

# Využití elektrokol v rehabilitaci

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

B3944 Biomedicínská technika

*Studijní obor:*

Biomedicínská technika

*Autor práce:*

**Anna Pospíšilová**

*Vedoucí práce:*

PhDr. Iva Šeflová, Ph.D.

Katedra tělesné výchovy a sportu





## Zadání bakalářské práce

# Využití elektrokol v rehabilitaci

*Jméno a příjmení:* **Anna Pospíšilová**  
*Osobní číslo:* D17000038  
*Studijní program:* B3944 Biomedicínská technika  
*Studijní obor:* Biomedicínská technika  
*Zadávací katedra:* Fakulta zdravotnických studií  
*Akademický rok:* **2019/2020**

## **Zásady pro vypracování:**

### **Cíle práce:**

1. Zhodnotit možnosti použití elektrokol pro rehabilitaci. Zaměřit se zejména na kardiovaskulární pacienty a stanovení bezpečných zón pro srdeční frekvenci na základě doporučení odborníků a srovnání s praxí.
2. Popsat legislativu v oblasti elektrokol.
3. Popsat metody řízení pohonu a možnosti individuálního nastavení.

### **Teoretická východiska (včetně výstupu z kvalifikační práce):**

Kardiovaskulární onemocnění je závažným problémem pro řadu pacientů, intenzivní rehabilitační péče poskytovaná prostřednictvím speciálních center přechází v individuální rekondici. Zde je problém udržet pacienta motivovaného a elektrocolo se jeví jako využitelný technický prostředek. Výstupem bakalářské práce bude článek, který dovolí efektivní využití elektrokol pro individuální rehabilitaci pro kardiovaskulární pacienty.

### **Výzkumné předpoklady / výzkumné otázky:**

1. Lze stanovit bezpečné zóny srdeční frekvence pro kardiovaskulární pacienty na základě laboratorního měření?
2. Předpokládáme, že prostřednictvím popsání legislativy v oblasti elektrokol bude provedeno porovnání v rámci vybraných zemí EU a USA na úrovni jednotlivých unijních států.
3. Předpokládáme, že prostřednictvím popisu metod řízení pohonu a možností individuálního nastavení bude zjištěn aktuální stav techniky v oblasti elektrokol a jejich řízení.

### **Metoda:**

Kvantitativní metoda

### **Technika práce, vyhodnocení dat:**

- pozorování
- analýza dokumentů
- měření

Vyhodnocení dat: Data budou zpracována prostřednictvím specializovaných softwarů a souhrnné výsledky budou interpretovány pomocí tabulek a grafů.

### **Místo a čas realizace výzkumu:**

Místo: Technická univerzita v Liberci; Katedra tělesné výchovy

Čas: leden – listopad 2020

### **Vzorek:**

Testy budou probíhat na omezeném souboru probandů z řad studentů FZS TUL

### **Rozsah práce:**

Rozsah bakalářské práce činí 50#x2013;70 stran (tzn. 1/3 teoretická část, 2/3 výzkumná část).

Rozsah grafických prací:  
Rozsah pracovní zprávy:  
Forma zpracování práce:  
Jazyk práce:

tištěná/elektronická  
Čeština



## Seznam odborné literatury:

1. BOURNE, Jessica E. et al. Electrically assisted cycling for individuals with type 2 diabetes mellitus: protocol for a pilot randomized controlled trial. *Pilot Feasibility Studies*. 2019, 23(5), 136. DOI 10.1186/s40814-019-0508-4. Dostupné také z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6875029/>
2. ČAPEK, L., P. HÁJEK a P. HENYŠ. *Biomechanika člověka*. Praha: Grada, 2018. ISBN 978-80-271-0367-6.
3. GARBER, Carol E. et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2011, 43(7), 1334-59. DOI 0.1249/MSS.0b013e318213febf. Dostupné také z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21694556/>
4. KOLÁŘ, Pavel a Renata ČERVENKOVÁ. *Labyrint pohybu*. Praha: Vyšehrad, 2018. ISBN 978-80-7429-975-9.
5. KOLÁŘ, Pavel a Miloš MÁČEK. *Základy klinické rehabilitace*. Praha: Galén, 2016. ISBN 978-80-7492-219-0.
6. PILNÝ, Jaroslav. *Úrazy ve sportu: a jak jim předcházet*. Praha: Grada, 2018. ISBN 978-80-271-0757-5.
7. PORCARI, J. P., C. X. BRYANT a F. COMANA. *Exercise physiology*. Philadelphia: F.A. Davis Company, 2015. ISBN 978-0-8036-4097-9
8. SUNDFØR, Hanne B. a Aslak FYHRI. A push for public health: the effect of e-bikes on physical activity levels. *BMC Public Health*. 2017, 17(1), 809. DOI 10.1186/s12889-017-4817-3. Dostupné také z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29037235/>
9. ŠVESTKOVÁ, Olga et al. *Rehabilitace motoriky člověka: fyziologie a léčebné postupy*. Praha: Grada, 2017. ISBN 978-80-271-0084-2.
10. VRCHOVECKÁ, Pavlína. *Fyziologie člověka: učební texty*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018. ISBN 978-80-7494-418-5.
11. XIAO, Junjie. *Exercise for Cardiovascular Disease Prevention and Treatment*. Singapore: Springer 2017. Advances in Experimental Medicine and Biology, 999. ISBN 978-981-10-4306-2.

Vedoucí práce:

PhDr. Iva Šeflová, Ph.D.  
Katedra tělesné výchovy a sportu

Datum zadání práce:

22. července 2020

Předpokládaný termín odevzdání: 30. června 2021

L.S.

doc. RNDr. Miroslav Brzezina, CSc.  
děkan

prof. MUDr. Karel Cvachovec, CSc., MBA  
děkan

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

5. května 2021

Anna Pospíšilová

## Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí mé bakalářské práce PhDr. Ivě Šeflové, Ph.D. za vedení práce, za odborné a cenné rady a připomínky a v neposlední řadě za její čas a trpělivost. Také bych chtěla poděkovat doc. Ing. Josefovi Černoorskému, Ph.D. za odborné připomínky a cenné rady v oblastech legislativy a pohonech elektrokol.

## Anotace

**Autor:** Anna Pospíšilová

**Instituce:** Technická univerzita v Liberci, Fakulta zdravotnických studií

**Název práce:** Využití elektrokol v rehabilitaci

**Vedoucí práce:** PhDr. Iva Šeflová, Ph.D.

**Počet stran:** 61

**Počet příloh:** 0

**Rok obhajoby:** 2021

**Anotace:** Tato bakalářská práce se zabývá využitím elektrokol v rehabilitaci. Cílem bylo zhodnotit použití elektrokol v různých oblastech rehabilitace především se zaměřením na rehabilitaci kardiovaskulárních pacientů. V úvodní části je popsána legislativa a technické parametry elektrokol, následuje posouzení elektrokola z hlediska poskytování intenzity fyzické aktivity a část o využití elektrokol v rehabilitaci. Významnou část tvoří kardiorehabilitace. Výsledkem je přehled možných oblastí rehabilitace pro elektrokola.

**Klíčová slova:** elektrocolo, rehabilitace, legislativa, pohon

## Annotation

**Author:** Anna Pospíšilová

**Institution:** Technical University of Liberec, Faculty of Health Studies

**Title:** Use of Electric Bicycles in Rehabilitation

**Supervisor:** PhDr. Iva Šeflová, Ph.D.

**Pages:** 61

**Apendix:** 0

**Year:** 2021

**Annotation:** This bachelor thesis is concerned with use of electric bicycles in rehabilitation. The aim was to evaluate the use of electric bicycles in various areas of rehabilitation, especially focusing on rehabilitation of cardiovascular patients. The theoretical part introduces regulation and technical parameters of electric bicycles followed by an assessment of electric bicycles in terms of providing the intensity of physical activity and part of using electric bicycles in rehabilitation. A significant part is cardiorehabilitation. The outcome is an overview of possible areas of rehabilitation for electric bicycles.

**Keywords:** electric bicycle, rehabilitation, regulation, drive



## Obsah

Seznam použitých zkratk	11
1 Úvod	12
2 Teoretická část	12
2.1 Elektrokolo	13
2.1.1 Historie	13
2.2 Legislativa elektrokol	14
2.2.1 Legislativa v EU	15
2.2.1.1 Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 168/2013	16
2.2.1.2 ČSN EN 15194	17
2.2.1.3 Vyhláška č. 341/2014	17
2.2.2 Legislativa v USA	19
2.2.2.1 Třístupňový systém	20
2.3 Elektropohon a jeho části	23
2.3.1 Pohon elektrokola	23
2.3.2 Baterie	26
2.3.3 Řídící jednotka	29
2.3.4 Snímače	29
2.4 Využití elektrokol	30
2.4.1 Elektrokola a zdravotní benefity	35
2.4.2 Využití elektrokol v rehabilitaci	38
2.4.2.1 Elektrokola v kardiovaskulární rehabilitaci	38
2.4.2.1.1 Spiroergometrické vyšetření	39
2.4.2.2 Cvičební program pro kardiovaskulární pacienty	41
2.4.2.3 Elektrokola v rehabilitaci po úrazu dolní končetiny	42
3 Výzkumná část	44
3.1 Cíle a výzkumné předpoklady	44
3.2 Rešerše	45
4 Diskuze	51
5 Závěr	53
Seznam použité literatury	55
Seznam obrázků	60

Seznam tabulek .....	61
----------------------	----

## Seznam použitých zkratek

Ah	ampérhodina
Ah/kg	ampérhodina za kilogram
č.	číslo
ČR	Česká republika
e-bike	electric bicycle = elektrické kolo
EU	Evropská unie
Ing.	Inženýr
kcal/kg/čas	kilokalorie za jednotku kilogramu a času
km	kilometr
km/h	kilometr za hodinu
mAh/g	miliampérhodina za gram
max.	maximum
min.	minimum
ml/kg/min	mililitr na kilogram za čas
např.	například
obr.	obrázek
tep/min	tep za minutu
tzv.	takzvaný
USA	Spojené státy americké
V	volt
W	watt
Wh	watthodina

# 1 Úvod

Elektrokolo je poměrně novým technickým uzpůsobením klasického jízdního kola. Oproti klasickému jízdnímu kolu je elektrokolo navíc doplněno o elektrický motor, jehož účelem je asistence při šlapání, která snižuje náročnost vykonávané fyzické aktivity. Díky tomuto faktu se elektrokola v posledních letech začala těšit stále větší oblibě mezi nejrůznějšími jedinci. Obliba elektrokol a jejich vlastností vedou k myšlence této bakalářské práce a to, jestli je možné elektrokola využívat k aktivnímu způsobu vykonávání fyzické aktivity a jestli je možné elektrokola využít v rehabilitaci.

Elektrokolo bude v teoretické části představeno z pohledu legislativy a technických parametrů. Podstatnou částí je pojednání o využití elektrokol. Je otázkou, jakou intenzitu zatížení fyzické aktivity elektrokola při jízdě poskytují a zda mají nějaké kladné účinky na zvýšení zdravotních benefitů. A popřípadě, při jakých dalších situacích. Další otázka této bakalářské práce je, jestli elektrokola lze využít v rehabilitaci konkrétně v jakých oblastech rehabilitace, a pro jaké pacienty.

## 2 Teoretická část

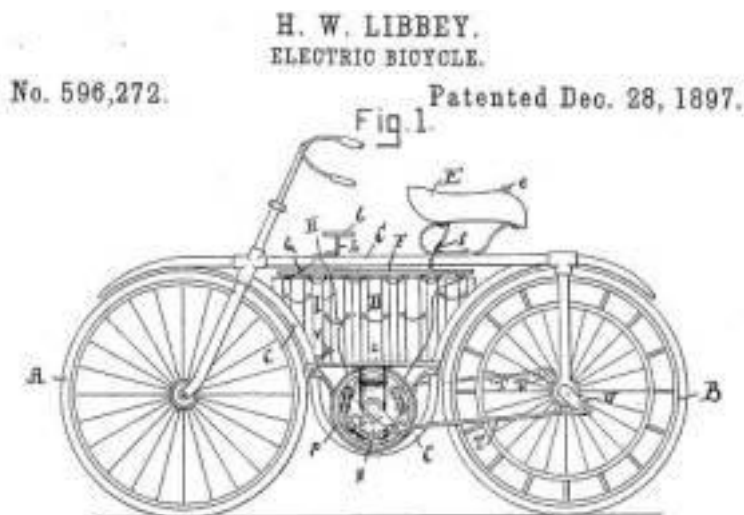
### 2.1 Elektrokolo

Pojmem elektrokolo se označuje jízdní kolo, které je poháněno kombinací lidské síly a elektrické energie, kterou zajišťuje elektromotor umístěný v náboji v přední nebo zadní části kola, popřípadě ve středu mezi pedály (1).

Elektrokola se v posledních letech těší čím dál větší oblíbenosti, a to především pro svoji uživatelsky snazší a pohodlnější jízdu než klasická jízdní kola. Využití nacházejí u starších uživatelů, jedinců se sníženou fyzickou pohyblivostí, mezi turisty, ale i u studentů, kurýrů apod. Atraktivní se elektrokola jeví také jako ekologické a ekonomické dopravní prostředky.

#### 2.1.1 Historie

Historie elektrokol se datuje již v 19. století. V roce 1897 sestrojil Hosea W. Libbey první elektrické kolo poháněné elektrickým motorem, který se nacházel ve středu osy klikové hřídele. K vývoji elektrických kol přispěl také český konstruktér Ing. H. Fügner. Jeho první prototyp elektrokola z roku 1944 pohánělo upravené dynamo Sentvilla o výkonu 150 W a napětí 24 V (1). Kolo s olověnými bateriemi o kapacitě 70 Ah údajně dosahovalo na rovině rychlosti 14 km/h a jeho dojezd byl až 70 km na jedno nabití baterie (1). Jedinou nevýhodou tohoto prototypu byla celková hmotnost přesahující 100 kg. Nicméně elektrokola zaznamenávají rozvoj až s objevem otáčivého momentu elektromotorů v 90. letech 20. století (2). Na trhu se první komerčně vyráběná elektrokola začínají objevovat zanedlouho poté. Výrobou elektrokol se začaly zabývat společnosti jako Yamaha, Panasonic, Honda atd. Dominantní roli v tomto odvětví má Čína, která ročně produkuje kolem 27 milionů elektrokol, což činí přes 90 % světové produkce a navíc vlastní okolo 60 % patentů (2). V zemích Evropské unie a to zejména v Německu, Švýcarsku a Nizozemsku se zvyšuje prodej elektrokol posledních několik let, nyní elektrokola představují okolo 15 – 20 % ročního prodeje (3).

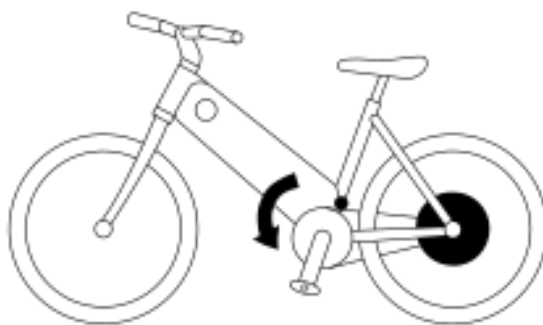


Obr. 1 První elektrokolo převzato z (2)

## 2.2 Legislativa elektrokol

Legislativa zařazení elektrokol do silničního provozu se v různých částech světa liší. Největší rozdíly jsou patrné v EU a USA. Typický zkrácený termín pro elektrické kolo je e-bike. V EU existují mimo toho označení také pojmy pedelec a S-pedelec.

