

**Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky**

Určenie optimálnej jazdy automobilu

Diplomová práca

2021

Bc. Samuel Pitoňák

**Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky**

Určenie optimálnej jazdy automobilu

Diplomová práca

Študijný program: Informatika

Študijný odbor: 9.2.1. Informatika

Školiace pracovisko: Katedra počítačov a informatiky (KPI)

Školiteľ: Ing. Miroslav Biňas, PhD.

Konzultant:

Košice 2021

Bc. Samuel Pitoňák

Názov práce:	Určenie optimálnej jazdy automobilu
Pracovisko:	Katedra počítačov a informatiky, Technická univerzita v Košiciach
Autor:	Bc. Samuel Pitoňák
Školiteľ:	Ing. Miroslav Biňas, PhD.
Konzultant:	
Dátum:	23. 4. 2021
Kľúčové slová:	úspara paliva, účinnosť paliva, ekologické jazdenie, spotreba paliva, zmena správania, posuny v správaní, zlepšenie správania, gamifikácia, správanie šoféra, spätná väzba pre šoféra, ELM327, OBD-II, odmeňovací systém
Abstrakt:	Cieľom tejto záverečnej práce bolo zistiť mieru vplyvu motivačných stratégií odmien a gamifikácie na ekologické správanie šoféra za volantom automobilu na základe návrhu predchádzajúceho výskumu. Súčasťou tejto práce je návrh a realizácia riadeného experimentu v teréne, ktorý prebiehal v trvaní mesiaca a pol a bol rozdelený na 3 samostatné fázy za účelom zberu dostatočného množstva dát. V záujme realizovať experiment bol vytvorený systém, ktorý bol navrhnutý a implementovaný takým spôsobom, aby na princípoch motivačných stratégií spätnou väzbou po jazde motivoval účastníkov jazdiť s nižšou spotrebou paliva. Implementovaný systém, ktorý spolupracuje s existujúcou platformou <i>enviroCar</i>, sa preukázal ako dobre použiteľný a prispel aj k zlepšeniu vedomostí šoférov ohľadom ekologickej jazdy. Experiment bol účastníkmi v jeho závere pozitívne hodnotený, ale vzhľadom na malú vzorku a nepresnú metódu zberu dát z jazdy automobilom navrhujem po odstránení nedostatkov experiment zrealizovať v ďalšej iterácii. V tej by mohli byť získané validné dáta a uskutočnené smerodajné vyhodnotenie v rámci vplyvu motivačných stratégií.

Thesis title: Finding the optimal route for car

Department: Department of Computers and Informatics, Technical University of Košice

Author: Bc. Samuel Pitoňák

Supervisor: Ing. Miroslav Biňas, PhD.

Tutor:

Date: 23. 4. 2021

Keywords: fuel economy, fuel efficiency, eco-driving, fuel consumption, behavior change, behavioral shifts, behavioral improvement, gamification, driver behavior, driver feedback, ELM327, OBD-II, reward system

Abstract: The goal of this final thesis was to find out how influential are the motivational strategies of giving rewards and gamification on car driver's eco behavior. It is based on the suggestions from the previous research. There are two parts of the thesis that are design and realization of the controlled experiment in the natural field. The realization lasted for a month and a half in 3 separate phases so the sufficient amount of data was collected. In order to realize the experiment, the system was created. Based on the motivational strategies, it was designed and implemented in a way to provide feedback after a ride and motivate participants to drive more efficiently. The implemented system cooperates with the existing *enviro-Car* platform. It was proved to have a good user experience and also contributed to the improvement of drivers' knowledge about eco-friendly driving. Even if I received positive feedback from the participants at the end of the experiment, I suggest to execute another iteration of this experiment due to deficiencies such as small sample size and inaccurate method of data collection during driving. The next iteration could provide more valid data and better evaluate the influence of selected motivational strategies.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
Katedra počítačov a informatiky

ZADANIE
DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študijný odbor: **Informatika**

Študijný program: **Informatika**

Názov práce:

Určenie optimálnej jazdy automobilu

Finding the optimal route for car

Študent:

Bc. Samuel Pitoňák

Školiteľ:

Ing. Miroslav Biňas, PhD.

Školiace pracovisko:

Katedra počítačov a informatiky

Konzultant práce:

Pracovisko konzultanta:

Pokyny na vypracovanie diplomovej práce:

1. Analyzovať možnosti zníženia spotreby paliva automobilom.
2. Navrhnuť a implementovať mechanizmus zberu a vyhodnocovania dát z jazdy automobilom.
3. Navrhnuť a realizovať kontrolovaný experiment v teréne na získanie dostatočného množstva dát a ich analýzu.
4. Zhodnotiť dosiahnuté výsledky.
5. Dokumentáciu vypracovať v typografickom jazyku LaTeX.

Jazyk, v ktorom sa práca vypracuje: slovenský

Termín pre odovzdanie práce: 23.04.2021

Dátum zadania diplomovej práce: 30.10.2020



prof. Ing. Liberios Vokorokos, PhD.
dekan fakulty

Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že som záverečnú prácu vypracoval samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry.

Košice, 23.4.2021

.....

Vlastnoručný podpis

Podakovanie

Na tomto mieste chcem poďakovať svojmu vedúcemu záverečnej práce za jeho odborné vedenie a usmernenia pri jej vypracovaní. Zároveň ďakujem mojej rodine a blízkym priateľom za podporu, s ktorou bol celý tento proces vypracovania omnoho jednoduchší. Ďakujem všetkým 14 účastníkom experimentu za ich účasť ale zároveň aj tým ľuďom, ktorí chceli priložiť ruku k dielu, ale kvôli nepriaznivej situácii ohľadom koronavírusu tak nemohli spraviť. V neposlednom rade chcem poďakovať za to, že sme toto obdobie všetci prežili v zdraví.

Obsah

Motivácia	1
1 Formulácia úlohy	4
2 Súvisiaca práca	7
2.1 Ekologická jazda	7
2.1.1 Ekologická a bezpečná jazda	7
2.2 Typy systémov so spätnou väzbou k jazde	8
2.2.1 Spätná väzba na momentálne správanie šoféra	8
2.2.2 Akumulovaná spätná väzba	9
2.2.3 Offline spätná väzba	10
2.2.4 Rada pred jazdou	10
2.3 Zber dát z jazdy automobilom	11
2.4 Platforma enviroCar	12
2.4.1 GeoJSON	13
2.4.2 Modely pre výpočet spotreby paliva	14
3 Návrh experimentu	18
3.1 Zber dát z jazdy automobilom	18
3.2 Vzorka účastníkov	19
3.3 Priebeh experimentu	20
3.3.1 1. fáza	20
3.3.2 2. fáza	20
3.3.3 3. fáza	21
3.4 Ekologické skóre	21
3.5 Tabuľka s výsledkami	21
3.6 Odmeny	22

3.7	Odporúčania	22
4	Návrh riešenia	23
4.1	Architektúra	23
4.1.1	Základný prípad použitia	24
4.2	Zvolené technológie	25
4.2.1	Systém pre spravovanie obsahu	26
4.2.2	Komponent pre synchronizáciu dát	26
4.2.3	Klientská časť pre účastníkov	27
4.2.4	Monitorovací nástroj	28
4.2.5	Kontajnerizácia	28
4.3	Platforma enviroCar	29
4.4	Konceptuálny model	29
4.5	Používateľské rozhranie	30
4.5.1	Logo a paleta farieb	32
4.6	Autentifikácia a autorizácia prístupu	32
5	Implementácia riešenia	33
5.1	Kompozícia kontajnerov	33
5.2	Používateľské rozhranie	34
5.2.1	Rozdiely medzi jednotlivými fázami	35
5.2.2	Synchronizácia jázd	38
5.2.3	Komponenty motivačných stratégií	39
5.3	Oprávnenia a kontrola prístupu	41
5.3.1	Rola Public	41
5.3.2	Rola Authenticated	42
5.4	Synchronizácia dát s platformou enviroCar	42
5.4.1	Podmienky pre vykonanie procesu	42
5.4.2	Kroky procesu	42
5.4.3	Priebeh spracovania požiadavky v kontajneri	43
5.5	Výpočet ekologického výkonu	45
6	Realizácia experimentu	47
6.1	Nasadenie riešenia	47
6.2	Získanie účastníkov	47

6.3	Priebeh experimentu	48
6.3.1	Komunikácia s účastníkmi	48
6.3.2	Údržba systému	49
6.3.3	Monitorovanie	49
7	Dosiahnuté výsledky	51
7.1	Prehľad zozbieraných dát	51
7.2	Identifikované hrozby validity výsledkov	52
7.2.1	Malá vzorka	52
7.2.2	Viacero mätúcich faktorov	53
7.2.3	Nepresná metóda zberu dát	55
8	Interpretácia výsledkov	56
8.1	Začiatok experimentu	56
8.2	Dodržiavanie pravidiel	57
8.3	Pravidelnosť cestovania	57
8.4	Korelácie premenných	59
8.5	Porovnanie priemerných spotrieb	60
8.6	Štatistická významnosť	64
8.7	Použitelnosť systému pre experiment	65
8.8	Vedomosti ohľadom ekologickej jazdy	66
8.9	Všeobecné otázky	67
9	Návrhy pre vylepšenia	68
9.1	Prínosy práce	68
9.2	Počet účastníkov	69
9.3	Metóda zberu dát	69
9.4	Finančná podpora	70
9.5	Eliminácia mätúcich faktorov	70
10	Záver	72
	Literatúra	74
	Zoznam skratiek	79
	Slovník	81

Zoznam príloh	84
----------------------	-----------

Zoznam obrázkov

2.1	Aplikácia <i>KIWI</i>	9
2.2	Aplikácia <i>HUD Widgets</i>	9
2.3	Aplikácia <i>Jerrycan</i>	10
2.4	Aplikácia <i>Google Maps</i>	11
2.5	Zariadenie <i>ELM327</i>	12
2.6	Platforma <i>enviroCar</i>	12
2.7	Vzorka GeoJSON dát poskytnutých platformou <i>enviroCar</i>	13
4.1	Úvodný náčrt architektúry riešenia	25
4.2	Konceptuálny model návrhu riešenia	30
4.3	Postupnosť obrazoviek	31
4.4	Logo pre experiment <i>beautofuel</i>	32
5.1	Náčrt architektúry pre implementáciu riešenia s technológiami	33
5.2	Kompozícia kontajnerov	34
5.3	Obrazovka Centrála počas prvej fázy experimentu	35
5.4	Obrazovka Centrála počas druhej fázy experimentu - gamifikácia	36
5.5	Obrazovka Centrála počas druhej fázy experimentu - odmeny	37
5.6	Obrazovka Centrála počas tretej fázy experimentu	38
5.7	Panel umožňujúci vykonanie synchronizácie s platformou <i>enviroCar</i>	39
5.8	Tabuľka s výsledkami - gamifikácia	40
5.9	Štatistiky pod tabuľkou s výsledkami - gamifikácia	40
5.10	Priebeh procesu synchronizácie v kontajneri v stavovom diagrame	43
5.11	Komponenty ekologického skóre a ich podiel na celkovom skóre	45
5.12	Vizualizácia komponentov pre výpočet ekologického skóre	46

6.1	Nástenka v monitorovacom nástroji <i>Grafana</i> pre druhú fázu experimentu	50
8.1	Krabicový diagram prejdenej vzdialenosti účastníkom na jazdu vo fáze experimentu	58
8.2	Graf počtu zaznamenaných meraní účastníkom na fázu experimentu	58
8.3	Korelačná matica premenných z datasetu	60
8.4	Krabicový diagram s priemernou spotrebou na meranie na účastníka počas fázy experimentu	62
8.5	Graf s priemernou spotrebou meraní na účastníka počas fázy experimentu	63
8.6	Krabicový diagram priemernej spotreby paliva podľa motivačnej stratégie a fázy experimentu	63
8.7	Histogram znázorňujúci distribúciu nameraných hodnôt ohľadom priemernej spotreby paliva v datasete	65

Zoznam tabuliek

2.1	Dáta dostupné cez OBD meranie na každej GPS súradnici	14
2.2	Dáta dostupné cez OBD aj GPS meranie na každej GPS súradnici .	16
8.1	Porovnanie priemerných spotrieb v experimentálnych skupinách medzi fázami experimentu	61
8.2	Porovnanie priemerného ekologického skóre v experimentálnych skupinách medzi fázami experimentu	61
8.3	Zhrnutie odpovedí z dotazníkov pre overenie vedomostí ohľadom ekologickej jazdy	67

Úvod

Hlavnými zdrojmi skleníkových plynov na našej planéte sú priemyselná výroba (31%), elektrina (27%), poľnohospodárstvo (19%), budovy (7%) a transport, ktorý tvorí približne 16% celkových emisií v našej atmosfére. Aby sa ľudstvo mohlo dostať do bodu, kedy vyprodukuje nulové množstvo emisií, je potrebná bezprecedentná technologická transformácia [15].

Na znečistenie vzduchu zomrie ročne približne 7 miliónov ľudí po celom svete a 91% ľudí z celkovej svetovej populácie žije na miestach, kde kvalita vzduchu presahuje limity určené *svetovou zdravotníckou organizáciou* (WHO) [19]. Znižovanie závislosti na fosilných palivách je nutnou reakciou na vzniknutú situáciu, ktorá si vyžaduje výskum a priemyselný rozvoj.

Europská poradná rada pre výskum v cestnej doprave (ERTRAC) vo svojich strategických výskumných agendách z rokov 2004 [35], 2010 [33] a 2018 [22] navrhuje vízie a ciele pre dosiahnutie enviromentálnej udržateľnosti v rámci cestnej prepravy. Tie smerujú ku preprave, ktorá má byť do roku 2050 založená z veľkej časti čisto na obnoviteľných zdrojoch energie má minimálny negatívny dopad na životné prostredie.

Kým sa ľudstvo dostane do tohto bodu, bude musieť prejsť procesom postupnej transformácie spôsobu, akým sa prepravuje. Pokiaľ človek nemá inú možnosť prepravy, ako prostriedkom spaľujúcim fosilne palivá, môže stále svojim správaním minimalizovať negatívny dopad na životné prostredie a znížiť tým produkciu skleníkových efektov.

Čo sa týka skúseností s používaním elektromobilu dnes, vo videu [16] Tim opísal túto realitu cez vlastnú skúsenosť. Na základe nej možno povedať, že zatiaľ nie sú všetky veci jasné - kde nabíjať, nestále ceny za nabitie, rôzne mobilné aplikácie pre rôzne nabíjacie stanice alebo aj nedostačujúca infraštruktúra vo viacerých krajinách. Aj toto sú príčiny, kvôli ktorým bude výmena súčasných automobilov

trvať roky, a preto je nutné postaviť sa ku problému so znečisťovaním ovzdušia hneď teraz.

Účinnosť paliva môže byť podľa správania šoféra znížená až o 48%. Dôsledkom toho môžu byť hlavne rozhodnutia šoféra v rámci štýlu jazdy, výberu trasy, zaťaženia vozidla alebo aj kladená malá pozornosť na údržbu vozidla [25]. Zvýšenie účinnosti paliva a zníženie emisií spôsobených transportom a ich dopadu na životné prostredie môže byť dosiahnuté zlepšením strategických (napr. výber vozidla), taktických (napr. výber trasy a zaťaženie vozidla) a operačných rozhodnutí (napr. štýl jazdy) šoféra automobilu [29]. Zlepšenie správania šoféra za volantom má stále významný potenciál pre zlepšenie bezpečnosti jazdy, účinnosti paliva a pre zníženie emisií [23, 21].

V dôsledku celosvetovej pandémie COVID-19, ktorá začala v predošlom roku 2020 a pretrváva dodnes (marec 2021), v mesiacoch od začiatku januára do konca júna v roku 2020 globálne klesli emisie CO₂ o 8,8% v porovnaní s rokom 2019. V prípade pozemného transportu bolo zistené až približne 18% zníženie emisií CO₂ v tom istom období [18]. Tu vidíme, aká veľká vie byť sila strategických rozhodnutí ohľadom transportu, ktoré možno uskutočňovať aj mimo podobných nevyhnutných obmedzení.

Z pohľadu šoféra vieme racionálnymi rozhodnutiami ovplyvniť aspoň 6 oblastí, ktoré vplývajú priamo alebo nepriamo na spotrebu paliva automobilu [25]:

- Spôsob jazdy: miera akcelerácie, decelerácie, jazda na zotrvačnosť, čakanie so zapnutým resp. vypnutým motorom, výber režimu jazdy a parkovanie.
- Komfort vo vnútri vozidla: používanie klimatizácie, okien, pomocnej elektroniky.
- Plánovanie presunu: ako, kde a kedy šofér jazdí.
- Spravovanie záťaže vozidla: snaha o minimálnu záťaž a maximálnu aerodynamiku.
- Tankovanie: výber paliva, správa uzáveru palivovej nádrže, teplota pri tankovaní a frekvencia.
- Údržba: výmena oleja, výber správneho oleja, nafúkanie pneumatík, výber správnych pneumatík a starostlivosť o motor.

Gamifikáciou, za použitia elementu ako je ohodnotenie výkonu pomocou skóre, je možné motivovať pozitívne zapojenie. Je však dôležité poznamenať, že jej využitie v automobilovom priemysle môže spôsobiť pri nesprávnej implementácii vyrušenie pri šoférovaní [24], ak je spätná väzba zobrazovaná v reálnom čase.

Existuje mnoho štúdií, ktoré sa venujú optimalizácii spotreby paliva pomocou systémov vo vozidle, ktoré poskytujú rady, spätnú väzbu alebo oboje naraz a v reálnom čase [29]. Často sa stáva, že tieto systémy boli implementované s ohľadom len na optimalizáciu spotreby automobilu zanedbávajúc dôležitejšiu zložku, ktorou je bezpečnosť jazdy [26]. Oddelenie ekologického a bezpečného spôsobu jazdy však môže šoféra povzbudiť k tomu, aby svoje správanie založil len na jednom z nich [29].

Pomocou systému odmien je možné dosiahnuť až 10% zlepšenie účinnosti paliva [27]. V článku [17] výskumníci potvrdzujú užitočnosť stratégií, ako je gamifikácia v spojitosti s finančnými odmenami, pre zníženie priemernej spotreby energie v elektromobiloch. Podobný efekt by mohol byť dosiahnutý pomocou týchto stratégií aj pri benzínových a dieselových automobiloch.

Výskumníci v tomto istom článku [17] tiež navrhli, aby sa ďalší výskum v tejto oblasti zamerlal na sledovanie vzájomného vplyvu motivačných stratégií gamifikácie a odmien. V tejto záverečnej práci je vzhľadom na tento návrh zrealizovaný riadený experiment v teréne so zámerom zistiť vplyv jednotlivých motivačných stratégií na ekologickú jazdu šoféra.

1 Formulácia úlohy

V tejto záverečnej práci je potrebné navrhnuť a zrealizovať riadený experiment v teréne, ktorého cieľom je zistiť vzájomný vplyv motivančných stratégií gamifikácie a odmien na ekologické správanie šoféra za volantom. Vo všeobecnosti je po jednotlivých bodoch potrebné:

1. Analyzovať typy spätnej väzby na jazdu automobilom ako aj spôsoby zberu dát z jazdy automobilom.
2. Navrhnuť spôsob realizácie experimentu.
3. Implementovať aplikáciu pre experiment, ktorá účastníkom poskytne rozhranie pre zobrazenie motivačnej spätnej väzby pre zlepšenie ekologického správania za volantom automobilu.
4. Nájsť dostatočný počet ľudí pre realizáciu experimentu.
5. Uskutočniť experiment v záujme zozbierať dostatočné množstvo dát pre zodpovedanie výskumnej otázky.
6. Na základe zozbieraných dát uskutočniť vyhodnotenie.

Experiment bude rozdelený na 3 fázy, z ktorých každá bude trvať 2 týždne a účel jednotlivých fáz bude nasledovný:

1. fáza - zozbieranie dát o bežnej jazde automobilom každého účastníka experimentu,
2. fáza - zozbieranie dát s vplyvom motivačných stratégií gamifikácie a odmien na účastníkov experimentu v experimentálnych skupinách,
3. fáza - zozbieranie dát, na ktoré vplývali obidve motivačné stratégie súčasne.

Architektúra systému pre experiment má byť navrhnutá tak, aby bola aplikácia z pohľadu používateľa schopná zobrazovať dáta z tretej strany, ktoré účastník experimentu počas jazdy automobilom zozbiera. Systém má byť schopný tieto dáta spracovať do vhodnej podoby tak, aby mohli byť zobrazované jednotlivými motivačnými komponentmi, a aby z nich mohol byť vypočítaný ekologický výkon účastníka.

Aplikácia pre experiment má obsahovať 3 hlavné komponenty, ktoré implementujú motivačné stratégie gamifikácie a odmien: peňaženka, obchod a tabuľka s výsledkami. Používateľské rozhranie má byť implementované vo webovom rozhraní, ktoré vie používateľ zobrazovať s aktuálnymi dátami o predchádzajúcich jazdách po ukončenej jazde na akomkoľvek zariadení, a v ktorom vie interagovať s jednotlivými komponentmi.

Dodatočne má aplikácia taktiež poskytnúť komponent odporúčania. Prostredníctvom tohto komponentu sa budú používateľovi aplikácie zobrazovať tipy pre zlepšenie ekologickej jazdy. Účelom ich zobrazovania je edukovať používateľa aplikácie o možných spôsoboch zlepšenia úspory paliva.

Systém musí byť v rámci prvej fázy experimentu schopný poskytnúť používateľské rozhranie, ktoré umožní účastníkovi experimentu:

- Registrovať sa a prihlásiť sa,
- synchronizovať jeho dáta z jazdy automobilom s treťou stranou a
- zobrazovať základné informácie o jeho doterajších jazdách.

Dodatočne ku požiadavkám na systém v rámci prvej fázy experimentu musí viesť systém počas druhej fázy tiež:

- Vypočítat ekologický výkon v podobe ekologického skóre pre každú novú synchronizovanú jazdu,
- pre účastníkov v experimentálnej skupine s motivačnou stratégiou gamifikácie zobrazovať každému účastníkovi komponenty peňaženka a tabuľka s výsledkami,
- pre účastníkov v experimentálnej skupine s motivačnou stratégiou odmien zobrazovať každému účastníkovi komponenty peňaženka a obchod a

- pre všetkých účastníkov zobrazíť náhodné tipy pre zlepšenie ekologickej jazdy cez komponent odporúčania.

Počas tretej fázy experimentu budú všetkým účastníkom bez ohľadu na experimentálnu skupinu, v ktorej sa nachádzajú, poskytnuté všetky 4 komponenty systému: peňaženka, obchod, tabuľka s výsledkami a odporúčania.

Po uskutočnení experimentu je potrebné vyhodnotiť vzájomný vplyv motivačných stratégií gamifikácie a odmien na základe zozbieraných dát účastníkmi z jednotlivých fáz experimentu počas jazdy automobilom. Z pohľadu skúmanej veci bola položená výskumná otázka z článku [17], ktorá znie nasledovne: **Redukuje motivačná stratégia odmien (vonkajšia motivácia) mieru motivácie šoféra automobilu, ktorá je spôsobená motivačnou stratégiou gamifikácie (vnútorná motivácia)?** Tiež existuje nulová a alternatívna hypotéza:

0. **hypotéza** (H0): Vnútorná motivácia a vonkajšia motivácia majú rovnaký podiel na motivácii šoféra automobilu.
1. **hypotéza** (H1): Vnútorná motivácia a vonkajšia motivácia majú rozličný podiel na motivácii šoféra automobilu.

2 Súvisiaca práca

Aj v dôsledku ropnej krízy v skorých sedemdesiatych rokoch [9] a následných skokoch cien ropy koncom rovnakého desaťročia, v ktorom nastala, bol vyvinutý prvý systém so spätnou väzbou pre šoféra automobilu, aby pomohol šoférom zvýšiť úsporu paliva [38]. Hlavným motívom znížiť spotrebu paliva a optimalizovať jazdu pre dosiahnutie čo najvyššej možnej účinnosti paliva by však dnes malo byť najmä čo najväčšie zníženie negatívneho dopadu cestnej dopravy na životné prostredie kvôli globálnemu otepľovaniu.

2.1 Ekologická jazda

Ekologická jazda automobilom je jazda, ktorá je nákladovo efektívna z pohľadu spotreby paliva a vyprodukovaných emisií [29]. Spotreba paliva je celkové množstvo paliva spotrebované vozidlom na určitej trase za určitý čas [36]. Vzhľadom na to možno vyvodiť, že ekologicky jazdiaci šofér sa snaží robiť rozhodnutia na troch úrovniach (strategické, taktické a operačné [29]) tak, aby bola jeho spotreba na danej trase v danom čase čo najnižšia.

2.1.1 Ekologická a bezpečná jazda

Atiyeh Vaezipour sa vo svojej výskumnej činnosti venuje systémom vo vozidlách, ktoré zlepšujú účinnosť paliva a zároveň zvyšujú bezpečnosť počas jazdy automobilom. V [29] spomína, že existujú konflikty medzi ekologickou a bezpečnou jazdou a tiež vyjadruje znepokojenie nad systémami vo vozidlách kvôli ich negatívnemu vplyvu na bezpečnosť pri jazde.

V recenzii [29] je spomenuté aj to, že veľa praktík ohľadom ekologickej jazdy zvyšuje účinnosť spotreby paliva, ale znižuje bezpečnosť (napr. držanie konštant-

nej rýchlosti zvýši účinnosť paliva, ale môže spôsobiť neskoré brzdenie a to následne zrážku s automobilom vpredu).

Haworth a *Symmons* v [36] radia, že systémy vo vozidle nie sú vždy bezpečné pre použitie pokiaľ spôsobujú rozptýlenie vodiča automobilu. *Vaezipour* v recenzii [29] konštatuje, že väčšina systémov určených pre ekologickú jazdu sa snažilo maximalizovať enviromentálne benefity bez zvaženia potenciálnych vplyvov na bezpečnosť pri jazde, a že v mnohých štúdiách nebol efekt bezpečnosti komplexne študovaný.

2.2 Typy systémov so spätnou väzbou k jazde

Na základe [32] rozlišujeme systémy so spätnou väzbou k jazde pre šoféra automobilu v 4 základných skupinách:

1. Spätná väzba na momentálne správanie šoféra,
2. akumulovaná spätná väzba,
3. offline spätná väzba a
4. rada pred jazdou.

2.2.1 Spätná väzba na momentálne správanie šoféra

Tieto systémy vedia poskytnúť šoférovi spätnú väzbu v reálnom čase, na ktorú vie ihneď reagovať. Výhodou týchto systémov je hlavne to, že šofér v danom momente vie, že niečo konkrétne môže robiť lepšie. Nevýhodou je, že zvyšujú kognitívnu záťaž čo ohrozuje bezpečnosť jazdy, a že vedia šoféra znechutiť v dôsledku jeho neschopnosti docieľiť požadovaný výsledok [34].

Príkladmi týchto systémov sú aplikácie ako *Carot*¹ a *KIWI*² (obr. 2.1).

¹<https://carot.com> - aplikácia *Carot* (citované 20. 2. 2021)

²<https://plxdevices.com/ProductDetails.asp?ProductCode=kiwi-app> - aplikácia *KIWI* (citované 20. 2. 2021)

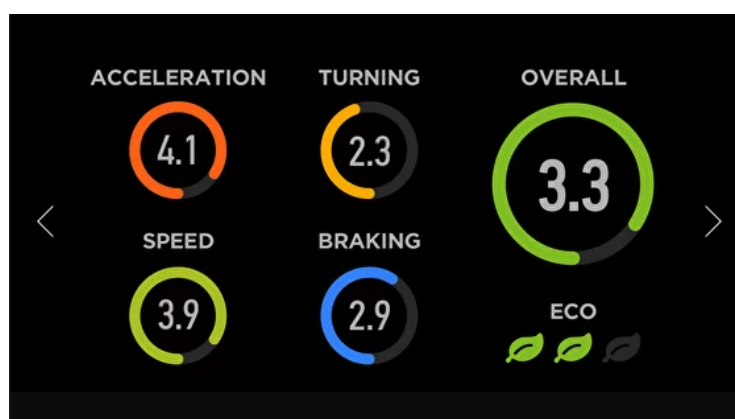


Obr. 2.1: Aplikácia KIWI

2.2.2 Akumulovaná spätná väzba

Často implementovaný spôsob je spôsob akumulovanej spätnej väzby, ktorý agreguje dáta za nejaký časový interval. Šoférovi sa väčšinou zobrazuje rozrastajúci sa list, ktorý reprezentuje jeho ekologický výkon za aktuálnu jazdu [34]. Výhodou je, že vnímanie takýchto typov systémov je počas jazdy jednoduchšie, pretože prezentované informácie si nevyžadujú vysokú pozornosť.

Príkladmi týchto systémov sú aplikácie ako *CleverDrive*³, *HUD Widgets*⁴ (obr. 2.2) a aplikácia *Eqqo*⁵.



Obr. 2.2: Aplikácia HUD Widgets

³<https://kck.st/1N2M1QA> - Kickstarter kampaň pre aplikáciu *CleverDrive* (citované 20. 2. 2021)

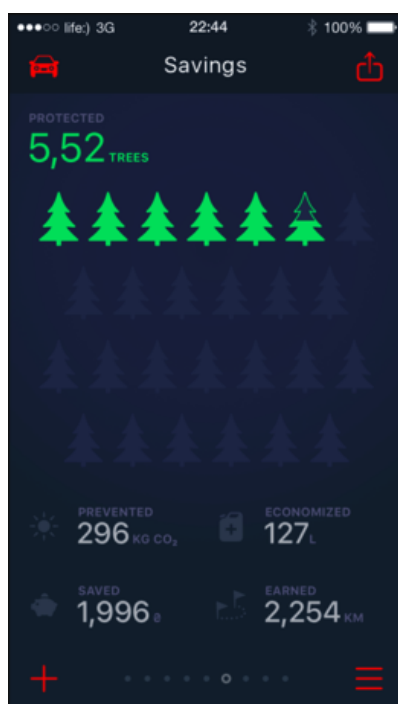
⁴<https://hudway.co/apps/widgets> - aplikácia *HUD Widgets* (citované 20. 2. 2021)

⁵<https://morgensztern.com/eqqo/> - aplikácia *Eqqo* (citované 22. 2. 2021)

2.2.3 Offline spätná väzba

Správanie šoféra za volantom je najskôr monitorované a potom analyzované za účelom zobraziť detailný pohľad na jeho výkon v rámci spotreby paliva, emisií, akcelerácie, brzdenia a vzorov radenia rýchlostí [34].

