

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

VALIDITA PŘÍSTROJE GPS POLAR G3 PRO MĚŘENÍ VZDÁLENOSTÍ
PŘEKONANÝCH LOKOMOCÍ ČLOVĚKA S APLIKACÍ DO SPORTOVNÍCH HER

Diplomová práce

(magisterská)

Autor: Bc. Svatoslav Valenta, Tělesná výchova a sport

Vedoucí práce: prof. PaedDr. Rudolf Psotta, Ph.D.

Olomouc 2013

Jméno a příjmení autora: Bc. Svatoslav Valenta

Název diplomové práce: Validita přístroje GPS Polar G3 pro měření vzdáleností překonaných lokomocí člověka s aplikací do sportovních her

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Vedoucí diplomové práce: prof. PaedDr. Rudolf Psotta, Ph.D.

Rok obhajoby diplomové práce: 2013

Abstrakt: Cílem této práce bylo ověřit validitu přístroje GPS Polar G3 s obnovovací frekvencí 1 Hz pro měření vzdáleností překonaných lokomocí člověka s výhledem možného využití přístroje pro tréninkovou praxi ve sportovních hrách. Bylo zjištěno, že přístroj GPS Polar G3 naměřené vzdálenosti, až na výjimky, podhodnocuje a to zejména na tratích překonaných v nepřímém směru, kde byla zjištěna systematická chyba měření δ_s 16,9% - 30,4%, na přímých tratích byla δ_s v rozsahu 1,1% - 22,8%. Vliv překonané vzdálenosti na přesnost měření byl potvrzen na přímých i nepřímých tratích, kde se při zkracující se vzdálenosti zvyšovala relativní systematická i náhodná chyba měření. Vliv rychlosti lokomoce na přesnost měření nebyl jednoznačně prokázán. Zdá se, že rychlost lokomoce ovlivňuje přesnost měření pouze na delších tratích. Na základě výsledků studie lze konstatovat, že přístroj GPS Polar G3 podhodnocuje překonanou vzdálenost a to u většiny typů tratí. Proto při využití přístroje GPS Polar G3 pro analýzu překonané vzdálenosti ve sportovních hrách či jiných sportech s často se měnící rychlostí lokomoce a trajektorií pohybu je nutné počítat s podhodnocením vzdáleností o více než 10%.

Klíčová slova: GPS, validita, polohová chyba, trajektorie, vzdálenost, sportovní hry.

Diplomová práce vznikla v rámci výzkumného projektu č. P407/11/0946 podporovaného Grantovou agenturou České republiky.

Souhlasím s půjčováním závěrečné písemné práce v rámci knihovních služeb.

Author's first name and surname: Svatoslav Valenta

Title of the master thesis: Validity of GPS Polar G3 device for measuring distances covered by locomotion in human with applications to sports games

Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology

Supervisor: prof. PaedDr. Rudolf Psotta, Ph.D.

The year of presentation: 2013

Abstract: The aim of this thesis was to verify the validity of the GPS Polar G3 device with a sampling frequency 1 Hz for measuring distances covered by locomotion in human with a view of the possible use of diagnostic instrument in sports games. Was found, that the GPS Polar G3 device measured distance, with few exceptions, underestimates, especially on the non-linear courses, where was found the systematic error of measurement δ_s 16,9% - 30,4%, on linear courses δ_s was in the range of 1,1% - 22,8%. The Effect of covered distance on measurement accuracy was confirmed on the linear and non-linear courses, where the shortening distance increased relative systematic and random error of measurement. The Effect of locomotion speed on accuracy of measurement of distance has not been clearly demonstrated. It appears that the locomotion speed affects accuracy of measurement only for longer distance locomotion. Based of the results of the study can be concluded that the GPS Polar G3 device underestimates the distance covered for most types of courses. Therefore, when using the GPS Polar G3 device for analysing of the distance covered in sports games or other sports with frequently changing locomotion speed and trajectory a one must expect significant underestimation of distances more than 10%.

Keywords: GPS, validity, error of position, trajectory, distance, sports games.

This thesis was carried within of the research project NO. P407/11/0946 supported by Grant agency of the Czech Republic.

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením prof. PaedDr. Rudolfa Psotty, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky. Obrázky v této práci jsou zveřejněny se souhlasem jejich autorů.

V Olomouci dne 31. července 2013

.....

Děkuji prof. PaedDr. Rudolfu Psottovi, Ph.D. za pomoc a cenné rady, které mi poskytl při zpracování diplomové práce a Adamovi Krňávkovi za pomoc při měření. Dále bych chtěl poděkovat přítelkyni Aniče a svojí rodině za podporu během mého studia.

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	SYNTÉZA POZNATKŮ	9
2.1	GPS jako fenomén	9
2.1.1	Charakteristika GPS	9
2.1.2	Historie GPS	10
2.1.3	Oblasti využití GPS	13
2.2	Princip funkce GPS	13
2.3	Faktory ovlivňující přesnost systému GPS	15
2.3.1	Chyby v kosmické části	16
2.3.1.1	Řízení přístupu k signálům z družic	16
2.3.1.2	Stav družic	17
2.3.1.3	Geometrické uspořádání viditelných družic	17
2.3.1.4	Satelitní hodiny	17
2.3.2	Chyby přenosové cesty od satelitu k přijímači	18
2.3.2.1	Atmosférické chyby: ionosféra a troposféra	18
2.3.2.2	Útlum signálu	18
2.3.2.3	Multipath	19
2.3.3	Chyby přijímače	20
2.3.3.1	Hodiny přijímače	20
2.3.4	Přesnost udávané polohy satelitů (efemeridy)	20
2.4	Využití GPS ve sportu a kinantropologii	21
2.5	Validita GPS pro měření vzdáleností překonaných lokomocí	23
3	CÍL PRÁCE	27
4	METODIKA	27
4.1	Design výzkumu	27
4.2	Účastník	28
4.3	Zařízení	28
4.4	Průběh měření	29
4.5	Statistická analýza	29
5	VÝSLEDKY	31
6	DISKUZE	38
6.1	Validita lokomočních zkoušek z hlediska rychlosti pohybu účastníka	38

6.2 Validita přístroje GPS Polar G3	39
7 ZÁVĚR	44
8 SOUHRN	46
9 SUMMARY	47
10 REFERENČNÍ SEZNAM	48

1 ÚVOD

Od doby, co byl na počátku 90. let minulého století Globální polohový systém (NAVSTAR – GPS) uvolněn armádou USA i pro potřeby civilních uživatelů, začal pronikat do nejednoho vědního oboru. Doprava, Botanika, zoologie, geologie, geofyzika, geodézie a samozřejmě také kinantropologie a sport – to je jen malý výčet toho, kde je dnes tento fenomén, schopný určit vaši polohu s přesností na centimetry, využíván.

V našem oboru, kinantropologii, se nabízí využití systému GPS pro diagnostiku ve sportovních hrách. Pomocí GPS přijímače jsme schopni zjistit, jakou vzdálenost hráč v utkání překonal, jaká byla jeho průměrná a maximální rychlost či kde a jak se na hřišti pohyboval. Tyto informace pak mohou hrát důležitou roli při posouzení výkonnosti, vlivu (efektivitu) tréninku, tvorbě tréninkových programů, prognostice nebo taktické přípravě.

Otázkou ale zůstává, jaká je platnost těchto informací. Přístroje GPS jsou sice výrazně dostupnější, než jiné systémy zaměřené na diagnostiku pohybu ve sportovních hrách, avšak dá se předpokládat, že jsou také méně přesné. Proto cílem práce bylo ověření validity měření vzdáleností 1 Hz přijímače GPS Polar G3 (Polar, Oy, Finsko), který patří mezi běžné GPS přijímače určené pro oblast sportu a pohybových aktivit člověka.

2 SYNTÉZA POZNATKŮ

2.1 GPS jako fenomén

2.1.1 Charakteristika GPS

Globální polohový systém (anglicky Global positioning system) známý také pod zkratkou GPS, je družicový systém vybudovaný pro potřeby navigace a určování polohy na Zemi, jehož služby jsou dostupné téměř nepřetržitě, kdykoliv a kdekoliv na zemském povrchu a přilehlém okolí. Jedná se o doposud nejmodernější navigační systém, který kdy byl uveden do provozu. Jedinou podmínkou pro využívání GPS je přímá viditelnost na oblohu. Proto není možné systém GPS využívat v podzemních prostorech, v budovách nebo pod velmi hustou vegetací (Rapant, 2002).

Systém GPS byl vytvořen ministerstvem obrany Spojených států amerických a původně jej využívala pouze armáda. Přístupný i pro civilní uživatele se stal až začátkem 90. let minulého století (Steiner & Černý, 2006).

GPS tvoří 24 družic, které jsou umístěny na oběžné dráze a obíhají kolem Země. Každá družice je vybavena atomovými hodinami, díky nimž je schopna vysílat rychlostí světla přesný čas a přesnou polohu družice (Townshend, Worringham, & Stewart, 2008).

Další nezbytnou součástí systému je přijímač GPS, což je malé elektronické zařízení, umožňující přijímat tyto vysílané signály, zpracovávat je a poté určovat svoji aktuální polohu, vyjádřenou pomocí geografických souřadnic (Rapant, 2002).

Rizos (1999) shrnuje charakteristiku GPS do několika bodů:

- Relativně vysoká polohová přesnost, od desítek metrů až po milimetry,
- schopnost určovat i rychlost a čas s přesností odpovídající přesnosti polohové,
- dostupnost signálů kdekoliv na Zemi: na povrchu, na moři, ve vzduchu i v blízkém kosmickém prostoru,

- standardní polohová služba systému GPS je civilním uživatelům dostupná bez omezení, bez jakýchkoliv poplatků a její nejběžnější využívání je možné i při použití relativně levného zařízení,
- je to systém pracující za každého počasí a dostupný 24 hodin denně,
- polohu je možné určovat v třírozměrném prostoru.

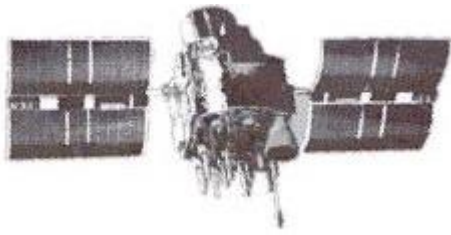
2.1.2 Historie GPS

Program družicové navigace, jenž byl rozvíjen americkými vzdušnými silami a americkým námořnictvem sahá do počátku šedesátých let minulého století. Memorandem ministerstva obrany Spojených států ze 17. 4. 1973 byly vzdušné síly učiněny zodpovědnými za sloučení dvou pokusných programů – Timation a 621B do programu jediného, označeného jako NAVSTAR – GPS. Od 1. 7. 1973 řídí rozvoj programu GPS společná programová skupina (JPO – Joint Program Office) kosmické divize velitelství systémů vzdušných sil USA nacházející se na letecké základně v Los Angeles. JPO je sestavena ze zástupců letectva, námořnictva, armády, námořní pěchoty, pobřežní stráže, obranné kartografické agentury, zástupců států NATO a Austrálie. V prosinci 1973 obdrželo JPO oficiální povolení k zahájení prací na programu NAVSTAR – GPS (Hrdina, Pánek, & Vejražka, 1996).

Práce probíhaly ve čtyřech etapách (upraveno dle Rapanta, 2002):

První etapa proběhla v letech 1973 – 1979. Byla zaměřena na ověření základních principů činnosti systému GPS. Nejprve byly prováděny pozemní testy, kdy pozemní vysílače simulovaly budoucí družice. Poté byly pokusy přeneseny do kosmického prostoru.

První družice, vyrobená firmou Rockwell, byla vypuštěna v únoru roku 1978. Ještě téhož roku byly vyslány další tři družice. To umožňovalo určovat prostorovou polohu avšak jen po omezenou dobu a pouze na testovacím polygonu v Arizoně. Družice vypuštěné v první etapě jsou označovány jako družice Bloku I (obrázek 1). Celkem jich v této etapě bylo vypuštěno 11 a s některými z nich bylo dosaženo počátečního provozního stavu systému – IOC (Initial Operational Capability) (Čábelka, 2008).



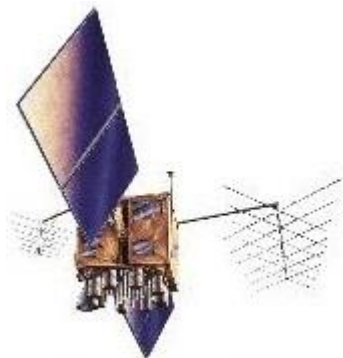
Obrázek 1. Družice Bloku I (Kvapil, 2005, převzato z www.aldebaran.cz).

