not available (SNA) statements. The signal should be sent internally together with a timestamp. The last will be taken into account in the Input data synchronization mechanism. It has the main purpose to synch the data of camera with this one from the laser thermometer and to provide it to the μ Determination algorithm.

The μ Determination algorithm is the most complex part of the system and it is a topic of another further study. It shall determine the coefficient of adhesion between vehicle tire and the road with approximate accuracy based on the μ Database data collection, tire pressure (the lower and the higher), vehicle initial speed (at the moment of determination), recognized road surface type, measured road surface temperature and the information from the non-volatile memory (NVM) for tire radius and type. The μ Determination algorithm itself uses artificial intelligence to be able to determine the coefficient of adhesion.

The NVM will be set via Unified diagnostic services (UDS). This, the TPMS information about tire pressures, vehicle speed and Terminal 15 status will be provided by the AUTOSAR Integration layer. Figure 2 represents the architecture of AUTOSAR. Runtime Environment and Basic Software provide an abstraction layer for the Application Software [3].

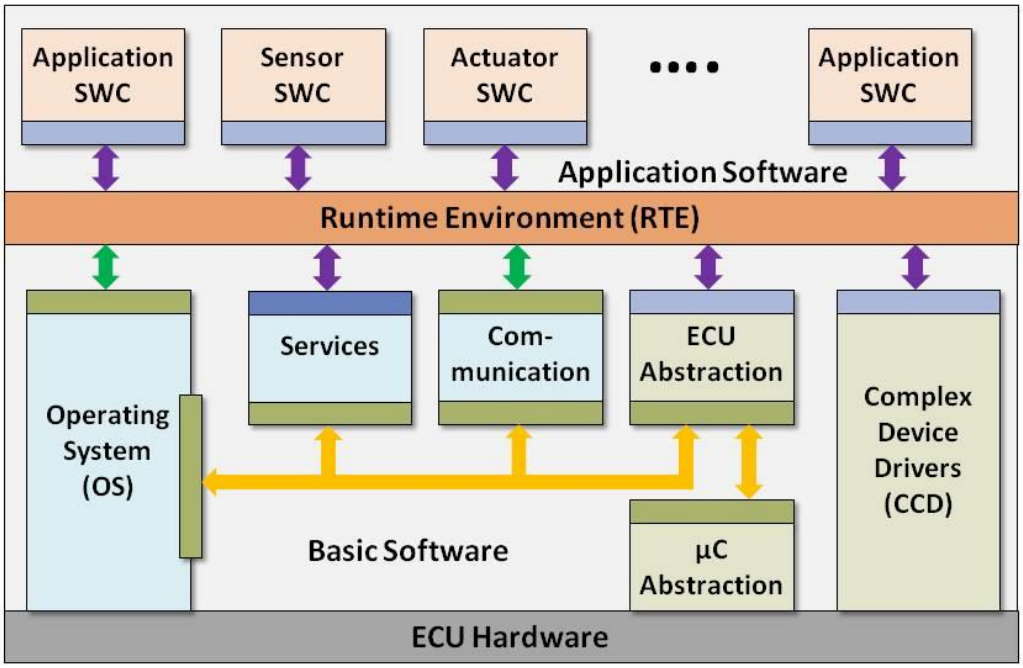


FIGURE 2. AUTOSAR Software architecture [3].

UDS, Communication – CAN or Ethernet, Functional Safety (FuSa) and Security features will come together with the latest version of the AUTOSAR architecture.

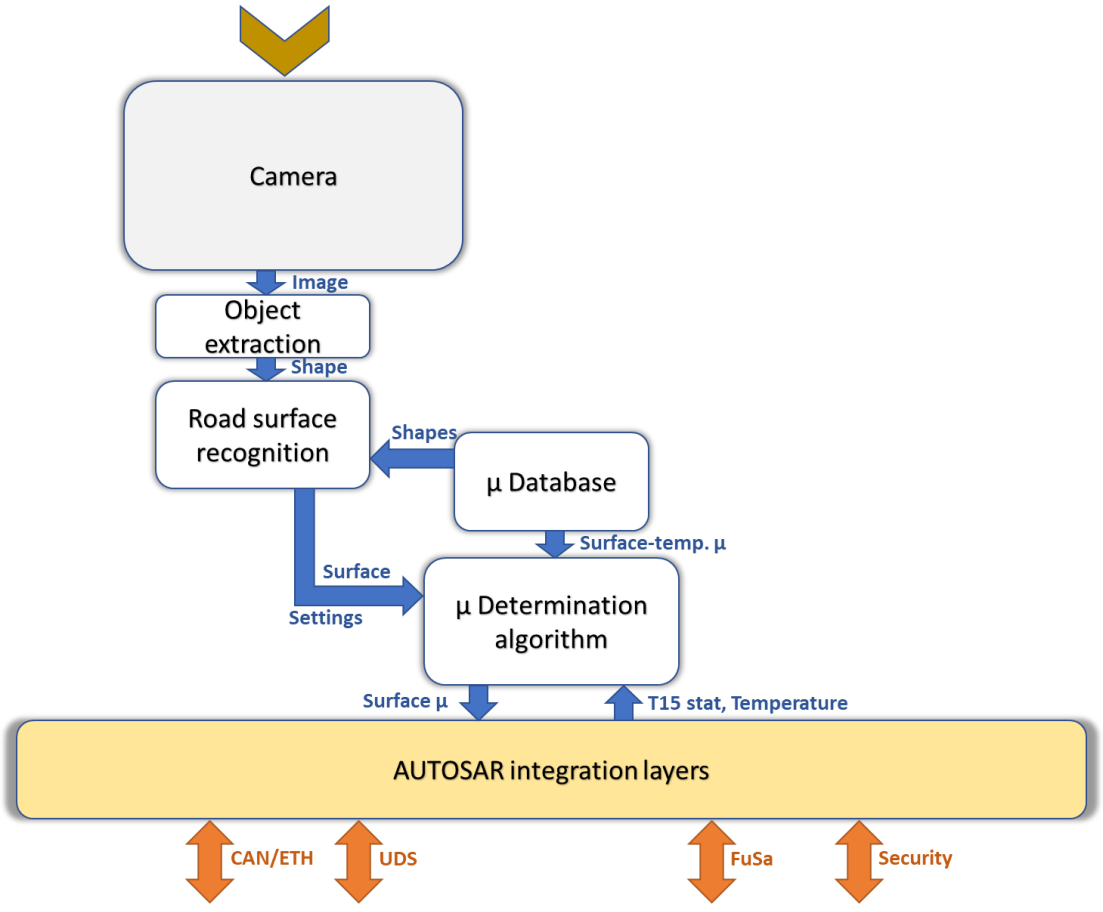


FIGURE 3. System architecture of Auxiliary variant.

As a result from the μ Determination algorithm calculation, the maximum speed in km/h will be sent via the interfaces as output signal in a raw format 0x000 – 0xFFF with physical meaning of km/h and resolution 0.1 km/h. The range will be from 0.0 km/h to 409.4 km/h. 0xFFF will be reserved for Signal not available (SNA) statement.

The purpose of the standalone variant of the system is to provide calculated maximum speed for the road surface and to provide the value to the vehicle network. From this point, the vehicle architecture can use it to warning the driver via the instrument cluster for example to reduce the vehicle speed (or in another case to advice driver to increase).

This is not the case for the Auxiliary variant. Figure 3 represents the architecture for the system in case it is integrated in bigger autonomous driving system. Then most of the inputs will be considered outside the road surface determination system [4].

The left side is almost the same as this, described in the Standalone variant. The difference in the architecture is that the temperature is provided by the vehicle network and the thermometer is a part from another system. The μ Determination algorithm has different purpose. Here it is to provide the surface μ and not a velocity.

The result from the μ Determination algorithm calculation will be sent via the interfaces as output signal in a raw format 0x00 – 0xFF with meaning of μ and resolution 0.01 km/h. The range will be from μ =0.00 to μ = 1.00. 0xFF will be reserved for Signal not available (SNA) statement and values from 0x65 to 0xFE will be reserved.

BASIC REQUIREMENTS

The number of recognized road surfaces: Matching the imaged road surface to the nearest recognized one can be infinitely detailed. The more information and recorded and measured pavements there are, the more accuracy can be injected into the system. However, it is of paramount importance that the system performs better than the driver of the vehicle, whose sole responsibility at this moment is to determine the coefficient of adhesion between the tire and the road surface.

In order to get an idea of the number of road surfaces that drivers recognize in practice, a study was conducted for the article among 101 people, 56 men and 45 women. The responses were grouped by age and the results are shown in Figs. 4 and 5. The study was done under the condition of no preparation of the participants and listing the largest possible number of surfaces in the minimum time (about 1 minute). It was a requirement that road surfaces be listed by traction perceptions.