Pedelec je zkratka pro anglický termín Pedal Electric Cycle, která byla vytvořena proto, aby odlišila jízdní kolo s automatickou (elektrickou) podporou pedálů a jízdní kolo řízené pohonem, který je poháněný plynovou rukojetí, myšleno e-bike. Jízdní kolo typu pedelec je řízeno elektromotorem o výkonu max. 250 W (4). Podpora elektromotoru při šlapání je do rychlosti 25 km/h a bez šlapání do rychlosti 6 km/h (4). Z právního hlediska se na tento typ pohlíží jako na klasické jízdní kolo, což znamená, že jezdec není povinen vlastnit řidičský průkaz ani pojištění, kolo nemá registrační značku a může nebo v některých zemích musí využívat cyklostezky. Dále jezdec nemusí mít cyklistickou helmu.



Obr. 2 Schéma elektrokola typu pedelec převzato z (4)

S-pedelec je zkratka pro anglický termín Speed Pedal Electric Cycle. S-pedelec je v EU klasifikován jako moped kategorie L1 e-B, a proto je nutností vlastnit pro provoz řidičský průkaz skupiny AM, pojištění a poznávací značku, dále tento typ nesmí využívat cyklostezky. Maximální výkon motoru je 4000 W (4). Podpora elektromotoru při šlapání je do rychlosti 45 km/h a bez šlapání do rychlosti 6 km/h (4). Jezdec musí mít při jízdě motocyklovou helmu.

E-bike v EU je označení pro elektrická kola poháněna bez podpory pedálů, anebo s plynovou rukojetí (4). V anglofonních zemích je pod tímto pojmenováním označováno klasické elektrokolo typu pedelec.



Obr. 3 Schéma elektrokola typu e-bike převzato z (4)

### 2.2.1 Legislativa v EU

Legislativa elektrokol v EU se řídí nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 168/2013 o schvalování dvoukolových nebo tříkolových vozidel a čtyřkolek a dozoru nad trhem s těmito vozidly. Toto nařízení nahradilo v roce 2016 směrnici Evropského parlamentu a Rady (EU) 2002/24/EC o schvalování typu dvoukolových a tříkolových motorových vozidel, která je obsahově v podstatě téměř stejná jako nařízení č. 168/2013. V roce 2009 vyšla v platnost norma s označením EN 15194 známá také pod zkratkou EPAC (Standard for Electronically Power Assisted Cycles = jízdní kola s pomocným elektrickým pohonem). V aktuální verzi s označením EN 15194:2017 existuje i v českém jazyce.

V ČR je dále k legislativě elektrokol přiřazována také vyhláška č. 341/2014 Sb. o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel

na pozemních komunikacích. Těto vyhlášce je však z právního hlediska nadřazeno výše zmíněné nařízení č. 168/2013.

### 2.2.1.1 Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 168/2013

Jak již bylo výše uvedeno silniční provoz elektrokol se řídí nařízením č.168/2013.

*„Toto nařízení se vztahuje na všechna dvoukolová a tříkolová vozidla a čtyřkolky spadající do kategorií uvedených v článku 4 a v příloze I (dále jen „vozidla kategorie L“), jež jsou určeny k provozu na veřejných komunikacích, včetně těch, jež jsou zkonstruovány a vyrobeny v jedné nebo více etapách, a na systémy, konstrukční části a samostatné technické celky, jakož i díly a zařízení, zkonstruované a vyrobené pro taková vozidla.“*  
(5, čl. 2., od. 1.)

*„Toto nařízení se nevztahuje na tato vozidla:*

*a) vozidla s maximální konstrukční rychlostí nepřekračující 6 km/h*

*g) vozidla určená především pro využití v terénu a zkonstruovaná pro jízdu na nezpevněném povrchu.“* (5, čl. 2., od. 2.)

Z toho vyplývá, že z homologace jsou vyjmuta terénní elektrokola tzv. e- Mountainbike. Pro e-MTB neexistují žádná omezení z hlediska výkonu elektromotoru a maximální rychlosti, a to za předpokladu, že jsou výrobcem označena pro jízdu v terénu. Tato kola také obvykle nesplňují pravidla používání na pozemních komunikacích z hlediska povinné výbavy kol.

*h) „šlapací jízdní kola s pedály, která jsou vybavena přidavným elektrickým motorem s maximálním trvalým výkonem nižším nebo rovným 250 W, jehož motor je vyřazen z činnosti, jestliže cyklista přestane šlapat, a jinak je jeho výkon postupně snižován až do vyřazení motoru z činnosti, dokud rychlost vozidla nedosáhne 25 km/h.“*

(5, čl. 2., od. 2.)

To znamená, že dopomoc elektromotoru může být aktivovaná pouze tehdy, když jezdec aktivně šlape. Z klidového stavu může elektromotor uvést elektrokolo do rychlosti 6 km/h. Tato rychlost představuje speciální režim, který slouží v situaci, kdy jezdec elektrokolo vede. Slouží k usnadnění manipulace s elektrokolem.



### 2.2.1.2 ČSN EN 15194 Jízdní kola – Jízdní kola s pomocným elektrickým pohonem – Jízdní kola EPAC

*„Tato evropská norma uvádí požadavky na jízdní kola s pomocným elektrickým pohonem (EPAC).*

*Tato evropská norma byla vypracována jako reakce na celoevropskou poptávku. Jejím cílem je poskytnout normu pro posuzování typu jízdních kol s pomocným elektrickým pohonem, která jsou vyloučena ze schvalování typu podle směrnice EU číslo 168/2013. „ (6, s.10)*

Dále tato norma např. specifikuje elektrické požadavky na elektrický obvod, baterie, nabíječky, elektrické kabely a spoje, dále výkon, maximální rychlost apod.

Všichni výrobci elektrokol, kteří dodávají své výrobky na evropský trh, jsou vázáni tuto normu dodržovat. Pokud je výkon nebo rychlost elektrokola vyšší, než norma určuje, nejedná se již o elektrokolo, ale např. o vozidlo spadající do kategorie L1 e-A – motokolo nebo kategorie L1 e-B – dvoukolový moped.

### 2.2.1.3 Vyhláška č. 341/2014 Sb. o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích

Vyhláška č. 341/2014 Sb. se z hlediska elektrokol jako dopravních prostředků zabývá jejich právy a povinnostmi při zařazení do provozu na pozemních komunikacích, a to z pohledu elektrokola jako nemotorového vozidla a elektrokola jako motorového vozidla.

V této vyhlášce jsou mimo jiné stanoveny technické požadavky na jízdní kola vybavené pomocným motorem.

*„Jízdní kolo může být vybaveno dodatečně pomocným motorkem, jestliže*

- c) výkon motorku nepřesáhne 1 kW*
- e) Max. konstrukční rychlost nebude vyšší než 25 km/h a*
- f) Montáž pohonného systému – motor, nádrž paliva nebo akumulátor na jízdní kolo si nevyžádá zásah na jeho nosných částech.*

*Pokud vozidlo splňuje všechny výše uvedené požadavky, považuje se pro potřeby této vyhlášky nadále za jízdní kolo.“ (7, př. č. 12 C bod 8).*

V bodě c) je sice uveden výkon motoru nepřesahující 1 kW (tato hodnota byla původně vymezena kvůli přídatným spalovacím motorům na kolo), čehož někteří provozovatelé

ilegálních vozidel tohoto typu využívají, jenže je nutné si uvědomit, jak bylo již výše zmíněno, že vyhláška č. 341/2014 Sb. je právně podřízená nařízením č. 168/2013 a platí tedy omezení výkon motoru nepřesahující 250 W. Navíc Ministerstvo dopravy ČR uvedlo, že každé vozidlo s dodatečně vybaveným pomocným motorem vyšším než 250 W spadá do kategorie vozidel L1 e-A.

*„Pro účely této vyhlášky se jízdním kolem dále rozumí i jízdní kola s pedály, která jsou vybavena přídatným elektrickým motorem dle přímo použitelného předpisu Evropské unie upravujícího schvalování dvoukolových a tříkolových vozidel a čtyřkolek a dozor nad trhem.“ (7, př. č.12 C bod 10)*

Z výše uvedeného vyplývá, že je nutné rozlišit elektrokolo s dodatečně namontovaným pomocným motorem, který lze kdykoliv odstranit. V tomto případě se elektrokolo i nadále považuje za jízdní kolo. V opačném případě, kdy provedení elektrokola neodpovídá vymezením vyhlášky č. 341/2014 Sb., tak je toto elektrokolo označováno za motorové vozidlo a podléhá vymezením ze zákona č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích, která zahrnují např. registraci vozidla a příslušné řidičské oprávnění.

### **Vybrané země EU**

Ve všech zemích EU platí již výše zmíněné nařízení č. 168/2013 a norma EPAC. Některé země EU však doplňují tato nařízení také vlastními specifickými pravidly a povinnostmi v provozu elektrokol.

### **Velká Británie**

Ve Velké Británii je povoleno elektrokolo typu pedelec využívat od 14 let. Elektrokolo typu S-pedelec zde nemá zvláštní jiná pravidla odlišná od těch evropských (8).

### **Švýcarsko**

Tato země sice nepatří do EU, ale v legislativě elektrokol se význačně od evropských nařízeních neliší. V EU není věkové omezení pro jízdu na pedalecu, naopak ve Švýcarsku je věkový limit jezdců min. 14 let, a to pouze za předpokladu, že je vlastníkem řidičské licence skupiny M a od 16 let je jízda bez omezení (9). Dalším rozdílem je nutnost mít sjednané povinné pojištění odpovědnosti.

Ohledně elektrokol typu S-pedelec jsou zde také odlišnosti. Ve Švýcarsku je omezen výkon motoru max. 1000 W a stejně jako u typu pedelec je zde věková hranice 14-16 let,

kdy jezdec musí být držitelem řidičské licence skupiny M a od 16 let bez omezení (9). Dále je nutné využívat cyklostezky stejně jako u typu pedelec, pokud jsou k dispozici. A v neposlední řadě musí S-pedelec mít žlutou poznávací značku a platnou dálniční známku (9).

### **Norsko**

Norsko přijímá stejná pravidla provozu elektrokol jako ostatní země EU s jediným rozdílem. Norské zákony a norská agentura pro životní prostředí zakazují používání elektrokol v chráněných přírodních oblastech jako jsou Jotunheimen, Rodane apod., mimo jiné kvůli divokým sobům (10).

### **Nizozemsko**

Obecně podle evropských zákonů je nutností na elektrokole typu S-pedelec používat motocyklovou helmu. V Nizozemsku vyvinula společnost NEN helmu typu NTA 8766 a od roku 2017 je zde na výběr klasická motocyklová helma a již zmíněná certifikovaná helma (11). Dále S-pedelec může v určitých případech na cyklostezky.

### **Dánsko**

Dánsko vymezuje jiná pravidla pro S-pedelec. Tento typ elektrokol může využívat cyklostezky a od 15 let není nutný pro jízdu řidičský průkaz, jezdec má pouze povinnost mít helmu po celou dobu jízdy. S-pedelec dále nemusí mít poznávací značku (11).

### **Belgie**

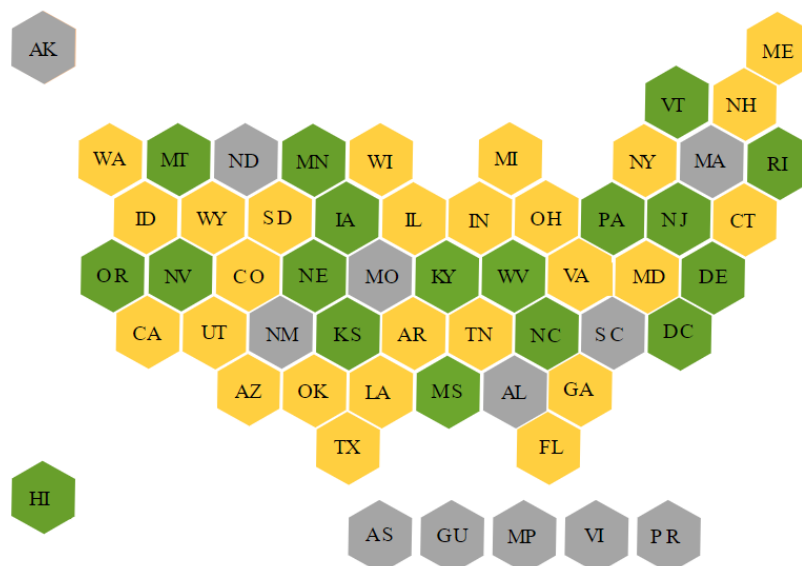
Ohledně S-pedeleců se Belgie v některých případech liší od EU. Jezdci mohou mít při jízdě cyklistickou helmu místo motocyklové. Ministerstvo dopravy zavedlo specifickou poznávací značku, která začíná písmenem S a je menší než pro moped (11). Také se na S-pedelec mohou v určitých případech, které stanoví pověřený orgán silniční správy, vztahovat stejná pravidla jako pro běžná jízdní kola, což znamená, že mohou ojediněle využívat cyklostezky (11).

## 2.2.2 Legislativa v USA

V USA se legislativa elektrokol značně liší od legislativy v EU. Na elektrická jízdní kola a tříkolky je zde pohlíženo jako na spotřební výrobky. Federální zákon o bezpečnosti a ochraně spotřebitele (CPSA) z roku 2002 přijatý Kongresem stanovuje definici elektrického kola jako dvoukolového a tříkolového vozidla s plně ovladatelnými pedály a elektromotorem o výkonu nižším než 750 W, jehož maximální rychlost na zpevněné rovné ploše je nižší než 32 km/h, pokud je ovládáno jezdce o hmotnosti 77 kg (12). Tento zákon tedy odlišuje elektrokola, která vyvíjí max. rychlost 32 km/h od mopedů, motocyklů a motorových vozidel. Elektrokola splňující výše uvedený federální zákon jsou dále regulována Komisí pro bezpečnost spotřebitelských výrobků (CPSC) a musí odpovídat bezpečnostním normám pro jízdní kola (13). Z toho vyplývá, že výroba a první prodej elektrokol je sice záležitostí federální vlády, ale následující povinnosti jako dopravní předpisy, poznávací značky apod. jsou v plné kompetenci států. Dochází k tomu, že mnoho států má různé zákony ohledně provozu elektrokol, v některých státech konkrétní definice elektrokol chybí a mohou být zahrnuty do vozidel typu motokol nebo mopedů.

