

## Prehlásenie autora

Čestne prehlasujem, že táto diplomová práca je mojim pôvodným autorským dielom, na ktorom som pracoval samostatne na základe vlastných teoretických a praktických poznatkov získaných počas štúdia a informácií z dostupnej literatúry. Všetky zdroje, literatúru a pramene, ktoré som pri vypracovaní použil, riadne citujem s uvedením plného odkazu na príslušný zdroj. Uvedenú prácu som vypracoval pod vedením Ing. Stanislava Marčeka.

Bratislava, dňa 21. 05. 2015

.....

Bc. Matúš Mačák

## Pod'akovanie

Ďakujem rodine, priateľke Anne a môjmu trénerovi, Mgr. Patrikovi Kurilovi, ktorý ma o tréningu naučil všetko, čo som mohol využiť pri návrhu algoritmu.

# Abstrakt

Univerzita: Slovenská technická univerzita v Bratislave

Fakulta: Fakulta elektrotechniky a informatiky

Študijný program: Aplikovaná informatika

Školiace pracovisko: Ústav informatiky a matematiky

Autor: Bc. Matúš Mačák

Názov práce: Aproximácia wattového výkonu športovca

Vedúci práce: Ing. Stanislav Marček

Bratislava 2015

Diplomová práca sa zaoberá hľadaním algoritmu pre odhadnutie wattového výkonu športovca, cyklistu. V úvode práce je vysvetlená dôležitosť sledovania výkonu ako hlavného ukazovateľa v tréningu. Popisuje zariadenia, aplikácie a štandardy, ktoré sú vyvinuté za účelom sledovania tréningových údajov. Jadro práce pojednáva o problematike odhadovania výkonu z rôznych údajov a prezentuje riešenie, ktoré umožňuje určiť približné hodnoty výkonu bez jeho priameho merania. Záver práce je venovaný rozboru a analýze presnosti údajov odhadnutých algoritmom.

Kľúčové slová: šport, cyklistika, výkon, ANT+

# Abstract

University: Slovak Technical University in Bratislava

Faculty: Faculty of Electrical Engineering and Information Technology

Study programme: Applied Informatics

Training workplace: Institute of Computer Science and Mathematics

Author: Matúš Mačák

Title: Approximation of athlete power output

Thesis supervisor: Ing. Stanislav Marček

Bratislava 2015

This master thesis describes the research of algorithm for estimating the power effort of an athlete, cyclist. First part explains the importance of monitoring the power as the main indicator in training. It describes devices, software and standards that are developed to track sport activity. The main part deals with common problems in power estimation from various data and presents the solution that allows approximating the value of athlete's power without a direct measurement. The conclusion is devoted to review and analyze the accuracy of the algorithm.

Keywords: sport, cycling, power, ANT+

# Obsah

<b>0 Úvod</b>	<b>7</b>
<b>1 Analýza problému</b>	<b>8</b>
1.1 Význam veličiny výkon v tréningu cyklistu . . . . .	8
1.2 Štandardy pre prenos tréningových dát . . . . .	10
1.2.1 GPX . . . . .	10
1.2.2 TCX . . . . .	10
1.2.3 ANT . . . . .	11
1.2.4 FIT . . . . .	11
1.3 Meranie výkonu . . . . .	13
1.4 Softvér pre vyhodnotenie tréningu . . . . .	14
1.4.1 Strava . . . . .	14
1.4.2 Bike Calculator . . . . .	18
<b>2 Pôsobenie síl</b>	<b>20</b>
2.1 Gravitačná sila . . . . .	20
2.2 Aerodynamický odpor . . . . .	21
2.3 Valivý odpor . . . . .	24
<b>3 Opis riešenia</b>	<b>27</b>
3.1 Použité technológie a riešenia . . . . .	27
3.2 Prípady použitia . . . . .	29
3.3 Diagram aktivít . . . . .	31
3.4 Implementácia . . . . .	32
3.4.1 Nahratie a konverzia súboru . . . . .	32
3.4.2 Detekcia stúpaní . . . . .	34
3.4.3 Aproximácia výkonu . . . . .	37
3.4.4 Zobrazenie tréningu . . . . .	38
3.5 Porovnanie výsledkov . . . . .	42
<b>4 Záver</b>	<b>46</b>

## Zoznam obrázkov

1	Porovnanie výkonu a tepovej frekvencie pri záťaži . . . . .	9
2	Zjednodušená štruktúra FIT súboru . . . . .	12
3	CSV súbor po konverzii z FIT . . . . .	12
4	Strava - detail tréningu . . . . .	15
5	Strava - Analýza tréningu . . . . .	16
6	Strava - Graf výkonu . . . . .	16
7	Strava - Graf odhadnutého výkonu podľa GPS . . . . .	17
8	Strava - Graf odhadnutého výkonu podľa Assisted GPS . . . . .	17
9	Bike Calculator - Kalkulačka výkonu cyklistu . . . . .	18
10	Teleso na naklonenej rovine . . . . .	20
11	Závislosť potrebného výkonu od nadmorskej výšky . . . . .	22
12	Závislosť potrebného výkonu od teploty vzduchu . . . . .	23
13	Valivý odpor [5] . . . . .	24
14	Závislosť potrebného výkonu od koeficientu odporu pneumatiky . . . . .	25
15	Podiel silových zložiek v závislosti od stúpajúceho sklonu vozovky . . . . .	26
16	Architektúra webovej aplikácie . . . . .	28
17	Diagram prípadov použitia . . . . .	30
18	Diagram aktivít . . . . .	31
19	Detekcia segmentu . . . . .	36
20	Zobrazenie mapy v detailnom náhľade tréningu . . . . .	39
21	Zvýraznenie výberu pred priblížením konkrétnej časti tréningu . . . . .	41
22	Športovec 1 - porovnanie aproximovaných a reálnych hodnôt . . . . .	43
23	Športovec 2 - porovnanie aproximovaných a reálnych hodnôt . . . . .	44
24	Športovec 3 - porovnanie aproximovaných a reálnych hodnôt . . . . .	45

## 0 Úvod

Technologický pokrok je bezpochyby dôvodom, prečo sa rôzne inteligentné zariadenia stávajú naším najdôležitejším nástrojom pri každodennej rutine, ale aj v krízových situáciách. Inak tomu nie je ani v športe, najmä ak sa jedná o vytrvalostné disciplíny. Na pulte takmer každej športovej predajne sú k dispozícii merače srdcového tepu, športové hodinky, cyklopočítače s GPS a podobne. Nielen tréning podľa vlastného pocitu, ale podriadenie tréningovej záťaže údajom na meracom zariadení sa stáva kľúčom k postupnému zvyšovaniu výkonnosti. Vysoká dostupnosť technológií a *know-how* vyrovnáva schopnosti konkurencie. Víťazia športové družstvá, ktoré okrem mimoriadneho talentu dokážu tréning najlepšie zmerať, vyhodnotiť a opätovne naplánovať.

V práci sa zameriavame na analýzu vytrvalostného športu - cyklistiky, ktorú môžeme v globále urobiť z údajov ako je dĺžka tréningu v hodinách, tzv. tréningový objem, vzdialenosť, rýchlosť, tepová frekvencia. Tréning podľa tepovej frekvencie môže byť pre športovca obrovským prínosom za predpokladu, že má správne stanovené tréningové zóny, ktoré by mali odzrkadľovať zaťaženie organizmu [8]. Tepovú frekvenciu už môžeme v dnešnej dobe považovať za pomerne nenákladný spôsob usmernenia tréningu, no má však jednu nevýhodu. Tep srdca reaguje na stúpajúce zaťaženie s miernym oneskorením a môže byť skreslený pri výkyve vnútornej rovnováhy organizmu. V cyklistike, kde na reálny výkon, vyjadriteľný fyzikálnou veličinou, vplýva veľké množstvo faktorov, je aktuálna rýchlosť síce okamžitým, ale veľmi nepresným ukazovateľom. Preto je merač rýchlosti aj tepovej frekvencie postupne nahrádzaný meračom výkonu.

Meranie výkonu v cyklistike nám poskytuje okamžitú odpoveď na otázky: ako veľmi sa športovec namáha, akou silou pôsobí na pedále. Subjektívny pocit námahy nahrádza konkrétny číselný údaj, štandardne vyjadrený v jednotkách *Watt* [*W*]. Problémom je však cenová dostupnosť takéhoto merania. U profesionálnych športovcov možno cenová náročnosť nehrá rolu, avšak sú aj športovní nadšenci, amatérski pretekári, ktorí si chcú zmerať svoj progres, prípadne sa porovnať s najlepšími. Výkon je miera toho ako rýchlo vykonáva určitá sila prácu [6]. Je to fyzikálna veličina, a teda by malo byť možné ho vypočítať na základe údajov ako je stúpanie, rýchlosť, vzdialenosť. Práve týmto výpočtom sa snažíme odhadnúť výkon športovca.

# 1 Analýza problému

## 1.1 Význam veličiny výkon v tréningu cyklistu

Ako sme spomenuli v úvode, obrovská dostupnosť informácií a prostriedkov umožňuje vykonávať kontrolovaný tréning takmer každému záujemcovi. Pokiaľ máme záujem o perspektívne zlepšovanie, prvým krokom by malo byť absolvovanie výkonnostného testu u športového lekára, tzv. funkčného testu. Lekár by na základe anamnézy, predchádzajúcich skúseností so športom a aktuálnej výkonnosti mal odporučiť primerané tréningové zaťaženie. Čo je však najdôležitejšie, mal by stanoviť aj tréningové zóny, v ktorých by sa športovec pri tréningu mal pohybovať a v akom trvaní, teda odporučiť tréningový plán [8]. Tréning cyklistu nemôže byť postavený iba na odjazdení určitej vzdialenosti v čo najkratšom čase, a ani trénovaní vytrvalosti tým, že sa trénuje čo najdlhšie. Tréning cyklistu je zložený z rôznych intenzít, úsekov, opakovaní a cvičení, kedy sa trénujúci športovec vedome pohybuje v určite tréningovej zóne aby docielil ideálny tréningový impulz.

Zámerné používame slovné spojenie tréningová zóna a nielen tepová zóna, hoci sa tieto slovné spojenia často zamieňajú. Tréningová zóna je však úroveň fyzického zaťaženia, ktoré prebieha v ľudskom organizme. Najjednoduchšie odporúčané delenie je:

- Aeróbne pásmo
- Zmiešané pásmo
- Anaeróbny prah
- Anaeróbne pásmo

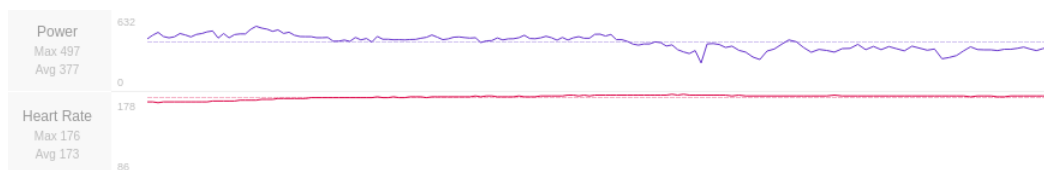
Ako sú tréningové zóny kontrolované počas tréningu je len na samotných možnostiach športovca. Najideálnejším ukazovateľom by bola hladina laktátu v krvi. Túto metódu však do každodenného tréningu aplikovať nemôžeme, nakoľko odber krvi z prsta alebo ucha a následné vyhodnotenie vzorky je zdĺhavé. Najdostupnejšia je metóda merania tepovej frekvencie, ktorá však nie je vždy spoľahlivá.

Každý ľudský organizmus je unikátny komplexný biologický systém. Tlak krvi, hormonálna rovnováha, krvný obraz a iné faktory neustále ovplyvňujú tep srdca. Mierny rozdiel v tepovej frekvencii pri rovnakej záťaži môžeme pozorovať už pri porovnaní tréningu ráno a večer. Pred prichádzajúcim ochorením môžeme zaznamenať zvýšenie tepovej frekvencie. Nižší tep športovci vykazujú po niekoľkých dňoch náročného tréningu.



Taktiež sme sa stretli s prípadmi, keď subjektívny pocit športovca bola únava a oproti normálu mal mierne zníženú tepovú frekvenciu, ale jeho wattový výkon v náročnom tréningu bol porovnateľný, niekedy aj lepší ako v iné dni. Vyšší tep sa dá jasne pozorovať už pri veľmi miernej dehydratácii, napr. na konci dlhého tréningu v teplom počasí. Sledovanie faktorov, ktoré ovplyvňujú tepovú frekvenciu nie je predmetom tejto práce. Je však dôležité poznamenať, že z pohľadu fináčnej náročnosti a výpovednej hodnoty je tepová frekvencia stále veľmi dobrým kontrolným mechanizmom pre riadenie tréningu.

Okamžité hodnoty, ktoré reprezentujú zaťaženie organizmu a veľmi dobrú presnosť, získame meraním výkonu. Môžeme určiť intenzitu pri krátkych zrýchlených úsekoch, kedy tepová frekvencia ešte nestihne vystúpiť na hodnotu zodpovedajúcu fyzickému zaťaženiu. Môžeme presnejšie analyzovať podaný výkon pri dlhších úsekoch v maximálnom úsilí, kedy zrýchlenie/spomalenie môže odzrkadľovať zmena tepová frekvencia o 1 tep, ale rozdiel vo výkone môže byť aj o 10%. Obr. 1 zobrazuje, ako sa môže meniť výkon športovca v porovnaní s tepovou frekvenciou.



Obr. 1: Porovnanie výkonu a tepovej frekvencie pri záťaži

Z priebehu kriviek môžeme pozorovať, ako odpočínutý športovec absolvuje úsek v tréningu. Počas desiatich minút mal udržiavať výkon vyšší ako 340 W. Vidíme, že na stúpajúce zaťaženie telo reaguje zvýšením tepovej frekvencie, zároveň sa v zaťažovaných svaloch tvorí kyselina mliečna (laktát). Prvých päť minút športovec absolvoval s priemerným výkonom 410W. Po zahľtení svalov laktátom a ustálení tepovej frekvencie už daný výkon udržiavať nedokázal a postupne záťaž zvoľňuje na priemerných 320W. Kým tepová frekvencia kolíše v rozsahu  $\pm 1$  tep, priemerný výkon v druhej polovici je o 20W nižší než požadované zaťaženie. Zmena však stále nie je dostatočná na to, aby mohlo dôjsť k čiastočnému zotaveniu svalov, hladina laktátu v krvi je stále vysoká, na čo telo reaguje vysokou tepovou frekvenciou. Hoci po skončení tréningu má športovec pocit vyčerpanosti, neabsolvoval tréning podľa plánovaného konceptu. Zdokonalenie podobných chýb môže viesť k lepšiemu rozloženiu síl a lepšiemu vystupňovaniu výkonu, napr. v závere pretekov. Pri analýze výkonu sú tieto chyby jasne viditeľné.

## 1.2 Štandardy pre prenos tréningových dát

V predchádzajúcich častiach sme niekoľkokrát spomenuli športové hodinky alebo cyklopočítač. Ich spoločnou funkciou je prijímanie dát z rôznych snímačov, zobrazenie dát, a tiež aj uloženie pre neskoršie vyhodnotenie. Na trhu je veľké množstvo výrobcov, ktorý uprednostňujú vlastné formy prenosu a formu ukladania dát. Existujú však aj *open-source* protokoly, ktoré umožňujú interoperabilitu medzi zariadeniami rôznych značiek, prípadne aj inteligentnými telefónmi. Vo výskume sme sa na rozbor problematiky a následné vyhodnotenie presnosti rozhodli používať zariadenie na meranie výkonu PowerTap G3 (rok výroby 2013) a cyklopočítač Garmin Edge 500 (rok výroby 2014). Preto chceme v nasledujúcej časti popísať štandardy, ktoré tieto zariadenia využívajú, a teda sa bezprostredne dotýkajú našej práce.

