

## 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,

# 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: Aproximácia wattového výkonu športovca

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,

# Contents

<b>0</b>	<b>Úvod</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Analýza problému</b>	<b>8</b>
1.1	Hárdver pre meranie . . . . .	9
1.2	Protokoly prenosu dát . . . . .	9
1.3	Softvér pre vyhodnotenie . . . . .	10
1.3.1	Strava . . . . .	10
1.3.2	Bike Calculator . . . . .	10
1.4	Valivý odpor . . . . .	11
<b>2</b>	<b>Záver</b>	<b>14</b>

## List of Figures

1	Valivý odpor[10] . . . . .	11
---	----------------------------	----

## 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 tie vytrvalostné. Na pulte takmer každej športovej predajne sú k dispozícii merače srdcového tepu, času alebo vzdialenosti podľa 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, resp. tempo, 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[1]. Tepovú frekvenciu už môžeme v dnešnej dobe považovať za pomerne nenákladný spôsob usmerenia 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 športoví nadšenci, amatérski pretekári, ktorí si chcú zmerať svoj progres prípadne sa porovnať s najlepšími. Keďže výkon je fyzikálna veličina, miera toho ako rýchlo vykonáva určitá sila prácu[3], malo by byť možné ho vypočítať na základe údajov ako je stúpanie, rýchlosť, vzdialenosť. Práve týmto výpočtom a následne odhadom výkonu športovca sa venujeme v tejto práci.

# 1 Analýza problému

Pre správne pochopenie problematiky sa musíme oboznámiť so zaužívaným spôsobom merania výkonu cyklistu. Výkon je meraný špeciálnym zariadením, ktoré je vo väčšine prípadoch zabudované priamo v komponente bicykla. Musí sa jednať o komponent, ktorý sa priamo stará o prenos sily pôsobiacej na pedál do pohonu zadného kolesa. Môže to byť teda náboj zadného kolesa, jedna alebo obe kľuky stredového zloženia prípadne pedále. To, kde je zariadenie umiestnené záleží od konkrétneho výrobcu a jeho techniky merania. Zariadenie nazývame merač výkonu<sup>1</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:

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

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:

$$P = Fv \quad (2)$$

A to je podstatou fungovania merača výkonu. Sila zmeraná tenzometrom je násobená aktuálnou rýchlosťou a táto hodnota je odoslaná do zobrazovacieho zariadenia.

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.[9]

---

<sup>1</sup>z angl.: Power Meter



## **1.1 Hárdver pre meranie**

## **1.2 Protokoly prenosu dát**

## **1.3 Softvér pre vyhodnotenie**

### **1.3.1 Strava**

### **1.3.2 Bike Calculator**

## 1.4 Valivý odpor

Valivým odporom môžeme nazvať silu, ktorá vzniká keď sa teleso kruhového prierezu (v našom prípade koleso bicykla) váľa po pevnej podložke. Fyzikálnou podstatou tohoto javu je hysterézia, ktorý 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  $\xi$ . [10]

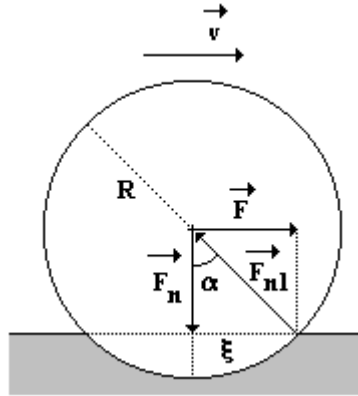


Figure 1: Valivý odpor [10]

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

$$F = F_n \tan \alpha \quad (3)$$

Pre malé uhly je  $\tan \alpha = \sin \alpha$  a pre koleso s polomerom  $R$  je  $\sin \alpha = \frac{\xi}{R}$ . Dosadením do vzťahu 3 dostávame:

$$F = \frac{\xi}{R} F_n \quad (4)$$

V praxi by ale bolo veľmi náročné zmerať vzdialenosť  $\xi$ , preto sa podiel vo vzťahu 4 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 [7] sa vymedzujú podmienky testu. Pre potreby tejto práce je dôležité uvažovať podložku, povrch vozovky, ako dokonale pevnú a koeficienty valivého odporu galusiek alebo plášťov cestného bicykla v rozsahu od 0.002 do 0.006 [11]. 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, mikro-trenie 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. Požadovať 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.

```
<script type="text/javascript">  
</script>
```

## 2 Záver

Výsledkom našej práce je ...

## References

- [1] DÍVALD, L.: *Kontrolovaný tréning*. Bratislava: Laurenc Divald, 2009. 116s. ISBN 978-80-970358-1-5
- [2] KENNEY, W. L. - WILMORE, J. H. - COSTILL, D. L.: *Physiology of Sport and Exercise*, 5. vydanie. Champaign: Human Kinetics, 2011. 640s. ISBN: 860-1401254188
- [3] HALLIDAY, D. - RESNICK, R. - WALKER, J.: *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: Vysoké učení technické, 2000. 1278s. ISBN 80-214-1868-0
- [4] WILSON, D. G.: *Bicycling Science*, 3. vydanie. Cambridge: The MIT Press, 2004. 485s. ISBN: 978-0262731546
- [5] CLARK, S. K. - DODGE, R. N.: *A Handbook for the Rolling Resistance of Pneumatic Tires*. Michigan: University of Michigan, 1979. 156s. ASIN: B0006XMSXI
- [6] ISO 2533:1975 : *Standard Atmosphere* - International Organization for Standardization
- [7] SAE J2452:1999 : *Stepwise Coastdown Methodology for Measuring Tire Rolling Resistance* - Society of Automotive Engineers
- [8] 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)>
- [9] 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>>
- [10] 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>>
- [11] BIKETECH-REVIEW: *Roller Data*. [cit. 25. 4. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.biketechnreview.com/tires/rolling-resistance/475-roller-data>>

## 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, a tiež príslušné diagramy tried