Príkladmi takýchto systémov sú aplikácie ako *Jerrycan*⁶ (obr. 2.3), *Fuelio*⁷ a aplikácia *Drivvo*⁸.



Obr. 2.3: Aplikácia *Jerrycan*

2.2.4 Rada pred jazdou

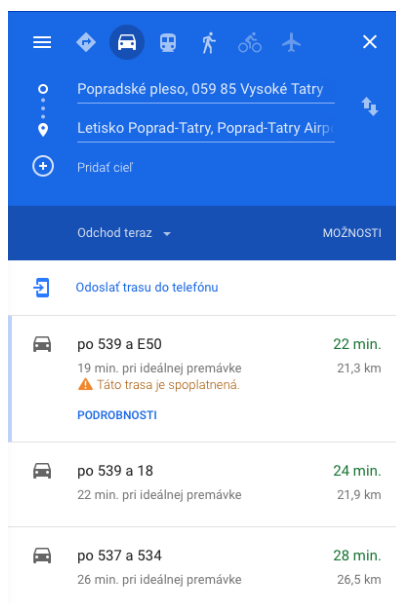
Existuje skupina systémov, ktoré poskytujú alternatívne cesty zohľadňujúc vzdialenosť, čas cestovania alebo optimalizáciu spotreby paliva [34] v záujme vybrať tú najvhodnejšiu pre danú situáciu.

⁶<https://jerrycan.io> - aplikácia *Jerrycan* (citované 22. 2. 2021)

⁷<https://fuel.io> - aplikácia *Fuelio* (citované 22. 2. 2021)

⁸<https://drivvo.com> - aplikácia *Drivvo* (citované 22. 2. 2021)

Príkladom takej aplikácie môže byť aplikácia *Google Maps*⁹ alebo *Mapy.cz*¹⁰.



Obr. 2.4: Aplikácia *Google Maps*

2.3 Zber dát z jazdy automobilom

Začiatkom sedemdesiatych rokov začali výrobcovia áut používať elektronické prostriedky pre kontrolu funkcií motora a diagnostiku problémov. Hlavný dôvod tohto trendu bolo dodržanie noriem ohľadom emisií [31]. Aj niektoré aplikácie spomenuté v predošlej sekcii (*Carot*, *KIWI*, *CleverDrive* a *JerryCan*) používajú pre zber dát z jazdy automobilom rozhranie OBD, ktoré je štandardom od roku 2001 (benzín) a 2004 (diesel) pre automobily vyrobené v Európskej únii.

Na obrázku 2.5 je zariadenie ELM327, ktoré komunikuje prostredníctvom technológie Bluetooth s diagnostickým nástrojom. Tento nástroj je často smartfón s aplikáciou, ktorá podporuje jeden z komunikačných protokolov alebo špecializovaný diagnostický nástroj. Väčšina automobilov v Európskej únii používa pre komunikáciu protokol definovaný štandardom *ISO 9141*.

⁹<https://google.com/maps> - aplikácia *Google Maps* (citované 22. 2. 2021)

¹⁰<https://mapy.cz> - aplikácia *Mapy.cz* (citované 22. 2. 2021)



Obr. 2.5: Zariadenie ELM327

2.4 Platforma enviroCar

Platforma *enviroCar* [20] (obr. 2.6) poskytuje webovú a mobilnú aplikáciu pre zber, zdieľanie a analyzovanie dát z jazdy automobilom. Softvér poskytovaný touto platformou je dostupný ako softvér s otvoreným zdrojovým kódom¹¹ a každý môže prispieť ku vylepšeniam tejto platformy.



Obr. 2.6: Platforma *enviroCar*

¹¹<https://github.com/enviroCar> - organizácia *enviroCar* na GitHub-e (citované 31. 1. 2021)

Podľa záznamov v hlavných vetvách na projektoch pre mobilnú aplikáciu a serverovú časť sa ich v roku 2021 do dátumu 31. 1. uskutočnilo spolu 16 z čoho vyplýva, že platforma je stále aktívne udržiavaná a vyvíjaná. Na blogu¹² spoločnosti *52north*, ktorá stojí za platformou, sa stále píše o novinkách a budúcnosti platformy, čo je tiež známkou záujmu udržať ju relevantnú.

2.4.1 GeoJSON

Platforma poskytuje dáta z jazdy automobilom cez svoje REST API ku každej jazde, ktoré sú v štandardizovanom formáte GeoJSON¹³, ktorého zjednodušený vzor možno vidieť na obrázku 2.7.

```

1  {
2      "type": "FeatureCollection",
3      "features": [
4          {
5              "type": "Feature",
6              "geometry": {
7                  "type": "Point",
8                  "coordinates": [
9                      20.251572857741145,
10                     49.12581430648967
11                 ]
12             }
13         },
14         ...
15     ]
16 }
```

Obr. 2.7: Vzorka GeoJSON dát poskytnutých platformou *enviroCar*

Každá jazda je reprezentovaná GeoJSON kolekciou typu *FeatureCollection*, ktorá obsahuje GPS súradnice v zozname typu *Feature*. Každá jazda obsahuje

¹²<https://blog.52north.org/category/envirocar-2/> - blog organizácie *52north* (citované 31. 1. 2021)

¹³<https://geojson.org> - štandardizovaný formát GeoJSON (citované 22. 2. 2021)

metadáta v *properties*, ktorých rozsah a presnosť závisia na režime, akým bola daná trasa nahraná (OBD alebo GPS).

2.4.2 Modely pre výpočet spotreby paliva

Mobilná aplikácia *enviroCar* je schopná zbierať dáta z jazdy automobilom buď prostredníctvom OBD, ktoré je aktívne pripojené počas jazdy na smartfón šoféra, alebo čisto pomocou GPS súradníc, ktoré poskytuje smartfón cez svoj senzor. Aplikácia vie vypočítať spotrebu paliva v oboch prípadoch meraní prostredníctvom modelov, ktoré sú implementované na strane *enviroCar* [14].

Spotreba paliva odvodená z dát OBD merania

Meranie pomocou OBD poskytne presné dáta priamo z centrálnej riadiacej jednotky (ECU) automobilu a na každej zaznamenanej GPS súradnici *enviroCar* poskytuje všetky dáta zobrazené v tabuľke 2.1.

údaj	jednotka
zaťaženie motora	%
teplota nasávaného vzduchu	stupne Celzia
otáčky motora	$\frac{u}{min}$
CO2 emisie	$\frac{kg}{h}$
příjem tlaku	kPa
hmotnostný prietok vzduchu	$\frac{g}{s}$
rýchlosť	$\frac{km}{h}$
spotreba	$\frac{L}{h}$
pozícia plynového pedála	%

Tabuľka 2.1: Dáta dostupné cez OBD meranie na každej GPS súradnici

Nakoľko spotreba paliva nie je dostupná priamo cez rozhranie OBD, nasledujúca rovnica je použitá pri výpočte okamžitej spotreby paliva Q_{OBD} , ktorá je odvodená z OBD dát [14]:

$$Q_{OBD} = \frac{\dot{m}_{air}}{C_{sto} \cdot \rho_{fuel} \cdot \lambda_{ER}}$$

Kde:

- $\dot{m}_{air}$ je nameraný hmotnostný prietok vzduchu ($\frac{g}{s}$),
- C_{sto} je hustota hmoty (vzhľadom na benzín alebo diesel),
- ρ_{fuel} je stechiometrický pomer vzduch-palivo (vzhľadom na benzín alebo diesel) a
- λ_{ER} je pomer rovnosti vzduch-palivo (vzhľadom na benzín alebo diesel).

Hmotnostný prietok vzduchu $\dot{m}_{air}$ je vypočítaný nasledovne [14]:

$$\dot{m}_{air} = \frac{p \cdot n}{T} \cdot \eta_{vol} \cdot \frac{V_{engine} \cdot M_{air}}{R}$$

Kde:

- p je absolútny tlak v potrubí (kPa , z OBD),
- n sú otáčky za minútu (z OBD),
- T je teplota nasávaného vzduchu (stupne Celzia, z OBD),
- η_{vol} je objemová účinnosť ($\frac{V_{real}}{V_{theo, max}}$, 85%),
- V_{engine} je objem motora (L , z registrovaného auta na *enviroCar*),
- M_{air} je molárna hmota ($28,9644 \frac{kg}{mol}$) a
- R je plynová konštanta ($\frac{kg \cdot m^2}{s^2 \cdot mol \cdot K}$).

Spotreba paliva odvodená z dát GPS merania

Meranie pomocou GPS poskytne o niečo nepresnejšie dáta vzhľadom na to, že reálne dáta z ECU automobilu nie sú známe. Na každej zaznamenanej GPS súradnici *enviroCar* poskytne všetky dáta zobrazené v tabuľke 2.2. Tieto dáta sú poskytnuté aj v prípade OBD meraní ku dátam z tabuľky 2.1.

údaj	jednotka
CO2 emisie (z GPS)	$\frac{kg}{h}$
rýchlosť (z GPS)	$\frac{km}{h}$
spotreba (z GPS)	$\frac{L}{h}$
presnosť GPS	%
nadmorská výška	m
azimut	stupne

Tabuľka 2.2: Dáta dostupné cez OBD aj GPS meranie na každej GPS súradnici

Nasledujúca rovnica je založená na zaťažení a zohľadňuje okamžitý výkon, ktorý motor poskytne na prekonanie jazdného odporu. Spotreba paliva Q_{GPS} , ktorá je odvodená z GPS dát [14], sa vypočíta nasledovne:

$$Q_{GPS} = \frac{P}{H \cdot \eta}$$

Kde:

- P je výkon (kW)
- H je kalorifická hodnota ($8,8 \frac{kWh}{L}$ pre benzín a $9,9 \frac{kWh}{L}$ pre diesel) a
- η je účinnosť motora.

Výkon P je vypočítaný nasledovne [14]:

$$\begin{aligned}
 P &= F_{\text{driving}} \cdot v = \\
 &= (F_D + F_R + F_C + F_I) \cdot v = \\
 &= \left[\frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho_{\text{air}} \cdot v^2 + m \cdot g \cdot c_R \cos(\theta) + m \cdot g \cdot \sin(\theta) + m \cdot a \right] \cdot v
 \end{aligned}$$

Kde:

- F_{driving} je jazdný odpor zložený z aerodynamického odporu (F_D), valivého odporu (F_R), odporu zo stúpania (F_C) a odporu zo zotrvačnosti (F_I),
- v je rýchlosť vozidla ($\frac{km}{h}$, z GPS),
- a je zrýchlenie ($\frac{km}{h}$ za sekundu, vypočítané z rýchlosti),

- θ je uhol sklonu cesty (stupne, vypočítané z GPS súradníc a nadmorskej výšky),
- A je prierezová plocha v smere jazdy ($1,55 \text{ m} \cdot 1,7 \text{ m}$),
- ρ_{air} je hustota vzduchu ($1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$),
- g je gravitačné zrýchlenie ($9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$),
- m je hmotnosť vozidla (1500 kg),
- c_w je koeficient odporu vzduchu (0,3) a
- c_r je koeficient valivého odporu (0,02).

Účinnosť motora η je vypočítaná nasledovne [14]:

$$\eta = \frac{(\eta_{\max} - \eta_{\min}) \cdot F_{\text{driving}}}{4000 \text{ N}} + \eta_{\min} - \frac{(\eta_{\max} - \eta_{\min}) \cdot (-2000 \text{ N})}{4000 \text{ N}}$$

Kde:

- $\eta_{\min}$ je 0,1 pre benzín aj diesel, a
- $\eta_{\max}$ je 0,4 pre benzín a 0,43 pre diesel.

3 Návrh experimentu

Cieľom tohto výskumu je pokračovať na základe výskumu v článku [17] a zistiť vzájomný vplyv motivačných stratégií gamifikácie a odmien. V uvedenom výskume bolo navrhnuté, aby nasledujúci výskum pokračoval práve touto cestou. Pre zodpovedanie výskumnej otázky z kapitoly 1 som zostavil riadený experiment v teréne, ktorý bude prebiehať v 3 fázach:

1. fáza - 2 týždne (31. 1. 2021 - 13. 2. 2021) - slúži pre získanie baseline dát o jazde účastníka experimentu, ktoré budú použité pri výpočte ekologického skóre.
2. fáza - 2 týždne (14. 2. 2021 - 27. 2. 2021) - rozdelenie účastníkov do 2 skupín, pričom každej skupine je poskytnutá iná motivačná stratégia.
3. fáza - 2 týždne (28. 2. 2021 - 14. 3. 2021) - použitie oboch motivačných stratégií súčasne v jednej skupine so všetkými účastníkmi.

Počas experimentu sú získavané dáta z jazdy automobilom prostredníctvom mobilnej aplikácie *enviroCar*, ktoré je každý účastník povinný synchronizovať v systéme pre experiment. Po uskutočnení experimentu je vykonané porovnanie dát z jednotlivých fáz experimentu za účelom zistiť vzájomnú účinnosť motivačných stratégií.

3.1 Zber dát z jazdy automobilom

Pôvodne som zamýšľal prístup zberu dát založený na rozhraní OBD, kde by šofér vložil do príslušného vstupu v automobile zariadenie ELM327, ktoré by cez technológiu Bluetooth odosielalo informácie do smartfónu a ten dáta označil ča-

sovou pečiatkou a GPS súradnicami prostredníctvom aplikácie *enviroCar*¹. Tento spôsob zberu dát by poskytol najpresnejšie dáta a účastníkom experimentu by v tom prípade mohol byť každý, kto:

- Vlastní smartfón s operačným systémom Android vo verzii 5.0 (Lollipop) a vyššie,
- vlastní automobil, ktorého motor spaľuje benzín alebo naftu,
- často jazdí s týmto automobilom na tom istom úseku trasy v priebehu trvania celého experimentu a
- jazdí automobilom, ktorý podporuje rozhranie OBD-II - automobil z roku 2001 a novší (benzín) alebo 2004 a novší (diesel)².

Nastali však komplikácie pri komunikácii medzi rôznymi typmi mobilných zariadení a automobilmi. V dôsledku neúspechu realizácie pripojenia medzi automobilom a smartfónom nebolo v mnohých prípadoch možné meranie v mobilnej aplikácii *enviroCar* zapnúť. Za účelom otestovať spoľahlivosť tohto spôsobu zberu dát bolo nameraných 19 jazd a odskúšaných 10 zariadení ELM327 vo verzii 1.5 (4x) a tiež 2.1 (6x) medzi 5 rôznymi smartfónmi a 3 rôznymi automobilmi.

Vzľadom na technické komplikácie s pripojením som sa rozhodol, že merania budú uskutočnené prostredníctvom GPS bez pripojenia na zariadenie ELM327. V dôsledku tohto kompromisu budú zozbierané dáta z jazdy automobilom menej presné v porovnaní s dátami, ktoré by boli zozbierané pôvodne zamýšľaným prístupom prostredníctvom OBD.

3.2 Vzorka účastníkov

Je potrebné osloviť šoférov, z ktorých každý, ktorý sa chce zúčasť experimentu, musí spĺňať nasledujúce podmienky:

- Vlastní smartfón s operačným systémom Android vo verzii 5.0 (Lollipop) a vyššie,

¹<https://play.google.com/store/apps/details?id=org.envirocar.app> - aplikácia *enviroCar* v obchode Google Play (citované 17. 2. 2021)

²https://en.wikipedia.org/wiki/On-board_diagnostics#History - história rozhrania OBD (citované 17. 2. 2021)

- vlastní automobil, ktorého motor spaľuje benzín alebo naftu a
- často jazdí s týmto automobилоm na tom istom úseku trasy v priebehu trvania celého experimentu.

V dôsledku toho, aký spôsob zberu dát z jazdy automobилоm som zvolil, budem schopný osloviť omnoho väčší počet ľudí vzhľadom na to, že nie som obmedzený počtom zariadení ELM327, ktoré som zaobstaral (10) a ani tým, že môžu nastať nečakané problémy pri komunikácii týchto zariadení medzi automobilmami a smartfónmi. V dôsledku pandémie koronavírusu je tento spôsob realizácie tiež vyhovujúcejší, nakoľko sa nevyžaduje osobné stretnutie s účastníkmi experimentu pre dodanie zariadenia ELM327 a postačí inštrukcia na diaľku.

3.3 Priebeh experimentu

Vzhľadom na to, že je experiment rozdelený na 3 fázy, pred začiatkom každej fázy budú účastníci experimentu e-mailovo informovaní o detailoch danej fázy experimentu. Taktiež im bude poskytnutý dokument s prehľadom danej fázy experimentu a používateľská príručka, ktorá im bude vedieť pomôcť s úvodnými nastaveniami mobilnej aplikácie *enviroCar* a s vykonaním prvotných krokov.

3.3.1 1. fáza

Pred prvou fázou experimentu sa každý účastník registruje v systéme pre experiment. Počas trvania tejto fázy experimentu je potrebné zbierať dáta z jazdy automobилоm a tie nahrávať na server *enviroCar* z tretej strany.

Účastník experimentu si bude vedieť v používateľskom rozhraní systému pre experiment zobrazíť zoznam jazd, ktoré uskutočnil a tiež dodatočné štatistiky. Počas tejto fázy experimentu systém pre experiment neplní žiadnu významnú úlohu v rámci motivácie pre zlepšenie ekologickej jazdy. Charakter poskytovaných informácií počas tejto fázy je čisto informančný a nie motivačný.

3.3.2 2. fáza

Účastníci experimentu budú v tejto fáze experimentu rozdelení do dvoch experimentálnych skupín:

1. skupina, ktorej je v používateľskom rozhraní systému pre experiment poskytnutá **motivačná stratégia gamifikácie** v podobe tabuľky s výsledkami.
2. skupina, ktorej je v používateľskom rozhraní systému pre experiment poskytnutá **motivačná stratégia odmien**, pomocou ktorej si môžu vymeniť ekologické skóre z každej jazdy na nízku spotrebu.

Účastníkom v oboch skupinách sa nezávisle od prítomnej motivačnej stratégie v danej skupine poskytujú aj odporúčania pre zefektívnenie ekologickej jazdy, ktoré vedia šoféri aplikovať pred jazdou, počas jazdy alebo po jazde automobilom.

3.3.3 3. fáza

Počas tretej fázy experimentu majú všetci účastníci experimentu rovnaké podmienky čo znamená, že vedia v systéme pre experiment nakupovať odmeny a zároveň vedia zobrazíť aj tabuľku s výsledkami, čím sú všetkým poskytnuté obidve motivačné stratégie.

3.4 Ekologické skóre

Ekologické skóre bude vypočítané porovnaním dát z novej jazdy v 2. alebo 3. fáze experimentu s baseline dátami z 1. fázy experimentu, počas ktorej neboli účastníci pod vplyvom žiadnej motivačnej stratégie. Systém pre experiment bude mať samostatný komponent ako mikroslužbu, ktorá bude uskutočňovať tento výpočet v čase synchronizácie nových jász počas 2. a 3. fázy experimentu s platformou *enviroCar*.

3.5 Tabuľka s výsledkami

Tabuľka s výsledkami je súčasťou motivačnej stratégie gamifikácie. Používateľ systému pre experiment si vie zobrazíť rebríček najlepších ekologicky jazdiacich šoférov počas experimentu. Na konci 2. a 3. fázy experimentu budú prví traja odmenení nasledovne:

1. miesto: 60 kusov kroviek,
2. miesto: 40 kusov kroviek,

3. miesto: 20 kusov kroviek.

3.6 Odmeny

V obchode vie účastník experimentu utrátiť svoje kredity pri nákupoch kroviek. Kredity sú reprezentované ekologickým skóre, ktoré vie šofér získať za ekologickú jazdu. Účastníci si budú vedieť kúpiť krovky na váhu a tie im budú doručené po ukončení experimentu, akonáhle bude situácia ohľadom COVID-19 prijateľná.

Množstvo odmien, ktoré je schopný šofér za jednu jazdu dostať, závisí od konverzného kurzu, ktorý je definovaný pomerom najvyššieho ekologického výkonu ku množstvu kroviek. Tento konverzný kurz je nastavený na 100:5 čo znamená, že za dosiahnuté najvyššie ekologické skóre (100) za jazdu vie šofér získať 5 kroviek. V používateľskom rozhraní v histórii jazd bude používateľ vedieť jednotlivo premieňať ekologické skóre za každú jazdu na odmeny.

3.7 Odporúčania

Odporúčania majú za cieľ zlepšiť vedomosti každého účastníka experimentu ohľadom ekologickej jazdy. Po ukončení každej fázy experimentu budú účastníci vyzvaní vyplniť krátky dotazník, ktorý obsahuje 3 otázky na overenie ich vedomostí. Z odpovedí bude možné zistiť, či sa vedomosti účastníka experimentu ohľadom ekologickej jazdy časom zlepšili.

Vedomosti o úspornej jazde sú veľmi dôležité pri znižovaní spotreby a zvyšovaní účinnosti paliva. Odporúčania v systéme pre experiment môžu účastníkom experimentu pomôcť zlepšiť ich ekologickú jazdu činnosťami, ktoré je možné vykonať pred jazdou (napr. výber správnych pneumatík alebo zaťaženie vozidla), počas jazdy (napr. miera akcelerácie alebo jazda na voľnobeh) a po jazde (napr. údržba vozidla).

4 Návrh riešenia

Pre realizáciu experimentu je potrebné navrhnuť a implementovať systém pre experiment, pomocou ktorého sa bude účastníkom zobrazovať motivácia prostredníctvom 3 komponentov, ktoré poskytnú implementácie jednotlivých motivačných stratégií - peňaženka, obchod (odmeny) a tabuľka s výsledkami (gamifikácia). Ako už bolo spomenuté v kapitole 3, experiment sa realizuje v 3 fázach. Aplikácia bude implementovaná s ohľadom na zmeny jednotlivých fáz experimentu a špecifické požiadavky, ktoré každá z nich má.

4.1 Architektúra

Architektúra riešenia má umožniť spracovanie dát z tretej strany *enviroCar* a tiež zobrazenie spracovaných dát účastníkom v používateľskom rozhraní, v ktorom môžu vykonávať akcie v spojitosti s motivačnými stratégiami gamifikácie a odmen. Vzhľadom na tieto požiadavky je potrebné poskytnúť:

- Komponent systému pre experiment, ktorý poskytne klientskú časť pre účastníkov, do ktorej môžu vstúpiť po úspešnej autentifikácii. V klientskej časti bude vedieť každý účastník synchronizovať svoje namerané jazdy a vykonávať rôzne akcie v spojitosti s komponentmi motivačných stratégií.
- Komponent systému pre experiment, ktorý bude zodpovedný za vykonávanie synchronizácie dát s treťou stranou *enviroCar*, a ktorý v tomto procese bude vedieť vypočítať aj ekologický výkon pre každú novú synchronizovanú jazdu v druhej a tretej fáze experimentu.
- Komponent systému pre experiment, ktorý bude zodpovedný za spravovanie obsahu (CMS) - používatelia, synchronizované jazdy, stavy peňaženiek a ďalší obsah.

- Databázu, ktorá bude uchovávať všetky dáta systému pre experiment.
- Nástroj pre monitorovanie dát v reálnom čase, ktorý mne ako organizátorovi experimentu, umožní jednoducho sledovať a kontrolovať priebeh experimentu.

4.1.1 Základný prípad použitia

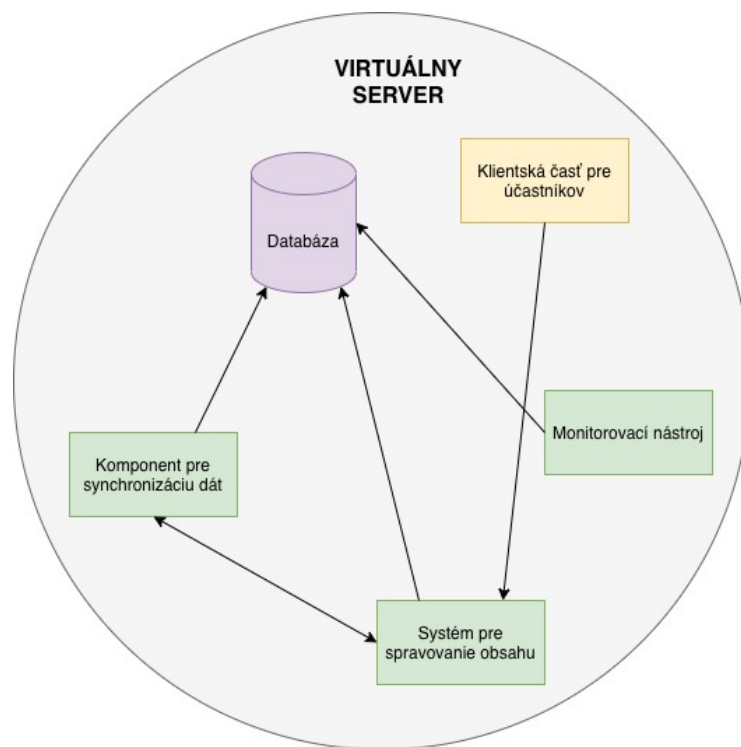
Úvodný náčrt architektúry riešenia na obrázku 4.1 vychádza zo základného prípadu použitia systému pre experiment, ktorého priebeh je popísaný nasledovnými krokmi:

1. Účastník experimentu komunikuje s platformou *enviroCar* prostredníctvom mobilnej aplikácie, ktorú používa počas jazdy automobilom na zaznamenanie dát z jazdy automobilom.
2. Po ukončení jazdy dáta nahrá na server *enviroCar*.
3. Prihlási sa do systému pre experiment a nové dáta z jazdy automobilom zosynchronizuje so serverom *enviroCar*, čím sú sprístupnené pre spracovanie.
4. Dáta sú v procese synchronizácie spracované a uložené do databázy v systéme pre experiment.
5. Používateľské rozhranie je po úspešnej synchronizácii aktualizované s novými dátami. Na základe práve prebiehajúcej fázy experimentu vie používateľ v systéme vykonávať interakcie. V rámci komponentu odmeny vie účastník získať odmeny za jazdu, kde dosiahol dostatočné ekologické skóre pre získanie odmeny, a v rámci komponentu tabuľka s výsledkami vie používateľ zobrazíť svoj priemerný ekologický výkon medzi ostatnými účastníkmi.

Architektúra riešenia je postavená na princípe separácie zámerov, čo prakticky znamená to, že každý komponent je zodpovedný za istú časť celku a spolu ho dotvárajú. To prináša okrem iných aj nasledujúce výhody:

- Programátor sa v riešení ľahšie zorientuje, čo zaručí zníženie komplexity pri implementovaní prípadných modifikácií systému v budúcnosti.
- Organizácia implementácie okolo biznisových pravidiel a nie rámcov, ktoré ich implementujú.

- Separácia zámerov umožňuje kedykoľvek jednoducho zameniť jednotlivé komponenty za iné.
- Jednoduchšia škálovateľnosť riešenia.



Obr. 4.1: Úvodný náčrt architektúry riešenia

4.2 Zvolené technológie

Na základe úvodného náčrtu architektúry riešenia z obrázka 4.1 v tomto štádiu viem povedať, že systém pre experiment je zložený zo 4 samostatných aplikácií a 1 databázy. Pri výbere technológií som určil priority nasledovne:

1. Technológia s otvoreným zdrojovým kódom a aktívnou komunitou viacerých prispievateľov má prednosť.
2. V oddelenej (z angl. decoupled) architektúre chcem mať headless CMS, ktoré sa stará len o implementácie pre dátovú logiku (z angl. model) a riadiaci model (z angl. controller) z MVC architekturného princípu. Týmto bude môcť byť klientská časť pre účastníkov tiež oddelená od zvyšku systému a kedykoľvek zameniteľná.

3. Komponent pre synchronizáciu dát má byť implementovaný v programovacom jazyku Python kvôli jeho excelentným schopnostiam v prípade spracovania dát a dostupných pomocných knižníc pre spracovanie a analyzovanie dát z platformy *enviroCar*¹²³.

4.2.1 Systém pre spravovanie obsahu

CMS je v systéme pre experiment zodpovedné za realizovanie dopytov, ktoré na neho prichádzajú zo strany účastníka cez klientskú časť a zo strany komponentu pre synchronizáciu dát. V súčasnosti je dostupný, hlavne kvôli evolúcii softvérových systémov do architekturného princípu Jamstack, veľmi široký výber⁴, z ktorých sú najpopulárnejšie tieto tri riešenia s otvoreným zdrojovým kódom: *Ghost*⁵, *Strapi*⁶ a *Netlify CMS*⁷.

Z uvedených riešení som sa rozhodol pre *Strapi* kvôli tomu, že s ním už mám predošlú skúsenosť a viem, že bude vhodné pre tento prípad použitia. Toto headless CMS umožňuje namodelovať obsah, prispôbovať riadiaci model, vytvárať REST API na mieru a veľa ďalších. *Strapi* som sa rozhodol použiť s databázovým riešením *MongoDB*⁸ ako nerelačnou databázou.

4.2.2 Komponent pre synchronizáciu dát

Komponent pre synchronizáciu dát má vedieť komunikovať s REST API na platforme *enviroCar*, aby bolo možné synchronizovať dáta účastníkov. Počas 2. a 3. fázy experimentu bude tento komponent na základe algoritmu pre ekologický výkon

¹<https://github.com/enviroCar/envirocar-py> - knižnica s pomocnými funkciami pre dopyty na *enviroCar* API (citované 23. 2. 2021)

²https://github.com/imkeines/eda_quality - knižnica s funkciami pre čistenie a spracovanie *enviroCar* dát (citované 23. 2. 2021)

³<https://github.com/MartinPontius/vehicle-eco-balance> - knižnica s funkciami pre analýzu *enviroCar* dát (citované 23. 2. 2021)

⁴<https://jamstack.org/headless-cms/> - zoznam populárnych headless CMS (citované 23. 2. 2021)

⁵<https://github.com/TryGhost/Ghost> - headless CMS *Ghost* (citované 23. 2. 2021)

⁶<https://github.com/strapi/strapi> - headless CMS *Strapi* (citované 23. 2. 2021)

⁷<https://github.com/netlify/netlify-cms> - headless CMS *Netlify CMS* (citované 23. 2. 2021)

⁸<https://mongodb.com> - nerelačná databáza *MongoDB* (citované 24. 2. 2021)

vypočítavať ekologické skóre pre každú novú jazdu. Okrem komunikácie s *enviroCar* bude komunikovať aj s CMS pre získavanie dát a pridávanie nových jazd.