### 1.2.1 GPX

GPX je rozšírenie formátu XML vytvorené za účelom štandardizácie prenosu GPS súradníc a trás pre navigačné systémy. Prvá verzia bola vydaná v roku 2002 a neskôr aktualizovaná v roku 2004. Neskoršie rozšírenie od firmy Garmin - schéma *GpxExtensions* umožňuje medzi GPS súradnice pridávať body záujmu<sup>1</sup>, meniť zobrazenie trasy, a podobne. Neskôr Garmin pridal aj schému *TrackPointExtension*, ktorú už bolo možné využiť aj v zariadeniach, ktoré súvisia so športom. Okrem informácií o trase je možné do súboru uložiť aj údaje o tepovej frekvencii, teplote, rýchlosti a ďalšie [4].

### 1.2.2 TCX

TCX alebo plným názvom Training Center XML je dátový formát predstavený v roku 2007, opäť firmou Garmin ako súčasť ich Training Center produktov. Formát XML je veľmi podobný štandardu GPX, avšak postupnosť súradníc reprezentuje skôr ako fyzickú aktivitu než len trasu. Predstavuje štandard prenosu údajov zo športových meračov ako je tepová frekvencia, kalórie, frekvencia šliapania (bicykel) alebo kroku (beh) a mnohé ďalšie. Tiež môže obsahovať sumarizované údaje pre celú aktivitu aj jednotlivé okruhy [4].

---

<sup>1</sup>z angl. Points of interest

### 1.2.3 ANT

ANT je nízko-energetický<sup>2</sup> bezdrôtový protokol prenosu dát medzi zariadeniami. Robustný ale veľmi flexibilný protokol nachádza využitie v PAN<sup>3</sup> alebo LAN<sup>4</sup> sieťach. Je ideálny pre športové aktivity, fitness a wellness.

ANT prenos dát prebieha na frekvencii medzi 2400 MHz až 2524 MHz s výnimkou frekvencie 2457 MHz, ktorá je rezervovaná pre ANT+ zariadenia.

ANT+ je množina definícií, ktoré upresňujú, čo reprezentujú informácie posielané v sieti ANT. Definícia sa nazýva *device profile* a obvykle je vytvorená na základe určitého prípadu použitia. Napríklad senzor rýchlosti na bicykli bude odosielať informácie o rýchlosti, preto implementuje profil *Speed monitor*.

Každé ANT+ zariadenie musí pristupovať do ANT+ siete so sieťovým kľúčom a implementovať minimálne jeden *device profile*. Zariadenie s daným profilom je možné spojiť s ďalšími zariadeniami, ktoré implementujú rovnaký profil. Jedno zariadenie môže samozrejme implementovať aj viac profilov. Napr. športové hodinky môžu prijímať údaje o rýchlosti, tepovej frekvencii, výkone a pre každý údaj implementujú samostatný *device profile*.

V ANT+ sieti obvykle rozlišujeme dva typy zariadení. Meracie zariadenie, ktoré je podľa špecifikácie nazývané *sensor* a zobrazovacie zariadenie, *display*. ANT+ umožňuje pripojenie jedného, alebo aj viacerých zariadení typu *sensor* na jedno zariadenie typu *display*. Na jedných športových hodinkách teda môžeme zobrazovať viacero meraných veličín, alebo pripojiť jedno zariadenie typu *sensor* na viac zariadení typu *display*.

### 1.2.4 FIT

The Flexible and Interoperable Data Transfer (FIT) protokol bol navrhnutý špeciálne pre ukladanie a prenos dát pochádzajúcich zo športových aktivít. Definuje niekoľko šablón pre ukladanie dát, tzv. *Fit message*. Môžu v nich byť uložené informácie o používateľskom profile, dáta zo športovej aktivity a podobne. Bol navrhnutý tak aby bol kompaktný, interoperabilný a rozšíriteľný.

FIT protokol pozostáva z:

- Definície štruktúry .fit súboru
- Definície dátových polí a dátových typov pre jednotlivé *Fit messages*

---

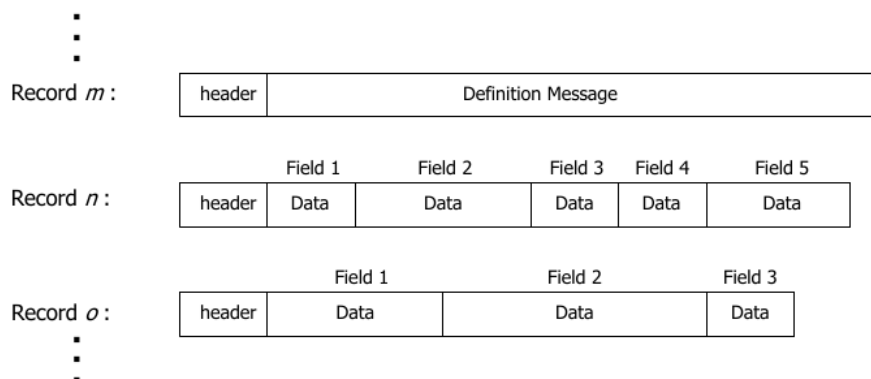
<sup>2</sup>z angl. Ultra-low power

<sup>3</sup>PAN - personal area network

<sup>4</sup>LAN - local area network

- Vývojového nástroja, tzv. SDK<sup>5</sup>, ktorý umožňuje vygenerovať potrebný zdrojový kód pre nakonfigurovanie produktov využívajúcich FIT protokol. Obsahuje aj nástroj pre konverziu binárneho .fit súboru do .csv dátového súboru a opačne.

FIT súbor obsahuje dátové reťazce, pričom každý reťazec je zostavený z hlavičky a obsahu. Obsah dátového reťazca môže byť buď špecifikácia dát v nasledujúcom reťazci alebo správa, ktorá obsahuje niekoľko polí s údajmi, viď obr. 2.



Obr. 2: Zjednodušená štruktúra FIT súboru

Na konverziu bitového FIT súboru využijeme konverzný nástroj v jazyku JAVA. Výstupom konverzie sú dva CSV súbory. Prvý súbor je textovou reprezentáciou dát z FIT súboru, čo znamená, že niektoré riadky sú definíciou nasledujúcich údajov a niektoré riadky nesú údaje. Zároveň je potrebné si všimnúť, že údaje nie sú rozdelené fixne podľa stĺpcov. Stĺpec *Field N* oznamuje, čo reprezentuje hodnota v stĺpci *Value N*, stĺpec *Units N* definuje jednotky pre túto hodnotu, pričom  $N > 0$ . Jeden stĺpec *Field N* nemusí niešť vždy rovnaký údaj. Príklad uvádzame na obr. 3.

Type	Local Number	Message	Field 1	Value 1	Units 1	Field 2	Value 2	Units 2	...	Field N
Definition	0	file_id	serial_number	1		time_created	1			
Data	0	file_id	serial_number	3882026635		time_created	793193395			
Definition	1	file_creator	software_version	1		hardware_version	1			
Data	1	file_creator	software_version	330						
Definition	2	event	timestamp	1		data	1			
Data	2	event	timestamp	793193385	s	timer_trigger	0			

Obr. 3: CSV súbor po konverzii z FIT

Druhý súbor, ktorý je výstupom z konverzie má príponou *\_data.csv* a obsahuje všetky dáta usporiadané vo forme stĺpcov. Jeden stĺpec reprezentuje vždy konkrétny

<sup>5</sup>SDK - Software development kit

údaj podľa hlavičky, napr. *event.timestamp[s]*, *record.altitude[m]*, *record.speed[m/s]*... Jednotky sú uvádzané v hranatej zátvorke v záhlaví stĺpca. Oba súbory teda obsahujú všetky dáta, rozdielna je iba ich postupnosť. Rozhodli sme sa používať prvú spomenutú štruktúru. Najdôležitejšie sú riadky, kde stĺpec *Type* nadobúda hodnotu *Data*, v stĺpci *Message* sú hodnoty *record* pre jednotlivé body v tréningu, *session* pre sumarizáciu alebo *lap* pre informáciu o stlačení medzičasu.

### 1.3 Meranie výkonu

Pre správne pochopenie problematiky sa musíme oboznámiť so zaužívaným spôsobom merania výkonu cyklistu. Výkon je meraný špeciálnym snímačom, ktorý je vo väčšine prípadoch zabudovaný priamo v komponente bicykla. Jedná sa o komponent, ktorý sa priamo stará o prenos sily pôsobiacej na pedál do pohonu zadného kolesa. Môže to byť náboj zadného kolesa, jedna alebo obe kľuky stredového zloženia, prípadne pedále. To, kde je snímač umiestnený, záleží od konkrétneho výrobcu a jeho techniky merania. Snímač nazývame merač výkonu<sup>6</sup>.

Najdôležitejším prvkom merača je tenzometer. Ide o súčiastku s uzavretým elektrickým okruhom a konštatným elektrickým odporom. Ak je tenzometer vystavený pôsobeniu mechanickej sily, dochádza k jeho deformácii, zmene odporu a vďaka piezoelektrickému javu aj k zmene napätia. Správnou konfiguráciou je teda možné zistiť presnú silu pôsobiacu na túto súčiastku.

Ako sme uviedli v predchádzajúcej časti, výkon je mierou toho ako rýchlo vykonáva určitá silu prácu. Vezmime do úvahy jednoduchý vzťah:

$$P = F \frac{\partial d}{\partial t} \quad (1)$$

Výkon  $P$  je rovný sile, ktorú je potrebné vyvinúť, aby sme teleso s danou hmotnosťou premiestnili po dráhe  $d$  za čas  $t$ . Dráha prekonaná za čas predstavuje rýchlosť, preto môžeme vzťah 1 upraviť na nasledovný tvar:

$$P = F v \quad (2)$$

To je podstata fungovania merača výkonu vo veľmi zjednodušenej forme. Sila zmeraná tenzometrom je odoslaná do cyklopočítača/športových hodínok, tam je násobená aktuálnou rýchlosťou a zobrazí sa výkon v jednotkách *Watt*. Nakoľko je veľmi náročné pri jazde na bicykli udržiavať približne konštatný výkon, často sa nezobrazuje momentová

---

<sup>6</sup>z angl.: Power Meter

hodnota ale priemer za 3s, 5s alebo 10 až 30 sekúnd. Sily, ktoré pôsobia proti pohybu športovca pri jazde na bicykli bližšie rozoberáme v kapitole 2.

Prvý merač výkonu bol dostupný verejnosti v roku 1989. Jednalo sa o značku SRM (Schoberer Rad Messtechnik), ktorá svoj produkt testovala s profesionálnymi športovcami od začiatku osemdesiatych rokov.[11]

Väčšina výrobcov v súčasnosti uvádza pre svoje merače odchýlku do 2%. Možné odchýlky môžu byť spôsobené stratou pri prenose sily z pedálu na pohon zadného kola, t.j. napnutím reťaze, pružnosťou rámu, pružnosťou kola, kalibráciou merača atď. Je dôležité si uvedomiť, že žiaden merač, ktorý je súčasťou bicykla, z týchto dôvodov nebude ukazovať presný výkon podávaný športovcom. Ak však športovec dlhodobo používa rovnakú metódu merania, porovnávanie jeho výkonov má veľký význam.

## 1.4 Softvér pre vyhodnotenie tréningu

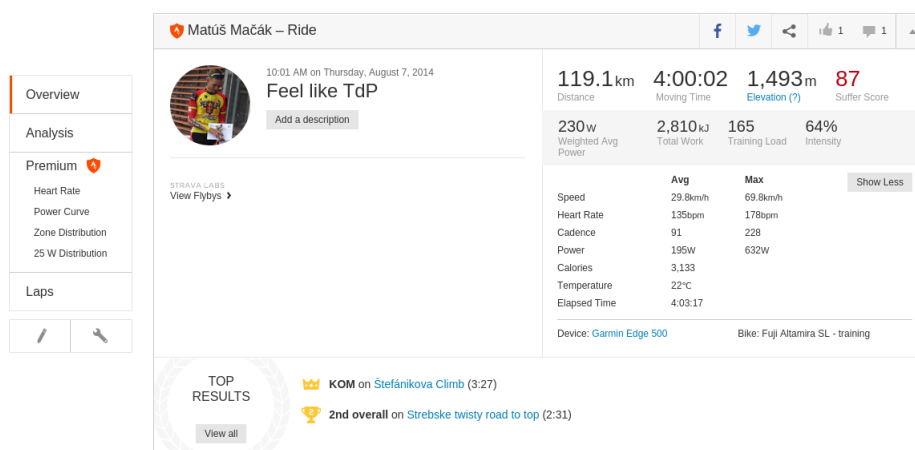
### 1.4.1 Strava

Strava je portál, ktorý sa snaží združovať komunity športovcov po celom svete. Nosným pilierom Strava je webová aplikácia na adrese <http://www.strava.com>, ktorá ponúka komplexnú analýzu tréningových dát a množstvo sociálnych funkcií. Ako uvádza priamo Strava, používateľovi umožňuje zažiť tzv. *social fitness*, čo by malo predstavovať spojenie, porovnanie a súťaženie s ďalšími športovcami [16]. Okrem webovej aplikácie je možné využiť aj mobilnú aplikáciu pre platformu Android a iOS. Primárne je Strava určená pre bežcov a cyklistov, grafy a analýza pre ich aktivity sú najpodrobnejšie. Tréningový denník si však môžu viesť aj ďalší športovci.

Princíp fungovania Strava môžeme popísať tromi krokmi. Prvým je absolvovanie tréningu a jeho zaznamenanie na zariadenie s GPS, resp. na ich mobilnú aplikáciu. Druhým krokom je uloženie tréningového záznamu na server Strava. Vďaka využitiu API výrobcov ako je Garmin, Suunto, TomTom, Timex a niektorých ďalších umožňuje Strava priame uloženie tréningových dát na server ihneď po pripojení zariadenia/športových hodín do počítača. Priame ukladanie funguje na platformách Windows a OSX. Ak používateľ používa iný operačný systém alebo má záujem uložiť tréning z iného zariadenia, môže tak urobiť nahraním súboru, ktorý je vo formáte GPX, TCX alebo FIT. Tretím krokom je zobrazenie detailu tréningu a analýza.

Portál Strava sme sa rozhodli popísať z dôvodu, že ako jeden z prvých prináša aproximáciu wattového výkonu cyklistu z GPS dát. Skôr ako popíšeme kladné a záporné stránky samotnej aproximácie výkonu, pozrime sa na používateľské rohranie

webovej aplikácie, konkrétne na časť s detailom tréningu.

