

Určenie optimálnej jazdy automobilu

Bc. Samuel Pitoňák

Vedúci práce:

Ing. Miroslav Biňas, PhD.





We need to transform the way we do almost everything¹

— Bill Gates

¹ Breakthrough Energy. Helping the world get to net-zero.

Motivácia

- ročne vyprodukujeme 51 miliárd ton skleníkových plynov¹
- negatívne následky *zvýšených emisií*:
 - globálne otepľovanie
 - znečistenie vzduchu

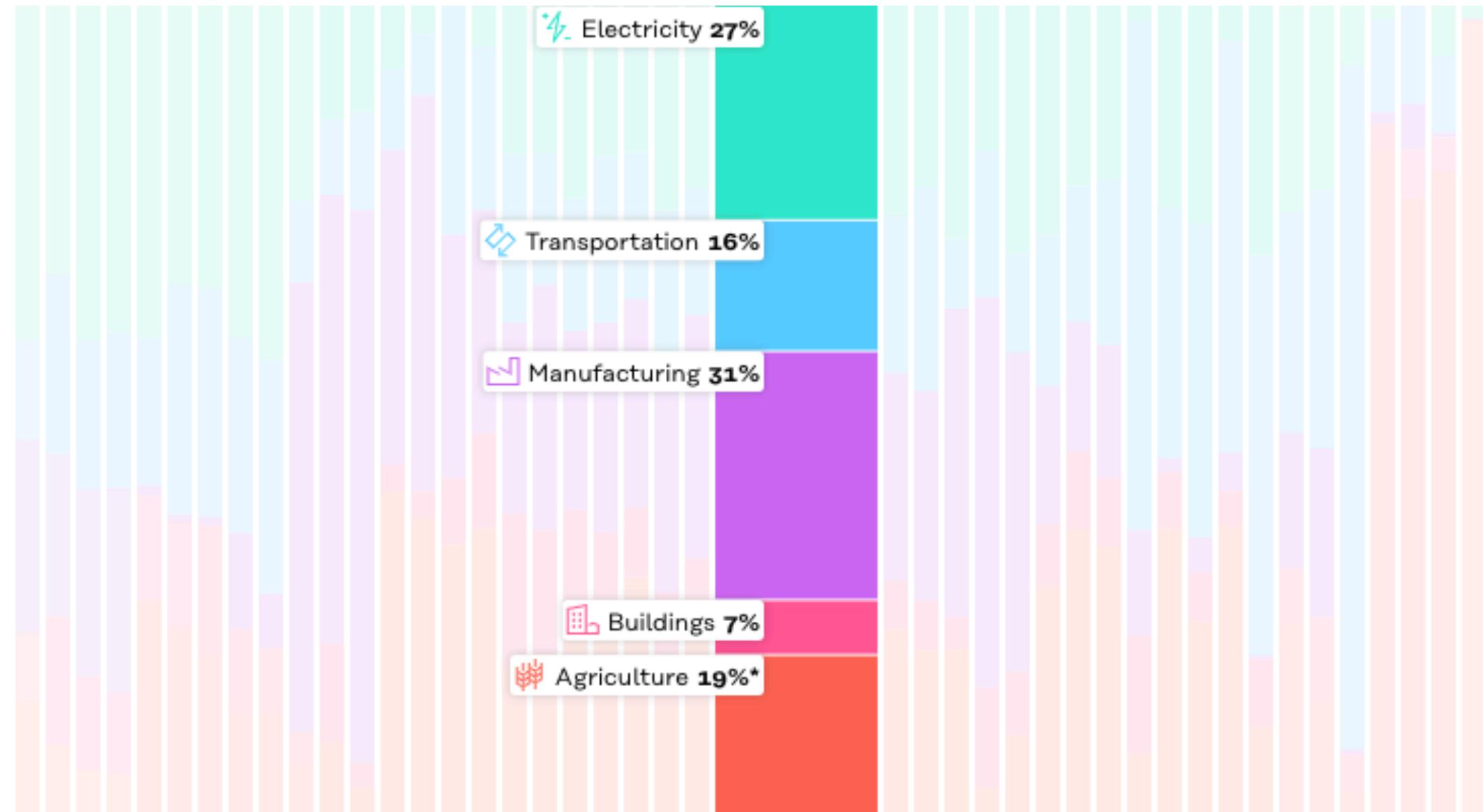
¹ Breakthrough Energy. Helping the world get to net-zero.

Motivácia

- negatívne následky *nízkej kvality ovzdušia*:
 - 7 miliónov úmrtí ročne po celom svete²
 - 91% svetovej populácie žije na miestach s nedostačujúcou kvalitou ovzdušia²

² Svetová zdravotnícka organizácia. [Health topics - Air pollution.](#)

Obr. 1: Hlavné zdroje väčšiny dnešných globálnych emisií skleníkových plynov¹



¹ Breakthrough Energy. [Helping the world get to net-zero.](#)

Motivácia

- cestná preprava založená z veľkej časti na obnoviteľných zdrojoch energie do roku 2050 (výskumné agendy ERTRAC^{3, 4, 5)})
- elektromobily dnes:
 - nedostačujúca infraštruktúra, nízky dojazd, nejednota poskytovateľov v cenách, osobitné mobilné aplikácie⁶...

³ ERTRAC. Strategic Research Agenda 2004.

⁴ ERTRAC. Strategic Research Agenda 2010.

⁵ ERTRAC. Strategic Research Agenda 2018.

⁶ Tim Burton. I'm NOT Selling My Porsche Taycan Turbo S and HERE'S WHY!

Čo vieme spraviť už dnes?

- motivácia šoféra jazdiť ekologicky
- zlé rozhodnutia môžu mať za následok až 48% zhorsenie účinnosti paliva⁷
- úrovne rozhodnutí⁸:
 - strategické (výber vozidla, ...)
 - taktické (výber trasy, zaťaženie vozidla, ...)
 - operačné (štýl jazdy, ...)

⁷ Angela Sanguinetti a spol. *The many reasons your mileage may vary: Toward a unifying typology of eco-driving behaviors.* 2017. DOI: [10.1016/j.trd.2017.02.005](https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.005).

⁸ Atiyeh Vaezipour a spol. *Reviewing In-vehicle Systems to Improve Fuel Efficiency and Road Safety.* 2015. DOI: [10.1016/j.promfg.2015.07.869](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.869).

