

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

**Ověření funkčnosti vybraných běžeckých sporttesterů vybavených
GPS**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

Mgr. Lenka Kovářová, Ph.D., MBA,

Vypracoval:

Bc. Miroslav Jurič

Praha, prosinec 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne 1. prosince 2014

.....

Bc. Miroslav Jurič

Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením své diplomové práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto diplomovou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno a příjmení:

Fakulta / katedra:

Datum vypůjčení:

Podpis:

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí mé diplomové práce **Mgr. Lence Kovářové, Ph.D., MBA**, za ochotu a trpělivost při odborných konzultacích a vedení při tvorbě diplomové práce.

Abstrakt

Autor práce: Bc. Miroslav Jurič

Vedoucí práce: Mgr. Lenka Kovářová, Ph.D., MBA

Název: Ověření funkčnosti vybraných běžeckých sporttesterů vybavených GPS.

Cíle: Hlavním cílem diplomové práce je porovnat přesnost mezi ověřovanými sporttestery využívajícími pro měření vzdálenosti technologii GPS a geodetickými přístroji v rozdílném prostředí a podmínkách.

Následně ověřit či vyvrátit hypotézy o přesnosti měření v jednotlivých prostředích a vlivu technologické vyspělosti přístroje na rychlost připojení a přesnost měření.

Metody: Odchylka měření u ověřovaných sporttesterů, byla pomocí % vypočtena z rozdílu naměřených hodnot při rozdílných testech a za rozdílných podmínek oproti zlatému standardu. Naměřené hodnoty byly statisticky vyhodnoceny.

Výsledky: Při ověřování přesnosti na přímočarém vytáčeném úseku byla zjištěna u přístroje Garmin 910 TX průměrnou odchylku -0,15 %, Garmin 620 -0,19%, Polar RC3 -0,25 %, Suunto Ambit 2R -0,26%, Adidas Smart Run -0,43 %.

Na křivočarém vytýčeném úseku byla průměrná odchylky u Garmin 910 TX -0,48 %, Garmin 620 -1,025%, Polar RC3 -0,8 %, Suunto Ambit 2R -0,755%, Adidas Smart Run -2,885 %.

Klíčová slova: GPS, sporttester, sportovní trénink, navigační systém.

Abstract

Name of the author: Bc. Miroslav Jurič

Supervisor: Mgr. Lenka Kovářová, Ph.D., MBA

Title: Functional verification of selected running Sport-Testers equipped with GPS

Objectives: The main object of this thesis is to compare an accuracy between compared sport testers using GPS to measure distance and geodetic devices in different environments and conditions. Followed by attesting or disproving hypothesis about measure accuracy in each instrument and the influence of technological instrumental advancement on speed of connection and measuring accuracy.

Methods: The measure divergency of the used sport testers was thanks to % counted from the difference of measured values on different tests and different conditions beside of the golden standard. Measured values were statistically evaluated.

Results: During the accuracy measurement on straightforward dial-up section was found in Garmin 910 TX with the average deviation -0,15%, Garmin 620 -0,19%, Polar RC3 -0,25 %, Suunto Ambit 2R -0,26%, Adidas Smart Run -0,43 %.

On the curvilinear section was the average deviation of Garmin 910 TX -0,48 %, Garmin 620 -1,025%, Polar RC3 -0,8 %, Suunto Ambit 2R -0,755%, Adidas Smart Run -2,885 %.

Keywords: GPS, sport tester, sports training, navigation system.

Obsah

1	ÚVOD	9
2	TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE	11
2.1	Navigace.....	11
2.1.1	Historie navigace	11
2.1.2	Obecné principy fungování družicových navigačních systémů	17
2.1.3	Technické parametry GPS NAVSTAR	20
2.1.4	Přesnost GPS NAVSTAR	24
2.1.5	Faktory ovlivňující přesnost	25
2.1.6	Komerční použití GPS NAVSTAR.....	27
2.1.7	Civilní přístroje GPS NAVSTAR	28
2.2	Sporttester.....	31
2.2.1	Sporttester s integrovaným modulem	33
2.2.2	Sporttester s externím modulem.....	34
2.3	Sportovní trénink.....	35
2.3.1	Systémové pojetí sportovního tréninku	35
2.3.2	Řízení sportovního tréninku	36
2.3.3	Plánování	37
2.3.4	Evidence	38
2.3.5	Kontrola trénovanosti	38
2.3.6	Vyhodnocování tréninku.....	39
2.3.7	Sporttester jako nástroj kontroly a evidence sportovního tréninku	39
2.3.8	Virtuální prostředí jako nástroj kontroly a evidence.....	41
2.4	Souhrn teoretické části	42
3	CÍLE HYPOTÉZY A ÚKOLY PRÁCE	43
3.1	Cíl práce	43

3.2	Hypotézy	43
3.3	Úkoly práce	43
4	METODIKA VÝZKUMNÉ PRÁCE	44
4.1	Charakteristika výzkumné práce	44
4.2	Popis výzkumného souboru	44
4.2.1	Ověřované sporttestery	44
4.2.2	Organizace výzkumu	48
4.2.3	Postup měření připojení.....	52
4.2.4	Postup ověřování přesnosti vzdálenosti.....	52
5	VÝSLEDKY	53
5.1	Měření rychlosti připojení k satelitům	53
5.2	Měření přesnosti vzdálenosti u ověřovaných sporttesterů	55
5.3	Souhrnné výsledky měření rychlosti připojení u ověřovaných přístrojů	58
5.4	Souhrnné výsledky měření vzdálenosti ověřovaných přístrojů.....	59
6	DISKUZE.....	62
7	ZÁVĚR.....	67
	Seznam literatury	69
	Seznam tabulek	74
	Seznam obrázků.....	75

1 ÚVOD

Je ustáleným rčením, že se svět kolem nás rychle mění. Čas běží rychleji, vzdálenosti se zkracují, stárneme rychleji a na vše máme mnohem méně času. Jedním pohledem na hodinky se však vracíme do reality a zjišťujeme, že pocit zrychlení je jen zdáním.

Ano. Hodinky, jen taková maličkost na zápěstí většiny z nás dokáže uvést věci na pravou míru. Hodinky v dnešní době však nejsou jen doplňkem, který ukazuje čas, ale je to mnohdy extrémně výkonný počítač, který dokáže velké věci. Analýze právě takových hodinek jsem se rozhodl věnovat v této práci. Jedná se o úzkou skupinu náramkových hodinek s funkcí měření tepové frekvence (sporttester) a funkcí měření vzdálenosti pomocí modulu GPS. Tento modul je přímou součástí takových hodinek, které jsou přímo určené pro výkonnostní sportovce. Všechny analyzované měřiče v současné době (2014) patří u jednotlivých výrobců k produktům nejvyšší třídy. Uživatelé takových hodinek nejsou mnohdy jen profesionální sportovci. Takové hodinky využívají i nadšení sportovci z řad široké sportovní veřejnosti, kteří alespoň část svého tréninku věnují běžecké přípravě a přesnost měření, evidence a následná analýza dat z takového tréninku je pro jejich přípravu, ať již je na jakékoli úrovni, velmi důležitá.

Rád bych vyhledal informace o technologii GPS, o komerčním využití této, pro armádní účely vyvinuté technologie, a osvětlil přirozenou odchylku v měření. Vyzdvihl bych důležitost elektronické evidence sportovního tréninku a vytvořil dva rozdílné terénní testy tak, aby bylo možné ověřit přesnost měření v různých prostředích. Ověřované úseky přeměřím jak mechanickým měřidlem, tak i moderní geodetickou technologií. Podrobně popíši 5 sporttesterů světově významných značek a následně na výše uvedených terénních úsecích přístroje vyzkouším. Získaná data zanalyzuji a vyhodnotím. Provedu test rychlosti připojování přístrojů k navigačním satelitům dle přiloženého návodu.

Dalším cílem této práce bude potvrdit či vyvrátit hypotézy týkající se přesnosti měření jednotlivých modelů.

Tato práce by měla nejen představit technologii GPS a několik velmi kvalitních přístrojů, ale měla by především odpovědět na otázky důležité pro sportovní trénink. Například do jaké míry jsou sportovcem naměřená data přesná, do jaké míry vnější

prostředí snižuje přesnost měření přístroje a zda-li přístroje měří stejně přesně výkony profesionálních sportovců v enormních rychlostech i výkony sportovní veřejnosti.

2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

2.1 Navigace

Navigace je v současné době vnímána jako souhrnný název pro činnost, kterou lze kdekoli na Zemi stanovit přesnou polohu, nebo též cílené vytýčení trasy z místa na místo. Termín navigace je složeninou latinských slov „navis“ znamenající loď a „agere“ překládané jako vést nebo přemíst'ovat.

Metody určující polohu

Podle Rapanta (2002) určování polohy označujeme procesy a technologie používané ke stanovení polohy bodů v prostoru. Poloha bodu je běžně vyjadřována pomocí souřadnic ve zvoleném souřadnicovém systému. Určuje se měřením, a to na mapě či v terénu. Polohu lze určovat dvěma základními způsoby měření:

Přímým měřením

Nepřímým měřením

Přímé měření

Při této metodě používáme kalibrovaný měřicí nástroj (délkové měřidlo), ze kterého po přímém odměření odečteme vzdálenost.

Nepřímé měření

Nepřímým měření rozumíme určování polohy s využitím jiných veličin, než jsou přímé souřadnice. Zpravidla se využívá metody úhломěrné, dálkoměrné nebo kombinace obou měřících metod. Technologie GPS, která bude v práci použita, je typickým příkladem dálkoměrné metody měření.

2.1.1 Historie navigace

Rádiové navigační systémy

Dvacátá léta devatenáctého století přinesla rádiovou komunikaci, čtyřicátá první RADAR (Radio Detection And Ranging), VOR (VHF Omnidirectional Radio Range) tedy všesměrový radiomaják a LORAN (Long Range Navigation). LORAN je

radionavigační systém vyvinutý za druhé světové války určující přesnost plavidel na desítky kilometrů.

Družicové navigační systémy

Zlom ve vývoji navigačních systémů nastává v letech 1956, kdy německo-americký fyzik Dr. Friedwardt Winterberg navrhuje ověřit Einsteinovu teorii relativity pomocí atomových hodin umístěných na oběžné dráze, a 1957, kdy sovětský svaz vypouští první umělou vesmírnou družici Sputnik 1. Tuto družici se pokoušejí sledovat na americké Johns Hopkinsově universitě aplikované fyziky APL (Applied Physics Laboratory) fyzikové William Guier a George Weiffenbach. Přicházejí se zjištěním, že díky Dopplerovu efektu mohou určit polohu umělé družice Sputnik 1 na své oběžné dráze (Guier, Weiffenbach, 1998).