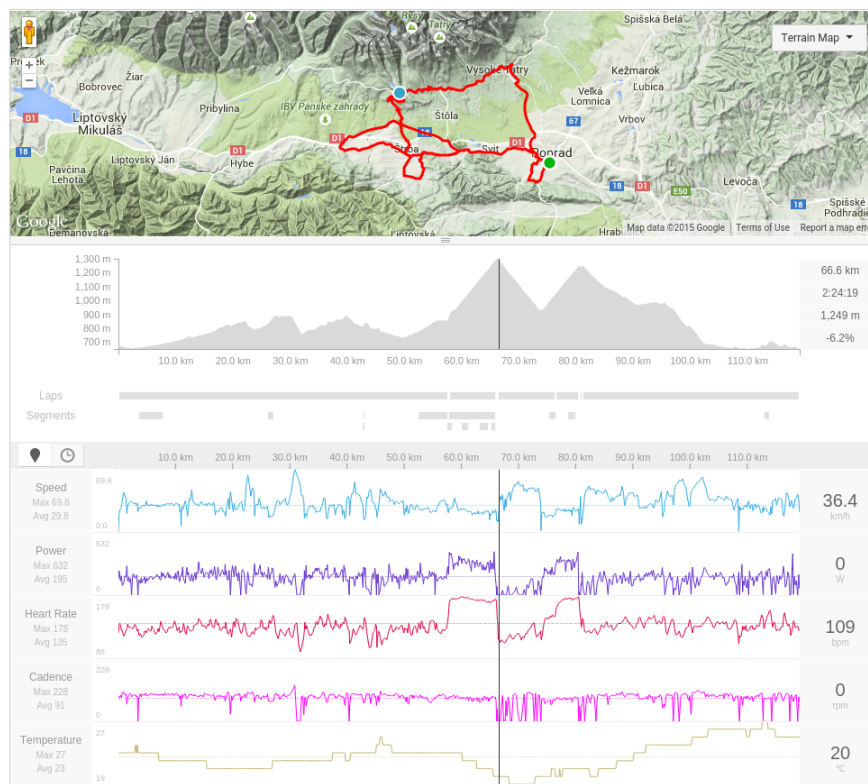


Obr. 4: Strava - detail tréningu

V pravej časti obrazovky môžeme vidieť celkové a priemerné údaje z tréningu. Jedná sa o dáta, ktoré boli uložené cyklopočítačom Garmin Edge 500 - vzdialenosť, čas, nastúpané metre, rýchlosť, tepová frekvencia, frekvencia šliapania, teplota. Červenú hodnotu *Suffer Score* počíta Strava na základe času, ktorý športovec strávil v jednotlivých tréningových zónach podľa tepovej frekvencie. Nakoľko sme pri tréningu mali k dispozícii aj merač výkonu Power Tap G3, Strava nám na základe váženého priemerného výkonu vypočíta tréningové zaťaženie (*Training Load*) a intenzitu tréningu (*Intensity*). Intenzita tréningu je percentuálny pomer váženého priemerného výkonu a FTP hodnoty výkonu<sup>7</sup>. Presný výpočet hodnoty tréningového zaťaženia Strava verejne neuvádza, ale zo skúsenosti môžeme konštatovať, že sa jedná o násobok váženého priemerného výkonu, dĺžky tréningu a ďalšieho koeficientu.

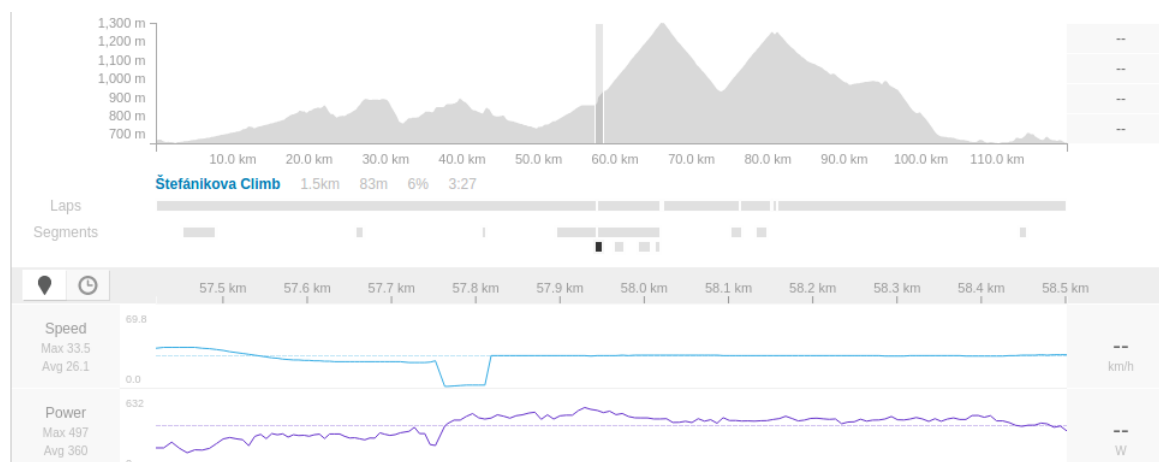
V prostrednej časti obr. 4 môžeme vidieť názov tréningu, pod ktorým ho športovec uložil a dátum absolvovania. Po kliknutí na *Analysis* v menu v ľavej časti obrazovky, sa nám načíta sekcia s mapou a grafmi, ktoré zobrazujú priebeh celého tréningu, hodnoty aktuálnej nadmorskej výšky, rýchlosti, tepovej frekvencie, frekvencie šliapania a teploty v jednotlivých pozíciách, viď obr. 5.

<sup>7</sup>FTP - Functional threshold power - Hodnota, na ktorej športovec dokáže pracovať 30 minút [10]



Obr. 5: Strava - Analýza tréningu

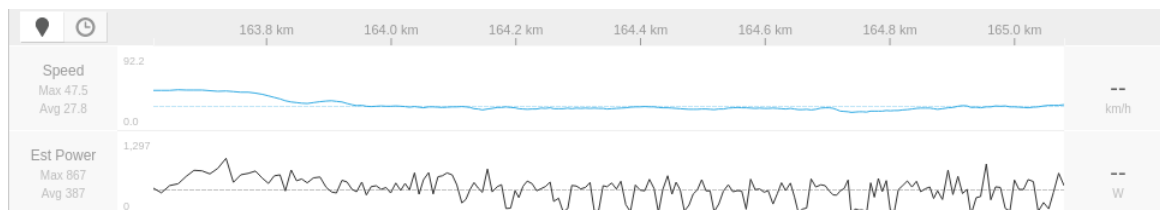
Prejdime k analýze výkonu na portále Strava, aby sme ju mohli porovnať vzhľadom na naše ciele. Ako vzorku dát budeme zobrazovať úsek na trase Tatranská Štrba - Štrbské pleso v dĺžke 1500m. Absolvovali sme tri rôzne tréningy, pri prvom sme zmerali aj výkon zariadením Power Tap G3 a dáta zaznamenávali do cyklopočítača Garmin Edge 500. Na obr. 6 môžeme vidieť reálnu hodnotu výkonu, športovec sa snažil o plynulý rovnomerný výkon bez výkyvov.



Obr. 6: Strava - Graf výkonu

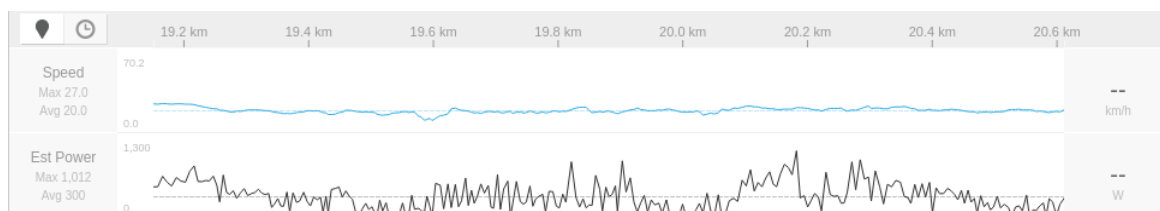


Druhý tréning bol zaznamenaný tiež cyklopočítačom Garmin Edge 500 ale bez merania výkonu. Na obr. 7 môžeme vidieť výkon odhadnutý algoritmom Strava z rýchlosti a nadmorskej výšky. Môžeme pozorovať veľké výkyvy odhadnutého výkonu v rozmedzí od 0W do 867W, pričom dosahovaná rýchlosť je plynulá a bez výkyvov.



Obr. 7: Strava - Graf odhadnutého výkonu podľa GPS

Posledný záznam je meraný mobilnou aplikáciou Strava, viď obr. 8. V tréningu sme výkon opäť nemerali a grafe môžeme vidieť odhadnuté hodnoty. Obrovské výkyvy prisudzujeme odchýlkam v pozícii a aj nadmorskej výške. Použitý mobilný telefón Samsung Galaxy S4 mini nedisponuje barometrickým výškomerom, hodnota nadmorskej výšky je získaná z pozície. Ako je známe, GPS čip v mobilných telefónoch nedosahuje takú vysokú presnosť ako špeciálne športové zariadenia a pozícia je často korigovaná aj mobilnými sieťami.

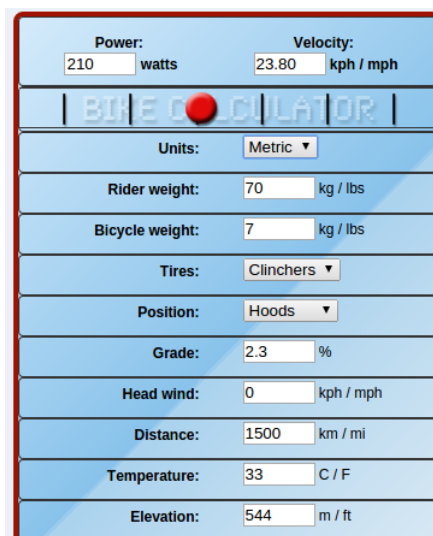


Obr. 8: Strava - Graf odhadnutého výkonu podľa Assisted GPS

Z prezentovaných testov môžeme vyvodiť záver, že odhad výkonu portálom Strava nie je presný. Chybné sú najmä hodnoty, ktoré skáču z nuly do maximálnych hodnôt, a to aj napriek tomu, že športovec sa pohyboval takmer konštantnou rýchlosťou a snažil sa dodržať rovnakú frekvenciu šliapania. Hoci nepoznáme presný algoritmus výpočtu v Strava, myslíme si, že príčinou nepresnosti je zvolenie priveľmi malých úsekov, na ktorých sú vypočítavané čiastkové výkony, resp. sú vypočítavané medzi jednotlivými bodmi uloženými do zariadenia. Na malom úseku môže byť odchýlka v nadmorskej výške, nakoľko barometrický výškomer ju určuje podľa tlaku. Môže to byť samozrejme aj nepresnosťou GPS alebo malou frekvenciou ukladania jednotlivých bodov tréningu, pričom nie sú zachytené všetky zmeny terénu.

### 1.4.2 Bike Calculator

Druhý systém relevantný nášmu výskumu nájdeme na webovej stránke <http://www.bikecalculator.com>. Bike Calculator je údajne najpopulárnejšia kalkulačka výkonu cyklistu fungujúca od roku 1997 [9]. Už na prvý pohľad je jasné, že sa jedná iba o kalkulačku a žiaden vstup zo športových hodín alebo merača nie je možný. Stránka disponuje krátkym vysvetlením fyzikálneho problému výpočtu výkonu a formulárom, do ktorého je možné zadať hodnoty pre výpočet a výsledok je vyhodnotený okamžite.



Obr. 9: Bike Calculator - Kalkulačka výkonu cyklistu

Otestovali sme ho pre viacero úsekov, ktoré sme zmerali na tréningu meračom výkonu. V tabuľke 4 uvádzame porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt.

Úsek	dĺžka [m]	priemer. stúpanie [%]	priemer. rýchlosť [km/h]	reálny výkon [W]	Bike Calculator [W]	Rozdiel	Rozdiel [%]
1.	1000	7.4	13.5	269	247	-22	-8.18%
2.	1000	8.5	13.0	285	269	-16	-5.61%
3.	1000	10.2	11.9	285	289	4	1.40%
4.	1500	4.9	26.1	267	261	-6	-2.25%
5.	1500	6.6	15.6	272	263	-9	-3.31%
6.	1500	9.2	11.7	273	258	-15	-5.49%
7.	2700	3.0	20.4	201	197	-4	-1.99%

Úsek	dĺžka [m]	priemer. stúpanie [%]	priemer. rýchlosť [km/h]	reálny výkon [W]	Bike Calculator [W]	Rozdiel	Rozdiel [%]
8.	2700	4.8	24.1	357	346	-11	-3.08%
9.	2700	5.2	17.5	257	245	-12	-4.67%
10.	1500	0.7	30.5	180	214	34	18.89%
11.	1500	1.2	26.5	211	177	-34	-16.11%
12.	1500	2.3	23.8	187	210	23	12.30%

Tabuľka 1: Bike Calculator - porovnanie výpočtu

Z tabuľky si môžeme všimnúť, že celková dĺžka segmentu neovplyvňuje rozdiel medzi reálnou a vypočítavanou hodnotou. Zámerne však neuvádzame úseky dlhé iba niekoľko desiatok metrov, aby sme mohli poukázať na fakt, že práve stúpajúci sklon (priem. stúpanie) robí výpočet presnejším. Minimalizuje sa totiž aerodynamický odpor spôsobený vetrom, ktorého smer aj intenzitu je veľmi ťažké odhadnúť a stúpa podiel sily potrebnej na prekonanie zemskej tiaže.

Ako môžeme vidieť vo formulári na obr. 9, typ pneumatík a pozíciu športovca na bicykli vyberáme z predvolených hodnôt. Pre typ pneumatík sú to tri hodnoty, a to plášte, galusky alebo MTB. Pozíciu môžeme zvoliť podľa bicykla - vzpriamená, mierne vzpriamená, zohnutá, aerodynamická. Podľa vybraného vstupu Bike Calculator použije predvolený koeficient valivého odporu, resp. aerodynamického odporu.

Koeficient aerodynamického odporu je však závislý aj od oblečenia cyklistu, od bicykla, od kolies. Koeficient valivého odporu je rozdielny pre jednotlivé modely plášťov, hodnotu ich nahustenia. Môžeme povedať, že je rozdielny pre každú jednu dvojicu športovec-bicykel. Dôkladnejšie vysvetlenie tejto problematiky uvádzame v kapitole 2.

## 2 Pôsobenie síl

Jednotlivé zložky, ktoré pôsobia na cyklistu počas jazdy sa menia v závislosti od zmeny terénu a poveternostných podmienok.

- Gravitačná sila
- Aerodynamický odpor
- Valivý odpor

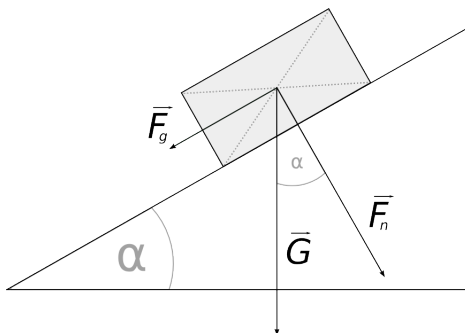
Kým aerodynamický odpor je najviac počítavaný pri jazde po rovine, jeho podiel klesá spolu s narastajúcim sklonom vozovky a začína prevládať zložka gravitačnej sily. Valivý odpor je spôsobený kontaktom pneumatiky s povrchom vozovky, konkrétne ich deformáciou a mikrotrením.