Motivácia

- *zlepšenie správania šoféra za volantom má stále významný potenciál pre^{9, 10}:*
 - zlepšenie bezpečnosti jazdy
 - zlepšenie účinnosti paliva
 - zníženie emisií

⁹ Rana Massoud a spol. *A Fuzzy Logic Module to Estimate a Driver's Fuel Consumption for Reality-Enhanced Serious Games*. 2018. DOI: [10.17083/ijsg.v5i4.266](https://doi.org/10.17083/ijsg.v5i4.266).

¹⁰ Rana Massoud a spol. *Exploring Fuzzy Logic and Random Forest for Car Drivers' Fuel Consumption Estimation in IoT-Enabled Serious Games*. 2019. DOI: [10.1109/ISADS45777.2019.9155706](https://doi.org/10.1109/ISADS45777.2019.9155706).

Motivácia

- *stratégia gamifikácie:*
 - motivuje pozitívne zapojenie¹¹
- *stratégia odmien:*
 - pomocou systému odmien je možné dosiahnúť až 10% zlepšenie účinnosti paliva¹³

¹¹ Gautam Dange a spol. *Deployment of serious gaming approach for safe and sustainable mobility.* 2017. DOI: [10.1109/IVS.2017.7995879](https://doi.org/10.1109/IVS.2017.7995879).

¹³ Madlen Günther a spol. *A field study of feedback, gamification and financial rewards in Germany..* 2020. DOI: [10.1016/j.jerss.2019.101407](https://doi.org/10.1016/j.jerss.2019.101407).

Motivácia

- Madlen Günther a spol. vo svojom výskume potvrdili užitočnosť motivačných stratégií *gamifikácie* v spojitosti s *finančnými odmenami*¹³
- tiež navrhujú, aby sa ďalší výskum zaoberal vzájomným vplyvom týchto stratégií

¹³ Madlen Günther a spol. *A field study of feedback, gamification and financial rewards in Germany..* 2020. DOI: [10.1016/j.jerss.2019.101407](https://doi.org/10.1016/j.jerss.2019.101407).

Ciele práce

1. analýza:
 - typov spätej väzby k jazde automobilom
 - metód zberu dát z jazdy automobilom
2. návrh
 - riadeného experimentu
 - systému pre experiment
3. implementácia systému pre experiment
4. realizácia experimentu v záujme zozbierať dostatočné množstvo dát
5. vyhodnotenie experimentu a zodpovedanie výskumnej otázky

Ciele práce

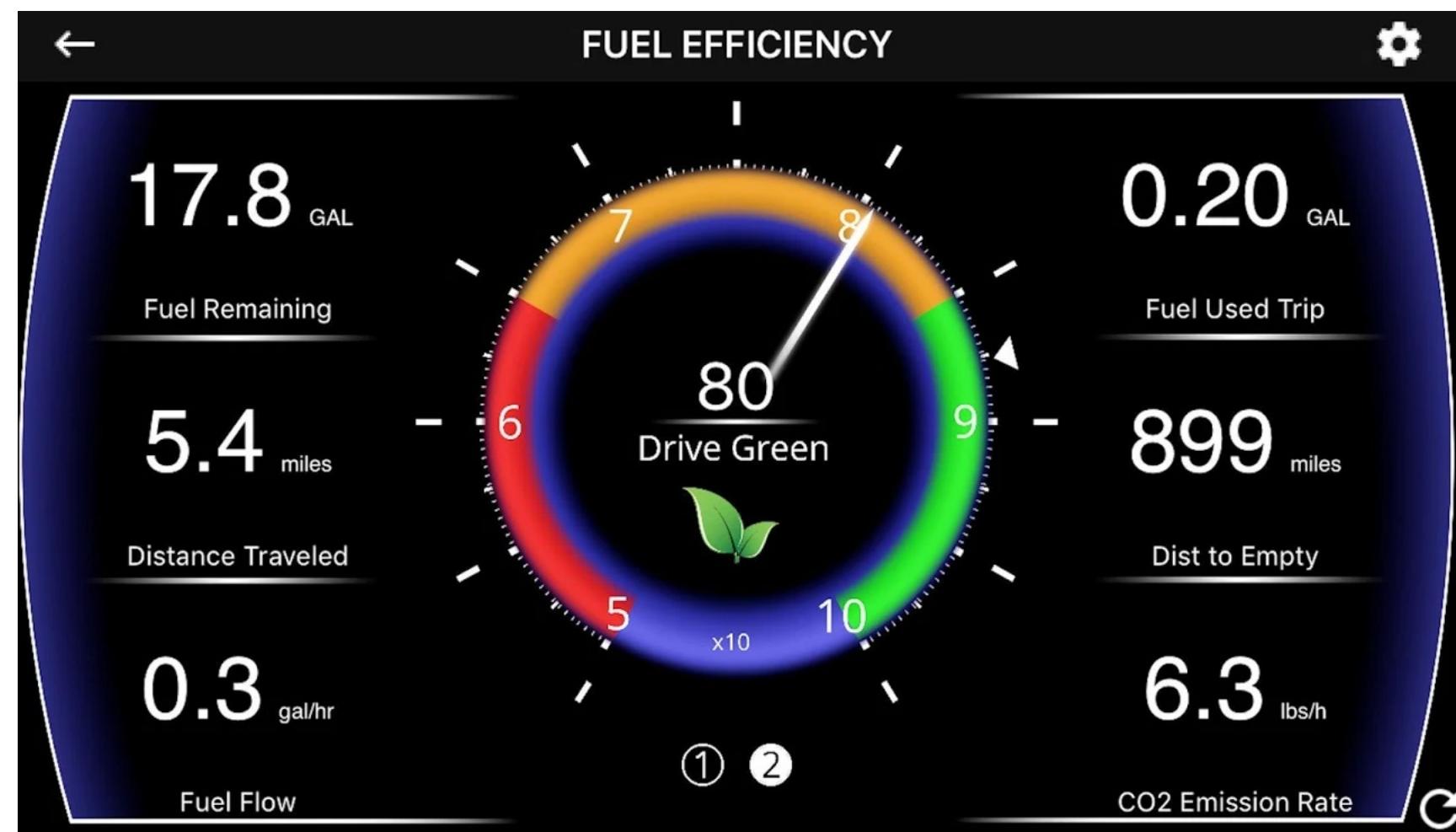
Výskumná otázka

- Redukuje *motivačná stratégia odmien* (vonkajšia motivácia) *mieru motivácie šoféra*, ktorá je spôsobená *motivačnou strategiou gamifikácie* (vnútorná motivácia)?