### 2.2.2.1 Třístupňový systém

Třístupňový systém klasifikuje elektrokola do tří skupin především podle rychlosti (12). Tento systém byl vytvořen 26 státy USA, spadají do něho státy Arizona, Arkansas, Kalifornie, Colorado, Connecticut, Florida, Georgia, Idaho, Illinois, Indiana, Louisiana, Maine, Maryland, Michigan, New Hampshire, New York, Ohio, Oklahoma, Jižní Dakota, Tennessee, Texas, Utah, Virginie, Washington, Wisconsin a Wyoming (12).



	definují e-bike
	definují e-bike a třístupňový systém
	bez definice

Obr. 4 Grafická mapa států USA, které definují elektrokolo převzato a upraveno z (12)

1. Třída – motor kola poskytuje podporu během šlapání jezdce, po dosažení rychlosti 32 km/h se vypíná (12).
2. Třída – motor kola je výhradě použit k pohánění kola a po dosažení rychlosti 32 km/h neposkytuje podporu (12).
3. Třída – motor kola poskytuje podporu během šlapání jezdce, po dosažení rychlosti 45 km/h se vypíná, motor je vybaven rychloměrem (12).

Některé státy uznávají pouze dvě třídy elektrol. Např. Západní Virginie stanovuje zákonně pouze třídu jedna a třídu tři. Některé státy naopak neuznávají ani jednu třídu z výše uvedených (12).

### Vybrané státy USA

Jak již bylo výše popsáno více než polovina států USA se řadí do skupiny uznávající třístupňový systém rozdělení elektrol, a tudíž v nich platí stejná pravidla, ale existují i určité odlišnosti. Ohledně povinnosti nosit ochranou přilbu nejsou jednotlivé státy

jednotné, a to především v otázce věkové hranice. Obecně je možné s elektrokolem využívat cyklostezky, ale opět existují v některých státech výjimky. V případě administrativních záležitostí vyžadují všechny státy tohoto systému, aby bylo elektrokolo označeno příslušným štítkem, který uvádí číslo kategorie, do které elektrokolo spadá, nejvyšší rychlost a výkon motoru. V neposlední řadě není pro provoz elektrokola vyžadován řidičský průkaz.

Ve státech, které rozdělují elektrokola pouze na dvě skupiny, a dále ve kterých elektrokolo spadá do skupiny motorových vozidel, se řídí jinými pravidly.

### **Utah**

Utah spadá do skupiny států rozdělující elektrokola do tří kategorií. Mají zde však platnost některá nařízení, které jsou specifická pouze pro tento stát. Elektrokola jsou zde jako u většiny států povolena na cyklostezkách a všude tam, kam mohou běžná jízdní kola, ale existují výjimky jako jsou indiánské rezervace, některá města např. Park City, kde jsou elektrokola obecně zakázána na cyklostezkách (12). Utah je také jedním ze států, které nedávno zrušily povinnost registrace a licence elektrokol (12). Elektrokola musí být opatřena štítkem s klasifikačním číslem, nejvyšší rychlostí a výkonem motoru. Jezdci mladší 18 let jsou povinni nosit při jízdě helmu (13).

### **Texas**

Na Texas se vztahují všechny povinnosti jako na státy třístupňového systému. Existují zde však odlišnosti ohledně povinnosti nošení helmy. Texaský zákon o motocyklových helmách udává povinnost nošení helmy pro jezdce mladší 21 let (12). Cyklisté, kteří získají lékařskou výjimku, jsou osvobozeni od povinnosti nošení helmy.

### **New Jersey**

New Jersey je jedním z menší skupiny států, které rozdělují elektrokola do dvou kategorií. První kategorie jsou stejně jako u 1. třídy třístupňového systému elektrokola, jejichž max. rychlost je 32 km/h a stejně jako ve třístupňovém systému, tak i v tomto systému není povinnost registrace, licence a pojištění elektrokol. Druhá kategorie zahrnuje kola, která nazývá motorovými koly, jde o elektrokola jejichž max. rychlost je 45 km/h (12). Tato vozidla mají povinnost registrace u státní komise pro motorová vozidla a pojištění (12). Jezdec musí být držitelem odpovídající řidičské licence s min. věkovou hranicí 15 let (12). Jezdec mladší 17 let musí mít při jízdě helmu.

## **Havaj**

Havaj se řadí do států přijímajících třístupňový systém. Jezdci mladší 16 let jsou povinni nosit při jízdě helmu. Na Havaji je povinnost pro provoz elektrokola registrace a také je od majitele vyžadováno zaplacení jednorázového poplatku 30 \$ (13). Majitelé normálních jízdních kol jsou povinni svá kola také registrovat a zaplatit poplatek 15 \$ (13). Havajský zákon dovoluje elektrokola využívat v podstatě všude, protože přesně neudává, kde je vymezeno se s elektrokoly pohybovat.

## **Colorado**

Colorado patří do skupiny států, které rozdělují elektrokola do třístupňového systému. Pro provoz elektrokola je vyžadováno, aby bylo opatřeno štítkem, který uvádí číslo kategorie, do které elektrokolo spadá, nevyšší rychlost a výkon motoru (12). Elektrokolo zde může využívat cyklostezky. Pro jezdce mladší 18 let je nutností mít helmu, ale pouze u elektrokol 3. třídy (12).

## **Alabama**

Alabama nespadá do seznamu států, které klasifikují elektrokola do tří tříd, a ani do států, které rozdělují elektrokola na dvě skupiny. Elektrokola jsou zde definována jako motorová vozidla, a proto jsou zde požadavky jako registrace a pojištění elektrokola. Pro jízdu je nutné vlastnit řidičské oprávnění skupiny M a je dále vyžadována helma u jezdců mladších 16 let (12).

## **2.3 Elektropohon a jeho části**

Každé elektrokolo se skládá z motoru, baterie, řídicí jednotky a snímačů.

### **2.3.1 Pohon elektrokola**

Nejčastějším typem pohonu v elektrokolech je stejnosměrný bezkartáčový motor, jehož výkon je v souladu s nařízením platné legislativy max. do 250 W a napětím 24 V či 34 V (1). Na dnešních elektrokolech jsou nejčastěji instalovány tři varianty elektromotoru, které se z hlediska jejich uložení na elektrokole rozdělují na: středové, s nábojem v předním kole a s nábojem v zadním kole.

### **Středový pohon**

Motory se středovým pohonem jsou uloženy v oblasti středové osy kola. Systémy se středním pohonem obsahují snímače převodů, které snižují výkon motoru při změně rychlosti za účelem, aby nedošlo k přetržení řetězu (14). Toto umístění zajišťuje ideální rozložení hmotnosti elektrokola. Středový pohon má také úsporný charakter díky volbě optimálních otáček motoru, díky tomu dosahuje dlouhých dojezdů. Tento typ pohonu se hodí téměř do všech typů elektrokol.

### **Výhody**

Středový pohon je vhodný do nejnáročnějších terénů např. pro těžká a dlouhá stoupání (14). Má optimální těžiště díky umístění motoru ve spodní středové části elektrokola. Vyniká nejvyšší dostupnou výkonností motorů a svojí úsporností.

### **Nevýhody**

Obecně má kratší životnost převodových částí než nábojové pohony (14). Je také více citlivý na přesné seřízení přehazovačky a řazení (14).



Obr. 5 Umístění středového pohonu převzato a upraveno z (14)

### **Nábojové pohony**

Nábojové pohony jsou umístěny mimo řetězový pohon kola, díky tomu neopotřebovávají převodové části elektrokol, jako je tomu u středových pohonů (14). Největší předností těchto pohonů je malá pravděpodobnost prokluzování v terénu, díky téměř ideálnímu přenosu točivého momentu. Nábojové pohony jsou instalovány buď v předním náboji, anebo v zadním náboji elektrokola.



### **Pohon v předním náboji**

Tento typ nábojového pohonu není dnes již tak oblíbený hlavně pro převažující nevýhody. Občas je možné se s tímto typem setkat díky nízkým cenovým hladinám a také pro nejjednodušší umístění na elektrokole z hlediska montáže. Je vhodný spíše pro městská nebo treková elektrokola, u kterých se nepředpokládá provoz v členitých terénech, ale především na zpevněných cestách a silnicích (14).

### **Výhody**

Pohon s náboji v předním kole se vyznačuje nižšími cenami než pohon v zadním náboji a středový pohon (14). Má rovnoměrné rozložení hmotnosti, pokud je baterie umístěna na nosiči nebo za sedlem.

### **Nevýhody**

Tento typ pohonu se rychleji opotřebovává a hůře ovládá v zatáčkách z důvodu zatížení předního kola (1). Má menší citlivost při dávkování výkonu motoru, protože zde chybí tlakový snímač. Může u něj dojít k proklouznutí předního kola. Má vyšší spotřebu energie než středový pohon (14).



Obr. 6 Umístění pohonu v předním náboji převzato a upraveno z (14)

### **Pohon v zadním náboji**

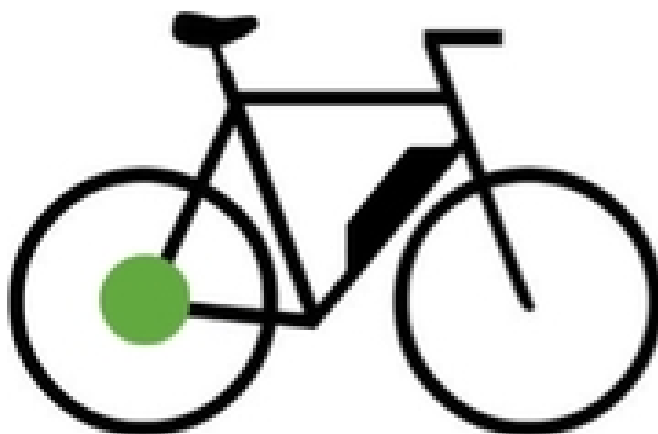
Tento typ pohonu je rozšířenější než předchozí typ. Při jízdě po členitějším terénu je důležité, aby elektrokolo bylo dostatečně zatížené, a to právě zajišťuje umístění pohonu do zadní části elektrokola (1). A především proto je tento typ pohonu typický pro horská kola. Také není pravděpodobné, že by kolo mělo tendenci prokluzovat, jako tomu bylo u předchozího typu.

### **Výhody**

Hlavní předností je cenová dostupnost, proto je jedním z nejpoužívanějších typů pohonu na trhu. Disponuje dostatečným výkonem a má dobrý přenos síly na vozovku ve stoupání (14). Předností je také levný servis.

### **Nevýhody**

Díky umístění pohonu v zadní části kola je zde nerovnoměrné rozložení hmotnosti. Má také vyšší spotřebu energie oproti středovému motoru a tím má kratší dojezdy.



Obr. 7 Umístění pohonu v zadním náboji převzato a upraveno z (14)

## **2.3.2 Baterie**

Druhou nejdůležitější komponentou elektrokola je baterie. Dnešní rozšíření elektrokol je způsobeno pokroky v oblasti baterií, především snižování jejich hmotnosti vzhledem ke kapacitě (1).

### **Nejdůležitější parametry baterie**

#### **Kapacita baterie**

Kapacita je celkový náboj, který může baterie při vybíjení vydat, než její napětí poklesne na nejnižší přípustnou hodnotu (1). Jednotka pro kapacitu používaná v oblasti elektrokol je ampérhodina (Ah) (1).

#### **Vybíjecí charakteristika**

Dalším důležitým parametrem baterie je její vybíjecí charakteristika při určitém vybíjecím proudu. Doba vybíjení se prodlužuje za předpokladu, že se snižuje vybíjecí proud (1).

### **Kapacita/hmotnost**

Jednotka je Ah/kg, případně mAh/g. Technický pokrok ve vývoji baterií umožnil zvětšování poměru této veličiny, a to přispělo k nižší hmotnosti a robustnosti elektrokol. Díky pokroku ve vývoji baterií klesla hmotnost mnohých elektrokol pod 20 kg (1).

### **Dojezd elektrokola**

Tento faktor úzce souvisí s bateriemi, často je milně obchodníky uváděn jako kapacita, ale ve skutečnosti se nejedná o veličinu, ale o orientační údaj, který udává určitou představu o dojezdu elektrokola, na který má vliv ještě několik faktorů. Dojezd elektrokola na jedno nabití baterie lze získat součinem dvou základních parametrů baterie:

$$\text{kapacita (Ah)} * \text{napětí (V)} = \text{energie (Wh)} \quad \text{Rovnice 1 (1, s. 31)}$$

### **Umístění baterie**

Baterie se nejčastěji ukládají do vodotěsných ochranných pouzder, které mají různé tvary odvíjející se především od umístění na elektrokole (1). Umístění baterií také z určité části souvisí s umístěním pohonu.

### **Baterie plně integrovaná ve spodní rámové trubce**

Toto umístění baterie je výhodné pro optimální rozložení hmotnosti a optimálního těžiště elektrokola (14). Baterie má zvýšenou ochranu proti nepříznivým vlivům. Díky uložení je baterie poměrně obtížně vyměnitelná.



Obr. 8 Umístění baterie ve spodní rámové trubce převzato a upraveno z (14)

### **Na spodní rámové trubce**

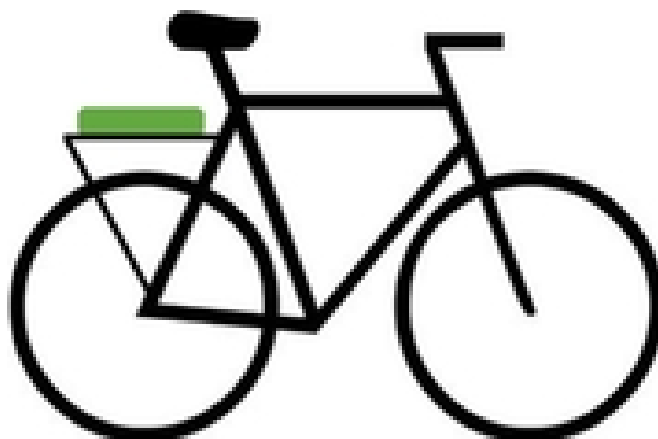
Umístění baterie na spodní rámové trubce je předchůdcem uložení baterie ve spodním rámu. Toto umístění má v podstatě stejné výhody jako baterie uvnitř spodního rámu, ale např. při pádu má jen částečnou ochranu proti poškození.



Obr. 9 Umístění baterie na spodní rámové trubce převzato a upraveno z (14)

### **Na zadním nosiči**

Baterie umístěná na zadním nosiči shledává výhodu v jednoduchém spojení s motorem a kompatibilitě s běžným řazením převodů (14). Výhoda je také v nízké ceně. Hlavní nevýhodou je však nerovnoměrné rozložení hmotnosti, kdy je značně odlehčené přední kolo (14).



Obr. 10 Umístění baterie na zadním nosiči převzato a upraveno z (14)

### **Za sedlovou rámovou trubkou**

Baterie za sedlovou rámovou trubkou je výhodně umístěná pro optimální rozložení hmotnosti. Výhodou je také nízká cena. Pokud je baterie ve spojení s motorem je hlavní nevýhodou robustnost elektrokola a těžší manipulace především při zatáčení (14).



Obr. 11 Umístění baterie za sedlovou rámovou trubku převzato a upraveno z (14)

### **Rekuperace energie**

Rekuperace je pojem často spojovaný s elektrokoly, jedná se v podstatě o zpětné dobíjení baterie. Elektromotor při rekuperaci nespotřebovává energii, ale stává se z něho generátor, který poskytuje energii baterii (1). Rekuperace se využívá při brždění motorem nejčastěji při jízdě z kopce. Běžná elektrokola jsou schopna dobíjením baterie zvýšit dojezd max. o 2-4 %, takové hodnoty jsou v podstatě zanedbatelné. Systémy s rekuperací, která umožňuje prodloužit dojezd až o 15 %, jsou využívány u dražších systémů (15).