Vzhľadom na obmedzenie, ktoré som si stanovil na úvode sekcie č. 4.2, som sa rozhodol implementovať komponent v softvérovom rámci *FastAPI*⁹. Vo výbere rámca *FastAPI* namiesto rámca *Flask*¹⁰ zavážila prehľadná dokumentácia, jednoduchá implementácia API a údajný výkon rámca ako takého.

4.2.3 Klientská časť pre účastníkov

Účastníkovi má byť umožnené kedykoľvek po ukončení svojej jazdy synchronizovať nové namerané dáta do systému pre experiment. Z dôvodu umožniť pristupovať na klientskú časť kedykoľvek a nezávisle od zariadenia, na ktorom sa účastník v danom momente nachádza, bude implementovaná v podobe webovej aplikácie.

V súčasnosti existujú rôzne metarámce, ktoré riešia mnoho problémov pri implementácii komplexnejších webových aplikácií tzv. "out of the box". Najpopulárnejšie a najrozšírenejšie metarámce v súčasnosti¹¹ sú *Next.js*¹² (rámec *React.js*¹³) a *Nuxt.js*¹⁴ (rámec *Vue.js*¹⁵). Ten istý problém sa dá vyriešiť rovnako dobre s oboma alternatívami, ktoré poskytujú "routing" zo súborového systému, SEO (Search Engine Optimization), Server-Side Rendering (SSR), Client-Side Rendering (CSR) a veľa ďalších dobrých vlastností. Ja som sa rozhodol pre metarámec *Next.js* kvôli tomu, že s rámcom *React.js* mám 3 roky skúseností.

Komunikáciu s CMS budem realizovať prostredníctvom dopytového jazyka *GraphQL*¹⁶ kvôli "out of the box" vlastnostiam ako re-fetching, caching, stav načítavania a chybový stav. Tieto vlastnosti poskytuje *React.js* klient *Apollo GraphQL*¹⁷.

Pre štylovanie webovej aplikácie použijem metodológiu "utility-first"¹⁸, ktorú

⁹<https://fastapi.tiangolo.com> - rámec *FastAPI* (citované 24. 2. 2021)

¹⁰<https://flask.palletsprojects.com> - rámec *Flask* (citované 24. 2. 2021)

¹¹<https://2020.stateofjs.com/en-US/technologies/front-end-frameworks/> - obľúbenosť rámcov klientských častí v súčasnosti (citované 24. 2. 2021)

¹²<https://nextjs.org> - metarámec *Next.js* (citované 24. 2. 2021)

¹³<https://reactjs.org> - rámec *React.js* (citované 24. 2. 2021)

¹⁴<https://nuxtjs.org> - metarámec *Nuxt.js* (citované 24. 2. 2021)

¹⁵<https://vuejs.org> - rámec *Vue.js* (citované 24. 2. 2021)

¹⁶<https://graphql.org> - dopytový jazyk *GraphQL* (citované 24. 2. 2021)

¹⁷<https://apollographql.com/docs/react/> - *React.js GraphQL* klient *Apollo GraphQL* (citované 24. 2. 2021)

¹⁸<https://2020.stateofcss.com/en-US/technologies/methodologies/> - CSS metodologie (citované 24. 2. 2021)

implementuje rámec *TailwindCSS*¹⁹. Rámec má mnoho užitočných vlastností ako jednotné API pre celý dizajnový systém, *PurgeCSS* pre zredukovanie veľkosti CSS v produkcii na minimum, responzívne triedy, generovanie tried na mieru a mnoho ďalších.

4.2.4 Monitorovací nástroj

V záujme monitorovať priebeh celého experimentu a interpretovať dáta časových radov z jazdy automobilom v podobe rôznych grafov v reálnom čase bude v architektúre riešenia použitá *Grafana*²⁰ ako monitorovací nástroj. V prehľadom rozhraní nástroja je jednoduché vytvoriť pohľady nad dátami, ktoré umožnia ich jednoduchú analýzu v čase trvania experimentu ale aj neskôr.

Vzhľadom na to, že *MongoDB*²¹ je platený plugin v databáze pluginov nástroja *Grafana*, som nútený použiť v architektúre riešenia druhú databázu pre účel monitorovania dát. Databáza pre dáta časových radov *InfluxDB*²² je v nástroji *Grafana* natívne podporovaná a tiež má dobre zdokumentované klientske knižnice pre programovacie jazyky Python²³ aj JavaScript²⁴, ktoré vo svojom riešení používam. Z týchto dôvodov som sa pre ňu rozhodol.

4.2.5 Kontajnerizácia

Vhodná technológia pre implementáciu architektúry z obrázka 4.1 je *Docker*²⁵, ktorý umožňuje jednoduché spravovanie kontajnerov ako izolovaných aplikácií. Tie je možné spustiť nezávisle od operačného systému, ktorý sa používa na hostiteľskom počítači.

Pre tento účel sa zide nástroj *Docker Compose*²⁶, ktorý je určený práve na definovanie a spustenie kontajnerizovaných aplikácií s viacerými kontajnermi. Vytvo-

¹⁹<https://tailwindcss.com> - CSS rámec *TailwindCSS* (citované 24. 2. 2021)

²⁰<https://grafana.com> - monitorovací nástroj *Grafana* (citované 24. 2. 2021)

²¹<https://grafana.com/grafana/plugins/grafana-mongodb-datasource> - *Grafana* plugin *MongoDB* (citované 24. 2. 2021)

²²<https://influxdata.com> - databáza pre dáta časových radov *InfluxDB* (citované 24. 2. 2021)

²³<https://influxdb-python.readthedocs.io> - Python klient pre *InfluxDB* (citované 24. 2. 2021)

²⁴<https://github.com/influxdata/influxdb-client-js> - *JavaScript* klient pre *InfluxDB* (citované 24. 2. 2021)

²⁵<https://docker.com> - *Docker* (citované 23. 2. 2021)

²⁶<https://docs.docker.com/compose> - *Docker Compose* (citované 23. 2. 2021)

rením konfiguračného súboru `docker-compose.yml` je možné spustiť celé riešenie jedným príkazom `docker-compose up` z priečinka, kde sa tento konfiguračný súbor nachádza. *Docker Compose* umožňuje aj jednoduché oddelenie prostredia pre vývoj od prostredia pre produkciu tým, že sa každému prostrediu definuje vlastný *docker-compose.yml* súbor.

Pre vyššie uvedené dôvody som sa rozhodol, že architektúru riešenia budem kontajnerizovať. V dôsledku tohto rozhodnutia je veľmi jednoduché spustiť aplikáciu na vzdialenom virtuálnom serveri, kde bude počas experimentu spustená.

4.3 Platforma enviroCar

Pre získanie dát z jazdy automobilom bude použitá už existujúca platforma *enviroCar*²⁷, ktorá poskytuje webovú aj mobilnú aplikáciu. Mobilná aplikácia vie získavať dáta z jazdy automobilom buď cez rozhranie OBD vo vozidle, alebo prostredníctvom funkcie GPS track, ktorá nevyžaduje dodatočné zariadenie ELM327 pre získanie dát. Ako som už spomenul v sekcii 3.1, z technických príčin som sa rozhodol uskutočniť zber dát na základe GPS meraní.

Platforma poskytuje REST API²⁸, cez ktoré je možné získať dáta od šoféra. Táto požiadavka na *enviroCar* server musí obsahovať správne hlavičky²⁹ `X-User` a `X-Token`. Po úvodnej analýze *enviroCar* REST API som zistil, že `X-Token` z hlavičky požiadavky je heslo pre prihlásenie používateľa do svojho *enviroCar* účtu. Z tohto dôvodu a bezpečnostných dôvodov bude musieť účastník zadávať svoje *enviroCar* heslo pri každej synchronizácii dát v systéme pre experiment.

4.4 Konceptuálny model

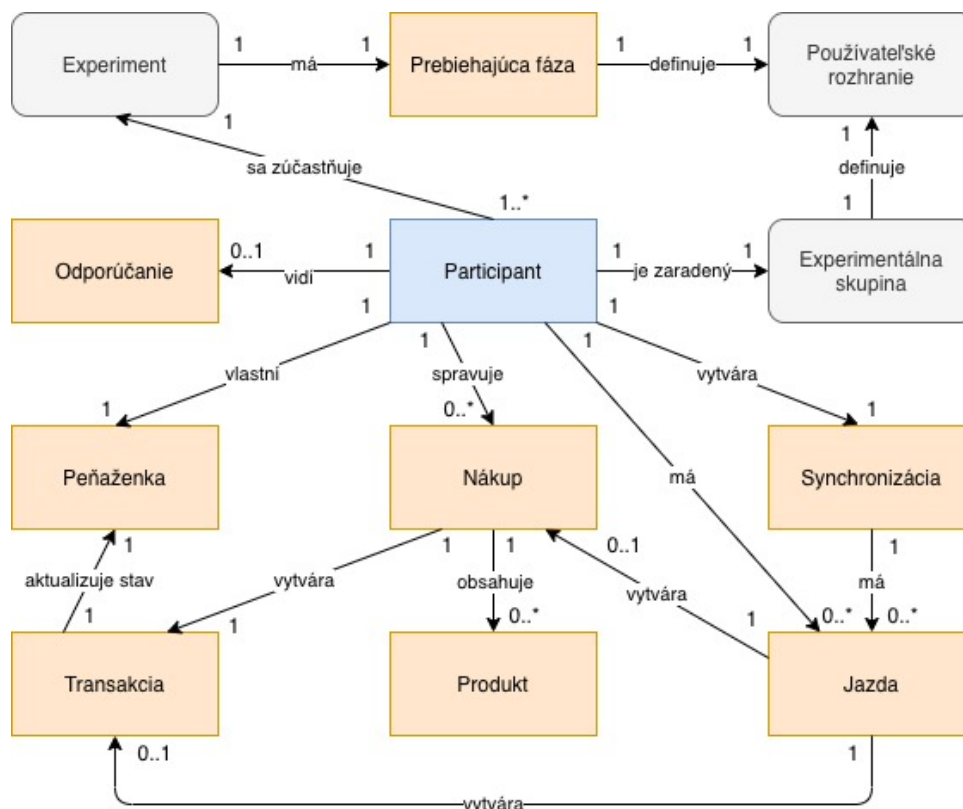
Modelovanie typov obsahu je vďaka pluginu *Content-Types Builder* v CMS *Strapi* veľmi jednoduché. Plugin poskytuje WYSIWYG editor, v ktorom je možné vytvoriť typ obsahu a priradiť mu polia rôznych typov.

²⁷<https://envirocar.org> - platforma *enviroCar* (citované 17. 2. 2021)

²⁸<https://envirocar.github.io/enviroCar-server/api/> - *enviroCar* API (citované 24. 2. 2021)

²⁹<https://envirocar.github.io/enviroCar-server/api/authentication> - autentifikovaná požiadavka na *enviroCar* server (citované 24. 2. 2021)

Konceptuálny model, ktorý je na obrázku 4.2, znázorňuje vzťahy objektov v systéme pre experiment. Hranaté objekty sú typy obsahu modelované v CMS *Strapi* a okrúhle objekty sú len abstraktné objekty a reálne v CMS nie sú reprezentované žiadnym typom obsahu, ale pomáhajú lepšie pochopiť koncept celého systému. Oranžové objekty sú modelované typy obsahu a participant je typ obsahu vytvorený natívnym pluginom *Roles & Permissions* z CMS *Strapi*.



Obr. 4.2: Konceptuálny model návrhu riešenia

4.5 Používateľské rozhranie

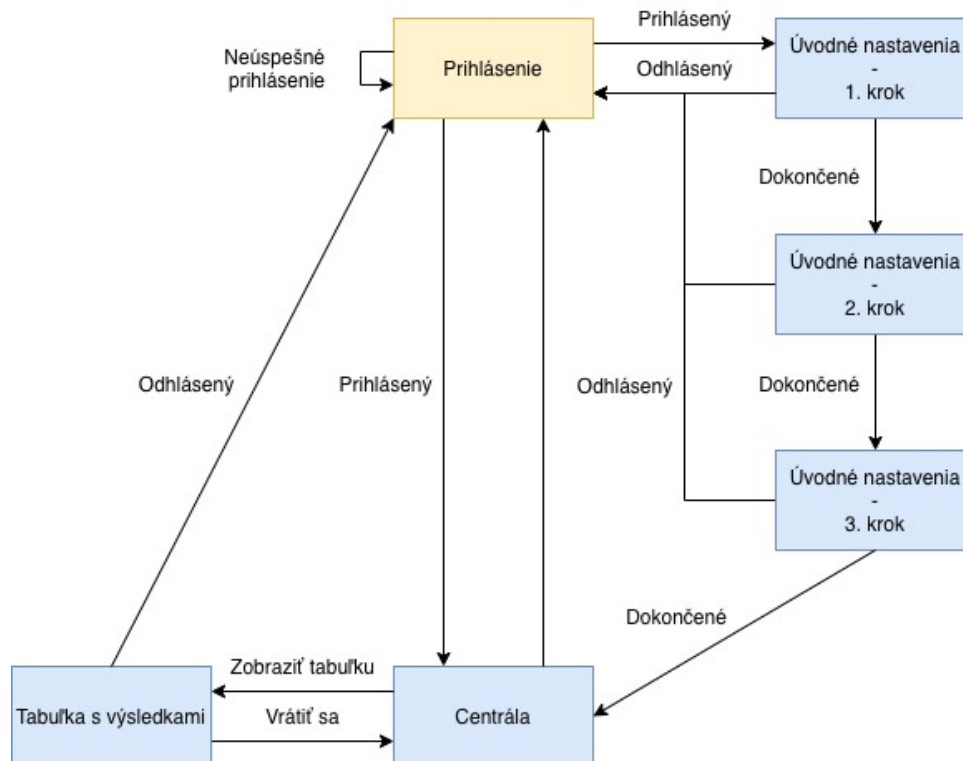
Používateľské rozhranie bude pozostávať celkovo zo 6 obrazoviek a tie sú:

- Prihlásenie: Obrazovka, ktorá sa používateľovi zobrazí v prípade, že ešte nie je prihlásený. Na tejto obrazovke sa bude vedieť používateľ registrovať a prihlásiť do systému pre experiment.
- Úvodné nastavenia - 1. krok: Na tejto obrazovke používateľ skontroluje svoje osobné údaje a vyplní prezývku, pod ktorou sa bude zobrazovať ostatným

šoférom v tabuľke s výsledkami.

- Úvodné nastavenia - 2. krok: Obrazovka, na ktorej účastník spáruje svoj *enviroCar* účet so svojím účtom v systéme pre experiment.
- Úvodné nastavenia - 3. krok: Posledný krok úvodných nastavení, v ktorom používateľ súhlasí so spracovávaním dát pre účely realizácie a vyhodnotenia experimentu.
- Centrála: Centrálna obrazovka systému, na ktorej používateľ bude vidieť históriu svojich jazd, stav ekologického skóre, svoje poradie medzi všetkými ekologickými šoférmi, odporúčania a množstvo získaných odmien. Z tejto obrazovky používateľ bude vedieť vykonávať aj synchronizácie jazd.
- Tabuľka s výsledkami: Obrazovka, na ktorej bude možno vidieť 10 najlepších ekologických šoférov zoradených na základe priemerného ekologického skóre. Táto obrazovka je verejná a môže byť zdieľaná s ľuďmi mimo experiment, aby sa mohli šoféri pochváliť svojim výkonom.

Postupnosť spomenutých obrazoviek je na obrázku 4.3.



Obr. 4.3: Postupnosť obrazoviek

4.5.1 Logo a paleta farieb

Vzhľadom na to, že celý výskum je orientovaný na životné prostredie, zvolil som farby zelenú a modrú našej planéty Zem ako primárnu a sekundárnu farbu pre značku experimentu. Experiment nesie tiež svoj krycí názov *beautofuel* [bēôdôfyool] (odvodené z angl. beautiful), ktorý bude referencovaný v komunikácii s účastníkmi experimentu. Na obrázku 4.4 je logo experimentu vo zvolených farbách:

- Zelená: #0891b2
- Modrá: #059669



Obr. 4.4: Logo pre experiment *beautofuel*

4.6 Autentifikácia a autorizácia prístupu

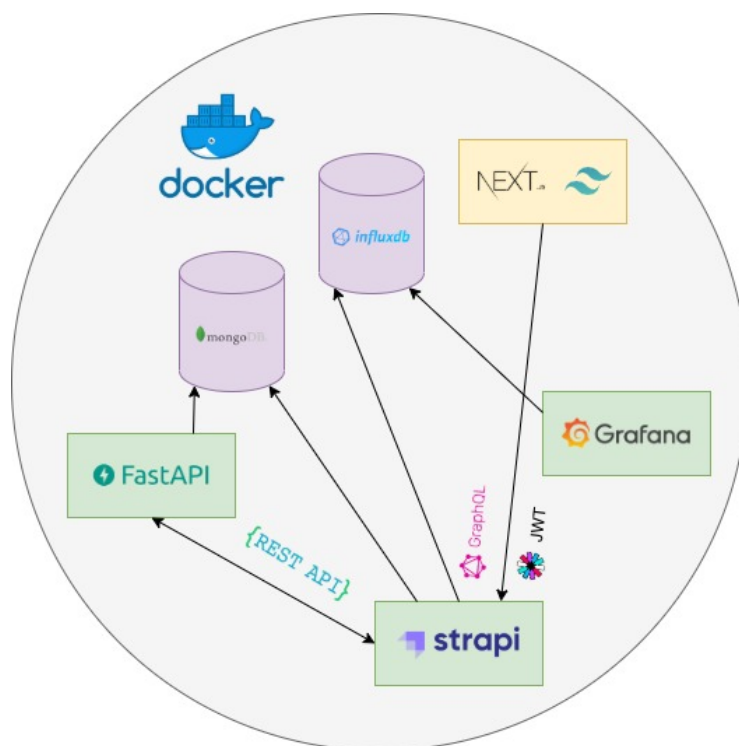
Systém pre experiment má byť dostupný len pre účastníkov experimentu a práve z tohto dôvodu je potrebné, aby mal každý účastník vytvorený svoj účet, ktorým môže do systému pristúpiť. Prístup k informáciám uloženým v CMS *Strapi* musí obmedzený len na oprávnené osoby.

Strapi po inštalácii predvolene obsahuje plugin *Roles & Permissions*, ktorý poskytuje spôsob ochrany svojich API založený na štandarde RFC 7519 JSON Web Token³⁰ (JWT). Plugin tiež poskytuje stratégiu ACL (Access-Control List), ktorá umožňuje spravovať povolenia medzi skupinami používateľov. Tento plugin a JWT štandard použijem pri implementácii autentifikácie a autorizácie prístupu.

³⁰<https://jwt.io> - JSON Web Token štandard RFC 7519 (citované 25. 2. 2021)

5 Implementácia riešenia

Vzhľadom na zvolené technológie pre implementáciu systému pre experiment v predošlej kapitole 4 bude riešenie vyzeráť tak, ako je to znázornené na obrázku 5.1. V tejto sekcii bude popísaný postup pri implementácii riešenia vo zvolených technológiách.

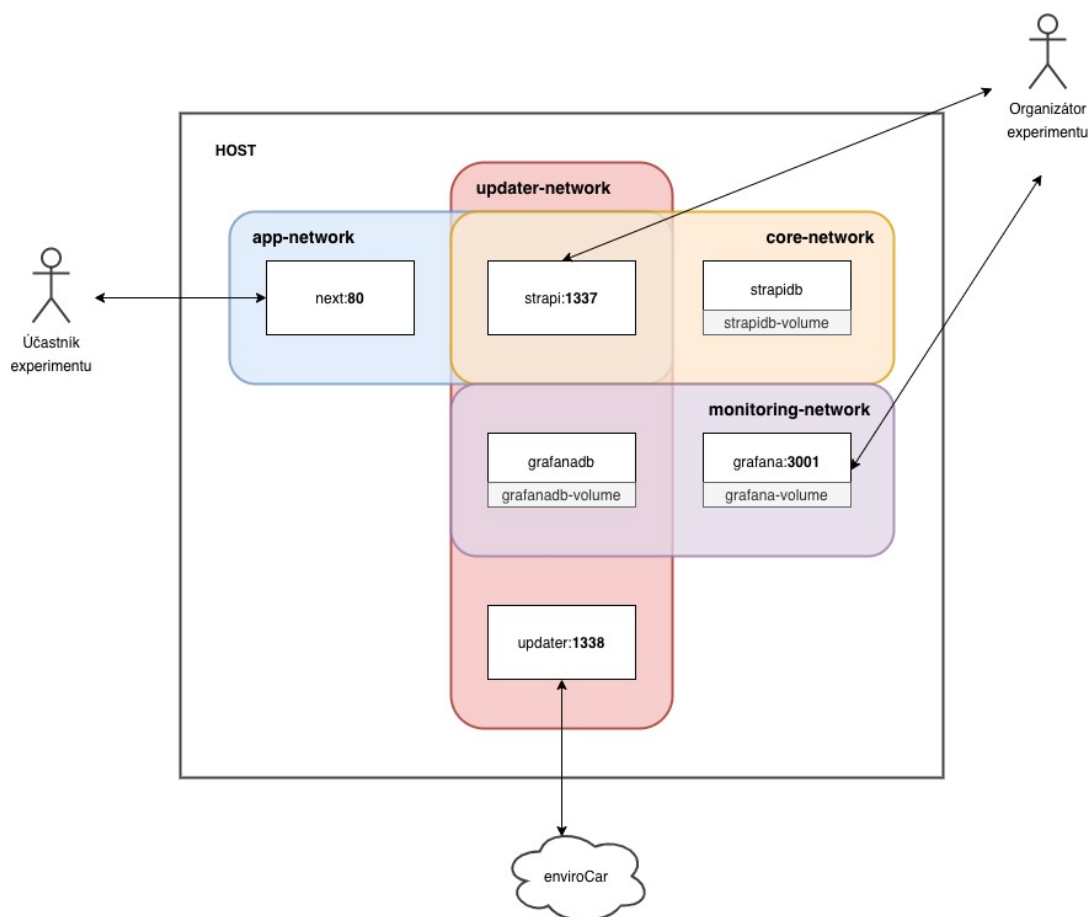


Obr. 5.1: Náčrt architektúry pre implementáciu riešenia s technológiami

5.1 Kompozícia kontajnerov

Pomocou nástroja *Docker Compose* bola definovaná kompozícia kontajnerov, ktorá je znázornená na obrázku 5.2. V tejto štruktúre existujú 4 siete *updater-network*,

app-network, core-network a monitoring-network. Vonkajšiemu svetu sú otvorené porty 80 (next - klientská časť), 1337 (strapi - CMS), 1338 (updater - komponent pre synchronizáciu dát) a 3001 (grafana - monitorovací nástroj). Aby bolo možné dáta uchovať, kontajnery strapidb, grafanadb a grafana majú svoje vlastné volumes.



Obr. 5.2: Kompozícia kontajnerov

5.2 Používateľské rozhranie

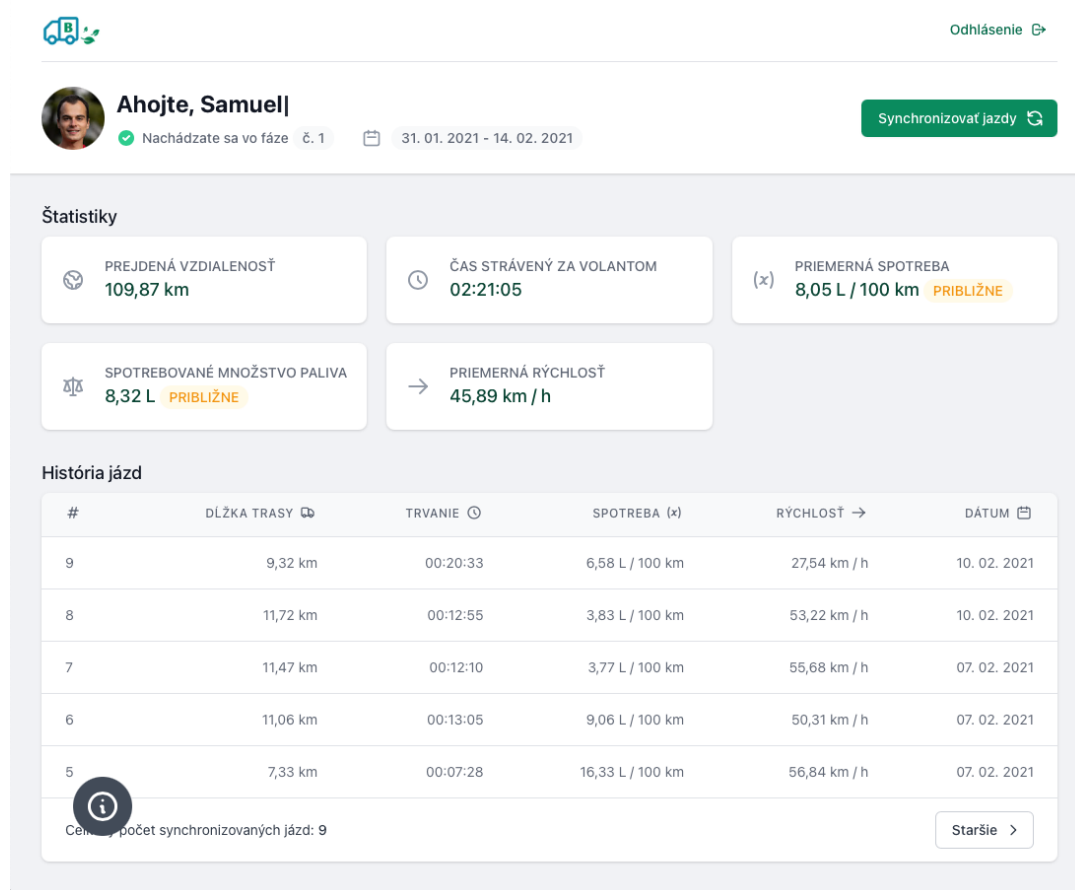
Ako už bolo spomenuté pri návrhu používateľského rozhrania v sekcii 4.5, to sa skladá zo 6 obrazoviek. Používateľ je povinný po prvom prihlásení prejsť procesom úvodných nastavení a následne mu má byť umožnený pohyb medzi obrazovkami Centrála a Tabuľka s výsledkami z obrázka 4.3. Používateľské rozhranie je tiež responzívne kvôli tomu, že dnes používatelia bežne pristupujú na web z mobilných zariadení.

5.2.1 Rozdiely medzi jednotlivými fázami

Vykresľovanie používateľského rozhrania závisí od práve prebiehajúcej fázy experimentu. Počas druhej fázy experimentu závisí aj od experimentálnej skupiny, do ktorej je účastník zaradený. To vyplýva aj z konceptuálneho modelu na obrázku 4.2. V sekcii 3.3 sú definované požiadavky na používateľské rozhranie pre jednotlivé fázy experimentu, na základe ktorých je implementované.

1. fáza

Obrazovka Centrála počas prvej fázy experimentu je na obrázku 5.3. Používateľovi sa zobrazujú štatistiky a história jazd, a zároveň vie po stlačení tlačidla "Synchronizovať jazdy" uskutočniť novú synchronizáciu jazd s platformou *enviroCar*.