Transit

Toto zjištění dává základ moderním navigačním systémům a hlavně vzniká první, plnohodnotně funkční a komplexní navigační systém TRANSIT, který v roce 1959 Dr. Richard Kirschner na APL uvádí v život. Systém provozovaný americkým vojenským námořnictvem (1964-1996) tvořilo celkem 6 družic, které díky Dopplerovu efektu dokázaly dvourozměrně dočasně zaměřit pozici s přesností na desítky metrů (Worth, Warren, 2009).

Globální navigační systémy

Globálním navigačním systémem rozumíme takový systém, který svým rozsahem obklopuje celou zeměkouli. V současné době se můžeme setkat i s několika regionálními navigačními systémy, financovanými především národními vládami.

GPS NAVSTAR

O vývoji nového navigačního systému bylo rozhodnuto 17. prosince 1973, a to sloučením 3 systémů, které měly dílčí nedostatky. Satelity pro systém TRANSIT šlo aktualizovat pouze 6 krát denně, systém TIMATION, vyvíjený námořnictvem spojených států (US Navy) pro přesné určování času, fungoval jen dvourozměrně, navigační systém 621B, vyvíjený letectvem spojených států (USAF), vyžadoval

kontinuální spojení signálem z pozemních stanic. Více se o vývoji a historii navigačního systému GPS NAVSTAR zmíním v kapitole 2.1.3.



Obrázek 1: *Kosmický segment globálního navigačního systému GPS NAVSTAR*

Glonass

GLONASS (česky Globální Navigační Satelitní Systém) je sovětský radiový družicový navigační systém vyvíjený od roku 1976 jako přímý konkurent americkému GPS NAVSTAR. Systém tvoří 24 pracovních družic řazených do 3 kruhových drah se sklonem 65° . Po rozpadu SSSR se dostal projekt v letech 1996-2001 do úpadku. V roce 2002 se ruský prezident Vladimír Putin zasadil o znovuoživení kosmického programu (Eissfeller at al., 2007).

BeiDO

Od roku 1980 má projekt navigačního systému také Čína. V období mezi lety 2000-2003 uvedla na oběžnou dráhu první generaci systému BeiDo, experimentální systém složený ze 3 aktivních satelitů a jednoho záložního (2000, 2000, 2003, 2007). Systém byl pouze regionální s množstvím nedostatků. Druhá generace BeiDo2, nazývaná též COMPAS, jejíž dokončení je plánované na rok 2020, si bere za cíl stát se plnohodnotným globálním a konkurenceschopným navigačním systémem. Obsahovat bude celkem 35 satelitů a bude podporovat dvě úrovně služeb, jednu pro civilní použití a druhou rozšířenou pro armádní účely. Přesnost je odhadována na 0,1m. a 0,2 m/s. (Zhao, 2014).

GALILEO

Galileo je evropský program satelitní navigace, jehož činnost byla oficiálně zahájena 19. 7. 1999 z podnětu Evropské komise (EC), vyvíjený na základě spolupráce s Evropskou kosmickou agenturou (ESA). Tento systém je od samého začátku koncipován jako civilní. Galileo je produktem druhé fáze GNSS a měl by spojit do jediného systému funkce GPS NAVSTAR a EGNOS, který je v současnosti omezený jen na určité území (Čábelka, 2008).

Družicový navigační systém Galileo bude (plán 2019) nabízet čtyři úrovně služeb: základní službu (OS), poskytovanou zdarma, komerční službu (CS), signál chráněný komerčním kódováním, které bude řízeno poskytovatelem služeb a budoucím Galileo operátorem, veřejně regulovanou službu (PRS), dva šifrované signály s kontrolovaným přístupem a dlouhodobou podporou určenou pro státem vybrané uživatele, především pro bezpečnostní složky státu, a vyhledávací a záchrannou službu (Search And Rescue service - SAR) určenou k nouzové lokalizaci v rámci celosvětové družicové záchranné služby COSPAS-SARSAT s možností oboustranné komunikace (European Space Agency, 2012; Wallner et al., 2010).

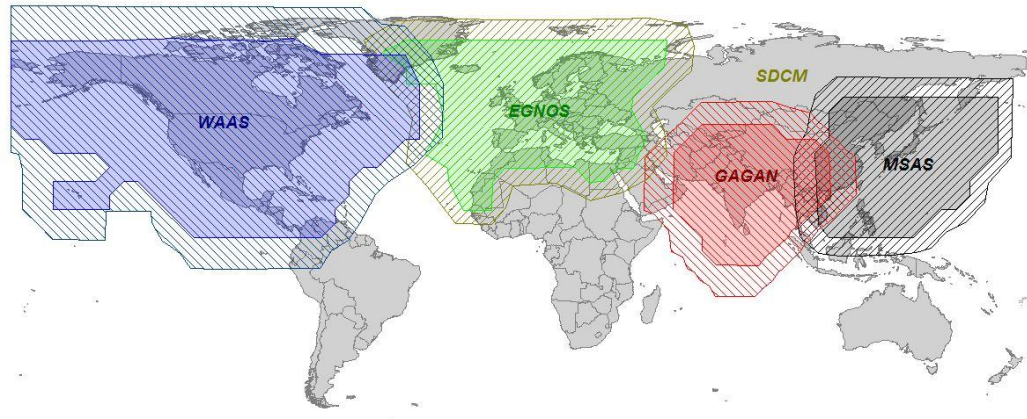
Rozšiřující navigační systémy

Díky technickým nedokonalostem navigačního systému GPS NAVSTAR a právním předpisům viz kapitola 2.1.4, nebylo možné zajistit přesnost větší než 100m. Postupně se na nejdůležitějších místech pro navigaci (např. přistávací plochy, dálniční tahy) začaly budovat pozemní rozšiřující navigační systémy, které mohly používat všechny uživatelské segmenty. Rozšířen byl i kosmický segment o geostacionární družice. Tato systémová aplikace se nazývá SBAS (Satellite Based Augmentation Systems), (Van Diggelen, 2009).

SBAS

SBAS je společný název pro systémy rozšiřující funkčnost globálních satelitních navigačních systémů GPS NAVSTAR i GLONASS, (Obrázek 2). SBAS v reálném čase vyhodnocují aktuální stav kosmického segmentu (do jisté míry tak suplují funkci řídicího systému) a ionosféry. Ze zjištěných dat se vypočítají odchylky od normálu a v podobě korekčních zpráv se odesílají k uživatelům. Geostacionární družice, jako doplnění kosmického segmentu, pracují jen pro vlastní referenční stanice a jsou

umístěné nad rovníkem. To je do určité míry nevýhoda pro pozemní navigaci. Například z České republiky jsou družice viditelné nízko nad jižním horizontem. Slabý vysílací výkon proto umožňuje použití jen pro leteckou, případně námořní dopravu (Trimble, 2007).



Obrázek 2: Rozmístění jednotlivých navigačních systémů SBAS

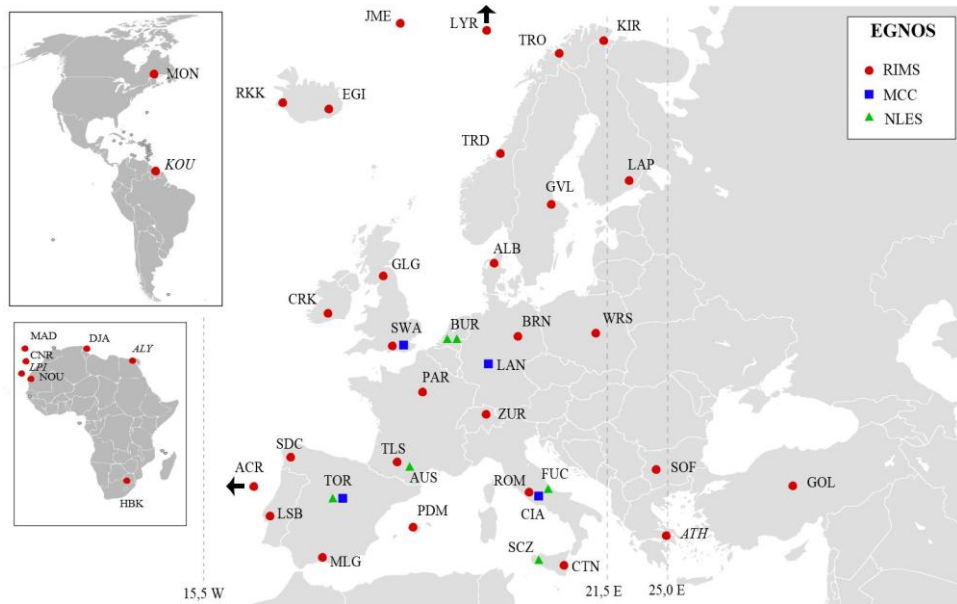
WAAS

WAAS (Wide Area Augmentation System) byl systém vybudovaný výhradně pro potřeby letectva na území USA. Veřejnosti byl tento rozšiřující systém přístupný od 10. 7. 2003. Systém je složen ze dvou částí: z referenčních stanic (pozemní segment, který zná svoji přesnou polohu) a z geostacionárních satelitů. Na území USA je 29 referenčních stanic (Wide-area Reference Stations – WRS), které získávají data z GPS NAVSTAR. Jako standard přesnosti systému WAAS je uváděno 25 stop, tedy odchylka (Witte, Wilson, 2004; Casartelli, Müller, Maffiuletti, 2010).

EGNOS

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) je evropskou mutací rozšiřujícího pozemního systému WAAS, provozovaný agenturou ESA (European Space Agency). 40 pozemních monitorovacích stanic RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations), (Obrázek 3) rozprostřených nejen po evropském kontinentě, ale i v Severní a Jižní Americe a v Africe zpřesňuje provoz letecké i

námořní dopravy. Součástí EGNOS jsou i 3 geostacionární družice. EGNOS je meziproduktem GNSS Galileo (www.egnos-pro.esa.int).

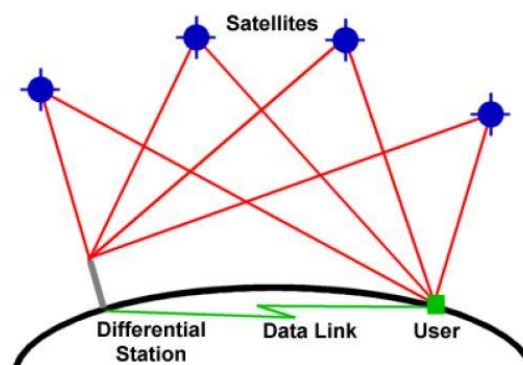


Obrázek 3: Mapa pozemních monitorovacích stanic systému EGNOS

DGPS

DGPS (Differential Global Positioning) je nejstarším rozšiřujícím navigačním systémem. Technologie používala FM rádiový přenos z pevných pozemních stanic (Differential Station) přímo do samotného GPS přijímače (Obrázek4).