#### **2.3.3 Řídící jednotka (kontrolér)**

Řídící jednotka propojuje všechny důležité komponenty a je v podstatě mozkiem celého elektrokola. Hlavním úkolem řídicí jednotky je řízení otáček elektromotoru a rozdělování energie v baterii elektrokola. Mimo tyto činnosti má řídicí jednotka na starosti také operace jako přijímání informací o frekvenci šlapání, o aktuálním dodávaném výkonu asistence, zobrazování údajů ze snímačů např. tepové frekvence apod (16). Řídící jednotkou lze také přepínat jízdní režimy, které mají 3-5 úrovní asistence a lze také využít režim celkového vypnutí pomocí motoru. Kontrolér je vybavený 8-bitovým

mikroprocesorem a je dvojího typu, buď jsou ovládací tlačítka součástí zobrazovací jednotky nebo je ovládací panel a zobrazovací část umístěna odděleně (16).

#### 2.3.4 Snímače

Snímače jsou důležitou součástí elektrokola, protože dodávají řídicí jednotce informace o tom, jestli jezdec aktivně šlape a pokud ano jakou frekvencí. Jsou důležité z hlediska rozdělování výkonu motoru, které musí být v elektrokole velmi přesné. Existují dva druhy snímačů.

##### **Magnetický PAS snímač**

Tento snímač je jednodušší a jeho úlohou je informovat řídicí jednotku o tom, zda se pedály otáčejí nebo ne. Snímač je umístěn na klíce s převodníkem a skládá se z několika magnetů, které jsou umístěny na pedálech a společně s nimi se otáčejí (1). Snímač zaznamená aktivitu až přibližně po půl otáče pedálů (do té doby jezdec šlape sám) a následně předává informaci řídicí jednotce a ta aktivuje motor. Čím více je v systému magnetů a čím blíže jsou u sebe umístěny, tím je snímač přesnější a citlivější (1).

##### **Torzni (tenzometrický) snímač**

Tento druh je pokročilejší než magnetický snímač. V zásadě informuje řídicí jednotku o dvou údajích, a to o frekvenci šlapání jezdce a o síle, která je na pedály vyvíjena (1). Torzní snímač se aktivuje okamžitě při začátku jízdy a deaktivuje se ihned po skončení jízdy. Je výhodný v kopcovitých terénech, kde se intenzita šlapání často mění, tím je dodávaný výkon motoru vyšší. Naopak pokud jezdec jede po rovinném terénu nebo z kopce, motor asistuje velmi málo, díky tomu dochází k úsporám energie v baterii, a tím se prodlužuje celkový dojezd (1). Tlakový snímač je umístěný do středové osy kola.

## 2.4 Využití elektrokol

Člověk je stvořen k fyzickému pohybu. V dnešní moderní společnosti je potřeba fyzické aktivity stále nižší, především díky způsobu práce, který je nejčastěji spojen s minimem fyzické námahy. Proto ve vyspělých zemích populace trpí tzv. civilizačními chorobami, mezi které se řadí kardiovaskulární onemocnění, diabetes mellitus II. typu a některé druhy

onkologických onemocnění. V důsledku toho je potřeba, aby byla fyzická aktivita záměrně zařazena do běžné rutiny (života) a civilizačním chorobám se touto cestou částečně předcházelo.

Fyzická aktivita je definována jako jakýkoliv tělesný pohyb vyvolaný kosterními svaly a vede k podstatnému zvýšení kalorických požadavků na klidový výdej energie. Cvičení je plánovaná, strukturovaná a opakující se fyzická aktivita prováděna za účelem udržení nebo zlepšení fyzické zdatnosti (17).

Intenzita, frekvence, trvání a typ pohybové aktivity jsou základními faktory, které společně představují objem, zátěž a rozsah fyzické aktivity (17).

**Faktory fyzické aktivity** – níže popsané faktory fyzické aktivity vychází z doporučených hodnot American College of Sport Medicine (ACSM) a jsou příznivé pro udržení fyzické kondice, snížení rizika poškození pohybového aparátu, eliminace nežádoucích kardiovaskulárních příhod apod (19).

### **Intenzita**

Intenzita fyzické aktivity je pravděpodobně nejdůležitějším faktorem, který je nutné sledovat během provádění konkrétní fyzické aktivity.

Pro stanovení relativní intenzity fyzické aktivity existuje několik metod:

1.  $VO_{2max}$  – (spotřeba kyslíku) udává maximální množství kyslíku, které je možné využít za 1 minutu na kilogram tělesné hmotnosti. Klidová hodnota  $VO_2$  je 3,5 ml/kg/min (18).
2.  $VO_2R$  – (rezerva absorpce kyslíku) je rozdílem mezi  $VO_2 max$  a klidovým  $VO_2$ .

$$VO_2 = ([VO_{2max} - VO_{2klid}] * \% intenzita) + VO_{2klid} \text{ Rovnice 2 (18, s. 384)}$$

3. SF – (srdeční frekvence) nejjednodušší metoda pro doporučení vhodné fyzické aktivity. Existuje několik způsobů, jak získat hodnotu SF. Ve většině případů se SF získává provedením některého ze zátěžových testů např. spiroergometrické vyšetření viz. níže.

Další metodou, jak získat hodnotu SF je vypočítat rozdíl mezi klidovým SF a  $SF_{max}$

$$SF = SF_{max} * \%intenzity \quad \text{Rovnice 2 (18, s. 381)}$$

$$SF = (SF_{klid} * \%intenzity) + SF_{klid} \quad \text{Rovnice 3 (18, s. 381)}$$

SF se ojediněle přímo neměří, ale odhaduje se pomocí predikčních rovnic. Nejběžnější užívaná rovnice pro odhadnutí maximální srdeční frekvence ( $SF_{max}$ ) je:

$$SF_{max} = 220 - věk \pm 12 \text{ tep/min.} \quad \text{Rovnice 4 (19, s.1342)}$$

Tento vzorec byl v roce 1971 zaveden a přijat komunitou v oblasti zdraví a sportu. Tato rovnice však není přesná, protože  $SF_{max}$  se významně liší u lidí ve stejném věku. Navíc vykazuje standartní odchylku přibližně 12 tep/min. Dalším problémem je že vzorec často nadhodnocuje (přeceňuje)  $SF_{max}$  u mladších dospělých a naopak podceňuje  $SF_{max}$  u starších dospělých.

V důsledku těchto nesrovnalostí byly vyvinuty další rovnice:

Tanakova rovnice (vhodná pro zdravé muže a ženy):

$$SF_{max} = 208 - (0,7 \times věk) \quad \text{Rovnice 5 (18, s. 382)}$$

Gelishova rovnice (vhodná pro široké rozpětí fyzických aktivit a věkových úrovní pro muže i ženy):

$$SF_{max} = 207 - (0,7 \times věk) \quad \text{Rovnice 6 (18, s. 382)}$$

Gulatiho rovnice (vhodné pro asymptomatické ženy středního věku doporučené pro zátěžové testy):

$$SF_{max} = 206 - (0,88 \times věk) \quad \text{Rovnice 7 (18, s. 382)}$$

4. HRR – heart rate reserve je rozdíl mezi  $SF_{max}$  a klidovým SF

$$HRR = SF_{max} - SF_{klid} \quad \text{Rovnice 8 (18, s. 381)}$$

5. Metabolický ekvivalent (MET) – je metoda určující poměr metabolického výdeje během fyzické aktivity ku klidovému metabolickému výdeji. MET se udává v kcal/kg/čas. (3)



Pomocí metabolického ekvivalentu se popisuje absolutní intenzita různých fyzických aktivit. Fyzická aktivita se pomocí metabolického ekvivalentu rozděluje na lehkou, střední a intenzivní intenzitu.

MET-minute – energetický index určující celkové množství prováděné fyzické aktivity (19). Vypočítá se jako součin MET dané fyzické aktivity a počtu minut, při kterých byla fyzická aktivita prováděna (MET\*minutes)

Např. Jízda na kole 8 MET za 30 min = 8x30x3krát za týden = 720 MET/min/týd.

Intenzita	VO <sub>2</sub> R(%), HRR(%)	SF <sub>max</sub> (%)
Velmi nízká	<20	<50
Nízká	20-39	50-63
Střední	40-59	64-76
Silná	60-84	77-93
Velmi silná	≥85	≥94
Maximální	100	100

Tab. 1 Rozdělení intenzity fyzické aktivity podle VO<sub>2</sub>R a SF<sub>max</sub> převzato a upraveno z (18)

### **Pásma intenzity fyzické aktivity**

Pásmo I – intenzita zátěže v tomto pásmě je pod anaerobním prahem (20). Provádí se za účelem zlepšení aerobního metabolismu jedince. Je využíváno např. v plavání, cyklistice, běhu na lyžích, obecně ve sportech, kde je přísun kyslíku zásadní pro výkon (20). Běžný rozsah intenzity zatížení je v tomto pásmu pro VO<sub>2max</sub> 50-70 % a pro SF<sub>max</sub> 70-75 % (20).

Pásmo II – intenzita zátěže se pohybuje v oblasti kolem anaerobního prahu. Zátěž odpovídá vyšší intenzitě cvičení. Hlavním účel provádění fyzické aktivity v tomto pásmu je schopnost využití produkce kyseliny mléčné a udržení vysoké intenzity zatížení bez kumulace kyseliny mléčné (20). Rozsah intenzity zatížení se pohybuje mezi VO<sub>2MAX</sub> 75-85 % a SF<sub>max</sub> 80-93 % (20).

Pásmo III – intenzita zátěže se zde pohybuje na hranici a v oblastech anaerobního prahu. V tomto pásmu se stimuluje zvýšení max. spotřeby kyslíku, jeho přenos a lepší efektivita využití, což vede k lepšímu výkonu při fyzické aktivitě (20). Hlavním fyziologickým účelem tohoto pásma je zvýšení odolnosti vůči hromadění kyseliny mléčné a její efektivní

odstraňování z pracujících svalových tkání. Rozsah intenzity zátěže je v tomto pásmu pro  $VO_{2MAX}$  85-100 % a pro  $SF_{max}$  90(93)-100 % (20).

Pásmo IV – intenzita v tomto pásmu je maximální a pohybuje se již bezprostředně v oblastech anaerobního prahu i nad ním. V tomto pásmu se využívá velmi krátkých intervalů, rychlých a výbušných cviků, díky kterým lze dosáhnout zlepšení krátkodobé rychlostní vytrvalosti (20). Hodnoty  $VO_{2MAX}$  a  $SF_{max}$  se v oblasti tohoto pásma pohybují téměř a na 100 % (20).

### **Frekvence**

Frekvence fyzické aktivity představuje počet tréninkových jednotek vykonávaných v určitém časovém intervalu. Je doporučena střední intenzita fyzické aktivity s frekvencí 5 dní/týdně, nebo intenzivní intenzita fyzické aktivity s frekvencí 3 dny/týd. nebo kombinace obou výše zmíněných typů s frekvencí 3 dny/týd (19).

### **Trvání**

Fyzická aktivita by měla trvat v rozmezí 30-60 min/den, celkově 150 min/týd. účelné středně intenzivní fyzické aktivity, nebo 20-60 min/den, celkově 75 min/týd. intenzivní intenzity fyzické aktivity (19). Většině dospělých osob je doporučována kombinace střední a intenzivní fyzické aktivity denně. Méně než 20 min/den, celkově méně než 150 min/týd. fyzické aktivity je přínosné spíše pro osoby se sedavým způsobem života (19).

### **Typ fyzické aktivity**

Rozlišují se 3 typy fyzické aktivity: vytrvalostní (aerobní), rychlostní a silový. Vytrvalostní (aerobní) typ se metabolicky pohybuje pod anaerobním prahem s dostatečným přísunem kyslíku (21). Rychlostní typ se metabolicky pohybuje v pásmu nad anaerobním prahem s omezeným přísunem kyslíku (21). Silový typ je krátkodobá intenzivní aktivita, při které je kladen důraz na zapojení vybraných svalových skupin a vykazuje značné tlakové zatížení na kardiovaskulární systém (21).

**Objem** – je doporučen cílový objem 500-1000 MET min/týd (19).

**Vzorek** – fyzická aktivita může být prováděna v jednom trvalém úseku za den anebo v několika úsecích (relacích) po 10 minutách, aby byla dosažena požadovaná doba trvání a objem denního cvičení (19).

ACSM doporučují dospělým zdravým osobám zapojit alespoň 30 min střední intenzity fyzické aktivity rozdělených do 5 dní, celkově tedy 150 min za týden, protože v takové intenzitě je pravděpodobnost největšího množství příznivých zdravotních benefitů (17). Při střední intenzitě fyzické aktivity se podle ACSM pohybují hodnoty  $SF_{max}$  mezi 55-69 %,  $VO_2R$  40-59 % a hodnoty MET mezi 4-6 (17). Nebo ACSM doporučují 75 min za týden provádět intenzivní intenzitu fyzické aktivity, při které se pohybují hodnoty  $SF_{max}$  mezi 70-89 %,  $VO_2R$  60-89 % a hodnoty MET mezi 6-8 (17).

#### 2.4.1 Elektrokola a zdravotní benefity

Elektrokola se poslední roky těší stále větší oblibě, je tomu hlavně díky poskytované asistenci při šlapání. Bylo zjištěno, že asistence při šlapání je motivací pro začínající cyklisty a zvyšuje pravděpodobnost, že tito jedinci budou pravidelnou fyzickou aktivitou pomocí elektrokol opakovat častěji než pomocí jízdních kol (22). Elektrokola také boří fyzická omezení jedinců spojená s kopcovitým terénem, špatnou fyzickou zdatností apod., která vedou k nechuti provádět fyzickou aktivitu pomocí jízdních kol. Vzhledem k rostoucímu zájmu o elektrokola je důležité porozumět jejich potenciálu podporovat fyzickou aktivitu v doporučené střední až intenzivní intenzitě pro získání klinického přínosu a prozkoumat jejich dopad na širší zdravotní benefity. Studie *Health benefits of electrically-assisted cycling: a systematic review* posuzuje tyto konkrétní otázky: jaká je intenzita fyzické aktivity spojená s jízdou na elektrokolech a vede používání elektrokol ke zdravotním benefitům (22)? Tato studie si kladla za cíl vyhledat všechny dostupné studie, které se zabývaly podobnými otázkami ohledně poskytované intenzity při jízdě na elektrokolech a následně z nich sestavit přehled a dokázat, že elektrokola poskytují určité zdravotní benefity.

Ze studie je patrné, že největší vliv na intenzitu fyzické aktivity a následné zdravotní benefity při jízdě na elektrokole má vybraný stupeň dopomoci a terén, ve kterém se jedinci pohybují. Studie zde uvedené rozlišovaly 3 typy asistence při jízdě: vysokou, lehkou a žádnou asistenci. Terén byl rovinný a kopcovitý s různě dlouhými úseky

stoupání a klesání. Stupeň dopomoci a terén při jízdě na elektrokole měly poté hlavní vliv na výsledné naměřené parametry.