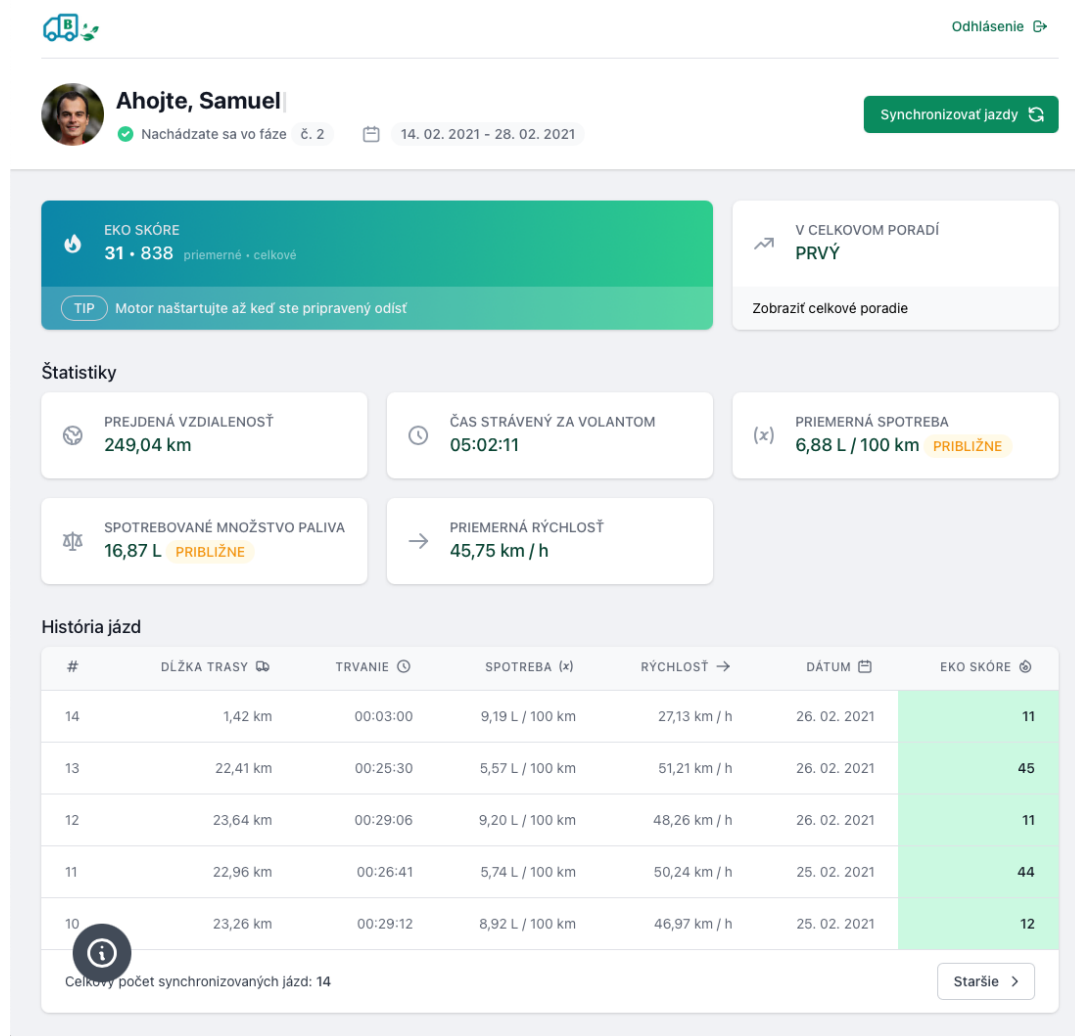
Obr. 5.3: Obrazovka Centrála počas prvej fázy experimentu

2. fáza

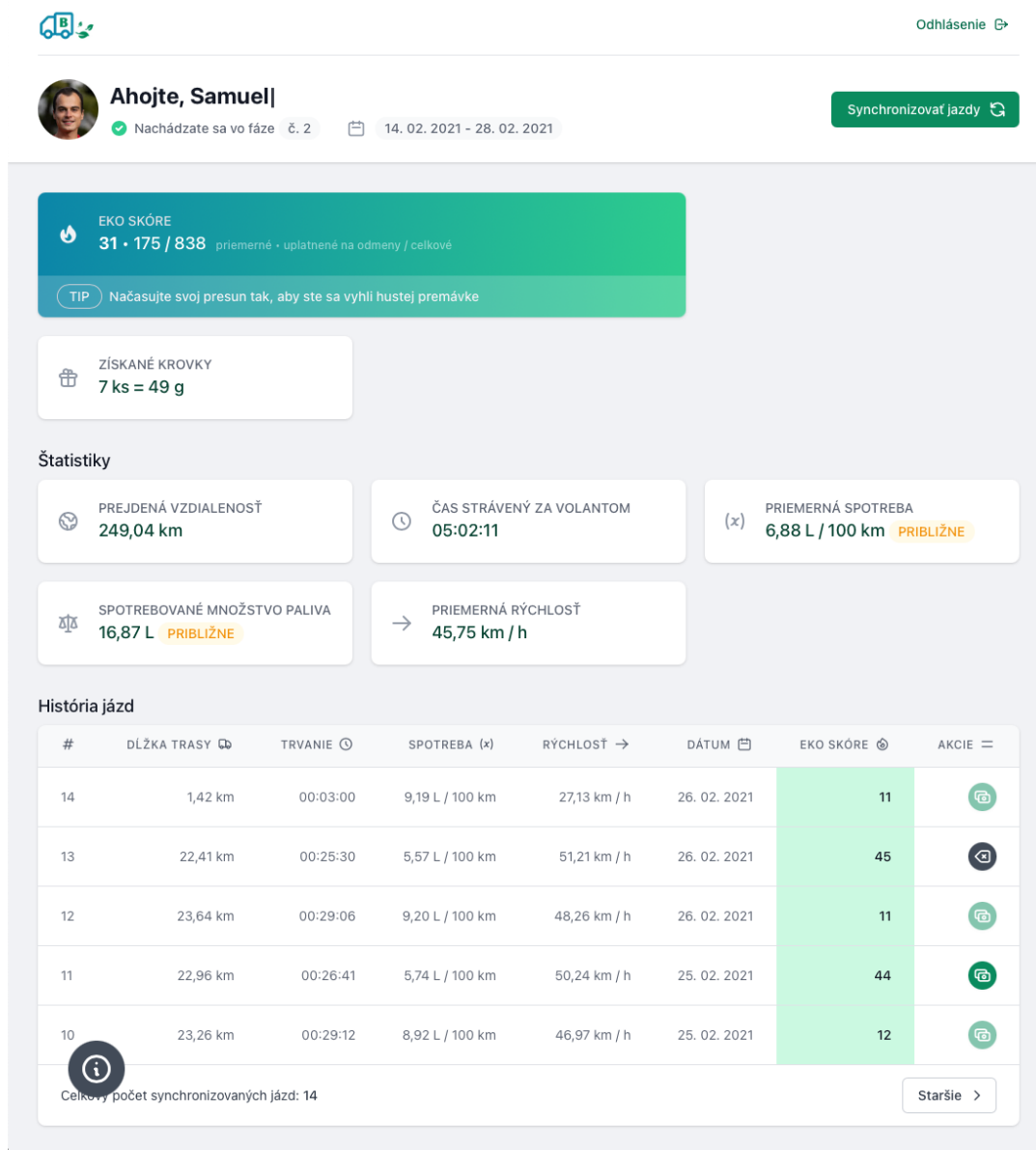
Používateľské rozhranie počas druhej fázy experimentu je definované okrem požiadaviek na fázu aj experimentálnou skupinou, do ktorej je účastník zaradený. Preto obrazovka Centrála má dva varianty:

- Variant pre experimentálnu skupinu s motivačnou stratégiou gamifikácie na obrázku 5.4.
- Variant pre experimentálnu skupinu s motivačnou stratégiou odmienu na obrázku 5.5.

Experimentálnej skupine s motivačnou stratégiou gamifikácie je umožnené zobraziť aj tabuľku s výsledkami.



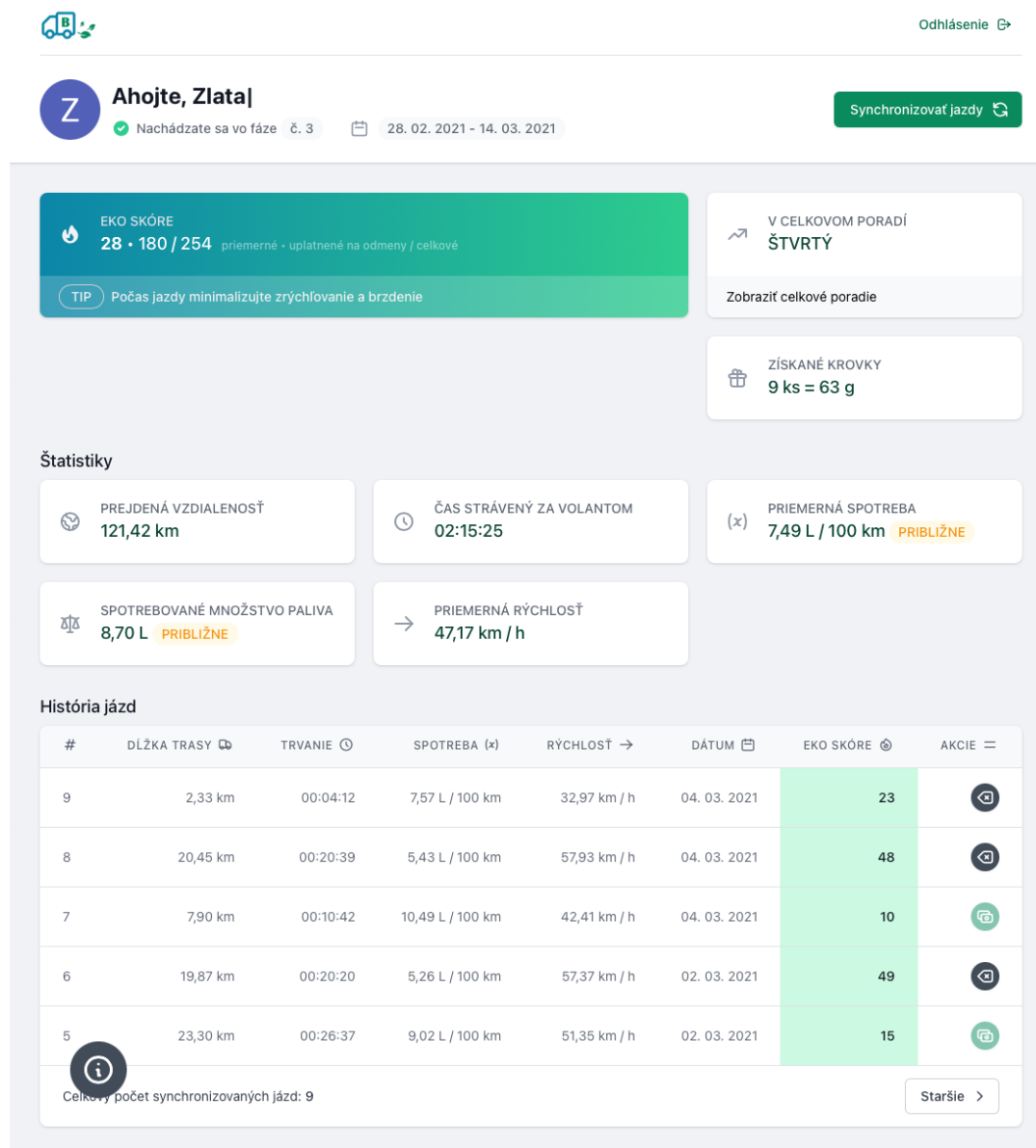
Obr. 5.4: Obrazovka Centrála počas druhej fázy experimentu - gamifikácia



Obr. 5.5: Obrazovka Centrála počas druhej fázy experimentu - odmeny

3. fáza

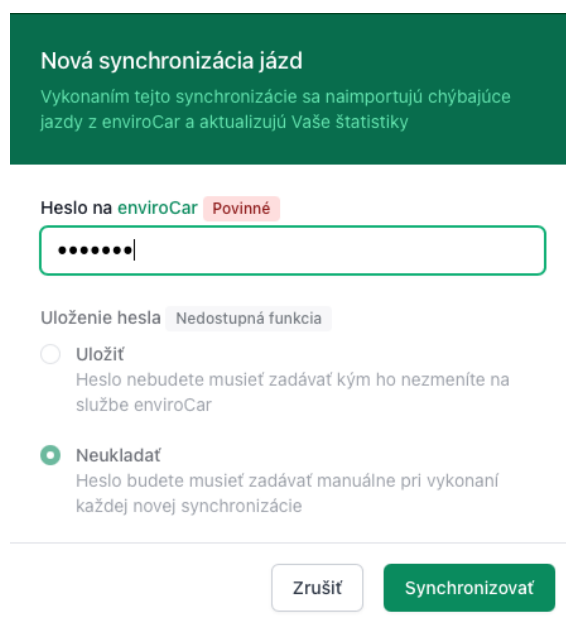
Počas tretej fázy experimentu sa nerobí rozdiel v zobrazovaní používateľského rozhrania na základe experimentálnej skupiny, do ktorej je účastník zaradený. Všetkým používateľom sa zobrazuje všetko a obrazovku Centrála počas tretej fázy experimentu je vidieť na obrázku 5.6.



Obr. 5.6: Obrazovka Centrála počas tretej fázy experimentu

5.2.2 Synchronizácia jász

Pomocou panela na obrázku 5.7, ktorý sa vysunie z boku po kliknutí na tlačidlo "Synchronizácia jász" na obrazovke Centrála, je možné vykonať synchronizáciu jász s platformou *enviroCar*. Používateľ po zadaní svojho hesla na platforme *enviroCar* a stlačení tlačidla "Synchronizovať" vie uskutočniť túto synchronizáciu.



Nová synchronizácia jász

Vykonaním tejto synchronizácie sa naimportujú chýbajúce jazdy z enviroCar a aktualizujú Vaše štatistiky

Heslo na enviroCar **Povinné**

•••••

Uloženie hesla Nedostupná funkcia

☐ Uložiť
Heslo nebudete musieť zadávať kým ho nezmeníte na službe enviroCar

☒ Neukladať
Heslo budete musieť zadávať manuálne pri vykonaní každej novej synchronizácie

Zrušiť Synchronizovať

Obr. 5.7: Panel umožňujúci vykonanie synchronizácie s platformou *enviroCar*

5.2.3 Komponenty motivačných stratégií

Na začiatku kapitoly 4 som spomenul, že komponenty peňaženka, obchod a tabuľka s výsledkami poskytnú implementácie jednotlivých motivačných stratégií. Ekologické skóre je základom pre ich implementáciu. Počas druhej a tretej fázy experimentu sa účastníkom zobazuje stav ich ekologického skóre v modrozele-nom paneli na obrazovke Centrála.

Gamifikácia

Na obrázku 5.8 je znázornená tabuľka s výsledkami a na obrázku 5.9 štatistiky, ktoré sa nachádzajú priamo pod ňou na tej istej stránke. Šoféri sú v tabuľke zoradení podľa ich priemerného ekologického skóre, ktoré dosiahli za ich jazdy. Svoje poradie môžu tiež vnímať na obrazovke Centrála na obrázku 5.6, kde sa zobrazuje panel s ich pozíciou v celkovom poradí. Na obrázku 5.6 je dole vidno históriu jász, v ktorej sa zobrazuje pri každej jazde ekologické skóre v zelenom stĺpci. Toto skóre spolu s tabuľkou implementujú motivačnú stratégiu gamifikácie.



Top 10 ekologických šoférov

Po dobu 2 týždňov sa šoféri snažia jazdiť úsporne a nakonci budú najlepší traja z nich sladko odmenení za svoj ekologický výkon

#	ŠOFÉR	PRÍEMERNÉ EKO SKÓRE
1	DoubleD	62
2	Timotej	54
3	Miroslav1987	37
4	Aranka	28
5	Dusanstolarcik	24
6	kundratdavid	24
7	ZuzanaR	21
8	Repo	20
9	jadzman95	13
10	jakubrencko	11

Obr. 5.8: Tabuľka s výsledkami - gamifikácia

Celkové štatistiky

Po dobu 2 týždňov medzi sebou účastníci experimentu súťažia v ekologickej jazde automobilom

461,59 km

Spolu najazdené

29

Priemerné ekologické skóre

28,53 L

Spotrebované množstvo paliva

08:39:53

Celkový čas za volantom

Obr. 5.9: Štatistiky pod tabuľkou s výsledkami - gamifikácia

Odmeny

Ekologické skóre slúži v prípade motivačnej stratégie odmien aj ako kredit, ktorý môžu účastníci použiť pre nákupy v komponente obchod. Komponent obchod je reprezentovaný akciami (na obrázku 5.6 zelené a šedé tlačidlá) "Vymeň" a "Vráť" v histórii jazd pri každej jazde. Účastník vie vymeniť ekologické skóre za odmeny a tiež vie odmeny vrátiť, čo reprezentuje spomínaný komponent obchod. Množstvo odmien v nákupe je definované pomerom ekologického výkonu ku odmenám, ktorý je konštantný (napríklad za 2. jazdu v poradí v histórii jazd na obrázku 5.5 účastník dostal po vykonaní akcie "Vymeň" 1 krovku pri konverznom kurze 100:4).

5.3 Oprávnenia a kontrola prístupu

Ako som spomenul v sekcii 4.6, CMS *Strapi* predvolene obsahuje plugin *Roles & Permissions* pre spravovanie rolí a oprávnení pre prístup k obsahu, ktorý CMS sprostredkúva zo zvolenej databázy. Bezplatná verzia *Strapi* umožňuje vytvorenie 3 rolí¹. Ja si vystačím s dvoma - používateľ systému pre experiment môže byť buď *Public* alebo *Authenticated*.

Pre vykonanie autentifikácie používateľa používam na klientskej časti balík *NextAuth.js* ², ktorý sa stará o validácie JWT, automatické revalidácie JWT, spravovanie cookies a ďalšie. Po úspešnej autentifikácii používateľ získa dvojicu tokenov *accessToken* a *refreshToken*, pomocou ktorých vie pristupovať ku zabezpečeným REST API CMS *Strapi* a vykonávať povolené CRUD operácie.

5.3.1 Rola Public

Neautentifikovaný používateľ vie v systéme zobrazíť len stránku, kde sa nachádza tabuľka s výsledkami a celkové štatistiky zo všetkých jazd šoférov počas danej fázy experimentu.

¹<https://strapi.io/pricing> - cena *Strapi* (citované 1. 3. 2021)

²<https://next-auth.js.org> - balík *NextAuth.js* (citované 1. 3. 2021)

5.3.2 Rola Authenticated

Autentifikovaný používateľ môže vytvárať nové synchronizácie, zobrazíť históriu svojich jazd, vykonávať akcie "Vymeň" a "Vráť" pri svojich jazdách, zobrazovať stav svojej peňaženky, vidieť odporúčania a vidieť svoje poradie medzi ostatnými šoférmi.

5.4 Synchronizácia dát s platformou enviroCar

Proces synchronizácie je kľúčovým, nakoľko práve prostredníctvom neho sa do systému pre experiment dostávajú dáta z jazdy automobilom, na základe ktorých je zobrazovaná spätná väzba pre účastníkov. Tento proces zabezpečí, že jazdy nahrané na serveri *enviroCar* sa budú nachádzať aj v systéme pre experiment.

5.4.1 Podmienky pre vykonanie procesu

Pre uskutočnenie synchronizácie musia byť splnené nasledujúce podmienky:

- Účastník musí mať dokončené úvodné nastavenia,
- nemôže prebiehať žiadna iná synchronizácia a
- účastník musí zadať správne heslo z platformy *enviroCar*.

5.4.2 Kroky procesu

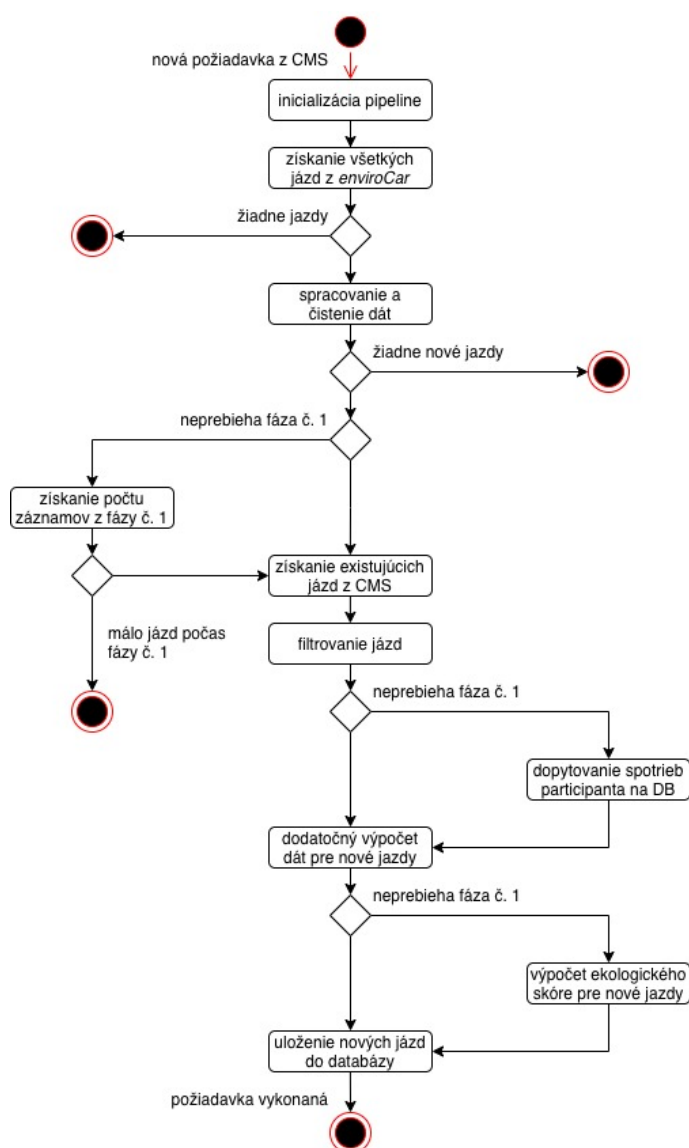
Proces synchronizácie pozostáva z nasledujúcich krokov:

1. Účastník zadá svoje heslo z platformy *enviroCar* v používateľskom rozhraní (obrázok 5.7). Heslo potrebuje zadať z toho dôvodu, že to sa vyžaduje pre prístup ku jeho dátam na platforme, ako som spomenul v sekcii 4.3.
2. Na strane CMS prebehne kontrola podmienok spomenutých vyššie.
3. Vytvorí sa nový záznam synchronizácie.
4. Odošle sa požiadavka do kontajnera, ktorý je zodpovedný za synchronizáciu dát (proces popísaný nižšie v sekcii 5.4.3).
5. Chýbajúce jazdy sa synchronizujú.

6. Aktualizuje sa stav záznamu prebiehajúcej synchronizácie na úspešný alebo neúspešný.

5.4.3 Priebeh spracovania požiadavky v kontajneri

Priebeh spracovania požiadavky na synchronizáciu jász, ktorá prichádza zo strany CMS, je znázornený v stavovom diagrame na obrázku 5.10. Tento proces sa vykonáva v bode č. 4 z predošlej sekcie a je zložený zo 7 hlavných úloh. Vzhľadom na práve prebiehajúcu fázu experimentu sa môžu vykonať ďalšie 3 úlohy.



Obr. 5.10: Priebeh procesu synchronizácie v kontajneri v stavovom diagrame

Popis priebehu spracovania požiadavky

1. Inicializácia pipeline: definícia časového intervalu, z ktorého majú byť jazdy z platformy *enviroCar* získané a konfigurácia prihlasovacích údajov.
2. Získanie všetkých jazd z *enviroCar*: získanie jazd účastníka v špecifikovanom časovom intervale a ohraničena (územie SR + územie PL po Krakov).
3. Spracovanie a čistenie dát: odstránenie duplicitných a chybných hodnôt, jazd dlhších ako 8 hodín a kratších ako 2 minúty, a jazd s rýchlosťou vyššou ako $250 \frac{km}{h}$.
4. Získanie počtu záznamov z fázy experimentu č. 1: V prípade fázy č. 2 a 3 sa zistí, či je splnená požiadavka na minimálny počet jazd počas prvej fázy (3).
5. Získanie existujúcich jazd z CMS: Získanie všetkých jazd účastníka, ktoré už sú uložené v CMS *Strapi*.
6. Filtrovanie jazd: Zistenie chýbajúcich jazd ako rozdiel všetkých (z *enviroCar*) a existujúcich (v CMS).
7. Dopytovanie spotrieb účastníka na DB: V prípade fáz experimentu č. 2 a 3 sa dopytujú MIN, MAX, MEAN a STDDEV spotreby účastníka z prvej fázy experimentu v rámci všetkých jazd (použité pri výpočte ekologického výkonu neskôr).
8. Dodatočný výpočet dát pre nové jazdy: Výpočet celkového množstva spotrebovaného paliva, spotreby na 100 kilometrov a priemernej rýchlosti.
9. Výpočet ekologického skóre pre nové jazdy: Ekologický výkon je reprezentovaný ekologickým skóre, ktoré je vypočítané pre každú novú jazdu počas 2. a 3. fázy experimentu. Spôsob jeho výpočtu je popísaný v sekcii 5.5 nižšie.
10. Uloženie nových jazd do databázy: Nové jazdy sú uložené do databázy CMS a do databázy monitorovacieho nástroja.

5.5 Výpočet ekologického výkonu

Ekologický výkon je reprezentovaný ekologickým skóre, ktoré je zložené zo 4 komponentov (comp_1, comp_2, comp_3 a comp_4), ako to možno vidieť aj na obrázku 5.11. Zároveň platí, že každý komponent má svoju vlastnú váhu.

Ekologické skóre za jazdu účastníkovi hovorí o tom, v akej miere jazdil lepšie vzhľadom na svoju bežnú jazdu, ktorá je definovaná dátami účastníka z prvej fázy experimentu. Jeho výpočet je funkciou priemeru, štandardnej odchýlky, maximálnej a minimálnej spotreby daného účastníka počas prvej fázy experimentu.

komp_1	komp_2	komp_3	komp_4
50%	25%	15%	10%

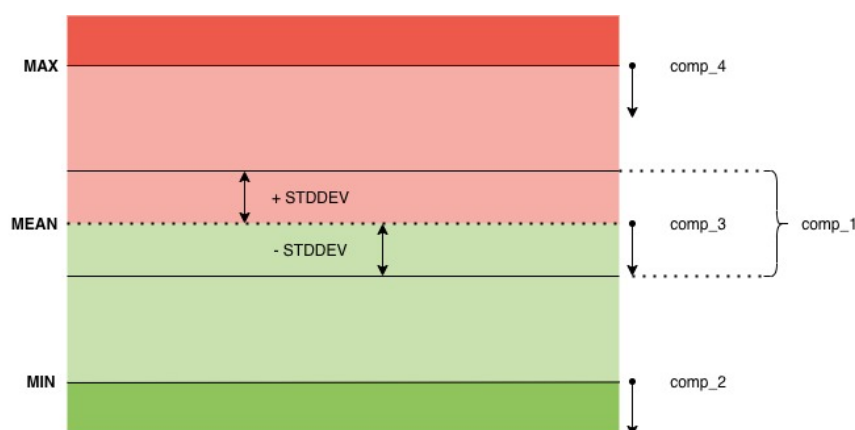
Obr. 5.11: Komponenty ekologického skóre a ich podiel na celkovom skóre

Ekologické skóre sa nachádza vždy na škále od 0 do 100 a priemer tohto skóre za všetky jazdy v danej fáze experimentu určujú poradie v tabuľke s ostatnými ekologickými šófermi. Ekologické skóre sa taktiež používa pri nákupoch odmien.

Váhy komponentov ekologického skóre a ich výpočet je nasledovný (vychádza z obrázka 5.12):

- comp_1 (váha 0,50): vypočítaný vzorcom $(100 - (FC_{\text{track}} / (FC_{\text{MEAN}} + FC_{\text{STDDEV}})) * 100) * weight_{\text{comp}_4}$ (FC_{track} - priemerná spotreba na 100 kilometrov za jazdu, pre ktorú sa skóre počíta, FC_{MEAN} - priemerná spotreba účastníka na 100 kilometrov v rámci jázd počas 1. fázy experimentu, FC_{STDDEV} - štandardná odchýlka priemernej spotreby na 100 kilometrov v rámci jázd počas 1. fázy experimentu, $weight_{\text{comp}_4}$ - váha komponentu) a to iba v prípade, že platia podmienky $FC_{\text{track}} \geq (FC_{\text{MEAN}} + FC_{\text{STDDEV}})$ (inak minimálna hodnota - 0) a $FC_{\text{track}} \leq (FC_{\text{MEAN}} - FC_{\text{STDDEV}})$ (inak maximálna hodnota - 100).
- comp_2 (váha 0,25): priemerná spotreba na 100 kilometrov za jazdu, pre ktorú sa skóre počíta je menšia, ako minimálna priemerná spotreba na 100 kilometrov dosiahnutá počas 1. fázy experimentu v rámci všetkých jázd (maximálna hodnota 100, minimálna hodnota 0).
- comp_3 (váha 0,15): priemerná spotreba na 100 kilometrov za jazdu, pre ktorú sa skóre počíta, je menšia, ako priemerná spotreba na 100 kilometrov

- dosiahnutá počas 1. fázy experimentu v rámci všetkých jazd (maximálna hodnota 100, minimálna hodnota 0).
- *comp_4* (váha 0,10): priemerná spotreba na 100 kilometrov za jazdu, pre ktorú sa skóre počíta je menšia, ako maximálna spotreba na 100 kilometrov dosiahnutá počas 1. fázy experimentu v rámci všetkých jazd (maximálna hodnota 100, minimálna hodnota 0).



Obr. 5.12: Vizualizácia komponentov pre výpočet ekologického skóre

Ekologického skóre je súčtom jednotlivých komponentov, ktoré sú vynásobené príslušne určenou váhou a vypočíta sa nasledovne:

$$value_{comp_1} * weight_{comp_1} + value_{comp_2} * weight_{comp_2} + \\ + value_{comp_3} * weight_{comp_3} + value_{comp_4} * weight_{comp_4}$$

Kde

- *value* je hodnota príslušného komponentu.
- *weight* je váha príslušného komponentu.

6 Realizácia experimentu

Pre zodpovedanie výskumnej otázky z kapitoly 1, bol zrealizovaný riadený experiment v teréne za účelom zberu dostatočného množstva dát. V tejto kapitole je popísaný proces realizácie experimentu.

6.1 Nasadenie riešenia

Za účelom zbierania dát bolo potrebné nasadiť implementované riešenie na virtuálny server, ku ktorému by mohli účastníci pristupovať na webovej adrese. Pre tento účel som využil Slovenskú webhostingovú službu *WebSupport*¹, ktorá poskytuje virtuálne servery na prenájom.

Vytvorenie virtuálneho servera bolo jednoduché a po nainštalovaní nástrojov *Git*, *Docker* a *Docker Compose* som svoje riešenie bez komplikácií spojil. Pred spustením bolo ešte potrebné nakonfigurovať premenné prostredia, aby mohla byť aplikácia plne funkčná.

Po prvom spustení bolo nevyhnutné postupovať podľa návodu pre prvé nasadenie, ktorý je priložený v systémovej príručke (príloha C). V tomto návode je detailný postup ohľadom konfigurácie CMS, klientskej časti, komponentu pre synchronizáciu dát a monitorovacieho nástroja.

6.2 Získanie účastníkov

Oslovených bolo 33 ľudí, ktorí zdanlivo spĺňali podmienky pre experiment. Vzhľadom na protipandemické opatrenia v spojitosti s koronavírusom bola značná časť oslovených ľudí úplne obmedzená, čo sa týka pravidelných presunov na rovna-

¹<https://websupport.sk> - webhostingová služba *WebSupport* (citované 4. 3. 2021)

kých úsekoch (napr. cesty do práce alebo školy) a namiesto dochádzky praktizovali prácu alebo štúdium na diaľku z domu.

Z oslovených ľudí bolo 14 ľudí takých, ktorí sa mohli zapojiť a rozhodli sa pomôcť s experimentom svojou aktívnou účasťou v ňom. Zo 14 účastníkov sa dvaja nemohli zúčastniť kvôli technickým problémom s mobilnou aplikáciou *enviroCar* a ešte jeden bol počas prvej fázy experimentu izolovaný v karanténe v dôsledku nakazenia koronavírusom, kvôli čomu vynechal celú fázu experimentu a nemohol pokračovať.

Zo spomenutých 14 zapojených účastníkov sa z dôvodov uvedených vyššie nakoniec zapojilo 11 účastníkov, ktorí po dobu 1 a pol mesiaca používali systém pre experiment za účelom zberu dát a motivácie.