DGPS je postupně vytlačována a nahrazována systémem WAAS. Do jisté míry vedlo použití DGPS k vypnutí SA v roce 2000 (Bar-Sever, Muellerschoen, 2014). Více v kapitole 2.1.4.

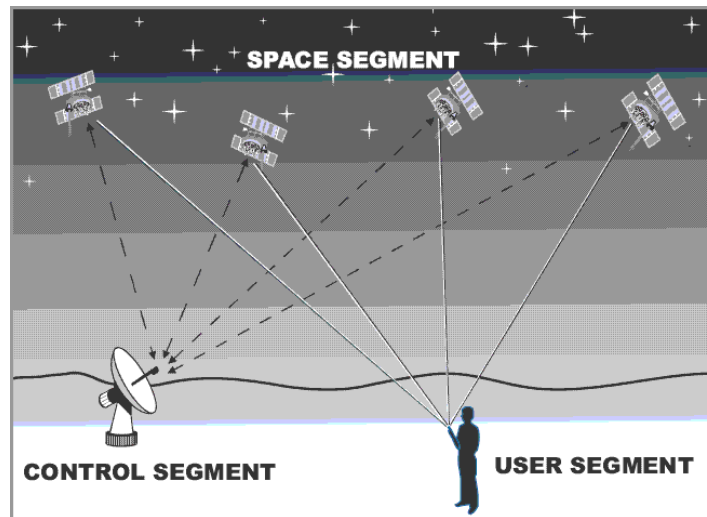


Obrázek 4: Princip funkce systému DGPS

2.1.2 Obecné principy fungování družicových navigačních systémů

Družicové navigační systémy jsou tvořeny omezeným počtem radiomajáků na oběžných drahách, které vysílají navigační signál, a uživatelskými zařízeními, která na základě měření a vyhodnocení určují aktuální polohu (Obrázek 5).

Do vysílaného signálu jsou vloženy informace, ze kterého satelitu a kdy byl signál vyslán, stejně jako informace o aktuální poloze všech družic daného systému tzv. efemeridy. Tato data jsou minimálně každých dvanáct hodin zpřesňována na základě měření z pozemních monitorovacích stanic (Rapant, 2002).



Obrázek 5: Princip navigačních systémů

Metody určování polohy

Rozlišují se tři metody určování polohy pomocí rádiových signálů.

Metoda **dopplerovská** využívá takzvaný Dopplerův jev, tedy změnu frekvence a vlnové délky signálu, kterou vysílá pohybující se předmět.

V případě navigačních systémů vnímáme satelitní družici jako pohybující se předmět, který vysílá signál o konstantní frekvenci. Tento signál přenáší v pevném časovém intervalu časové značky a parametry oběžné dráhy tak, aby přijímač mohl vypočítat přesnou polohu družice v době měření. V důsledku relativního pohybu družice dokážeme měřit posun za určitou dobu. Tato metoda je zpravidla používána pro určování rychlosti pohybu přijímače.

Dálkoměrná metoda, někdy též kódová měření, používá měření vzdáleností mezi vysílačem a přijímačem za předpokladu, že známe rychlost signálu a zjišťujeme čas (dobu šíření signálu), za kterou signál vzdálenost urazil. Ve skutečnosti satelit vysílá vlastní dálkoměrný kód a přesné časové značky (čas odeslání signálu). Přijímač vypočte rozdíl mezi časem odeslání a přijetím signálu. Předpokládá se, že hodiny na vysílači a přijímači jsou synchronní.

$$d = \Delta t \cdot c \quad [1]$$

d ... vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem

Δt ... rozdíl mezi časem odeslání signálu a časem přijetí signálu

c ... rychlost šíření rádiových vln

Metoda **fázových měření** spočívá ve zjištění počtu vlnových délek rádiové vlny mezi vysílačem (satelitem) a přijímačem v době měření a následným vynásobením vlnovou délkou. Počet vlnových délek nosné vlny se skládá z celočíselného násobku nosných vln a desetinné části, který se dá zjistit velmi přesně. Určení počtu celočíselného násobku vlnové délky nosných vln (délka řádově desítky centimetrů) je velmi obtížné. Uvádí se při měření, proto celočíselná nejednoznačnost. Jakmile jednou přijímač určí celočíselnou nejednoznačnost, je pak schopen určovat nejen polohu, ale i posun přijímače. Fázová měření využívají především geodetické přístroje.

Určování polohy a času

Všechna uživatelská zařízení (segmenty) určují zeměpisnou šířku a délku, nadmořskou výšku a přesný čas. Z uvedených informací vyplývá, že data pro určení polohy jsou získávána z několika družicových radiomajáků současně a výsledná poloha se stanovuje promítáním (Rapant, 2002).

Určení polohy

GPS NAVSTAR obsahuje dva typy souřadnicového systému. Pozemní segmenty (řídící i uživatelský) standardně používají geocentrický souřadnicový systém spojený se zemským tělesem (Earth Centered, Earth Fixed XYZ – ECEF XYZ). Pro kosmický segment je daleko vhodnější a přesnější využívat systém, který je téměř

nezávislý na rotačním pohybu Země. Z tohoto důvodu je do GPS definována velice přesná transformace zmíněných souřadnicových systémů.

Výsledné polohy určené všemi dostupnými GPS přístroji jsou proto uváděny v geografických souřadnicích vztažených ke Světovému geografickému systému WGS-84. V případě potřeby mohou být převedeny do požadovaných souřadnicových systémů jako např. S-JTSK nebo S-42 (Švábenský, 1995).

Určení nadmořské výšky

Přístroje GPS nadmořskou výšku nezjišťují, nýbrž vypočítávají ze souřadnicového systému WGS-84 k referenční elipsoidě, tedy k virtuální hladině moře. Ta se ale mnohdy od střední hladiny světových moří (Geoidu) může výrazně lišit, až o desítky metrů.

Odvození času

Přesné časové údaje, které získávají všechny GPS přístroje a další pozemní segmenty z řídicího centra MCS, jsou synchronizovány pomocí hlavních hodin systému MCT (Master Control Time). Časový systém GPS NAVSTAR se nazývá UTC (Universal Time Coordinated). Jedná se o odvozenou či dopočítanou shodu astronomického času, a přesných atomových hodin. Astronomický čas je přímo odvozován od rotace Země kolem Slunce a své osy s pravidelným zpomalením 1 sekundu za kalendářní rok. Atomové hodiny v MCS mají zpoždění 1 sekundy za 150 milionů let, a proto UTC je pouze odvozován.

Signály, kódy a navigační zprávy GPS

Družice navigačního systému vysílají mikrovlnné rádiové signály, pomocí kterých je možné určit polohu a čas přijímače. Signály obsahují nosné vlny, dálkoměrné kódy a navigační zprávu.

Systému bylo vyhrazeno celkem 5 frekvenčních pásem (L1- L5), a to takové, na které mají minimální vliv meteorologické změny.

V pásmu L1 je vysílán C/A kód (Coarse / Acquisition code), který je dostupný civilním uživatelům. V pásmu L2 je vysílán vojenský P (Y) kód, který je šifrovaný. V pásmu L3 jsou vysílány signály, které obsahují data monitorování startů balistických raket, detekci jaderných výbuchů a vysokoenergetických zdrojů. V pásmu L4 je vysílán signál pro

měření ionosférické refrakce. Ionosféra způsobuje zpoždění rádiového signálu, který se promítá do chyb při určení polohy. V pásmu L5 je vysílán Signál SoL (Safety of Life), určený pro velmi přesné civilní určení polohy při letecké navigaci.

Obsahem navigační zprávy, kterou družice v každém okamžiku vysílá, jsou parametry oběžné dráhy, na které družice obíhá, čas počátku vysílání zprávy, přesné keplerovské efemeridy družice (údaje o zdánlivé poloze pohyblivých astronomických objektů), koeficienty ionosférického modelu, almanac a údaje zpřesňující čas vysílající družice (www.navcen.uscg.gov).

2.1.3 Technické parametry GPS NAVSTAR

GPS NAVSTAR celým názvem Global Positioning System for Navigation Signal Timing and Ranging, je systém navigačních družic využívaný k určování trojrozměrných souřadnic na zemském povrchu a rychlosti přijímače, a tedy i informací o čase UTC (Švábenský, 1995).

Historie systému GPS NAVSTAR

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1, přímými předchůdci systému GPS NAVSTAR jsou projekty TRANSIT, TIMATION a 621B. O možnostech a využití navigačního systému se již v letech 1969-1970 snažil přesvědčit vývojář a do jisté míry i průkopník v tomto oboru Ivan Gettling. Navrhoval Lee DeBridgemu (poradci prezidenta Nixona) rozšířit celosvětovou koncepci navigačního systému. Neexistující právní předpisy a náročnost agendy ještě nedovolovaly vzniknout tak velkému projektu. Závody ve zbrojení, a především v tom nukleárním, přinesly velký požadavek na přesné zjišťování polohy nosičů s nukleárním arzenálem. Jaderná triáda (US Air Force strategické bombardéry a balistické střely, US Navy atomové ponorky) potřebovala mít přehled o rozmístění svých vlastních jednotek, a to tak, aby nedocházelo k nežádoucím ztrátám. Pro tento účel byla v dubnu 1973 zřízena speciální společná programová skupina JPO (Joint Program Office), která jako součást kosmické divize velitelství systémů vzdušných sil USA (US Air Force Systems Command in Space System Division) byla pověřena 17. prosince 1973 sloučit všechny projekty do jednoho. Plánem bylo v několika fázích vytvořit komplexní a funkční navigační systém pro všechny ozbrojené složky armády Spojených států (Powers, Parkinson, 2010).

První fáze (1973-1979) byla zaměřena na vývoj a testování jak kosmických, tak pozemních segmentů. Testování především potvrdilo možnost trojrozměrné navigace s relativní přesností. Jako první prostor pro navigaci byl vybrán polyigon v Arizoně. Stavbu a konstrukci prvních jedenácti satelitů BLOCK I prováděla soukromá firma Rockwell International. Životnost satelitů byla plánována na 3-4,5 let. Poslední byl však stažen z oběžné dráhy v roce 1995. V Bloku I nebylo použito žádného zkreslení ani selektivní dostupnosti. Na každém ze satelitů byla trojice atomových hodin. Jedny s cesiovým a dvojce s rubidiovým oscilátorem.