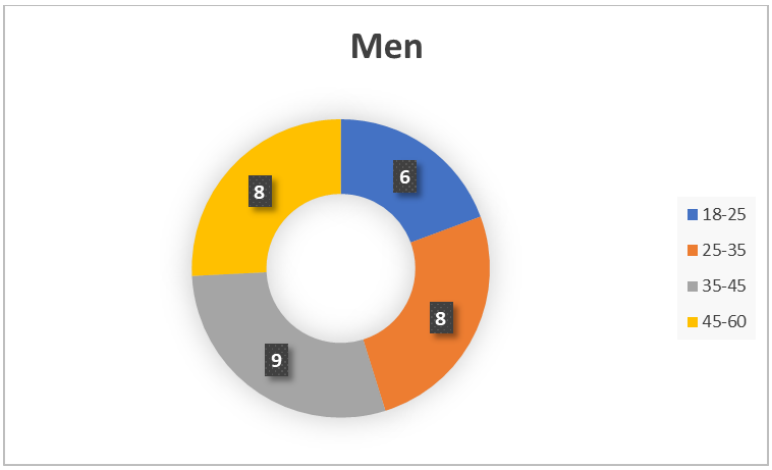


FIGURE 4. Number of different types of road surfaces recognized by men.

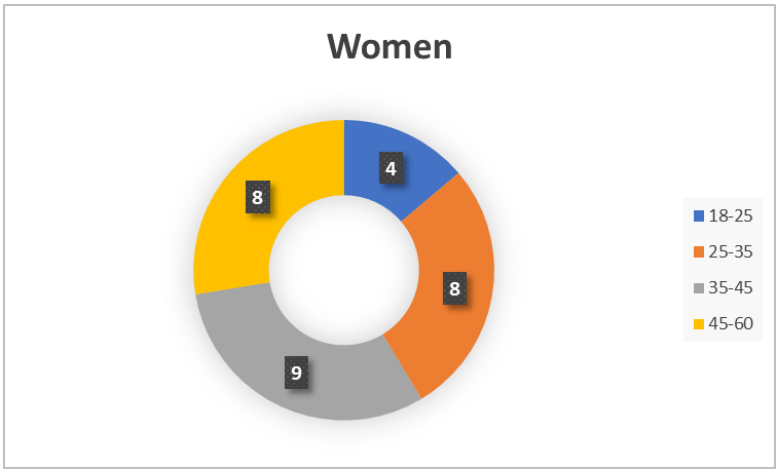


FIGURE 5. Number of different types of road surfaces recognized by women.

These are group averages of 100 people (55 men and 45 women). One of the participants was removed from the statistics. This is Dimitar Iliev, the 8-time rally champion of Bulgaria. He, based on his huge experience with racing cars on various surfaces, was able to list 29 different ones within 90 seconds.

That is why, taking into account the approximate number of a well-prepared driver and greatly increasing it, the solution for the requirement for the number of recognized pavements is 254.

Range/Distance for detection: The distance in front of the vehicle at which the system must determine the type of road surface must be determined by a trade-off between comfort and the vehicle's ability to reduce speed.

The study considered the distance required to reduce speed for common speeds. Tables 1 and 2 show the calculations for speed reduction from higher to lower in the table. The calculations were made based on the formula for the distance at constant deceleration $S = V_0 t + \frac{at^2}{2}$ [5], where S is the distance to reduce the speed, V_0 is the initial speed, a is the acceleration (with (-) for deceleration) and t is the time for deceleration from V_0 to V_1.

Based on the human exposure and perception studies, exposed in the international standard ISO 2631-1 [6] a calculation with little uncomfortable feeling is performed with -1.6 m/s^2.

TABLE 1. Distance in meters to reduce the speed from the higher (km/h) to lower (km/h), calculated with a = -1.6 m/s^2.

	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40
180	0.0	84.4	164.0	238.7	308.6	373.7	434.0	489.5	540.1	585.9	626.9	663.1	694.4	721.0	742.7
170	84.4	0.0	79.6	154.3	224.2	289.4	349.6	405.1	455.7	501.5	542.5	578.7	610.1	636.6	658.3
160	164.0	79.6	0.0	74.7	144.7	209.8	270.1	325.5	376.2	422.0	463.0	499.1	530.5	557.0	578.7
150	238.7	154.3	74.7	0.0	69.9	135.0	195.3	250.8	301.4	347.2	388.2	424.4	455.7	482.3	504.0
140	308.6	224.2	144.7	69.9	0.0	65.1	125.4	180.8	231.5	277.3	318.3	354.5	385.8	412.3	434.0
130	373.7	289.4	209.8	135.0	65.1	0.0	60.3	115.7	166.4	212.2	253.2	289.4	320.7	347.2	368.9
120	434.0	349.6	270.1	195.3	125.4	60.3	0.0	55.5	106.1	151.9	192.9	229.1	260.4	286.9	308.6
110	489.5	405.1	325.5	250.8	180.8	115.7	55.5	0.0	50.6	96.5	137.4	173.6	205.0	231.5	253.2
100	540.1	455.7	376.2	301.4	231.5	166.4	106.1	50.6	0.0	45.8	86.8	123.0	154.3	180.8	202.5
90	585.9	501.5	422.0	347.2	277.3	212.2	151.9	96.5	45.8	0.0	41.0	77.2	108.5	135.0	156.7
80	626.9	542.5	463.0	388.2	318.3	253.2	192.9	137.4	86.8	41.0	0.0	36.2	67.5	94.0	115.7
70	663.1	578.7	499.1	424.4	354.5	289.4	229.1	173.6	123.0	77.2	36.2	0.0	31.3	57.9	79.6
60	694.4	610.1	530.5	455.7	385.8	320.7	260.4	205.0	154.3	108.5	67.5	31.3	0.0	26.5	48.2
50	721.0	636.6	557.0	482.3	412.3	347.2	286.9	231.5	180.8	135.0	94.0	57.9	26.5	0.0	21.7
40	742.7	658.3	578.7	504.0	434.0	368.9	308.6	253.2	202.5	156.7	115.7	79.6	48.2	21.7	0.0

Also a calculation with more intensive braking is performed – with -2.5 m/s^2.

TABLE 2. Distance in meters to reduce the speed from the higher (km/h) to lower (km/h), calculated with a = -2.5 m/s^2.

	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40
180	0.0	54.0	104.9	152.8	197.5	239.2	277.8	313.3	345.7	375.0	401.2	424.4	444.4	461.4	475.3
170	54.0	0.0	50.9	98.8	143.5	185.2	223.8	259.3	291.7	321.0	347.2	370.4	390.4	407.4	421.3
160	104.9	50.9	0.0	47.8	92.6	134.3	172.8	208.3	240.7	270.1	296.3	319.4	339.5	356.5	370.4
150	152.8	98.8	47.8	0.0	44.8	86.4	125.0	160.5	192.9	222.2	248.5	271.6	291.7	308.6	322.5
140	197.5	143.5	92.6	44.8	0.0	41.7	80.2	115.7	148.1	177.5	203.7	226.9	246.9	263.9	277.8
130	239.2	185.2	134.3	86.4	41.7	0.0	38.6	74.1	106.5	135.8	162.0	185.2	205.2	222.2	236.1
120	277.8	223.8	172.8	125.0	80.2	38.6	0.0	35.5	67.9	97.2	123.5	146.6	166.7	183.6	197.5
110	313.3	259.3	208.3	160.5	115.7	74.1	35.5	0.0	32.4	61.7	88.0	111.1	131.2	148.1	162.0
100	345.7	291.7	240.7	192.9	148.1	106.5	67.9	32.4	0.0	29.3	55.6	78.7	98.8	115.7	129.6
90	375.0	321.0	270.1	222.2	177.5	135.8	97.2	61.7	29.3	0.0	26.2	49.4	69.4	86.4	100.3
80	401.2	347.2	296.3	248.5	203.7	162.0	123.5	88.0	55.6	26.2	0.0	23.1	43.2	60.2	74.1
70	424.4	370.4	319.4	271.6	226.9	185.2	146.6	111.1	78.7	49.4	23.1	0.0	20.1	37.0	50.9
60	444.4	390.4	339.5	291.7	246.9	205.2	166.7	131.2	98.8	69.4	43.2	20.1	0.0	17.0	30.9
50	461.4	407.4	356.5	308.6	263.9	222.2	183.6	148.1	115.7	86.4	60.2	37.0	17.0	0.0	13.9
40	475.3	421.3	370.4	322.5	277.8	236.1	197.5	162.0	129.6	100.3	74.1	50.9	30.9	13.9	0.0

Considered speeds are not higher than 30 km/h, even 40 km/h, because of the study for injuries and accident consequences [7] around 30 km/h – there is a possibility for easy ensuring of the movement.

Based on the calculations a range of 150 to 250 meters is sufficient for credible determination with very small discomfort generation.

Resolution of the camera: Nowadays devices produce high resolutions. Based on the study for Determination of minimum pixel resolution [8], the minimum resolution should be around 300x150 pixels. The technologies grew up and these days we can choose as a minimum required resolution 2096x900 pixels.

Update process: μ Determination algorithm should have implemented by design an updating mechanism. The artificial intelligence should be continuously improved.