Druhá etapa proběhla v letech 1979 – 1985. V tomto časovém rozmezí byla budována řídicí střediska a od roku 1980 byl zahájen vývoj družic Bloku II. Také byl zahájen vývoj prvních GPS přijímačů. Jejich prototypy byly testovány na testovacím polygonu a při námořních operacích.

Třetí etapa probíhala od roku 1985 do 17. července 1995. V tomto období bylo vyrobeno 29 družic Bloku II. První z nich dosáhla operačního stavu 10. srpna 1989. Tyto družice postupně nahradily družice Bloku I. Výkonnost systému se postupně zvyšovala, až bylo počátkem roku 1993 možné provádět třírozměrnou navigaci kdekoliv na Zemi po 24 hodin denně. Desátá až 29. družice Bloku II jsou označovány jako družice Bloku IIA (obrázek 2). Jsou zdokonaleny a mohou pracovat až 180 dní bez komunikace s řídicím segmentem. Stejnou vlastnost má i následující generace družic, označena pod názvem Blok IIR (obrázek 3), jejichž vývoj začal v roce 1989. Tyto dále zdokonalené družice jsou navíc schopny komunikovat mezi sebou a určovat svoji vzájemnou vzdálenost. Díky tomu je možné snadněji detekovat anomální stavy družic a signalizovat je uživatelům bez zásahu řídicího segmentu. Počátečního operačního stavu (IOC) bylo dosaženo 8. prosince 1993, kdy bylo v kosmickém segmentu obsazeno družicemi všech plánovaných 24 pozic. Plného operačního stavu – FOC (Full Operational Capability) bylo dosaženo 17. července 1995.



Obrázek 2. Družice Bloku IIA (Kvapil, 2005, převzato z www.aldebaran.cz).



Obrázek 3. Družice Bloku IIR (Kvapil, 2005, převzato z www.aldebaran.cz).

Čtvrtá etapa probíhá od 17. července 1995 do dnes. Je to období rutinního provozu systému GPS. I v tomto období však vývoj pokračuje a jsou budovány další doplňkové služby systému GPS.

Tabulka 1. Podrobné informace o družicích vypuštěných v letech 1978 – 2004 (Kvapil, 2005).

	Blok I	Blok II	Blok IIA	Blok IIR
Výrobce	Rockwell Int.	Rockwell Int.	Rockwell Int.	Lockheed Martin
Vypuštění na oběžnou dráhu	II/1978 – X/1985	II/1989 – X/1990	XI/1990 – XI/1997	XI/1997 – XI/2004
Vypuštěno ks	11	9	19	12
Hmotnost (při startu)	759 kg	1 816 kg	1 816 kg	2 032 kg
Plánovaná životnost	4,5 roku	7,3 roku	7,3 roku	10 let
V současnosti v provozu	0	2	16	12
Nosič na oběžnou dráhu	Atlas E, F	Delta II	Delta II	Delta II
Inklinace dráhy letu	63°	55°	55°	55°
Atomové hodiny na palubě	1×Cs, 2×Rb	2×Cs, 2×Rb	2×Cs, 2×Rb	3×Rb
Vysílací frekvence	L1, L2	L1, L2	L1, L2	L1, L2
Funkčnost bez kontaktu s <u>OCS</u>	3 – 4 dny	14 dní	180 dní	> 180 dní

V období mezi lety 2005 – 2009 bylo vypuštěno osm družic Bloku IIR-M a od roku 2010 jsou vypouštěny družice Bloku IIF (zdroj: <http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS>).

2.1.3 Oblasti využití GPS

Existuje mnoho možností využití systému GPS a tak je tento systém používán v několika oblastech lidské činnosti.

Čábelka (2008) tvrdí, že se systém GPS dá použít všude tam, kde potřebujeme znát svou polohu, rychlost nebo čas s danou přesností.

Pravděpodobně nejčastějším uživatelem systému GPS je podle Rapanta (2002) oblast dopravy. Jedná se o dopravu silniční, železniční, lodní, leteckou a kosmickou.

Mezi další oblasti využití GPS patří turistika a jiné volnočasové aktivity (rybaření, potápění, cyklistika atd.) – navigace v neznámém terénu s mapou i bez mapy, statistika o prošlé trase a rychlosti, možnost zaznamenávání trasy a zajímavých míst, možnost záznamu míst na vodní ploše, kde je častý výskyt ryb atd., zemědělství – možnost kontroly výměry pozemku například při zavlažování, sklizni apod., kde se platí za výměry, botanika a zoologie – možnost protokolace nálezu živočišných a rostlinných druhů kdekoliv na světě, sledování pohybu zvířat, geologie a geofyzika – zaměření objektů ve volném terénu, navádění na plánované profily měření, geodézie – vyhledání trigonometrických, polygonových a jiných bodů, zjednodušení a zrychlení práce při vytváření místopisu, logistika – sledování polohy vozidla, rychlost vozidla, spotřeba paliva, navigace, plánování tras atd., výpočetní technika – časové servery jako zdroj velmi přesného času, bezpečnostní služby – informace o pozici s možností napojení na bezpečnostní systém, vojenství – přesné zasažení cíle, určení pozic minových polí, přesné umístění výsadkových skupin, záchrana rukojmích, zásobování do odlehlých míst a mnoho dalších (Steiner & Černý, 2006; Čadík, 2001; Šolc, 2010; <http://www.gps.tym.cz/>).

2.2 Princip funkce GPS

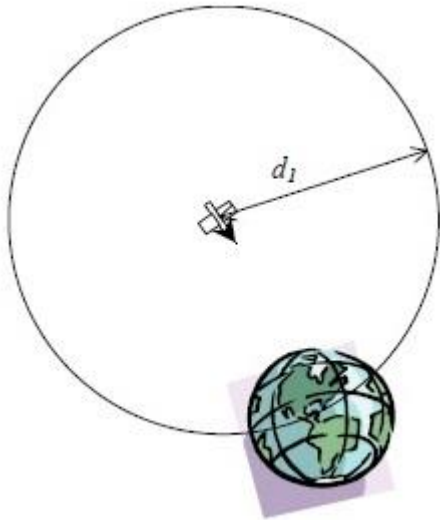
Funkce systému GPS je založena na výpočtu vzdáleností mezi uživatelem na Zemi a družicemi na oběžných drahách. Aktivních družic je celkem 24. To znamená, že nad jakýmkoliv místem na Zemi je možnost přijímat signál z maximálně dvanácti družic,

ostatní se v daný moment nachází nad protilehlou stranou Země (Steiner & Černý, 2006).

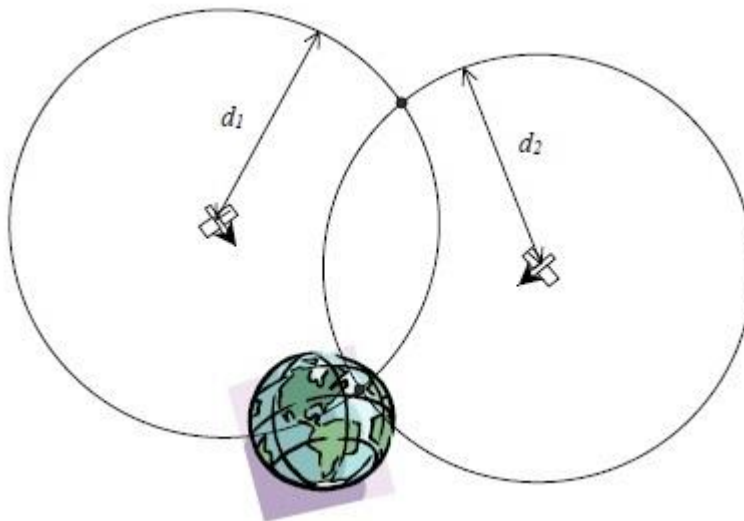
Družice, které obíhají ve výšce 20200 km nad zemským povrchem, vysílají pro uživatele tzv. navigační signály, ty jsou tvořeny řadou koherentních kmitočtů a mají rychlost světla (přibližně $300\,000\,000\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Z těchto signálů je přijímač schopen zjistit čas jejich odvysílání. Současně si přijímač odečte ze svých interních hodin čas příchodů signálů vysílaných jednotlivými družicemi. Z časových rozdílů mezi odvysíláním a příjmem signálů družic vypočítá přijímač svoji vzdálenost k těmto družicím. Svoji polohu určí přijímač z polohy družic v okamžiku odvysílání přijatých signálů (Rapant, 2002; Švábenský, Fixel, & Weigel, 1995).

Princip určení polohy přijímače vysvětluje jednoduchým a i pro laiky srozumitelným způsobem Rapant (2002, 182):

V případě přijetí signálu z první družice přijímač určí její polohu v prostoru a svoji vzdálenost d_1 od ní. Prakticky se tento přijímač může nacházet kdekoli na kružnici o středu v místě družice a poloměru daném určenou vzdáleností družice/přijímač (obrázek 4). Jakmile přijímač zpracuje signál druhé družice, opět určí její polohu a svoji vzdálenost d_2 od ní. V tomto případě je možná poloha přijímače redukována na dva body, splňující jednoduchou podmínku: přijímač se musí nacházet na místě, jehož vzdálenost první družici je d_1 a současně jehož vzdálenost k druhé družici je d_2 . Jedná se v podstatě o průsečíky kružnic opsaných kolem obou družic (obrázek 5). O tom, který z těchto dvou průsečíků odpovídá skutečné poloze přijímače je nutné rozhodnout na základě doplňujících kritérií, jako je například předešlá známá poloha nebo reálnost hodnot souřadnic. Při určování polohy v třírozměrném prostoru se přijímač může nacházet kdekoli na kulové ploše se středem v družici a poloměrem rovným vzdálenosti družice/přijímač.



Obrázek 4. (Rapant, 2002, 182).



Obrázek 5. (Rapant, 2002, 182).

Přijímač dokáže zjistit svoji polohu, čas nebo rychlost na základě signálu z minimálně tří družic, avšak pro potřebnou přesnost respektive výpočet polohy i s výškou je nutný signál ze čtyř družic (Randers, et al., 2010; Steiner & Černý, 2006; Rapant, 2002).

2.3 Faktory ovlivňující přesnost systému GPS

Určování polohy systémem GPS je ovlivňováno řadou faktorů, z nichž některé mohou mít větší či menší vliv na její přesnost (tabulka 2).

Definicí přesnosti je obecně více, nejčastěji se udává střední polohová chyba. Střední polohová chyba znamená, že 2/3 měření mají chybu menší, než udává střední polohová chyba. Za chybné měření je pak pokládáno měření s chybou 2.5 – 3 násobku střední polohové chyby (Steiner & Černý, 2006, 193).

Než však budou jmenovány faktory, ovlivňující přesnost systému GPS, je nejprve nutné zmínit dvě základní skupiny uživatelů GPS.

První z nich jsou uživatelé, využívající takzvanou *standardní polohovou službu (SPS)*. Tu je možné využívat po celém světě bezplatně a bez omezení. Avšak provozovatel tohoto systému má možnost kdykoliv záměrně snížit přesnost signálů zapojením selektivní dostupnosti (anglicky *Selective Availability*) (Rapant, 2002).

Druhou skupinou, využívající *přesnou polohovou službu (PPS)*, jsou autorizovaní uživatelé, kteří na základě povolení vlastní kryptografické zařízení, odpovídající klíče a mají také speciálně vybavené přijímače. Mezi tyto uživatele patří pochopitelně americká armáda, spřátelené armády, vládní agentury a vybraní civilní uživatelé, jež mají speciální povolení vlády USA. Požadavky na přesnost systému GPS jsou samozřejmě pro druhou skupinu uživatelů mnohem vyšší (Rapant, 2002).

Autoři Marek a Štěpánek (2009) kategorizují činitele mající vliv na přesnost GPS do tří skupin: první skupinu tvoří chyby v kosmické části, kde se jedná se o chyby ve vysílaných informacích, do druhé skupiny patří chyby přenosové cesty od satelitu k přijímači a chyby ve třetí skupině jsou zapříčiněny v samotném přijímači.

2.3.1 Chyby v kosmické části

2.3.1.1 Řízení přístupu k signálům z družic

Protože byl systém GPS vyvíjen především jako vojenský navigační systém, bylo od počátku rozhodnuto, že do něj musí být zabudovány mechanismy, které umožní jeho znepřístupnění neautorizovaným uživatelům. Jedná se o takzvanou *selektivní dostupnost* (anglicky *Selective Availability – SA*), což je záměrné zavádění chyb do signálů vysílaných družicemi a *Anti-Spoofing (A-S)*, který představuje ochranu proti vysílání klamných signálů GPS nepřitelem. Prvně jmenovaný mechanismus byl vypnut

prezidentem USA v roce 2000. To znamenalo výrazné zvýšení přesnosti GPS. Druhý mechanismus, aktivovaný v roce 1994, znemožňuje v reálném čase určovat zpoždění signálů při průchodu ionosférou (Rapant, 2002).