6.3 Priebeh experimentu

Po nasadení riešenia a získaní účastníkov som experiment od dátumu 31. 1. 2021 začal realizovať. Experiment trval do dátumu 14. 3. 2021 (1 a pol mesiaca) a počas jeho trvania sa uskutočnili 3 fázy experimentu, z ktorých každá trvala 2 týždne.

6.3.1 Komunikácia s účastníkmi

Za účelom informovať účastníkov ohľadom detailov a inštrukcií spojených s každou fázou experimentu s nimi bola uskutočňovaná uzavretá e-mailová komunikácia. V prípade akýchkoľvek problémov ma účastníci kontaktovali na telefónne číslo alebo podľa potreby aj ja ich.

V dostatočnom predstihu (3 dni) pred začiatkom každej fázy experimentu dostal každý účastník detailný informačný e-mail, ktorý si potreboval prečítať pre pochopenie toho, čo ho v nasledujúcich 2 týždňoch čaká. Súčasťou tohto e-mailu bol aj dokument, ktorý obsahoval v stručnosti popísané inštrukcie pre nasledujúcu fázu experimentu, ku ktorým sa mohol kedykoľvek v rýchlosti vrátiť v prípade, že by niečo zabudol.

Úvodné kroky

Pred začiatkom celého experimentu obdržali účastníci aj používateľskú príručku, ktorá im vedela pomôcť pri vykonaní úvodných krokov v spojitosti s mobilnou

aplikáciou *enviroCar* a systémom pre experiment *beautofuel*. Tieto kroky zneli nasledovne:

1. Nainštalujte si mobilnú aplikáciu *enviroCar*.
2. Registrujte sa cez mobilnú aplikáciu na *enviroCar*.
3. Prihláste sa v mobilnej aplikácii do svojho novovytvoreného *enviroCar* účtu.
4. Správne si nastavte mobilnú aplikáciu.
5. Pridajte do mobilnej aplikácie automobil, na ktorom jazdíte.
6. Registrujte sa v externom systéme prostredníctvom *Google* účtu.

Až po úspešnom dokončení všetkých úvodných krokov sa stal účastník skutočným účastníkom, nakoľko registrácia v systéme pre experiment pozostávala z 3 krokov a pri poslednom je účastníkom vyjadrený súhlas so zbieraním dát.

6.3.2 Údržba systému

Nakoľko bol systém pre experiment v prevádzke a používaný účastníkmi po dobu 1 a pol mesiaca, toto obdobie sa nezaobišlo bez nutnosti udržiavať nasadený systém vo svojej kondícii. Počas experimentu boli vydané 2 aktualizácie systému:

1. aktualizácia medzi prvou a druhou fázou experimentu: kozmetické vylepšenia používateľského rozhrania, pridanie stránkovania do histórie jász a doimplementovanie chýbajúcej funkcionality v komponente pre synchronizáciu dát - výpočet ekologického výkonu.
2. aktualizácia medzi druhou a treťou fázou experimentu: opravenie problému so zobrazením poradia v tabuľke s výsledkami, v čoho dôsledku bola presunutá značná časť logiky z klientskej časti na CMS a zrýchlená klientská časť.

6.3.3 Monitorovanie

Experiment bol monitorovaný cez nástroj *Grafana*, ktorý bol spozajzdnený na virtuálnom serveri s nasadeným riešením. Pre účel monitorovania som pre každú fázu

experimentu vytvoril nástenku, na ktorej sa nachádzalo niekoľko vizualizácií, z ktorých jednu vidno na obrázku 6.1.



Obr. 6.1: Nástenka v monitorovacom nástroji *Grafana* pre druhú fázu experimentu

Vďaka nástenkám som mal vždy prehľad o aktuálnom stave experimentu a tiež som sa vedel vrátiť ku predošle zaznamenaným dátam. Vizualizácie boli dobré hlavne kvôli tomu, že som vedel kontaktovať účastníkov v prípade, keď pri meraniach robili nejakú chybu. Zároveň som veľmi ľahko vedel zistiť, či náhodou na niečo nezabúdajú a prípadne ich na to aj upozorniť.

7 Dosiahnuté výsledky

Riadený experiment v teréne bol úspešne zrealizovaný v trvaní 6 týždňov aj napriek nepriaznivým podmienkam, ktoré vznikli v dôsledku situácie ohľadom koronavírusu už koncom roka 2020. Experiment bol zrealizovaný za účelom zberu dostatočného množstva dát, ktoré by mohli byť použité pri zodpovedaní výskumnej otázky z kapitoly 1, ktorá znela nasledovne: **Redukuje motivačná stratégia odmien (vonkajšia motivácia) mieru motivácie šoféra automobilu, ktorá je spôsobená motivačnou stratégiou gamifikácie (vnútorná motivácia)?**

7.1 Prehľad zozbieraných dát

Ako bolo spomenuté v sekcii 6.2, zo 14 zapojených ľudí sa experimentu zúčastnilo len 11 z nich. Z 11 účastníkov ešte jeden nebol schopný absolvovať poslednú fázu experimentu v dôsledku nakazenia koronavírusom. Celého experimentu sa teda zúčastnilo celkom **71% zapojených účastníkov**.

Počas 6 týždňov bolo v systéme pre experiment synchronizovaných **393 meraní** v **246 synchronizáciách** a celkovo bolo najazdených **5211 kilometrov**. Každý účastník spravil **v priemere 35 meraní** (1 meranie za deň), prešiel **473 kilometrov** (11 kilometrov za deň) a vykonal **22 synchronizácií** (1 synchronizácia za 2 dni).

Účastník s najviac meraniami nameral celkom **53 jázd** a traja účastníci name-rali každý po **26 jázd**, čo predstavuje najmenší počet meraní na účastníka experimentu. Účastník, ktorého dáta vo vyhodnotení nie sú zohľadnené z dôvodu jeho neschopnosti zúčastniť sa poslednej fázy experimentu, nameral celkom 9 jázd.

Po každej uskutočnenej fáze experimentu vyplnili účastníci 2 dotazníky. Jeden dotazník sa týkal priebehu danej fázy experimentu a ďalší bol krátky kvíz pre overenie vedomostí účastníka ohľadom ekologickej jazdy. Na konci experimentu účastníci vyplnili ešte jeden dotazník, ktorý sa týkal celého experimentu. Okrem

iného tento dotazník zahŕňal aj hodnotenie použiteľnosti systému pre experiment a všeobecné otázky ohľadom ekologického správania a ekologickej jazdy účastníka.

Po ukončení experimentu boli odmenení všetci účastníci sladkými odmenami, ktoré predstavovali **6,5 kilogramu** originálnych kroviek z Poľska. Najväčším paradoxom je, že najviac osladený život mal účastník z Poľska, ktorý získal **viac ako 1 kilogram kroviek** za jeho dosiahnutý ekologický výkon počas druhej a tretej fázy experimentu.

7.2 Identifikované hrozby validity výsledkov

Experiment bol zrealizovaný v teréne, aby mohlo byť uskutočnené vyhodnotenie na základe čo najviac realistických dát. Už pred, ale aj počas realizácie experimentu som prišiel na niekoľko nedostatkov, ktoré značne ovplyvnili validitu dosiahnutých výsledkov:

- Malá vzorka.
- Viacero mätúcich faktorov.
- Nepresná metóda zberu dát.

V nasledujúcich sekciách zdôvodním svoje zmýšľanie a rozhodnutia, ktorými som sa snažil minimalizovať tieto hrozby validity výsledkov ešte pred začiatkom experimentu.

7.2.1 Malá vzorka

Najväčšou hrozbou validity získaných výsledkov je nedostatočne veľká vzorka účastníkov experimentu. Mnoho oslovených ľudí sa nemohlo experimentu zúčastniť kvôli obmedzeniam, ktoré vznikli v dôsledku situácie ohľadom koronavírusu. Ku koncu experimentu boli opatrenia veľmi prísnené čo negatívne ovplynilo experiment a správanie účastníkov.

Obmedzenia, ktoré boli zavádzané už pred začiatkom experimentu spôsobili, že mnoho ľudí začalo vykonávať svoju prácu z domu a tým pádom necestovalo tak, ako by to bolo za bežných okolností. Experimentu sa zúčastnilo **10 ľudí**, čo je

v tomto prípade **veľmi málo** vzhľadom na to, že počas druhej fázy experimentu boli rozdelení do dvoch experimentálnych skupín po 5 účastníkov.

Minimálny počet účastníkov experimentu je **14-16 ľudí** v prípade, že sa realizuje rozdelením do dvoch experimentálnych skupín. V dôsledku malej vzorky v tomto experimente **nie je možné vykonať štatistické vyhodnotenie experimentu**, nakoľko šanca preukázania zmeny spotreby paliva v dôsledku motivačnej stratégie sa blíži k nule napriek tomu, že žiadúci efekt **môže byť prítomný** [28].

7.2.2 Viacero mätúcich faktorov

Jasným ukazovateľom miery účinnosti motivačných stratégií na šoféra automobilu je **spotreba paliva**, ktorá bola sledovanou závislou premennou v tomto riadenom experimente. Aby som mohol spotrebu paliva účastníka porovnávať medzi jednotlivými fázami experimentu, zaviedol som pravidlá pre účastníkov. Účelom týchto pravidiel bolo eliminovanie mätúcich faktorov, ktoré ovplyvňujú spotrebu paliva, pre vytvorenie množín dát vhodných pre vzájomné porovnanie. Identifikoval som tieto množiny mätúcich faktorov:

- **Meraný úsek trasy** - body, ktorými šofér prechádza, a s tým spojené prevýšenie.
- **Stav vozidla** - stav pneumatík, zaťaženie, výber paliva alebo motorového oleja a mnoho ďalších.
- **Stav prostredia** - teplota, vietor, stav vozovky a mnoho ďalších.

Mojím plánom bolo zohľadniť spotrebu paliva šoféra vždy **len na rovnakom úseku trasy a v rovnakom smere**. Týmto spôsobom by bolo možné dosiahnuť vysokú podobnosť všetkých nameraných trás odstavov vozidla a prostredia ako rušivých premenných. Nechať toto obmedzenie len ako pravidlo pre šoféra by nebolo dostatočné, nakoľko kvôli zabudlivosti človeka a rozhodnutiam za volantom by pri meraniach dochádzalo k mnohým nepresnostiam. Práve z tohto dôvodu bolo v mojej snahe implementovať algoritmus, ktorý by bol schopný nájsť najčastejšie sa vyskytujúcu trasu v jednom smere počas prvej fázy experimentu (definuje bežnú jazdu daného šoféra) a odstrániť všetky ostatné merania. Prepočet ekologického skóre by sa uskutočňoval vždy len na tomto úseku trasy účastníka.

Na konci prvej fázy experimentu mal byť vykonaný jednorazový hromadný výpočet, pri ktorom by sa zistila priemerná spotreba zo zhodných segmetov trasy v rovnakom smere pre každého šoféra. Tá by sa uložila do databázy pre neskoršiu referenciu. Prepočet ekologického skóre by bol vykonaný porovnaním najnovšej spotreby paliva a touto uloženou hodnotou. Ako základ pre implementáciu tohto algoritmu som použil príklad z oficiálnej Python knižnice pre *enviroCar*¹, ktorá používa *Leuven.MapMatching*² (algoritmus pre zarovnanie GPS meraní s mapou z reálneho sveta) a *OSMnx*³ (modelovanie, premietanie, vizualizovanie a analyzovanie geopriestorových dát z *OpenStreetMap*⁴).

Pri testovaní tohto prístupu som narazil na problém, ktorého riešenie som z časových obmedzení vynechal a prístup som zjednodušil. Problém bol v tom, že veľa trás z testovacích dát sa mi nepodarilo prirovnať trase na mape v reálnom svete (**z 20 trás menej ako 10**). Zdrojový kód zamýšľaného prístupu je dostupný vo formáte pre Jupyter Notebook⁵ medzi zdrojovými kódmi.

V dôsledku tohto kompromisu sa ekologické skóre počítalo na základe priemernej spotreby paliva zo všetkých jazd počas prvej fázy experimentu, ktoré šofér poskytol (okrem neplatných dát podľa podmienok v sekcii 5.4.3). V záujme čiastočne kontrolovať meraný úsek trasy som zaviedol nasledujúce pravidlá, ktoré aspoň do istej miery eliminovali vplyv mätúcich faktorov:

- Účastník má povinnosť nahrávať trasy, ktorými jazdí najčastejšie a také trasy prechádza **aspoň trikrát** v priebehu každej fázy experimentu.
- Ak na meranom úseku účastník preruší jazdu (napr. kvôli nákupu), **z jedného merania spraví dve merania**.
- Ak účastník zabudne zapnúť meranie, **môže ho zapnúť na svojej trase neskôr**. Pravidlo pre neskoré vypnutie merania nebolo stanovené.

¹https://github.com/enviroCar/envirocar-py/blob/master/examples/map_matching_example.ipynb - Príklad mapovania *enviroCar* dát na cesty v mape z reálneho sveta (citované 27. 3. 2021)

²<https://github.com/wannesm/LeuvenMapMatching> - knižnica *Leuven.MapMatching* (citované 27. 3. 2021)

³<https://github.com/gboeing/osmnx> - knižnica *OSMnx* (citované 27. 3. 2021)

⁴<https://openstreetmap.org> - *OpenStreetMap* (citované 27. 3. 2021)

⁵<https://jupyter.org> - *Jupyter* (citované 4. 4. 2021)

7.2.3 Nepresná metóda zberu dát

Rozhodnutie zbierať dáta z jazdy automobilom pomocou *enviroCar* GPS modelu malo negatívny vplyv na presnosť získaného údaju ohľadom spotreby paliva. Výpočet spotreby paliva v tomto prípade je oproti OBD meraniam obmedzený a je v ňom použitých viacero konštánt, za následok čoho je výsledný údaj nepresnejší.

Jeden účastník povedal, že namerané spotreby sú **výrazne odlišné** od tých reálnych. 2 z 10 účastníkov tvrdili, že priemerná spotreba v aplikácii *enviroCar* bola nameraná s odchýlkou vyššou ako 1 liter. Z týchto dvoch účastníkov bol jeden ochotný poskytnúť k 19 nameraným trasám z 26 aj reálnu spotrebu paliva z palubného počítača vo vozidle. Z týchto meraní sa 2 merania zhodovali, priemerná spotreba v mobilnej aplikácii *enviroCar* ukazovala $7,54 \frac{L}{100km}$ a reálna priemerná spotreba bola $6,94 \frac{L}{100km}$ (**o 8,6% menej**). Nadpolovičná väčšina účastníkov potvrdila, že výsledná spotreba v aplikácii *enviroCar* sa pohybovala **prínajväčšom** s odchýlkou **1 litra na 100 kilometrov**.

8 Interpretácia výsledkov

V tejto kapitole budem interpretovať dáta z datasetu, ktorý obsahuje jazdy všetkých 10 účastníkov, ktorí sa zúčastnili celého experimentu. Interpretácia je doplnená o zhrnutia z 72 odpovedí, ktoré boli získané v 8 dotazníkoch od 11 účastníkov experimentu. V prípade všeobecného dotazníka na konci experimentu sú zohľadnené aj odpovede účastníka P7, ktorého dáta v datasete nie sú zohľadnené kvôli neschopnosti účastníka zúčastniť sa poslednej fázy experimentu. Súčasťou vyhodnotenia je aj hodnotenie použiteľnosti navrhnutného systému pre experiment.

8.1 Začiatok experimentu

Na začiatku experimentu sa museli účastníci riadiť e-mailovou správou, ktorá bola na základe odpovedí v dotazníkoch prehľadná a zrozumiteľná napriek tomu, že obsahovala množstvo nových informácií a inštrukcií, ktorými sa účastníci potrebovali riadiť. Účastníci museli hneď na začiatku postupovať podľa návodu, aby mohli hneď v prvý deň začať s meraniami.

Prvotné nastavenie mobilnej aplikácie *enviroCar* si v niektorých prípadoch vyžadovalo moju asistenciu a poskytnutý návod vo formáte PDF pre niektorých používateľov nebol postačujúci. Registráciu v systéme pre experiment účastníci zvládli bezproblémovo. V aplikácii *enviroCar* účastníci potrebovali zadať svoj automobil s objemom motora, kedy sa v dvoch prípadoch stalo, že sa automobil v zozname nenašiel. To na niektorých účastníkov pôsobilo mätúco a tí nevedeli, že mohli pridať aj automobil, ktorý sa v zozname nenachádza. To mohlo byť dôvodom slabšieho používateľského zážitku na strane *enviroCar*.

8.2 Dodržiavanie pravidiel

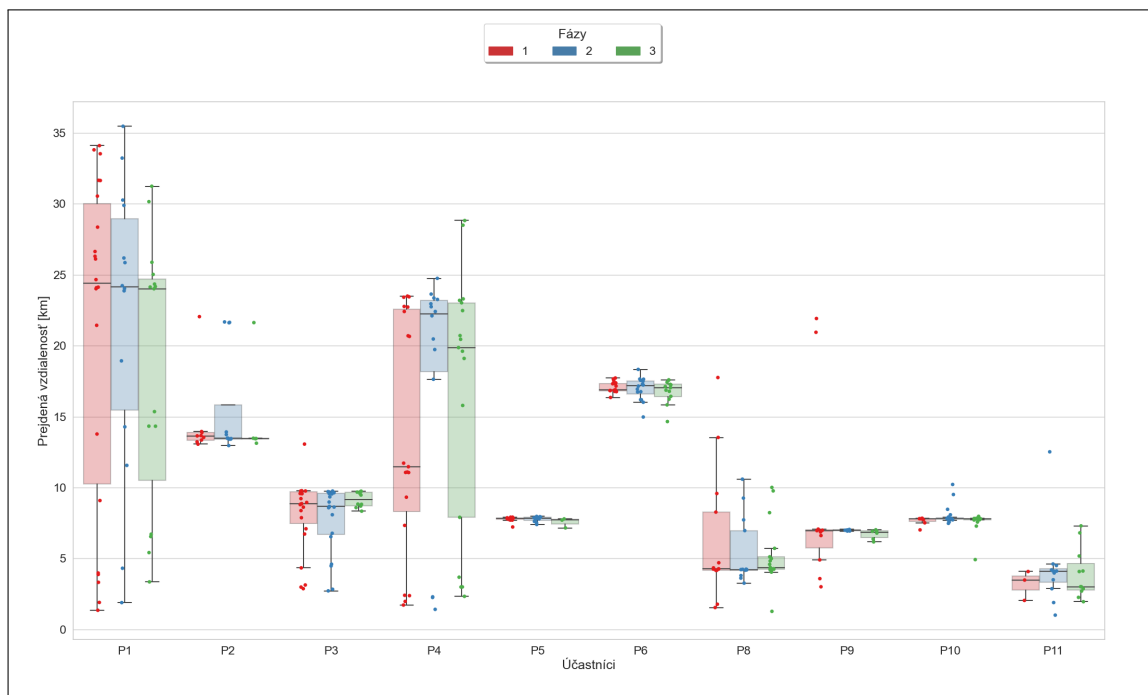
Počas experimentu sa z dôvodu neúspechu pri implementácii algoritmu pre filtrovanie trás mali účastníci riadiť pravidlami (uvedené v sekcii 7.2.2), na základe ktorých vedeli určiť trasu vhodnú pre meranie. Pravidlá boli stanovené v záujme získať množinu dát z rovnakých trás, ktorá je vhodná pre porovnávanie. Pre overenie dodržiavania týchto pravidiel bol vizualizovaný krabicový diagram na obrázku 8.1. Dĺžky trás by sa mali zhodovať v mnohých prípadoch, ak boli pravidlá zo strany účastníkov dodržiavané.

Podľa diagramu na obrázku 8.1 možno povedať, že sa účastníci experimentu snažili uskutočňovať merania v súlade so stanovenými pravidlami. Odhliadnúc od niekoľkých odľahlých hodnôt možno povedať, že účastníci merania zapínali vždy na veľmi podobných úsekoch ich trasy z hľadiska vzdialenosti. Účastníci mali zaznamenávať merania na trasách, ktoré počas trvania celého experimentu prešli **aspoň trikrát v každej fáze experimentu**.

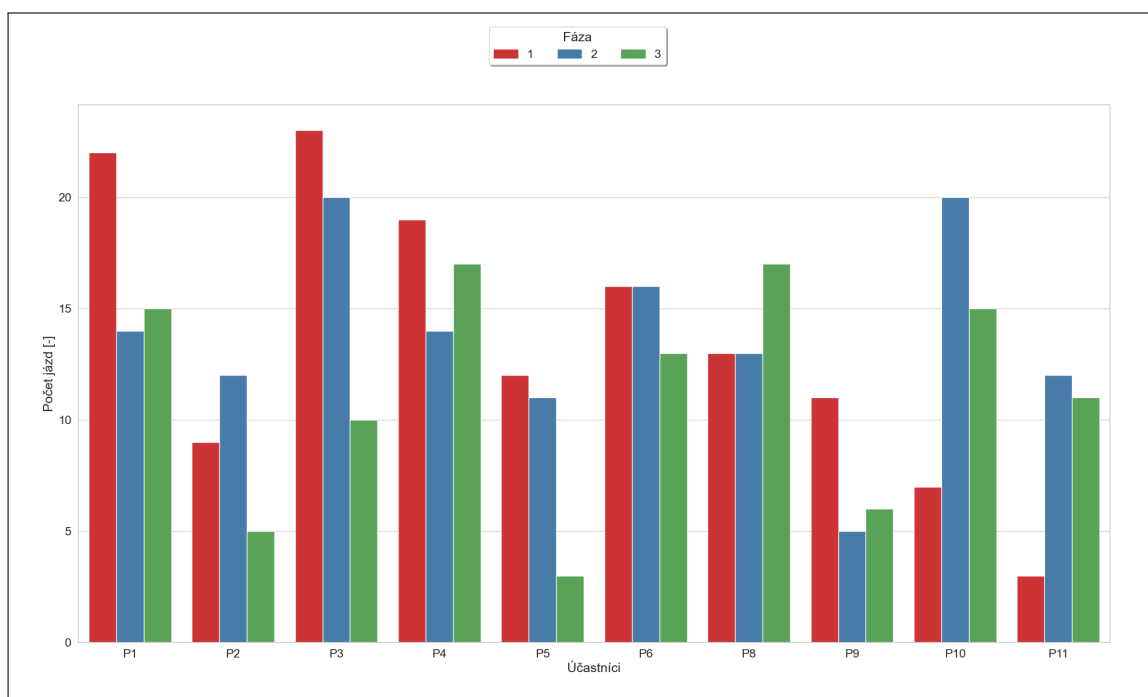
Najviac dĺžkou variabilné trasy namerali účastníci P1 a P4. To môže byť aj dôsledkom toho, že účastníci kvôli prestávke na trase meranie zastavili. Po opätovnom štarte začali nové meranie, čím sa vzdialenosť celkovej trasy neskrátila, ale v systéme boli evidované 2 rozličné trasy, ktoré mali spolu dĺžku jednej bežnej trasy účastníka. Ďalším dôvodom môže byť to, že títo účastníci jazdili viacero trás viackrát ako trikrát počas každej fázy experimentu.

8.3 Pravidelnosť cestovania

Na grafe z obrázka 8.2 je možno vidieť pravidelnosť resp. nepravidelnosť cestovania účastníkov počas experimentu z hľadiska počtu jazd na fázu experimentu. Nepravidelnosť mohla byť spôsobená ako rozdeleniami jednej trasy na viacero samostatných meraní, tak aj situáciou ohľadom koronavírusu a obmedzeniami, ktoré boli počas experimentu v dôsledku jej vývoja zavádzané. Odchýlky v počtoch meraní pri účastníkoch P3, P5 a P11 boli na základe ich odpovedí v dotazníkoch spôsobené situáciou ohľadom koronavírusu, ktorá im neumožňovala cestovať na pravidelnej báze. Účastník P10 počas prvej fázy experimentu zabúdala zapínať merania, čo spôsobilo výrazné zníženie jeho celkového počtu meraní v tejto fáze.



Obr. 8.1: Krabicový diagram prejdenej vzdialenosti účastníkom na jazdu vo fáze experimentu



Obr. 8.2: Graf počtu zaznamenaných meraní účastníkom na fázu experimentu

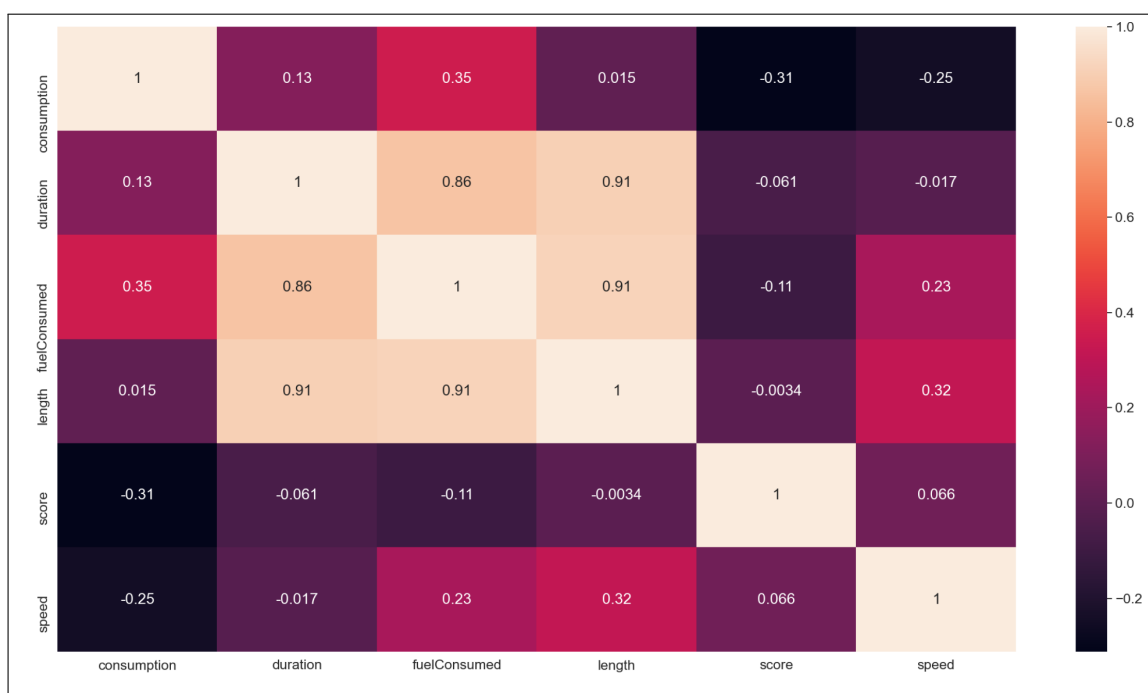
Čo sa týka zvyku na zapnutie merania pred jazdou a jeho vypnutie po jazde, z odpovedí v dotazníkoch vyplýva, že väčšina účastníkov (9 z 10) to bolo schopných dodržiavať počas celého experimentu s občasnými zabudnutiami. Účastníkom sa bežne stávalo, že meranie zapli o niečo neskôr, alebo ho zabudli v cieli vypnúť. Niekedy sa z technických príčin aplikácia *enviroCar* sama od seba vyplla a to najmä v prípadoch, kedy účastníci počas merania telefonovali. Vtedy bola mobilná aplikácia na pozadí, čo v operačnom systéme Android v mnohých jeho distribúciach spôsobuje nemalé problémy.

Po dokončení merania sa niekedy stávalo aj to, že ho účastník zastavil a v histórii jžd mobilnej aplikácie *enviroCar* už meranie nenašiel. Stávalo sa aj to, že účastníkovi sa meranie prerušilo samo pádom aplikácie, ale bol ho schopný nájsť v histórii jžd a nahráť na server platformy *enviroCar*. Po nahratí meraní na server boli merania napriek tomu stále zobrazené v sekcii lokálnych meraní a nie medzi nahratými meraniami, čo spôsobovalo, že účastníci chceli opätovne nahráť meranie, kedy im aplikácia spadla. Po zapnutí aplikácie boli merania už v správnej sekcii.

8.4 Korelácie premenných

Na obrázku 8.3 možno vidieť korelačnú maticu, ktorá obsahuje premenné zo zozbieraného datasetu a ich vzájomné korelačné koeficienty. Na základe silných pozitívnych vzťahov medzi **dĺžkou trasy**, **množstvom spotrebovaného paliva** a **trvaním cestovania** možno skonštatovať, že sa v dátach zachovali základné zákonitosti z reálneho sveta. Teda pri dlhšej trase sa zvýši aj prejdená vzdialenosť a spotrebované množstvo paliva. Premenné v tomto tvrdení sú vzájomne zameniteľné a spolu tvoria silné pozitívne vzťahy.

Veľkosť väčšiny ostatných korelačných koeficientov je zanedbateľná a vzťahy sú často neutrálne. Na základe vzťahu medzi **ekologickým skóre** a **spotrebou paliva** (**hodnota -0,31**) možno usúdiť, že vzorec pre výpočet ekologického skóre bol navrhnutý správne. Pre šoféra nemá byť získanie vysokého ekologického skóre (blíži sa ku hodnote 100) jednoduché a tiež ani nereálne. Korelačný koeficient v tomto negatívnom vzťahu zodpovedá práve chcenému následku získania tej ktorej spotreby paliva za jazdu automobilom.



Obr. 8.3: Korelačná matica premenných z datasetu

Na základe obrázka 8.3 s korelačnou maticou možno tiež potvrdiť, že získané ekologické skóre nezáviselo od prejdenej vzdialenosti. Z dôvodu, aby mohli byť účastníci vzájomne porovnávaní a zoradení v tabuľke najlepších ekologických šoférov v systéme pre experiment, bolo potrebné navrhnuť výpočet ekologického skóre presne tak. Napríklad účastník, ktorý cestou do práce prejde dlhšiu vzdialenosť by nemal byť bodovo zvýhodnený oproti účastníkovi, ktorý cestou do práce prechádza kratšiu vzdialenosť.