Princíp superkompenzácie hovorí, že výsledná sila pôsobiaca na teleso je rovná vektorovému súčtu všetkých síl pôsobiacich na dané teleso [5].

$$\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i \quad (3)$$

### 2.1 Gravitačná sila

Pri pohybe cyklistu a bicykla v horizontálnej rovine je reakciou na gravitačnú silu normálová sila, ktorá zohráva úlohu pri valivom odpore (viď kapitola 2.3). Akonáhle však športovec prekonáva nadmorskú výšku, teda vo fyzikálnom pomenovaní sa pohybuje po naklonenej rovine, musí prekonať aj zložku gravitačnej sily  $F_g$ , ktorá pôsobí proti smeru jeho pohybu. Zložky gravitačnej sily sú zobrazené na obr. 10.



Obr. 10: Teleso na naklonenej rovine

Silu pôsobiacu proti pohybu cyklistu v smere z kopca vyjadríme vzťahom  $F_g = m g \sin \alpha$ . Kde  $m$  je hmotnosť sústavy, v našom prípade hmotnosť športovca a bicykla a  $g$  je gravitačné zrýchlenie. Sínus pre uhol sklonu môžeme vypočítať zo zmeny

nadmorskej výšky  $\Delta altitude$  a prejdenej vzdialenosti  $d$ :

$$F_g = m g \frac{\Delta altitude}{d} \quad (4)$$

Veľkosť normálovej sily, je vyjadrená vzťahom 5

$$F_n = m g \cos \left( \arcsin \left( \frac{\Delta altitude}{d} \right) \right) \quad (5)$$

## 2.2 Aerodynamický odpor

Aerodynamický odpor je v poslednom období v cyklistike často preberanou tématikou. Upravujú sa tvary trubiek bicyklov, menia sa profily kolies, vylepšujú sa materiály a strih oblečenia, všetko s cieľom dosahovania vyšších rýchlostí bez nutnosti zvyšovať výkon. Zo vzťahu 6 [17]

$$F_d = \frac{1}{2} \rho v^2 C_d A \quad (6)$$

môžeme vidieť, že sila potrebná na prekonanie aerodynamického odporu rastie s druhou mocninou rýchlosti.  $\rho$  je hustota prostredia. Referenčná plocha  $A$  je v tomto prípade premietnutá čelná plocha športovca a bicykla. Jedinou možnosťou ako znížiť odporovú silu je teda znížiť koeficient odporu  $C_d$ .

Koeficient odporu pre pohybujúce sa teleso  $C_d$  je závislý od povrchu a aerodynamického tvaru telesa, ďalej od hustoty a viskozity látky prostredia, v ktorom sa teleso pohybuje. Tiež závisí od rýchlosti a smeru pohybu telesa vzhľadom na smer pohybu látky prostredia (napr. smer vetra). Pre vysoké rýchlosti môžeme  $C_d$  vyjadriť ako funkciu Reynoldsového čísla  $Re$  a čísla  $Mach$ . Pre rýchlosti, ktoré dosahujú automobily alebo bicykle môžeme považovať  $C_d$  za konštantný.

Vo vzťahu 6 vystupuje hustota  $\rho$ , ktorá v našom prípade predstavuje hustotu vzduchu. Tá je pri  $15^\circ\text{C}$  na hladine mora rovná hodnote  $1,2754 \text{ kg m}^{-3}$  [14]. Hustota vzduchu sa však mení so stúpajúcou teplotou a tiež stúpajúcou nadmorskou výškou, keďže sa mení tlak vzduchu.

Atmosferický tlak  $p$  v nadmorskej výške  $h$  určíme podľa vzťahu 7,

$$p = p_0 \left( 1 - \frac{L h}{T_0} \right)^{\frac{gM}{RL}} \quad (7)$$

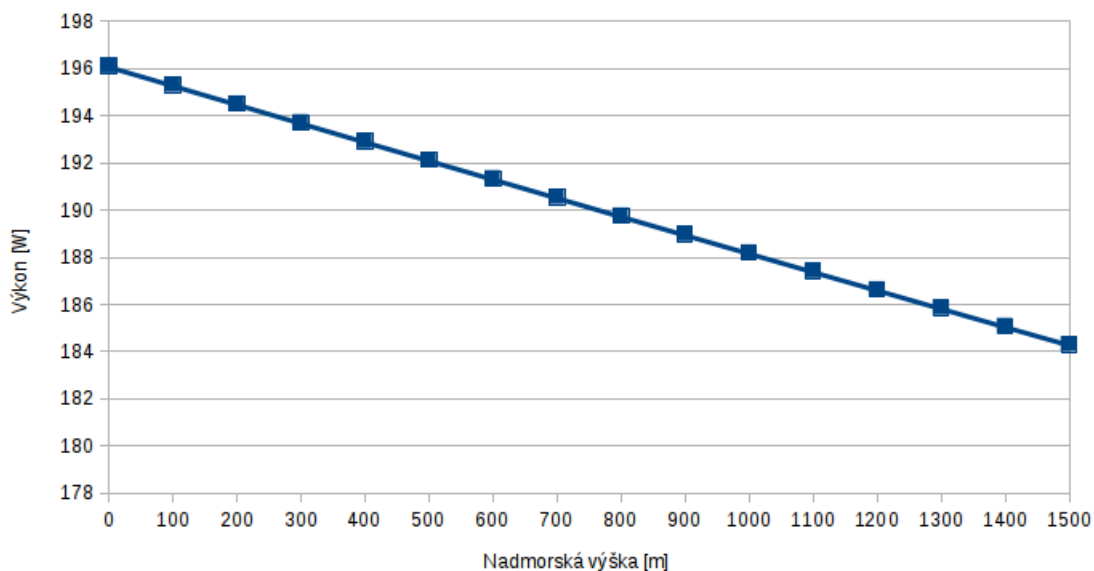
v ktorom figurujú nasledovné konštanty [14]:

- $p_0$  - atmosferický tlak na hladine mora -  $101,325 \text{ kPa}$
- $T_0$  - štandardná teplota vzduchu -  $288,15 \text{ K} = 15^\circ\text{C}$
- $g$  - gravitačné zrýchlenie -  $9,80665 \text{ m s}^{-2}$
- $L$  - teplotný gradient -  $0,0065 \text{ K m}^{-1}$
- $R$  - univerzálna plynová konštanta -  $8,31447 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- $M$  - molová hmotnosť vzduchu -  $0.028964 \text{ kg mol}^{-1}$

Pri známom tlaku vzduchu pre danú nadmorskú výšku, môžeme určiť hustotu vzduchu pri rôznej teplote  $T$  vzťahom 8

$$\rho = \frac{p M}{R T} \quad (8)$$

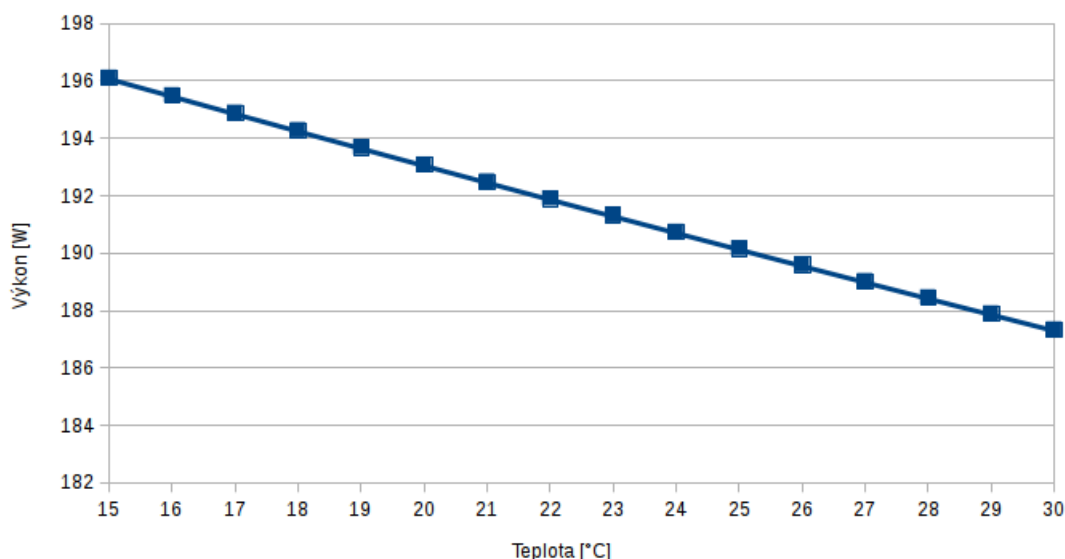
Zmena teploty a tlaku vzduchu ovplyvní aj výkon potrebný pre udržanie rovnakej rýchlosti, a to nezanedbateľným rozdielom. Ako príklad vezmime do úvahy cyklistu pohybujúceho sa rýchlosťou  $30 \text{ km h}^{-1}$  v horizontálnej rovine v nadmorskej výške od 0 m n.m. až do 1500 m n.m. Pri konštantnej teplote, referenčnej ploche  $A$ , konštantnom valivom odpore  $C_{rr}$  a koeficiente aerodynamického odporu  $C_d$ , sa môže rozdiel v nadmorskej výške prejavíť rozdielom 12 W vo výkone, vid' obr. 11



Obr. 11: Závislosť potrebného výkonu od nadmorskej výšky

Stúpajúca teplota vzduchu sa prejaví znížením hustoty vzduchu, a teda aj výkon potrebný na udržanie rovnakej rýchlosti klesá. Pri rovnakých podmienkach ako

v predchádzajúcom príklade a pri zmene teploty z  $15^{\circ}\text{C}$  na  $30^{\circ}\text{C}$ , stačí cyklistovi na udržanie  $30 \text{ km h}^{-1}$  približne o 9 W nižší výkon, viď obr. 12.



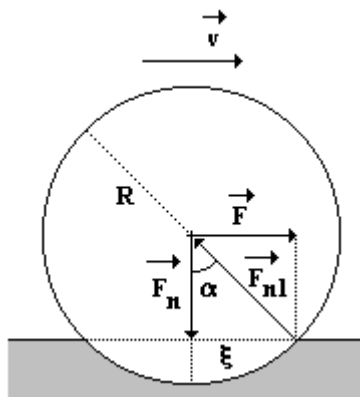
Obr. 12: Závislosť potrebného výkonu od teploty vzduchu

Ďalší faktor, ktorý súvisí s aerodynamickým odporom je vietor. Smer a intenzita vetra počas tréningu by bolo veľmi náročné určiť. Hoci by sme mohli využiť API predpovede počasia, získané údaje nevieme garantovať pre rôzne segmenty trasy, keďže vietor sa môže lámať medzi budovami alebo stromami. Ďalším faktorom je aj veľkosť skupiny, v ktorej cyklista tréning absolvuje. Je samozrejmé, že v závetrí väčšej skupiny športovec šetrí silu. To, ako presne sa tieto dva faktory odzrkadľujú na výkone, už povedať nevieme a jediná cesta dosiahnutia presných výsledkov by bola testovanie vo veternom tuneli. Takéto testovanie by však bolo nielen časovo ale aj finančne náročné, a preto sme v rámci rozsahu našej práce uprednostnili čo možno najpresnejšiu aproximáciu v známych podmienkach.

V našej aproximácii budeme predpokladať, že smer a intenzita vetra, má zanedbateľný vplyv na výkon, resp. pri dlhších a kľukatých úsekoch je v niektorých častiach jeho intenzita pričítaná a v iných zase odčítaná z celkového aerodynamického odporu. Výkon sa budeme snažiť aproximovať v úsekoch kedy podiel aerodynamického odporu na celkovej pôsobiacej sile je čo najnižší. Dobré výsledky by mohli byť dosahované pri aproximácii v stúpaniach nad 3% priemerného sklonu.

## 2.3 Valivý odpor

Valivým odporom môžeme nazvať silu, ktorá vzniká, keď sa teleso kruhového prierezu (v našom prípade koleso bicykla) valí po pevnej podložke. Fyzikálnou podstatou tohoto javu je hysterézia, ktorá nastáva pri deformácii podložky resp. kolesa pôsobením normálovej tlakovej sily. V reálnych podmienkach samozrejme podložka ani galuska kolesa nie sú dokonale pružné. Preto reakcia na normálovú tlakovú silu je posunutá o vzdialenosť  $\xi$  [5].



Obr. 13: Valivý odpor [5]

Silu  $F$ , ktorou predmet udržíme v rovnomernom pohybe vyjadríme vzťahom:

$$F = F_n \tan \alpha \quad (9)$$

Pre malé uhly je  $\tan \alpha = \sin \alpha$  a pre koleso s polomerom  $R$  je  $\sin \alpha = \frac{\xi}{R}$ . Dosadením do vzťahu 9 dostávame:

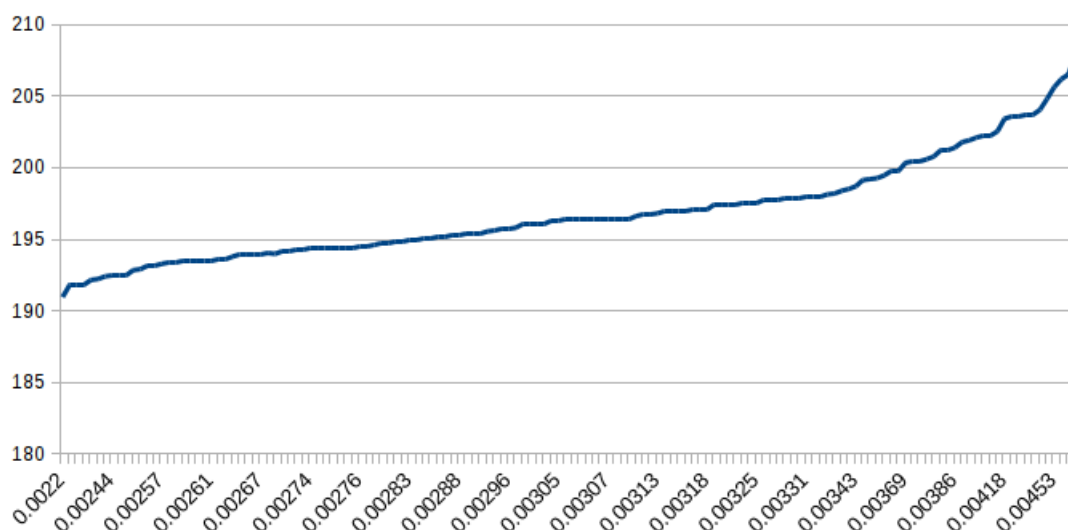
$$F = \frac{\xi}{R} F_n \quad (10)$$

Normálovú silu na naklonenej rovine vypočítame podľa vzťahu 5.

V praxi by ale bolo veľmi náročné zmerať vzdialenosť  $\xi$ , preto sa podiel vo vzťahu 10 často nahrádza koeficientom valivého odporu  $C_{rr}$ . Koeficient môžeme nájsť pre rôzne typy pneumatík v tabuľkách. Definovaním štandardov pri testovaní pneumatík ako je napríklad štandard SAE J2452 [15] sa vymedzujú podmienky testu. Pre potreby tejto práce je dôležité považovať podložku, povrch vozovky, ako dokonale pevnú a koeficienty valivého odporu galusiek alebo plášťov cestného bicykla v rozsahu od 0.002 do 0.006 [12]. Na týchto dátach môžeme prezentovať, aký vplyv má koeficient odporu  $C_{rr}$  na výkon potrebný pre udržanie konštantnej rýchlosti  $30 \text{ km h}^{-1}$ , vid' obr. 14.



V príklade sa športovec pohybuje v horizontálnej rovine a všetky ďalšie premenné sú konštantné.