Druhá fáze (1979-1985) nezačala tak dobře jako fáze 1. Finanční problémy v roce 1980 snížily rozpočet GPS NAVSTAR o 30%. Nikdo přesně nedokázal popsat, komu bude systém nejvíce prospěšný. Nukleární zbrojení dostávalo přednost před kosmickým programem a ani funkce detekovat nukleární explozi kdekoli na zeměkouli nestačila. Nestabilní financování především vedlo ke snížení zamýšleného počtu satelitů z 24 na 18 (1982), a k přestavbě a modernizaci stávajících satelitů. Testování navigačních služeb však přineslo úspěchy a bylo rozšířeno z pevniny na mořskou hladinu. V roce 1983 přichází možnost komerčního využití technologie GPS a vláda uvolňuje finanční prostředky na rozšíření systému. Více o komerčním využití v kapitole 2.1.4.

Třetí fáze (1985-1995) je obdobím, kdy společnost Rockwell International vyhrává další tendr na stavbu 29 satelitů BLOCK II a BLOCK IIA, které se postupně zdokonalují. Bez zásahu obsluhy již dokáží samostatně pracovat více jak 180 dní (pro případ zničení řídicího střediska), ale především zvládnou komunikovat mezi sebou. Plánovaná životnost se prodlužuje na 7,5 roku. Do dnešní doby však satelity USA-66, USA-83, USA-96 fungují. V dubnu 1985 společná programová skupina JPO vypisuje první výběrové řízení na výrobu uživatelských zařízení GPS pro lodní, leteckou i pozemní dopravu. V roce 1987 celý program GPS NAVSTAR přechází pod správu Amerického ministerstva obrany.

8. prosince 1993 Americké ministerstvo obrany oznamuje, že bylo dosaženo počátečního operačního stavu (Initial Operational Capability of GPS). Všech 24 satelitů, které zajišťují chod systému, plně funguje a jsou připraveny ke spuštění. 17. července 1995 je dosaženo plného operačního stavu a systém je uveden do plného provozu (Kaplan, Hegarty, 2006).

Čtvrtá fáze trvá od dne spuštění do dnešního dne. Postupně jsou nahrazovány dosluhující satelity technologicky vyspělejšími BLOCK II, BLOCK IIA, BLOCK IIR, BLOCK IIF. O zásadní změně a kompletní výměně všech satelitů bylo rozhodnuto v roce 1998, kdy viceprezident Albert Gore zveřejnil plány na modernizaci satelitů BLOCK III a na samostatné civilní satelity L2C.

V současné době (2014) je na oběžné dráze třicet funkčních satelitů, kdy nejstarší USA-66 byl vypuštěn do vesmíru 26. 11. 1990 a nejnovějším je USA-256 z 2. 8. 2014. Projekt BLOCK III zaznamenává zpoždění a nemá na oběžné dráze žádný satelit (Steiner, Černý, 2006).

Segmenty GPS NAVSTAR

System GPS NAVSTAR je složen ze tří částí, kosmického segmentu SS (Space Segment), řídicího segmentu CS (Control Segment) a uživatelského segmentu US (User Segment), (Trimble, 2007).

Kosmický segment GPS NAVSTAR

Kosmický segment obsahuje soustavu minimálně 24 družic pravidelně obíhajících Zemi po kruhových oběžných drahách se sklonem 55° k rovině rovníku. Ve výšce 20200 kilometrů nad zemským povrchem se satelity pohybují rychlostí $11300 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, tedy $3,8 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Družice jsou opatřeny ochranou proti elektromagnetickým impulzům, způsobeným případným jaderným výbuchem v kosmickém prostoru.

Oběh družice kolem Země trvá 11 hodin a 58 minut (polovina siderického dne). Skutečný počet družic značně kolísá, neboť se neustále obnovují, nové družice nahrazují zastaralé dosluhující (Čábelka, 2008).

V současnosti je v provozu 32 družic (Obrázek 6), nepravidelně umístěných na šesti orbitálních drahách. Díky bezpečnostnímu navýšení počtu je na každém orbitě místo původních čtyř umístěno pět až šest družic.

V každém okamžiku je viditelných 6-12 satelitů z kteréhokoli místa na zemské kouli. Díky kruhovým oběžným drahám a velké oběžné výšce je systém velice stabilní (Sedlák, Lošonczi, Podležská, 2009).



Obrázek 6: *Reálné pozice navigačních satelitů systému GPS NAVSTAR*

Řídicí segment GPS NAVSTAR

Řídicí segment je síť celkem 12 pozemních stanic rovnoměrně umístěných po obvodu Země. Hlavní řídicí středisko MCS (Master Control Station) se nachází na Schrieverově letecké základně v Colorado Springs v Colorádu. 2SOPS (2d Space Operations Squadron). Záložní řídicí stanice BMCS (Backup Master Control Station) 1SOPS, je připravena jen pro extrémní případy v obrněném bunkru ve Skalistých horách Gaithersburg (Maryland, USA). Hlavní řídicí středisko především řídí, monitoruje a vyhodnocuje stav jednotlivých satelitů, vyřazuje poškozené, synchronizuje všechna zařízení a zpracovává navigační zprávy zasílané jednotlivými satelity.

Pro přenos zpráv, informací a příkazů mezi satelity byly vybudovány 4 speciální pozemní komunikační antény, které se nacházejí na atolu Kwajalein, ostrově Ascension v Atlantském oceánu, na korálovém atolu Diego Garcia v Indickém oceánu a na Cape Canaveral na Floridě (Tichý, 2014).

Šest hlavních monitorovacích stanic sleduje pohyb satelitů na orbitu, ale též atmosférické informace a informace o klimatických podmínkách. Stanice jsou bezobslužné, obsahují jen atomové hodiny pro synchronizaci a komunikační modul pro přenos zpráv do MCS. Rozmístění stanic v blízkosti rovníku bylo zvoleno pro překrytí prostor střední oběžné dráhy. Dalších 10 stanic pravidelně spolupracuje s MCS (www.gps.gov; Pace et al., 1995).

Uživatelský segment GPS NAVSTAR

Třetím segmentem je vlastní přístroj s modulem GPS. V dnešní době takový modul nalezneme nejen v přístrojích pro navigaci přímo určených, ale též v přenosných počítačích, mobilních telefonech nebo jako v našem případě ve sportovních hodinkách. Všechny přístroje musí pro svoji správnou funkci podporovat základní funkce jako je sběr dat vysílaných GPS satelity, měření signálu a PVT modul (position, velocity, time) pro určení polohy, rychlosti a času (Trimble, 2007).

Uživatelský segment je tvořen třemi základními částmi. Anténou, navigačním přijímačem (čipem) a navigačním počítačem.

Velikost antény ovlivňuje jednak celkový výkon přijímače, ale i možnost ztráty a rychlost vyhledání signálu. Přijímač je zařízení, které dokáže filtrovat a dekodovat navigační zprávy vysílané jednotlivými družicemi a přijaté anténou. Přijímač obsahuje vstupní jednotku, časovou základnu a měřicí přijímač s kanály. Počet kanálů přijímače udává, z kolika satelitů zároveň lze přijímat signál. Navigační počítač ze zpráv určí souřadnice a přesný čas.

Uživatelský segment dělíme dle použití na přístroje **navigační, synchronizující času a geodetické**. Dle důležitosti použití rozlišujeme navigační přístroje profesionální a civilní. Profesionální přístroje jsou již od 90 let využívány pro leteckou, námořní a automobilovou navigaci nebo v armádě pro určení pozic bojových jednotek. Civilní použití, podobně jako profesionální, slouží k letecké, námořní a automobilové navigaci, ale využití nachází přístroje například i při zábavě (geocaching), sledování osob a vozidel při práci (GeoFencing), nebo při sportu a v mnoha dalších oborech.

2.1.4 Přesnost GPS NAVSTAR

Přesnost navigačního systému je definována v tzv. Federálním radionavigačním plánu (Federal Radionavigation Plan), který je pravidelně obměňován podle aktuálních změn. Momentálně je v platnosti od roku 2012. Systém poskytuje dvě základní úrovně přesnosti služeb. Standardní polohové služby (SPS) a přesné polohové služby (PPS - Precise Positioning Service).

Přesné polohové služby

Přesné polohové služby jsou určeny především pro vojenské účely, nebo účely a organizace vybrané ministerstvem obrany. Pro využívání PPS je nutné mít speciálně vybavený přijímač. Taková zařízení nabízejí uživatelům nejen největší přesnost navigace, ale i rozšiřující služby.

Standardní polohová služba

Tato služba je k dispozici všem uživatelům po celém světě bez přímých poplatků. Neexistují žádná omezení týkající se SPS použití. Tato služba je určena k zajištění přesnosti lepší než 13 m. (95%) v horizontální rovině a 22 m. (95%) ve svislé rovině. Přesnost šíření času UTC je lepší než 40 ns. (95%).

Současné nejmodernější geodetické přístroje však měří s přesností menší než 1 cm.

SPS je možné záměrně zhoršovat a to dvěma způsoby. Selektivní dostupností (SA - selective availability) nebo rozmazávacím efektem (anti spoofing A-S, nebo SAASM) Selektivní dostupnost je založena na rozesílání záměrně vytvořených proměnlivých chyb ze satelitů, nebo změně nastavení atomových hodin na satelitech. Chyby měření v takových případech jsou až 150m. vertikálně a 100m horizontálně. Služba SA byla rozhodnutím prezidenta Clintona z 1. na 2. 5. 2000 vypnuta.

Rozmazávací efekt A-S je stále používán. Zakládá se na rozesílání falešných nebo upravených GPS signálů ze satelitů. Výhodou tohoto efektu je lokální použití (Oderwald, Boucher, 2003).

2.1.5 Faktory ovlivňující přesnost

Na celý navigační systém může působit několik faktorů, které znehodnocují měření. Některé chyby způsobí obsluha zařízení nesprávným zacházením s přístrojem při měření, jiné jsou způsobeny vnějšími vlivy nebo provozním selháním systému.