Elektrokolo									Jízdní kolo			Fyzická kondice	Jízdní vlastnosti - terén, vzdálenost (km) apod.	Studie		
SFmax (%)				MET				V02max (%)	SFmax (%)	MET	V02max (%)					
asistence				asistence				asistence								
VA*	LA+	žádná	zvolená jedinc.	VA	LA	žádná	zvolená jedinc.	zvolená jedinc.								
			74,7				8,5	51		10,9	58	aktivní jedinci	8,1 km - rovný povrch, 7,1 km 130 m převýšení	Bernsten, 2017		
												diabetes mellitus II. typu	Nespecifikace, jak a kde jezdit	Cooper, 2018		
74,5	80,3			6,1	7,3				84,6	8,2		neaktivní jedinci	5,1 km, 178 m převýšení	Gojanovic, 2011		
				6	6,6					6,4		jedinci s kardiovask. chorob.	10 km, 102 m převýšení	Hansen, 2017		
			74,9						73,3			neaktivní jedinci	Alespoň 3 dny/týd. přes 6 km	Hochsmann, 2017		
							5,1			5,8		neaktivní jedinci	4,4 km: 1,6 km (klesání 33,2 m), 1,8 km (rovný povrch), 1 km (stoupání 33,5 m)	Langford, 2017		
			79,1					66,4	80,4	68		aktivní jedinci	3,54 km, 0,64 km do kopce s 11% stoupáním	La Salle, 2017		
77,7	89,4	92,8		4,2	5,6	6,5						trénovaní jedinci		Louis, 2012		
96,8	116,8	116,7		4,3	6,2	6,7						netrénovaní jedinci				
			72,1				4,9					neaktivní jedinci	Alespoň 3 dny/týd. min. 40 min	Peterman, 2016		
67,1	69,3	73,9		5,2	5,7	6,1						neaktivní/rekreační sportovci	4,3 km rovný povrch	Simons, 2009		
			105				5,2		133	7,1		neaktivní jedinci	9,5 km = 5*1,9km, 200 m klesání, 300 m 2,58% stoupání, 700m rovný povrch	Sperlich, 2012		
min. SFmax VA (%)	min. SFmax LA (%)	min. SFmax žád. (%)	min. SFmax zvolená jed. (%)	min. MET VA	min. MET LA	min. MET žád.	min. MET zvolená jed.	min. V02max zvolená jed. (%)	min. SFmax (%)	min. MET	min. V02max (%)					
67,1	69,3	73,9	72,1	4,2	5,6	6,1	4,9	51	73,3	5,8	58					
max. SFmax VA (%)	max. SFmax LA (%)	max. SFmax žád. (%)	max. SFmax zvolená jed. (%)	max. MET VA	max. MET LA	max. MET žád.	max. MET zvolená jed.	max. V02max zvolená jed. (%)	max. SFmax (%)	max. MET	max. V02max (%)					
96,8	116,8	116,7	105	6,1	7,3	6,7	8,5	66,4	133	10,9	68					

\*VA – vysoká asistence, +LA - lehká asistence

Tab. 2 Srovnání zatížení u elektrokola a jízdního kola převzato a upraveno z (22)

Ze studie byla převzata Tab.2, ze které lze vyvodit následující. Za prvé, z hrubého porovnání elektrokola a jízdního kola je patrné, že ve všech naměřených hodnotách pro elektrokolo se zvolenou asistencí a jízdní kolo, jsou hodnoty nižší u elektrokola než u jízdního kola. Pouze v případě žádné asistence u elektrokola jsou hodnoty spodních hranic SF<sub>max</sub> a MET vyšší než u jízdního kola, to může mít vysvětlení ve faktu, že samotné elektrokolo je cca o 12 kg těžší než jízdní kolo.

Za druhé hodnoty pro samotné elektrokolo vykazují zajímavé výsledky. Při srovnání jednotlivých asistencí je patrné, že nejnižší rozmezí hodnot jedinci dosáhli při zvolené vysoké asistenci a nejvyšší hodnoty byly dosaženy při žádné asistenci.

Za třetí ve vyhodnocování výsledků nelze opomenout jízdní vlastnosti – terén a vzdálenost. Protože zde se ukazuje, že terén a ujetá vzdálenost mají zásadní význam na výsledné hodnoty. Pokud byly jedinci testováni na rovinném terénu hodnoty se pro

vysokou a lehkou asistenci pohybovaly v oblasti pásma střední intenzity fyzické aktivity. Pokud ale jedinci zdolávali určité výškové převýšení, hodnoty se dostaly i do oblasti pásma intenzivní intenzity fyzické aktivity.

Závěrem studie je tvrzení, že elektrokola poskytují doporučenou střední intenzitu fyzické aktivity s ohledem na terén a zvolenou asistenci. Na rovinném terénu lze dosáhnout střední intenzity a v kopcovitém terénu lze dosáhnout i intenzivní intenzity. Z těchto poznatků lze tedy předpokládat, že elektrokola mohou mít příznivé benefity pro zdraví. Dále také lze tvrdit, že pro neaktivní jedince s omezenými možnostmi pohybu, pro obézní jedince, pro jedince po různých chirurgických zákrocích, pro jedince trpící diabetem mellitem II. typu budou elektrokola vykazovat na rovinném terénu středních hodnot intenzity fyzické aktivity za zvolení jak vysoké, tak lehké asistence. Pro aktivní jedince už toto nelze tvrdit.

Tento celkový poznatek o elektrokolech je velmi významný, protože způsoby, jak zařadit, udržovat a zvýšit nedostatek fyzické aktivity v každodenním životě, jsou obtížné a pro většinu jedinců demotivující a nepotřebné. Elektrokola by zde tak mohla sehrát zásadní roli, protože by mohla být klíčem k vykonávání doporučované fyzické aktivity. Elektrokola jsou spojována s nižším výdejem vnímané námahy než u jízdnicích kol, což jedincům potenciálně umožňuje využívat elektrokola častěji nebo delší dobu. Díky tomu jsou elektrokola pro mnoho jedinců motivátorem k fyzické aktivitě už dnes, a s nárůstem většího povědomí by se mohla zařadit do běžného života více lidem. Možným způsobem, jak zařadit vykonávání fyzické aktivity pomocí elektrokol je aktivní dojíždění do zaměstnání, které je každodenní nezbytnou součástí většiny lidí. Takový způsob dojíždění je jednou z nejlepších možností, jak být aktivní bez ztráty volného času, který většina jedinců nechce „obětovat“ k vykonávání fyzické aktivity. Aktivním dojížděním do zaměstnání pomocí elektrokol se zabývala studie *Electric bicycles as a new active transportation modality to promote health*, která porovnávala dojíždění do zaměstnání pomocí chůze, pomocí elektrokol s vysokou asistencí a se střední asistencí a pomocí jízdnicích kol (23). Vzdálenost trasy byla cca 5 km převážně do kopce s výškovým rozdílem 178 m. Výsledky ukázaly, že hodnoty MET a  $VO_{2max}$  pro elektrokola s vysokou asistencí se příliš neliší od chůze. Výhodou však je, že daná vzdálenost je překonána rychleji pomocí elektrokol. Pokud se jednalo o hodnoty naměřené během jízdy na elektrokolech se střední asistencí hodnoty MET a  $VO_{2max}$  byly výrazně vyšší než u elektrokol s vyšší asistencí, ale naopak byly nižší než hodnoty při jízdě na jízdnicích kolech. V průměru hodnoty dosažené při chůzi a při jízdě na elektrokole

s vysokou asistencí byly v oblasti střední intenzity fyzické aktivity, hodnoty při jízdě na elektrokole se střední asistencí byly v oblasti střední až intenzivní intenzity fyzické aktivity a hodnoty při jízdě na jízdních kolech byly v oblasti intenzivní intenzity fyzické aktivity (23). Takové zjištění opět dokazuje, že intenzita, která je dosažena při jízdě na elektrokole je dostatečná pro dosažení doporučených hodnot střední intenzity fyzické aktivity, která poskytuje mnoho zdravotních benefitů.

## 2.4.2 Využití elektrokol v rehabilitaci

Rehabilitace je proces obnovy tělesného a duševního života jedinců po nemoci, úrazu, je také proces zmírnění trvalých následků nemoci nebo úrazu pro život a práci člověka (24). *„Hlavním cílem rehabilitace je co nejvíce minimalizovat přímé důsledky trvalé nebo dlouhodobé disability (zdravotního postižení), tedy optimálně se přiblížit fyziologické normě individuálnímu stavu před úrazem, onemocněním.“* (24, s. 16)

Elektrokola, jak výše uvedený text dokazuje, poskytují střední intenzitu fyzické aktivity při zvoleném stupni lehké i vyšší hodnoty asistence při jízdě po rovinném terénu, což je důležitý poznatek, protože v oblasti rehabilitace je taková míra intenzity žádaná. V následujícím textu budou navrženy oblasti rehabilitace, ve kterých by se elektrokola mohla jevit jako perspektivní prostředky pro využití v těchto oblastech.

### 2.4.2.1 Elektrokola v kardiovaskulární rehabilitaci

Nejčastější příčinou úmrtí ve vyspělých zemích jsou kardiovaskulární choroby (25). Mezi nejzávažnější a úmrtně nejpočetnější kardiovaskulární chorobou se považuje ischemická choroba srdeční, kterou způsobuje ateroskleróza. Ischemická choroba srdeční je hlavní příčinou infarktu myokardu.

#### **Patofyziologie infarktu myokardu**

Na podkladě dlouhodobé zánětlivé reakce vzniká ve vnitřní vrstvě tepenné stěny aterosklerotický plát, který akumuluje lipidy, monocyty a makrofágy, vápenatí a pokrývá se vazivem (25). V důsledku zvětšení objemu plátu, který brání krevnímu proudu, dochází k projevům ischemické choroby srdeční. Aterosklerotický plát je nestabilní a hrozí jeho prasknutí, pokud k této situaci dojde, stimuluje se koagulační proces, který

vede ke tvorbě trombu (25). Infarkt myokardu nastává tehdy, když trombus uzavře koronární průtok krve. Určitá oblast myokardu postrádá přívod kyslíku, což vede k nekróze srdeční tkáně.

Dlouhou dobu panovalo doporučení vyhnout se po kardiovaskulární příhodě fyzické aktivitě, ale v poslední letech však převládá názor, že řízené cvičení by mělo být součástí kardiovaskulárního rehabilitačního programu (26). Kardiovaskulární rehabilitace je program, kterým se kardiovaskulární pacienti navrací zpět do fyzického, psychického a pracovního stavu (27). Kardiorehabilitace má 4 fáze:

1. Fáze je označována jako nemocniční rehabilitace. Nastává 12-24 hodin po chirurgickém výkonu, zahrnuje vhodné cviky, které zabraňují dekonduci (27). Cílem je připravit pacienta ke každodenním aktivitám.
2. Fáze je posthospitalizační rehabilitace. Sestává ze specifické fyzické aktivity, která se nejčastěji zjišťuje zátěžovým spirometrickým testem. Tato fáze kardiorehabilitace trvá cca 3 měsíce, 3-5 v týdnu alespoň 30 min (27). Každý pacient má vlastní individuálně jinak intenzivní trénink. 2. fáze rozhoduje o potřebných změnách životního stylu a dodržování pravidel sekundární prevence (27).
3. Fáze je období stabilizace, v této fázi je nejdůležitější pravidelný trénink vhodný pro daného pacienta.
4. Fáze je udržovací, a to ve smyslu přijetí nabitých zásad fyzické aktivity a následné dodržování tohoto pohybu.

#### **2.4.2.1.1 Spiroergometrické vyšetření**

Spiroergometrické vyšetření je zátěžové vyšetření, které analyzuje vydechované plyny v klidu, během zátěže a během zotavovací fáze (28). Díky spiroergometrickému vyšetření lze posoudit kapacitu všech součástí transportního systému pro kyslík a popřípadě určit limitující faktory tohoto systému (28). Toto vyšetření je prováděno mimo jiné pro posouzení funkční zdatnosti nebo omezení vyšetřovaného, což vede ke stanovení funkčních parametrů u nemocných, zdravých osob a sportovců, u kterých dále také k posouzení efektu tréninkových cyklů. Spiroergometrické vyšetření je také důležité vyšetření kardiovaskulárních pacientů, které se provádí za účelem komplexního posouzení kardiopulmonárního systému, a především pro stanovení optimální intenzity

tréninkové zátěže pro následnou kardiovaskulární rehabilitaci (29). Spiroergometrické vyšetření standardně probíhá na bicyklovém ergometru, který je doplněn počítačem se zátěžovým softwarem, který zajišťuje správný chod zátěžového testu dle naprogramování. Pacient má přes nos a ústa nasazenou obličejovou masku, ze které je nasáván vzorek vydechaného vzduchu do speciální hadičky, která tento vzorek přivádí do analyzátoru. Při spiroergometrickém vyšetření je důležitá odpověď organismu na zvyšující se zátěž, v důsledku této reakce se hodnotí několik parametrů:

1. Ventilačně – respirační parametry:  $VO_2$  – příjem kyslíku,  $VCO_2$  – výdej oxidu uhličitého,  $VE$  – minutová ventilace složená z  $VT$  – dechového objemu a  $DF$  – dechové frekvence,  $EQO_2$  – ventilační ekvivalent pro kyslík,  $EQCO_2$  – ventilační ekvivalent pro oxid uhličitý,  $PETO_2$  – parciální tlak kyslíku na konci výdechu,  $PETCO_2$  parciální tlak oxidu uhličitého na konci výdechu,  $VE$  versus  $VCO_2$  sloupe (28)
2. Výkonnostní parametry:  $W$  – výkon
3. Kardiovaskulární parametry:  $SF$ ,  $TK$  – krevní tlak a  $VO_2/SF$  – tepový kyslík. Hodnotí se také průběh EKG křivky.

Pro kardiovaskulární rehabilitaci je z výše uvedených parametrů mimo jiné nezbytně nutné odvození ventilačních prahů, díky kterým je možné stanovit vhodnou intenzitu fyzické aktivity (tréninku). Ventilační prahy se rozdělují na dva ventilační prahy:

$VT1$  – první ventilační práh a  $VT2$  – druhý ventilační práh, které představují určitou metabolickou úroveň vyjádřenou příjmem kyslíku (29).

**$VT1$**  označuje se také jako aerobní práh, protože před dosažením  $VT1$  při nízké zátěži je energie potřebná pro svalovou práci hrazena aerobně. Po překročení  $VT1$  se zvyšují energetické nároky svalové práce a aerobní fosforylace je doplněna anaerobním metabolismem (28).

$VT1$  se stanovuje z průběhu křivek  $PETO_2$ ,  $EQO_2$ ,  $EQCO_2$  a také metodou V-sloupe (28).

**$VT2$**  se oproti  $VT1$  označuje jako anaerobní práh. Pokud zátěž narůstá nad  $VT2$  je vyčerpána kapacita aerobní fosforylace a dominantní úhradu energie pro svalovou práci zajišťuje anaerobní metabolismus (28). Po překročení  $VT2$  se téměř vyčerpají všechny zdroje energie, další zvyšování zátěže je limitováno a dochází k ukončení spiroergometrického vyšetření.  $VT2$  se stanovuje z průběhu křivek  $PETO_2$ ,  $EQCO_2$  a podle  $VE/VCO_2$  sloupe (28).