CONCLUSION

The system for determination of the relative coefficient of adhesion between the tire and the road surface should have camera range of 150-250 meters and resolution of at least 2096x900 pixels. It shall recognize 254 different pavements and surfaces. It should have a laser thermometer with the range of 150-250 meters (same as the camera). The system shall be integrated in an environment with AUTOSAR integration layer and communicators for CAN or Ethernet and to provide Unified Diagnostic Services. Trained neuron networks can be included as a module in the main algorithm for determination of the coefficient of adhesion. It can be continuously updated with specifying more shapes and temperatures as a result of deeper measurement campaigns. The system should be integrated as a standalone feature and also as auxiliary sub-system of the bigger automation system.

REFERENCES

1. S. Sherif, J. Kralev, Ts. Slavov, “Objects detection from an image using MATLAB”, in Proceedings of the Technical University of Sofia **70**, pp. 49–58 (2020), (in Bulgarian).
2. Y. Luo, “Effect of pavement temperature on frictional properties of hot-mix-asphalt pavement surfaces”, Ph.D. thesis, Virginia Polytechnic Institute, p. 184 (2003).
3. AUTOSAR, *AUTOSAR Main Requirements Document*, pp. 9 (2011).
4. A. Mazgarev, “Defining program for gathering information of the traction limits”, in Proceedings of 13th International Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies, BulTrans-2021, (11-13 September, Sozopol), (2021).
5. V. Karaivanov, *Theoretical Mechanics* (St. Kliment Ohridski, Sofia, 2009), p. 180, (in Bulgarian).
6. ISO 2631-1: 1997, *Mechanical Vibration and Shock — Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration — Part 1: General Requirements*.
7. H. R. G. Kröyer, “Is 30km/h a ‘safe’ speed? Injury severity of pedestrians struck by a vehicle and the relation to travel speed and age”, IATSS Research **39**, pp. 42–50 (2015).
8. S. Kröner, M. T. D Carbó, “Determination of minimum pixel resolution for shape analysis: Proposal of a new data validation method for computerized images”, Powder Technology **245**, pp. 297–313 (2013).

Анализ на изпитателни цикли за движение на автомобили в извънградски, градски и селски условия на движение

Йордан Дерменджийски

Факултет по транспорта, Технически университет – София,
бул. „Климент Охридски“ 8, София 1756, България

y.dermendzhiyski@tu-sofia.com

Резюме. В настоящата публикация са анализирани цикли на движение за изпитване на превозни средства в различни условия на движение. Сравнителният анализ изтъква предимствата и недостатъците въз основа на информацията в наличната литература. Проследяват се промените в параметрите на използваните цикли от самото им създаване до съвременните им версии и се анализират причините, водещи до тези промени. Скоростното навлизане на електромобилите налага промяна или създаване на нов цикъл на движение, за да може да се даде оценка за пробега и енергийната икономичност в градски, селски или извънградски режими на движение.

ВЪВЕДЕНИЕ

Поради нарастващото отделяне на CO_2 емисии в атмосферата, Европейският Съюз предприема нова стъпка в областта на автомобилния транспорт, като определя много по-строги цели за емисиите от леки и лекотоварни автомобили и насърчава използването на превозни средства с алтернативни източници на енергия. Парижкото споразумение [1] поставя ясна цел, да се ограничи покачването на температурата до по-малко от 2 ºC и да се положат значителни усилия за в бъдеще да се ограничи до 1.5 ºC. За да се постигнат целите на Парижкото споразумение е необходимо да се ускори преобразуването на целия транспортен сектор до нулеви емисии. Ще е нужно емисиите от превозните средства да бъдат намалени допълнително след 2020 г. Превозните средства с нулеви и ниски емисии трябва да навлязат и да повлияят на пазарния дял до 2030 г. След 2030 г. ще бъде необходимо намаляване на емисиите от CO_2 от леки пътнически автомобили и от лекотоварни автомобили [2]. Понастоящем автомобилната индустрията инвестира значителни средства за подобряването на парниковия ефект от автомобилите. Преминаването през последните години от конвенционални автомобили с двигатели с вътрешно горене към хибридни автомобили е доста значително и е крачка към скока на човечеството към електрическите автомобили. Освен това пътните условия, особено в големите градове непрекъснато се променят в резултат от по-голямото насищане на трафика и свързаните с това изменения в пътната инфраструктура. Поради тези причини редица страни налагат изменение на съществуващи цикли на движение, целящи тяхното подобрение. Като най-значим принос в тази насока може да се отбележи приетата от ИКЕ към ООН замяна на съществуващия цикъл на движение NEDC (New European Driving Cycle) към нова хармонизирана процедура WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure) в която са въведени тестови изисквания за хибридни и електрически автомобили от началото на 2018 г. [3, 4]. Цикълът WLTP отчита по-реалистично съвременните условия на движение с по-интензивни ускорявания и спирания и по-високи стойности на средната и максималната скорост. WLTP се характеризира с по-голяма продължителност на цикъла и съответно по-голямо изминато разстояние от изпитваното превозно средство.

В статия [5] е отбелязано, че при WLTP цикъла изискванията и допустимите отклонения по отношение на процедурите за определяне на пътните съпротивления са по строги и подобрени спрямо изпитателните процедури по цикъла NEDC. Извършеният анализ в [5] потвърждава, че по отношение на емисиите на CO_2 и разхода на гориво, WLTP води до по-добри резултати в сравнение с NEDC. Някои

изчисления и изисквания на процедурата по NEDC, които са били математически и физически неправилни и по-малко строги, са били променени и/или направени по-строги и е оставено по-малко място за погрешни интерпретации. Процедурата WLTP освен на динамометричен стенд може да се прилага в реални пътни условия, като се използва специално оборудване за измерване на емисиите и разхода на гориво [4, 6]. В редица изследвания вместо стандартни изпитателни цикли се реализират цикли в реални пътни условия за определени маршрути, като по този начин е възможно определянето на разхода на гориво и емисиите с голяма точност за съответния маршрут и при различна интензивност на трафика [7, 8]. Недостатък на такива изпитателни цикли е че не могат да се използват за типово одобряване и сравнение на емисиите и разхода на гориво тъй като са строго индивидуални за определен маршрут.

Целта на настоящата публикация е да се анализират изпитателните цикли на движение на пътните превозни средства въз основа на информацията от наличната литература, както и да се проследят промените в параметрите на използваните цикли от самото им създаване до съвременните им версии и да се анализират причините, водещи до тези промени.

ЕВРОПЕЙСКИ ЦИКЛИ НА ДВИЖЕНИЕ

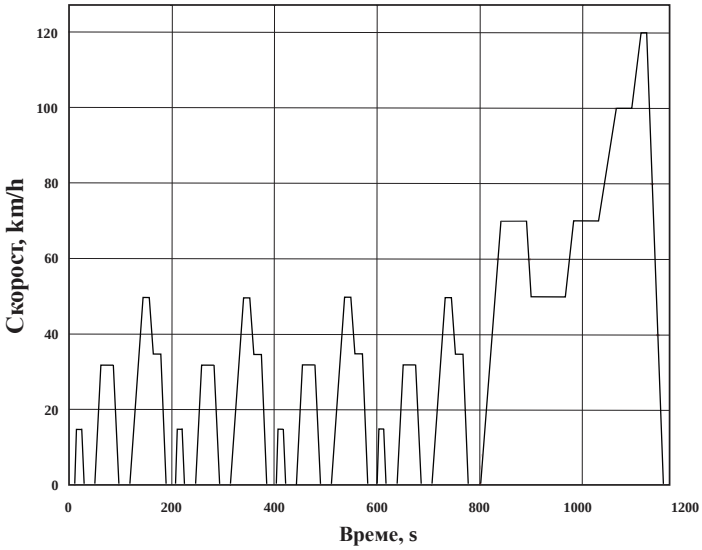
NEDC (New European Driving Cycle) Нов европейски цикъл на движение

Тестовият цикъл е съвкупност от четири повтарящи се градски цикъла на движение (ECE-15) и един извънградски цикъл на движение (EUDC). Тестовата процедура е описана подробно в правило R101 [3, 9] на ИКЕ към ООН за измерване на CO_2 емисиите и разхода на гориво и/или за измерване на разхода на електрическа енергия и пробег при електрически или хибридни автомобили от категория M1 и N1. От 2000 г. е въведен новият европейски цикъл на движение, като той стартира от 0 s. и се измерват емисиите при студен двигател.

Процедура по изпитване

Градски цикъл на шофиране. Двигателят стартира и 11 s, работи на място, 6 s на неутрална скорост с включен съединител и 5 s на 1-ва предавка (с изключен съединител) – след това бавно ускорява до 15 km/h, 4 s движение с постоянна скорост за 8 s и спиране за 5 s (последните 3 s с изключен съединител), след това спира за 21 s (16 s на неутрална предавка, след това 5 s на 1-ва предавка). При 49 s автомобилът бавно ускорява до 32 km/h за 12 s (5 s на 1-ва предавка, 2 s смяна на предавка, след това 5 s на 2-ра предавка), установено движение за 24 s след което бавно намаляване на скоростта до пълно спиране за 11 s (последните 3 s са с изключен съединител), след това пауза за още 21 s (16 s на неутрална и 5 s на 1-ва предавка). При 117 s автомобилът бавно ускорява до 50 km/h за 26 s (5 s, 9 s, и 8 s на 1-ва, 2-ра и 3-та предавка, с допълнителни 2x2 s за смяна на предавките. Установено движение за 12 s, закъснително движение до 35 km/h за 8 s, установено движение за 13 s, намаляване на скоростта до пълно спиране за 12 s (2 s смяна към 2-ра предавка, 7 s на 2-ра предавка, последните 3 s с изключен съединител). Цикълът завършва при 195 s след теоретично разстояние от 994.03 метра, след което се повтаря четири последователни пъти. Общата продължителност е 780 s (13 минути) на теоретичното разстояние от 3976.1 метра със средна скорост 18.35 km/h.