2.3.1.2 Stav družic

Družice ve své navigační zprávě přenášejí také údaje o svém stavu. V případě potřeby může být jakákoliv družice označena jako nezdravá (např. při periodické údržbě nebo speciálním testovacím období). Pokud je takto družice označena, přijímač ji nepoužívá k žádným výpočtům až do doby, dokud neobdrží z navigační zprávy signál o jejím „uzdravení“. Avšak pravděpodobně to platí i naopak, dokud nepřijme přijímač zprávu o jejím označení za „nezdravou“, nadále s ní provádí měření (Rapant, 2002).

2.3.1.3 Geometrické uspořádání viditelných družic

Satelity nejsou geostacionární, ale s určitou dobou oběhu obíhají Zemi, jejich kruhová rychlost je $4,044 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. To má za následek, že se vůči danému místu na Zemi mění uspořádání viditelných satelitů. Budou-li družice shromážděny v relativně malé oblasti, pak určení polohy na základě vysílaných signálů poskytne mnohem horší výsledky, než když budou družice rozmístěny co nejdál od sebe. Za nejvýhodnější polohu družic se považuje, když je jedna družice v nadhlavníku a zbylé tři v poloze $15 - 20^\circ$ nad obzorem a zároveň 120° od sebe (Marek & Štěpánek, 2009; Rapant, 2002; www.wikipedia.org/wiki/Kruhová_rychlost).

2.3.1.4 Satelitní hodiny

Na přesnosti časové základny satelitů velmi závisí přesnost měření pseudovzdáleností, neboť je třeba si uvědomit, že chyba časové základny 10 ns představuje chybu pseudovzdálenosti 3 m. Přestože satelity používají atomové hodiny, dochází k nevyhnutelným chybám hodinového taktu, které jsou časově závislé a nelze je zanedbat. Proto jsou časové základny všech satelitů monitorovány z pozemních kontrolních stanic, odchylky jsou vyhodnocovány a korekční informace časové základny pro každý satelit jsou součástí příslušné navigační zprávy (Marek & Štěpánek, 2009, 166).

2.3.2 Chyby přenosové cesty od satelitu k přijímači

2.3.2.1 Atmosférické chyby: ionosféra a troposféra

Ionosféra obsahuje vysoký počet ionizovaných částic, které značně ovlivňují procházející rádiové signály. Vzniká chyba *ionosférické refrakce* (angl. ionospheric refraction error). Ve vertikálním směru může za určitých podmínek tato chyba dosáhnout až 30 m. Při příjmu signálů z družic na horizontu je pak tato chyba v typickém případě třikrát větší. Je proměnlivá v čase i prostoru. Naštěstí vliv ionosféry je závislý na kmitočtu procházejících vln, takže lze její vliv vhodným uspořádáním měření eliminovat (Rapant, 2002, 74).

Vliv troposféry se označuje jako chyba *troposférické refrakce* (angl. tropospheric refraction error). Ve vertikálním směru může dosahovat hodnoty až 2.3 metru, v případě signálů přijímaných z družic na horizontu může tato chyba být až desetkrát větší. Vliv troposféry není nijak závislý na kmitočtu rádiových vln, ale zato je možné ho poměrně přesně vypočítat (s přesností až na centimetry) při znalosti atmosférických podmínek v místě měření (Rapant, 2002, 74).

Vliv troposféry se podle Marka a Štěpánka (2009) uplatňuje podle vlhkosti a tlaku vzduchu a chyba způsobená jejím vlivem může být v rozsahu od 2 metrů až do 20 metrů.

2.3.2.2 Útlum signálu

Signály vysílané družicemi jsou relativně slabé, přesto je však dnešní přijímače dokážou detekovat. Pokud je však signál tlumen ještě více respektive je šum okolního prostředí příliš velký, může se signál svým výkonem dostat pod úroveň citlivosti GPS přijímače. Měření se poté stávají méně přesná (Čábelka, 2008; Rapant, 2002).

Útlum signálu může být způsoben buď nějakou překážkou, která mu stojí v cestě nebo také nízkou polohou družice nad horizontem. O tom, zda signál překážkou projde, rozhoduje především její tloušťka a materiál. Například plast, sklo nebo menší vrstva textilu signál příliš netlumí. Oproti tomu třeba zdi budov tlumí signál výrazně více

(obrázek 6). Dále může být signál tlumen hustou vegetací, hustým deštěm (avšak jen minimálně) nebo silným elektromagnetickým polem v místě příjmu (Čábelka, 2008).



Obrázek 6. Vliv výškové budovy na signál GPS (červené body) (Marek & Štěpánek, 2009, 170).

2.3.2.3 Multipath

Multipath, česky vícecestné šíření signálu, je mnohostranný odraz signálu GPS, který výrazně snižuje jeho kvalitu. Multipath bývá způsoben odrazem signálů od okolních objektů, jež mají vysoce odrazný povrch (Rapant, 2002; Čábelka, 2008).

Mezi tyto objekty patří (Rapant, 2002; Marek & Štěpánek, 2009):

- Kovové a skleněné budovy,
- výrazné terénní prvky,
- vodní plochy,
- vozidla,
- letadla.

Podle Marka a Štěpánka (2009) je tato chyba jednou z nejobtížněji odstranitelných chyb při určování polohy.

2.3.3 Chyby přijímače

2.3.3.1 Hodiny přijímače

Kvalita hodin přijímače je pochopitelně o mnoho řádů horší, než kvalita hodin satelitních. To zapříčiňuje relativně velkou chybu, se kterou se poté pracuje jako s neznámou. Proto je signál měřen ze čtyř družic (Rapant, 2002; Čábelka, 2008).

2.3.4 Přesnost udávané polohy satelitů (efemeridy)

Dalším z faktorů ovlivňujícím přesnost měření je znalost přesnosti pozice družice. Jejich dráhy jsou průběžně monitorovány z několika stanic rozmístěných po celém světě. Tyto monitorovací stanice vysílají předpovědi drah na satelity a odtud zase zpátky na Zem do přijímačů GPS. Avšak zkušenosti ukazují, že přesnost předpovědi dráhy je řádově několik metrů, což může způsobit chybu v určení polohy také několik metrů (Čábelka, 2008).

Tabulka 2. Faktory polohové chyby GPS (Wormley, 2010).

Příčina chyby	Chyba (m)
Efemeridy	2,1
Atomové hodiny na satelitech	2,1
Vliv ionosféry	4,0
Vliv troposféry	0,7
Odrazy	1,4
Chyba přijímače	0,5
Celková vertikální chyba	12,8
Celková horizontální chyba	10,2

Chyby ovlivňující přesnost polohy jsou primární faktory, které mají vliv na měřenou vzdálenost pomocí systému GPS, neboť celková vzdálenost je vypočítána součtem vzdáleností mezi jednotlivými polohovými body. Pomocí polohových bodů a času je počítána také rychlost.

2.4 Využití GPS ve sportu a kinantropologii

Vzhledem k výše zmíněným informacím je logické, že systém GPS může být využíván pouze pro činnosti, které je možné provozovat ve venkovním prostředí. V kinantropologii je systém GPS využíván například pro přesnější monitorování pohybové aktivity člověka (Cooper et al., 2010; Duncan, Badland, & Mummery, 2009). Cílem využití GPS ve sportu není pouhé určení polohy, ale například diagnostika překonané vzdálenosti, rychlosti pohybu (maximální, průměrné), případně zjištění rozsahu pohybu hráče po hřišti v průběhu utkání nebo tréninku ve sportovních hrách.

Systém GPS se dá také využít pro:

- zjištění podílu jednotlivých pohybových intenzit v utkání respektive ve sportu,
- identifikaci nejintenzivnějších časových úseků hry,
- diferenciaci herních postů,
- zjištění úrovně soutěží v jednotlivých sportech,
- zjištění fyzické připravenosti sportovce,

- zjištění informací týkající se taktiky a strategie.

Všechna zjištěná data se však dají využít i pro plánování tréninkového procesu, který se díky nim může svým objemem a intenzitou mnohem více podobat mistrovskému utkání či závodu. Systém GPS je možné využít také přímo v tréninkovém procesu pro monitorování pohybové aktivity (uběhnutá vzdálenost, rychlost, trajektorie běhu) hráčů v kondiční či technické přípravě.

Systém GPS není v kinantropologii využíván pouze k monitorování pohybové aktivity člověka, ale například i za těmito účely:

- posouzení rychlosti lidské lokomoce (Schutz & Herren, 2000),
- měření mechanického výkonu chůze (Terrier, Ladetto, Merminod, & Schutz, 2001),
- analýza výkonu v orientačním běhu (Larsson, Burlin, Jakobsson, & Henriksson-Larsen, 2002),
- využití GPS pro studování biomechaniky lidského pohybu (Terrier, Ladetto, Merminod, & Schutz, 2000),
- analýza výkonu v běhu na lyžích (Larsson, & Henriksson-Larsen, 2005),
- využití GPS pro monitorování tréninku a výkonu sportovních koní (Hebenbrock, et al., 2005),
- analýza překonané vzdálenosti hráčů v utkání v mládežnickém fotbale (Buchheit, Mendez-Villanueva, Simpson, & Bourdon, 2010),
- analýza překonané vzdálenosti u elitních hráčů australského fotbalu (Coutts, Quinn, Hocking, Castagna, & Rampinini, 2010),
- analýza vysoce intenzivních pohybů v australském fotbale (Aughey, 2011),
- komparace tréninku a herních požadavků u hráčů kriketu (Petersen, Pyne, Dawson, Kellett, & Portus, 2011).

Budoucnost analýzy ve sportu pomocí systému GPS přinese další miniaturizaci zařízení, delší životnost baterií a integraci dalších inerciálních senzorů pro účinnější kvantifikaci úsilí sportovců (Aughey, 2011).

2.5 Validita GPS pro měření vzdáleností překonaných lokomocí

Existuje řada studií, jež pro své měření využívají systém GPS. Ovšem studií zaměřených na ověření validity měření vzdáleností GPS ve sportovní oblasti je relativně málo, což potvrzuje i Gray, Jenkins, Andrews, Taaffe a Glover (2010).

Právě studie výše zmíněného autora je jednou z výjimek. Jejím cílem bylo zjistit vliv rychlosti pohybu a trajektorie trati na spolehlivost měření vzdáleností systému GPS a to přijímačem o frekvenci 1 Hz. K odlišení pohybové intenzity použil čtyři různé rychlosti pohybu – chůzi, poklus, rychlý běh a sprint. Tratě měřily 200 metrů a byly rozděleny na přímé a nepřímé. Výsledky ukázaly, že pro lineární trať systém GPS naměřené vzdálenosti mírně přeceňuje (v průměru o 5,8 m pro chůzi, 1,8 m pro poklus, 3,1 m pro rychlý běh a 5,2 m pro sprint), zatímco pro nelineární trať systém GPS naměřené vzdálenosti relativně hodně podceňuje (v průměru o 1,1 m pro chůzi, 11,7 m pro poklus, 15,4 m pro rychlý běh a 19,6 m pro sprint). To zřejmě souvisí s časovými rozestupy mezi vytvářením jednotlivých polohových bodů, což v praxi znamená, že polohové body nemohou přesně kopírovat trajektorii pohybu. Z výsledků také vyplývá poměrně velký vliv rychlosti pohybu na přesnost měření. Čím vyšší je intenzita pohybu, tím vyšší je také chybovost měření GPS a to zejména u nelineárních tratí. K podobným výsledkům došli i Jennings, Cormack, Coutts, Boyd a Aughey (2010), kteří pro ověření validity GPS použili přímé tratě (10 m, 20 m a 40 m), čtyři rychlosti pohybu (chůze, poklus, rychlý běh, sprint), tratě se změnou směru, jenž byly uběhnuty ve dvou frekvencích (pevné a stupňující) a okruh simulující pohyby v týmových sportech (140 m). K zaznamenávání údajů použili dva přijímače o různé frekvenci (1 Hz a 5 Hz). Ukázalo se, že délka tratě také výrazně ovlivňuje přesnost měření GPS (průměrná chyba 23,8% pro 10 m tratě, 17,4% pro 20 m tratě a 9,6% pro 40 m tratě u 1 Hz přijímače). Čím je tedy trať kratší, tím větší je procentuální zkreslení skutečné vzdálenosti. Přesnost měření GPS rovněž ovlivňuje frekvence přijímače. Přijímač o frekvenci 5 Hz byl výrazně přesnější, než přijímač o frekvenci 1 Hz a to pro všechny vzdálenosti. Stejně jako u Gray et al. (2010) byl zjištěn vliv rychlosti. V okruhu simulujícím pohyby v týmových sportech byla průměrná naměřená vzdálenost u obou přijímačů menší a to o 5,7% (1 Hz) respektive 3,7% (5 Hz). Frekvence lokomoce (postupná a pevná) nehraje pro přesnost GPS výraznou roli. Petersen, Pyne, Portus a Dawson (2009), jenž ověřovali validitu GPS pro monitorování pohybových vzorů v cricketu, zvolili podobnou