Chyba měření vzdálenosti má statistický charakter. Udávané hodnoty přesnosti stanovení polohy jsou tedy statistické odhady s danou pravděpodobností. Na chybách, které se uplatňují při určování polohy a satelitové navigaci, se podílí řada příčin, které lze rozdělit do šesti skupin:

efemeridy - chyby v přenášené lokalizaci satelitů

satelitové hodiny - chyby v přenášených údajích včetně úmyslného zkreslení S/A

ionosféra - chyby v korekcích pseudovzdálenosti zapříčiněné vlivy ionosféry

troposféra - chyby v korekcích pseudovzdálenosti dané vlivy troposféry (Obrázek 8)

multipath - chyby vzniklé odraženými signály (Obrázek 7)

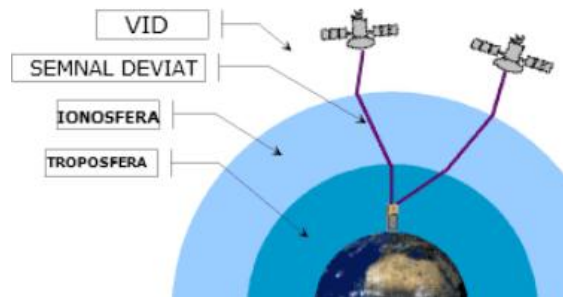
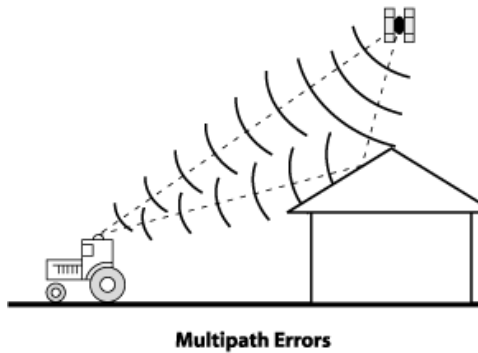
přijímač - chyby měření přijímačem, dané termálním šumem, přesností softwaru a mezikanálovými odchylkami

Zdroj chyb	Maximální velikost chyby
Družicové hodiny	40m
Efemeridy družic	15m
Oběžná dráha	5m
S/A	10m
Vliv ionosféry	12m
Vliv troposféry	3m
PRN šum	1m
Šum přijímače	2m
Odražené signály	2m

Tabulka 1: *Zdroje a velikost chyb (Sedlák, 2003)*

K dočasným faktorům patří stav družic, počet viditelných družic, čas měření během dne a geometrické uspořádání viditelných družic.

Většinu chyb lze předejít opakovaným měřením a následným průměrováním naměřených hodnot.



Obrázek 7: *Efekt multipath, odraz signálu* **Obrázek 8:** *Šíření signálu atmosférou*

2.1.6 Komerční použití GPS NAVSTAR

Jak již bylo zmíněno výše v textu, navigační systém GPS NAVSTAR byl vyvíjen americkou vládou výhradně pro vojenské účely. V období studené války prakticky nebyla ani jiná možnost. První náznaky na možnost komerčního, respektive civilního využití, přišly kolem roku 1980, kdy měl projekt globální navigace velké finanční problémy. Z bezpečnostních důvodů však tento návrh neprošel.

První oficiální prohlášení o civilním využití GPS NAVSTAR přišlo v roce 1983 v návaznosti na sestřelení Korejského civilního letadla společnosti Korea Air Line. Nešťastný let 007 (KAL007), s celkem 269 cestujícími a členy posádky na lince New York - Soul 1. září 1983 s mezipřistáním v Anchorage na Aljašce, chybou navigace prolétával zakázaným sovětským vzdušným prostorem. Letadlo bylo bez předchozího varování sestřeleno. Americký prezident Ronald Regan následně vydal směrnici, ve které USA zavazuje poskytnout civilnímu sektoru navigační systém. Tato směrnice byla 5. září 1991 na národní letecké konferenci (ICAO) rozšířena o službu SPS, která z bezpečnostních důvodů znepřesňuje signálu pro civilní uživatele. Pod velkým tlakem veřejnosti byla služba SA na příkaz prezidenta Billa Clintona v květnu 2000 vypnuta, čímž došlo ke zvýšení přesnosti v zaměření polohy ze 100 metrů na přibližných 20. V

roce 2004 byla na příkaz prezidenta George Bushe mladšího služba GPS zbavena přímých uživatelských poplatků za používání (Kaplan, Hegarty, 2006; Sturdevant, 2014).

Již v roce 2001 bylo desetkrát více civilních přístrojů než armádních.

2.1.7 Civilní přístroje GPS NAVSTAR

Jak bylo zmíněno, tlak veřejného sektoru na vládu spojených států byl enormní a bylo jen otázkou času, kdy se navigační přístroje rozšíří mimo armádní prostředí. Navigační přístroje našly nejrychleji odbyt u lodní a letecké dopravy. Přístroje na konci devadesátých let byly velké a energeticky náročné. Proto ještě nějakou dobu trvalo, než se začaly GPS přijímače vyrábět pro sportovní a turistické účely.

Přístroje je možné dělit do skupin podle různých kritérií. Podle způsobu měření známe přístroje založené na dálkoměrném kódovém měření (navigační přístroje) a založené na fázových měřeních (geodetické, zeměměřičské práce). Obě skupiny přístrojů mohou být jednofrekvenční L1 i dvoufrekvenční L2.

Dle využití se GPS přijímače dělí na geodetické, přijímače pro časovou synchronizaci a navigační.

Geodetické přijímače

Geodetické přístroje přinesly velkou změnu do oboru Geodézie a kartografie. Především zjednodušily a urychlily digitalizaci map. Přijímače se používají na velmi přesné měření (mm) ve všech odvětvích geodézie. Používají se drahé přijímače, které pro určení pseudovzdálenosti používají fázové měření. Mezi významné výrobce geodetických zařízení patří Topcom, Trimble, Rohde-Schwartz a mnoho dalších.

Přístroje pro časovou synchronizaci

Přístroje na časovou synchronizaci nahrazují v každodenním životě velmi přesné, ale především velmi drahé atomové hodiny. Takové přístroje najdeme ve světě financí, komunikace, výzkumu a na mnoha jiných místech.

Navigační přístroje

Rozdělení navigační přístrojů je zpravidla na mapové a nemapové (souřadnicové, datové), (Obrázek10). Mapové přístroje uživateli zakreslují pozici, na

kteře se přístroj nachází, přímo do mapy zobrazené na displeji. Nemapové, ukazují souřadnice, rychlost a směr pohybu přístroje.

Další dělení GPS přístrojů je podle velikosti na integrované a osobní nebo podle zaměření na navigaci námořní, leteckou, automobilovou nebo pro turistiku a sport.

Integrované přístroje

Integrované přístroje nalezneme především v lodní a letecké dopravě. Tyto přístroje nebyly samostatně vyvíjeny, přesah armádních přístrojů do civilního sektoru a naopak zde byl nejcitelnější. První přístroje pro navigaci malých letadel a jachet se na trhu objevily kolem roku 1990. Tyto systémy nebyly mapové, pouze souřadnicové, ale pro použití dostačující. Zjištění souřadnic významných letišť a přístavů netrvalo tak dlouho jako vytvoření sítě silnic a dálnic pro mapové přístroje.

Automobilový průmysl od počátku hledal svojí cestu v kombinaci mapového podkladu a souřadnicového systému. První funkční navigační systém založený na GPS NAVSTAR systému představila firma Magellan Navigation v roce 1995. Tento systém, ani jeho nástupci, nebyli až do roku 2000 díky SA použitelní. Stopadesátimetrové rozostření GPS neznamenal nic zásadního v letecké, natož v lodní dopravě. Naproti tomu automobilová doprava, především ve městech, velmi trpěla.

V dnešní době se na trhu objevují výhradně mapové integrované GPS přístroje.

Osobní navigační přístroje

Osobní přístroje PNA (Personal Navigation Assistant) nebo někdy též přenosné navigační přístroje přinesly největší rozmach použití v civilním prostředí. Vypnutí SA v roce 2000 a výrazný pokrok v elektrotechnice, zejména v technologii baterií, zněkolikanásobily počet přístrojů. Tento boom byl mírně zpomalen teroristickými útoky 11. 9. 2001, ale již v roce 2003 přístroje doslova zaplavují svět. Jako první PNA přístroj na světě je uváděn MAGELLAN NAV 1000 z roku 1989 (Obrázek 9).



Obrázek 9: *MAGELLAN NAV 1000 z roku 1989*

Turistické přístroje

Turistické přístroje se již jako mapové objevily počátkem roku 2001. O dominantní postavení na trhu se přetahují firmy Garmin, který představil GPSMap76S Garmin eTrex a Megellan, se svými modely Meridia a Sport trTrek Map (Obrázek 10). Velmi zajímavé, uživatelsky příjemné bateriové přístroje otevírají nové možnosti pěší navigace. První přístroje se potýkají s velmi komplikovaným nahráváním topografických map do přístroje, ale tento problém je vyřešen v roce 2004.

První hodinky podporující technologii GPS představila v červnu 1999 firma Casio. Model PRT-1GPJ byl určen pro pěší turistiku a cestovatele.



Obrázek 10: Přístroje Garmin, Megellan, Meridia z roku 2001

Sportovní přístroje

GPS modul se do sportovních hodinek dostal logicky poměrně nedávno. Pouze necelá dvacítka výrobců je schopna tuto technologii do svých výrobků použít. Existují dvě základní verze sportovních přístrojů. Takové, u kterých je modul přímo zabudován do hodinek, nebo takové, které mají externí GPS modul.

Prvním sportovním přístrojem využívající technologii GPS byl od 2. 3. 2003 Garmin Forerunners 101 (Obrázek 11). Přístroj určený pro výkonnostní i rekreační běžce a chodce nabízel především měření rychlosti pohybu a vzdálenosti. Jako

doplňující funkce nabízel historii tréninkových jednotek, tréninkového asistenta (Virtual partner, intervalový trénink) a navigační funkce zpátky na start a lokace souřadnic. Přístroj byl vodě odolný do 1 metru, vážil 55g a napájen byl pro dnešní dobu kuriózními mikrotužkovými bateriemi 2x AAA. Použitý čip SiRF Star II měl 12 přístupových kanálů, podporoval systém WAAS a DGPS. Doba provozu byla garantována na 14 hodin.



Obrázek 11:

Garmin Forerunners 101 z roku 2003

O půl roku starší model Garmin Forerunner 201 již obsahoval možnost připojení hodinek sériovým kabelem k počítači. 5. 1. 2005 byl světu představen přístroj Garmin Forerunner 301, který byl prvním GPS sporttesterem, tedy přístrojem spojujícím měřič tepové frekvence a hodinky se satelitní navigací. Více v kapitole 2.2.1.

2.2 Sporttester

Hodiny, jako přístroj na měření času známe již z přelomu 13. a 14. století. Do kapesní podoby se hodinky dostaly v roce 1675 díky Christianu Huygensovi a na zápěstí se objevily až začátkem 20. století. Elektrický pohon známe u hodinek od roku 1957 a první digitální hodinky s LED diodami vynalezla firma Polar (Kynčl, 2008). Spojením digitálních náramkových hodinek a bezdrátového snímače tepové frekvence získáme monitorovací zařízení srdečního tepu, neboli sporttester.

Hodinky s měřením tepové frekvence

S myšlenkou mobilního měřiče tepové frekvence pro sportovní účely přišel finský profesorem Seppo Säynäjäkangas v roce 1975. Požadavek na měření podali trenéři finského národního týmu v běžeckém lyžování. Säynäjäkangas jako odborný asistent na Universitě v Oulu vyvinul první bezdrátový snímač založený na EKG, který si nechal v roce 1977 patentovat. Následně založil firmu Polar Elektro v Kempele a v roce 1982 představil světově první bezdrátový přenosný sporttester Polar Sport Tester PE2000 (Obrázek 12).