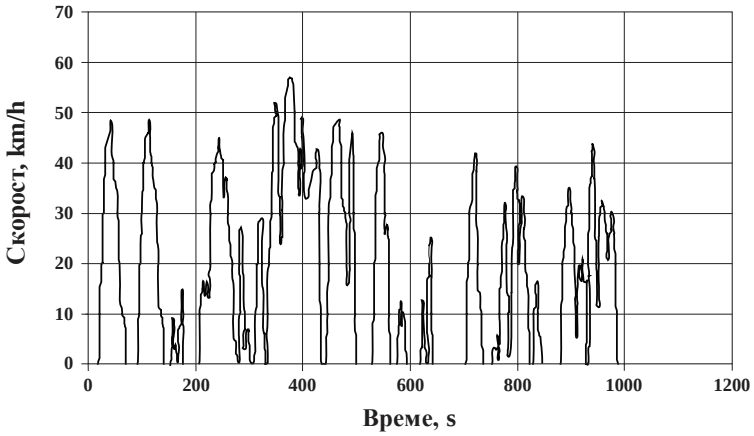
Извънградски цикъл на шофиране. След спиране от 20 s (ако е оборудван с ръчна скоростна кутия, на 1-ва предавка с изключен съединител – бавно ускорение до 70 km/h за 41 s (5 s, 9 s, 8 s и 13 s на 1-ва, 2-ра, 3-та и 4-та предавки с допълнителни 3x2 s за смяна на предавките), установено движение за 50 s (на 5-та предавка) намалява скоростта до 50 km/h за 8 s (смяна от 4-та на 5-та предавка) и се движи за 69 s, след което бавно ускорява до 70 km/h за 13 s. При 201 s автомобилът се движи със 70 km/h за 50 s (на 5-та предавка), след което бавно ускорява до 100 km/h за 35 s и се движи за 30 s (5-та и 6-та предавка). При 316 s автомобилът бавно ускорява до 120 km/h за 20 s, установено движение за 10 s, след което следва бавно спиране за 34 s (смяна от 6-та на 5-та предавка, последните 10 s с изключен съединител), работа на празен ход за 20 s. Общата продължителност е 400 s (6 минути и 40 секунди), а теоретичната дистанция е 3956 метра, със средна скорост 62.6 km/h.



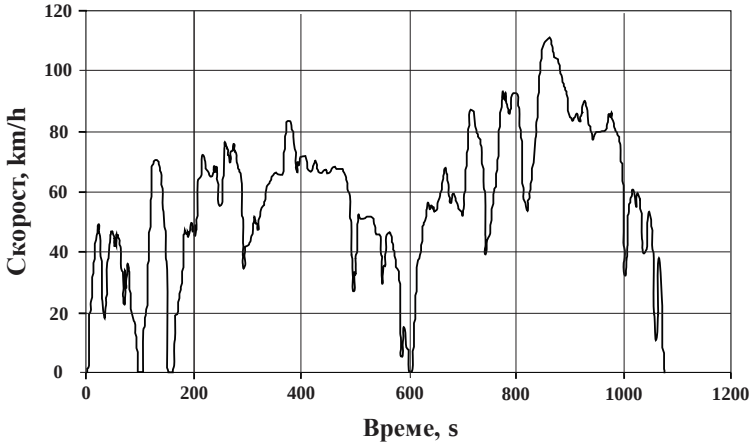
ФИГУРА 1. NEDC (New European Driving Cycle) – Нов европейски цикъл на движение.

Common Artemis Driving Cycles (CADC)

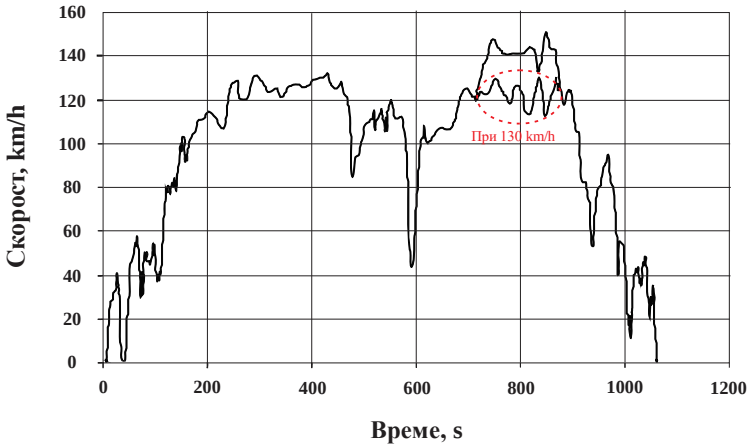
Циклите на движение на Artemis (CADC) са процедури на динамометричен стенд разработени в рамките на европейските проекти Artemis (Оценка и надеждност на моделите на транспортните емисии и системите за инвентаризация) формирани на статистически анализ на голяма база от данни от европейските модели на шофиране. Циклите включват три режима на движение – селски, градски и извън градски режим на движение. Като особеност може да се отбележи, че при извънградския режим на движение има две максимални скорости – при 130 km/h и 150 km/h [10, 11].



ФИГУРА 2. Artemis – градски цикъл на движение.



ФИГУРА 3. Artemis – селски цикъл на движение.



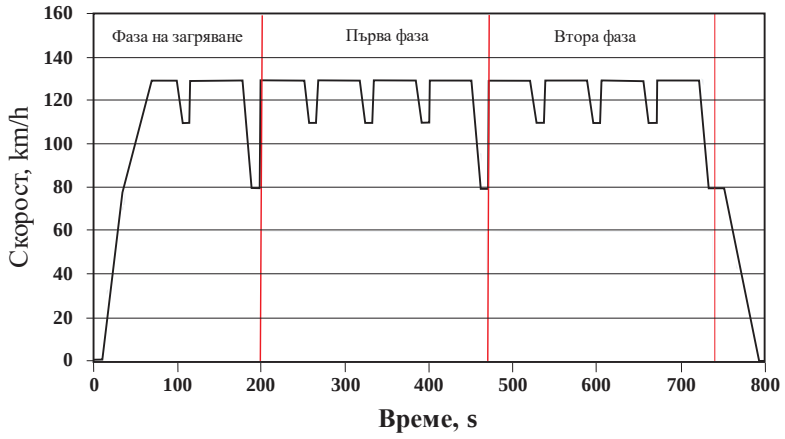
ФИГУРА 4. Artemis – магистрален цикъл на движение.

ТАБЛИЦА 1. Характеристики на циклите на движение Artemis.

Характеристика	**градско**	**извънградско**	**магистрала 130 km/h**	**магистрала 150 km/h**
Продължителност, s	993	1082	1068	1068
Разстояние, km	4.874	17.275	28.737	29.547
Средна скорост, km/h	17.7	57.5	96.9	99.6
Максимална скорост, km/h	57.3	111.1	131.4	150.4
Разпределение на скоростта, %				
- празен ход (S = 0 km/h)	21	2	1	1
- ниска скорост (0 < S ≤ 50)	77	32	15	14
- средна скорост (50 < S ≤ 90)	2	59	14	14
- висока скорост (S > 90)	0	7	70	71

ADAC Highway Cycle (BAB 130)

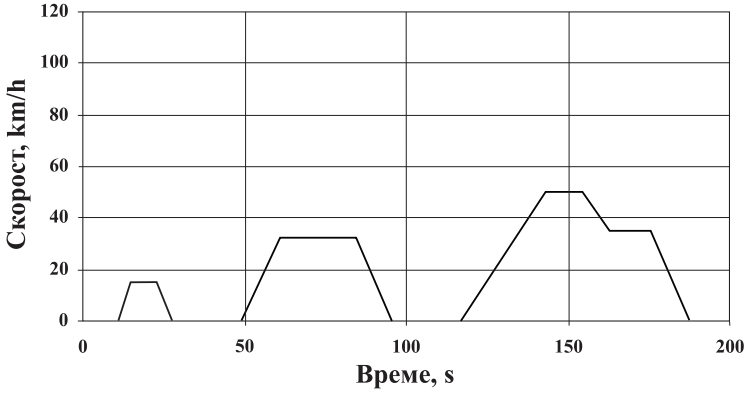
На практика този цикъл е магистрален цикъл реализиран на динамометричен стенд разработен от ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.) [12, 13]. Изпитателният цикъл включва измерване чрез изпитателен стенд на токсични вещества като въглероден оксид (CO), въглеводороди (HC), азотни оксиди (NO_X), маса на праховите частици (PM), брой на праховите частиците (PN) и парниковия газ въглероден диоксид (CO_2). Определени са редица изисквания, така че при провеждане на изпитването по процедурата да бъдат получени възможно най-точни резултати.