8.5 Porovnanie priemerných spotrieb

Priemerné hodnoty spotreby paliva v jednotlivých fázach experimentu podľa experimentálnej skupiny sú zobrazené v tabuľke 8.1. Na základe tabuľky možno povedať, že rozdiely v spotrebe paliva medzi fázami experimentu sú minimálne a to najviac 4%. So zavádzaním motivačných stratégií počas druhej a tretej fázy experimentu **nie je možné pozorovať akékoľvek zlepšenie v priemernej spotrebe paliva**. Rozdiely v tabuľke 8.2 v prípade získaného ekologického skóre za jazdu sú tiež veľmi malé, nakoľko toto skóre je odvodené priamo od dosiahnutej spotreby paliva.

fáza	skupina	priemerná spotreba	oproti predošlej fáze
1	odmeny	$6,01 \frac{L}{100km}$	-
2	odmeny	$6,25 \frac{L}{100km}$	+4,0%
3	odmeny	$6,38 \frac{L}{100km}$	+2,1%
1	gamifikácia	$6,06 \frac{L}{100km}$	-
2	gamifikácia	$6,17 \frac{L}{100km}$	+1,8%
3	gamifikácia	$6,21 \frac{L}{100km}$	+0,7%

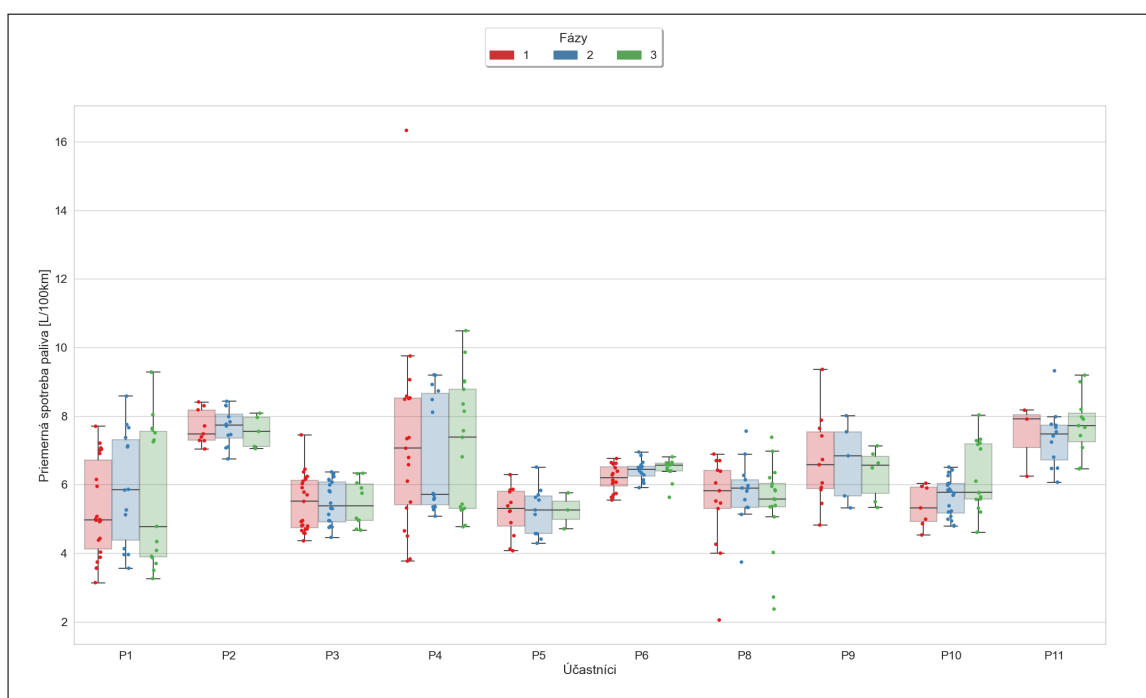
Tabuľka 8.1: Porovnanie priemerných spotrieb v experimentálnych skupinách medzi fázami experimentu

fáza	skupina	ekologické skóre	oproti predošlej fáze
2	odmeny	24,58 / 100	-
3	odmeny	25,80 / 100	+5,0%
2	gamifikácia	25,14 / 100	-
3	gamifikácia	25,10 / 100	-0,6%

Tabuľka 8.2: Porovnanie priemerného ekologického skóre v experimentálnych skupinách medzi fázami experimentu

Ak sa pozrieme na distribúciu spotrieb paliva účastníka na jazdu počas fázy experimentu (krabicový diagram na obrázku 8.4), v prípade účastníkov P1 a P4 možno sledovať výraznejšie zmeny, kedy nastal posun mediánu v oboch prípadoch počas druhej fázy experimentu. Na základe grafu na obrázku 8.5 možno povedať, že v prípade účastníka P1 sa priemerná spotreba paliva počas druhej fázy experimentu zhoršila v porovnaní s prvou fázou experimentu. V prípade účastníka P4 možno sledovať zlepšenie priemernej spotreby paliva v tomto istom porovnaní.

V prípade účastníkov P2 a P9 je možné pozorovať zníženie priemernej spotreby paliva v tretej fáze experimentu. Účastník P2 sa tiež sťažoval na vysoké odchýlky priemernej spotreby paliva, ktoré zapríčinili až 8,6% rozdiel reálnej priemernej spotreby od tej, ktorá bola získaná cez *enviroCar* GPS model. Účastník P8 zaznamenal zhoršenie priemernej spotreby paliva v druhej fáze experimentu, ako to je tiež v prípade účastníka P1. Najnižšie odchýlky priemernej spotreby zaznamenali účastníci P3 a P5.

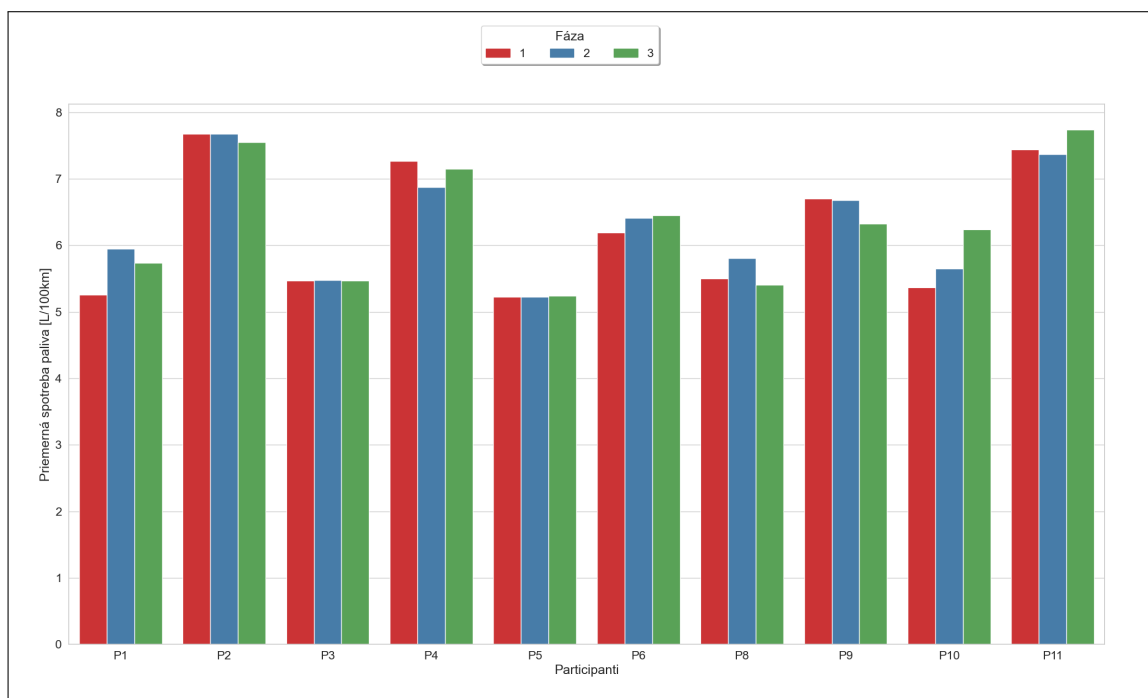


Obr. 8.4: Krabicový diagram s priemernou spotrebou na meranie na účastníka počas fázy experimentu

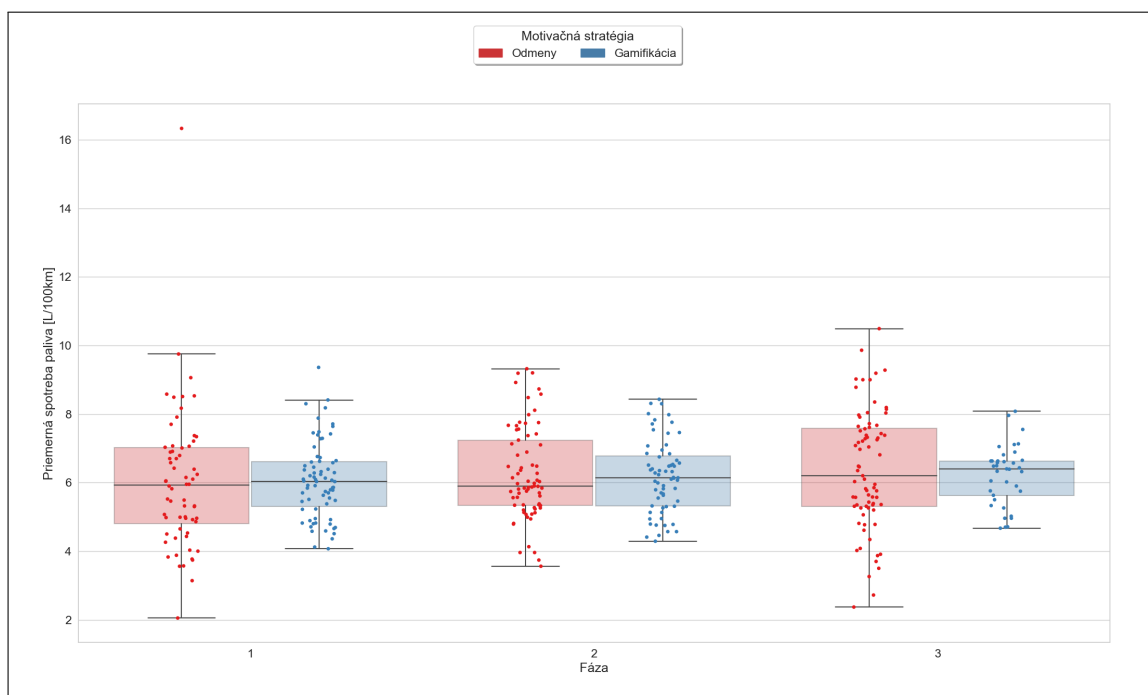
Nakoľko výpočet spotreby paliva v prípade GPS modelu na platforme *enviro-Car* prebieha len na základe rýchlosti a nadmorskej výšky z GPS súradníc, tieto výsledky je potrebné brať s rezervou.

V diagrame na obrázku 8.6 možno vidieť distribúciu priemerných spotrieb paliva pri jazdách od účastníkov z experimentálnych skupín odmeny a gamifikácie podľa fázy experimentu. Na základe tejto distribúcie vieme povedať, že nedochádzalo ku žiadnym výrazným zmenám v spotrebe paliva ani v dôsledku poskytnutej motivácie.

V dotazníkoch sa 4 z 5 účastníkov z experimentálnej skupiny s motivačnou stratégiou gamifikácie vyjadrilo, že sa počas druhej fázy experimentu cítili byť viac motivovaní jazdiť ekologicky v porovnaní s prvou fázou experimentu. Rovnaký počet účastníkov z tej istej skupiny sa tiež vyjadrilo, že možnosť byť najlepší v ekologickej jazde po 2 týždňoch v druhej fáze experimentu spôsobila pozitívnu zmenu v ich správaní za volantom. Napriek týmto odpovediam nie je možné na zobieraných dátach sledovať žiadne výrazné zmeny spotreby paliva. Na druhej strane, z experimentálnej skupiny s motivačnou stratégiou odmien sa cítili byť počas druhej fázy experimentu viac motivovaní len 2 z 5 účastníkov v porovnaní



Obr. 8.5: Graf s priemernou spotrebou meraní na účastníka počas fázy experimentu



Obr. 8.6: Krabicový diagram priemernej spotreby paliva podľa motivačnej stratégie a fázy experimentu

s prvou fázou. 3 z 5 účastníkov z tejto skupiny tiež vyjadrilo, že ich kroky nemotivovali.

5 z 10 účastníkov sa zmienilo o tom, že počas experimentu za volantom vo svojom správaní spravili zmeny so záujmom jazdiť viac ekologicky. 6 z 10 účastníkov sa cítili byť viac motivovaní počas tretej fázy experimentu v porovnaní s druhou fázou, počas ktorej bola prítomná len jedna motivačná stratégia. Jeden účastník poznamenal, že ekologicky jazdí celý život a tým pádom mu už nič nemôže pomôcť k ešte viac úspornej jazde.

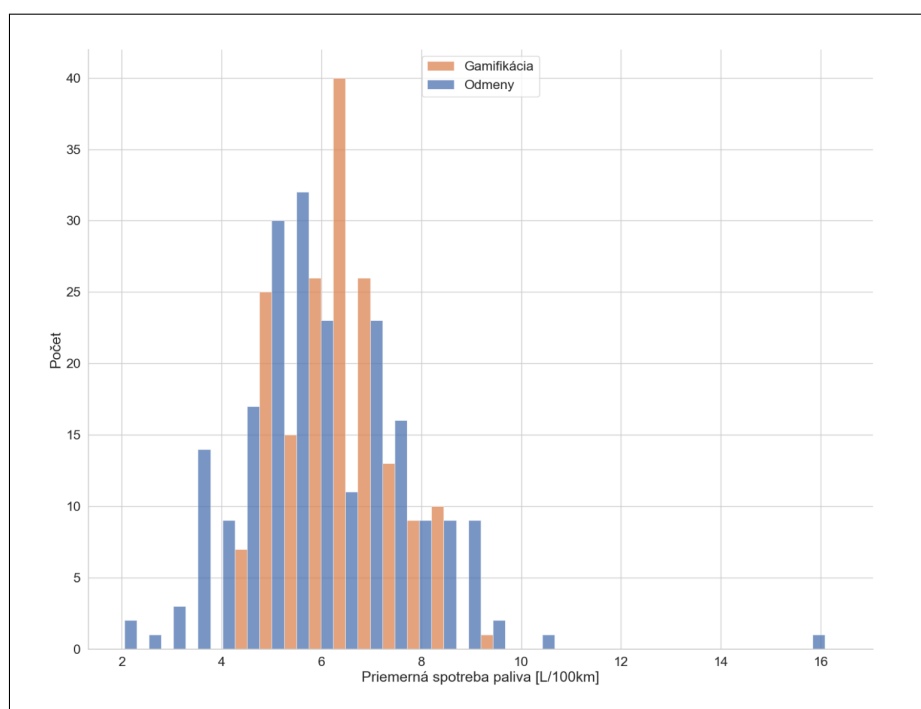
Účastníci v dotazníkoch tiež vyjadrili, že boli pred synchronizáciou jázdy v systéme pre experiment zvedaví, aké ekologické skóre dostanú za nové jazdy. Získané ekologické skóre odrážalo snahu účastníkov jazdiť ekologicky podľa 7 z 10 účastníkov a tento istý počet účastníkov si myslelo, že vedeli ovplyvniť svoje poradie v tabuľke najlepších ekologických šoférov zvýšením snahy jazdiť ekologicky. Len jeden účastník si myslel, že jeho snaha jazdiť ekologicky nebola prejavovaná na výslednom ekologickom skóre za jazdu, a že svojou snahou nevedel ovplyvniť poradie medzi najlepšími ekologickými šoférmi.

Jednému účastníkovi bolo jedno, či bude na konci fázy experimentu umiestnený na prvom mieste a 6 z 10 účastníkov chcelo vyhrať. Niektorí účastníci vyjadrili, že si hlavne chcú užijť jazdu, alebo že vždy chcú vyhrať, ak sa dá. 7 z 10 účastníkov vždy po synchronizácii vymenilo ekologické skóre za odmeny a jeden účastník sa vyjadril, že tento krok bol zbytočný a odmeny by mali byť premenené radšej automaticky.

8.6 Štatistická významnosť

V záujme zaujať postoj voči definovaným hypotézam bol uskutočnený parametrický študentov t-test. Jeho predpokladom je normálna distribúcia zaznamenaných hodnôt v datasete. Štatistický test pre distribúciu bol vykonaný cez Shapiro-Wilk test normality osobitne nad oboma množinami dát.

Výsledky testov vyvrátili normalitu dát (hodnota $p = 6,7704e-07$ pre experimentálnu skupinu s motivačnou stratégiou odmien a hodnota $p = 0,0232$ pre experimentálnu skupinu s motivačnou stratégiou gamifikácie). To môže byť dôsledkom nízkeho počtu nameraných hodnôt, pretože vykreslením distribúcie na histogram (obrázok 8.7) bola normalita získaných dát potvrdená. Splnenie predpo-



Obr. 8.7: Histogram znázorňujúci distribúciu nameraných hodnôt ohľadom priemernej spotreby paliva v datasete

kladu ohľadom normality dát umožňuje vykonanie parametrického študentovho t-testu.

Výslednými hodnotami t-testu boli hodnoty $t = 0,6126$ a $p = 0,5404$. Stupeň voľnosti pri počte účastníkov 10 (5 v každej experimentálnej skupine) je 8 a pri hodnote $p < 0,05$ je hodnota t považovaná za štatisticky významnú v prípade, že je väčšia ako 2,31. **Vzhľadom na vysokú hodnotu p , ktorá potvrdzuje pravdivosť nulovej hypotézy H_0 , túto hypotézu nie je možné zamietnuť. Možno teda tvrdiť, že v tomto riadenom experimente nebol zistený štatisticky významný vplyv motivačnej stratégie odmien alebo gamifikácie na spotrebu paliva.**

8.7 Použitelnosť systému pre experiment

Hodnotenie použiteľnosti systému pre experiment bolo súčasťou posledného dotazníka, ktorý sa týkal celého experimentu. V procese návrhu používateľského rozhrania systému pre experiment som postupoval podľa životného cyklu inžinierstva použiteľnosti z [37]. Najskôr som identifikoval hlavné objekty systému v konceptuálnom modeli, potom som navrhol postupnosť obrazoviek a následne

som na implementovanom systéme overil použiteľnosť používateľského rozhrania.

Bolo zistené skóre na škále použiteľnosti systému [30] (SUS) **vo výške 79,25**. Dosiahnuté skóre sa môže považovať za nadpriemerné vzhľadom na hodnotu 68, ktorá je priemernou škálou použiteľnosti získanou z mnohých štúdií [30].

Na základe odpovedí v dotazníkoch možno povedať, že používanie systému pre experiment bolo počas celého trvania experimentu podľa účastníkov bezproblémové. Synchronizácia jazd v systéme bola vykonaná vždy bez problémov a funkčnosť systému sa nezdaľa byť z pohľadu účastníkov počas experimentu negatívne ovplyvnená. V žiadnej fáze experimentu neboli zaznamenané akékoľvek komplikácie a účastníci sa v dotazníkoch nezmienili o žiadnych problémoch s použiteľnosťou systému. 9 z 10 účastníkov vyjadrilo, že používanie mobilnej aplikácie so systémom pre experiment bolo jednoduché. Vzhľadom na túto spätnú väzbu považujem systém pre experiment za dobre implementovaný z pohľadu používateľa.

Zaujímavosťou môže byť to, že na systém pre experiment pristupovalo 8 z 10 účastníkov prostredníctvom smartfónu. Tento fakt demonštruje, že implementácia responzívneho dizajnu je v dnešnej dobe nevyhnutnou vzhľadom na to, že väčšina používateľov používa smartfón na surfovanie po internete a používanie aplikácií v online prostredí.

8.8 Vedomosti ohľadom ekologickej jazdy

V systéme pre experiment sa účastníkom zobrazovali tipy pre ekologickú jazdu, ktoré im mali pomôcť zlepšiť svoje vedomosti. Účastníci odpovedali po každej uskutočnenej fáze experimentu okrem dotazníka aj na 3 kvízové otázky v osobitnom dotazníku. Cieľom týchto dotazníkov bolo odsledovať, či sa vedomosti účastníkov časom zlepšujú.

Tri otázky v každom dotazníku sa pýtali na konkrétne praktiky pre zvýšenie účinnosti paliva. V systéme pre experiment bol v danom čase viditeľný vždy len jeden tip a nový sa zobrazil každých 10 sekúnd. Celkovo sa v systéme nachádzalo 26 rôznych tipov, ktoré som čerpal z [25]. Otázky v kvízoch mali vždy aspoň jednu správnu odpoveď a za každú otázku vedel účastník získať 1 alebo žiaden bod.

Zhrnutie výsledkov možno vidieť v tabuľke 8.3. Na základe tohto sumáru odpovedí na kvízové otázky možno skonštatovať, že sa vedomosti účastníkov ohľa-

dom ekologickej jazdy **zlepšili v priemere o 49%**. Z odpovedí v poslednom všeobecnom dotazníku vyplýva, že len 1 účastník nesledoval zobrazované tipy. 5 z 10 účastníkov uviedlo, že spravili zmeny vo svojom správaní za volantom na základe tipov, ktoré boli v systéme pre experiment zobrazované.

kvíz po fáze	priemer (b)	medián (b)	rozsah (b)
č. 1	1,27	1	0 - 2
č. 2	1,43 (+15%)	1	1 - 2
č. 3	1,89 (+49%)	2	1 - 3

Tabuľka 8.3: Zhrnutie odpovedí z dotazníkov pre overenie vedomostí ohľadom ekologickej jazdy

8.9 Všeobecné otázky

V poslednom všeobecnom dotazníku som sa účastníkov pýtal na rozličné otázky ohľadom ekologickej jazdy, ktorých zhrnutie je nasledovné:

- 9 z 10 účastníkov si myslí, že je o ich vozidlo dobre postarané z hľadiska údržby.
- 6 z 10 účastníkov si myslí, že jazdí z hľadiska spotreby paliva efektívne.
- 4 z 10 účastníkov prisôsobuje svoje správanie za volantom za účelom zlepšiť jazdu na nízku spotrebu.
- 10 z 10 účastníkov používa motorový olej odporúčaný výrobcom.
- 9 z 10 účastníkov pravidelne sleduje pneumatiky na svojom vozidle a udržiava ich poriadne nafúkané.
- 3 z 10 účastníkom sa zlepšila údržba ich vozidla počas trvania tohto experimentu.

9 Návrhy pre vylepšenia

V tomto výskume bol navrhnutý a zrealizovaný riadený experiment v teréne za použitia platformy *enviroCar* ako sprostredkovateľa dát z jazdy automobilom. Na základe dosiahnutých výsledkov možno zhrnúť, že nebol zistený štatisticky významný vplyv motivačnej stratégie odmien a gamifikácie na spotrebu paliva. V budúcnosti bude potrebné zaviesť zopár vylepšení v niekoľkých smeroch, aby mohli byť eliminované hrozby validity získaných výsledkov.

9.1 Prínosy práce

V tomto výskume bol navrhnutý rámec pre realizáciu experimentu v teréne pre odsledovanie vplyvu motivačných stratégií, gamifikácie a odmien, na správanie šoféra za volantom automobilu. Za použitia tohto rámca bol implementovaný systém pre experiment, ktorý sa preukázal s vysokou použiteľnosťou a spoľahlivosťou na základe spätnej väzby od 10 účastníkov experimentu. Výhodou systému je, že je založený na otvorenej platforme *enviroCar*, ktorá je aktívne udržiavaná.

Pre ohodnotenie ekologického výkonu účastníkov bol navrhnutý vzorec pre výpočet ekologického skóre. Ekologické skóre účastníci získali za každú jazdu počas druhej a tretej fázy experimentu. Zobrazením tipov pre zlepšenie ekologickej jazdy v systéme pre experiment bolo možné dosiahnuť zlepšenie vedomostí účastníkov ohľadom ekologickej jazdy.

Napriek tomu, že v tomto experimente nebolo možné pozorovať zlepšenie priemernej spotreby paliva účastníkov ani v dôsledku poskytnutia motivácie, môže byť tento výskum inšpiráciou pre budúcnosť a podnetom pre rôznorodé vylepšenia. Po realizácii experimentu sa nepodarilo zodpovedať výskumnú otázku, ale nadobudnuté vedomosti môžu byť zúžitkované v nasledujúcej iterácii tohto výskumu, ktorú navrhujem aj na základe pozitívnej spätnej väzby od účastníkov

experimentu.

Spôsob, akým bol experiment navrhnutý sa 8 z 10 účastníkom páčil a dvaja boli neutrálni pri tejto odpovedi. 2 z 10 účastníkov si mysleli, že experiment mal veľa nedostatkov. Účastník P2 bol veľmi nespokojný z nepresnosti nameraných dát ohľadom spotreby paliva cez *enviroCar* GPS model. Byť účastníkom experimentu si podľa účastníkov nevyžadovalo veľké vynaložené úsilie. Podľa 2 z 10 účastníkov bolo náročné vytrvať až do konca experimentu a 9 z 10 účastníkov videlo zmysel v tomto experimente. Rovnaký počet účastníkov hodnotí účasť v experimente pozitívne a tiež by si vedeli predstaviť opätovnú účasť v podobnom experimente niekedy v budúcnosti.

9.2 Počet účastníkov

Nepriaznivá situácia ohľadom koronavírusu zťažila hľadanie dostatočného množstva vhodných účastníkov, ktorí by sa mohli experimentu zúčastniť. Okolnosti tohto charakteru sa nedajú ovplyvniť ale ak sa dá, navrhujem podobný experiment realizovať v priaznivejších podmienkach.

Schopnosť účastníkov jazdiť automobilom na pravidelnej báze počas trvania experimentu bola negatívne ovplyvnená v dôsledku koronavírusu v 7 z 10 prípadoch. Nízky počet účastníkov experimentu bol najväčšou hrozbou validity dosiahnutých výsledkov.

9.3 Metóda zberu dát

V tomto experimente bola tiež overená metóda zberu dát, ktorá bola založená na GPS meraniach prostredníctvom mobilnej aplikácie *enviroCar* a ich modelu. Použitie tejto metódy vo výskume, v ktorom je spotreba paliva sledovanou a smerodajnou závislou premennou, nie je vhodné.

V experimente tohto typu, kde je ukazovateľom hodnota ohľadom spotreby paliva, odporúčam použiť presnejšiu metódu zberu dát. Namiesto GPS modelu z platformy *enviroCar* odporúčam použiť OBD model. V prípade, že sa niekto rozhodne experiment realizovať za použitia OBD modelu na platforme *enviroCar*, odporúčam osloviť aspoň štyrikrát vyšší počet ľudí pre participáciu než je očakávaný reálny počet účastníkov. Toto odporúčanie vychádza z vlastných skúseností

z tohto experimentu, pretože mnoho z oslovených ľudí sa nevyhlo technickým problémom pri pripojení ich mobilného zariadenia na OBD zariadenie. Toto je príčinou zníženého finálneho počtu ľudí, ktorí sú schopní účasti v takomto type experimentu.

9.4 Finančná podpora

Výška finančných nákladov bola veľkým dôvodom, prečo som sa rozhodol motivovať krokmi, ktoré predstavovali ekonomicky prijateľnú alternatívu ku reálnym finančným odmenám. Finančné odmeny by bezpochybné viac motivovali účastníkov ku ekologickej jazde. Z tohto dôvodu by bolo vhodné zvoliť iný motivačný prvok, ako bol zvolený v tomto experimente.

V prípade realizácie experimentu za použitia OBD modelu z *enviroCar* je potrebné vyhradiť finančné prostriedky aj pre zaobstaranie dostatočného počtu zariadení ELM327. V tomto experimente sa mi podarilo zaobstarať celkom 10 zariadení, z ktorých jedno nebolo funkčné. V internetovom obchode *AliExpress*¹ je možné kúpiť zariadenie podporujúce tento protokol za cenu približne troch dolárov² a na Slovensku to isté zariadenie za cenu približne dvakrát vyššiu³.

9.5 Eliminácia mätúcich faktorov

V prípade opätovnej realizácie experimentu navrhujem alternatívny spôsob, akým by mohol byť implementovaný algoritmus detekujúci zhody medzi rôznymi trasami pre získanie množiny zhodných trás vhodných pre porovnanie. Namiesto prirovnávania všetkých GPS súradníc na mapu z reálneho sveta navrhujem porovnávať len vrcholy, ktorými šofér najčastejšie prechádza. Tento spôsob implementácie by bol viac tolerantný, avšak stále je pomocou neho možné dosiahnuť približne rovnaký výsledok.

Ďalší návrh je spájanie trás, ktoré boli v dôsledku nejakej udalosti rozdelené na viacero samostatných meraní. Týmto chcem povedať, že je potrebné brať ohľad

¹<https://aliexpress.com> - internetový obchod AliExpress (citované 31. 1. 2021)

²<https://aliexpress.com/item/4000098996019.html> - ELM327 v internetovom obchode AliExpress (citované 22. 1. 2021)

³<https://alza.sk/url/kNrVW26AqG> - ELM327 v internetovom obchode Alza (citované 22. 1. 2021)

aj na to, že sa účastník môže v strede trasy zastaviť na nákup. V dôsledku týchto typov udalostí sa počas tohto experimentu zaznamenal vyšší počet jazdených trás, ako bol skutočný počet.

V rámci eliminácie mätúcich faktorov tu je tiež možnosť realizácie experimentu v simulácii. Na spotrebu paliva vplýva mnoho faktorov od teploty vonkajšieho prostredia po hustotu premávky, údržbu vozidla a mnoho ďalších. Simulácia by umožnila definovať rovnaké scenáre a podmienky pre všetkých účastníkov experimentu.

10 Záver

V tejto záverečnej práci bol navrhnutý a zrealizovaný riadený experiment v teréne so záujmom zistiť mieru vzájomného vplyvu motivačných stratégií odmien a gamifikácie. Podnet pre uskutočnenie tohto výskumu prišiel zo strany prechádzajúceho výskumu z článku [17], kde výskumníci navrhli uskutočniť toto porovnanie.

V prvom rade boli analyzované typy spätnej väzby pre šoféra automobilu so záujmom vybrať vhodný typ, ktorý by mohol byť použitý v experimente pre poskytnutie motivácie jazdiť ekologicky. Súčasťou analytickej časti práce je aj popis dostupných možností pre metódu zberu dát z jazdy automobilom na existujúcej platforme *enviroCar*.