Obrázek 12: *Polar Sport Tester PE2000*

Během dalších let začíná s výrobou sporttesterů několik dalších značek působících v oblasti sportovních hodinek. Takové přístroje se postupem času stávají jednoduchým, ale velice platným nástrojem nejen pro detekci srdečního tepu, ale přidávají se další funkce jako například počítadlo kalorií a vitální funkce, související s kardiovaskulárním systémem (Sorvoja, 2006).

Hodinky s použitím GPS

Jak již bylo v textu zmíněno, technologii GPS do náramkových hodinek s funkcí měření tepové frekvence dokáže vložit jen velmi malé množství výrobců. Potřeby uživatelů, komfort, ergonomie přístroje a technologická náročnost výroby dala vzniknout dvěma typům přístrojů. S integrovaným nebo s externím GPS modulem.

2.2.1 Sporttester s integrovaným modulem

První sporttester s integrovaným navigačním zařízením byl Garmin Forerunner 301. Nejvyspělejší model první generace přístrojů americké firmy Garmin, která se již od začátku svojí činnosti věnovala výhradně navigačním přístrojům, vnesl nový rozměr do světa sporttesterů.

Dlouholetá zkušenost s navigačními přístroji byla velkou výhodou pro výrobu a vývoj všech přístrojů řady Forerunner. Garmin vsadil od samého začátku na integrované přístroje a postupně se snažil přístroje zdokonalovat.

Klíčem k vylepšování a popularitě přístrojů se stal vývoj GPS čipu, který zmenšoval a především zpřesňoval přístroje. 2. a 3. generace přístrojů (2006, 2009) s čipem SiRF star III již měla použitelnou velikost a přesnost. Výdrž přístroje zůstávala přibližně stejná, za výrazně menší spotřeby energie a tím pádem i menší velikosti baterií. Přenos dat mezi sporttesterem a počítačem byl zajištěn bezdrátovou technologií ANT+.

4. generace přístrojů s čipem SiRF star IV nebyla převratná ve své konstrukci, ani ve velikosti. Změna je patrná ve zjišťování nadmořské výšky pomocí barometrického výškoměru místo odpočtu od Geoidu a také novým pohybovým čidlem pro plavecké funkce. Zjišťování plaveckého způsobu a počet uplavaných délek dává takovým přístrojům přívlastek multisportovní. 5. generace přístrojů (2013) má poprvé nový čip MediaTek, barevný dotykový displej a pro komunikaci s PC používá technologii Wifi.

V nabídce předních konkurenčních firem se přístroje s integrovaným systémem GPS objevují poměrně nedávno.

Druhým výrobcem, který GPS sporttestery prodával, byla Americká firma Timex. Její první model z roku 2010, Timex Ironman Global Trainer, je přímým konkurentem modelu Garmin 310 XT (Obrázek 13). Přístroje i použitý GPS čip SiRF III jsou velmi podobné. Druhá generace přístrojů Timex z roku 2013 obsahuje čipset SiRF IV.



Obrázek 13: *Garmin 310 XT a Timex Ironman Global Trainer rok 2010*

Finské společnosti Polar a Suunto své první modely Polar RC3 a Suunto Ambit 2R uvedly na trh až v roce 2013.

Mezi další výrobce sporttesterů s GPS patří společnosti TomTom (Cardio Runner) Motorola (Motoactv) Magellan (Magellan Switch Up). Nově též giganti v oblasti sportovního vybavení, koncerny Adidas, Nike a New Balance.

Zásadní výhodou přístrojů s integrovaným modulem GPS je komfortnost pouze jednoho přístroje na těle a nutnost kontrolovat stav baterie pouze v jediném výrobku. Výdrž přístroje na jedno nabití se u všech výrobců pohybuje od 8 – 12 hodin v závislosti na síle signálu.

Nevýhodou jsou větší rozměry a nemožnost užívat přístroj jako denní hodinky.

2.2.2 Sporttester s externím modulem

Cestou kompaktního sporttesteru s velkou výdrží baterie (zhruba 1 rok) a externím modulem GPS se zpočátku vydaly společnosti Suunto a především Polar. Ten jako jednička na světovém trhu s měřiči tepové frekvence nechtěl výrazně trahit a v roce 2007 připojil k modelu Polar RS800G3 externí GPS modul G3.

Stejnou cestou se již v roce 2005 vydal další velký hráč Suunto. Vytvořil samostatný modul nazvaný GPS POD (Obrázek 14), který bylo možné připojit k celé řadě měřičů (T3, T4, T6).

Pokročilý vývoj v technologii GPS čipu, technologii nabíjecích akumulátorů a celkové miniaturizace však přesvědčil výrobce, aby ustoupili od cesty externích modulů a vyvíjeli přístroje s integrovaným GPS modulem.

Výhodou těchto přístrojů byly především příjemné rozměry a výdrž baterie v samotném sporttesteru. Nevýhodou bylo několik přístrojů umístovaných na tělo a špatná detekce stavu baterie v externím modulu.



Obrázek 14: *Suunto T6 s externím GPS modulem POD*

2.3 Sportovní trénink

Sportovní trénink je složitý a účelně organizovaný proces rozvíjení specializované výkonnosti sportovce ve vybraném sportovním odvětví nebo disciplíně, s cílem dosažení individuálně nejvyšší sportovní výkonnosti ve zvoleném sportovním odvětví na základě všestranného rozvoje sportovce.

Jedná se tedy o systematický rozvoj dvou oblastí. Výkonnostní (ve smyslu rozvoje výkonnostní úrovně v dané sportovní disciplíně) a lidské (výchovné, dodržování pravidel sportu, uznání fair play, atd.). Z tohoto důvodu chápeme sportovní trénink jako dlouhodobý, výchovně vzdělávací proces (Perič, Dovalil, 2010).

2.3.1 Systémové pojetí sportovního tréninku

Sportovní trénink probíhá ve skutečnosti jako komplexní proces. Teoretické vysvětlení podstaty tréninku, které má usnadnit jeho praktické zvládnutí, musí směřovat k poznání příčin, které vedou ke změnám sportovní výkonnosti. Na tomto základu lze

potom zodpovědně volit adekvátní obsah tréninku, jeho koncepci a stavbu, vhodné metody atd. (Dovalil, 2002).

Na základě současných znalostí a přístupů k teoretickému objasnění sportovního tréninku posuzujeme sportovní trénink jako jistý druh biologicko-sociální adaptace.

Z podrobného hlediska ho chápeme jako:

- proces morfologicko-funkční adaptace
- proces motorického učení
- proces psychosociální interakce

Sportovní trénink je tedy z pohledu záměrného ovlivňování organismu formou plánovitého dlouhodobého zatěžování na základě všestranně adaptačního procesu. Zjednodušeně lze mluvit o procesu biologického přizpůsobení organismu opakované tělesné námaze (o vytváření energetických rezerv a distribuci energie, o aktivitě různých orgánů aj.), v jejímž průběhu dochází ke zvýšení funkční kapacity organismu.

Výše uvedené procesy vymezují sportovní trénink jako celek, přitom se vzájemně podmiňují, prolínají a doplňují (Choutka, 1976).

2.3.2 Řízení sportovního tréninku

Řízením sportovního tréninku rozumíme vědomé, racionální a zdůvodněné pokyny a zásahy do tréninku (Perič, Dovalil, 2010).

Podstatou sportovního tréninku je vyvolávání progresivních změn trénovanosti, které se mění v čase a které lze ovlivnit. Řídit tento proces tedy znamená permanentně převádět organismus z jednoho stavu – výchozího, do nového – plánovaného, který se co nejvíce přibližuje optimálnímu modelu. V současném pojetí teorie sportovního tréninku vychází řízení tréninkového procesu z těchto teoretických východisek:

- chápání sportovního výkonu jako výsledku specializované adaptace
- tréninkového procesu jako dynamického celostního systému
- využití kybernetiky, která zobecňuje zákonitosti řízení (Lehnert, Novosad, Neuls 2001).

Choutka a Dovalil (1991) vymezují systém sportovního tréninku jako účelné na základě určitých zákonitostí a principů zdůvodněné uspořádání obsahu, prostředků a metod. Mezi prvky systému řadí prostředky a metody tréninku, charakteristiku zatížení, zásady stavby tréninku a řízení tréninku.

V praxi se dynamický proces řízení uskutečňuje především prostřednictvím:

- Plánování
- Evidence
- Kontroly trénovanosti
- Vyhodnocování trénovanosti a výkonnosti (Dovalil, 2008).

2.3.3 Plánování

Plánováním sportovního tréninku rozumíme stanovení určité koncepce pro splnění jednotlivých cílů a úkolů. Činnost trenéra umožňuje tvořit a následně měnit obsah a strukturu tréninku, parametry zatížení, časové členění na určitá období, použití prostředků a metod za účelem dosažení cílů. Plán znamená zdůvodněnou představu o tréninkové činnosti pro vymezené časové období. Jedná se o písemné vytyčení cílů a úkolů tréninku, rozvržení periodizace, kalendáře soutěží, hlavních kvalitativních i kvantitativních ukazatelů tréninkového a závodního zatížení, organizační a zdravotní zabezpečení a materiální vybavení. Plán vychází z důkladné analýzy předchozího období, neoddelitelnou součástí plánování je kontrola tréninkového procesu - zpětná vazba. Plánování představuje nepřetržitý proces, plán znamená pouze výchozí pozici, není to žádné dogma. Plán je průběžně konfrontován s realitou, korigován a doplňován podle výkonnosti, trénovanosti (Dovalil, 2009).

Do jaké míry bude sestavený tréninkový plán efektivní, záleží především na splnění následujících požadavků:

- tréninkový program je přizpůsoben individuální úrovni výkonnosti hráčů a jeho plnění vychází z daných materiálních a sociálních podmínek
- plánovaný program zajistí potřebnou velikost zatěžování, která zabezpečí dostatečný nárůst trénovanosti a sportovní výkonnosti

- cíle a úkoly předloženého plánu jsou hodnoceny týmem jako splnitelné a vyvolaly aktivní přístup k jejich plnění

Plánování a evidence vykonané tréninkové práce dává možnosti ke zpětnému odhalení kladů i nedostatků v přípravě a následně umožňuje činit opatření ke zlepšení tréninkového procesu (Moravec et al., 2004).

2.3.4 Evidence

Jedná se o zaznamenání všech nezbytných informací o tréninkovém procesu. Evidence je základem pro získávání zpětných vazeb a následné korekce v tréninku, patří proto mezi nejdůležitější činnosti pro teoretickou práci. Evidenci je zaznamenávána do tréninkových deníků pomocí vybraných ukazatelů, pomocí kterých je číselně zachycen obsah, objem a intenzita tréninkového nebo závodního zatížení.