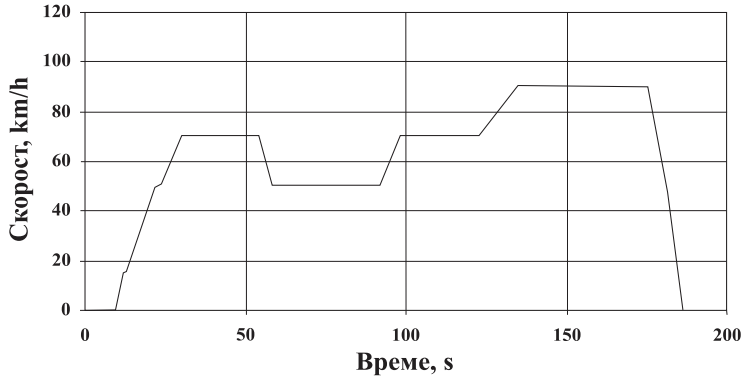
ФИГУРА 5. ADAC Highway Cycle (BAB 130) – цикъл на движение.

ECE 15 + EUDC

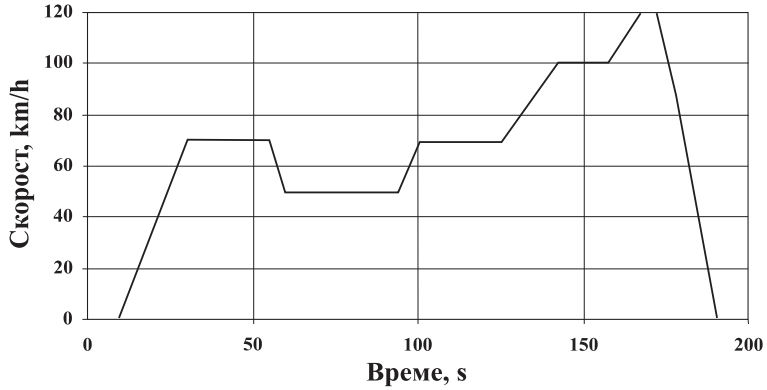
Цикълът ECE 15 + EUDC е изпитателен цикъл създаден още през 1970 г. за изпитване на леки превозни средства. В последствие преминава през редица промени и след основаване на Европейския съюз е описан в директива 91/411/ЕЕС. Цикълът се провежда изцяло на динамометричен стенд и включва четири сегмента на изпитване. Сегмент 1 повтарящ се без прекъсване ECE (движение в градски условия) е сегмент с максимална скорост от 50 km/h (Фиг. 6). Създаден е така, че да пресъздава условията на градското движение в големите европейски градове, например в Париж или Рим. Характеризира се с ниска скорост на автомобила, ниско натоварване на двигателя и ниска температура на отработилите газове. Следващият сегмент (Фиг. 7) е извънградски цикъл на движение EUDC (Extra Urban Driving Cycle). Добавен е след четвъртия цикъл на движение на ECE, за да отчете по-агресивните режими на движение с висока скорост. Максималната скорост на EUDC е 120 km/h. Също така може да се използва и за превозни средства с малка мощност, като изпитателната максимална скорост е 90 km/h (Фиг. 8) [14, 15].



ФИГУРА 6. ECE 15 – градски цикъл на движение.



ФИГУРА 7. EUDC (Extra Urban Driving Cycle) – извънградски цикъл на движение.



ФИГУРА 8. EUDC (Extra Urban Driving Cycle) – Магистрален цикъл на движение.

ТАБЛИЦА 2. Характеристики на циклите на движение ECE 15 + EUDC.

Характеристики	Единица	ECE 15	EUDC	NEDC[1]
Разстояние	km	0.9941	6.9549	10.9314
Общо време	s	195	400	1180
Празен ход	s	57	39	267
Средна скорост (включително почивките)	km/h	18.35	62.59	33.35
Средна скорост на движение (без почивките)	km/h	25.93	69.36	43.10
Максимална скорост	km/h	50	120	120
Средно ускорение	m/s^2	0.599	0.354	0.506
Максимално ускорение	m/s^2	1.042	0.833	1.042

[1] Четири повторения на ECE 15, последвани от един EUDC.

WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) – световна хармонизирана процедура за изпитване на леки превозни средства

Повечето производители на превозни средства произвеждат своите продукти за световния пазар. Поради голяма административна работа, да се създаде във всеки регион отделна процедура за изпитване на транспортни средства, следователно производителите на превозни средства са силно заинтересовани към хармонизиране на процедурите за изпитване на емисии и изисквания за ефективност. В резултат на това заинтересованите страни са започнали работа по глобална техническа информация относно хармонизираните в световен мащаб процедури за изпитване на леки превозни средства (WLTP). Процедурите за изпитване на леки превозни средства трябва да отразяват реални условия на шофиране. За съжаление, този аспект налага някои ограничения върху необходимото ниво на хармонизация, тъй като например температурата на околната среда варира значително в глобален мащаб. WLTP е представен за първи път през юни 2009 г. като включва три фази: Фаза 1 (2009 – 2014 г.) критерии за измерване на CO_2 емисии, разход на гориво и енергия; Фаза 2 (2014 – 2018 г.) процедура за изпитване при ниска температура/голяма надморска височина, дълготрайност, съответствие в експлоатация, технически изисквания за бордова диагностика (OBD), енергийна ефективност на мобилна климатична система (MAC), емисии извън цикъл/реално движение; Фаза 3 (2018 г. до днес) пределни стойности на емисиите и гранични стойности на (OBD), определяне на еталонни горива, сравнение с регионалните изисквания [15]. Процедурите WLTP включват няколко цикъла на изпитване WLTC, приложими за превозни средства с различно съотношение мощност към маса. Параметърът мощност към маса се определя като съотношението номинална мощност към собствената (заредена) маса $(W)/m_{соб.}$ [16].

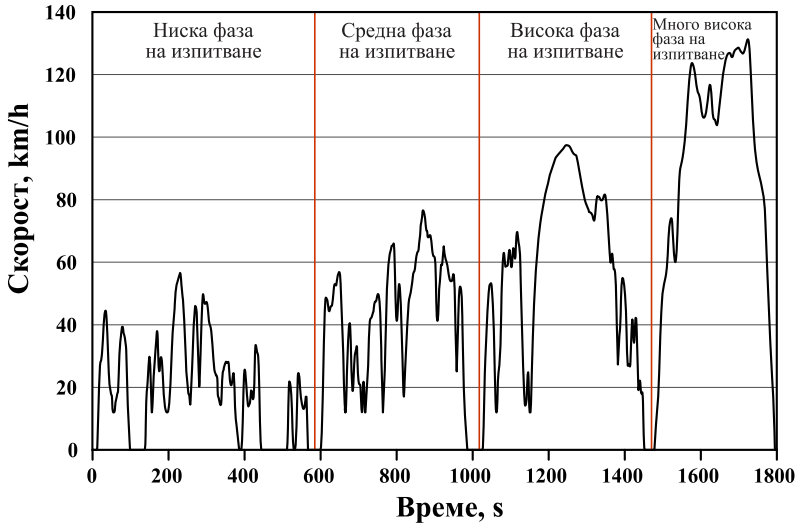
ТАБЛИЦА 3. WLTC изпитателни цикли.

Категория	PMR, W/kg	v_{max}, km/h	Скоростна фазова последователност
Клас 3b	PMR > 34	$v_{max} \geq 120$	ниска 3 + средна 3-2 + висока 3-2 + много висока 3
Клас 3a		$v_{max} < 120$	ниска 3 + средна 3-1 + висока 3-1 + много висока 3
Клас 2	$34 \geq$ PMR > 22	-	ниска 2 + средна 2 + висока 2 + много висока 2
Клас 1	PMR ≤ 22	-	ниска 1 + средна 1 + ниска 1

С най-високо съотношение мощност/маса е клас 3. Превозните средства от клас 3 са разделени на два подкласа според тяхната максимална скорост: клас 3a с $v_{max} < 120$ km/h и клас 3b с $v_{max} \geq 120$ km/h.

ТАБЛИЦА 4. WLTP цикъл 3 клас: избрани параметри.