Pri zvolení metodológie bol navrhnutý rámec pre realizáciu experimentu v 3 fázach. Na tomto rámci bol navrhnutý a implementovaný systém pre experiment, ktorý sprostredkúva motivačnú spätnú väzbu účastníkom experimentu na základe dát z jazdy automobilom. Tieto dáta sú zozbierané pomocou mobilnej aplikácie, ktorú poskytuje platforma *enviroCar*. Systém pre experiment je schopný spracovať dáta z tejto tretej strany.

V používateľskom rozhraní systému pre experiment sa účastníkom experimentu zobrazuje spätná väzba podľa toho, v akej experimentálnej skupine sú zaradení. Účastníci boli rozdelení do dvoch experimentálnych skupín podľa toho, aká motivačná stratégia je použitá na ich motiváciu jazdiť ekologicky. Experimentu sa zúčastnilo 14 ľudí, z koľkých 10 úspešne absolvovalo celý experiment. Účastníci experimentu počas 6 týždňov trvania experimentu spolu najazdili 5211 kilometrov v 393 jazdách.

V dôsledku hrozieb validity dosiahnutých výsledkov, ktorými boli malá vzorka účastníkov, nepresná metóda zberu dát a viacero mätúcich faktorov, nebol zistený štatisticky významný vplyv motivačných stratégií na spotrebu paliva. Pre zodpovedanie výskumnej otázky navrhujem, aby bol experiment znovu zrealizovaný s

rovnakým cieľom po odstránení nedostatkov tohto výskumu.

Metóda zberu dát použitá v tomto experimente bola založená na GPS modeli z platformy *enviroCar*. V nasledujúcej iterácii navrhujem použiť OBD model, ktorý poskytuje tiež táto platforma. Použitím OBD modelu bude možné zozbierať presnejšie dáta ohľadom spotreby paliva. Je tiež nevyhnutné, aby sa experimentu tohto typu zúčastnilo aspoň 14 ľudí pre výskum očakávaného efektu motivačných stratégií pri spotrebe paliva.

Pre elimináciu mätúcich faktorov bude vhodné implementovať algoritmus pre filtrovanie rušivých dát. Realizácia experimentu v simulácii je tiež alternatívou na zváženie, nakoľko v takom prípade by bolo možné definovať rovnaké podmienky a scenáre pre všetkých participantov.

Systém pre experiment sa preukázal vysokou použiteľnosťou a spoľahlivosťou počas 6 týždňov realizácie experimentu. Vedomosti účastníkov experimentu ohľadom ekologickej jazdy sa zlepšili v priemere o 49% vďaka poskytovaným tipom pre ekologickú jazdu v systéme pre experiment.

Súčasťou implementovaného systému je aj navrhnutý vzorec pre výpočet ekologického výkonu šoféra na základe spotreby paliva, ktorý považujem vzhľadom na kvalitatívnu spätnú väzbu od účastníkov experimentu za správne implementovaný. Architektúra systému pre experiment je navrhnutá na princípe separácie záujmov, čím je riešenie jednoducho rozšíriteľné, škálovateľné a komponenty riešenia je možné kedykoľvek zamieňať za iné.

Verím, že napriek tomu, že sa v tomto výskume nepodarilo vyvrátiť nultú hypotézu, účastníci experimentu si rozšírili svoje vedomosti ohľadom ekologickej jazdy a budú tak vedieť byť viac ohľaduplní k našej planéte. Veľkým prínosom mojej práce je aj navrhnutý rámec pre realizáciu experimentu spolu s implementovaným systémom pre experiment, ktoré môžu byť použité v ďalšej iterácii tohto alebo iných výskumov vplyvu motivačných stratégií.

Literatúra

1. AMAZON. *What is Caching and How it Works*. 2021. Dostupné tiež z: <https://aws.amazon.com/caching>. [Prístup: 1. 4. 2021].
2. AUTH0. *JSON Web Tokens*. 2021. Dostupné tiež z: <https://jwt.io>. [Prístup: 20. 4. 2021].
3. BEJAMAS. *Jamstack SEO Guide*. 2021. Dostupné tiež z: <https://bejamas.io/blog/jamstack-seo-guide>. [Prístup: 21. 4. 2021].
4. DOCKER. *What is a Container?* 2021. Dostupné tiež z: <https://www.docker.com/resources/what-container>. [Prístup: 19. 4. 2021].
5. KHAN ACADEMY. *Controlled experiments*. 2021. Dostupné tiež z: <https://www.khanacademy.org/science/high-school-biology/hs-biology-foundations/hs-biology-and-the-scientific-method/a/experiments-and-observations>. [Prístup: 19. 4. 2021].
6. MOZILLA DEVELOPER NETWORK. *HTTP headers*. 2021. Dostupné tiež z: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Headers>. [Prístup: 20. 4. 2021].
7. NETLIFY. *Jamstack*. 2021. Dostupné tiež z: <https://jamstack.com>. [Prístup: 21. 4. 2021].
8. POLACEK, John. *Let's Define Exactly What Atomic CSS is*. 2021. Dostupné tiež z: <https://css-tricks.com/lets-define-exactly-atomic-css>. [Prístup: 1. 4. 2021].
9. WIKIPÉDIA. *1973 oil crisis*. 2021. Dostupné tiež z: https://en.wikipedia.org/wiki/1973_oil_crisis. [Prístup: 19. 2. 2021].
10. WIKIPÉDIA. *Access-control List*. 2021. Dostupné tiež z: https://en.wikipedia.org/wiki/Access-control_list. [Prístup: 4. 4. 2021].

11. WIKIPÉDIA. *Engine control unit*. 2021. Dostupné tiež z: https://en.wikipedia.org/wiki/Engine_control_unit. [Prístup: 2. 2. 2021].
12. WIKIPÉDIA. *Gamification*. 2021. Dostupné tiež z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Gamification>. [Prístup: 18. 3. 2021].
13. WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. *What is Document Object Model?* 2021. Dostupné tiež z: <https://www.w3.org/TR/WD-DOM/introduction.html>. [Prístup: 5. 4. 2021].
14. 52°NORTH. *Fuel consumption models in enviroCar based on ODB or GPS data*. 2020. Dostupné tiež z: <https://blog.52north.org/2020/07/02/fuel-consumption-models-in-envirocar>. [Prístup: 22. 2. 2021].
15. BREAKTHROUGH ENERGY. *Helping the world get to net-zero*. 2020. Dostupné tiež z: <https://breakthroughenergy.org>. [Prístup: 19. 11. 2020].
16. BURTON, Tim. *I'm NOT Selling My Porsche Taycan Turbo S and HERE'S WHY! - YouTube*. 2020. Dostupné tiež z: https://youtube.com/watch?v=1mArwd_g84E. [Prístup: 17. 2. 2020].
17. GÜNTHER, Madlen; KACPERSKI, Celina; KREMS, Josef F. Can electric vehicle drivers be persuaded to eco-drive? A field study of feedback, gamification and financial rewards in Germany. *Energy Research & Social Science*. 2020, roč. 63, s. 101407. ISSN 2214-6296. Dostupné z DOI: 10.1016/j.erss.2019.101407.
18. LIU, Zhu; CIAIS, Philippe; DENG, Zhu; LEI, Ruixue; DAVIS, Steven J.; FENG, Sha; ZHENG, Bo; CUI, Duo; DOU, Xinyu; ZHU, Biqing; GUO, Rui; KE, Piyu; SUN, Taochun; LU, Chenxi; HE, Pan; WANG, Yuan; YUE, Xu; WANG, Yilong; LEI, Yadong; ZHOU, Hao; CAI, Zhaonan; WU, Yuhui; GUO, Runtao; HAN, Tingxuan; XUE, Jinjun; BOUCHER, Olivier; BOUCHER, Eulalie; CHEVALLIER, Frédéric; TANAKA, Katsumasa; WEI, Yimin; ZHONG, Haiwang; KANG, Chongqing; ZHANG, Ning; CHEN, Bin; XI, Fengming; LIU, Miaomiao; BRÉON, François-Marie; LU, Yonglong; ZHANG, Qiang; GUAN, Dabo; GONG, Peng; KAMMEN, Daniel M.; HE, Kebin; SCHELLNHUBER, Hans Joachim. Near-real-time monitoring of global CO₂ emissions reveals the effects of the COVID-19 pandemic. *Nature Communications*. 2020, roč. 11, č. 1, s. 5172. ISSN 2041-1723. Dostupné z DOI: 10.1038/s41467-020-18922-7.

19. SVETOVÁ ZDRAVOTNÍCKA ORGANIZÁCIA. *Health topics - Air pollution*. 2020. Dostupné tiež z: <https://who.int/westernpacific/health-topics/air-pollution>. [Prístup: 19. 11. 2020].
20. 52°NORTH. *enviroCar.org*. 2019. Dostupné tiež z: <https://envirocar.org>. [Prístup: 31. 1. 2021].
21. MASSOUD, Rana; BELLOTTI, Francesco; BERTA, Riccardo; DE GLORIA, Alessandro; POSLAD, Stefan. Exploring Fuzzy Logic and Random Forest for Car Drivers' Fuel Consumption Estimation in IoT-Enabled Serious Games. In: *2019 IEEE 14th International Symposium on Autonomous Decentralized System (ISADS)*. 2019, s. 1–7. Dostupné z doi: 10.1109/ISADS45777.2019.9155706. ISSN: 2640-7485.
22. ERTRAC. *Strategic Research Agenda*. 2018. Dostupné tiež z: <https://ertrac.org/uploads/documentsearch/id52/ERTRAC-Strategic-Research-Agenda-SRA-2018.pdf>. [Prístup: 5. 12. 2020].
23. MASSOUD, Rana; POSLAD, Stefan; BELLOTTI, Francesco; BERTA, Riccardo; MEHRAN, Kamyar; GLORIA, Alessandro De. A Fuzzy Logic Module to Estimate a Driver's Fuel Consumption for Reality-Enhanced Serious Games. *International Journal of Serious Games*. 2018, roč. 5, č. 4, s. 45–62. ISSN 2384-8766. Dostupné z doi: 10.17083/ijsg.v5i4.266. Number: 4.
24. DANGE, G. R.; PARANTHAMAN, P. K.; BELLOTTI, F.; BERTA, R.; GLORIA, A. De; RAFFERO, M.; NEUMEIER, S. Deployment of serious gaming approach for safe and sustainable mobility. In: *2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. 2017, s. 1222–1227. Dostupné z doi: 10.1109/IVS.2017.7995879.
25. SANGUINETTI, Angela; KURANI, Ken; DAVIES, Jamie. The many reasons your mileage may vary: Toward a unifying typology of eco-driving behaviors. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2017, roč. 52, s. 73–84. ISSN 1361-9209. Dostupné z doi: 10.1016/j.trd.2017.02.005.
26. VAEZIPOUR, Atiyeh; RAKOTONIRAINY, Andry; HAWORTH, Narelle; DEL-HOMME, Patricia. Enhancing eco-safe driving behaviour through the use of in-vehicle human-machine interface: A qualitative study. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2017, roč. 100, s. 247–263. ISSN 0965-8564. Dostupné z doi: 10.1016/j.tra.2017.04.030.

27. LAI, Wen-Tai. The effects of eco-driving motivation, knowledge and reward intervention on fuel efficiency. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2015, roč. 34, s. 155–160. ISSN 1361-9209. Dostupné z DOI: 10.1016/j.trd.2014.10.003.
28. STAFFORD, Tom. *Power analysis for a between-sample experiment*. 2015. Dostupné tiež z: <https://tomstafford.staff.shef.ac.uk/?p=335>. [Prístup: 28. 3. 2021].
29. VAEZIPOUR, Atiyeh; RAKOTONIRAINY, Andry; HAWORTH, Narelle. Reviewing In-vehicle Systems to Improve Fuel Efficiency and Road Safety. *Procedia Manufacturing*. 2015, roč. 3, s. 3192–3199. ISSN 2351-9789. Dostupné z DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.869.
30. AFFAIRS, Assistant Secretary for Public. *System Usability Scale (SUS)*. 2013. Dostupné tiež z: <https://usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html>. [Prístup: 28. 3. 2021].
31. B&B ELECTRONICS. *OBD-II Background Information*. 2011. Dostupné tiež z: <http://obdii.com/background.html>. [Prístup: 19. 2. 2021].
32. TULUSAN, Johannes; SOI, Lito; PAEFGEN, Johannes; BROGLE, Marc; STAKE, Thorsten. Eco-efficient feedback technologies: Which eco-feedback types prefer drivers most? In: *2011 IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*. 2011, s. 1–8. Dostupné z DOI: 10.1109/WoWMoM.2011.5986187.
33. ERTRAC. *Strategic Research Agenda*. 2010. Dostupné tiež z: https://ertrac.org/uploads/documentsearch/id21/ERTRAC_SRA_2010.pdf. [Prístup: 5. 12. 2020].
34. LEE, Heewon; LEE, Woohun; LIM, Youn-Kyung. The Effect of Eco-Driving System towards Sustainable Driving Behavior. In: *CHI '10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. Atlanta, Georgia, USA: Association for Computing Machinery, 2010, s. 4255–4260. CHI EA '10. ISBN 9781605589305. Dostupné z DOI: 10.1145/1753846.1754135.
35. ERTRAC. *Strategic Research Agenda*. 2004. Dostupné tiež z: https://ertrac.org/uploads/documentsearch/id29/ertrac_sra_dec2004_11.pdf. [Prístup: 5. 12. 2020].

36. HAWORTH, N.; SYMMONS, M. *The relationship between fuel economy and safety outcomes*. 2001. ISBN 978-0-7326-1487-4. Dostupné tiež z: <https://trid.trb.org/view/732971>.
37. MAYHEW, Deborah J. *The Usability Engineering Lifecycle: A Practitioner's Handbook for User Interface Design*. 1st. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1999. ISBN 1558605614, ISBN 9781558605619.
38. GREENE, D. L. *Driver energy conservation awareness training. Review and recommendations for a national program*. 1986-05. Tech. spr., ORNL/TM-9897. Oak Ridge National Lab., TN (USA). Dostupné z doi: <https://doi.org/10.2172/5732393>.

Zoznam skratiek

ACL Access-Control List.

API Application Programming Interface.

CMS Content Management System.

CRUD Create, read, update and delete.

CSR Client-Side Rendering.

CSS Cascading Style Sheets.

ECU Engine Control Unit.

ERTRAC European Road Transport Research Advisory Council.

GeoJSON Geographic JavaScript Object Notation.

GPS Global Positioning System.

JS JavaScript.

JWT JSON Web Token.

MVC Model-View-Controller.

OBD On-Board Diagnostics.

REST Representational State Transfer.

SEO Search Engine Optimization.

SSR Server-Side Rendering.

SUS System Usability Scale.

WHO World Health Organization.

WYSIWYG What You See Is What You Get.

Slovník

Access-Control List (ACL) v počítačovej bezpečnosti je zoznam povolení asociovaných so systémovým zdrojom (objektom) [10].

Content Management System je softvér, ktorý jeho používateľom pomáha vytvárať, spravovať a modifikovať obsah bez nutnosti mať špecializované technické zručnosti.

Client-Side Rendering je renderovanie aplikácie vo webovom prehliadači používajúc DOM [7].

Headless Content Management System (Headless CMS) je CMS, ktoré má z architekturného princípu MVC implementovanú len dátovú logiku (z angl. model) a riadiaci model (z angl. controller).

JSON Web Token (JWT) je otvorenou priemyselnou štandardnou metódou *RFC 7519* na bezpečnú reprezentáciu nárokov medzi dvoma stranami [2].

Model-View-Controller (MVC) je softvérová architektúra, ktorá rozdeľuje dátový model aplikácie, používateľské rozhranie a riadiacu logiku aplikácie do troch nezávislých komponentov.

Server-Side Rendering je renderovanie klientskej časti webovej aplikácie do HTML na serveri [7].

Atomické CSS (z angl. utility-first CSS) je CSS architektúra, ktorá nie je mienkotvorná a definuje množinu tried, ktorá reprezentuje jednoúčelové štýlovacie jednotky [8].

Caching je mechanizmus umožňujúci efektívne znovupoužiť dáta, ktoré boli už predtým nejakým spôsobom získané alebo vypočítané [1].

Ekologická jazda je nákladovo efektívna jazda z pohľadu spotreby paliva a vyprodukovaných emisií [29].

Ekologické a bezpečné jazdenie je štýl jazdy, ktorý zlepšuje účinnosť paliva bez kompromisu pri bezpečnosti jazdy [29].

Gamifikácia je použitie herného dizajnu v kontexte mimo hry v snahe zvýšiť motiváciu šoféra [12].

HTTP hlavička (z angl. header) je údaj používaný klientom aj serverom v HTTP požiadavke alebo odpovedi, ktorý obsahuje dopĺňujúce informácie [6].

Jamstack je architekturný prístup vývoja webových aplikácií, ktoré sú navrhnuté tak, aby boli rýchlejšie, bezpečnejšie a jednoduchšie na škálovanie, a tento prístup prináša zároveň lepší vývojársky zážitok pre vývojárov [7].

Kontajner je štandardná jednotka softvéru, ktorá obaľuje celý zdrojový kód a všetky jeho závislosti za účelom jednoduchšej prenositeľnosti tejto jednotky z jedného prostredia do druhého [4].

Objektový model dokumentu (z angl. Document Object Model) (DOM) je rozhranie pre programovanie aplikácií (API), cez ktoré môže JavaScript pridávať, meniť a odstraňovať elementy, atribúty, štýly a reagovať na udalosti [13].

Optimalizácia pre vyhľadávače (z angl. Search Engine Optimization) (SEO) je praktika zvyšovania kvantity a kvality prevádzky webovej stránky cez organické výsledky vyhľadávacieho nástroja [3].

Palubná diagnostika (z angl. On-Board Diagnostics) (OBD) je štandard, ktorý poskytuje skoro kompletnú kontrolu motora a tiež monitorovanie rôznych častí vozidla [31].

Re-fetching umožňuje obnoviť výsledky dopytu ako odpoveď na akciu, ktorá mohla byť vykonaná napríklad používateľom cez používateľské rozhranie.

Riadený experiment je vedecký test uskutočnený v kontrolovaných podmienkach čo znamená, že len jeden alebo viac faktorov sa menia v čase (nezávislé premenné), pokým tie ostatné sú konštantné (kontrolované premenné) [5].

Riadiaca jednotka motora (z angl. Engine Control Unit) (ECU) je typ riadiacej jednotky, ktorá riadi sériu akčných členov spaľovacieho motora a takto zabezpečuje optimálny výkon motora [11].

Spotreba paliva je celkové množstvo paliva spotrebované vozidlom na určitej trase za určitý čas [29].

Vytvoriť, čítať, aktualizovať a zmazať (z angl. Create, read, update and delete) (CRUD) sú 4 hlavné funkcie implementované v databázových aplikáciách.

Zásuvný modul (z angl. plugin) je počítačový program, ktorý rozširuje funkcie iného programu alebo ho dopĺňa.

Účinnosť paliva je pomer úsilia k výsledku procesu, ktorý premieňa chemickú potenciálnu energiu obsiahnutú v palive na kinetickú energiu alebo prácu [29].

Škála použiteľnosti systému (z angl. System Usability Scale) (SUS) je štandard pre meranie použiteľnosti systému [30].

Zoznam príloh

Príloha A CD médium – záverečná práca v elektronickej podobe vrátane zdrojových kódov, zozbieraných dát (dáta z jazdy automobilom a odpovede z dotazníkov), dokumentov z experimentu (návodov a informačné dokumenty ohľadom jednotlivých fáz experimentu) a komunikácie s účastníkmi experimentu (všetky oficiálne e-mailové správy).

Príloha B Používateľská príručka

Príloha C Systémová príručka

**Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky**

Systém pre experiment beaufuel

Príloha B - Používateľská príručka

Obsah

1	Všeobecné informácie	1
1.1	Požiadavky na spustenie aplikácie	1
1.2	Spustenie aplikácie	2
2	Prvé spustenie	3
2.1	Registrácia a prihlásenie	3
2.2	Proces po prvom prihlásení	4
2.2.1	1. krok - základné údaje	4
2.2.2	2. krok - enviroCar	5
2.2.3	3. krok - zber dát	6
3	Používanie	8
3.1	Všeobecné	8
3.2	Synchronizácia dát	8
3.3	Používanie počas ostatných fáz	11

Zoznam obrázkov

2.1	Obrazovka registrácie a prihlásenia	4
2.2	Obrazovka z registračného procesu - základné údaje	5
2.3	Obrazovka z registračného procesu - <i>enviroCar</i>	6
2.4	Obrazovka z registračného procesu - zber dát	7
3.1	Centrálna obrazovka počas prvej fázy experimentu	9
3.4	Notifikácia pre úspešne vykonanú synchronizáciu	9
3.5	Notifikácia pre neúspešne vykonanú synchronizáciu	9
3.2	Vysúvacie okno pre vykonanie synchronizácie	10
3.3	Centrálna obrazovka počas prebiehajúcej synchronizácie	10

1 Všeobecné informácie

Systém pre experiment *beautofuel* bol vyvinutý za účelom realizácie riadeného experimentu v teréne. Medzi účely tohto systému z pohľadu používateľa patria:

- **Zber dát:** účastník experimentu v systéme synchronizuje dáta zozbierané prostredníctvom platformy *enviroCar*¹ z jazdy automobilom.
- **Motivácia:** na základe synchronizovaných dát sa účastníkovi zobrazuje spätná väzba, ktorej účelom je motivovať účastníka odmenami alebo gamifikačnými prvkami.
- **Vzdelávanie:** v používateľskom rozhraní sa účastníkovi zobrazujú tipy pre zlepšenie ekologickej jazdy.

1.1 Požiadavky na spustenie aplikácie

Pre správny chod aplikácie musia byť nutne splnené tri podmienky:

- Potrebujete mať na zariadení nainštalovaný webový prehliadač, ktorý aplikácia podporuje,
- potrebujete mať v prehliadači zapnutý JavaScript,
- potrebujete mať neustále pripojenie na internet.

Aplikácia je platformovo nezávislá a preto je jedno, aký operačný systém používate. Podporované sú všetky moderné webové prehliadače ako *Firefox*, *Chrome*, *Safari*, *Opera*, *Edge* alebo *Internet Explorer 11*.

¹<https://envirocar.org> - Platforma *enviroCar* (citované 18. 4. 2021)

1.2 Spustenie aplikácie

Spustenie aplikácie si nevyžaduje žiadnu dodatočnú konfiguráciu a stačí mať nainštalovaný jeden z webových prehliadačov, ktoré sú uvedené vyššie. Na adrese <https://sampittko.sk> sa nachádza odkaz na systém pre experiment, po ktorého kliknutí nastane presmerovanie na adresu so systémom pre experiment.

2 Prvé spustenie

Aby ste sa mohli stať právoplatným účastníkom experimentu, potrebujete prejsť úvodným procesom registrácie v systéme pre experiment. Tento proces je zložený z 3 krokov:

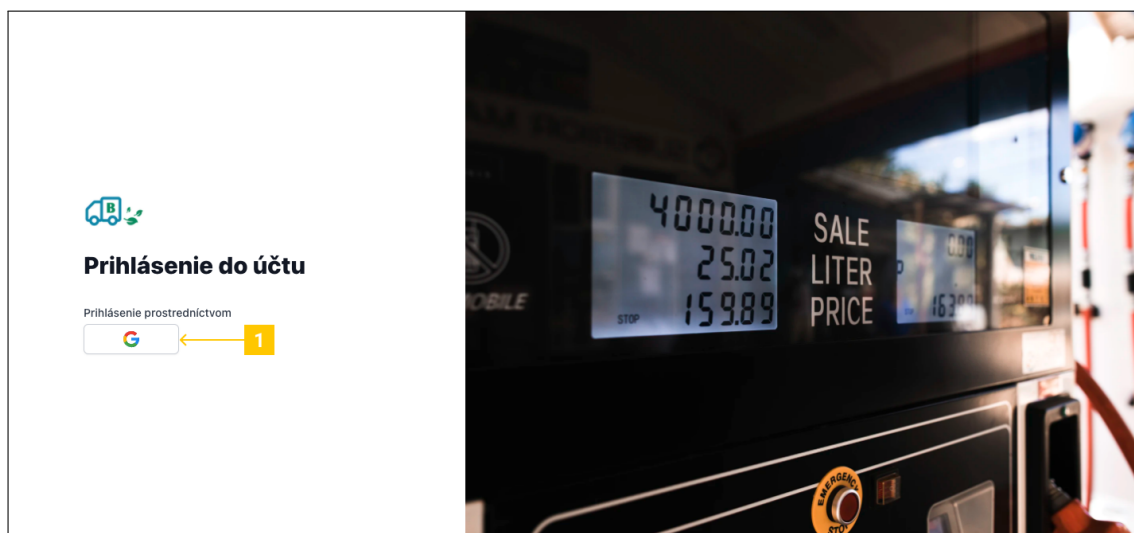
1. **Základné údaje:** nastavenie prezývky, pod ktorou vás počas experimentu vidia aj všetci ostatní účastníci.
2. **enviroCar:** spárovanie vášho účtu na platforme *enviroCar* s vaším účtom v systéme pre experiment.
3. **Zber dát:** vyjadrenie vašeho súhlasu so zberom dát a ich použitím na výskumné účely organizátorom experimentu.

Po úspešnom dokončení tohto procesu budete presmerovaný do centrálnej obrazovky systému a môžete začať s používaním systému podľa úvodných inštrukcií, ktoré ste obdržali od organizátora experimentu prostredníctvom e-mailu.

2.1 Registrácia a prihlásenie

Systém pre experiment zatiaľ podporuje len registráciu a prihlásenie prostredníctvom účtu *Google*. V prípade, že taký účet nemáte, kontaktujte organizátora pre rozšírenie možností pre registráciu a prihlásenie do systému pre experiment.

Po kliknutí na tlačidlo 1 na obrazovke registrácie a prihlásenia z obrázka 2.1 (tlačidlo slúži pre registráciu v prípade, že váš účet ešte neexistuje) budete presmerovaný na stránky poskytovateľa prihlásenia. Po úspešnom prihlásení na strane poskytovateľa budete presmerovaný do systému pre experiment.



Obr. 2.1: Obrazovka registrácie a prihlásenia

2.2 Proces po prvom prihlásení

Ako bolo spomenuté už v úvode tejto kapitoly, po prvom prihlásení do systému ste povinný prejsť úvodným procesom registrácie v systéme pre experiment. Nižšie sú popísané všetky 3 kroky tohto procesu.

2.2.1 1. krok - základné údaje

Po úspešnom prihlásení do systému pre experiment sa v prvom kroku registrácie predvyplnia údaje z vášhu účtu *Google* v niektorých poliach na obrazovke z obrázka 2.2 (predvyplnené údaje sú v políčkach č. 1 až č. 3). Tieto údaje sú nemenné a pre úspešné dokončenie tohto kroku je potrebné vyplniť vhodnú prezývku v políčku, ktoré je označené číslom 4. Vyjadrením súhlasu zaškrtnutím políčka č. 5 môžete prejsť na ďalší krok po stlačení tlačidla č. 6.

01 ZÁKLADNÉ ÚDAJE
Overenie Vašich prihlasovacích údajov a nastavenie prezývky

02 ENVIROCAR
Nastavenie služby tretej strany pre zber dát z jazdy automobilom

03 ZBER DÁT
Prehľad dát, ktoré sú zhromažďované počas experimentu

Základné údaje

Meno Predvyplnené 1

Priezvisko Predvyplnené 2

E-mail Predvyplnené 3

Prezývka šoféra Povinné 4

Táto prezývka je vhodná!

5 ☒ Poskytujem tieto informácie organizátorovi experimentu a súhlasím s ich použitím pre účel identifikácie Vami zozbieraných dát. Prezývka bude viditeľná aj pre ostatných účastníkov experimentu Povinné

6

Obr. 2.2: Obrázok z registračného procesu - základné údaje

2.2.2 2. krok - enviroCar

Pre vykonanie tohto kroku potrebujete mať založený *enviroCar* účet. Počas trvania experimentu budete opätovne zadávať heslo zo služby *enviroCar* pri každej synchronizácii. Odporúčam vám vytvoriť heslo, ktoré si jednoducho zapamätáte, ale zároveň nebude úplne jednoduché.

V tomto kroku registrácie prebehne spárovanie vášho účtu na platforme *enviroCar* s vaším účtom v systéme pre experiment. Na obrázku 2.3 je obrázok druhého kroku registrácie. Po vyplnení políčka č. 1 (*enviroCar* meno) a políčka č. 2 (*enviroCar* heslo) overte správnosť účtu stlačením tlačidla č. 3. Po úspešnom overení stlačte tlačidlo č. 4, čím ste úspešne dokončili tento krok.

01 ZÁKLADNÉ ÚDAJE
Overenie Vašich prihlasovacích údajov a nastavenie prezývky

02 ENVIROCAR
Nastavenie služby tretej strany pre zber dát z jazdy automobilom

03 ZBER DÁT
Prehľad dát, ktoré sú zhromažďované počas experimentu

enviroCar

V experimente sa používa mobilná aplikácia služby enviroCar za účelom zberu dát z jazdy automobilom.

Pokiaľ ešte nemáte svoj vlastný enviroCar účet tak navštívte [tento odkaz](#), kde postupujte podľa návodu s názvom [Registrácia na platforme enviroCar](#) v sekcii s názvom [Mobilná aplikácia enviroCar](#). Po úspešnej registrácii sa vrátite a zadajte prihlasovacie údaje do políček nižšie pre overenie existencie Vášho enviroCar účtu. Po úspešnom zadaní údajov môžete pokračovať na ďalší krok.

V systéme sa uloží **len** Vaše enviroCar [prihlasovacie meno](#). Heslo je potrebné zadávať manuálne pri každej synchronizácii dát a je použité **len** pre účely [synchronizácie dát](#). Toto heslo sa **nikdy neuloží** v tomto systéme.

enviroCar meno Povinné enviroCar heslo Povinné

aranka

Overiť účet

Uložiť enviroCar meno a prejsť na ďalší krok

Overte svoj enviroCar účet skôr než budete pokračovať

Obr. 2.3: Obrazovka z registračného procesu - *enviroCar*

2.2.3 3. krok - zber dát

Každý účastník je povinný vyjadriť súhlas so sprostredkovaním dát z jazdy automobilom ako aj rôznych iných dát organizátorovi experimentu. Všetky podrobnosti ohľadom zbieraných dátach sú opísané v tomto poslednom kroku registračného procesu.