Obr. 14: Závislosť potrebného výkonu od koeficientu odporu pneumatiky

Kým koeficient je podľa tabuľky nezávislý od tlaku, pretože test predpokladá konštatné, ideálne nahustenie pneumatiky, v praxi tomu tak byť nemusí. Venujme teda niekoľko ďalších riadkov faktorom, ktoré ovplyvňujú valivý odpor.

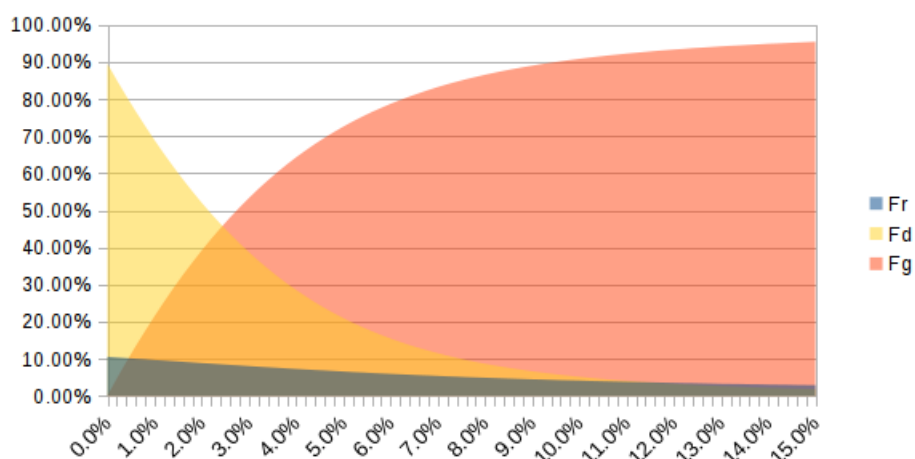
**Tlak v pneumatike.** Čím vyššie je nahustenie pneumatiky, tým je nižšia jej deformácia a teda aj valivý odpor.

**Šírka pneumatiky.** Pôsobením normálovej tlakovej sily je každá pneumatika mierne deformovaná, avšak širšia sa deformuje viac do svojej šírky (menšie  $\xi$ ), kým užšia je deformovaná pozdĺžne, pneumatika stráca viac zo svojho kruhového tvaru a rastie  $\xi$ . Širšia pneumatika má pri rovnakom tlaku oproti užšej pneumatike nižší valivý odpor ale užšiu je možné hustiť na vyšší tlak pri dosiahnutí rovnakého komfortu jazdy. Užšie pneumatiky majú navyše nižší aerodynamický odpor, ktorému sa budeme venovať neskôr. Ďalšími faktormi, ktoré ovplyvňujú valivý odpor sú aj štruktúra a materiál pneumatiky, priemer kolesa, hmotnosť záťaže, mikrotrenie medzi povrchom a pneumatikou.

Nakoľko je na trhu nespočetné množstvo modelov galusiek a plášťov pre bicykle, nie je možné k nim uchovávať a neustále aktualizovať koeficient valivého odporu  $C_{rr}$ . Určitú úlohu hrá aj tlak v pneumatike, ktorý každý cyklista volí podľa svojich osobných preferencií, požadovaných jazdných vlastností a komfortu. Žiadať tlak v pneumatike

ako vstup do systému od používateľa považujeme za veľmi nekomfortné a preto vyvodzujeme záver, že práve hodnota  $C_{rr}$  bude predmetom odhadu v našom algoritme.

Na záver tejto kapitoly chceme prezentovať podiel jednotlivých silových zložiek na celkovej sile pôsobiacej na cyklistu v závislosti od stúpajúceho sklonu vozovky. Na obr. 15 sú dáta pri konštantných podmienkach, koeficientoch a konštantnom výkone 350 W. S postupnou zmenou stúpania z 0 až do 15% môžeme vidieť, že podiel gravitačnej sily a aerodynamického odporu sa vyrovnáva približne pri 2.5% stúpania. Valivý odpor má po celú dobu minimálny podiel na celkovej sile, avšak nemôžeme ho zanedbať.



Obr. 15: Podiel silových zložiek v závislosti od stúpajúceho sklonu vozovky

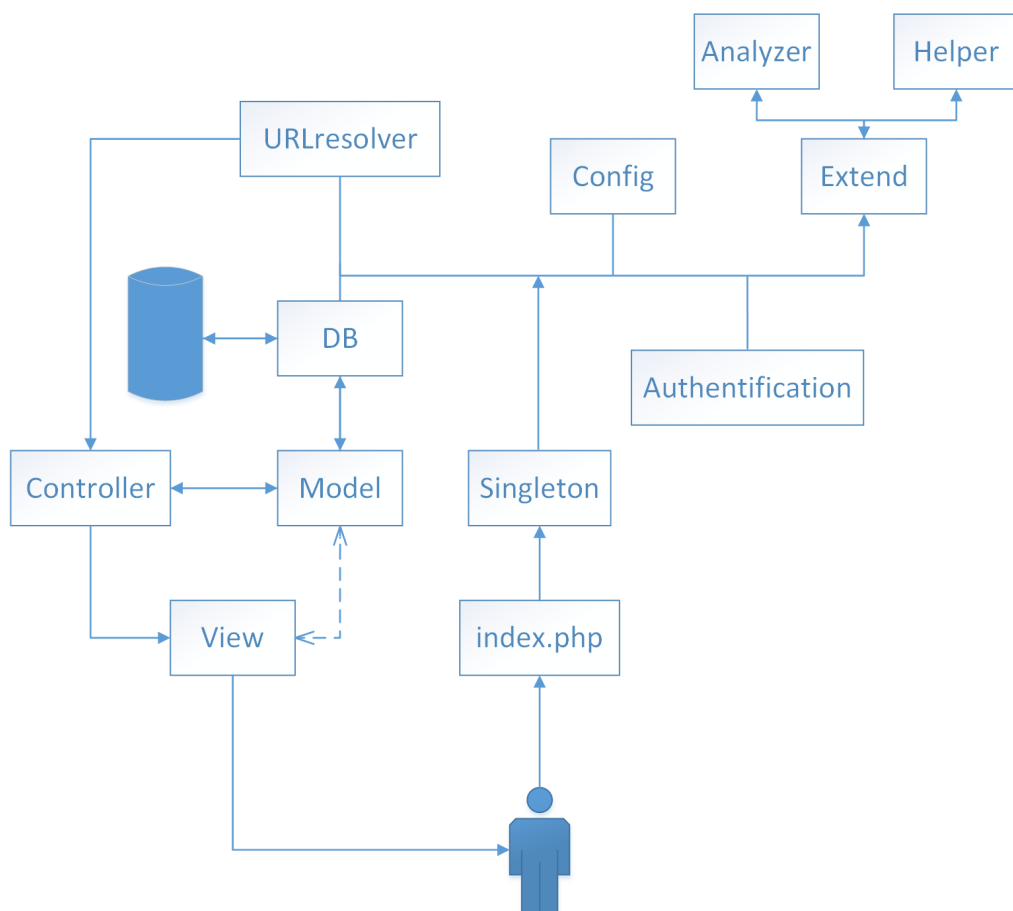
## 3 Opis riešenia

Doposiaľ prezentovanú štúdiu nenecháme iba v teoretickej rovine, ale implementujeme časť webovej aplikácie, ktorá používateľovi umožní nahranie súboru s tréningovými dátami na server, odhadne podávaný výkon a zobrazí dáta vo forme grafov a mapy. Výsledná funkčná časť bude nadväzovať na aplikáciu z našej bakalárskej práce *Webový organizér*. Spoločne budú tvoriť funkčný celok s možnosťami komplexnej analýzy tréningu.

### 3.1 Použité technológie a riešenia

Bakalárska práca *Webový organizér*, predstavovala webovú aplikáciu s možnosťou manuálneho ukladania absolvovaného aj plánovaného tréningu s možnosťami sumarizácie tréningového objemu pre vybrané obdobie. Ponúkala aj jednoduché sociálne funkcie, ako napríklad vyhľadávanie priateľov a nastavenie súkromia. Serverová strana aplikácie *Webový organizér* bola naprogramovaná v jazyku PHP s použitím frameworku *Yii*. Ako databázový server bol použitý MySQL. Klientská časť stála na jazyku HTML, JavaScript a samozrejme CSS.

V nadstavbe, ktorá bude vytvorená v rámci diplomovej práce, sa o serverovú stranu bude starať rovnako programový kód v jazyku PHP, avšak pre naše potreby sme vytvorili vlastný minimalistický framework. Hlavným dôvodom bola snaha dosiahnuť vyššiu rýchlosť spracovania skriptov, a to minimalizovaním volaní nepotrebných funkcií frameworku a jednoduchšia rozšíriteľnosť. Vytvorený framework implementuje návrhový vzor *Model-View-Controller* a *Singleton*. Presný popis štruktúry ani fungovanie frameworku uvádzať nebudeme, nakoľko nie je predmetom tejto práce, ani by ho nebolo možné vtesnať do rozsahu vyhradeného pre túto kapitolu. Zjednošenú architektúru vytvorenej aplikácie uvádzame na obr. 16.



Obr. 16: Architektúra webovej aplikácie

Nová časť aplikácie úplne preberie na starosti ukladanie a zobrazovanie tréningov. Oproti bakalárskej práci bude pozmenená možnosť uloženia manuálneho záznamu tréningu a zobrazenie tréningov. Navyše bude pridané ukladanie tréningu s nahraním dátového súboru a jeho analýza, tj. zobrazenie dát v grafoch a aproximácia výkonu.

Na ukladanie dát využijeme existujúce schémy z bakalárskej práce v MySQL databáze, ktoré len mierne modifikujeme, pridáme niektoré tabuľky a niekoľko nových stĺpcov spolu s cudzími kľúčmi.

Údaje o tréningu, ktoré aplikácia prijme vo forme FIT súboru, konvertujeme použitím *FIT SDK conversion tool* do CSV a uložíme do databázy. Nakoľko hodnoty sú športovými hodinkami počas tréningu ukladané približne každú sekundu až každých päť sekúnd, v priemere pracujeme so súbormi, ktoré obsahujú od 1 000 do 30 000 jednotlivých bodov a pre každý informácie o polohe, čase, rýchlosti, nadmorskej výške, teplote, tepovej frekvencii, frekvencii šliapania, výkone atď. Spočiatku sme sa obávali veľkosti týchto dát a počtu riadkov v príslušnej databázovej tabuľke. Pre prvotné účely aplikácie, by však MySQL databáza mala byť postačujúca. V produkčnom móde môže

byť tabuľka pre tréningové dáta nahradená dátovým úložiskom *Big Table* alebo podobne.

Výstup serverovej časti aplikácie bude vo forme HTML5, ktorý na strane klienta do finálneho zobrazenia dotvorí programový kód v jazyku JavaScript. Jedná sa najmä o vykreslenie grafov, čo umožňuje knižnica *D3.js*[3].

Jednoduchý, prezentateľný dizajn vytvoríme v CSS s použitím frameworku *Bootstrap*[7], vďaka ktorému aplikácia získa responzívny dizajn.

## 3.2 Prípady použitia

Nižšie uvádzame popisy jednotlivých prípadov použitia, ktoré pokrýva naša aplikácia. Diagram s prípadmi použitia je zobrazený na obr. 17.

### UC\_01 Prihlásenie do systému

- Popis: prihlásenie používateľa do systému prostredníctvom jeho emailu a hesla
- Vstupné podmienky pre používateľa: správne heslo a email použitý pri registrácii
- Chybový tok: nesprávne vstupné údaje, používateľ môže akciu opakovať
- Zmena stavu systému: prihlásenie a presmerovanie na požadovanú alebo hlavnú stránku

### UC\_02 Manuálne uloženie tréningových údajov

- Popis: športovec uloží údaje o športovej aktivite
- Vstupné podmienky pre používateľa: UC\_01, zadanie dátumu v ktorom bol tréning vykonaný, názvu, trvania
- Chybový tok: chýbajúce údaje je nutné opraviť
- Zmena stavu systému: zobrazenie tréningu UC\_04

### UC\_03 Uloženie tréningových údajov zo športového merača

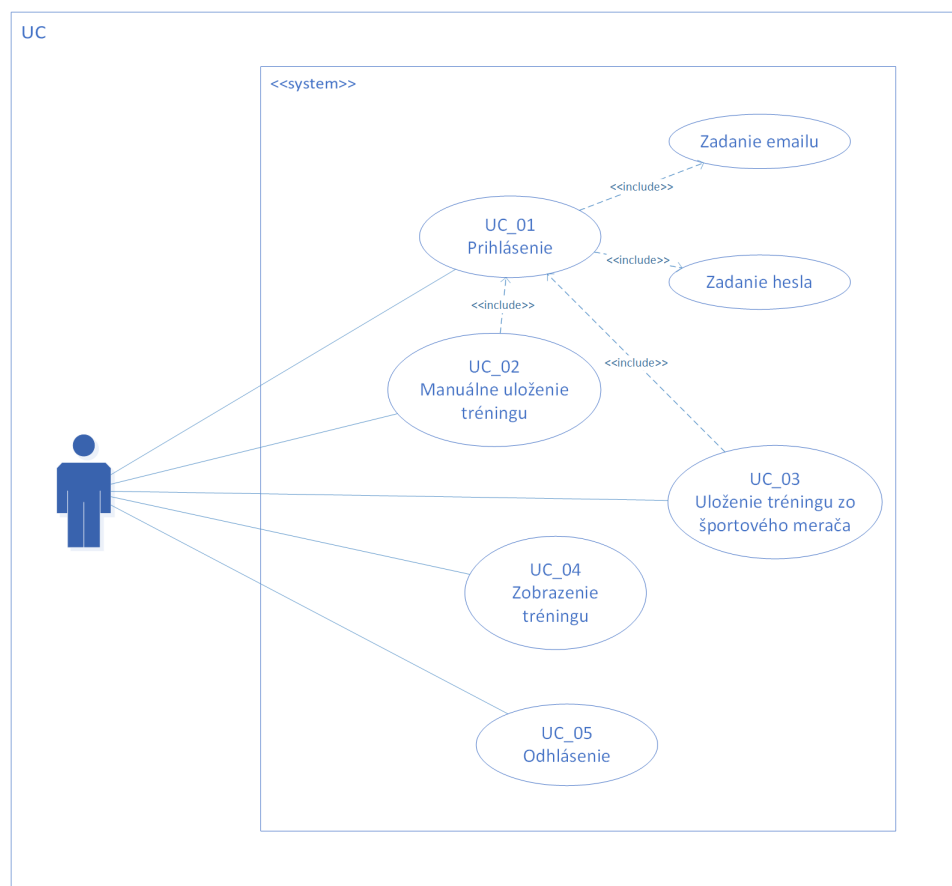
- Popis: športovec uloží údaje o tréningu nahraním FIT súboru
- Vstupné podmienky pre používateľa: UC\_01, nahranie minimálne jedného FIT súboru
- Chybový tok: môže nastať, ak sa niektorý súbor nepodarí nahráť, nepodarí sa ho konvertovať z FIT do CSV, nepodarí sa načítať údaje, chybný súbor je možné nahráť znovu.
- Zmena stavu systému: zobrazenie tréningu UC\_04