metodik. Jednalo se tedy o různé vzdálenosti a rychlosti (8800 m chůze, 2400 m poklus, 1200 m běh, 600 m rychlý běh a 20, 30 a 40 metrů sprint). Navíc také na všechny testy použil dva totožné GPS přijímače. Ukázalo se, že i dva naprosto stejné přijímače umístěné kousek od sebe (10 cm), vykazují rozdílné výsledky. Přijímače značky MinimaxX (5 Hz) nezaznamenaly v žádné zkoušce schodu a například ve sprintu na 20 m se v průměru lišily o 8,6%. To samé platilo i pro přijímače značky SPI-Pro (5 Hz), ty se ve sprintu na 20 m lišily v průměru o 5%. Portas, Harley, Barnes a Rush et al. (2010) ve své studii ověřovali validitu GPS pro přímé, nepřímé a specifické fotbalové tratě. V souladu s výše zmíněnými studii se potvrdil vliv rychlosti a vzdálenosti na přesnost měření GPS. Také byl potvrzen vliv frekvence přijímače, 1 Hz přijímač byl méně přesný než 5 Hz přijímač a to zejména u složitějších tratí. Pro specifické fotbalové tratě, jež měřily 110 m (pro post útočníka), 121 m (pro post obránce) a 134 m (pro post záložníka) byla zjištěna chybovost v rozsahu 1,3% - 3% u 1 Hz přijímače a 1,5% - 2,2% u 5 Hz přijímače. MacLeod, Morris, Nevill a Sunderland (2009) ověřovali validitu měření GPS nejen pro vzdálenost, ale také pro rychlost. Byl použit přijímač (1 Hz) s integrovaným akcelerometrem o frekvenci 100 Hz. Účastníci museli překonat trasu o délce 6818 m, ve které byly zastoupeny typické pohyby pro hráče pozemního hokeje. Přijímače GPS zaznamenali pro měření vzdálenosti průměrnou chybu pouhé 3 m, což potvrdilo, že přesnost GPS se výrazně zvyšuje s narůstající vzdáleností. Podobná přesnost GPS přijímačů byla nalezena také v rychlosti. Pearsonův korelační koeficient mezi vypočítanou rychlostí (pomocí časových bran) a rychlostí zaznamenanou přijímači GPS dosáhl hodnoty 0,99. Výsledky naznačily, že systém GPS nabízí účinný nástroj pro zaznamenávání rychlosti a překonané vzdálenosti hráčů během utkání. Dá se však očekávat, že GPS přístroj s integrovaným akcelerometrem (100 Hz) bude mnohem přesnější než běžné GPS přijímače používané v jiných studiích. Zajímavé srovnání systému GPS s kamerovým systémem Vicon (22 kamer) prezentovali ve své studii Duffield, Reid, Baker a Spratford (2010). Přijímače GPS (1 Hz a 5 Hz) oproti mnohem přesnějšímu systému Vicon, pracujícím o frekvenci 100 Hz, vzdálenost i rychlost podceňovali a to především u rychlých pohybů. Edgecomb a Norton (2006) zase srovnávali systém GPS s počítačovým programem CBT (Computer-based tracking) pracujícím na základě převodu pixelů na metry. Výsledky ukázaly podobnou, relativně malou, chybovost obou systémů. CBT nadhodnocoval skutečné vzdálenosti v průměru o 5,8% a systém GPS o 4,8%. Nespornou výhodou systému GPS oproti výše zmíněným komerčním systémům (Vicon,

CBT) je nízká cena, dostupnost a také mnohem větší možnost využití, neboť ne každý sportovní povrch je obklopen tribunami pro umístění kamer.

Primárními faktory ovlivňujícími přesnost měření jsou ty, které mají vliv na přesnost polohy (viz. kapitola 2.3). Měření vzdáleností jsou totiž podle Gray et al. (2010) odvozeny z pozice a času přihlášení přijímače, takže chyba v těchto proměnných ovlivní přesnost měření.

Chyba polohy vychází z geometrie satelitů a naměřené chybné pseudovzdálenosti. Pseudovzdálenost je odhadovaná vzdálenost mezi přijímačem a použitými satelity v okamžiku vytváření polohových bodů - fixů. (Gray et al., 2010).

Naměřené pseudovzdálenosti jsou nepřesné kvůli chybám v satelitních efemeridách a hodinách (navzdory několika korekčním úpravám každý den), ionosférickému a troposférickému zpoždění (změny rychlosti a směru signálu při průchodu zemskou atmosférou), šumu v místě přijímače (vliv síly signálu) a multipathu (odraz signálu). Stejně tak má vliv i počet satelitů použitých k vytvoření pozice a jejich rozmístění na obloze vzhledem k uživateli (satelitní geometrie) (Misra & Enge, 2006).

Poměr těchto chyb je neznámý a bude záležet na hardwaru přijímače (typ antény, algoritmy pro zmírnění ionosférického zpoždění atd.) (Conley et al., 2006).

Sekundárními faktory, které vyplývají z výše zmíněných studií a s velkou pravděpodobností ovlivňují přesnost systému GPS pro měření vzdáleností, jsou:

- Rychlost pohybu,
- vzdálenost,
- trajektorie pohybu,
- a frekvence přijímače.

Podle Witte a Willson (2004) je však třeba vzít v potaz, že výsledky každé studie jsou velmi specifické, neboť největší vliv na přesnost GPS přijímače mají jeho konkrétní (vnitřní) algoritmy, jež jsou určeny výrobcem.

Výsledky je proto těžké srovnávat a to zejména z důvodu použití jiného zařízení, metody a také analýz (MacLeod et al., 2009).

Na druhou stranu, systém GPS je založen na principu, na kterém jsou závislé všechny GPS přijímače. Proto lze i přes rozdílné výsledky najít společné znaky, které přesnost systému GPS ovlivňují.

3 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem diplomové práce bylo ověření validity přístroje GPS Polar G3 pro měření vzdáleností překonané člověkem bipedální, specificky chodeckou a běžeckou lokomocí. Praktickým účelem práce bylo zjistit velikost chyby měření krátkých vzdáleností překonaných bipedální lokomocí různých rychlostí, které jsou typické pro pohyb jedince v řadě sportovních činností, zvláště pak ve sportovních hrách.

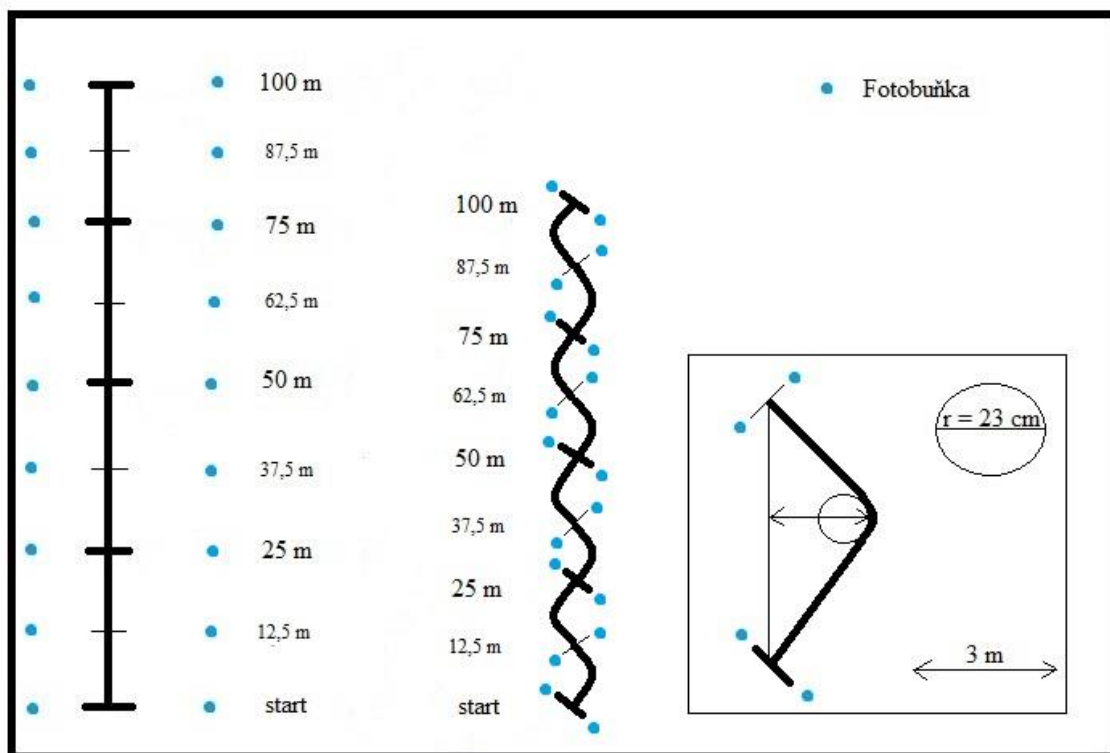
4 METODIKA

4.1 Design výzkumu

Na základě teoretických poznatků o GPS (viz. kapitola 2.5) a pohybových vzorů hráčů sportovních her (Dawson, Hopkinson, Appleby, Stewart, & Roberts, 2004; Di Salvo, et al., 2007; Rudkin & O'Donoghue, 2008) jsme pro ověření validity měření vzdáleností přístroje GPS Polar G3 použily pohyb jedince po přímých a nepřímých tratích (obrázek 7) o délkách 25 m, 50 m, 75 m, 100 m. Všechny přímé a nepřímé tratě byly překonány čtyřmi odlišnými rychlostmi lokomoce – chůzí, poklusem, rychlým během a sprintem. Jednotlivé způsoby lokomoce se tedy odlišovaly ve třech proměnných – ve směru lokomoce – pohyb po přímé vs. nepřímé trati, v délce (4 délky – viz výše), a rychlosti lokomoce (viz výše). Celkový počet jedinečných typů lokomocí, ke kterým se vázalo zjišťování validity měření vzdáleností pomocí GPS, bylo 32.

Tratě byly vyznačeny na umělém fotbalovém povrchu daleko (více než 50 m) od vegetace či vysokých budov. Po celé délce každé tratě byly umístěny fotobuňky TC Timing Systems (Brower Timing Systems, Draper, USA) po 12,5 metrech. Účelem měření časů lokomoce v jednotlivých zkouškách byla kontrola:

1. očekávaných rozdílů rychlosti pohybu jedince v odlišných rychlostních kategoriích lokomoce, tj. v chůzi, poklusu, rychlém běhu, sprintu;
2. dostatečné konzistence průběžné rychlosti lokomoce v každé zkoušce. Tato konzistence byla hodnocena variabilitou rychlosti lokomoce na jednotlivých 12,5-metrových úsecích v dané zkoušce.



Obrázek 7. Přímé a nepřímé tratě, které účastník překonal pomocí lokomoce.

4.2 Účastník

Trénovaný sportovec ve věku 25 let. Faktory jako je pohlaví, výška, hmotnost atd. podle Gray et al. (2010) neovlivňují přesnost GPS.

4.3 Zařízení

K měření vzdáleností byl použit senzor GPS Polar G3 (Polar, Oy, Finsko) s příjmem signálů o frekvenci 1 Hz, jenž je součástí přístroje RS800CX MULTI. Senzor byl účastníkovi upevněn na pravou lopatku (obrázek 8) a nebyl překryt žádnou vrstvou oděvu.

Fotobuňky TC Timing Systems (Timing Brower Systems, Draper, USA) které byly rozmístěny v průběhu celé tratě (po 12,5 metech).



Obrázek 8. Umístění přijímače GPS Polar G3.

4.4 Průběh měření

Účastník postupně vykonal 32 typů lokomocí (viz. výše) s tím, že každý typ lokomoce byl proveden pětkrát, tj. účastník provedl celkem 160 lokomočních zkoušek. U všech zkoušek se účastník snažil udržovat stálé tempo tak, aby byla variabilita mezi jednotlivými mezičasy co nejnižší. Účastník začínal každou zkoušku z označeného místa na začátku tratě, kde stál na místě vždy minimálně po dobu 35 vteřin trvání záznamu přístroje a až poté se začal pohybovat. Během lokomoce byl účastník nucen udržovat své těžiště ve vyznačené ose. Zkouška byla dokončena, jakmile se účastník zastavil v cílovém bodě na konci tratě a setrval vždy alespoň 10 vteřin na místě. Zkoušky byly provedeny ve dnech 12.7., 14.7. a 16.7. 2013, vždy v dopoledních hodinách, za jasného až polojasného počasí a teploty vzduchu 21 – 30 °C.