Фаза	**Продължи телност**	**Продължи-телност на спиране**	**Разстояние**	**Процентни спирания**	**V - max**	**V - средно без спирания**	**V - средно със спирания**	**a_min**	**a_max**
	s	s	m		km/h	km/h	km/h	m/s²	m/s²
Клас 3b ($v_{max} \geq 120$ km/h)									
ниска 3	589	156	3095	26.5%	56.5	25.7	18.9	-1.47	1.47
средна 3-2	433	48	4756	11.1%	76.6	44.5	39.5	-1.49	1.57
висока 3-2	455	31	7162	6.8%	97.4	60.8	56.7	-1.49	1.58
много висока 3	323	7	8254	2.2%	131.3	94.0	92.0	-1.21	1.03
общо	**1800**	**242**	**23266**						
Клас 3a ($v_{max} < 120$ km/h)									
ниска 3	589	156	3095	26.5%	56.5	25.7	18.9	-1.47	1.47
средна 3-1	433	48	4721	11.1%	76.6	44.1	39.3	-1.47	1.28
висока 3-1	455	31	7124	6.8%	97.4	60.5	56.4	-1.49	1.58
много висока 3	323	7	8254	2.2%	131.3	94.0	92.0	-1.21	1.03
общо	**1800**	**242**	**23194**						

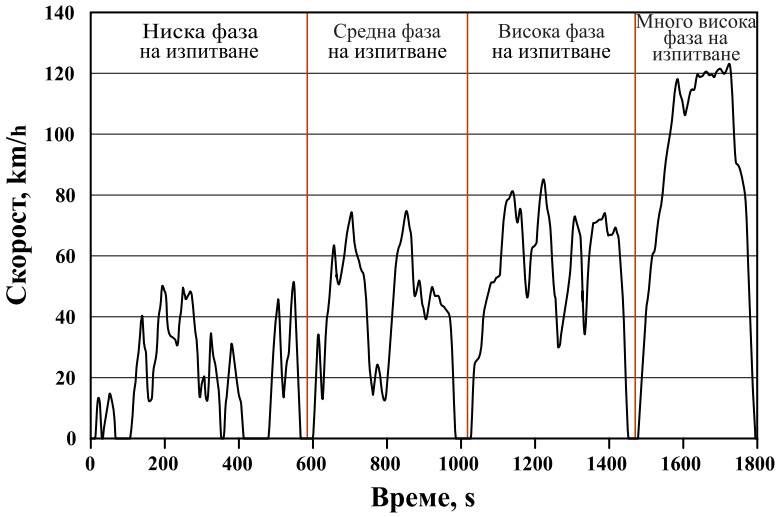


ФИГУРА 9. WLTC цикъл за превозни средства от клас 3б.

Клас 2 е представителен за превозни средства с ниска мощност. Избраните параметри на цикъла от клас 2 са представени в Таблица 5, а скоростта на превозното средство е показана на Фиг. 10.

ТАБЛИЦА 5. WLTP цикъл 2 клас: избрани параметри.

Фаза	Продъли-телност	Продължи телност на спиране	Разстояние	Процентни спирания	V - max	V - средно без спирания	V - средно със спирания	a_min	a_max
	s	s	m		km/h	km/h	km/h	m/s²	m/s²
ниска 2	589	155	3101	26.3%	51.4	25.7	19.4	-0.94	0.90
средна 2	433	48	4737	11.1%	74.7	44.3	39.4	-0.93	0.96
висока 2	455	30	6792	6.6%	85.2	57.5	53.7	-1.11	0.85
Много висока 2	323	7	8019	2.2%	123.1	91.4	89.4	-1.03	0.65
общо	1800	240	22649						

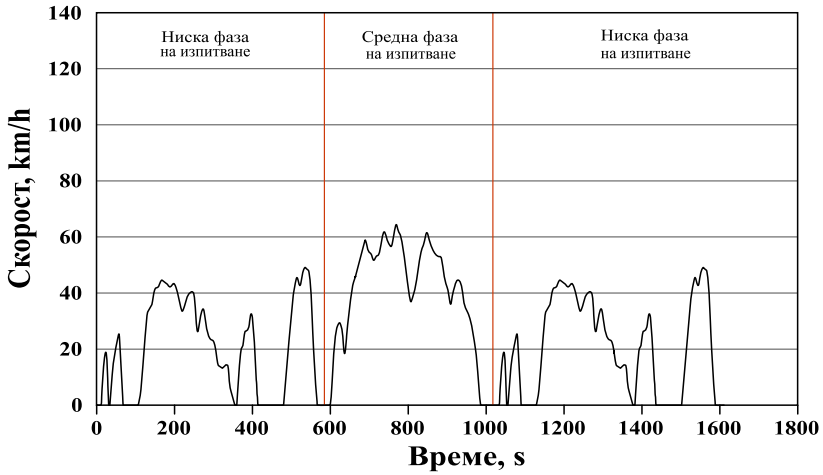


ФИГУРА 10. WLTC цикъл за превозни средства от клас 2.

С най-ниско съотношение мощност/маса е клас 1. Графиката и таблицата са показани по-долу.

ТАБЛИЦА 6. WLTP цикъл 1 клас: избрани параметри.

Фаза	Продължи-телност	Продължи-телност на спиране	Разстояние	Процентни спирания	V - max	V - средно без спирания	V - средно със спирания	a_min	a_max
	s	s	m		km/h	km/h	km/h	m/s²	m/s²
ниска 1	589	154	3330	26.1%	49.1	27.6	20.4	-1.00	0.76
средна 1	433	48	4767	11.1%	64.4	44.6	39.6	-0.53	0.63
висока 1	589	154	3330	26.1%	49.1	27.6	20.4	-1.00	0.76
общо	**1611**	**356**	**11428**						

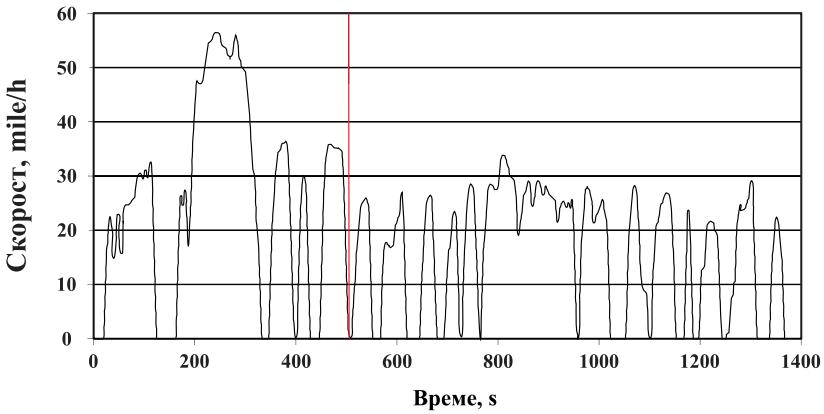


ФИГУРА 11. WLTC цикъл за превозни средства от клас 1.

АМЕРИКАНСКИ ЦИКЛИ НА ДВИЖЕНИЕ

FTP-72 (Federal Test Procedure) – Федерална тестова процедура

Цикълът FTP-72 се нарича още График за шофиране с градски динамометър (UDDS). Цикълът симулира градски маршрут от 7.5 мили (12.07 km/h) с чести спирания. Максималната скорост е 56.7 mph (91.25 km/h), а средната скорост е 19.6 mph (31.5 km/h).



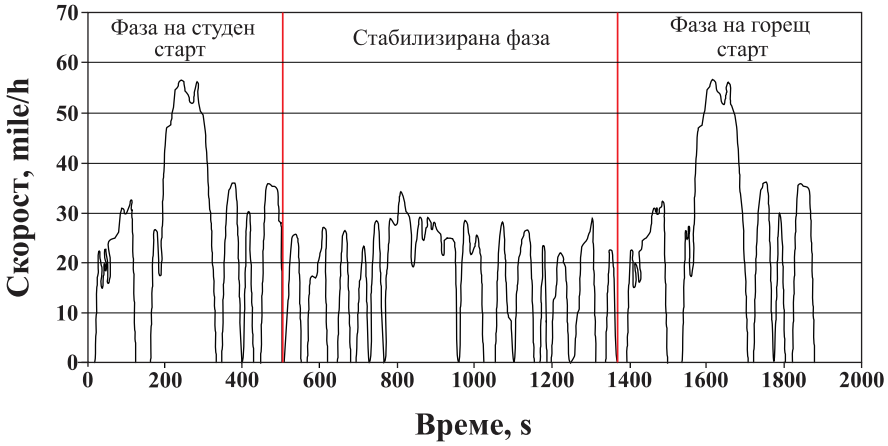
ФИГУРА 12. Графика за управление на градския динамометър на EPA на САЩ (FTP-72).

Цикълът се състои от две фази: фаза 1 – 505 s (5.78 km при 41.2 km/h средна скорост) и фаза 2 – 867 s. Първата фаза започва със студен старт. Емисиите се измерват в грамове/миля.

FTP-75 (Federal Test Procedure) – Федерална тестова процедура

Федералната тестова процедура е използвана за сертифициране на емисиите и тестване на икономията на гориво на лекотоварни лековерни превозни средства в Съединените щати. FTP-75 е вариант на EPA (Urban Dynamometer Driving Schedule UDDS). Цикълът FTP-75 произлиза от FTP-72 чрез добавяне на трета фаза от 505 s, идентична на първата фаза на FTP-72, но с горещ старт. Третата фаза започва след спиране на двигателя за 10 мин. Така целият цикъл се състои от следните сегменти:

- Преходна фаза на студен старт (околна температура 20-30^{O}C), 0-505 s;
- Стабилизирана фаза от 506-1372 s;
- Загряване на двигателя (мин. 540 s, макс. 660 s);
- Преходна фаза на горещ старт 0-505 s.



ФИГУРА 13. Графика за управление на градския динамометър на EPA на САЩ (FTP-75).

Основни параметри на цикъла:

- Продължителност: 1877 s
- Изминато разстояние: 11.04 мили (17,77 km).
- Средна скорост: 21.2 mph (34.12 km/h).
- Максимална скорост: 56.7 mph (91.25 km/h).