Návrh riešenia

Typy späťnej väzby

- v reálnom čase (obr. 2¹⁴)
 - možné reagovať v danom momente
 - zvýšená kognitívna záťaž
 - priamy vplyv na bezpečnosť jazdy



¹⁴ [www.plxdevices.com/ProductDetails.asp?
ProductCode=kiwi-app](http://www.plxdevices.com/ProductDetails.asp?ProductCode=kiwi-app)

Návrh riešenia

Typy spätej väzby

- v reálnom čase
- akumulovaná spätná väzba (obr. 3¹⁵)
- agregácia dát za nejaký časový interval
- reprezentovaná často v podobe rozrastajúceho sa lista
- jednoduchšie vnímanie počas jazdy

¹⁵ www.hudway.co/apps/widgets



Návrh riešenia

Typy spätej väzby

- v reálnom čase
- akumulovaná spätná väzba
- offline spätná väzba (obr. 4¹⁶)
 - najskôr monitorovanie správania šoféra
 - analýza dát neskôr po dokončenej jazde
 - detailný pohľad na výkon



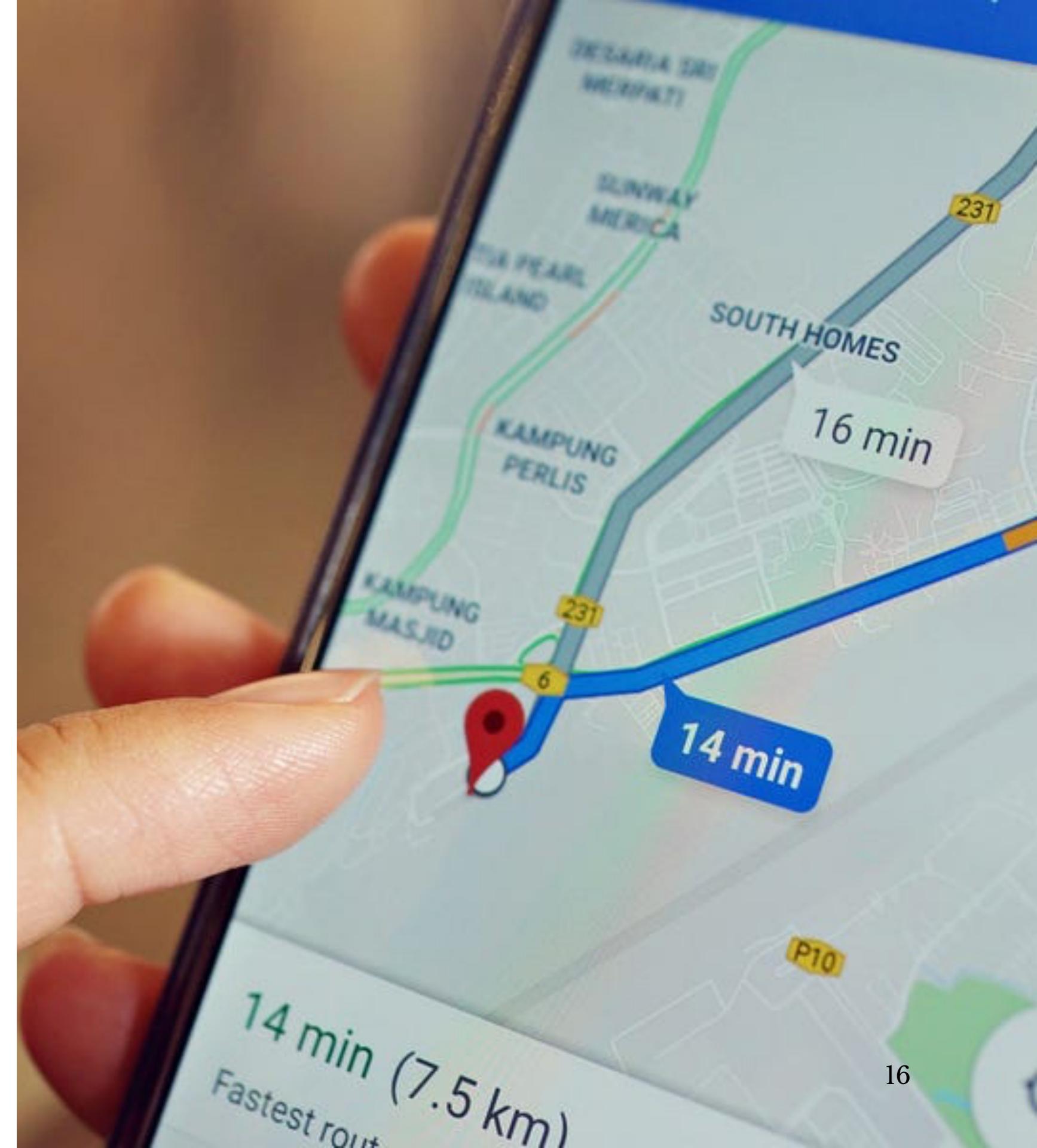
¹⁶ www.jerrycan.io

Návrh riešenia

Typy spätej väzby

- v reálnom čase
- akumulovaná spätná väzba
- offline spätná väzba
- rada pred jazdou (obr. 5¹⁷)
 - alternatívne trasy
 - vzdialenosť, čas, spotreba

¹⁷ www.maps.google.com



Návrh riešenia

Zber dát z jazdy automobilom

- použitie protokolu pre *palubnú diagnostiku* (OBD¹⁸):
 - v EÚ štandard v každom automobile od roku 2004¹⁸
- dáta priamo z kontrolnej riadiacej jednotky (ECU) automobilu
- zariadenie ELM327 (obr. 6) umožňuje komunikáciu cez Bluetooth s diagnostickým zariadením
- spotrebu paliva treba **dodatočne vypočítat'** z poskytnutých dát



¹⁸ www.wikipedia.org/wiki/On-board_diagnostics.

Návrh riešenia

Platforma enviroCar¹⁹

- zber, zdieľanie a analýza dát
- webová a mobilná aplikácia
- OBD a GPS modely pre výpočet spotreby paliva²⁰
- open-source
- API
- knižnice pre prácu s ich dátami (Python)
 - formát GeoJSON



¹⁹ www.envirocar.org.