**UC\_04 Zobrazenie tréningu**

- Popis: detailný náhľad uloženého tréningu, ak záznam o tréningu obsahuje aj údaje zo športového merača, zobrazia sa informácie vo forme grafu a mapy
- Vstupné podmienky pre používateľa: požiadavka na detailné zobrazenie konkrétneho tréningu
- Chybový tok: nemôže nastať
- Zmena stavu systému: načítanie a zobrazenie aktivity

**UC\_05 Odhlásenie**

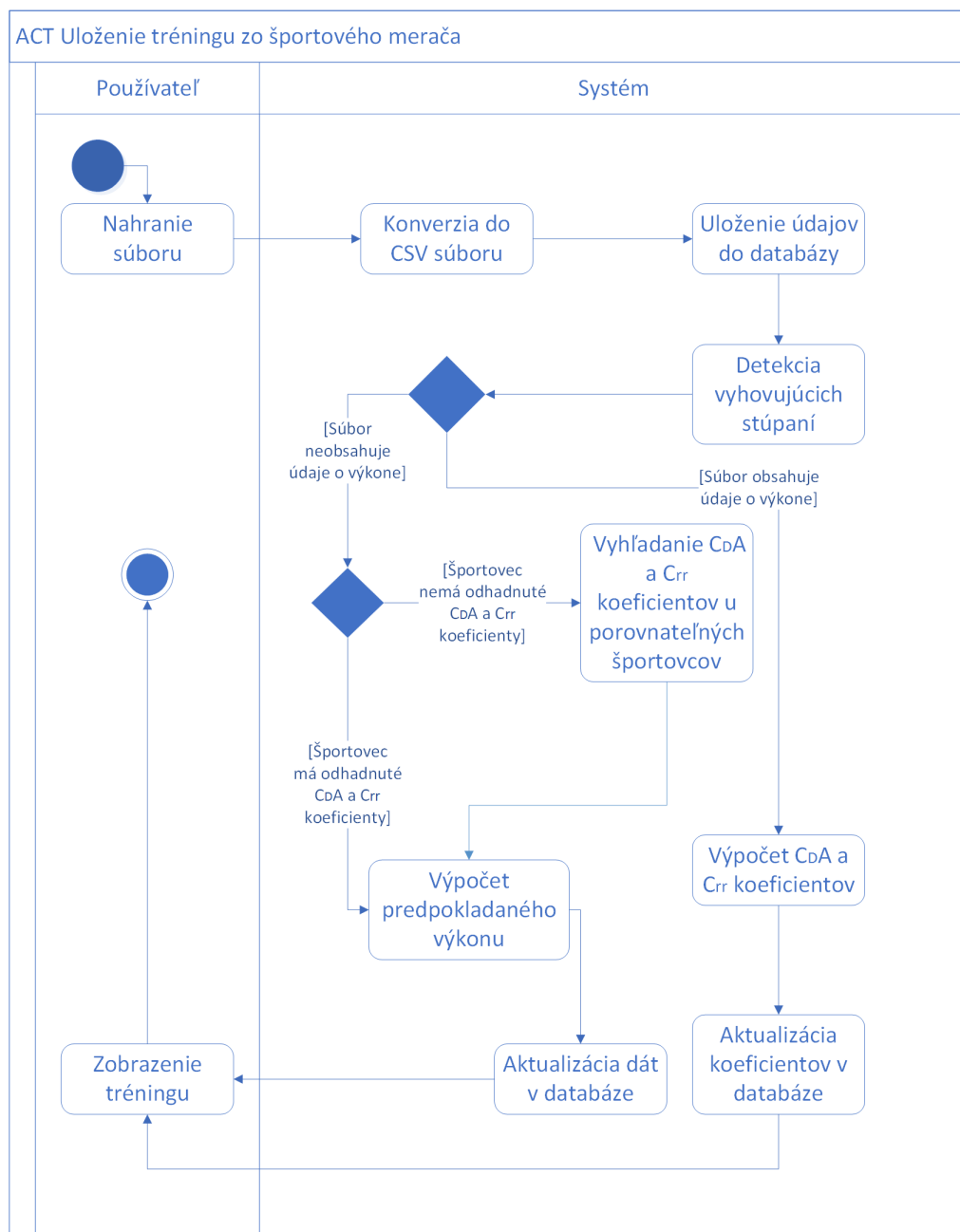
- Popis: Odhlásenie zo systému
- Vstupné podmienky pre používateľa: požiadavka na odhlásenie
- Chybový tok: nemôže nastať
- Zmena stavu systému: vymazanie session používateľa



Obr. 17: Diagram prípadov použitia

### 3.3 Diagram aktivít

V tejto časti uvádzame diagram pre priebeh najdôležitejšej aktivity v aplikácii. Nasledujúci diagram aktivít konkrétne popisuje akcie, ktoré sú vykonané v prípade použitia *UC\_03*.



Obr. 18: Diagram aktivít

Ako sme spomenuli v predchádzajúcej časti, po nahraní FIT súboru používateľom na server nasleduje jeho konverzia a uloženie údajov z výstupu konverzie do databázy. V ďalšom kroku sa detekujú stúpania a to bez ohľadu na to, či športovec

absolvoval tréning s meračom výkonu alebo bez. V prípade, že na tréningu meral výkon, údaje zo stúpaní sa použijú ako vstup pre výpočet neznámych koeficientov  $C_dA$  (aerodynamický odpor) a  $C_{rr}$  (valivý odpor). Tie sa aktualizujú stále ak športovec absolvoval tréning s meračom výkonu, aby boli používané vždy aktuálne hodnoty.

Ak cyklista absolvoval tréning bez merača výkonu, systém vypočíta približný výkon v stúpaniach nad 3% priemerného skolu a s minimálnou dĺžkou 500 metrov. K výpočtu sa použijú koeficienty  $C_dA$  a  $C_{rr}$ , ktoré boli vypočítané pri predchádzajúcich tréningoch s meračom výkonu. Ak koeficienty chýbajú preberú sa od porovnateľných športovcov.

### 3.4 Implementácia

V tejto časti podrobne preberieme implementáciu algoritmu pre aproximáciu výkonu cyklistu. V predchádzajúcich častiach sme sa zaoberali úvahami o presnosti rôznych odhadov, vysvetlili sme výpočet a ukázali podiel jednotlivých zložiek na celkovej sile potrebnej pri pohybe cyklistu. Táto štúdia nás viedla k záveru, že dostatočnú presnosť môžeme dosiahnuť pri aproximácii výkonu v úsekoch, v ktorých je priemerný sklon aspoň 3%, celková dĺžka úseku aspoň 500 metrov a násobok sklonu v číselnom vyjadrení a dĺžky úseku je väčší ako 40. Môže teda ísť o kratšie, prudšie úseky alebo dlhšie s miernejším stúpaním. Hraničné príklady úsekov sú napr.:

- dĺžka 500 m, priemerný sklon 0.08
- dĺžka 1 334 m, priemerný sklon 0.03

Empirickým overením sme dospeli k záveru, že už pri úsekoch tejto dĺžky a sklonu, rýchlosť získaná zotrvačnosťou prispieva k pohybu zanedbateľne v premietnutí na celý sledovaný úsek. Rýchlosť, ktorou sa športovec v stúpaní pohybuje, je teda získaná výhradne podávaním jeho výkonu.

#### 3.4.1 Nahrание a konverzia súboru

Skôr, než môžeme samotné dáta analyzovať, potrebujeme umožniť používateľovi aby ich mohol na server nahráť. V našom frameworku máme implementované mapovanie cesty v URL adrese na príslušný ovládač a jeho metódu. To znamená, že cesta `/upload/files/` spúšťa metódu `files()` v triede `UploadController`. Pokiaľ pri tejto



požiadavke nie sú metódou *POST* odoslané žiadne súbory, iba využijeme metódu frameworku *render()* a zobrazíme náhľad (*view*) s formulárom pre nahranie súboru.

```
if( !empty($_FILES) ){
    /* Spracovanie súborov prebehne tu */
}
else{
    /* V opačnom prípade sa zobrazí formulár */
    $this->render('files', array() );
}
```

Aplikácia umožňuje nahrať viac súborov súčasne. Jediné obmedzenie je na strane servera, v konfigurácii PHP treba obmedziť parametre *upload\_max\_filesize* a *post\_max\_size* na požadovanú veľkosť. Pred presunutím súboru na server sa skontroluje, či sa jedná o súbor FIT a PHP funkciou *move\_uploaded\_file* je následne presunutý do zložky */uploads/activities\_raw/*, pod názvom s nasledujúcim tvarom: *IDpoužívateľa\_hashNázvu.fit*.

Ihneď po presunutí súboru na server vykonáme jeho konverziu. Nasledujúci úryvok kódu spustí Java program, ktorý konvertuje binárny FIT súbor do CSV.

```
exec(
    'java -jar ' . MCORE_APP_PATH . 'libraries/FitCSVTool.jar -b ' .
    "{$inputpath} {$outputpath}"
);
```

Ďalším krokom v metóde *files()* je spracovanie CSV súboru, k čomu je určená trieda *Csv\_activity\_parser*. Tá dedí od všeobecnej triedy *CSVparser*, ktorú sme naimplementovali ako súčasť knižníc vo frameworku a postará sa o otvorenie súboru a načítanie hlavičky. Keďže v CSV súbore je veľké množstvo riadkov, metóda, ktorá číta zo súboru musí byť čo najrýchlejšia. V tomto stave používateľ stále čaká na spracovanie jeho vstupných súborov. Nižšie uvedený kód uloží do poľa všetky riadky s príznakom *session* alebo *record*.

```
while(($row = fgetcsv($this->f, 0, $this->dml, $this->enc)) != NULL){
    if( $row[2] == 'record' && $row[0] == 'Data' ){
        $i = $field1_start;

        while( $i+2 <= count($row) ){
            $this->record[$data_index][$row[$i]] = $row[$i+1];
            $this->units[$row[$i]] = $row[$i+2];
            $i+=3;
        }
        $data_index++;
    }
    elseif( $row[2] == 'session' && $row[0] == 'Data'){
        $i = $field1_start;
        while( $i+2 <= count($row) ){
            $this->session[$row[$i]] = $row[$i+1];
            $i+=3;
        }
    }
}
```

Presunieme pozornosť späť do triedy *UploadController*. Na konci metódy *files()* je ešte potrebné uložiť údaje do databázy a umožniť používateľovi pridať názov a popis. Sumarizáciu tréningu uložíme do tabuľky *training\_entry* cez model *Workout-Model*

```
$w_model = new WorkoutModel();

$w_model->id_user = $user_id;
$w_model->start_time = $session_data->start_time + EPOCH_TIMESTAMP_OFFSET;

/* Kvôli stručnosti vynechané priradzovanie niektorých údajov */

$w_model->total_timer_time = $session_data->total_timer_time;
$w_model->total_elapsed_time = $session_data->total_elapsed_time;

if( $w_model->save(TRUE) ){
    $this->renderPartial(
        'update.form',
        array('model' => $w_model, 'activities' => $activities),
        'workout'
    );
}
```

Týmto je nahratie súborov ukončené a používateľovi sa zobrazí stránka, na ktorej môže zmeniť typ športu, pridať tréningu názov a popis.

### 3.4.2 Detekcia stúpaní

Aby mohla byť vykonaná samotná aproximácia výkonu, musí byť z priebehu tréningu detekované, kde sa začínajú a končia stúpania, ktoré vyhovujú stanoveným podmienkam (minimálne 3% sklon a 500 m dĺžka). V skutočnosti je priebeh tréningu síce spojitý, no hodnoty, s ktorými pracujeme sú diskkrétne. Najjednoduchšou možnosťou detekcie je teda iterácia cez všetky body a overovanie nadmorskej výšky. Aby sme zjednotili údaje, ktoré reprezentujú vybraný úsek v tréningu a udržali programový kód konzistentný, vytvorili sme jednoduchú triedu *SegmentModel*

```
class SegmentModel {

    /** @var int Začiatkový index segmentu v dátach */
    protected $index_start;

    /** @var int Koncový index segmentu v dátach */
    protected $index_end;

    /** @var float Dĺžka segmentu */
    protected $length;

    /** @var float Rozdiel v nadmorskej výške */
    protected $elevation;
```

```

/** Konštruktor segmentu */
public function __construct(
    $index_start, $index_end, $length, $elevation
) {

    $this->index_start = $index_start;
    $this->index_end    = $index_end;
    $this->length       = $length;
    $this->elevation    = $elevation;
}

/** Vypočíta sklon stúpania pre segment */
public function grade(){
    return $this->elevation / $this->length;
}

/* ... get metódy */
}

```

Detekciu úsekov ako aj aproximáciu výkonu, ku ktorej sa dostaneme neskôr, má na starosti trieda *Analyzer*. V prvom kroku metódy *detect\_climbs()* sú detekované všetky neklesajúce úseky, následne sú nevyhovujúce odstránené.

```

public function detect_climbs( WorkoutModel $workout ){
    /* ... Načítanie dát */

    for( $i = 0; $i < count($this->data); $i++ ){
        if( empty($this->data[$i]['distance']) ){ continue; }

        $start = [ /* index, distance, altitude */ ];
        while($this->data[$i]['altitude'] < $this->data[$i+1]['altitude'] ){
            $i++;
        }
        $end = [ /* index, distance, altitude */ ];

        $climbs[] = new SegmentModel(
            $start['index'], $end['index'],
            $end['distance'] - $start['distance'],
            $end['altitude'] - $start['altitude']
        );
    }

    /** Odstráni nevyhovujúce stúpania
    foreach ( $climbs as $k => $climb ){

        if( !($climb->get_length() >= 500
            && $climb->grade() >= 0.03
            && $climb->get_length() * $climb->grade() > 40) )
        {
            unset($climbs[$k]);
        }
    }
    }
}

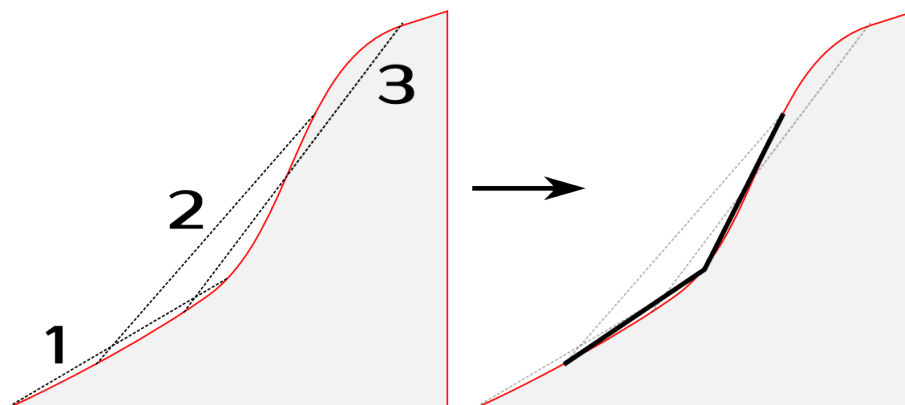
```

V tomto momente máme detekované stúpania, v ktorých chceme výkon aproximovať. Ideálna by bola aproximácia, ktorá by pre každý uložený bod v týchto stúpaniach určila konkrétnu hodnotu výkonu. Vyrátavali by sa teda priemerné výkony medzi

jednotlivými bodmi, ktoré boli uložené na tréningu v priebehu stúpaní. Od tejto úvahy sme však upustili, nakoľko si myslíme, že by nepresnosť GPS a barometrického výškomera pri výpočte znásobovala odchýlku od reálneho výkonu. Preto v ďalšom kroku delíme stúpania na menšie časti, tzv. segmenty, na ktorých je konštantné stúpanie a pri snahe športovca o čo najplynulejšiu jazdu predpokladáme aj rovnomernú rýchlosť.