В допълнение към моделите от 2000 г. превозните средства трябва да бъдат тествани допълнително по две нови федерални тестови процедури (SFTP) [17]. Агресивно шофиране с висока скорост (US06) и 2. Използване на климатик (SC03) [18]. От моделната година 2008 г. FTP се използва за определяне на икономията на гориво в пътни условия по EPA [19, 20], като се използват 5-цикълния метод на EPA. Резултатите от 5 цикъла се изчисляват въз основа на резултатите от два FTP теста – един обикновен и един тест при ниска температура, проведени при лабораторна температура от 20 ºF (-6.7 ºC) – като и EPA Highway Fuel Economy Test Cycle (HWFET) [21], SFTP-US06 Supplemental Federal Test Procedure и SFTP-SC03 Supplemental Federal Test Procedure (SFTP).

Вариант от четири сегмента на цикъла FTP-75 – където стабилизираната фаза се изпълнява отново след завършване на фазата на горещ старт понякога се използва в определени приложения, например при някои тестове на хибридни превозни средства.

КИТАЙСКИ ЦИКЛИ НА ДВИЖЕНИЕ

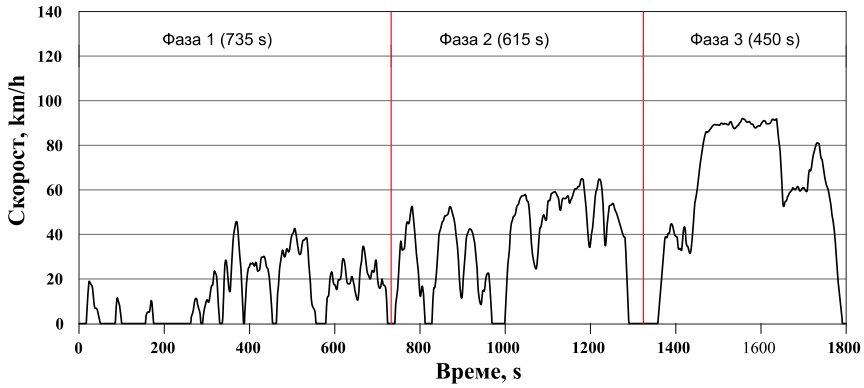
Китайски цикъл на движение – (CLTC) China Light-Duty Vehicle Test Cycle

Китайският цикъл за изпитване на лекотоварни превозни средства (CLTC) [22] е част от китайския цикъл за изпитване на автомобили (CATC) [23], разработен от Китайския център за автомобилни технологии и изследвания (CATARC) [24], за да замени европейските процедури за изпитване на разход на гориво/енергия и емисии. CLTC е стандартизиран от националния стандарт GB/T38146.1-2019, Китайски автомобилен тестов цикъл, част 1.

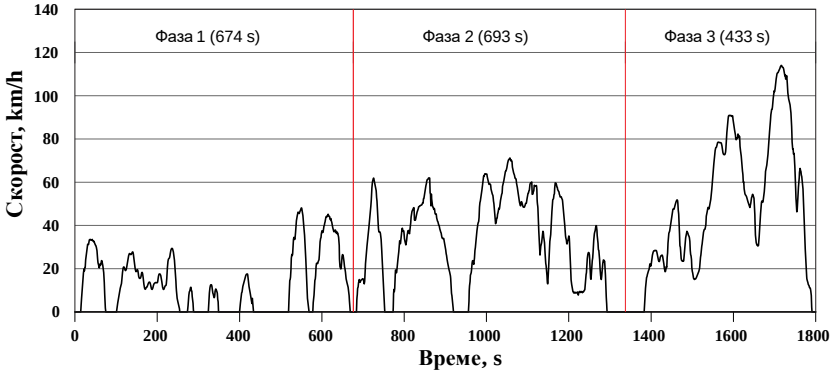
CLTC-P: Китайски леки превозни средства за изпитване на леки пътнически автомобили.

CLTC-C: Китайски цикъл на изпитване на лекотоварни автомобили (търговски превозни средства).

Тестовите цикли са за показани на фигурите по-долу и всеки тест включва три фази на движение: (1) бавно, (2) средно и (3) бързо движение.



ФИГУРА 14. CLTC-C: Китайски цикъл на изпитване на лекотоварни автомобили (търговски превозни средства).



ФИГУРА 15. CLTC-P: Китайски леки превозни средства за изпитване на леки пътнически автомобили.

Избраните характеристики на изпитателните цикли са показни в Таблица 7 CLTC има ниска средна скорост и честа промяна в ускоренията на автомобила (положителни и отрицателни ускорения, спирания и потегляния). В резултат на това разходът на гориво на CLTC е много по-висок от този на циклите NEDC и WLTC.

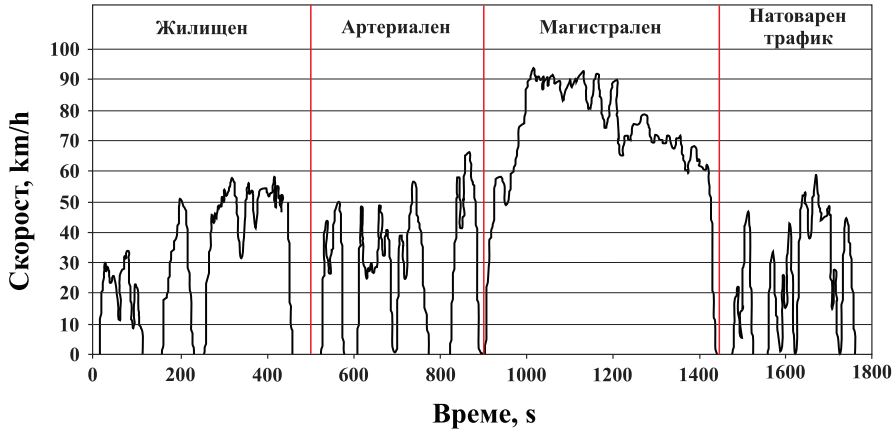
ТАБЛИЦА 7. Китайски цикъл на движение - (CLTC) China Light-Duty Vehicle Test Cycle.

Характеристика	Мерна единица	CLTC-P	CLTC-P
Разстояние	km	14.48	16.43
Общо време	s	1800	1800
Средна скорост (включително спирките)	km/h	28.96	32.87
Обща скорост (без спирките)	km/h	37.18	41.25
Максимална скорост	km/h	114.00	92.00
Средно ускорение	m/s^2	0.45	0.47
Максимално ускорение	m/s^2	1.47	1.36
Средно закъснително движение	m/s^2	-0.49	-0.48
Максимално закъснително движение	m/s^2	-1.47	-1.39

АВСТРАЛИЙСКИ ЦИКЛИ НА ДВИЖЕНИЕ

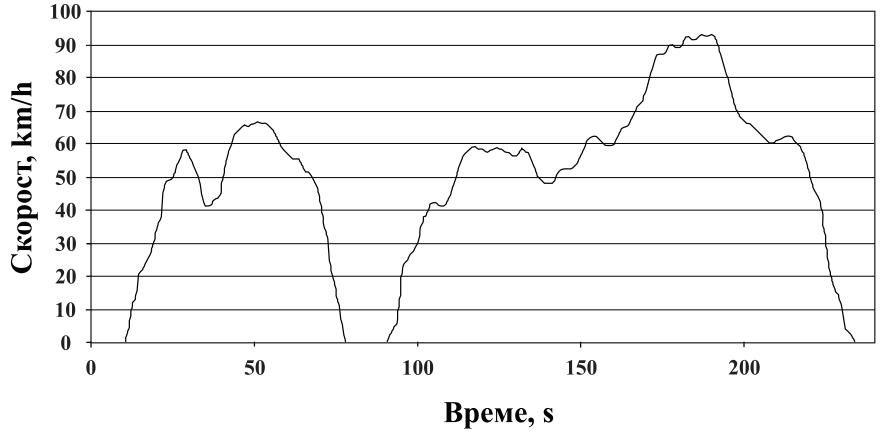
Австралийски цикъл на движение – Composite Urban Emissions Drive Cycle (CUEDC)

През 2005 г. е бил разработен **Composite Urban Emissions Drive Cycle (CUEDC)** [25] за лекотоварни превозни средства. Това е последното разработване на цикли CUEDC за дизелови превозни средства през 1998 г. Petrol CUEDC е разработен, за да бъде представител на австралийското градско движение шофиране в реални условия. Той включва четири сегмента – в жилищни зони, по главни градски пътни артерии, по магистрала и в задръстване – както е показано на Фиг. 16.



ФИГУРА 16. Composite Urban Emissions Drive Cycle (CUEDC) – комбиниран градски цикъл на движение.

Също така е разработен и „Къс бензинов CUEDC“ (SPC240), който се опитва да пресъздаде режимите на шофиране на целия бензинов CUEDC в по-кратък и потенциално по-лесен за изпълнение тест. Цикълът е формулиран, като за основа е използване последните 2 мин. от артериалната фаза и първите 2 мин. от фазата на движение по магистрала на Petrol CUEDC.



ФИГУРА 17. CUEDC (SPC240) – цикъл на движение.