²⁰ www.blog.52north.org/2020/07/02/fuel-consumption-models-in-envirocar/.

Návrh riešenia

Typ spätej väzby

- offline spätná väzba
- prístup bez negatívnych implikácií na bezpečnosť jazdy

Metóda zberu dát

- použitie platformy *enviroCar*
- pri overení metódy som zaznamenal **technické komplikácie** v komunikácii medzi zariadeniami
- **GPS model ako kompromis**
- získané dáta stratia na presnosti

Návrh riešenia

Experimentálny dizajn

- 2 experimentálne skupiny
- between-subject dizajn
- 3 fázy (trvanie spolu 6 týždňov):
 1. zozbieranie baseline dát
 2. poskytnutie jednej motivačnej stratégie
 3. poskytnutie oboch motivačných stratégíí
- závislá premenná:
 - spotreba paliva
- nezávislé premenné:
 - stratégia gamifikácie
 - stratégia odmien

Návrh riešenia

Základný prípad použitia

1. Zber dát z jazdy automobilom

Návrh riešenia

Základný prípad použitia

1. Zber dát z jazdy automobilom
2. Nahratie dát na server *enviroCar*

Návrh riešenia

Základný prípad použitia

1. Zber dát z jazdy automobilom
2. Nahratie dát na server *enviroCar*
3. Použitie systému pre experiment pre synchronizáciu zozbieraných dát

Návrh riešenia

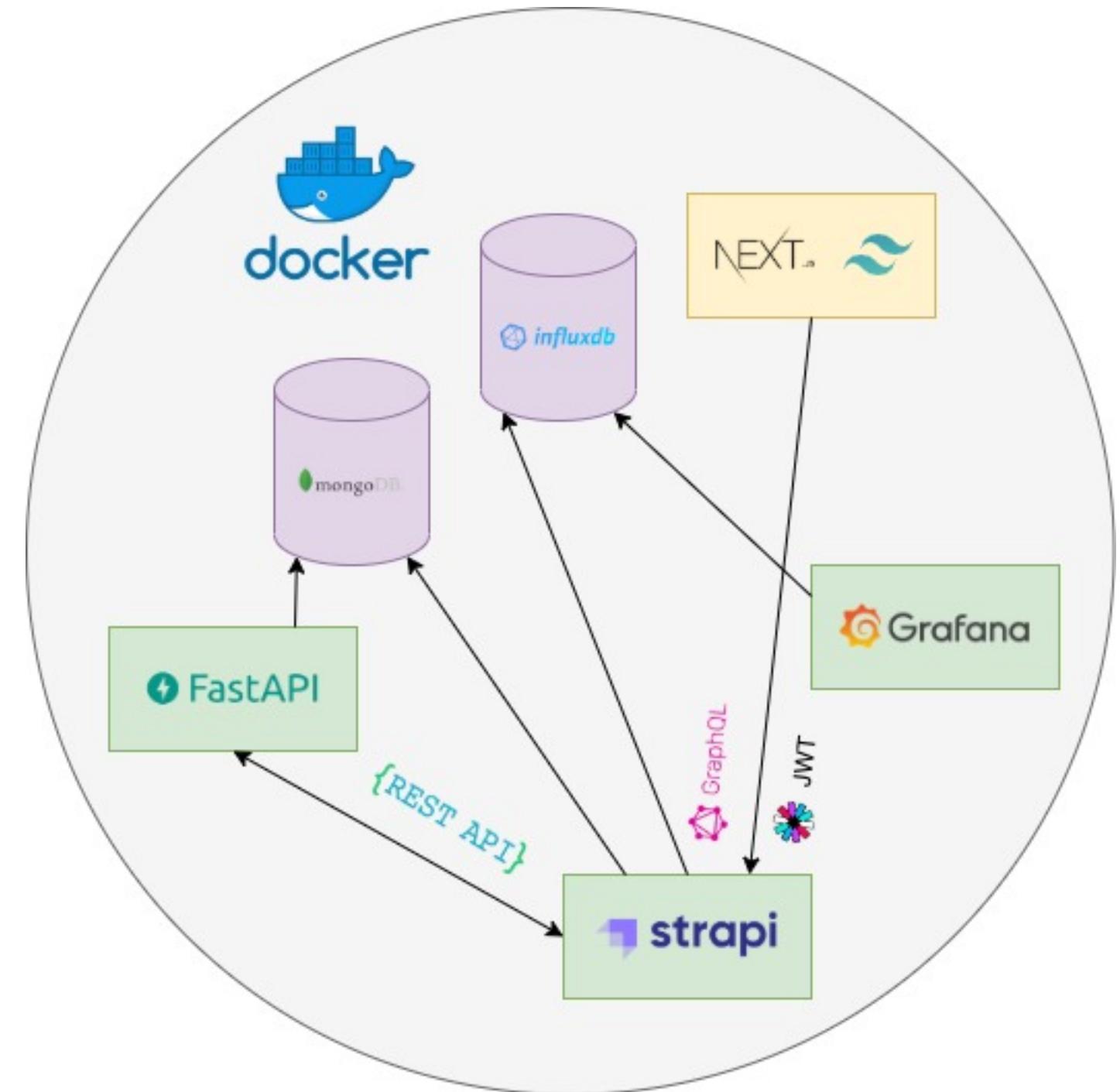
Základný prípad použitia

1. Zber dát z jazdy automobilom
2. Nahratie dát na server *enviroCar*
3. Použitie systému pre experiment pre synchronizáciu zozbieraných dát
4. Zobrazenie motivačnej spätnej väzby v používateľskom rozhraní

Návrh riešenia

Architektúra systému (obr. 7)

- separácia zámerov
- kontajnerizácia (*Docker*)
- **4 hlavné komponenty:**
 - webový klient (*NextJS*)
 - CMS (*Strapi*)
 - komponent pre synchronizáciu a spracovanie dát (*FastAPI*)
 - monitorovací nástroj (*Grafana*)
- 2 databázy (*Mongo* a *Influx*)
- JWT pre autentifikáciu a autorizáciu
- komunikácia medzi komponentmi cez GraphQL a REST APIs