Bolek, Ilavský, Soumar (2008) uvádějí, že je nutné vycházet z dlouhodobého tréninkového procesu a respektovat přirozený vývoj jedince. Je též nutné věnovat pozornost postupnému vývoji mladých sportovců a zbytečně jej neuspěchat ranou specializací nebo nadměrnými tréninkovými dávkami i přesto, že by na ně z fyziologického hlediska byli připraveni.

2.3.5 Kontrola trénovanosti

Kontrolou trénovanosti rozumíme proces, při kterém získáváme informace o změnách, k nimž dochází v důsledku tréninkového procesu. Taková zpětná vazba nám operativně vyhodnocuje správnost, případně nesprávnost zvolených tréninkových postupů a metod. K účinnému řízení sportovního tréninku je nezbytné získat nejen informace o výchozím stavu před zahájení tréninkového procesu, ale též definovat průběžný a cílový stav. Pravidelná systematická a důsledná kontrola trénovanosti v ideálním případě ukazuje průběžné informace o všech podstatných ukazatelích trénovanosti.

Volba ukazatelů trénovanosti, na které se zaměřit u jednotlivých sportů a disciplín, je poměrně obtížná.

Měli bychom usilovat o systematicčnost, pravidelnost kontrol podle stanoveného harmonogramu nebo podle momentálních potřeb. Důležitým hlediskem je také objektivita (kontrola komponent, na nichž výkon prokazatelně závisí), provádění kontroly pomocí pokud možno objektivních metod a za standardních podmínek. Kontrolu trénovanosti je třeba provádět v takových intervalech, aby se změny trénovanosti mohly projevit a současně abychom mohli zjištěných skutečností operativně využít pro případné korekce tréninku (Perič, Dovalil, 2010).

2.3.6 Vyhodnocování tréninku

Vyhodnocení nám dává do vztahu tréninkovou činnost a změny ukazatelů trénovanosti, výkonnosti. Zodpovědný trenér si neustále klade otázky, zda jeho tréninkové metody a postupy vedou skutečně k pozitivním změnám trénovanosti a zvyšování sportovní výkonnosti.

Vyhodnocení představuje poslední krok řízení tréninku (plán – evidence - kontrola - vyhodnocení). Na základě získaných výsledků dochází k rozhodnutí, zda se současné zaměření tréninku ponechá, nebo zda dojde k úpravám tréninkového plánu. Vyhodnocování není tedy jen úzce chápaná sumace tréninkových vlivů za určité časové úseky, ale náročná hlubší analytická práce s informacemi o evidenci tréninku a kontroly trénovanosti a výkonnosti s přihlédnutím k plánu tréninku (Perič, Dovalil, 2010).

2.3.7 Sporttester jako nástroj kontroly a evidence sportovního tréninku

Jednou ze samozřejmých součástí řízení optimálního průběhu přípravy, především po stránce kvalitativní, je již delší dobu sporttester. Širokou škálou funkcí se však velmi výrazně podílí i na následné evidenci a vyhodnocení sportovního tréninku nebo přímo jednotlivých závodů. Měřič tepové frekvence pro svoji přípravu využívá většina vytrvalostních sportovců napříč výkonnostními úrovněmi. Trh nabízí přístroje určené jak hobby sportovcům, tak i vrcholovým sportovcům.

Pomocí všech sporttesterů je možné měřit aktuální hodnotu tepové frekvence, zaznamenat maximální a minimální hodnoty a hlídat akustickým signálem zvolený

interval hodnoty srdeční frekvence. Je možné provádět i základní diagnostické testy pro stanovení anaerobního prahu (Conconiho test) a podobně.

Je-li měřič tepové frekvence v průběhu závodu technicko-taktickou pomůckou optimalizující intenzitu a výkon, při tréninku jsou naměřené údaje, coby parametry speciálního zatížení, jedním z nejdůležitějších a svým způsobem nenahraditelným východiskem pro úpravu další přípravy (Formánek, Horčic, 2003).

Pásma intenzity tréninkového zatížení pro potřeby triatlonu

Podle intenzity zatížení určujeme tři tréninková pásma. Hlavním bodem pro určení všech tří pásem je anaerobní práh. Na jeho základě určujeme všechna pásma intenzity tréninkového zatížení (Tabulka 2).

Tréninkové pásmo	Hladina SF	Hladina rychlosti
Intenzita I – Podprahové pásmo	75 – 95 % SF_{ANP}	75 – 95 % v_{ANP}
Intenzita II – Prahové pásmo	95 – 102 % SF_{ANP}	95 – 102 % v_{ANP}
Intenzita III – Nadprahové pásmo	93 – 100 % SF_{max}	97 – 102 % z rychlosti na danou trať

Tabulka 2: Charakteristika základních tréninkových pásem intenzity v triatlonu (Formánek, Horčic, 2003)

Intenzita I je zatížení, při kterém se SF pohybuje na hladině 75 až 95 % SF_{ANP} .

Z hlediska tréninku je tato intenzita zatížení velmi důležitá, především pro zvyšování rychle uvolnitelných tukových energetických zásob.

Intenzita II je zatížení na úrovni ANP (95 % – 102 % SF_{ANP}), které je pro rozvoj rychlostní vytrvalosti rozhodující. Rychlost pohybu odpovídající SF_{ANP} ovlivňuje hlavně prodloužení doby udržení rychlosti pohybu na úrovni ANP.

Intenzita III zahrnuje všechny intenzity pohybu, které převyšují intenzitu ANP. Trénink v tomto pásmu je zaměřen především na rozvoj i „nadvávodní“ rychlosti

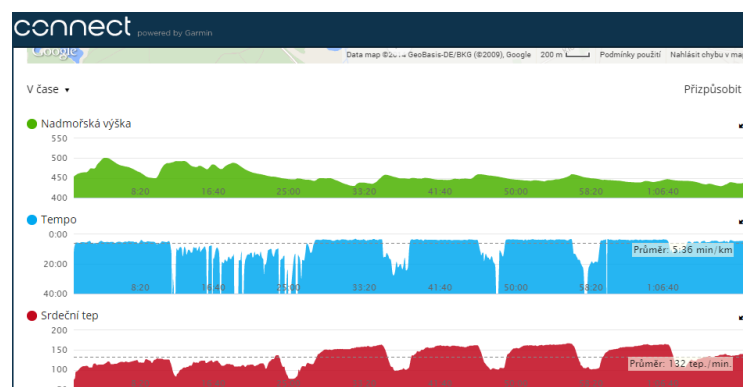
pohybu a slouží pro získání rychlostní rezervy nebo odbourání „rychlostního stereotypu“.

Je-li tréninkový motiv v intenzitě III, není pro řízení tréninku určující srdeční frekvence, nýbrž rychlost pohybu. SF je používána jako pomocný tréninkový ukazatel, který má největší roli při úpravě délky a formy zotavení (Formánek, Horčic, 2003).

Babica (2008) ve své práci potvrdil, že krátký intervalový trénink (KIT) v intenzitě III není v cyklistickém tréninku vhodné řídit pomocí tepové frekvence, nýbrž pomocí měřičů vnějšího výkonu (wattmetru).

2.3.8 Virtuální prostředí jako nástroj kontroly a evidence

Rozvoj digitalizace, snadnost přenosu naměřených hodnot z měřicích přístrojů do PC a všudypřítomný internet daly vzniknout novému rozměru tréninkových deníků. Jednotlivé tréninky již nejsou přepisovány do papírové podoby ani uchovávány v PC. Virtuální (cloudové) prostředí dává možnost okamžitého sdílení tréninkových jednotek a závodů i trenérům, kteří nejsou přítomni v každém momentu se svými svěřenci (Obrázek 14). Takové prostředí nabízí množství vyhodnocujících nástrojů. Každý z výrobců nabízí na vlastních webových stránkách takovou službu pro své zákazníky. Na internetu je však možné nalézt i několik nezávislých projektů, které zvládají komunikovat se všemi přístroji a nabízejí úložiště pro širokou základnu uživatelů s různými monitorovacími zařízeními, mezi které nepatří jen sporttestery, ale též měřiče výkonu (wattmetry), krokoměry a mnohé další.



Obrázek 15: Virtuální prostředí Garmin Connect

2.4 Souhrn teoretické části

Z předchozích kapitol je patrné, že technologie GPS zasahuje do každodenního života každého z nás. Nacházíme ji v automobilech, lodích či letadlech, ale poměrně nově i v hodinkách a měřičích tepové frekvence.

Sporttestery jsou již několik let nedílnou součástí především vytrvalostního tréninku, který je převážně řízen tepovou frekvencí.

Nové sporttestery s integrovaným modulem GPS uživatelům nabídnou širší spektrum tréninkových funkcí, které by mohly být vhodným doplňkem pro přesnější evidenci objemu naběhaných vzdáleností v jednotlivých etapách či jednotkách sportovního tréninku, nebo pomůckou pro snazší řízení tréninku pomocí rychlosti pohybu.

Trénink v nadprahovém pásmu intenzity III by nemusel být organizován na předem připravených krátkých úsecích, zjednodušila by se organizace a zlepšila pestrost. Možné využití by měření vzdáleností přineslo i pro trénink intenzity II (krátké úseky nebo trénink pro prodloužení rychlosti pohybu řízené rychlostí pohybu).

Na českém i světovém trhu je zastoupeno několik výrobců, kteří své výrobky představují v nejlepším světle. Naším cílem tedy bude ověřit u vybraného vzorku sporttesterů přesnost měření vzdáleností pomocí GPS technologie.

3 CÍLE HYPOTÉZY A ÚKOLY PRÁCE

3.1 Cíl práce

Hlavním cílem této práce je porovnat přesnost mezi ověřovanými sporttestery využívajícími pro měření vzdálenosti technologii GPS a geodetickými přístroji v rozdílném prostředí a podmínkách.

Následně ověřit či vyvrátit hypotézy o přesnosti měření v jednotlivých prostředích a vlivu technologické vyspělosti přístroje na rychlost připojení a přesnost měření.

3.2 Hypotézy

- H1:** Žádný z ověřovaných přístrojů nebude vykazovat při žádném z přímočarých testů odchylku měření větší než 1%.
- H2:** Všechny naměřené hodnoty ověřovaných přístrojů budou v toleranci uváděné výrobcem +/- 2 %.
- H3:** Konstrukčně starší přístroje se starší technologií GPS čipu SiRF IV budou pomaleji připojené k navigačním satelitům.

3.3 Úkoly práce

1. Z nabídky předních výrobců sporttesterů s integrovaným GPS modulem vybrat reprezentativní vzorek nejvyšší technické úrovně.
2. Praktickým testem získat data o rychlosti připojení.
3. Vytýčit a pomocí geodetických přístrojů změřit dva testovací okruhy o délce 5 km tak, aby simulovaly podmínky sportovního tréninku.
4. Na vytýčených úsecích ověřit vybrané přístroje při předem stanoveném tempu pohybu.
5. Na základě získaných dat ověřit nebo vyvrátit hypotézy.