ТАБЛИЦА 8. Австралийски цикли на движение – Composite Urban Emissions Drive Cycle (CUEDC).

Характеристика	**Мерна единица**	CUEDC	SPC240
Разстояние	km/h	19.44	3.10
Времетраене	s	1797	240
Средна скорост	km/h	38.95	46.57
Максимално ускорение	m/s^2	3.61	3.61
Закъснително движение	m/s^2	-2.78	-2.22
% Празен ход		21.1%	12.5%
% 1-24 km/h		13.9%	10.8%
% 25-40 km/h		14.6%	6.7%
% 41-65 km/h		28.2%	51.3%
% над 65 km/h		22.3%	18.8%

Real Driving Emission Cycle (RED) – Изпитателен автомобилен цикъл в реални пътни условия

Тестът за реални емисии при шофиране (RED cycle) измерва замърсители, като NOx, отделени от автомобилите, докато се движат по пътя. Тестът за реални емисии при шофиране е част от процедурата WLTP. Тестът гарантира, че автомобилите доставят ниски емисии в условията на пътя. Европа е първият

регион в света, който въвежда подобни тестове на пътя, отбелязвайки голям скок в тестването на автомобилните емисии. Съгласно пътните изпитателни цикли автомобилът се управлява по обществени пътища и при широк диапазон от различни пътни условия.

Условия за провеждане:

- Ниска и голяма надморска височина;
- Целогодишни температури;
- Допълнителен полезен товар на превозното средство;
- Шофиране по наклони;
- Градски пътища (ниска скорост);
- Селски пътища (средна скорост);
- Магистрали (висока скорост).

За измерване на отработилите газове, докато превозното средство се движи, изпитваните превозни средства са оборудвани с преносими системи за измерване на емисии (Portable Emission Measuring System – PEMS), които осигуряват пълен мониторинг в реално време на основните компоненти, изпускани от превозното средство (NOx) [4, 26-28].

Характерното при този тип изпитване на автомобил няма строго определена процедура която да се следва, както е описано в предходните изпитателни цикли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад са разгледани автомобилни изпитателни цикли, които са прилагат в редица страни като САЩ, Австралия. Китай, Европа. Разгледани са процедурите по изпитване на всеки един тестови цикъл и са представени графично. Исторически автомобилните тестови цикли преминават през редица изменения, тъй като автомобилния трафик става все по динамичен, токсичните компоненти се увеличават и е необходимо въвеждане на по-строги изисквания към автомобилите. Въвеждането на пътни изпитателни цикли дава по ясна представа за количеството отделени токсични компоненти за дадено превозно средство. Навлизането на хибридни и електрически автомобили налагат много строги изисквания към конвенционални автомобили, тъй като при тях токсичните компоненти са значително редуцирани. В бъдеще изпитателните цикли ще бъдат още по-строги и щадящи околната среда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Парижко споразумение, *Официален вестник на Европейския съюз*, (2016) https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/?uri=CELEX:22016A1019(01)
2. РЕГЛАМЕНТ (ЕС) 2019/631 НА ЕВРОПЕЙСКИЯ ПАРЛАМЕНТ И НА СЪВЕТА от 17 април 2019 година за определяне на стандарти за емисиите на CO2 от нови леки пътнически автомобили и от нови леки търговски превозни средства и за отмяна на регламенти (ЕО) № 443/2009 и (ЕС) № 510/2011.
3. *Driving Cycle*, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Driving_cycle, Accessed on 01 September 2022.
4. Правило № 154 на ООН — Единни разпоредби относно одобряването на леки превозни средства за превоз на пътници и товари по отношение на ограничените емисии, емисиите на въглероден диоксид и разхода на гориво и/или измерването на консумацията на електрическа енергия и пробега в електрически режим на задвижване (WLTP) [2022/2124].
5. J. Pavlovic, B. Ciuffo, G. Fontaras, V. Valverde, A. Marotta, "How much difference in type-approval CO_2 emissions from passenger cars in Europe can be expected from changing to the new test procedure (NEDC vs. WLTP)", Transportation Research: Part A: Policy and Practice **111**, pp. 136–147 (2018).
6. R. Lairenlakpam et al., "Effect of real world driving and different drive modes on vehicle emissions", SAE Technical Paper, 2018-01-5017 (2018).
7. Ts. Gechev, M. Mruzek, D. Barta, "Comparison of real driving cycles and consumed braking power in suburban Slovakian driving", MATEC Web of Conferences **133**, 02003 (2017), BulTrans-2017.
8. L. Kunchev, E. Sokolov, E. Dimitrov, "Experimental study of transport flows in big cities", in *Proceedings of 21st International Scientific Conference Engineering for Rural Development, (25-27 May, Jelgava, Latvia)*, pp. 590–597 (2022).
9. ECE 15 + EUDC / NEDC, Accessed on 03 September 2022, https://dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php
10. Common Artemis Driving Cycles (CADC), https://dieselnet.com/standards/cycles/artemis.php, Accessed on 03 September 2022.

11. Michel Andre INRETS, Laboratory Transport and Environment, Case 24, Bron Cedex 69675, France Accepted 1 April 2004.
12. ADAC, https://www.adac.de/
13. ADAC Highway Cycle (BAB 130) https://dieselnet.com/standards/cycles/adac_bab.php
14. D. Gruden, *Traffic and Environment*. *The Handbook of Environmental Chemistry*, vol. 3T (Springer, Berlin, Heidelberg, 2003), p. 294.
15. World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations. Proposal for a new global technical regulation on the Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure (WLTP).
16. *Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC)*, https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php, Accessed on 03 September 2022.
17. *Dynamometer Drive Schedules*, https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules#SC03-SFTP, Accessed on 03 September 2022.
18. *SFTP-SC03*, https://dieselnet.com/standards/cycles/ftp_sc03.php, Accessed on 03 September 2022.
19. *Final Regulations for Revisions to the Federal Test Procedure for Emissions From Motor Vehicles*, https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/final-rule-final-regulations-revisions-federal-test, Accessed on 03 September 2022.
20. *U.S. Environmental Protection Agency*, https://www.epa.gov/, Accessed on 03 September 2022.
21. A. Rousseau and Y. Ding, "Impact of worldwide test procedures on advanced technology fuel efficiency benefits", *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*, IEEE, pp. 1–8 (2013).
22. Y. Liu, Y. Liang, H. Yu, X. An, J. Li "Comparative analysis of China light-duty vehicle test cycle for passenger car and other typical driving cycles", E3S Web of Conferences **241**, 02002 (2021).
23. S. M. A. Rahman et al., "State-of-the-art of establishing test procedures for real driving gaseous emissions from light- and heavy-duty vehicles", Energies **14**, 4195 (2021).
24. *China Automotive Technology and Research Center*, http://en.cctp.org.cn/product/35992.html, Accessed on 04 September 2022.
25. Composite Urban Emissions Drive Cycle (CUEDC) https://dieselnet.com/standards/cycles/cuedc_spc240.php, Accessed on 03 September 2022.
26. R. A. Varella, B. Giechaskiel, L. Sousa, G. Duarte, "Comparison of portable emissions measurement systems (PEMS) with laboratory grade equipment", Appl. Sci. **8**(9), 1633 (2018).
27. A. Laderou, M. Mohammadpour, S. Theodossiades, A. Wilson, R. Daubney "Effect of bearing thermally induced preload on the efficiency of automotive manual transmission under RDE", Proc. IMechE Part C: J. Mechanical Engineering Science **233**, pp. 7423–7441 (2019).
28. *Car Emissions Testing Facts*, https://www.caremissionstestingfacts.eu/, Accessed on 03 September 2022.

Analysis of Test Cycles for Driving Cars in Extra-Urban, Urban and Rural Traffic Conditions

Yordan Dermendzhiyski

Faculty of Transport, Technical University of Sofia, 8 Kl. Ohridski Blvd, 1756 Sofia, Bulgaria

y.dermendzhiyski@tu-sofia.com

Abstract. In this paper, driving cycles used for testing vehicles in different driving conditions are analyzed. The comparative analysis highlights the advantages and disadvantages based on the information in the available literature. The changes in the parameters of the used cycles from their creation to their modern versions are traced and the reasons leading to these changes are analyzed. The rapid penetration of electric vehicles requires a change or creation of a new driving cycle to be able to assess mileage and energy efficiency in urban, rural or extra-urban driving modes.

15th Conference Announcement

BulTrans2023

10-13 September 2023
Sozopol, Bulgaria

Conference Topics

Aeronautics
Automotive Engineering and Technologies
Dynamics, Strength and Reliability in Transport
Green Transport
Information Technologies in Transport
Internal Combustion Engines and Alternative Fuels
Railway Engineering and Technologies
Transport Infra-Structure
Transport Management and Logistics
Water Transport

www.bultrans.org

BulTrans-2022

BULATSA
РЪКОВОДСТВО НА ВЪЗДУШНОТО ДВИЖЕНИЕ

YUNEX TRAFFIC
A Siemens Business

AutoSoft
ДИАГНОСТИКА И АВТОЕЛЕКТРОНИКА

PEUGEOT
София Франс Ауто

Technical University of Sofia Publishing House