Existují dva typy zátěžových testů: první maximální zátěžový test ukončený při dosažení subjektivního maxima vyšetřovaného, druhý zátěžový test ukončený po dosažení předem stanovených finálních bodů testu. Existuje také několik zátěžových protokolů, v ČR je nejčastěji volen rampový protokol, který umožňuje vyšetření maximálního dosaženého příjmu kyslíku a zároveň stanovení VT1 a VT2 (28).

Závěrem ze spiroergometrického vyšetření je souhrnná zpráva, která by měla obsahovat následující údaje: typ přístroje, vybraný zátěžový protokol, důvod provedení vyšetření – potvrzení/vyloučení infarktu myokardu, určení tréninkových parametrů pro kardiovaskulární rehabilitaci u nemocných apod., hodnocení SF, EKG, max. aerobní kapacity, max. dosaženého výkonu a hodnocení prognózy (28). Pro kardiovaskulární pacienty je toto vyšetření nezbytné pro stanovení tréninkových parametrů pro rehabilitaci. Jedině takovým vyšetřením je možné zjistit max. dosažené hodnoty  $VO_{2max}$ ,  $SF_{max}$ , ventilační prahy a další parametry, ze kterých je poté možné stanovit individuální metabolická pásma (aerobní, aerobně-anaerobní a anaerobní) a následně z těchto pásem určit tréninkové zóny (28).

#### **2.4.2.2 Cvičební program pro kardiovaskulární pacienty**

Stanovení tréninkových parametrů pro rehabilitaci a následný individuální cvičební program pro kardiovaskulární pacienty musí vycházet z hodnot získaných z výše uvedeného spiroergometrického vyšetření. U kardiovaskulární pacientů není rozhodně možné vycházet z rozmezí hodnot ( $SF_{max}$ ,  $VO_{2R}$ , MET apod.) daných pro zdravé jedince, které byly popsány výše u fyzické aktivity. Důležitým parametrem stanoveným ze spiroergometrického vyšetření, ze kterého se dále určuje cvičební program, je hodnota VT1 popřípadě i VT2 pro případ vysokointenzivního tréninku nebo tréninku na bicyklovém ergometru (28). VT1 i VT2 představují určitou metabolickou úroveň, oba tyto ventilační prahy jsou definované hodnotou příjmu kyslíku, k této hodnotě se poté určí odpovídající tréninkové parametry: zátěž ve W a SF.

V současné době je základním typem tréninku v kardiorehabilitaci vytrvalostní trénink v aerobním režimu na úrovni VT1 (28).

Závěrem této části je tvrzení, že elektrokola by mohla být v cvičebním programu kardiovaskulárních pacientů využívána. Pro kardiovaskulární pacienty je nejdůležitějším

faktorem střední intenzita fyzické aktivity, kterou elektrokola zajišťují, a to při zvoleném stupni lehké i vyšší hodnoty asistence při jízdě po rovinném terénu. Pro pacienta, který prošel již všemi čtyřmi fázemi kardiiovaskulární rehabilitace, je důležité, aby i nadále udržoval fyzickou aktivitu, v takové situaci by mohla být elektrokola pro pacienta motivačním prostředkem k pohybu a většího prožitku než např. trénink na bicyklovém ergometru, který se v kardiorehabilitaci využívá v excentrickém typu tréninku (28). Elektrokola přináší i benefit v podobě pobytu na čerstvém vzduchu v době výkonu fyzické aktivity. Potenciální zařazení elektrokola do pacientova pohybu by muselo projít procesem schválení odborného pracovníka.

### 2.4.2.3 Elektrokola v rehabilitaci po úrazu dolní končetiny

Úrazy pohybového aparátu jsou podobně jako civilizační choroby dalším problémem moderní společnosti, především díky sedavému způsobu života (práce), což má za následek nedostatek pohybu. Nedostatek pohybu je pro člověka nepřirozený, v důsledku nečinnosti nebo jednostranné zátěže dnes přibývají paradoxně již u mladších jedinců např. bolesti zad a dalších kloubů. Díky tomu vznikají úrazy a častá přetížení.

#### **Kolenní kloub**

Kolenní kloub je nosný kloub, patří mezi nejsložitější a nejvýznamnější klouby v lidském těle. Jedná se o složený kloub, ve kterém se stýkají tři kosti: femur, tibie a patela, navíc na tibií jsou zakotvením fixovány menisky (30). Menisky jsou dvě vazivové chrupavky, které se posouvají po tibií a tím se aktivně podílejí na pohybech kolenního kloubu (30). Významnou roli hrají kolenní vazy, které se přizpůsobují natažením nebo povolením při různých pohybech (25). Nachází se zde dva postranní vazy a zkřížené vazy, které společně zajišťují stabilitu kolene při flexi (25).

Kolenní klouby trpí častými poraněními především v důsledku sportovní aktivity a přetížení. Nejčastěji jsou poraněny menisky, zkřížené a postranní vazy (25).

Poranění kolenního kloubu se vyznačuje bolestí na poškozené straně kloubu především při prvních krocích a při chůzi ze schodů a je doprovázeno otoky po zátěži (31). Léčba úrazů kolenního kloubu se podle rozsahu poranění řeší často artroskopii, což jsou vyšetření a případné operační výkony kloubní dutiny pomocí endoskopu. Po léčbě dochází k lékařem doporučené rehabilitaci.

## **Rehabilitace**

Rehabilitace v ortopedii a traumatologii je již tradičně součástí komplexní terapie. Pomocí rehabilitačních metod a postupů je možné předcházet některým ortopedickým nálezům, potlačení bolesti a ovlivnění rozsahu pohybu (32).

Nejdůležitějším faktorem po úrazu a případné operaci kolena je udržování svalové hmoty. Speciální cviky prováděné za tímto účelem je nutné provádět již v prvních dnech po úrazu. Jedním z hlavních způsobů cvičení je izometrické posilování svalů. Izometrické posilování zabraňuje úbytku svalové hmoty a také pomáhá snižovat otok kolenního kloubu (31). Tímto typem posilováním se také předchází ztuhnutí kolenního kloubu a může být prováděno po odeznění bolestí kloubu i v případě, že koleno je stále fixováno sádkou nebo ortézou (31).

K návratu do fyzických aktivit je, jak bylo výše uvedeno, potřeba obnovení svalové hmoty, ale dále je také potřeba trénování koordinace pohybů, která se po úrazu ztrácí. Pro návrat do aktivního sportovního života je mimo jiné doporučena také jízda na kole. Konkrétně je doporučeno jezdit na kole po rovinném terénu a na nízké převody (31).

Takové poznatky ukazují, že i v této oblasti rehabilitace by se elektrokola mohla perspektivně uplatnit. Dokonce se zde nabízí úvaha, že elektrokola by byla lepší variantou než klasická jízdní kola, a to především díky asistenci při šlapání, tím by bylo zabráněno případnému zvolení těžkých převodů, které by se v této fázi zotavování neměly používat, a tím by bylo zabráněno případnému přetížení. Dále by mohl být prodloužen doporučený časový úsek, po který má jízda trvat, a to opět v důsledku aktivní asistence při šlapání. Zpevnění svalového aparátu v rámci rehabilitace po úrazech kolena by neměla s touto rehabilitací skončit právě naopak. Elektrokola by mohla být i nadále využívána jako prostředek prevence úrazů, ale již v jiném časovém úseku trvání fyzické aktivity, a to v doporučených 150 min týdně v pásmu střední intenzity fyzické aktivity.

## 3 Výzkumná část

### 3.1 Cíle a výzkumné předpoklady

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo zhodnotit možnosti využití elektrokol v rehabilitaci, a to zejména se zaměřením na kardiovaskulární pacienty. V rámci výzkumné části mělo proběhnout experimentální měření na elektrokole v laboratoři KTV TUL na omezeném vzorku probandů z řad studentů FZS TUL. Experimentálním měřením na elektrokole by byly naměřeny hodnoty srdeční frekvence apod. Naměřená data by byla zpracována statisticky.

Výzkumným předpokladem bylo stanovení bezpečných zón srdeční frekvence pro kardiovaskulární pacienty na základě doporučení odborníků a srovnání s provedeným experimentálním měřením. Ze zpracovaných závěrů by byla podpořena nebo naopak vyvrácena tvrzení z teoretické části, že elektrokola lze využít pro kardiorehabilitaci. Dále by byly zjištěny oblasti rehabilitace, kde by bylo možné elektrokola využít.

Vzhledem k celosvětové pandemii COVID-19 nebylo díky vládním restrikcím možné, aby bylo výše popsané experimentální měření, které se mělo původně uskutečnit v říjnu roku 2020, do termínu odevzdání bakalářské práce řádně uskutečněno. S ohledem na tuto výjimečnou situaci jsme se proto rozhodli výzkumnou část zpracovat formou rešerší. Nový cílem bude přehled a doporučení, ve kterých oblastech rehabilitace a zdravotní tělesné výchově by mohla mít elektrokola potenciální efektivní využití. Souborný přehled bude vycházet z odborných studií, které pohlížely na elektrokola nebo jízdních kola, jako na prostředky pro zlepšení fyzické kondice a zdravotních potíží jedinců a také ze studií, které přímo zkoumaly využití elektrokol nebo jízdních kol v konkrétní oblasti rehabilitace. Na závěr budou podpořena nebo vyvrácena tvrzení z teoretické části o využití elektrokol v kardiorehabilitaci a rehabilitaci po úrazech.

## 3.2 Rešerše

Jízda na kole je fyzická aktivita, která je vysoce doporučována lékařskou komunitou, a navíc se také uplatňuje v nejrůznějších rehabilitačních programech (33). Jízda na kole je jedinečná svým minimálním dopadem na zátěž kloubů a okolních tkání. Studie, které se zabývaly jízdou na kole u dospělých a dětí, ukázaly, že existuje několik faktorů, které ovlivňují biomechaniku během samotné jízdy na kole (33). Mezi tyto faktory patří nastavení výšky sedla, délka kliky, poloha nohy, kadence a pracovní zátěž (33). Znalost těchto faktorů je nezbytná pro rehabilitační pracovníky, kteří sestavují rehabilitační program pro pacienty, protože změna těchto faktorů může ovlivnit terapeutické výsledky. Oproti běžnému jízdniému kolu vykazuje elektrokolo díky svým vlastnostem výhody v biomechanice jízdy na kole. Kadence a pracovní zátěž při jízdě na elektrokole lze díky vlastnostem elektrokola ovlivnit uživatelem a nemusí být v počátku tak limitující jako u jízdniého kola. Z těchto poznatků lze vyvodit, že elektrokolo by byla rozhodně přínosem v oblasti traumatologické a ortopedické rehabilitace. Pacient by s fází samotné jízdy mohl začít dříve, je však nežádoucí, aby dodržoval při jízdě odborné pokyny, což by mohl být potenciální problém díky přeceňování svých sil.

Studie *Use of a smart electrically assisted bicycle (VELIS) in the health field* by svým řešením speciálně upraveného elektrokola mohla tento potenciální problém vyřešit. V této studii bylo sestrojeno inteligentní elektrokolo nazvané VELIS, které je schopné se adaptovat dle fyzické kondice uživatele a topografie terénu (34). Díky speciálnímu rozhraní „e-cortex“ je možné nastavení několika parametrů (34). Nakonfigurovat lze tak kadence šlapání, max. rychlost asistence, max. výkon asistence, rychlost uvolnění brzdy motoru (34). Elektrokolo VELIS je schopné upravit cílovou kadenci šlapání zvolenou jedincem. Poté lze modulovat stupeň poskytované asistence podle potřeb jedince, aby se mohl stabilizovat na cílovou kadenci šlapání. Je zde k dispozici motorová brzda, která umožňuje nastavení max. rychlosti, tím je zaručena bezpečnost uživatele. Motor s přímým pohonem je umístěn do zadního kola, dále se elektrokolo skládá z kontroléru Grinfineon, rekuperační brzdy a baterie o kapacitě 11 Ah a napětí 48 V. Elektrokolo VELIS splňuje evropská nařízení, což znamená, že nad 25 km/h není poskytována již žádná asistence (34). V této studii bylo měření provedeno nejprve u zdravých jedinců, kteří byli rozděleni do dvou skupin trénovaní a netrénovaní podle individuální úrovně fyzické aktivity a fyzické kondice (34). Účastníci měli provést 4 jízdy v rámci jednoho týdne. Hodnoty, které byly v rámci studie snímány byly: trvání jízdy, průměrná rychlost

a průměrná srdeční frekvence. Cílem studie bylo vyhodnotit čas potřebný k přizpůsobení se jedince na přednastavenou rychlost šlapání, to znamená, že kadence šlapání jedince musí být stejná jako přednastavená kadence elektrokola. Závěr studie potvrdil tvrzení, že tento chytrý typ elektrokola je přístupný pro všechny uživatele bez ohledu na fyzickou kondici a terén. Závěr také otvírá zajímavou perspektivu využití těchto elektrokol v klinické praxi a rehabilitaci.

Rehabilitace po koronární příhodě je důležitá část léčby pacientů po chirurgických výkonech. Účinná rehabilitace prodlužuje přežití, redukuje úmrtnost a riziko opětovného infarktu, proto by měla být považována za standart péče pro kardiovaskulární pacienty. Kardiovaskulární prevence a rehabilitace kriticky závisí na fyzické aktivitě a cvičení. Studie *Very short/short-term benefit of inpatient/outpatient cardiac rehabilitation programs after coronary artery bypass grafting surgery* se zabývala testováním 54 pacientů, kteří prodělali infarkt myokardu léčený bypassesem a byli schopni provádět předepsanou kardiorehabilitaci (35). Studie probíhala v Bělehradském institutu rehabilitace. Rehabilitační program byl rozdělen na lůžkový a ambulantní. Lůžkový program byl realizovaný 7krát týdně po dobu 3 týdnů (35). Součástí byly dvě 45 minutové tréninkové jednotky denně (35). První trénink zahrnoval zahřívací a relaxační rozcvičení a 30 min. tréninkovou část rozdělenou na 3 minuty cvičení a 3 minuty odpočinku na bicyklovém ergometru. Druhý trénink byl složený z chůze po rovném povrchu a z chůze po schodech. Intenzita tréninku se měla pohybovat v rozmezích 60-80 %  $VO_{2peak}$ . Ambulantní program byl realizován 5x týdně po dobu 6 měsíců (35). Program se opíral o naučené dovednosti z lůžkového programu a zahrnoval 45 minut svižné chůze na rovném povrchu a jízdu na kole s frekvencí 3x týdně s trváním 45 minut (35). Intenzita tréninku se měla pohybovat v rozmezích 70-85 %  $SF_{max}$ . Výsledky studie ukázaly, že po 3 týdnech programu se  $VO_{2peak}$  zvýšil o 9 % a po 6 měsících o 24,1 %. Tréninkový program také zlepšil HRR (-10%-20%), VT2 (+10%-15%) a také metabolické parametry jako cholesterol HDL (+5%-10%) a LDL cholesterol (-3%) (35). Celkový závěr studie ukazuje, že se díky kardiorehabilitaci podařilo snížit úmrtnost o 20 % po lůžkovém programu a o 40 % po ambulantním programu.