4.5 Statistická analýza

Validita různých rychlostních kategorií lokomoce (chůze, poklus, rychlý běh, sprint), která byla realizovaná účastníkem, byla vždy hodnocena prostým srovnáním průměru pěti rychlostí dosažených v daných kategoriích lokomoce na trati dané

vzdálenosti. Konzistence průběžné rychlosti lokomoce dané rychlostní kategorie na dané vzdálenosti byla hodnocena variačním koeficientem CV(%) pro časy dosažených na jednotlivých úsecích.

Pro vyjádření centrální tendence a variability naměřených vzdáleností byl použit průměr (M) a medián (Me), respektive směrodatná odchylka (SD) a mediánová absolutní odchylka (MAD). Validita měřených vzdáleností byla vyjádřena:

1. systematickou chybou měření δ_s , která byla vypočítána jako průměr rozdílů mezi skutečnými a naměřenými vzdálenostmi;
2. 95% intervalem konfidence pro náhodnou chybu měření 95% CI pro δ , který byl vypočítán jako SD rozdílů mezi skutečnou a naměřenou vzdáleností násobenou 1,96;
3. Bland-Altmanovým 95% limitem shody (LS). Tento parametr zahrnuje systematickou a náhodnou chybu měření.

K výpočtu statistických charakteristik byl použit SW program Statistica 9 (StatSoft, Inc., Tulsa, USA).

5 VÝSLEDKY

U přímých tratí na 100 a 75 metrů (tabulky 3 a 4) zaznamenal přijímač při lokomocích rychlý běh a sprint nadhodnocení vzdáleností. Nejvýraznější nadhodnocení bylo u obou tratí zaznamenáno při sprintu, kde dosáhla systematická chyba měření 13,0 m u 100 m tratě a 8,4 m u 75 m tratě. Při lokomocích chůze a poklus přijímač u obou tratí vzdálenosti podhodnocoval. Na 100 m trati byla systematická chyba měření -8,4 m při chůzi a -1,2 m při poklusu, na 75 m trati -2,0 m při chůzi a -2,8 m při poklusu. Na 75 m dlouhé trati ovlivňovala rychlost lokomoce rovněž náhodnou chybu měření, čím byla rychlost lokomoce vyšší, tím vyšší byla i náhodná chyba měření – od $\pm 0,0$ m při chůzi až po ± 12 m při sprintu. U 100 m tratě nebyl v tomto ukazateli nalezen žádný trend.

Tabulka 3. Vzdálenosti naměřené přístrojem GPS Polar G3 při lokomoci jedince na 100 metrové přímé trati v různých rychlostech a jejich rozdíly od skutečné vzdálenosti 100 m.

	V_p ($m \cdot s^{-1}$)	T_u (CV%)	Me (m)	MAD (m)	M (m)	SD (m)	δ_s (m)	δ (95% CI) (m)	LS (95%) (m)
100 m									
Chůze	1,64	1,70	95	5	91,6	6,7	-8,4	13,1	-8,4 \pm 13,1
Poklus	2,92	4,90	98	4	98,8	3,3	-1,2	2,9	-1,2 \pm 2,9
Rychlý běh	5,64	13,12	104	5	101,0	12,3	1,0	13,7	1,0 \pm 13,7
Sprint	6,78	15,22	116	1	113,0	5,2	13,0	10,2	13,0 \pm 10,2
Celkem	-	-	-	-	101,1	10,9	1,1	12,9	1,1 \pm 12,9

Vysvětlivky: V_p – průměrná dosažená rychlost; T_u – čas na 12,5 metrových úsecích; Me – medián; MAD – absolutní mediánová odchylka; M – průměr; SD – směrodatná odchylka; δ_s – systematická chyba měření; δ (95% CI) – confidence interval pro náhodnou chybu měření 95% CI pro δ ; LS (95%) – 95% limit shody podle Bland-Altmana.

Tabulka 4. Vzdálenosti naměřené přístrojem GPS Polar G3 při lokomoci jedince na 75 metrové přímé trati v různých rychlostech a jejich rozdíly od skutečné vzdálenosti 75 m.

	V_p	T_u	Me	MAD	M	SD	δ_s	δ (95% CI)	LS (95%)
75 m	($m \cdot s^{-1}$)	(CV%)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Chůze	1,63	2,09	73	0	73,0	0,0	-2,0	0,0	-2,0 ± 0,0
Poklus	2,96	4,75	71	3	72,2	3,3	-2,8	4,7	-2,8 ± 4,7
Rychlý běh	5,40	12,12	70	1	78,2	11,0	3,2	10,8	3,2 ± 10,8
Sprint	6,36	15,31	87	4	83,4	6,7	8,4	12,0	8,4 ± 12,0
Celkem	-	-	-	-	76,7	8,0	1,7	10,8	1,7 ± 10,8

Vysvětlivky: V_p – průměrná dosažená rychlost; T_u – čas na 12,5 metrových úsecích; Me – medián; MAD – absolutní mediánová odchylka; M – průměr; SD – směrodatná odchylka; δ_s – systematická chyba měření; δ (95% CI) – confidence interval pro náhodnou chybu měření 95% CI pro δ ; LS (95%) – 95% limit shody podle Bland-Altmana.

Na kratších přímých tratích, tedy na 50 a 25 metrů (tabulky 5 a 6) přijímač naměřenou vzdálenost podhodnocoval a nebyl zde nalezen trend systematické chyby měření v závislosti na rychlosti lokomoce. U 50 m tratě však byl zjištěn trend zvyšující se náhodné chyby měření se zvyšující se rychlostí lokomoce (tabulka 5), podobně jako u trati na 75 m (viz. výše). Při chůzi byla náhodná chyba měření ± 2 m, při poklusu $\pm 8,2$ m, při rychlém běhu $\pm 13,3$ m a při sprintu dokonce $\pm 32,3$ m. O vlivu rychlosti lokomoce na přesnost měření vzdáleností se dá u přímých tratí hovořit u vzdáleností na 75 a 100 m, kde bylo zřejmé, že jsou nízké intenzity lokomoce podhodnocovány, zatímco vysoké intenzity lokomoce GPS přístroj nadhodnocoval. U 50 m tratě zase rychlost lokomoce ovlivňovala velikost náhodné chyby, která u sprintu dosáhla dokonce $\pm 32,3$ m.

Tabulka 5. Vzdálenosti naměřené přístrojem GPS Polar G3 při lokomoci jedince na 50 metrové přímé trati v různých rychlostech a jejich rozdíly od skutečné vzdálenosti 50 m.

	V_p	T_u	Me	MAD	M	SD	δ_s	δ (95% CI)	LS (95%)
50 m	($m \cdot s^{-1}$)	(CV%)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Chůze	1,54	2,71	46	0	45,8	1,0	-4,2	2,0	-4,2 ± 2,0
Poklus	2,74	5,04	46	1	44,4	4,2	-5,6	8,2	-5,6 ± 8,2
Rychlý běh	5,26	13,92	58	8	49,6	15,2	-0,4	13,3	-0,4 ± 13,3
Sprint	6,10	15,61	45	3	36,6	16,5	-13,4	32,3	-13,4 ± 32,3
Celkem	-	-	-	-	44,1	12,4	-5,9	20	-5,9 ± 20

Vysvětlivky: V_p – průměrná dosažená rychlost; T_u – čas na 12,5 metrových úsecích; Me – medián; MAD – absolutní mediánová odchylka; M – průměr; SD – směrodatná odchylka; δ_s – systematická chyba měření; δ (95% CI) – confidence interval pro náhodnou chybu měření 95% CI pro δ ; LS (95%) – 95% limit shody podle Bland-Altmana.

Tabulka 6. Vzdálenosti naměřené přístrojem GPS Polar G3 při lokomoci jedince na 25 metrové přímé trati v různých rychlostech a jejich rozdíly od skutečné vzdálenosti 25 m.

	V_p	T_u	Me	MAD	M	SD	δ_s	δ (95% CI)	LS (95%)
25 m	($m \cdot s^{-1}$)	(CV%)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Chůze	1,5	2,76	23	3	21,8	2,9	-3,2	4,7	-3,2 ± 4,7
Poklus	2,44	3,31	13	1	17,2	6,0	-7,8	11,8	-7,8 ± 11,8
Rychlý běh	4,52	5,8	17	1	15,8	9,2	-9,2	14,3	-9,2 ± 14,3
Sprint	5,44	6,96	22	3	22,2	4,0	-2,8	5,5	-2,8 ± 5,5
Celkem	-	-	-	-	19,3	6,6	-5,7	11,6	-5,7 ± 11,6

Vysvětlivky: V_p – průměrná dosažená rychlost; T_u – čas na 12,5 metrových úsecích; Me – medián; MAD – absolutní mediánová odchylka; M – průměr; SD – směrodatná odchylka; δ_s – systematická chyba měření; δ (95% CI) – confidence interval pro náhodnou chybu měření 95% CI pro δ ; LS (95%) – 95% limit shody podle Bland-Altmana.

Celkové výsledky (tabulky 3-6) pro přímé tratě, bez ohledu na rychlost (20 zkoušek), ukázaly, že systém GPS dosahuje vyšší přesnosti měření na delších tratích a to jak z hlediska systematické, tak i náhodné chyby měření. Systematická chyba měření byla na 100 m trati 1,1% a na 75 m trati 2,3%. Na kratších tratích byla přesnost měření mnohem nižší, systematická chyba měření dosáhla na 50 m trati hodnoty 11,8% a na 25 m trati dokonce 22,8%. Náhodná chyba měření potvrdila stejný trend, tedy vyšší hodnotu se zkracující se vzdáleností. Zatímco na 100 m a 75 m trati byla tato chyba

přijatelná, $\pm 12,9\%$ respektive $\pm 14,4\%$, na 50 m a 25 m trati dosáhla výrazně vyšších hodnot a to $\pm 40\%$ respektive $\pm 46,4\%$. Tyto celkové výsledky poukazují na vyšší chybu měření se snižující se měřenou vzdáleností.

Výsledky měření vzdáleností překonávaných lokomocí jedince na nepřímých tratích odhalily podhodnocení vzdáleností ve srovnání se skutečnou vzdáleností, a to u všech délek tratí a rychlostních kategorií lokomoce. Na 100 m trati (tabulka 7) byl se zvyšující se rychlostí lokomoce zjištěn nižší rozdíl mezi skutečnou a naměřenou vzdáleností, δ_s - 20,8 m při chůzi, -17,8 m při poklusu, -17,8 m při rychlém běhu a -11,4 při sprintu. Ještě výraznější byl se zvyšující se rychlostí lokomoce pokles náhodné chyby měření. Od $\pm 16,7$ m při chůzi až po $\pm 2,7$ m při sprintu.

Tabulka 7. Vzdálenosti naměřené přístrojem GPS Polar G3 při lokomoci jedince na 100 metrové nepřímé trati v různých rychlostech a jejich rozdíly od skutečné vzdálenosti 100 m.

	V_p	T_u	Me	MAD	M	SD	δ_s	δ (95% CI)	LS (95%)
100 m	($m \cdot s^{-1}$)	(CV%)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Chůze	1,48	2,73	78	8	79,2	8,5	-20,8	16,7	-20,8 \pm 16,7
Poklus	2,12	3,73	80	4	82,2	5,1	-17,8	10,0	-17,8 \pm 10,0
Rychlý běh	3,16	3,28	82	1	82,2	2,6	-17,8	5,1	-17,8 \pm 5,1
Sprint	4,18	6,02	88	1	88,6	1,4	-11,4	2,7	-11,4 \pm 2,7
Celkem	-	-	-	-	83,1	6,2	-16,9	12,2	-16,9 \pm 12,2

Vysvětlivky: V_p – průměrná dosažená rychlost; T_u – čas na 12,5 metrových úsecích; Me – medián; MAD – absolutní mediánová odchylka; M – průměr; SD – směrodatná odchylka; δ_s – systematická chyba měření; δ (95% CI) – confidence interval pro náhodnou chybu měření 95% CI pro δ ; LS (95%) – 95% limit shody podle Bland-Altmana.

Vliv rychlosti lokomoce na náhodnou chybu měření byl zjištěn také na 75 m trati (tabulka 8), 50 m trati (tabulka 9) a 25 m trati (tabulka 10). Zajímavostí je, že zatímco na tratích 100 m a 50 m se velikost náhodné chyby s rychlostí lokomoce snižovala, u 75 m a 25 tratě tomu bylo naopak.