Na obrázku 2.4 stlačením tlačidla č. 1 vyjadrite súhlas so sprostredkovaním vašich dát do rúk organizátora experimentu pre výskumné účely. Dokončíte registráciu stlačením tlačidla č. 2.

Odhlásenie

ZÁKLADNÉ ÚDAJE
Overenie Vašich prihlasovacích údajov a nastavenie prežývky

ENVIROCAR
Nastavenie služby tretej strany pre zber dát z jazdy automobилом

03

ZBER DÁT
Prehľad dát, ktoré sú zhromažďované počas experimentu

Zber dát

Pre úspešnú realizáciu a vyhodnotenie experimentu je nevyhnutné zhromaždiť všetky dáta, ktoré vyzbierate pomocou aplikácie enviroCar a zaznamenávať akcie, ktoré v systéme pre experiment vykonávate.

Dokončením týchto úvodných nastavení sa stávate platným účastníkom experimentu a ste povinný sa riadiť inštrukciami, ktoré Vám boli poskytnuté organizátorom experimentu.

Organizátor experimentu si vyhradzuje právo:

- Kedykoľvek pozmeniť inštrukcie prislúchajúce práve prebiehajúcej fáze experimentu,
- celkovo zrušiť experiment, ak to uzná za vhodné vzhľadom na vzniknuté okolnosti a
- tiež kedykoľvek Vás vylúčiť z experimentu.

Organizátor experimentu si vyhradzuje právo aj:

- Nezohľadniť Vaše dáta pri vyhodnotení experimentu,
- dodať Vám odmeny, ktoré mohli byť počas experimentu nadobudnuté, až keď bude situácia ohľadom vírusu COVID-19 prijateľná,
- kedykoľvek zmeniť podmienky pre získanie odmien,
- kedykoľvek upraviť pomer ekologického výkonu ku odmenám a
- kedykoľvek zmeniť algoritmus pre výpočet ekologického výkonu.

Systém o Vás zbiera nasledujúce dáta:

- Po vykonaní synchronizácie dát v tomto systéme všetky dáta, ktoré poskytnete službe enviroCar (jedná sa hlavne o GPS súradnice s podrobnosťami o aktuálnej spotrebe, emisiách a typ automobilu s jeho detailmi – rok výroby, objem motora, typ spaľovania a konkrétny model značky) a
- všetky akcie, ktoré budete v tomto systéme vykonávať vrátane času, kedy dané akcie vykonávate (jedná sa hlavne o synchronizáciu dát so službou enviroCar, nákup alebo predaj odmien a kedy ste sa naposledy prihlásili).

1

☐
Bol som upovedomený o zhromažďovaných dátach a súhlasím s ich sprostredkovaním organizátorovi experimentu pre účely uskutočnenia a vyhodnotenia experimentu

Povinné

Dokončiť a začať

2

Obr. 2.4: Obrazovka z registračného procesu - zber dát

3 Používanie

Experiment *beautofuel* prebieha v 3 samostatných fázach a používateľské rozhranie sa vzhľadom na aktuálnu fázu vždy prispôsobí. V nasledujúcich sekciách sú popísané základné scenáre použitia systému pre experiment.

3.1 Všeobecné

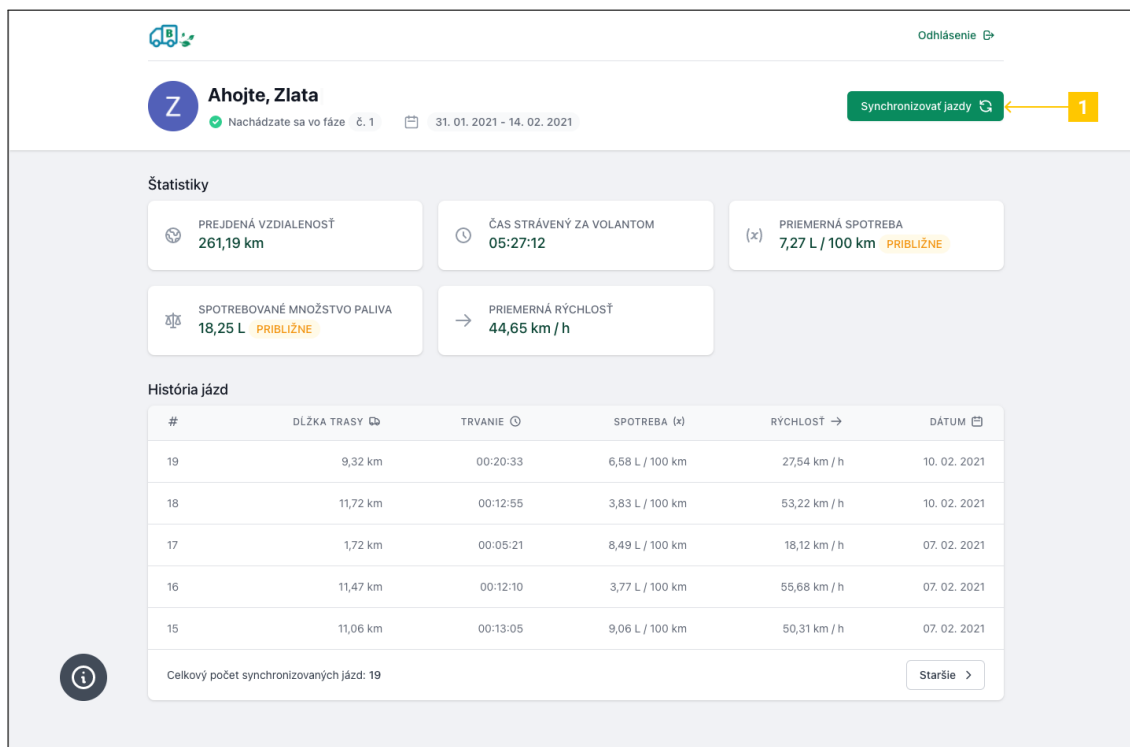
Bežný scenár použitia systému pre experiment je vyjadrený v nasledujúcich krokoch:

1. Po nahratí nových dát na servery *enviroCar* sa účastník experimentu prihlási do svojho účtu v systéme pre experiment.
2. Účastník vykoná synchronizáciu jázd, čím sa do systému pre experiment naimportujú chýbajúce dáta z jazdy automobilom z jeho účtu na platforme *enviroCar*.
3. Nové jazdy sú zobrazené v histórii jázd v systéme pre experiment a tiež sú zohľadnené v celkových štatistikách.
4. Na základe práve prebiehajúcej fázy vie účastník vykonávať ešte dodatočné akcie, ktoré sú popísané v poslednej sekcii.

3.2 Synchronizácia dát

Súčasťou základného scenára použitia systému pre experiment je synchronizácia vašich dát z jazdy automobilom z platformy *enviroCar*. Centrálna obrazovka systému pre experiment je znázornená na obrázku 3.1. Kompozícia používateľského rozhrania je v ostatných fázach rozšírená a niekoľko komponentov, ale základ tvorí kostra práve z tejto obrazovky.

Po stlačení tlačidla č. 1 sa z boku obrazovky vysunie okno, ktoré je na obrázku 3.2. Po vyplnení políčka č. 1 (*enviroCar* heslo) v tomto vysunutom okne a po stlačení tlačidla č. 2 sa začne vykonávať synchronizácia. V čase vykonávania synchronizácie je centrálna obrazovka v stave načítavania (3.3). Úspešné resp. neúspešné dokončenie synchronizácie je signalizované notifikáciou (obrázok 3.4 a 3.5) v pravom dolnom rohu centrálnej obrazovky.



Obr. 3.1: Centrálna obrazovka počas prvej fázy experimentu



Obr. 3.4: Notifikácia pre úspešne vykonanú synchronizáciu



Obr. 3.5: Notifikácia pre neúspešne vykonanú synchronizáciu

Nová synchronizácia jász

Vykonaním tejto synchronizácie sa naimportujú chýbajúce jazdy z enviroCar a aktualizujú Vaše štatistiky

Heslo na enviroCar Povinné

.....

1

Uloženie hesla Nedostupná funkcia

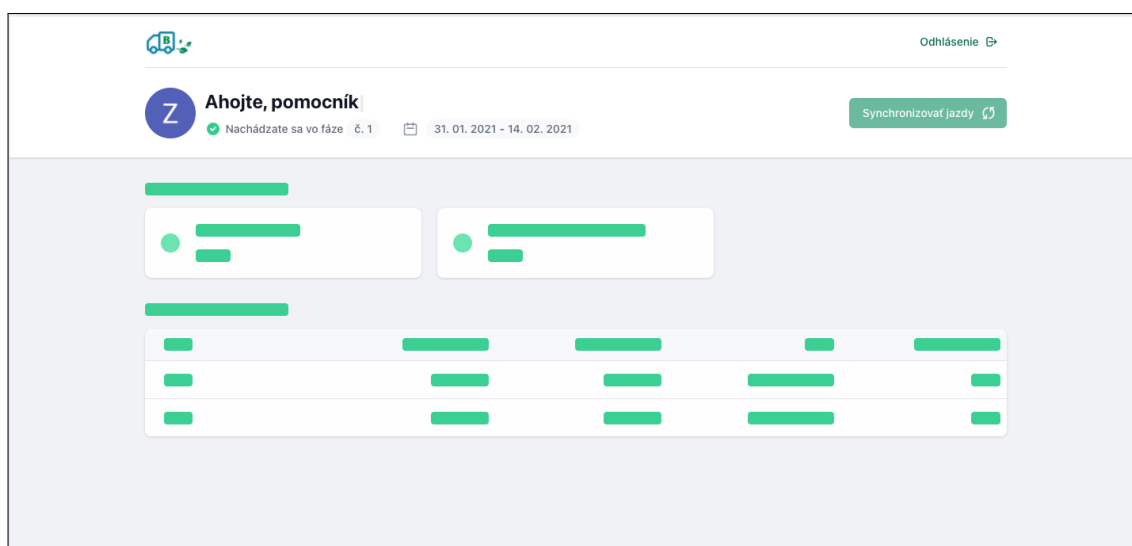
☐ Uložiť
Heslo nebudete musieť zadávať kým ho nezmeníte na službe enviroCar

☒ Neukladať
Heslo budete musieť zadávať manuálne pri vykonaní každej novej synchronizácie

Zrušiť

2
↓
Synchronizovať

Obr. 3.2: Vysúvacie okno pre vykonanie synchronizácie



Obr. 3.3: Centrálna obrazovka počas prebiehajúcej synchronizácie

3.3 Používanie počas ostatných fáz

Experiment je rozdelený na 3 fázy a používateľské rozhranie je každou fázou o niečo rozšírené. Z toho dôvodu, že ste účastníkom riadeného experimentu, v tejto chvíli sa nemôžete dozvedieť viac informácií kvôli ochrane validity dosiahnutých výsledkov.

V tejto príručke nie sú popísané ostatné scenáre použitia systému pre experiment. Tieto scenáre sú súčasťou používania systému počas druhej a tretej fázy experimentu a líšia sa z účastníka na účastníka. Preto vás vo vhodnom čase organizátor experimentu informuje o všetkých potrebných informáciách prostredníctvom e-mailovej komunikácie a v prípade nejasností sa mu neváhajte ozvať.

**Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky**

Systém pre experiment beaufuel

Príloha C - Systémová príručka

Obsah

1	Všeobecné informácie	1
1.1	Zloženie programu	1
1.2	Kompozícia Docker kontajnerov	3
1.3	Štruktúra adresára projektu	4
1.4	Minimálne požiadavky	4
2	Prostredie pre vývoj	5
2.1	Konfigurácia pred spustením	5
2.2	Spustenie	7
3	Nasadenie aplikácie	8
4	Entitno-relačný diagram	9

Zoznam obrázkov

1.1	Náčrt architektúry systému pre experiment	2
1.2	Kompozícia <i>Docker</i> kontajnerov	3
4.1	Entitno-relačný diagram	9

Zoznam tabuliek

2.1	Nastavenie oprávnení v CMS pre rolu <i>Public</i>	6
2.2	Nastavenie oprávnení v CMS pre rolu <i>Authenticated</i>	6

1 Všeobecné informácie

Systém pre experiment *beautofuel* bol vyvinutý za účelom získania dostatočného množstva dát pre zodpovedanie výskumnej otázky, kvôli ktorej bol experiment realizovaný. Pre realizáciu experimentu bolo potrebné implementovať systém, ktorý vie spracovať dáta z jazdy automobilom z platformy *enviroCar*¹. Tieto dáta vie prezentovať účastníkom experimentu v používateľskom rozhraní webovej aplikácie.

Používateľské rozhranie slúžilo primárne na motiváciu účastníkov experimentu jazdiť ekologicky dvomi rozličnými stratégiami - odmeny a gamifikácia. Experiment prebiehal v 3 fázach a pri jeho implementácii bolo potrebné zohľadniť túto skutočnosť. Účastníci sú v experimente rozdelení do dvoch experimentálnych skupín podľa motivačnej stratégie.

1.1 Zloženie programu

V záujme jednoduchšej prenositeľnosti programu medzi hostiteľskými počítačmi bol systém pre experiment implementovaný ako kontajnerizované *Docker*² riešenie. Systém bol implementovaný na princípe oddelenia záujmov (náčrt architektúry na obrázku 1.1) a je zložený z nasledovných kontajnerov:

- **updater** - Mikroslužba v jazyku Python (*FastAPI*³), ktorá má na starosť importovanie dát z platformy *enviroCar* ako tretej strany. Táto aplikácia vie počas 2. a 3. fázy vypočítať ekologické skóre za jazdu.
- **strapi** - CMS pre spravovanie používateľov a všetkých dát experimentu im-

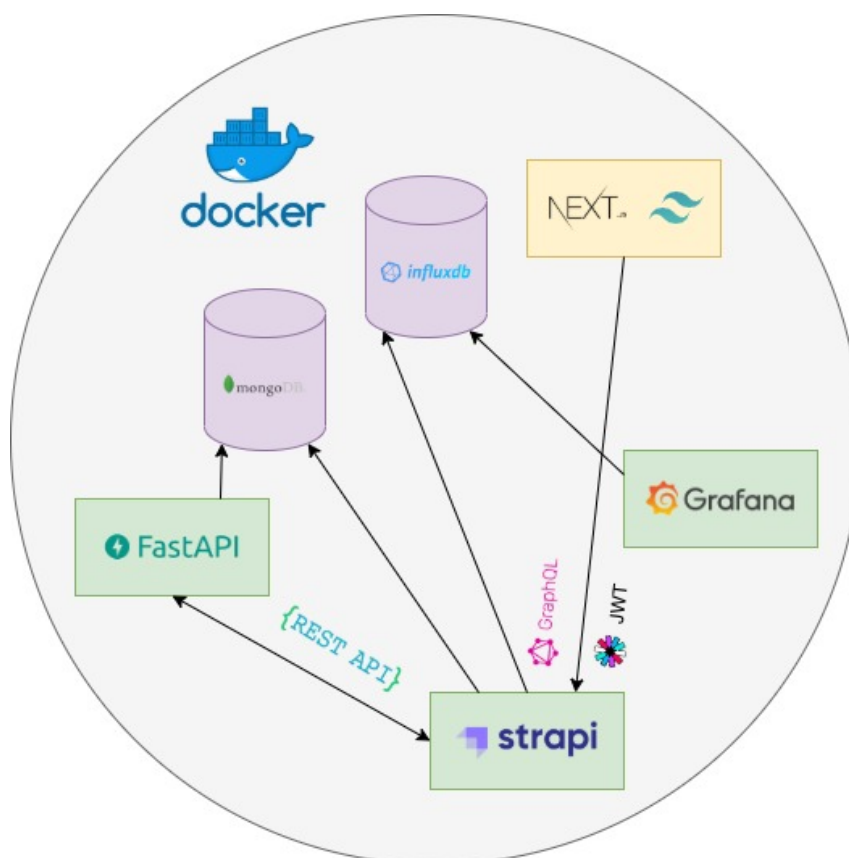
¹<https://envirocar.org> - Platforma *enviroCar* (citované 18. 4. 2021)

²<https://docker.com> - *Docker* (citované 18. 4. 2021)

³<https://fastapi.tiangolo.com> - *FastAPI* (citované 18. 4. 2021)

plementované cez *Strapi*⁴.

- **next** - klientská časť webovej aplikácie implementovaná v rámci *React.js*⁵ (metarámec *Next.js*⁶) za pomoci *Apollo GraphQL*⁷ a *TailwindCSS*⁸.
- **grafana** - analytický nástroj *Grafana*⁹ pre organizátora experimentu pre kontrolu jeho priebehu v reálnom čase.



Obr. 1.1: Náčrt architektúry systému pre experiment

⁴<https://strapi.io> - *Strapi* (citované 18. 4. 2021)

⁵<https://reactjs.org> - *React.js* (citované 18. 4. 2021)

⁶<https://nextjs.org> - *Next.js* (citované 18. 4. 2021)

⁷<https://apollographql.com/docs/react/> - *React.js GraphQL* klient *Apollo GraphQL* (citované 18. 4. 2021)

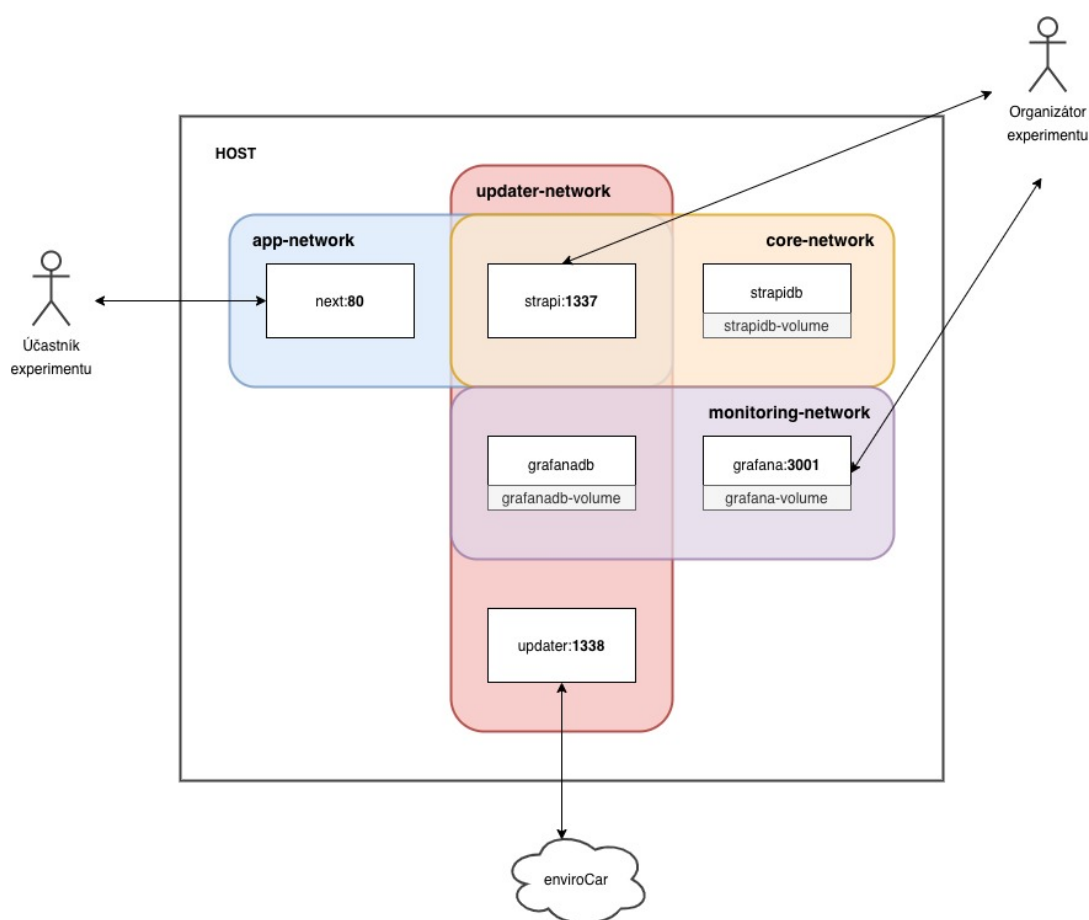
⁸<https://tailwindcss.com> - *TailwindCSS* (citované 18. 4. 2021)

⁹<https://grafana.com> - *Grafana* (citované 18. 4. 2021)

1.2 Kompozícia Docker kontajnerov

Kompozícia *Docker* kontajnerov je na obrázku 4.1. Na tomto obrázku možno vidieť:

- Na akých sieťach kontajnery sú,
- na akých portoch sú spustené jednotlivé komponenty riešenia a
- ktoré z kontajnerov sú otvorené pre prístup z vonkajšieho sveta.



Obr. 1.2: Kompozícia *Docker* kontajnerov

1.3 Štruktúra adresára projektu

- /docker - obsahuje konfiguračné súbory pre *Docker Compose* (osobitne pre každé prostredie - vývoj a produkcia)
- /data - obsahuje skripty, ktoré boli použité pre anonymizáciu dát pred ich odovzdávkou a tiež *Jupyter Notebook*, ktorý bol použitý pre záverečné vizualizácie dát
- /src - obsahuje všetky zdrojové kódy
 - /grafana - konfiguračný súbor pre nástroj *Grafana*, ktorý je použitý v *Docker* obraze aby mohol byť nástroj zapnutý na porte 3001 namiesto predvoleného portu 3000, kde je už zapnutá klientská časť systému pre experiment
 - /next - klientská časť aplikácie
 - /strapi - prispôsobené *Strapi* CMS pre spravovanie dát experimentu
 - /updater - *FastAPI* mikroslužba

1.4 Minimálne požiadavky

Pre spustenie projektu je potrebné mať na hostiteľskom počítači nainštalované:

- *Docker* (vrátane nástroja *Docker Compose*),
- Python (vo verzii 3.x) a
- *NodeJS* (vo verzii 14.x).

2 Prostredie pre vývoj

Program má dva `docker-compose.yml` súbory, z ktorých je jeden pre vývoj a jeden pre produkciu. Skôr, než spustíte aplikáciu v ktoromkoľvek prostredí je potrebné prejsť úvodnou konfiguráciou.

2.1 Konfigurácia pred spustením

Uskutočnenie nasledovných 5 krokov vám umožní spustiť softvérové riešenie:

1. Nastavenie premenných prostredia - vyhľadajte všetky súbory s koncovým názvom `.env.example` a vytvorte súbory bez koncovky `.example`. Súbory obsahujú všetky premenné prostredia, ktoré je potrebné nastaviť s predvoľenými hodnotami.
2. Konfigurácia prihlásenia *Google* - V konzole *Google*¹ vytvorte nový projekt a s ním aj poverovacie listiny pre *OAuth 2.0*, ktoré použijete v nasledujúcom kroku. Odporúčam vytvoriť osobitné poverovacie listiny pre prostredie vývoja a produkčné prostredie.
3. Konfigurácia kontajnera **strapi**:
 - (a) Zapnite kontajner v jednom z prostredí.
 - (b) Vytvorte záznam typu **token**.
 - (c) Vytvorte používateľa s používateľským menom *updater*.
 - (d) Vytvorte záznam typu **phase**
 - (e) Vytvorte záznamy typu **recommendations** (stačí pred začiatkom druhej fázy experimentu).

¹<http://console.developers.google.com> - konzola *Google* citované 18. 4. 2021

- (f) Vytvorte záznam typu **products** (stačí pred začiatkom druhej fázy experimentu).
 - (g) Nastavenie oprávnení pre rolu *Public* v tabuľke 2.1.
 - (h) Nastavenie oprávnení pre rolu *Authenticated* v tabuľke 2.2.
4. V zdrojovom súbore s konštantami kontajnera **updater** nastavte **token**, ktorý ste vytvorili v CMS aby mohli kontajnery medzi sebou úspešne komunikovať.
 5. Nastavte zdroj dát v nástroji pre monitorovanie *Grafana* pre *InfluxDB*.

sekcia	entita	oprávnenia
Application	phase	find
Application	tracks	top10, top10stats
Users-permissions	auth	callback, connect, emailconfirmation, forgotpassword, register, resetpassword
Users-permissions	user	me

Tabuľka 2.1: Nastavenie oprávnení v CMS pre rolu *Public*

sekcia	entita	oprávnenia
Application	phase	find
Application	tracks	count, create, find, top10, top10position, top10stats
Application	envirocar	usercredentialsvalid
Application	recommendations	findone
Application	synchronizations	create, findone
Application	purchases	update
Users-permissions	auth	connect
Users-permissions	user	findone, me, update

Tabuľka 2.2: Nastavenie oprávnení v CMS pre rolu *Authenticated*

2.2 Spustenie

Odporúčam spúšťať komponenty aplikácie presne v tomto slede:

1. Databázy v prostredí *Docker* a analytický nástroj *Grafana*:
 - (a) `cd docker/dev`
 - (b) `docker-compose build`
 - (c) `docker-compose up`
2. Kontajner **updater** - voliteľne si nastavte virtuálne prostredie Python a:
 - (a) `pip3 install fastapi uvicorn requests pydantic
geopandas pandas numpy matplotlib pydeck ipython
folium seaborn scipy shapely branca scikit-learn
geopy statistics plotly datetime influxdb
python-dateutil osmnx`
 - (b) `cd src/updater/app`
 - (c) `uvicorn main:app --reload --port 1338`
3. Kontajner **strapi**:
 - (a) `cd src/strapi`
 - (b) `yarn install`
 - (c) `yarn dev`
4. Kontajner **next**:
 - (a) `cd src/next`
 - (b) `yarn install`
 - (c) `yarn dev`

Počas vývoja sa budú zmeny v kóde automaticky aplikovať pri uložení súbora v ktoromkoľvek z komponentov **updater**, **strapi** a **next**.

3 Nasadenie aplikácie

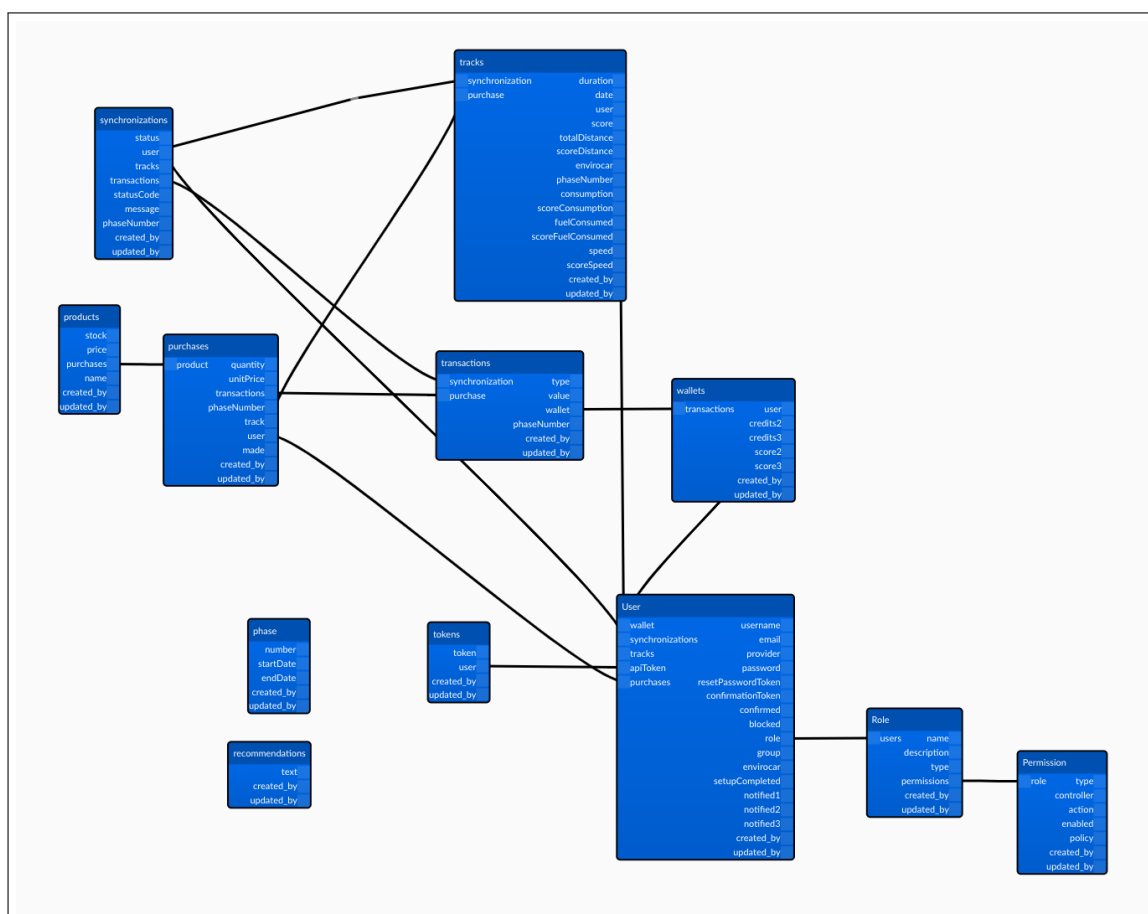
Nasadenie aplikácie je vďaka nástroju *Docker* veľmi jednoduché a pre tento účel je definovaný samostatný `docker-compose.yml` súbor. Na dedikovanom serveri stačí vykonať nasledujúce 3 príkazy (za predpokladu splnenia všetkých požiadaviek v sekcii 1.4):

1. `cd docker/prod`
2. `docker-compose build`
3. `docker-compose up`

Softvérové riešenie bude po vykonaní týchto príkazov spustené s kontajnermi na portoch podľa obrázka v sekcii 1.2.

4 Entitno-relačný diagram

Modelovanie obsahu prebieha v používateľskom rozhraní CMS *Strapi* a typy obsahu je možné jednoducho meniť pomocou ich vstavaného vizuálneho editora. Nasledujúci diagram bol exportovaný z pluginu, ktorý je možné nainštalovať do tohto CMS a volá sa *strapi-plugin-entity-relationship-chart*¹.



Obr. 4.1: Entitno-relačný diagram

¹<https://github.com/node-vision/strapi-plugin-entity-relationship-chart>
- *Strapi* plugin pre generovanie entitno-relačného diagramu citované 18. 4. 2021