[Odhlásenie ➔](#)**Ahoje, Samuel**

✓ Nachádzate sa vo fáze č. 1

📅 31. 01. 2021 - 14. 02. 2021

[Synchronizovať jazdy ↺](#)

Štatistiky

**PREJDENÁ VZDIALENOSŤ**
109,87 km**ČAS STRÁVENÝ ZA VOLANTOM**
02:21:05**PRIEMERNÁ SPOTREBA**
8,05 L / 100 km PRIBLIŽNE**SPOTREBOVANÉ MNOŽSTVO PALIVA**
8,32 L PRIBLIŽNE**PRIEMERNÁ RÝCHLOSŤ**
45,89 km / h

História jázd

#	DĽŽKA TRASY 🚙	TRVANIE ⏱	SPOTREBA (x)	RÝCHLOSŤ →	DÁTUM 📅
9	9,32 km	00:20:33	6,58 L / 100 km	27,54 km / h	10. 02. 2021
8	11,72 km	00:12:55	3,83 L / 100 km	53,22 km / h	10. 02. 2021
7	11,47 km	00:12:10	3,77 L / 100 km	55,68 km / h	07. 02. 2021
6	11,06 km	00:13:05	9,06 L / 100 km	50,31 km / h	07. 02. 2021
5	7,33 km	00:07:28	16,33 L / 100 km	56,84 km / h	07. 02. 2021



Celkom počet synchronizovaných jázd: 9

[Staršie >](#)

 Odhlásenie ↗

Ahojte, Samuel!

Nachádzate sa vo fáze č. 2 14. 02. 2021 - 28. 02. 2021

EKO SKÓRE
31 · 838 priemerné • celkové

TIP Motor naštartujte až keď ste pripravený odísť

V CELKOVOM PORADÍ
PRVÝ

Zobrať celkové poradie

Štatistiky

PREJDENÁ VZDIALENOSŤ 249,04 km	ČAS STRÁVENÝ ZA VOLANTOM 05:02:11	PRIEMERNÁ SPOTREBA 6,88 L / 100 km PRIBLÍŽNE
SPOTREBOVANÉ MNOŽSTVO PALIVA 16,87 L PRIBLÍŽNE	→ PRIEMERNÁ RÝCHLOSŤ 45,75 km / h	

História jázd

#	DĽŽKA TRASY	TRVANIE	SPOTREBA (x)	RÝCHLOSŤ →	DÁTUM	EKO SKÓRE
14	1,42 km	00:03:00	9,19 L / 100 km	27,13 km / h	26. 02. 2021	11
13	22,41 km	00:25:30	5,57 L / 100 km	51,21 km / h	26. 02. 2021	45
12	23,64 km	00:29:06	9,20 L / 100 km	48,26 km / h	26. 02. 2021	11
11	22,96 km	00:26:41	5,74 L / 100 km	50,24 km / h	25. 02. 2021	44
10	23,26 km	00:29:12	8,92 L / 100 km	46,97 km / h	25. 02. 2021	12

Celkový počet synchronizovaných jázd: 14

Staršie >

 Odhlásenie ↗

Ahojte, Samuel!

Nachádzate sa vo fáze č. 2 14. 02. 2021 - 28. 02. 2021

Synchronizovať jazdy

EKO SKÓRE
31 · 175 / 838 priemerné • uplatnené na odmeny / celkové

TIP Načasujte svoj presun tak, aby ste sa vyhli hustej premávke

ZÍSKANÉ KROVKY
7 ks = 49 g

Štatistiky

PREJDENÁ VZDIALENOSŤ 249,04 km	ČAS STRÁVENÝ ZA VOLANTOM 05:02:11	PRIEMERNÁ SPOTREBA 6,88 L / 100 km PRIBLÍŽNE
SPOTREBOVANÉ MNOŽSTVO PALIVA 16,87 L PRIBLÍŽNE	→ PRIEMERNÁ RÝCHLOSŤ 45,75 km / h	

História jázd

#	DĽŽKA TRASY	TRVANIE	SPOTREBA (x)	RÝCHLOSŤ →	DÁTUM	EKO SKÓRE	AKCIE
14	1,42 km	00:03:00	9,19 L / 100 km	27,13 km / h	26. 02. 2021	11	
13	22,41 km	00:25:30	5,57 L / 100 km	51,21 km / h	26. 02. 2021	45	
12	23,64 km	00:29:06	9,20 L / 100 km	48,26 km / h	26. 02. 2021	11	
11	22,96 km	00:26:41	5,74 L / 100 km	50,24 km / h	25. 02. 2021	44	
10	23,26 km	00:29:12	8,92 L / 100 km	46,97 km / h	25. 02. 2021	12	

Celkový počet synchronizovaných jázd: 14

Staršie >

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	PRIEMERNÉ 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



Odhlásenie ➔



Ahojte, Zlata!