Hľadanie úsekov s konštantným stúpaním nevykonávame jednoduchým prechádzaním cez všetky dáta a vzájomným porovnávaním aktuálneho a nasledujúceho bodu. Lepšie rozdelenie stúpania dostávame hľadaním, pri ktorom vytvárame úsečku z bodu  $N$  a  $N+x$ , kde  $x$  je vopred definovaný krok. Túto úsečku následne porovnáme s úsečkou vytvorenou medzi  $N+1$  a  $N+x+1$ . Náročnosť algoritmu je rovnaká ako v prípade, kedy by sme porovnávali body medzi sebou jednotlivo, cyklus prejde cez všetky body. Vytváraním dlhších úsečiek však minimalizujeme odchýlky výškomera. Kým prvou spomenutou metódou by sme dostávali úseky tvorené 2 až 3 bodmi, použitou metódou je to v priemere 5 až 10 bodov, tj. v priemere 40 až 150 m, v závislosti od rýchlosti pohybu a frekvencie ukladania dát.

Princíp detekcie segmentov pre lepšiu predstavivosť zobrazujeme na obr. 19. Každá úsečka je vytvorená medzi bodmi  $N$  a  $N+x$ , kedy  $N$  je navyšované pri každej iterácii. Sklon úsečky 1 je porovnaný so sklonom úsečky 2. Ak je rozdiel sklonu väčší ako 0.005 predpokladáme, že ležia nad samostatnými segmentami. Pri tomto porovnávaní však môžeme natrafiť na prípad, kedy by nasledujúci segment mal začínať pod úsečkou, presne ako na obr. 19, pod úsečkou 2. Preto po nájdení úsečiek s rozdielnymi sklonmi ešte rozdelíme aj samotnú úsečku a celý proces porovnania sklonov zopakujeme, kým nie je určený koniec jedného segmentu a začiatok nového.



Obr. 19: Detekcia segmentu

```
private function detect_segments( SegmentModel $climb ){
    $step = 10;
```

```

for( $i = $i+1; $i <= $climb->get_index_end() - $step; $i++ ){
    /** Spočíta gradient
    $length = $this->data[$i+$step]['distance']
            - $this->data[$i]['distance'];
    $elevat = abs($this->data[$i+$step]['altitude']
            - $this->data[$i]['altitude']);
    $grade = $elevat / $length;
    if( abs($grade - $grade_prev) > 0.005 && $i-$seg_start > $step){
        /* Rozdelenie segmentu */
        /* Pokračuje v detekcii presného začiatku a konca */
    }
    $seg = new SegmentModel( /* Potrebne hodnoty */ );
}

```

### 3.4.3 Aproximácia výkonu

V prvých verziách algoritmu sme pri odhade brali do úvahy aj tepovú frekvenciu. Porovnaním tepovej frekvencie v rozdielnych bodoch trasy s rovnakým sklonom vozovky a rýchlosťou pohybu, sme sa snažili zohľadniť rozdielny koeficient odporu. Tento postup však neprinášal želané výsledky, nakoľko tepová frekvencia je závislá od veľkého množstva faktorov, ako sme uviedli v *Analýze problému*. Výpočet je teda postavený iba na fyzikálnej podstate problému, ako sme vysvetlili v kapitole 2. Akonáhle sú detekované všetky potrebné segmenty, k výpočtu výkonu už postačuje len vypočítať jednotlivé sily z dostupných dát.

```

public function estimate_power( SegmentModel $sg ){
    /* ... načítanie údajov o športovcovi a bicykli */

    /* Gravitačná sila */
    $Fg = ($athlete->weight + $bike->weight)
        * $this->constants['g']
        * $sg->grade();

    /* Valivý odpor */
    $Fr = ($athlete->weight + $bike->weight)
        * $this->constants['g']
        * cos(asin($sg->grade()))
        * $bike->crr_coef;

    $p1 = $this->constants['p0'] * pow(
        1-( $this->constants['L']
            * $this->data[$sg->get_index_start()]['altitude']
            / $this->constants['T0'] ),
        $this->constants['gm_lr']
    );
    $ro = $p1 * $this->constants['M']
        / ( $this->constants['R']
            * ($this->data[$sg->get_index_start()]['temperature']+273.15) );

    $v = $sg->get_length()
        / ( $this->data[$sg->get_index_end()]['timestamp']

```

```

        - $this->data[$sg->get_index_start()]['timestamp'] );

$Fd = 0.5 * $ro * $bike->cda_coef * pow($v, 2);

$P = ($Fg + $Fd + $Fr) * $v;

/* Zápis hodnoty */
for($i = $sg->get_index_start(); $i < $sg->get_index_end(); $i++){
    $this->data[$i]['est_power'] = round($P);
}
}

```

#### 3.4.4 Zobrazenie tréningu

Hlavnou požiadavkou pri zobrazení tréningu s GPS údajmi, je možnosť prehliadať absolvovaný tréning na mape a možnosť zobrazíť jednotlivé body ľahko čitateľnou formou, teda ideálne formou grafu.

Prvú požiadavku splníme vďaka API od Google Maps. Aplikačné rozhranie umožňuje zobrazíť a vycentrovať mapu pre konkrétnu polohu alebo množinu bodov, vykresliť body alebo ich spojením priamo vytvoriť krivku. Prikreslením ďalšej krivky do mapy môžeme zvýrazniť konkrétny úsek v tréningu podľa priblíženia/selektie v grafe. Do mapy je taktiež možné pridať ukazovateľ pozície. O vykreslenie mapy s týmito možnosťami sa postará nasledovný kód, ktorý sa nachádza v náhľadovom súbore */views/workout/view.chart.php*. Keďže sa jedná o Javascript, je len odoslaný do prehliadača a svoju funkciu vykoná až na strane klienta. Výsledok je následne zobrazený na obr. 20

```

<script type="text/javascript">
function map_initialize() {
    /* ... definovanie štýlu a nastavení mapy */

    style = new google.maps.StyledMapType(map_styles);
    route_coordinates = [<?php echo $coordinates ?>];

    route_path = new google.maps.Polyline({
        path: route_coordinates,
        geodesic: true,
        strokeColor: '#33CC99',
    });

    map = new google.maps.Map(
        document.getElementById('map-canvas'), map_options
    );

    map_marker_mov = new google.maps.Marker({
        /* ... Nastavenie pre ukazovateľ pozície */
    });

    map_bns = new google.maps.LatLngBounds();
    <?php echo $bounds; ?> //Body tréningu cez ktoré sa mapa centruje

```

```

    map.mapTypes.set('map_style', style);
    map.setMapTypeId('map_style');
    map.fitBounds(map_bns); // Vycentrovanie mapy
    route_path.setMap(map); // Vykreslenie krivky
}

function map_selection(dt){
    for(var i = 0; i < dt.length; i++){
        selection_coordinates.push(
            new google.maps.LatLng( dt[i].position_lat, dt[i].position_long )
        );
        selection_bounds.extend(
            new google.maps.LatLng( dt[i].position_lat, dt[i].position_long )
        );
    }

    /* Reset predchádzajúceho zobrazenia */
    selection_path.setMap(null);

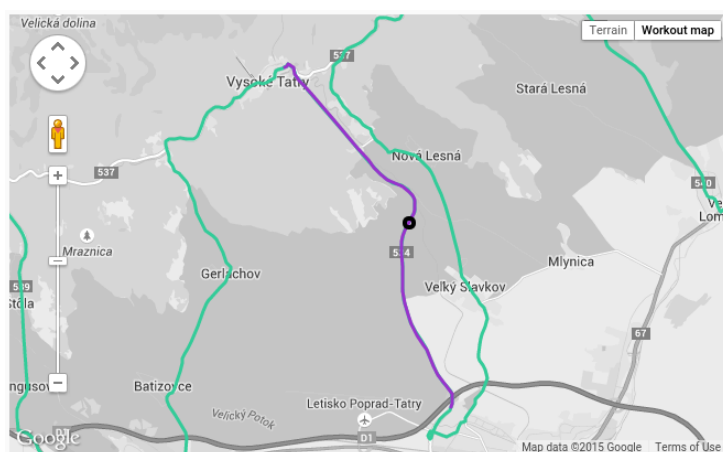
    selection_path = new google.maps.Polyline({
        path: selection_coordinates,
        geodesic: true,
        strokeColor: '#9933cc',
    });

    map.fitBounds(selection_bounds);
    selection_path.setMap(map);
}

function map_reset(){
    map.fitBounds(map_bns);
    selection_path.setMap(null);
}

google.maps.event.addDomListener(window, 'load', map_initialize);
</script>

```



Obr. 20: Zobrazenie mapy v detailnom náhľade tréningu

Ďalšia časť programového kódu v tomto náhľade sa postará o vykreslenie grafu. Štandard HTML5 umožňuje do HTML kódu vkladať SVG grafiku. Na zobrazenie prie-

behu celého tréningu použijeme knižnicu *D3.js*. Knižnica uľahčuje prácu s jednotlivými elementami SVG, nakoľko s nimi pracuje ako s objektami, ktoré majú vlastné metódy. Programový kód vykresľujúci kompletný graf s priebehom tréningu je pomerne rozsiahly, preto uvedieme len najdôležitejšie časti.

```

1 var chart_def = {<?php echo $chart_def; ?>};
2
3 var charts_count, i;
4 charts_count = i = Object.keys(chart_def).length;
5
6 var root = d3.select("#chart-canvas").append("svg")
7     .attr("width", WIDTH )
8     .attr("height", HEIGHT * i + MARGINS.top + MARGINS.bottom);
9
10 chart_draw(chart_data);

```

Premennú *\$chart\_def* inicializujeme ešte v PHP, obsahuje definície veličín, ktorá sa majú zobraziť, tj. ku ktorým existujú dáta. Táto premenná obsahuje aj jednotky pre jednotlivé veličiny a počet desatinných miest pri zobrazení. Riadok 6 zabezpečí vloženie elementu *<svg>* do HTML s fixnou výškou a šírkou. O vykreslenie sa bude starať funkcia *chart\_draw()*.

```

function chart_draw(chart_data){

    /* X rozsah podľa celkovej vzdialenosti*/
    x_range = d3.scale.linear()
        .range([MARGINS.left, WIDTH-MARGINS.right])
        .domain([
            d3.min(chart_data, function(d) {return d.distance;}),
            d3.max(chart_data, function(d) {return d.distance;})
        ]);

    /** Inicializacia funkcii
    for(var key in chart_def){

        /* ... Definovanie funkcií pre získanie maxima, minima a priemeru*/
        min[key], max[key], avg[key];

        /* Y rozsah podľa maxima a minima */
        y_range[key] = d3.scale.linear()
            .range([HEIGHT*i, HEIGHT*(i-1)])
            .domain(
                [min[key] - 0.05 * min[key], max[key] + 0.05 * max[key]]
            );

        /* Funkcia pre vykreslenie priebehu */
        var draw_fn = d3.svg.line()
            .x(function(d) {return x_range(d.distance);})
            .y(function(d) {
                return
                    y_range[key](d[key]) || y_range[key](min[key]);
            });

        chart_def[key].draw_fn = draw_fn;
        chart_def[key].x_range = x_range;
    }
}

```



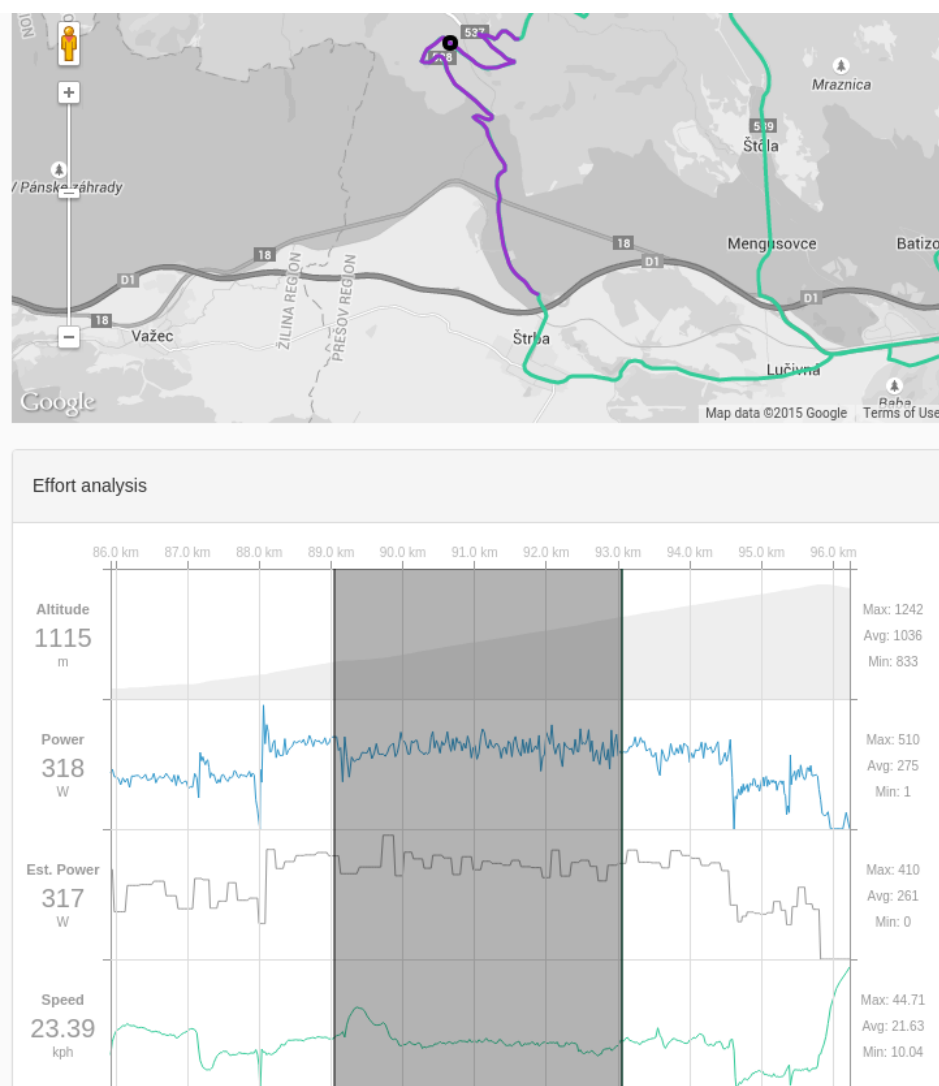
```

chart_def[key].y_range = y_range[key];
i--;

/** Vykreslenie krivky
svg.append('svg:path')
  .attr('d', chart_def[key].draw_fn(chart_data))
  .attr("class","datapath " + key)
  .attr("transform", "translate(" + (-MARGINS.left)+ ",0)");
}

```

Vykresľovanie osí grafu nebudeme rozvádzať dopodrobna. Graf disponuje interaktivitou. Po prechode myšou na konkrétnu pozíciu sa vedľa grafu zobrazia hodnoty pre daný body a na mape sa zobrazí ukazovateľ pozície. Kliknutím na graf a ťahaním je možné vybrať časť tréningu. Graf sa priblíži a na mape sa zvýrazní vybraná časť rozdielnou farbou. Viď nasledujúci obrázok.