Poznatky z této studie mohou být důvodem, proč elektrokola do kardiorehabilitace zařadit. Za prvé jízdní kola a bicyklové ergometry jsou společně s chůzí díky svým vlastnostem častým nástrojem k vykonávání fyzické aktivity v kardiorehabilitaci, pacienti jsou tudíž na cvičení pomocí těchto pomůcek již zvyklí. Zde by jízdní kola mohla

být nahrazena elektroky, hodnoty  $SF_{max}$  a  $VO_{2peak}$  získané v rámci této studie se pohybují v mezích střední až intenzivní intenzity fyzické aktivity. Takové hodnoty lze získat i při jízdě na elektrokole, to již bylo prokázáno v teoretické části. Z toho vyplývá, že fyzická aktivita vykonávaná na elektrokole by měla po této stránce smysl. Často je těžké udržet pacienty po ambulantní části rehabilitaci motivované k provádění individuální domácí fyzické aktivitě. Elektrokola by mohla být přínosem pro udržování pacientovy motivace k fyzické aktivitě, která je v této oblasti žádoucí. Elektrokola jsou už jak bylo uvedeno v teoretické části spojována s nižším vnímaným vykonaným úsilím při jízdě než u jízdních kol. Prováděná fyzická aktivita pomocí elektrokol není statická a neprobíhá v interiéru, ale nabízí možnost strávení času ve venkovním prostředí, to je jistě potenciálem.

Zařazení elektrokol do rehabilitace by bylo podmíněno konzultací s odborníkem, který by vytvořil individuální cvičební program na základě hodnot ze spiroergometrického vyšetření. Pacientovi by poté byly sděleny specifikované parametry, jakou asistenci při jízdě používat, v jakém terénu jezdit, s jakou frekvencí, s jakým trváním a objemem fyzické aktivity.

Studie *Bicycle exercise training improves ambulation in patients with peripheral artery disease* se zabývala účinností speciálního tréninkového programu u pacientů trpících onemocněním periferních tepen se symptomem intermitentní klaudikace (36). Intermitentní klaudikace (IK) se vyznačují křečemi, únavou a bolestivostí dolních končetin při chůzi nebo běhu, vznikají při nedostatečném prokrvení svaloviny a nejčastěji odezní po zastavení chůze, kdy bolest sama v rámci minut odezní (37). Léčba IK zahrnuje vhodnou medikaci, chirurgický zákrok a speciální cvičební program, který je uznáván jako prvotní terapie v léčbě IK. Cvičení u pacientu trpících IK vede k významnému zlepšení chůze a fyzické aktivity (36). Cílem studie bylo posoudit účinky 3 - měsíčního tréninkového programu na variabilitu pohybů dolních končetin a trupu a vyhodnotit kinematiku dolních končetin a morfologii svalů u pacientů s IK před a po uskutečnění studie (35). Do studie bylo zapojeno 19 pacientů cévního chirurgického oddělení nemocnice v Tokiu, kteří podstoupili 3měsíční tréninkový program prováděný na bicyklovém ergometru (36). Program se skládal ze tří cvičících jednotek za týden s intenzitou cvičení 70 % max. zatížení na 30 minut za relaci. Výsledkem programu využívajícího bicyklový ergometr bylo zlepšení chůze u pacientů, účinek cvičení na bicyklovém ergometru však není jasně znám a ve studii nebyl objasněn (36). Naopak bylo

zjištěno, že jízda na bicyklovém ergometru posiluje svaly stehna především čtyřhlavý sval stehenní a dvojhlavý sval stehenní, naopak oblast bérce, kde jsou svaly vystaveny ischemii a mají snížený přísun kyslíku, nebyly pozorovány patrné změny (36).

Závěrem studie bylo prokázáno, že jízda na bicyklovém ergometru zlepšila kvalitu chůze, kvalitu vnímaného života a snížila pohyb v kyčelním kloubu (36). Jízda na kole byla tedy doporučena pacientům jako efektivní a přínosná prevence v léčbě IK. V této oblasti by mohla být klasická jízdní kola také nahrazena elektrokoly, která se zde jeví perspektivně. Pacienty by mohla motivovat k vykonávání fyzické aktivity, která je pro ně příznivá z hlediska zlepšení chůze. Pro tyto pacienty by mohla být i zajímavá otázka využívání elektrokol jako prostředek pro dojíždění do zaměstnání, což jak bylo v teoretické části uvedeno, má velký potenciál pro zlepšení a vykonání doporučené fyzické aktivity. Pro tyto pacienty by elektrokola v dojíždění byla lepší variantou než samotná chůze (pokud do zaměstnání docházejí), která je pro ně často problémová. Čas strávený dojížděním do zaměstnání pomocí elektrokola by byl efektivně využitý a pomáhal by pacientovi zlepšovat chůzi. Elektrokola by IK pacientů jistě poskytovala větší prožitek z jízdy a mnoho dalších benefitů především v prevenci IK a vlastní chůze. Využívání elektrokol k splnění fyzické aktivity by bylo nutné konzultovat s odborníkem, pro vyhodnocení individuálních parametrů spojených se samotnou jízdou na elektrokole např. jakou asistenci používat, v jakém terénu jezdit, s jakou frekvencí, jak dlouho.

Ve studii *Electrically assisted cycling for individuals with type 2 diabetes mellitus: protocol for a pilot randomized controlled trial* lze nahlédnout do problematiky zabývající se jedinci trpícími diabetem mellitem II. typu (DM2T) a potenciálním využíváním elektrokol ze strany těchto jedinců za účelem dodržování a zlepšení úrovně fyzické aktivity. Primárním cílem této studie bylo otestovat a zjistit s jakou ochotou přijmou jedinci s DM2T elektrokola (38). Sekundárním cílem bylo shromáždit a vyhodnotit výsledky, aby bylo možné odhadnout potenciální účinek studie a možné využití elektrokol v praxi (38). 40 účastníků bylo zapojeno do studie nábořem. Vhodní kandidáti museli splňovat diagnostikovaný DM2T a museli být ve věkovém rozmezí 30-70 let (38). Účastníkům byla poskytnuta školení před samotným testováním. Po školení bylo účastníkům zapůjčeno elektrokolo, mapa s cyklostezkami v dané oblasti, helma a nezbytné příslušenství atd (38). Účastníci měli během 12 týdnů elektrokolo využívat dle vlastní úvahy, ve studii nebyly žádné zvláštní specifikace na jízdu (38).



Pro pacienty s DM2T je nezbytné vykonávat individuální typ fyzické aktivity. Bylo zjištěno, že pacienti s DM2T jsou celkově méně aktivní než jedinci bez cukrovky (38). V rámci této studie bylo zjištěno, že elektrokola jsou přijatelnou aktivitou pro jedince s DM2T, ale bylo by potřeba provést více takových studií, které by prokázaly benefity a kladné dopady na zdraví prostřednictvím elektrokol (38). Nicméně problém s neaktivitou jedinců s DM2T by opět mohla vyřešit elektrokola, která jsou díky svým vlastnostem motivací k fyzické aktivitě. Elektrokola by i u jedinců s DM2T mohla být využívána jako aktivní prostředek k dojíždění do zaměstnání, čímž by mohla být plněna nedostatečná fyzická aktivita.

Studie *The effects of assisted cycling therapy (ACT) and voluntary cycling on reaction time and measures of executive function in adolescents with Down syndrome* se opírá o tvrzení, že fyzická aktivita může osobám s downovým syndromem (DS) pomáhat při zlepšování nebo zpomalování úbytku kognitivních funkcí. Adolescenti s DS vykázali snížené kognitivní funkce např. jazykovou plynulost ve srovnání se zdravými adolescenty a také pomalejší reakční časy ve srovnání s vrstevníky s autismem (39). Účastníci studie byli rozdělení do tří skupin, první skupina využívala asistovanou cyklistickou terapii, druhá jízdu na kole prováděla dobrovolně a třetí skupina zahrnovala účastníky, kteří nejezdili na kole vůbec. První a druhá skupina účastníku používala pro jízdu speciální stacionárně upravené kolo. Program zahrnoval 3 tréninkové jednoty týdně po dobu 8 týdnů, celkem 24 týdnů (39). Na začátku tréninku bylo 5 minutové rozehřání a poté 30 minut samotné jízdy. První skupině byly různě měněny parametry kadence. Druhá skupina jízdu na kole vykonávala podle vlastního zvoleného tempa. Třetí skupina byla požádána, aby během studie prováděla pravidelnou obvyklou fyzickou aktivitu. Během 8 týdnů studie bylo zjištěno, že první skupina adolescentů s DS, která využívala asistovanou jízdu na kole, může zlepšit reakční časy a jazykovou plynulost (39). Druhá skupina adolescentů s DS, která jezdila na kole podle vlastního uvážení, zlepšila schopnosti řídit a schopnosti v oblasti jazykové plynulosti (39).

Závěrem studie je tvrzení, že asistovaná jízda na speciálním typu kola má potenciál zlepšit kvalitu života a nezávislost osob s DS (39). V rámci terapie adolescentů trpící DS by elektrokola mohla být jistě také využívána, a to z hlediska, že kola jsou obecně využívanými pomůckami pro tyto jedince. Zde je však nutné k takovému tvrzení přistoupit s ohledem na stav potenciálních uživatelů, kteří mohou mít problémy s orientací v prostoru a s koordinací. Proto by v této oblasti bylo zřejmě nutné přizpůsobit

konstrukci elektrokola, tak aby vyhovovala potřebám uživatele. Elektrokola by bylo výhodné specificky technicky upravit, např. poloha na asistovaném kole ve výše uvedené studii byla v pololeže, což sice klasická elektrokola nemohou nabídnout, ale uzpůsobit např. sedlo elektrokola by bylo možné, takový fakt už by byl přijatelnou variantou pro jedince s DS.

Studie *Optimization of electric bicycle for youths with disabilities* představuje speciálně upravené elektrokolo pro děti a mládež s dětskou mozkovou obrnou. Terapeutické programy pro pacienty s dětskou mozkovou obrnou zahrnují dynamickou jízdu na speciálně přizpůsobených kolech, takový program by měl zlepšit koordinaci, rovnováhu a fyzickou aktivitu (40). Díky nedostatkům prostorové orientace a problémům s vnímáním u těchto pacientů navrhli autoři studie elektrokolo vybavené navíc ultrazvukovými senzory, které poskytnou uživateli přehled o prostředí, ve kterém se nachází. Dále jsou dodatečně integrovány blinkry. Při konstrukci modelu elektrokola byl použit ultrazvukový měřicí modul, který zajišťuje zaznamenání 2-400 cm vzdálenost (40). Na kola byly umístěny 4 senzory řízeny mikrokontrolérem (40). Pro generování akustického signálu byl použit piezoelektrický měnič (40). Pro indikaci změny směru jízdy byla použita LED dioda (40). V rámci studie bylo potvrzeno, že speciálně upravené elektrokolo bylo schopno detekovat překážky a vyhodnotit vzdálenost předmětů od kola (40). Zvuková složka elektrokola byla dobře znatelná v hlučném prostředí. Pro osoby se zhoršeným sluchem by bylo možné systém elektrokola doplnit optickými možnostmi jako např. signalizace pomocí varovného systému barevného světla (40).

## 4 Diskuze

Hlavním cílem bylo zjistit možné využití elektrokol v rehabilitaci.

Nejprve bylo nutné zjistit, jaký stupeň intenzity fyzické aktivity elektrokola poskytují a jestli mají tedy nějaké příznivé účinky na zdraví. Bylo zjištěno, že obecně je doporučováno provádění fyzické aktivity ve středním pásmu intenzity, konkrétně 150 min/týd, v 5 dnech po 30 minutách. Na podkladě studie *Health benefits of electrically-assisted cycling: a systematic review* bylo zjištěno, že intenzita fyzické aktivity záleží na zvoleném stupni asistence a na typu terénu. Z hodnot získaných v této studii (viz tab.2) je patrné, že pokud bude zvolená lehká asistence v rovinném terénu, elektrokola jsou schopna poskytovat fyzickou aktivitu ve středním pásmu intenzity, to platí pro všechny jedince. Pokud bude ve stejném terénu zvolena vysoká asistence, dosáhnout středního pásma intenzity fyzické aktivity, se podaří především neaktivním jedincům, obézním jedincům, jedincům po chirurgických zákrocích apod., v případě aktivních jedinců toto již neplatí. Co se týká kopcovitého terénu, zde bylo zjištěno, že lze dosáhnout i intenzivní intenzity fyzické aktivity. Z těchto získaných poznatků, lze vyvodit, že elektrokola jsou vhodnou fyzickou aktivitou ke splnění obecného doporučení vykonávání fyzické aktivity ve středním pásmu intenzity a lze předpokládat, že mohou mít příznivé benefity na zdraví. Domněnkou je, že elektrokola by mohla být klíčem ke zvýšení nedostatku vykonávané fyzické aktivity. Elektrokola jsou totiž jak bylo zjištěno velkým motivátorem k vykonávání fyzické aktivity pro mnoho jedinců. Elektrokola jsou také spojována s nižším výdejem vnímané námahy než u jízdních kol. Navrhovaným způsobem, jak zařadit vykonávání fyzické aktivity pomocí elektrokol je aktivní dojíždění do zaměstnání, které je každodenní nezbytnou součástí většiny lidí.

Po tomto zjištění bylo otázkou, jestli je možné elektrokola zařadit ho procesu rehabilitace a konkrétně do jakých oblastí. Strategií bylo nalézt studie, které se zabývaly využitím elektrokol v rehabilitaci, jenže takových studií zatím není mnoho, a tak byly nalezeny oblasti rehabilitace, ve kterých se využívají jízdní kola, bicyklové ergometry nebo speciálně asistovaná statická kola a poté bylo vyhodnoceno, jestli by elektrokola mohla tyto obvykle používané pomůcky nahradit. Následně bylo zjištěno, že elektrokola by mohla být uplatňována v kardiorehabilitaci, kde jsou často využívány bicyklové ergometry, právě tyto přístroje by elektrokola mohla nahradit. Rehabilitace pacientů trpící

onemocněním periferních tepen se symptomem intermitentní klaudikace se zaměřuje především na zlepšení kvality chůze těchto pacientů a častou používanou rehabilitační pomůckou jsou bicyklové ergometry následně jízdní kola, to opět vede k myšlence, že elektrokola by i zde mohla mít efektivní využití. Jako aktivní dopravní prostředek k dojíždění do zaměstnání by mohla být elektrokola pro jedince s chorobou diabetes mellitus II. typu, kteří jsou podle dostupné studie méně aktivní než běžní jedinci. Využita by mohla být elektrokola v terapii adolescentů trpící downovým syndromem, a to z hlediska, že kola jsou obecně využívanými pomůckami pro tyto jedince. Zařadit by se mohla také do rehabilitace dětí po dětské mozkové obrně, zde by bylo nutné elektrokolo po technické stránce přizpůsobit konkrétním potřebám uživatele.

Jsem si vědoma omezeními této bakalářské práce. Práce je limitována počtem nalezených studií, které se přímo zabývaly využitím elektrokol. Také by bylo výhodné opřít teoretická tvrzení a domněnky předložené v práci o experimentální měření, které by poskytlo jednoznačné hodnoty (SF,  $VO_2R$  apod.) při jízdě na elektrokole.