Tabulka 8. Vzdálenosti naměřené přístrojem GPS Polar G3 při lokomoci jedince na 75 metrové nepřímé trati v různých rychlostech a jejich rozdíly od skutečné vzdálenosti 75 m.

	V_p	T_u	Me	MAD	M	SD	δ_s	δ (95% CI)	LS (95%)
75 m	($m \cdot s^{-1}$)	(CV%)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Chůze	1,56	2,12	64	2	63,8	2,8	-11,2	5,5	-11,2 ± 5,5
Poklus	2,21	3,71	64	1	64,2	1,3	-10,8	2,5	-10,8 ± 2,5
Rychlý běh	3,19	4,60	61	5	60,0	4,0	-15,0	7,8	-15,0 ± 7,8
Sprint	4,01	6,11	61	2	63,8	5,2	-11,2	10,2	-11,2 ± 10,2
Celkem	-	-	-	-	63,0	4,0	-12,0	7,8	-12,0 ± 7,8

Vysvětlivky: V_p – průměrná dosažená rychlost; T_u – čas na 12,5 metrových úsecích; Me – medián; MAD – absolutní mediánová odchylka; M – průměr; SD – směrodatná odchylka; δ_s – systematická chyba měření; δ (95% CI) – confidence interval pro náhodnou chybu měření 95% CI pro δ ; LS (95%) – 95% limit shody podle Bland-Altmana.

Tabulka 9. Vzdálenosti naměřené přístrojem GPS Polar G3 při lokomoci jedince na 50 m nepřímé trati v různých rychlostech a jejich rozdíly od skutečné vzdálenosti 50 m.

	V_p	T_u	Me	MAD	M	SD	δ_s	δ (95% CI)	LS (95%)
50 m	($m \cdot s^{-1}$)	(CV%)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Chůze	1,50	2,39	40	2	35,6	7,8	-14,4	15,3	-14,4 ± 15,3
Poklus	2,28	4,74	39	3	38,8	3,5	-11,2	6,9	-11,2 ± 6,9
Rychlý běh	3,34	6,13	42	2	41,4	2,2	-8,6	4,3	-8,6 ± 4,3
Sprint	4,06	7,47	41	1	40,8	1,7	-9,2	3,3	-9,2 ± 3,3
Celkem	-	-	-	-	39,2	5,0	-10,8	9,8	-10,8 ± 9,8

Vysvětlivky: V_p – průměrná dosažená rychlost; T_u – čas na 12,5 metrových úsecích; Me – medián; MAD – absolutní mediánová odchylka; M – průměr; SD – směrodatná odchylka; δ_s – systematická chyba měření; δ (95% CI) – confidence interval pro náhodnou chybu měření 95% CI pro δ ; LS (95%) – 95% limit shody podle Bland-Altmana.

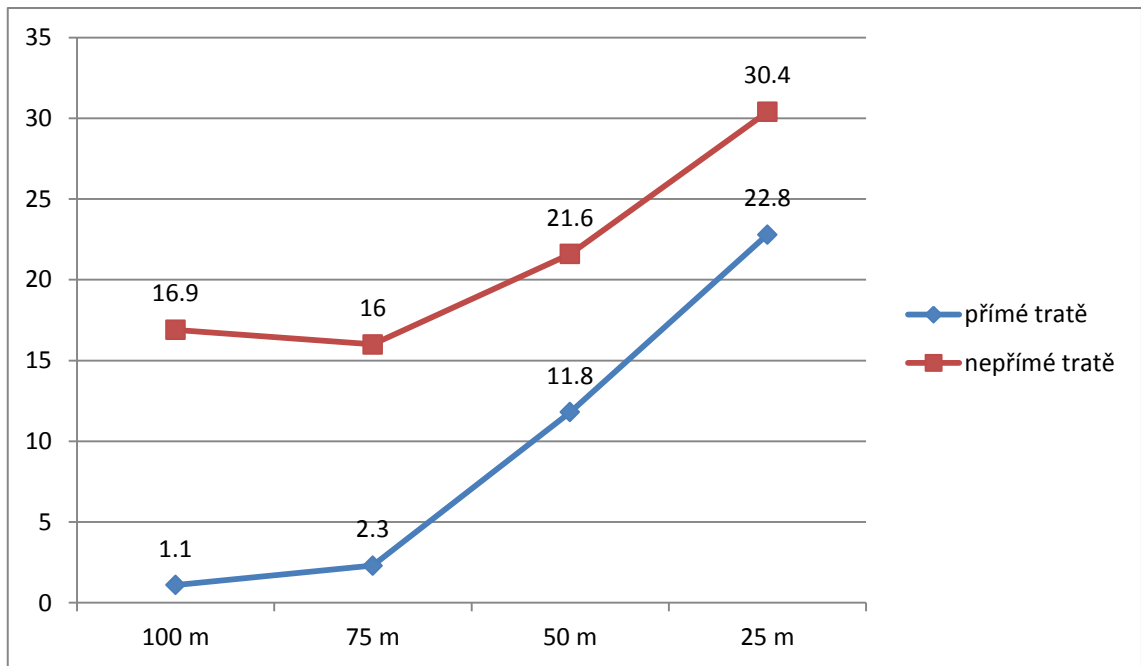
Tabulka 10. Vzdálenosti naměřené přístrojem GPS Polar G3 při lokomoci jedince na 25 metrové nepřímé trati v různých rychlostech a jejich rozdíly od skutečné vzdálenosti 25 m.

	V_p	T_u	Me	MAD	M	SD	δ_s	δ (95% CI)	LS (95%)
25 m	($m \cdot s^{-1}$)	(CV%)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Chůze	1,46	2,44	19	1	19,2	1,3	-5,8	2,5	-5,8 ± 2,5
Poklus	2,14	3,24	17	1	16,2	2,8	-8,8	5,5	-8,8 ± 5,5
Rychlý běh	3,22	1,29	18	3	17,4	3,4	-7,6	6,7	-7,6 ± 6,7
Sprint	4,00	2,56	14	10	16,6	8,8	-8,4	14,7	-8,4 ± 14,7
Celkem	-	-	-	-	17,4	5,1	-7,6	9,0	-7,6 ± 9,0

Vysvětlivky: V_p – průměrná dosažená rychlost; T_u – čas na 12,5 metrových úsecích; Me – medián; MAD – absolutní mediánová odchylka; M – průměr; SD – směrodatná odchylka; δ_s – systematická chyba měření; δ (95% CI) – confidence interval pro náhodnou chybu měření 95% CI pro δ ; LS (95%) – 95% limit shody podle Bland-Altmana.

Celkové výsledky pro nepřímé tratě (tabulky 7-10), bez ohledu na rychlost, ukázaly, že systémová i náhodná chyba měření je, až na výjimky, vyšší v případě měření lokomoce na kratší vzdálenost. Systémová chyba dosahovala hodnot 16,9% na 100 m trati, 16% na 75 m trati, 21,6% na 50 m trati a 30,4% na 25 m trati. Náhodná chyba byla $\pm 12,2\%$ na 100 m trati, $\pm 10,4\%$ na 75 m trati, $\pm 19,6\%$ na 50 m trati a $\pm 36\%$ na 25 m trati. Podobné tendence byly zjištěny i na tratích přímých.

Při komparaci naměřených vzdáleností na přímých a nepřímých tratích bylo zjištěno, že GPS senzor měřil překonanou vzdálenost na přímých tratích výrazně přesněji než na tratích nepřímých (obrázek 8). Zajímavostí také je, že u přímých tratí bylo zvyšování velikosti systematické chyby měření se zkracováním vzdáleností mnohem prudší než u tratí nepřímých. To znamenalo, že se velikost rozdílu systematické chyby měření mezi oběma rozdílnými trajektoriemi pohybu (přímých a nepřímých) snižovala se snižující se vzdáleností. Zatímco u 100 m tratě byl zaznamenán rozdíl v systematické chybě měření 15,8%, u 25 m tratě to bylo už jen 7,6%.



Obrázek 9. Závislost průměrné systematické chyby měření na přímých a nepřímých tratích pomocí GPS (%) na překonané vzdálenosti.

6 DISKUZE

Cílem práce bylo zjistit účinky délky překonané vzdálenosti na přesnost, resp. validitu měření této vzdálenosti pomocí senzoru GPS Polar G3, a dále také ověřit, do jaké míry rychlost lokomoce a trajektorie překonávané tratě ovlivňují přesnost měření vzdáleností. Účastník překonal tratě odlišné trajektorie a vzdálenosti a to čtyřmi předem definovanými rychlostmi lokomoce (chůze, poklus, rychlý běh, sprint).

6.1 Validita lokomočních zkoušek z hlediska rychlosti pohybu účastníka

Rychlost lokomoce, jakou se účastník pohyboval, byla spočítána pomocí času trvání jednotlivých zkoušek a následně zprůměrována. Na přímých tratích se rychlosti lokomoce pohybovaly v rozmezích $1,50 - 1,64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ při chůzi; $2,44 - 2,96 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ při poklusu; $4,52 - 5,64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ při rychlém běhu a $5,44 - 6,78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ při sprintu. Při všech rychlostech lokomoce (chůze, poklus, rychlý běh a sprint) na přímých tratích byl nalezen trend ve zpomalení se zkracující se vzdáleností. To je zřejmě způsobeno tím, že se doba mezi fází akcelerace a fází brzdění při zkracující se vzdálenosti snižuje, trvání potřebné rychlosti lokomoce je tedy relativně kratší na krátkých tratích, než na tratích dlouhých.

Na nepřímých tratích se pohybovaly rychlosti lokomoce v rozmezích $1,46 - 1,56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ při chůzi; $2,12 - 2,28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ při poklusu; $3,16 - 3,34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ při rychlém běhu a $4,00 - 4,18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ při sprintu. Jisté rozdíly ve zkouškách lokomoce provedených účastníkem byly nalezeny v konzistenci její rychlosti. Ta byla vyjádřena variabilitou časů dosažených na 12,5 metrových úsecích při lokomoci v dané rychlostí kategorii a dané vzdálenosti. Výrazná zpomalení při změnách směru, zejména pak u sprintu, pravděpodobně způsobily nižší rychlost u nepřímých tratí a to navzdory relativně stejnému úsilí účastníka u obou typů tratí. Stejně tomu bylo i u Gray et al. (2010). Další rozdíly ve zkouškách lokomoce provedených účastníkem byly nalezeny v konzistenci její rychlosti. Ta byla vyjádřena variabilitou časů (CV) dosažených na 12,5 metrových úsecích při lokomoci v dané rychlostní kategorii a dané vzdálenosti. S výjimkou nepřímé tratě na 25 m se u všech ostatních tratí variační koeficient zvyšoval se zvyšující se rychlostí lokomoce. Nejvyšší konzistence rychlosti lokomoce bylo dosaženo při chůzi (CV 1,7 – 2,7%), nejnižší naopak při sprintu (CV 2,56 – 15,61%). Možným

vysvětlením by mohl být fakt, že se při vyšší rychlosti lokomoce zvyšuje rozdíl mezi prvním mezičasem, kdy dochází obvykle k akceleraci, a dalšími mezičasy, kdy je dosaženo relativně stálého tempa lokomoce. Tyto výše uvedené rozdíly mezi tratěmi je třeba brát v úvahu při posuzování výsledků, protože nemůžeme s jistotou tvrdit, že podmínky byly pro všechny tratě stejné.

Nicméně výše uvedené údaje o intervalech průměrných naměřených rychlostí lokomoce účastníka výzkumu jak na přímých, tak nepřímých tratích potvrdily rozdíly v dosažené rychlosti mezi jednotlivými kategoriemi lokomoce a tím také platnost výsledků ověřování přesnosti měření vzdálenosti přístroje GPS v závislosti na rychlosti lokomoce.

6.2 Validita přístroje GPS Polar G3

Významné zjištění práce, zejména pak pro uživatele GPS Polar G3, se týká vnitřního mechanismu fungování přístroje. V počítačovém programu Polar ProTrainer jsme totiž zjistili, že GPS senzor začíná počítat uběhnuté metry až po 31-35 vteřinách trvání záznamu, ačkoliv trajektorie pohybu je zaznamenávána již od samého začátku. Tento zvláštní rozpor poté způsoboval, že zkoušky kratší než 31 vteřin nebyly v metrech vůbec zaznamenány, přestože byla v témže programu viditelná trajektorie daného úseku. Podobný problém, avšak ne tak výrazný, byl zjištěn i na konci pohybu, neboť uběhnuté metry byly přičítány ještě několik vteřin po jeho skončení. Na tyto chyby, jež mohou ovlivnit výslednou vzdálenost i o několik desítek metrů, byl brán zřetel při všech měřených úsecích. Účastník se tedy musel začít pohybovat až po 35 vteřinách trvání záznamu a po skončení pohybu nechat záznam ještě několik vteřin běžet a stát při tom na místě.