Nachádzate sa vo fáze č. 3

28. 02. 2021 - 14. 03. 2021

Synchronizovať jazdy ➔

EKO SKÓRE
28 • 180 / 254 priemerné • uplatnené na odmeny / celkové

TIP Počas jazdy minimalizujte zrýchľovanie a brzdenie

V CELKOVOM PORADÍ
ŠTVRTÝ

Zobraziť celkové poradie

ZÍSKANÉ KROVKY
9 ks = 63 g

Štatistiky

PREJEDNÁ VZDIALENOSŤ
121,42 km

ČAS STRÁVENÝ ZA VOLANTOM
02:15:25

PRIEMERNÁ SPOTREBA
7,49 L / 100 km PRIBLIŽNE

SPOTREBOVANÉ MNOŽSTVO PALIVA
8,70 L PRIBLIŽNE

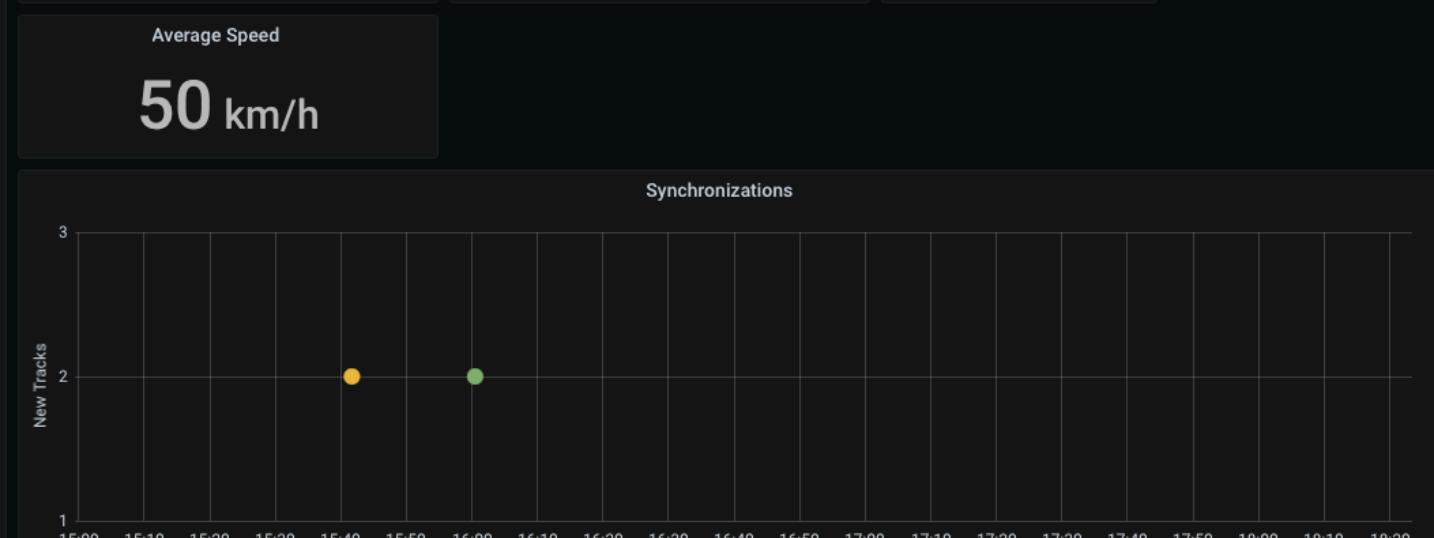
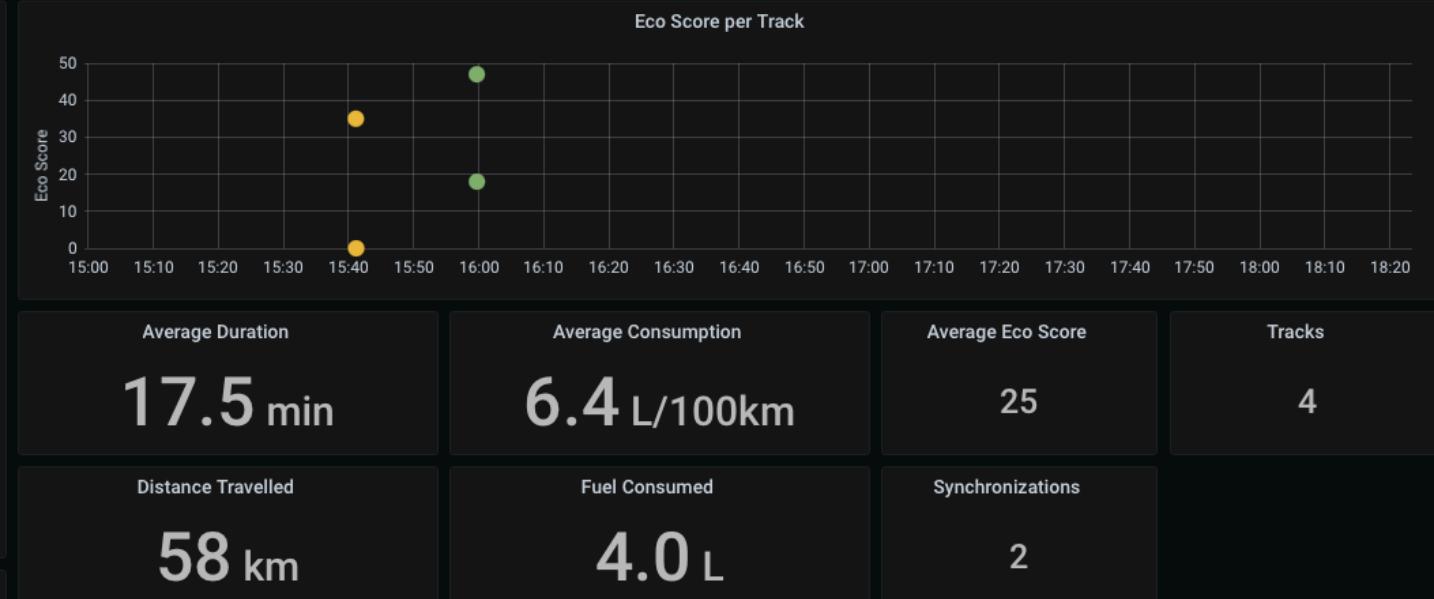
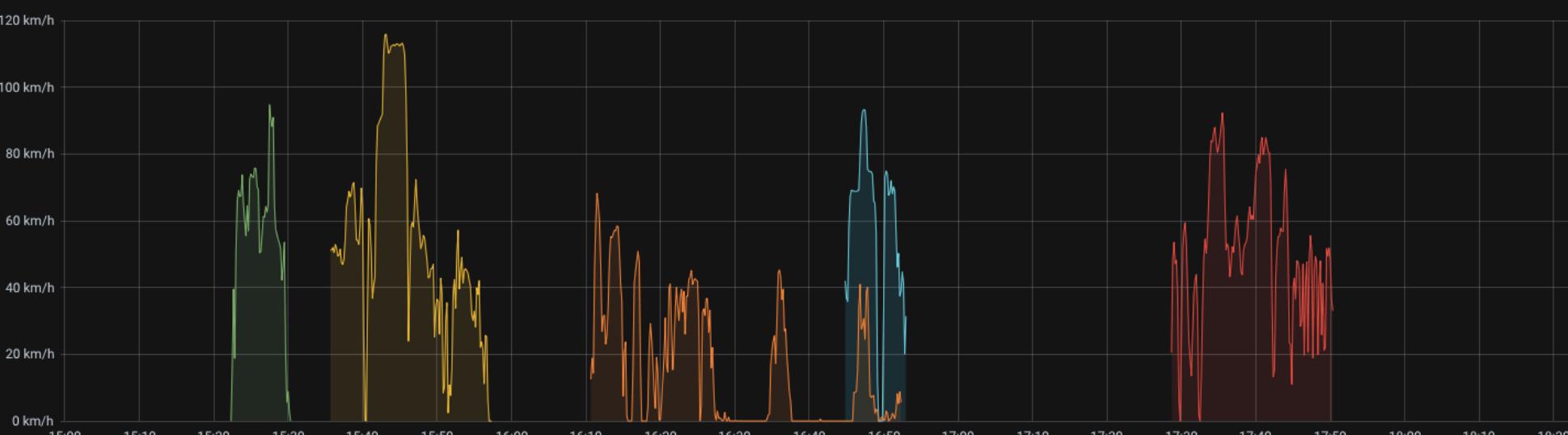
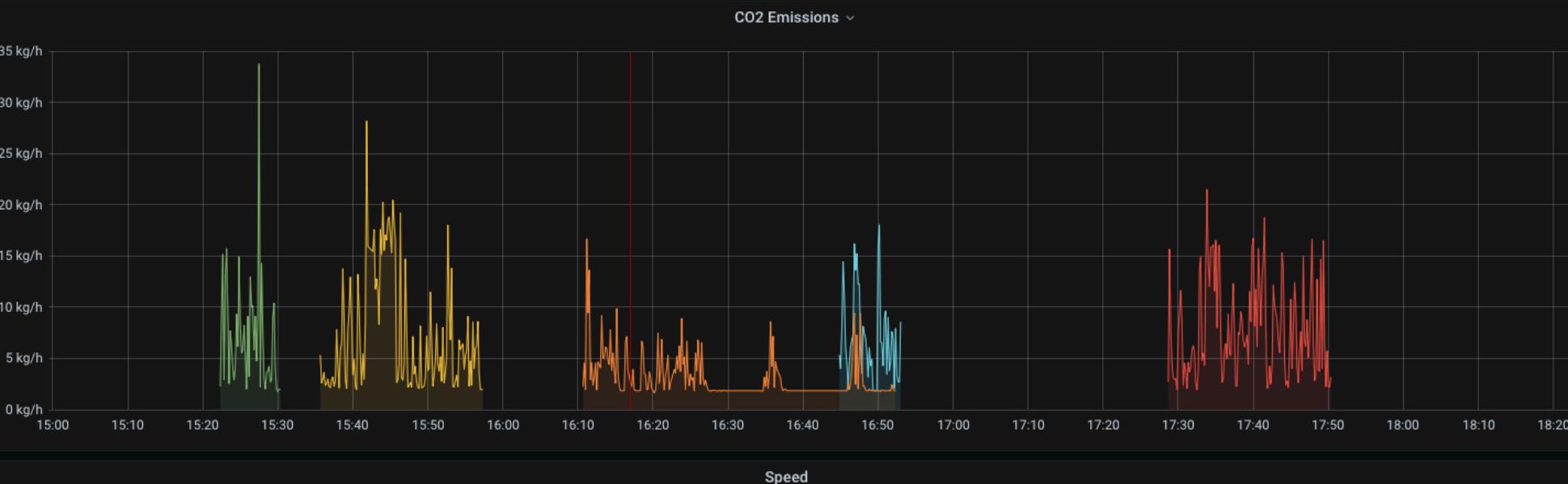
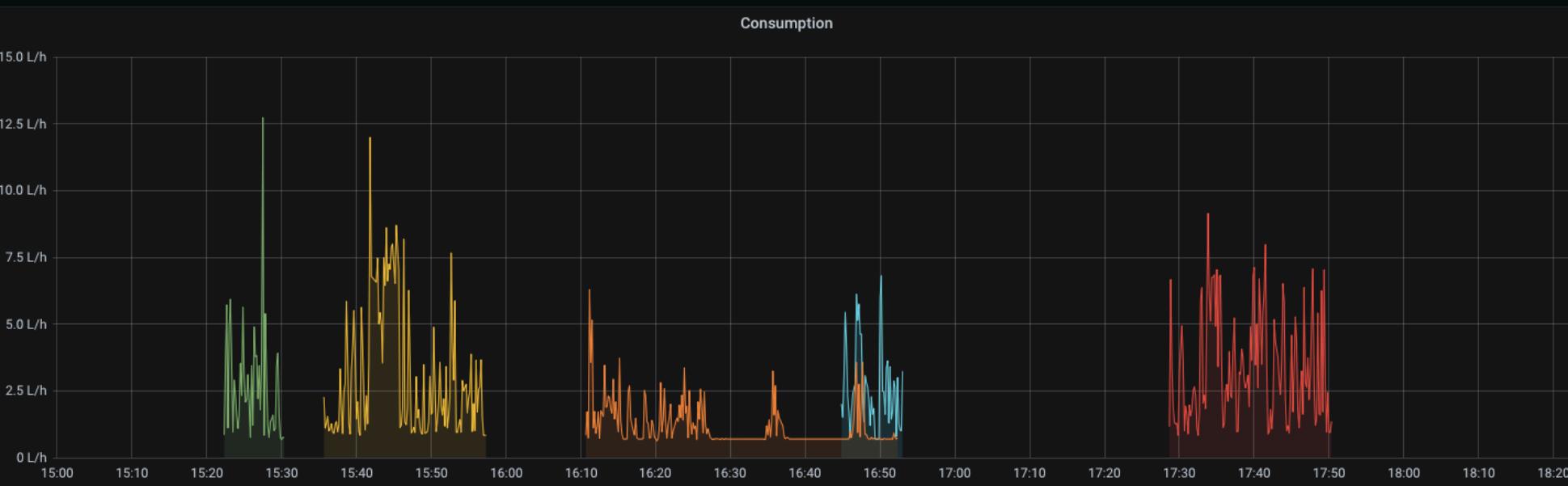
→ PRIEMERNÁ RÝCHLOSŤ
47,17 km / h