Obr. 21: Zvýraznenie výberu pred priblížením konkrétnej časti tréningu

### 3.5 Porovnanie výsledkov

Záver tejto kapitoly venujeme porovnaniu odhadnutých hodnôt s hodnotami, ktoré boli reálne zmerané meračom výkonu. Nakoľko zariadenie PowerTap G3, ktoré sme pri práci používali nám vypovedalo službu, neboli sme schopný aproximáciu otestovať v plnej miere tak ako sme plánovali. Výsledky, ktoré prezentujeme, sú na základe dát, získaných v období september 2014 až máj 2015 tromi rôznymi športovcami a tromi rozdielnymi meračmi výkonu. Jedná sa o stúpania v rôznych nadmorských výškach, od 0 do 1200 m n.m. v rôznych teplotných podmienkach, od 0 do 35°C a s rôznym priemerným sklonom, od 4 do 12%. Porovnáваме priemerný reálny a odhadnutý výkon pre celé stúpanie. Taktiež hodnoty výkonu zaznamenané v daných bodoch oproti aproximovaným hodnotám pre tieto body. V druhom prípade neporovnáваме priamo momentový výkon ale trojsekundový priemer v danom bode, ktorý je relevantnejšou referenčnou vzorkou. U každého športovca uvádzame aj ukážku grafu s porovnaním aproximovanej a reálnej hodnoty vo vybranom stúpaní.

#### Športovec č.1

Hmotnosť: 72 kg

Hmotnosť bicykla: 8 kg

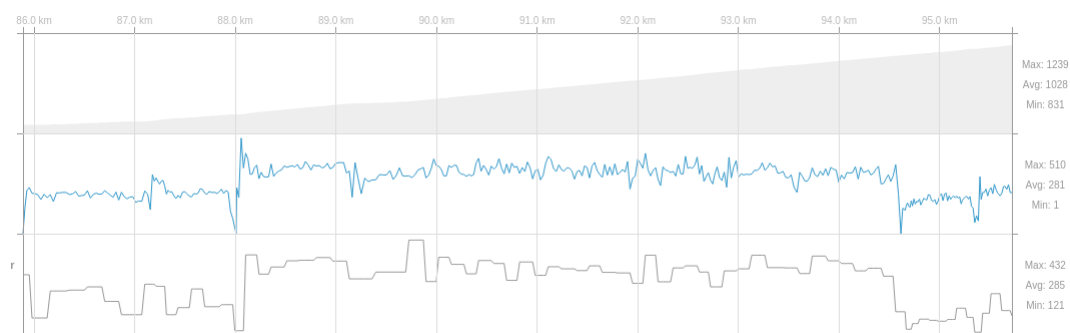
Koeficient  $C_dA$ : 0.501

Koeficient  $C_{rr}$ : 0.0042

Merač výkonu: PowerTap G3, náboj zadného kolesa.

Úsek	dĺžka [m]	Reálny.	Predpoklad.	Odchýlka priemeru	Odchýlka hodnôt
		priemerný výkon [W]	priemerný výkon [W]		
1.	3019.43	243	241	1.91 (0.8%)	35.96 (14.8%)
2.	10063.44	273	280	7.43 (2.7%)	37.83 (13.9%)
3.	10167.5	275	280	4.87 (1.8%)	34.48 (12.5%)
4.	5094.56	253	246	6.91 (2.7%)	35.08 (13.9%)
5.	4074.6	247	242	4.28 (1.7%)	35.40 (14.4%)

Tabuľka 2: Športovec 1 - porovnanie aproximovaných a reálnych hodnôt



Obr. 22: Športovec 1 - porovnanie aproximovaných a reálnych hodnôt

**Športovec č.2**

Hmotnosť: 66 kg

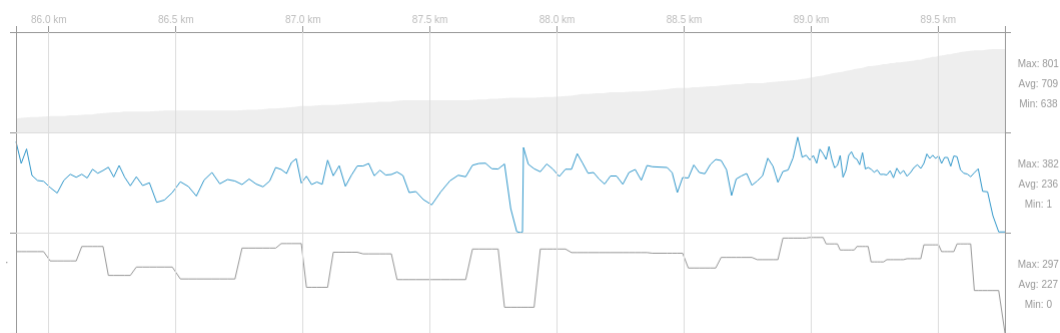
Hmotnosť bicykla: 8 kg

Koeficient  $C_dA$ : 0.38Koeficient  $C_{rr}$ : 0.00343

Merač výkonu: SRM PowerMeter, kľuky stredového zloženia.

Úsek	dĺžka [m]	Reálny.	Predpoklad.	Odchýlka priemeru	Odchýlka hodnôt
		priemerný výkon [W]	priemerný výkon [W]		
6.	8059.88	245	241	3.97 (1.6%)	33.59 (13.7%)
7.	3294.16	247	247	0.94 (0.4%)	35.06 (14.2%)
8.	15980.4	263	275	11.64 (4.4%)	45.00 (17.1%)
9.	6858.65	268	273	4.85 (1.8%)	35.88 (13.4%)
10.	6535.84	206	216	9.10 (4.4%)	53.00 (25.7%)

Tabuľka 3: Športovec 2 - porovnanie aproximovaných a reálnych hodnôt



Obr. 23: Športovec 2 - porovnanie aproximovaných a reálnych hodnôt

**Športovec č.3**

Hmotnosť: 69 kg

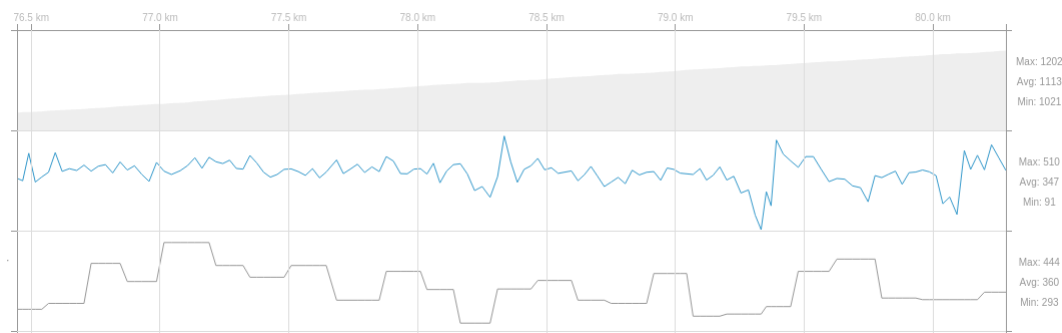
Hmotnosť bicykla: 7 kg

Koeficient  $C_dA$ : 0.526Koeficient  $C_{rr}$ : 0.00303

Merač výkonu: Stages for Shimano Dura-ace, ľavá kľuka.

Úsek	dĺžka [m]	Reálny.	Predpoklad.	Odchýlka priemeru	Odchýlka hodnôt
		priemerný výkon [W]	priemerný výkon [W]		
11.	4200.7	364	353	11.00 (3.0%)	35.11 (13.9%)
12.	2103.0	364	356	8.0 (2.2%)	35.33 (14.3%)
13.	1755.44	473	483	10.38 (2.2%)	33.57 (7.1%)
14.	1265.32	433	420	13.08 (3.0%)	58.81 (13.6%)
15.	1640.74	425	422	2.66 (0.6%)	99.41 (23.4%)

Tabuľka 4: Športovec 3 - porovnanie aproximovaných a reálnych hodnôt



Obr. 24: Športovec 3 - porovnanie aproximovaných a reálnych hodnôt

Z uvedených porovnaní môžeme konštatovať, že implementovaný algoritmus dosahuje maximálnu odchýlku 4.4% no štandardne sa pohybuje od 0.5% do 3.0%. Takúto presnosť považujeme dostačujúcu na to aby, podľa nej športovec mohol určiť intenzitu zaťaženia. Ak sa pozrieme na porovnanie hodnôt v jednotlivých bodoch, presnosť už nie je tak vysoká. Priemerná odchýlka sa pohybuje od 7% do 25%. Skôr, než zhodnotíme tieto výsledky, pozrime sa na priebeh výkonu v grafoch. U športovca 1 a 2 jasne vidieť, ako priebeh aproximovaného výkonu kopíruje priebeh reálneho výkonu. Ak vieme vďaka výpočtu zobrazit' približne rovnaký priebeh výkonu a v priemere dosiahnuť odchýlku 0.5 až 3%, môžeme to považovať za dobré výsledky. Rozdiel v momentových hodnotách je spôsobený nerovnomerným šliapaním do pedálov, môžu ho spôsobovať aj nerovnosti na vozovke, ktoré zanedbávame a množstvo ďalších faktorov. U športovca 3 sú hodnoty zmerané na pretekoch, kde dochádza k väčším výkyvom v šliapaní a vidíme aj väčšie odchýlky, ktoré môžu byť spôsobené jazdou v skupine.

## 4 Záver

Výsledkom našej práce je algoritmus, ktorý aproximuje výkon cyklistu v kľúčových stúpaniach z jeho pohybu na trase tréningu. Algoritmus pozostáva zo štyroch krokov: detekcia stúpaní, rozdelenie stúpaní na čiastkové segmenty, odhad koeficientov potrebných k výpočtu, a samotného výpočtu výkonu. Algoritmus sme implementovali do webovej aplikácie, ktorá umožňuje nahranie súboru s údajmi o športovej aktivite a jej vyhodnotenie. Aplikácia podporuje formát súboru FIT, ktorý bežne používajú zariadenia pracujúce s protokolom ANT+.

Je zrejmé, že presný momentový výkon športovca z pozície, rýchlosti a zmeny nadmorskej výšky nikdy presne určiť nebudeme vedieť. Podstatou nášho algoritmu, je rozdelenie celého stúpania na menšie časti s nemenným sklonom, tzv. segmenty. Pre tieto časti následne vypočítame výkon, akoby ho športovec podával celý čas konštantný. Vytýčenie segmentov v rámci stúpania sme sa snažili navrhnuť tak, aby segmenty boli dostatočne dlhé. Body s miernou odchýlkou v pozícii alebo nadmorskej výške by nemali vytvárať takú odchýlku vo výpočte, ako sa domnievame, že tomu je na portále Strava. Na druhej strane sa však segmenty snažíme udržať relatívne krátke, aby sme v nich mohli aspoň čiastočne zachytiť náhle, niekoľko sekundové zmeny tempa. V skutočnosti teda nepredpovedáme momentový výkon ale niekoľko sekundový priemerný výkon. Myslíme si, že je to jediná možnosť ako z dostupných dát výkon aproximovať a po porovnaní reálnych a vypočítaných hodnôt na niekoľkých rôznych vzorkách a dosiahnutých odchýlkach sme sa v tomto názore utvrdili.

Cieľom tejto práce nebolo konkurovať existujúcim systémom v množstve funkcionality. Cieľom práce bolo umožniť finančne dostupný tréning, ktorý je riadený podľa hodnôt výkonu športovca. Takýto systém môže byť výhodný pre menšie športové tímy, ktoré si nemôžu dovoliť zakúpenie zariadenia na meranie výkonu pre každého člena, ale disponujú aspoň jedným takýmto zariadením. Pri použití našej aproximácie výkonu by postačilo počítať "nakalibrované" niekoľkými tréningami s meračom výkonu a v každom ďalšom tréningu by bol výkon odhadnutý.

Na záver práce nám už len ostáva skonštatovať, že v tomto výskume je stále priestor na doplnenie. Pri dostatočnom testovaní v rôznych podmienkach, ideálne však vo veternom tuneli by mohol byť vytvorený algoritmus pre aproximáciu výkonu aj v rovinných častiach tréningu, ktorý nám momentálne chýba. I keď práve stúpania sú kľúčovým miestom, kde sa rozhodujú preteky, nemálo náročných tréningov a pretekov je situovaných v rovinnom prostredí.

## Literatúra

- [1] CLARK, S. K. - DODGE, R. N.: *A Handbook for the Rolling Resistance of Pneumatic Tires*. Michigan: University of Michigan, 1979. 156s. ASIN: B0006XMSXI
- [2] WILSON, D. G.: *Bicycling Science*, 3. vydanie. Cambridge: The MIT Press, 2004. 485s. ISBN: 978-0262731546
- [3] MBOSTOCK: *D3*. [cit. 20. 12. 2014]. Dostupné na World Wide Web: <<https://github.com/mbostock/d3>>
- [4] THIS IS ANT: *Developer*. [cit. 20. 12. 2014]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.thisisant.com/developer>>
- [5] REICHL, J. - VŠETIČKA, M.: *Encyklopedie fyziky - Valivý odpor*. [cit. 25. 4. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/37-valivy-odpor>>
- [6] HALLIDAY, D. - RESNICK, R. - WALKER, J.: *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: Vysoké učení technické, 2000. 1278s. ISBN 80-214-1868-0
- [7] BOOTSTRAP: *Getting started*. [cit. 20. 12. 2014]. Dostupné na World Wide Web: <<http://getbootstrap.com/getting-started/>>
- [8] DÍVALD, L.: *Kontrolovaný tréning*. Bratislava: Laurenc Divald, 2009. 116s. ISBN 978-80-970358-1-5
- [9] BIKECALCULATOR: *How to use*. [cit. 10. 3. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <<http://bikecalculator.com/how.html>>
- [10] KENNEY, W. L. - WILMORE, J. H. - COSTILL, D. L.: *Physiology of Sport and Exercise*, 5. vydanie. Champaign: Human Kinetics, 2011. 640s. ISBN: 860-1401254188
- [11] CYCLING-WEEKLY: *Power meters: Everything you need to know*. [cit. 15. 4. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.cyclingweekly.co.uk/news/power-meters-everything-you-need-to-know-35563>>

- [12] BIKETECH-REVIEW: *Roller Data*. [cit. 25. 4. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.biketechreview.com/tires/rolling-resistance/475-roller-data>>
- [13] SCHWALBE: *Rolling Resistance*. [cit. 14. 4. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.schwalbetires.com/tech\\_info/rolling\\_resistance](http://www.schwalbetires.com/tech_info/rolling_resistance)>
- [14] ISO 2533:1975 : *Standard Atmosphere* - International Organization for Standardization
- [15] SAE J2452:1999 : *Stepwise Coastdown Methodology for Measuring Tire Rolling Resistance* - Society of Automotive Engineers
- [16] STRAVA: *About*. [cit. 10. 3. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <<https://www.strava.com/about>>
- [17] NASA: *The Drag Equation*. [cit. 16. 4. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/drageq.html>>



## Obsah CD nosiča

Obsah priloženého CD nosiča je nasledovný:

- v priečinku *dokument* sa nachádza text diplomovej práce vo formáte PDF
- v priečinku *aplikácia* sú zdrojové súbory výslednej funkčnej aplikácie, a tiež skript pre vytvorenie tabuliek v databáze
- v priečinku *dokumentácia* je dokumentácia zdrojového kódu vo formáte HTML obsahujúca popis jednotlivých tried a ich metód