Co se týká samotných výsledků měření, bylo zjištěno, že GPS senzor u delších přímých tratí (100 m a 75 m) při vyšších rychlostech naměřené vzdálenosti nadhodnocoval, zatímco u nižších rychlostí došlo naopak k podhodnocení. To je částečně v souladu s Gray et al. (2010), kde však byly nadhodnoceny přímé tratě u všech rychlostí. Výrazně menší nadhodnocení vzdáleností na přímých tratích (< 0,5%) zaznamenal MacLeod et al. (2009), v jeho metodice však přímá trať zahrnovala změnu směru – otočení o 180°. Nadhodnocení vzdáleností u přímých tratí může být způsobeno

tím, že jednotlivé polohové body nemůžou vždy přesně kopírovat danou přímku a tak je při součtu rozdílů mezi nimi trať nepatrně delší. Jak udává Wormley (2007), celková horizontální chyba může dosáhnout až 10,2 metru a vertikální dokonce 12,8 metru. Je však důležité zmínit, že ani tyto chyby nemusí mít na výslednou vzdálenost rozhodující vliv, neboť se mohou navzájem vyrušit. Je také otázkou, do jaké míry byl účastník při vysokých rychlostech schopen udržet svůj pohyb v přímce, nevelké výkyvy do stran mohou být v součtu rovněž příčinou nadhodnocení vzdáleností, i když spíše v řádu decimetrů, nikoliv metrů, jak tomu bylo u 100 m trati při sprintu. U 75 m tratě bylo navíc zjištěno, že se s vyšší rychlostí zvyšovala také náhodná chyba – od ± 0 při chůzi až po ± 12 při sprintu.

U přímých tratí na 50 a 25 metrů došlo u všech rychlostí k podhodnocení naměřené vzdálenosti. Jennings et al. (2010) zaznamenal na krátkých tratích výrazné podcenění u sprintu a to zejména u přijímače s 1 Hz frekvencí. Castellano, Casamichana, Calleja-González, San Román a Ostojic (2011) zaznamenaly rovněž podcenění na krátkých tratích (15 a 30 metrů) při sprintu, jiné rychlosti lokomoce zde nebyly prověřeny. V našem případě se o výraznějším vlivu některé z rychlostí na přesnost měření krátkých tratí nedá hovořit, neboť nebyl nalezen žádný trend systematické chyby vzhledem k rychlosti lokomoce. I když na 50 m trati by zjištěn, stejně jako u 75 m trati, vliv rychlosti lokomoce na velikost náhodné chyby měření, ta byla v rozsahu ± 2 při chůzi až po $\pm 32,3$ při sprintu. Jennings et al. (2010) také zjistil, že na přesnost měření mají vliv změny rychlosti. Vzdálenost měřená po akceleraci (20 – 40 m) byla mnohem přesnější než fáze akcelerace (0 – 20 m). To by mohlo vysvětlovat menší přesnost měření vzdáleností u krátkých tratí, jelikož je při nich fáze akcelerace vzhledem k jejich celkové délce mnohem delší. Špatná přesnost GPS pro posouzení vzdáleností u krátkých tratí může být způsobena také nízkým počtem vytvořených polohových bodů (fixů) v průběhu tratě, zejména pak u vyšších rychlostí. Zatímco na 100 m trati mohlo být v jejím průběhu GPS přístrojem při chůzi vytvořeno zhruba 60 polohových bodů (vytváření polohy po jedné vteřině), na 25 m trati se jich při stejné rychlosti vytvoří pouze okolo 16-ti. Zajímavé však je, že na 25 m trati byla zaznamenána nejmenší systematická chyba měření při sprintech (-2,8 m), kde se polohových bodů vytvoří zdaleka nejméně (4-5). U žádné z přímých tratí se tak nepotvrdilo tvrzení Portase (2007), že se průměrná chyba odhadu vzdáleností zvyšuje s rostoucí intenzitou pohybu.

U nepřímých tratí došlo ve všech případech k výraznému podhodnocení naměřené vzdálenosti. Předchozí studie zkoumající validitu GPS ukázaly chybu v obou směrech, jak podhodnocení vzdáleností (Gray et al., 2010; Coutts & Duffield, 2010), tak jejich nadhodnocení (MacLeod et al., 2009). Systémový vliv rychlosti lokomoce byl nalezen u 100 m a 50 m tratí, kde se s vyšší rychlostí lokomoce snižovala systematická chyba měření (s výjimkou sprintu na 50 m trati). Vliv rychlosti lokomoce byl u obou tratí podpořen také náhodnou chybou měření, která se při zvyšující se rychlosti lokomoce snižovala. Zajímavé je, že u Gray et al. (2010) tomu bylo přesně naopak a přesnost měření vzdáleností se s vyšší rychlostí snižovala. To jen poukazuje na velkou rozdílnost mezi jednotlivými GPS přístroji respektive jejich vnitřními algoritmy, na kterou upozorňují také Witte a Wilson (2004). Na tratích 75 m a 25 m byl nalezen částečný vliv rychlosti lokomoce na přesnost měření. Náhodná chyba měření se s vyšší rychlostí lokomoce zvyšovala. V systematické chybě měření nebyl v závislosti na rychlosti lokomoce nalezen na těchto tratích žádný trend. Jedním z důvodů podcenění nepřímých tratí je zřejmě fakt, že polohové body nemohou přesně kopírovat trať, neboť jsou vytvářeny v určitých rozestupech (záleží na frekvenci přijímače), výsledná vzdálenost tratě je poté po spojení jednotlivých polohových bodů vždy kratší než skutečná. Teoreticky by tedy přijímače s vyšší obnovovací frekvencí (5 – 10 Hz), které jsou již běžně k dispozici, měly snížit podcenění vzdáleností. To ve své studii zmiňuje také Gray et al. (2010), navíc přidává další možnou příčinu a tou je použitá metodika. Ve většině případů jsou totiž nepřímé tratě složeny z několika přímých úseků se změnou směru. Při zařazení tratí s obloukovými úseky dochází při jejich překonávání, zvláště při vyšších rychlostech, k náklonu účastníka dovnitř zatáčky. Horní polovina těla, kde je upevněn i přijímač, poté urazí kratší trasu než dolní polovina. V naší práci však byly použity tratě s relativně malým rádiem oblouků. Navíc, i když byla středová osa nepřímých tratí asi o 12% kratší než daná vzdálenost, došlo k podcenění až o 30,4% (25 m trať). Tyto výše zmíněné důvody tak nemohou uspokojivě vysvětlit podcenění nepřímých vzdáleností. Vše tak směřuje k použitému GPS přístroji respektive jeho vnitřním algoritmům a systému GPS, nutno totiž připomenout, že k mírnému podhodnocení došlo také u většiny tratí přímých. Jak uvádí Conley (2006), poměr chyb systému GPS je neznámý a vždy záleží na hardwaru daného přijímače.

Celkové výsledky pro jednotlivé tratě, bez ohledu na rychlost, ukázaly přijatelnou přesnost přijímače pouze u přímých tratí na 100 m a 75 m. Zároveň však u těchto tratí

můžeme vidět relativně velkou variabilitu naměřených vzdáleností mezi jednotlivými rychlostmi lokomoce (91,6 – 113 m; 73 – 83,4 m). To ukazuje na to, že se chyby u jednotlivých rychlostí navzájem vrušily a bylo docíleno dobré přesnosti GPS přijímače. Ačkoliv se nabízí, že podobné vrušení chyb by mohlo fungovat i při použití GPS přijímače pro měření překonané vzdálenosti ve sportovních hrách, nikdy nemůžeme vědět, jaký bude poměr jednotlivých rychlostí a trajektorií pohybu. Z posledních výzkumů vyplývá, že drtivá většina z překonané vzdálenosti v oblasti sportovního tréninku a sportovních her je při nízkých intenzitách (chůze a běh s přímými a nepřímými trajektoriemi), proložené krátkými intervaly vysoce intenzivního úsilí (Dawson, Hopkinson, Appleby, Stewart, & Roberts, 2004; Di Salvo, et al., 2007; Rudkin & O'Donoghue, 2008). Ve skutečnosti je 70-75% (Di Salvo, et al., 2007), 80-88% (Dawson, et al., 2004) a dokonce 91% (Rudkin & O'Donoghue, 2008) z celkové překonané vzdálenosti ve fotbale, australském fotbale respektive kriketu stráveno v nízké pohybové intenzitě. V naší práci nebyla na rozdíl od Gray et al. (2010) v nízkých pohybových intenzitách zjištěna dobrá spolehlivost GPS přijímače. Účastník překonal každou rychlostí lokomoce na přímých i nepřímých tratích celkem 2500 metrů, největší chyba měření vzdáleností byla zjištěna právě v nízkých intenzitách pohybu (chůze 14%, poklus 13,2%). Proto lze předpokládat, že při tak velkém podílu nízkých pohybových intenzit a nepřímých pohybových trajektorií, jež jsou součástí sportovních her, by v případě námi použitého GPS přijímače docházelo k výraznému podcenění vzdáleností. Použití GPS přijímače se nabízí spíše pro terénní sporty, kde sportovec překonává relativně rovné úseky bez častých změn směru, jako jsou silniční běhy, cyklistika apod.

Budoucí výzkum by se měl zaměřit na ověřování validity GPS přijímačů s vyšší obnovovací frekvencí (5 – 10 Hz) či dalšími vylepšeními (např. zabudovaný akcelerometr), které by mohly některé chyby minimalizovat a být tak výrazně přesnější. Dále by se mělo pokračovat v zjišťování inter-reliability mezi GPS přístroji, protože se ukazuje, že i dva totožné přístroje se mohou v měření vzdáleností lišit a to i o více než 6% (Gray et al., 2010; Petersen et al., 2009).

Vzhledem ke všem výše zmíněným chybám GPS zůstává otázkou, do jaké míry je použití tohoto systému pro kvantifikaci překonané vzdáleností hráčů sportovních her vhodné.

Ve sportovní diagnostické praxi musíme počítat na přímých tratích se systematickou a náhodnou chybou měření $1,1 \pm 12,9$ m na 100 m trati, $1,7 \pm 10,8$ m na 75 m trati, $-5,9 \pm 20$ m na 50 m trati a $-5,7 \pm 11,6$ m na 25 m trati. Na nepřímých tratích dosahovala systematická a náhodná chyba měření hodnot $-16,9 \pm 12,2$ m na 100 m trati, $-12 \pm 7,8$ m na 75 m trati, $-10,8 \pm 9,8$ m na 50 m trati a $-7,6 \pm 9,0$ m na 25 m trati. Vliv rychlosti lokomoce na přesnost měření vzdáleností nebyl v naší práci jednoznačně potvrzen, zdá se, že rychlost lokomoce ovlivňuje přesnost měření pouze u delších vzdáleností. Navíc byly u některých tratí nalezeny zcela opačné trendy v náhodné chybě měření. Když však sečteme naměřené vzdálenosti pro jednotlivé lokomoce na přímých i nepřímých tratích (skutečná vzdálenost 2500 m), tak zjistíme, že přístroj podhodnotil vzdálenosti zejména v nízkých rychlostech lokomoce – při chůzi o 14% a při poklusu o 13,2%, ve vyšších rychlostech lokomoce bylo podhodnocení vzdálenosti nižší – 10,9% při rychlém běhu a 7% při sprintu. Ve sportovních hrách, kde je velký podíl nepřímých pohybů, navíc překonaných v nízkých pohybových intenzitách, je třeba počítat s podhodnocením vzdáleností i o více než 10%. Přijímač GPS Polar G3 měří nejpřesněji delší tratě s přímou trajektorií.

7 ZÁVĚR

Práce shrnuje poznatky z literatury a internetových zdrojů o nejrozšířenějším družicovém polohovém systému GPS. Speciálně se pak zaměřuje na možné chyby systému při určování polohy. Tyto chyby se totiž projevují také při měření překonané vzdálenosti a mohou způsobit její zkreslení. A právě ověření přesnosti měření vzdáleností systémem GPS bylo cílem naší práce. K dispozici jsme měli přístroj GPS Polar G3 od firmy Polar, který pracuje s obnovovací frekvencí 1 Hz.