História jázd

#	DĽŽKA TRASY ➡	TRVANIE ⓘ	SPOTREBA (x)	RÝCHLOSŤ →	DÁTUM ⏵	EKO SKÓRE ⓘ	AKCIE =
9	2,33 km	00:04:12	7,57 L / 100 km	32,97 km / h	04. 03. 2021	23	
8	20,45 km	00:20:39	5,43 L / 100 km	57,93 km / h	04. 03. 2021	48	
7	7,90 km	00:10:42	10,49 L / 100 km	42,41 km / h	04. 03. 2021	10	
6	19,87 km	00:20:20	5,26 L / 100 km	57,37 km / h	02. 03. 2021	49	
5	23,30 km	00:26:37	9,02 L / 100 km	51,35 km / h	02. 03. 2021	15	

Celkový počet synchronizovaných jázd: 9

Staršie >



Vyhodnotenie riešenia

Dataset

	počet	počet na účastníka
vzdialenosť	5211 km	473 km (<i>11 / deň</i>)
merania	393	<i>35 (1 / deň)</i>
synchronizácie	246	<i>22 (1 / dva dni)</i>

Vyhodnotenie riešenia

Identifikované hrozby validity výsledkov

1. malá vzorka:

- obmedzenia v dôsledku pandémie
- nízka šanca preukázania sledovanej zmeny napriek jej potenciálnej existencii

Vyhodnotenie riešenia

Identifikované hrozby validity výsledkov

1. malá vzorka:

- obmedzenia v dôsledku pandémie
- nízka šanca preukázania sledovanej zmeny napriek jej potenciálnej existencii

2. viacero mätúcich faktorov:

- neúspech pri implementácii filtrovacieho algoritmu
- *kompromis*: zavedenie pravidiel

Vyhodnotenie riešenia

Identifikované hrozby validity výsledkov

1. malá vzorka:

- obmedzenia v dôsledku pandémie
- nízka šanca preukázania sledovanej zmeny napriek jej potenciálnej existencii

2. viacero mätúcich faktorov:

- neúspech pri implementácii filtrovacieho algoritmu
- *kompromis*: zavedenie pravidiel

3. nepresná metóda zberu dát:

- technické komplikácie bránili použitiu *enviroCar* OBD modelu
- *kompromis*: *enviroCar* GPS model

Vyhodnotenie riešenia

fáza	skupina	priemerná spotreba	oproti predošej fáze
č. 1	odmeny	6,01	-
č. 2	odmeny	6,25	+4,0%
č. 3	odmeny	6,38	+2,1%
č. 1	gamifikácia	6,06	-
č. 2	gamifikácia	6,17	+1,8%
č. 3	gamifikácia	6,21	+0,7%

Vyhodnotenie riešenia

- študentov t-test pre overenie H_0 :
 - normálna distribúcia dát => *parametrický*
 - $t = 0,6126$, $p = 0,5404$
 - neboli zistený štatisticky významný vplyv nezávislej premennej na závislú premennú

Vyhodnotenie riešenia

Použiteľnosť systému pre experiment

- priemerné SUS z mnohých štúdií je rovné hodnote 68²¹
- hodnotenie účastníkov experimentu:
 - SUS **79,25**
 - dobrá implementácia z pohľadu používateľa
 - vysoká spoločalivosť systému
- potvrdenie, že responzívny dizajn dnes je nevyhnutnosť:
 - 8 z 10 používateľov pristupovalo na systém pre experiment zo smartfónu

²¹ www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html

Určenie optimálnej jazdy automobilu

The screenshot shows a user profile for 'Ahoje, Zlata!' with a green checkmark indicating they are in phase 3. The main banner displays an ECO SCORE of 28 · 180 / 254 (average + applied discounts / total). A tip suggests minimizing acceleration and braking during drives. To the right, there are sections for overall ranking ('V CELKOVOM PORADÍ ŠTVRTÝ'), collected tokens ('ZÍSKANÉ KROVKY 9 ks = 63 g'), and average fuel consumption ('PRIEMERNÁ SPOTREBA 7,49 L / 100 km PRIBLIŽNE'). Below these are detailed statistics: distance driven (121,42 km), time spent at the wheel (02:15:25), fuel consumed (8,70 L PRIBLIŽNE), and average speed (47,17 km/h). The 'História jázd' section lists five recent trips with details like length, duration, fuel consumption, speed, date, and ECO score. The bottom of the screen shows a summary of synchronized drives and a 'Staršie >' button.

#	DĽŽKA TRASY	TRVANIE	SPOTREBA (x)	RÝCHLOSŤ →	DÁTUM	EKO SKÓRE	AKCIE
9	2,33 km	00:04:12	7,57 L / 100 km	32,97 km / h	04. 03. 2021	23	
8	20,45 km	00:20:39	5,43 L / 100 km	57,93 km / h	04. 03. 2021	48	
7	7,90 km	00:10:42	10,49 L / 100 km	42,41 km / h	04. 03. 2021	10	
6	19,87 km	00:20:20	5,26 L / 100 km	57,37 km / h	02. 03. 2021	49	
5	23,30 km	00:26:37	9,02 L / 100 km	51,35 km / h	02. 03. 2021	15	

Celkový počet synchronizovaných jázd: 9

Staršie >

Vyhodnotenie riešenia

Vedomosti ohľadom ekologickej jazdy

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

+49%

Zhrnutie

Prínosy

- rámc pre realizáciu experimentu
- systém pre experiment
- integrácia s platformou *enviroCar*
- vzorec pre výpočet ekologického výkonu
- zlepšenie vedomostí ohľadom ekologickej jazdy

Návrhy

- *opäťovná realizácia experimentu* po odstránení nedostatkov
 - viac účastníkov
 - eliminácia mätúcich faktorov
 - použitie OBD modelu
 - *realizácia v simulácii*

Otázky zo strany oponenta

Ako by bolo možné do budúcnosti lepsie rozlíšiť skupiny účastníkov a tak viac zameriť spôsob motivácie?

gamifikácia

- vytvorenie viacerých príležitostí súťaženia
- nové kategórie s rebríčkami podľa:
 - štýlu jazdy
 - prevýšenia
 - množstvo CO₂ emisií
 - a iných...

odmeny

- nahradíť odmenenie krovkami finančnými odmenami
- implementovať pôvodne zamýšľaný obchod:
 - ekologické skóre ostáva ako kredit
 - možnosť utratiať kredity na to, na čo šofér chce z aktuálnej ponuky obchodu

Otázky zo strany oponenta

Aké nové atribúty by bolo potrebné doplniť do datového modelu?

gamifikácia

- použitie existujúcich atribútov z dátového modelu *enviroCar* pre navrhované rozšírenia:
 - prevýšenie
 - CO₂ emisie
 - otáčky motora

odmeny

- navrhované rozšírenia si nevyžadujú doplnenie atribútov



Určenie optimálnej jazdy automobilu