## 5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zjištění a vyhodnocení možností využití elektrokol v rehabilitaci, dále popsání legislativy elektrokol a pospání metod řízení pohonu elektrokol.

V rámci legislativy bylo elektrokolo představeno z pohledu pedelec, s-pedelec a e-bike. Bylo zjištěno, že legislativa v EU se řídí nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 168/2013 a normou EN 15194 známou také pod zkratkou EPAC. V ČR je dále k legislativě elektrokol přiřazována také vyhláška č. 341/2014. V USA se legislativa značně od té v EU liší. Na elektrokola je zde pohlíženo jako na spotřební výrobky a jsou podřízeny federálnímu zákonu o bezpečnosti a ochraně spotřebitele (CPSA). Mezi jednotlivými unijními státy jsou značné rozdíly, protože 26 států přijímá tří stupňový systém klasifikace elektrokol, některé státy uznávají pouze dvě třídy elektrokol a jiné státy neuznávají ani jednu třídu.

Popsáním pohonu elektrokol bylo zjištěno, že existují středové a nábojové pohony, a že středové pohony mají nejvíce výhod a jsou nejčastěji používané do elektrokol. Dále byla popsána baterie a její parametry a různé uložení baterie v rámci elektrokola, řídicí jednotka a snímače.

Rešeršemi studií bylo zjištěno, že elektrokola mají velký potenciál v otázce zlepšení fyzické aktivity a v různých oblastech rehabilitace. Bylo zjištěno a prokázáno, že elektrokola jsou schopna v závislosti na zvolené stupni asistence a vybraném terénu poskytnout střední až intenzivní intenzitu fyzické aktivity. Především střední intenzita fyzické aktivity v rozmezí 150 min/týd. je doporučována obecně jedincům pro zlepšení kondice, pro příznivý dopad na zdraví a mnoho dalších benefitů.

V dnešní době je těžké udržet jedince motivovaného k provádění takové fyzické aktivity a zde elektrokola ukazují svůj velký potenciál. V oblastech rehabilitace byly se elektrokola mohla zařadit do běžně používaných pomůcek u kardiovaskulárních pacientů, u pacientů po úrazech dolních končetin, u pacientů trpících onemocněním periferních tepen se symptomem intermitentní klaudikace, zlepšit by mohla fyzický stav u jedinců s diabetem mellitem II. typu a pomoci by mohla také k rozvíjení koordinačních

a orientačních schopností pacientům po dětské mozkové obrně a jedincům s downovým syndromem.

Výstupem práce je přehled možných oblastí využití elektrokol na podkladě rešerší studií, které se zabývaly použitím elektrokol v různých typech rehabilitace a dalších oblastech, přehled legislativy a technických parametrů elektrokol.

## Seznam použité literatury

1. HRUBÍŠEK, Ivo. *Elektrokola: nová dimenze cyklistiky*. Plzeň: Cykloknihy, 2011. ISBN 978-80-87193-18-1.
2. Historie Elektrokol – Jedeme všichni. JEDEME VŠICHNI. *Úvodní stránka – Jedeme všichni* [online]. [Česko]: Jedeme všichni, 2019 [cit. 2020-09-15]. Dostupné z: <http://www.jedemevsichni.eu/e-kola-a-vse-o-nich/historie-elektrokol/>
3. SUNDFØR, Hanne B. a Aslak FYHRI. A push for public health: the effect of e-bikes on physical activity levels. *BMC Public Health*. 2017, **17**(1), 809. DOI 10.1186/s12889-017-4817-3. Dostupné také z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29037235/>
4. Electric bicycle | Wikipedia | WIKIPEDIA.ORG. *Schematic of pedelec and e-bike* [online]. San Francisco: Wikimedia foundation, [2020] [cit. 2020-09-16]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_bicycle](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_bicycle)
5. EVROPSKÝ PARLAMENT a RADA EVROPSKÉ UNIE. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 168/2013 ze dne 15. ledna 2013 o schvalování dvoukolových nebo tříkolových vozidel a čtyřkolek a dozoru nad těmito vozidly. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2013, svazek 56, s. L 60/52-L 60/124. ISSN 1997-0626. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/cs/TXT/?uri=CELEX%3A32013R0168>
6. ČSN EN 15194. *Jízdní kola - Jízdní kola s pomocným elektrickým pohonem - Jízdní kola EPAC*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
7. ČESKO. MINISTERSTVO DOPRAVY. Vyhláška č. 341/2014 ze dne 19. prosince 2014 o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2014, částka 134, s. 4314-4414. ISSN 1211-1244. Dostupné také z: [https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=341/2014&typeLaw=zakon&what=Cislo\\_zakona\\_smlousm](https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=341/2014&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlousm)
8. Electric bikes: licensing, tax and insurance – GOV.UK. GREAT BRITAIN. CABINET OFFICE. *Welcome to GOV.UK* [online]. [Londýn]: Government Digital Service, [2020] [cit. 2020-09-23]. Dostupné z: <https://www.gov.uk/electric-bike-rules>

9. Pedelec, S-pedelec and e-bike: the differences. STROMER. *Stromer: Speed Pedelecs for commuters* [online]. Oberwangen: myStromer, [2020] [cit. 2020-90-23]. Dostupné z: <https://www.stromerbike.com/en/moments-did-you-already-know>
  
10. KERR, Brian. The government will allow more electric bicycle use in the national parks. NORWAY TODAY. *Home – Norway Today* [online]. [Norsko]: Norway Today, 2019 [cit. 2020-09-25]. Dostupné z: <https://norwaytoday.info/news/the-government-will-allow-more-electric-bicycle-use-in-the-national-parks/>
  
11. Understanding Regulations Vital as E-Bike Sales Growth Continues | Bike Europe. VAKMEDIANET. *Home – Bike Europe* [online]. Alphen aan den Rijn: Vakmedianet, 2020 [cit. 2020-09-25]. Dostupné z: [https://form.bike-eu.com/understanding-regulations-vital-e-bike-sales-growth-continues?\\_ga=2.110907459.795741890.1604655988-2136033668.1601653825](https://form.bike-eu.com/understanding-regulations-vital-e-bike-sales-growth-continues?_ga=2.110907459.795741890.1604655988-2136033668.1601653825)
  
12. State Electric Bicycles Laws | A Legislative Primer. NATIONAL CONFERENCE OF STATE LEGISLATURES. *Legislative News, Studies and Analysis | National Conference of State Legislatures* [online]. Denver: National Conference of State Legislatures, 2020 [cit. 2020-09-30]. Dostupné z: <https://www.ncsl.org/research/transportation/state-electric-bicycle-laws-a-legislative-primer.aspx>
  
13. MACARTHUR, John a Nicholas KOBEL. *Regulations of e-bikes in North America: a policy review*. Portland: Portland State University, 2014. Dostupné také z: [https://ppms.trec.pdx.edu/media/project\\_files/NITC-RR-564\\_Regulations\\_of\\_E-Bikes\\_in\\_North\\_America\\_1.pdf](https://ppms.trec.pdx.edu/media/project_files/NITC-RR-564_Regulations_of_E-Bikes_in_North_America_1.pdf)
  
14. Vše o motorech elektrokol | ECYKLISTIKA.CZ. Petr HEJNÝ. *Vše o elektrokolech na jednom místě | ECYKLISTIKA.CZ* [online]. Praha: ECYKLISTIKA.CZ, 2019 [cit. 2020-09-10]. Dostupné z: <https://www.ecyklistika.cz/vse-o-elektrokolech/o-motorech-elektrokol/>
  
15. JEŘÁBEK, Jan. Elektrokolo: nový fenomén sportu pro všechny. *Pohyb je život*. 2016, 20(73), 1-20. ISSN 1212-0669. Dostupné také z: <https://docplayer.cz/68286648-Elektrokolo-metodicka-priloha-73-novy-fenomen-sportu-pro-vsechny-paeddr-jan-gerabek-emeritni-metodik-caspv.html>
  
16. Řídící jednotka elektrokola (kontrolér) | Zeus Bike. ZEUS BIKE. *Elektrokola jsou božská | Zeus Bike* [online]. Dobřejovice: Zeus Bike, 2020 [cit. 2020-09-12]. Dostupné z: <https://www.zeusbike.cz/blog/ridici-jednotka-elektrokola-kontroler>
  
17. RIEBE, Deborah et al. eds. *ASCM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 10th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2018. ISBN 978-1-4963-3907-2.



18. PORCARI, J. P., C. X. BRYANT a F. COMANA. *Exercise physiology*. Philadelphia: F. A. Davis, 2015. ISBN 978-0-8036-4097-9.
19. GARBER, Carol E. et al. American College of Sport Medicine. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2011, **43**(7), 1334-59. DOI 10.1249/MSS.0b013e318213febf. Dostupné také z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21694556/>
20. ZAHRADNÍK, David a Pavel KORVAS. *Základy sportovního tréninku*. Brno: Masarykova univerzita, 2012. ISBN 978-80-210-5890-3.
21. HEJNOVÁ, Jindra. *Pohybová aktivita [přednáška]*. Praha: 3. lékařská fakulta, oddělení tělovýchovného lékařství, 24.1.2008.
22. BOURNE, Jessica E. et al. Health benefits of electrically-assisted cycling: a systematic review. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 2018, **15**(1), 116. DOI 10.1186/s12966-018-0751-8. Dostupné také z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30463581/>
23. GOJANOVIC, Boris et al. Electric Bicycles as a New Active Transportation Modality to Promote Health. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2011, **43**(11), 2204-2210. DOI 10.1249/MSS.0b013e31821cbdc8. Dostupné také z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22005715/>
24. ŠVESTKOVÁ, Olga et al. *Rehabilitace motoriky člověka: fyziologie a léčebné postupy*. Praha: Grada, 2017. ISBN 978-80-271-0084-2.
25. ČAPEK, Lukáš et al. *Biomechanika člověka*. Praha: Grada, 2018. ISBN 978-80-271-0367-6.
26. XIAO, Junjie ed. *Exercise for Cardiovascular Disease Prevention and Treatment*. Singapore: Springer, 2017. ISBN 978-981-10-4306-2.
27. CHALOUPKA, Václav et al. Rehabilitace u nemocných s kardiovaskulárním onemocněním. *Cor et vasa*. 2006, **48**(7-8), 127–145. ISSN 0010-8650. Dostupné také z: [http://old.kardio.cz/resources/upload/data/372\\_K127-K145.pdf](http://old.kardio.cz/resources/upload/data/372_K127-K145.pdf)
28. VÁRNAY, František et al. *Spiroergometrie v kardiologii a sportovní medicíně*. Praha: Grada, 2020. ISBN 978-80-271-2552-4.

29. MÍFKOVÁ, Leona et. al. Přímé versus nepřímé metody stanovení intenzity zatížení v kardiovaskulární rehabilitaci. *Kardiologická Revue*. 2015, **17**(2), 141-148. ISSN 2336-2898. Dostupné také z: <https://www.kardiologickarevue.cz/casopisy/kardiologicka-revue/2015-2/prime-versus-neprime-metody-stanoveni-intenzity-zatizeni-v-kardiovaskularni-rehabilitaci-52105/download?hl=cs>
30. POSPÍŠILOVÁ, Blanka a Olga PROCHÁZKOVÁ. *Anatomie pro bakaláře I: obecná anatomie, systémy pohybové a orgánové*. 2. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. ISBN 978-80-7494-306-5.
31. PILNÝ, Jaroslav et al. *Úrazy ve sportu a jak jim předcházet*. 2. vyd. Praha: Grada, 2018. ISBN 978-80-271-0757-5.
32. KOLÁŘ, Pavel et al. *Základy klinické rehabilitace*. Praha: Galén, 2015. ISBN 978-80-7492-219-0.
33. JOHNSTON, Therese E. Biomechanical Considerations for Cycling Interventions in Rehabilitation. *Physical Therapy*. 2007, **87**(9), 1243-1252. DOI 10.2522/ptj.20060210. Dostupné také z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17636157/>
34. REY-BARTH, S. et al. Use of a smart electrically assisted bicycle (VELIS) in the health field: Proof of concept. *Medical Engineering & Physics*. 2020, **81**, 125-129. DOI 10.1016/j.medengphy.2020.04.004. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350453320300539>
35. SPIROSKI, Dejan et al. Very short/short-term benefit of inpatient/outpatient cardiac rehabilitation programs after coronary artery bypass grafting surgery. *Clinical Cardiology*. 2017, **40**(5), 281-286. DOI 10.1002/clc.22656. Dostupné také z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28075500/>
36. HAGA, Makoto et al. Bicycle exercise training improves ambulation in patients with peripheral artery disease. *Journal of Vascular Surgery*. 2020, **71**(3), 979-987. DOI 10.1016/j.jvs.2019.06.188. Dostupné také z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31495679/>
37. MUSIL, Dalibor. Ischemická choroba dolních končetin. *Interní medicína*. 2007, **9**(4), 170-174. ISSN 1212-7299. Dostupné také z: <https://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2007/04/05.pdf>

38. BOURNE, Jessica E. et al. Electrically assisted cycling for individuals with type 2 diabetes mellitus: protocol for a pilot randomized controlled trial. *Pilot and Feasibility Studies*. 2019, **5**(1), 136. DOI 10.1186/s40814-019-0508-4. Dostupné také z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31788322/>
39. RINGENBACH, S. D. R. et al. The effects of assisted cycling therapy (ACT) and voluntary cycling on reaction time and measures of executive function in adolescents with Down syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research*. 2016, **60**(11), 1073-1085. DOI 10.1111/jir.12275. Dostupné také z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27018305/>
40. BLUMENSTEIN, Tobias et al. Optimization of electric bicycle for youths with disabilities. *SpringerPlus*. 2014, **3**(1). DOI 10.1186/2193-1801-3-646. Dostupné také z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25485189/>

## Seznam obrázků

Obr. 1 První elektrokolo převzato a upraveno z (2).....	14
Obr. 2 Schéma elektrokola typu pedelec převzato a upraveno z (4).....	14
Obr. 3 Schéma elektrokola typu e- bike převzato a upraveno z (4).....	15
Obr. 4 Grafická mapa států USA, které definují elektrokolo převz. a upraveno z (12)	21
Obr. 5 Umístění středového pohonu převzato a upraveno z (14).....	24
Obr. 6 Umístění pohonu v předním náboji převzato a upraveno z (14).....	25
Obr. 7 Umístění pohonu v zadním náboji převzato a upraveno z (14).....	26
Obr. 8 Umístění baterie ve spodní rámové trubce převzato a upraveno z (14).....	27
Obr. 9 Umístění baterie na spodní rámové trubce převzato a upraveno z (14).....	28
Obr. 10 Umístění baterie na zadním nosiči převzato a upraveno z (14).....	28
Obr. 11 Umístění baterie za sedlovou rámovou trubku převzato a upraveno z (14)....	29

## Seznam tabulek

Tab. 1 Rozdělení intenzity fyzické aktivity podle $VO_2R$ a $SF_{max}$ převzato a upraveno z (18).....	33
Tab. 2 Srovnání zatížení u elektrokola a jízdního kola převzato a upraveno z (22).....	36