Výsledky ukázaly, že GPS přístroj je více validní pro měření delších vzdáleností překonaných v přímém směru pohybu. Přístroj má přijatelnou validitu s limity shody $1,1 \pm 12,9$ m ($1,1 \pm 12,9\%$) a $1,7 \pm 10,8$ m ($2,3 \pm 14,4\%$) v případě vzdáleností na 100 m respektive 75 m. Avšak chyba se výrazně zvyšuje při určování vzdáleností na kratších tratích, na 50 m a 25 m tratích dosáhl limit shody hodnot $-5,9 \pm 20$ m ($-11,8 \pm 40\%$) respektive $-5,7 \pm 11,6$ ($-22,8 \pm 46,4\%$). Dále výsledky práce ukazují spíše na podhodnocení skutečné vzdálenosti překonané lokomocí člověka na přímých tratích a to zejména u kratších vzdáleností.

Pro měření vzdáleností překonaných lokomocí člověka na nepřímých tratích se musí počítat s výrazným podhodnocením vzdáleností. Stejně jako u přímých tratí je přístroj GPS Polar G3 více validní pro delší vzdálenosti. Na 100 m trati byl zjištěn limit shody $-16,9 \pm 12,2$ m ($-16,9 \pm 12,2\%$) a na 75 m trati $-12,0 \pm 7,8$ m ($-16 \pm 10,4\%$). U vzdáleností na 50 m a 25 m byl limit shody $-10,8 \pm 9,8$ m ($-21,6 \pm 19,6\%$) respektive $-7,6 \pm 9,0$ m ($-30,4 \pm 36\%$).

Vliv rychlosti lokomoce na přesnost měření nebyl jednoznačně prokázán. Zdá se, že rychlost lokomoce ovlivňuje přesnost měření pouze na delších tratích. Navíc byl u některých tratí nalezen zcela opačný trend v náhodné chybě měření.

Vzhledem k pohybovému profilu hráčů sportovních her, kde se střídají pohyby různé intenzity a trajektorie, je třeba počítat s výrazným podhodnocením překonané vzdálenosti. Na základě výsledků se domníváme, že by podhodnocení vzdálenosti mohlo dosahovat více než 10%. Výsledná vzdálenost by navíc mohla být ovlivněna i

jednotlivými herními posty, neboť pro každý herní post je typická jiná trajektorie pohybů.

Větší validity měření překonané vzdálenosti by přístroj GPS Polar G3 mohl dosáhnout u sportů, kde nedochází k častým změnám intenzity či směru pohybu, jako jsou silniční běhy, cyklistika a podobně.

Další neméně důležitou informací pro uživatele přístroje GPS Polar G3 je fakt, že přístroj začíná měřit překonanou vzdálenost až po 35 vteřinách trvání záznamu a s načítáním metrů pokračuje i pár vteřin po skončení pohybu. Při nerespektování tohoto problému (před zahájením pohybu se doporučuje stát na místě po dobu 35 vteřin a po skončení pohybu nechat záznam ještě několik vteřin běžet a stát při tom na místě) může být výsledná vzdálenost podceněna až o několik desítek metrů.

Jednou z největších výhod systému GPS je bezpochyby jeho dostupnost. GPS přijímačů pro turistiku či sport existují desítky a nejlevnější z nich si lze dnes pořídit již za několik stovek korun.

8 SOUHRN

Cílem této práce bylo ověřit validitu přístroje GPS Polar G3 pro měření vzdáleností s vyhlídkou jeho možného využití pro diagnostiku ve sportovních hrách. Výsledky ukázaly, že GPS přístroj Polar G3 naměřené vzdálenosti až na výjimky podhodnocuje, zejména pak na nepřímých tratích kratších vzdáleností. Na základě tohoto zjištění se při použití přístroje GPS Polar G3 pro analýzu překonané vzdálenosti ve sportovních hrách musí počítat s podhodnocením vzdáleností o více než 10%.

Navíc byl odhalen jeden z vnitřních mechanismů přístroje, jenž může ovlivnit výslednou vzdálenost až o několik desítek metrů, ale kterému lze při dodržení jednoduchých pokynů předejít.

Použití přístroje GPS Polar G3 se nabízí spíše pro turistiku či sporty, kde nedochází k častým změnám rychlosti lokomoce či trajektorie pohybu, jako jsou silniční běhy, cyklistika apod.

9 SUMMARY

The aim of this thesis was to verify the validity of the GPS Polar G3 device for measuring distances with a view of the possible use for diagnostics in sports games. Results showed, that the GPS Polar G3 device measured distances exceptions underestimates especially on non-linear courses of shorter distances. Based on this finding must be calculated when using the GPS Polar G3 device for analysing of the distance covered in sports games with the underestimation of distances by more than 10%.

In addition, there was revealed one of the internal mechanism, which can affect the final distance of up to several tens of meters, but which is observe to the simple instructions to avoid.

Using the GPS Polar G3 device is preferable rather for hiking or sports, where aren't frequent changes of locomotion speed or trajectory, such as road running, cycling etc.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Aughey, R. (2011). Increased high intensity activity in elite Australian football final matches. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 6, 367-379.
- Aughey, R. J. (2011). Applications of GPS technologies to field sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6, 295-310.
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Simpson, B. M., & Bourdon, P. C. (2010). Match running performance and fitness in youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(11), 818-825.
- Castellano, J., Casamichana, D., Calleja-González, J., San Román, J., & Ostojic, S. M. (2011). Reliability and accuracy of 10 Hz GPS devices for short-distance exercise. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10, 233-234.
- Conley, R., Cosentino, R., Kaplan, E. D., Hegarty, C. J., Leva, J., de Haag, M, et al. (2006). Performance of stand-alone GPS. In E. D. Kaplan, & C. J. Hegarty (Eds.), *Understanding GPS: Principles and applications* (2nd ed., pp. 301-378). Boston, MA: Artech House inc.
- Cooper, A. L., Page, A. S., Wheeler, B. W., Hillsdon, M., Griew, P., & Jago, R. (2010). Patterns of GPS measured time outdoors after school and objective physical activity in English children: the PEACH project. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 7, 1-9.
- Coutts, A. J., & Duffield, R. (2010). Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13, pp 133-135.
- Coutts, A. J., Quinn, J., Hocking, J., Castagna, C., & Rampinini, E. (2010). Match running performance in elite Australian Rules Football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 543-548.
- Čábelka, M. (2008). *Úvod do GPS*. Praha: CITT Praha.
- Čadík, M. (2001). Homepage: *GPS do ruky*. Retrieved 20. 7. 2013 from the World Wide Web: <http://cadik.posvete.cz/school/nm>
- Dawson, B., Hopkinson, R., Appleby, B., Stewart, G., & Roberts, C. (2004). Player movement patterns and game activities in the Australian Football League. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7, 278-291.

- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28, pp 222-227.
- Duffield, R., Reid, M., Baker, J., & Spratford, W. (2010). Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of movement patterns in confined spaces for court-based sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13, 523-525.
- Duncan, M. J., Badland, H. M., Mummery, W. K. (2009). Applying GPS to enhance understanding of transport-related physical activity. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 12(5), 549-556.
- Edgecomb, S. J., Norton, K. I. (2006). Comparison of global positioning and computer-based tracking systems for measuring player movement distance during Australian Football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9, 25-32.
- Gray, A. J., Jenkins, D., Andrews, M. H., Taaffe, D. R., & Glover, M. L. (2010). Validity and reliability of GPS for measuring distance travelled in field-based team sports. *Journal of Sports Sciences*, 28(12), 1319-1325.
- Hebenbrock, M., Due, M., Holzhausen, H., Sass, A., Stadler, P., & Ellendorff, F. (2005). A new tool to monitor training and performance of sport horses using global positioning system (GPS) with integrated GSM capabilities. *Dtsch Tierarztl Wochenschr.*, 112(7), 262-265.
- Hrdina, Z., Pánek, P., & Vejražka, F. (1995). *Rádiové určování polohy (Družicový systém GPS)*. Praha: ČVUT.
- Jennings, D., Cormack, S., Coutts, A. J., Boyd, L. J., & Aughey, R. J. (2010). Variability of GPS units for measuring distance in team sport movements. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5, 565-569.
- Jennings, D., Cormack, S., Coutts, A. J., Boyd, L., & Aughey R. J. (2010). The validity and reliability of GPS units for measuring distance in team sport specific running patterns. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5, 328-341.
- Kvapil, J. (2005). Kosmický segment GPS a jeho budoucnost. *Aldebaran Bulletin*. Retrieved 18. 12. 2012 from the World Wide Web: www.aldebaran.cz/bulletin/2005_02_gps.php
- Larsson, P., Burlin, L., Jakobsson, E., Henriksson-Larsen, K. (2002). Analysis of performance in orienteering with treadmill tests and physiological field tests using a differential global positioning system. *Journal of Sports Sciences.*, 20(7), 529-535.

- Larsson, P., & Henriksson-Larsen, K. (2005). Combined metabolic gas analyser and dGPS analysis of performance in cross-country skiing. *Journal of Sports Sciences*, 23(8), 861-870.
- MacLeod, H., Morris, J., Nevill, A., & Sunderland, C. (2009). The validity of a non-differential global positioning system for assessing player movement patterns in field hockey. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 121-128.
- Marek, J., & Štěpánek, L. (2009). Přesnost satelitního navigačního systému GPS a jeho dostupnost v kritických podmínkách. *Perner's Contacts*, 4(3), 162-173.
- Misra, P., & Enge, P. (2006). *Global positioning system: Signals, measurement and performance* (2nd ed.). Lincoln, MA: Ganga-Jamuna Press.
- Petersen, C., Pyne, D., Portus, M., & Dawson, B. (2009). Validity and Reliability of GPS Units to Monitor Cricket-Specific Movement Patterns. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4, 381-393.
- Petersen, C. J., Pyne, D. B., Dawson, B. T., Kellett, A. D., & Portus, M. R. (2011). Comparison of training and game demands of national level cricketers. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(5), 1306-1311.
- Portas, M. D., Harley, J. A., Barnes, Ch. A., & Rush, Ch. J. (2010). The validity and reliability of 1-Hz and 5-Hz Global Positioning Systems for linear, multidirectional, and soccer-specific activities. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5, 448-458.
- Randers, M. B., Mujika, I., Hewitt, A., Santisteban, J., Bischoff, R., Solano, R., Zubillaga, A., Peltola, E., Krustup, P., & Mohr, M. (2010). Application of four different football match analysis system: A comparative study. *Journal of Sport Sciences*, 28(2), 171-182.
- Rapant, P. (2002). *Družicové polohové systémy*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava.
- Rizos, C. (1999). 5.1.2 GPS Satellite surveying: some considerations. Factors influencing the adoption of GPS for land survey applications. Retrieved 18. 12. 2012 from the World Wide Web: http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/chap5/512htm
- Rudkin, S. T., & O'Donoghue, P. G. (2008). Time-motion analysis of first-class cricket fielding. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11, pp 604-607.
- Schutz, Y., & Herren, R. (2000). Assessment of speed human locomotion using a differential satellite global positioning system. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 32, 642-646.

- Steiner, I., Černý, J. (2006). *GPS od A do Z* (4th ed.). Praha: eNav, s. r. o.
- Švábenský, O., Fixel, J., & Weigel, J. (1995). *Základy GPS a jeho praktické aplikace*. Brno: CERM, s.r.o.
- Šolc, J. (2010). GPS řešení pro logistiku. *IT Systems*, 7-8. Retrieved 20. 7. 2013 from the World Wide Web: <http://www.systemonline.cz/it-pro-logistiku/gps-reseni-pro-logistiku.htm>
- Terrier, P., Ladetto, Q., Merminod, B., & Schutz, Y. (2000). High-precision satellite positioning system as a new tool to study the biomechanics of human locomotion. *Journal of Biomechanics*, 33(12), 1717-1722.
- Terrier, P., Ladetto, Q., Merminod, B., & Schutz, Y. (2001). Measurement of the mechanical power of walking by satellite positioning system (GPS). *Medicine and Science in Sports Exercise*, 33(11), 1912-1918.
- Townshend, A. D., Worringham, C. J., & Stewart, I. B. (2008). Assessment of speed and position during human locomotion using nondifferential GPS. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40, 124-132.
- Witte, T. H., & Wilson, A. M. (2004). Accuracy of non-differential GPS for the determination of speed over ground. *Journal of Biomechanics*, 37, 1891-1898.
- Wormley, S. J. (2010). GPS Errors & estimating your receiver's accuracy. Retrieved 28. 12. 2012 from the World Wide Web: www.edu-observatory.org/gps/gps_accuracy.html

Internetové odkazy

- Anonymous (2013). Retrieved 18. 12. 2012 from the World Wide Web: <http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS>
- Anonymous (2013). Retrieved 18. 12. 2012 from the World Wide Web: http://cs.wikipedia.org/wiki/Kruhov%C3%A1_rychlost
- Anonymous (2007). Retrieved 18. 12. 2012 from the World Wide Web: http://www.gps.tym.cz/vojenske_uziti.php