4 METODIKA VÝZKUMNÉ PRÁCE

4.1 Charakteristika výzkumné práce

Diplomová práce je teoreticko-empirického charakteru. Na základě rešerše dostupných informací byly vytvořeny cíle a hypotézy, které byly ověřovány prostřednictvím následného výzkumu.

4.2 Popis výzkumného souboru

V následujících kapitolách postupně představím ověřované sporttestery, způsob měření zvolených vytýčených úseků, postup, jakým jsem měřil rychlost připojení sporttesteru k satelitům, a postup při ověřování přesnosti vzdálenosti.

4.2.1 Ověřované sporttestery

Pro svoji práci jsem vybral přístroje předních výrobců sporttesterů s integrovaným modulem GPS. Přístroje jsou v cenové kategorii od 8000,- Kč do 1200,- Kč a jsou nejvyšším modelem od jednotlivých výrobců.

Garmin 910 TX

Výrobek Garmin 910 tx je již druhou generací multi-sportovního přístroje přímo určeného pro triatlon. Přístroj je vybaven polohovým senzorem rozeznávajícím plavecké způsoby a v krytém bazénu bez možnosti použití GPS dokáže počítat množství odplavaných délek. Velký monochromatický displej má možnost nastavení 1-4 polí s volitelným obsahem. Váha ani velikost přístroje neomezují sportovce při tréninku ani při závodě.

Mezi ověřovanými přístroji má tento přístroj nejpříjemnější uživatelské menu a prostředí (www.garmin.com).



Obrázek 16: Sporttester Garmin 910 TX (G910)

Garmin 620

V současnosti nejmodernější zařízení společnosti Garmin mezi sporttestery. Velmi moderní a kompaktní přístroj, kterému dominuje barevný dotykový displej. Základní ovládání se provádí dostatečně velkými kovovými tlačítky na bocích přístroje. Zpracování přístroje je velmi kvalitní. Pásek přístroje je dělený s uchycením do očky. Přístroj podporuje navigační systémy WAAS i DGPS. Pro přenos dat do PC využívá bezdrátové technologie Wifi a Bluetooth.

Hodinky jsou subjektivně nejlépe padnoucím modelem z ověřovaných přístrojů. Naopak jsme si za krátkou dobu nezvykli na dotykové ovládání (www.garmin.com).



Obrázek 17: Sporttester Garmin 620 (G620)

Polar RC3

První přístroj s integrovaným modulem GPS od finské společnosti Polar Electro. Velmi očekávaný přístroj přináší vysoký standard v měření tepové frekvence a vynikající zpracování přístroje. Opouštění lety prověřeného tlačítka z přední strany přístroje trochu zhoršuje ovládání přístroje a 7 předdefinovaných obrazových modů uživateli nenabízí luxus srovnatelný s konkurencí. Displej je v pracovním prostředí dobře čitelný, nabízí tři datová pole rozdílné velikosti. Sporttester vyniká především zpracováním. Je to ale přístroj střední třídy. Nový model Polar V800 byl představen až v průběhu testování (www.polar.com).



Obrázek 18: Sporttester Polar RC3 (PRC3)

Suunto Ambit 2 R

Běžecký model sporttestru od firmy Suunto, která patří do korporátu společností Salomon a Arc'teryx, nabízející výrobky převážně na krosový a trailový běh. Sporttester od prvního pohledu nezapře inspiraci ve velmi povedených outdoorových hodinkách. Zdání však trochu klame. Pod mohutně vypadajícím kruhovým, kovovým rámem nalezneme poměrně tenký přístroj, který s nízkou váhou je až překvapivě příjemný na ruce. Výrazně vystouplá tlačítka umožňují spolehlivé a intuitivní ovládání třířádkového displeje. Z přístroje jsme při testování měli přes prvotní předsudky velmi dobrý dojem. Sporttester snese díky konstrukci i hrubší zacházení a dobře padne nejen na mohutnější ruku (www.suunto.com).



Obrázek 19:: Sporttester Suunto Ambit 2R (SUA2)

Adidas Smart Run

Přístroj Smart Run od společnosti Adidas je prvním přístrojem kombinujícím snímání tepové frekvence ze zápěstí sportovce a GPS navigace. Dobře čitelný barevný dotykový displej a pouze jedno mechanické tlačítko slouží k ovládání všech funkcí. Sporttester je přímo přehlídkou nejmodernější techniky vtěsnané do hodinek. Nemohli jsme se však při testování vzdát pocitu, že je to někdy trochu na škodu. Každá z funkcí jako je přehrávač hudby, barevný dotykový displej, senzor měřiče tepu i GPS modul, je velmi náročná na spotřebu energie a ačkoli je baterie výrazně větší než u konkurence, výdrž kolem 4 hodin je pro sportovce ne-li nevyhovující, tak limitující. Hodinky jsou designově nejpohlednější ze všech ověřovaných modelů (www.micoach.adidas.com).



Obrázek 20: Sporttester Adidas Smart Run (ADD)

Souhrnný přehled

Pro přehlednost byla důležitá data zapsána do tabulky. Všechna data jsou získána z příbalového letáku od oficiálního zastoupení.

	Garmin 910 TX	Garmin 620	Polar RC3	Suunto ambit 2 R	Adidas Smart Run GPS
Uvedení na trh	4. 10. 2011	16. 9. 2013	13. 8. 2011	29. 4. 2013	16. 10. 2013
Cena	9500,-	10500,-	7600,-	10000,-	1000,-
Rozměry/ Objem cm ³	54 x 61 x 15 / 49	45 x 45 x 12,5 / 20	46 x 46 x 13 / 29	50 x 15 / 30	48 x 48 x 15 / 30
Hmotnost	72 g	45 g	58 g	70 g	80,5 g
Čip	SiRF IV	MediaTek chipset	SiRF IV	SiRF IV	combo chip Murata LBEL1CESEC (WL1281)
Přesnost udávaná výrobcem	+/- 12 feet	Není uvedeno	+/- 2% +/- 2 km/k	1 m *	Není uvedeno
Výdrž baterie s gps	20 hodin	10hodin	12 hodin	8 hodin	4h /3,5 h **
Počet kanálů	48	Není uvedeno	48	48	Není uvedeno

Tabulka 3: Přehled informací o ověřovaných sporttesterech

Tabulka shrnující vybraná data o ověřovaných sporttesterech přehledně upozorňuje na skutečnosti, že přístroje Polar RC3 a Garmin 910 jsou téměř o dva roky modelově starší, a Polar RC3 je zdaleka nejlevnějším přístrojem. Nástupce tohoto modelu, již zmiňovaný Polar V800 je v současné době distribuován za cca 12500,- Kč. Garmin 620 je celkově nejlehčím a nejdrobnějším přístrojem, naopak Garmin 910 nejmohutnějším a Adidas Smart Run nejtěžším. Informace o typech GPS modulů, tedy použité čipové sady a s tím spojený údaj o počtu kanálů je zdánlivě nevýznamný. U přístrojů vybavených standardním GPS čipem lze bezpečně určit přesnost, ta je u přístrojů s multi čipem velmi závislá na aktuální úrovni nahrané verze ovládacího softwaru. Uživatelsky velmi zajímavé hodnoty jsou o výdrži přístroje na jedno nabití.

Na jedné straně 20 hodin u Garmin 910 je velmi dobrých a na straně druhé 4 hodiny u přístroje Adidas Smart Run jsou téměř nedostatečné.

4.2.2 Organizace výzkumu

Stanovení zlatého standardu u vytýčených úseků

Ve své práci jsem realizoval dva samostatné terénní testy tak, aby každý z nich simuloval specifické podmínky tréninkových a závodních podmínek. Každý test byl prováděn se všemi přístroji najednou a při rozdílných rychlostech.

Měření vytýčených úseků začalo vždy až po dosažení potřebné přesnosti uváděné přístrojem. V pilotním testování se zjistilo, že každý z ověřovaných přístrojů má jinou dobu připojování.

Charakteristika vytýčených úseků

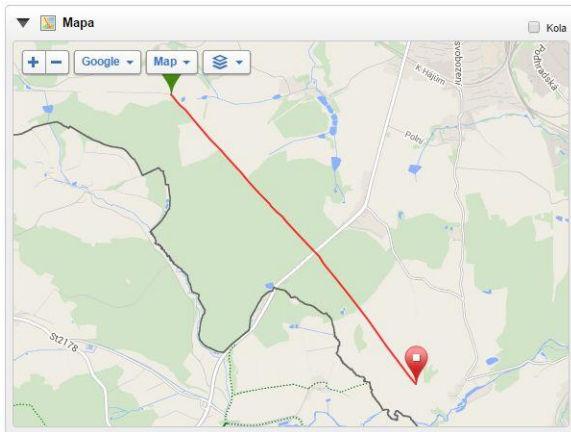
Oby typy vytýčených úseků byly koncipovány jako extrémní případy, které se v tréninkových či závodních podmínkách nevyskytují. Z důvodu časové náročnosti byla zvolena pouze 5000m dlouhá trať a jedno měření pro každou rychlost.

Přímočarý měřený úsek

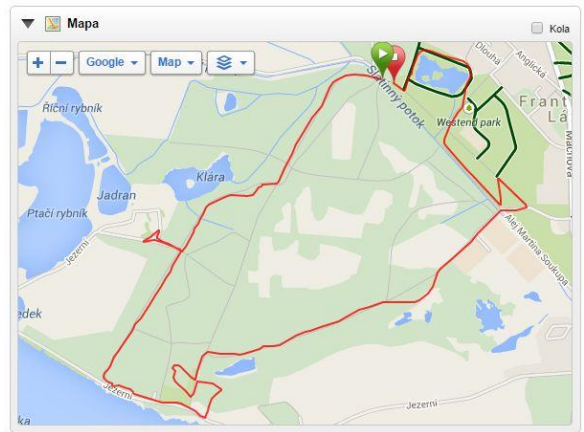
Přímočarý vytýčený úsek byl prováděn na přímém úseku v délce 5000m. Z horního pohledu ve 100 % přístupném. Jen zhruba z 1/3 je na okraji cesty slabý porost (Obrázek 23). Silnice se nachází v hraničním pásmu, je tedy bez silničního provozu a s minimem inženýrských sítí (Obrázek 21). Terén je mírně zvlněný, s viditelností od startu k cíli.

Křivočarý měřený úsek

Křivočarý měřený úsek je situován do městského (lázeňského) lesoparku, v celkové délce 5000m. Celá trať je silně zalesněna vzrostlým smíšeným lesem (Obrázek 24). Výjimku tvoří prostor startu a cíle, kde se nachází otevřený prostor. Úsek je veden po lesních cestách a pěšinách s ostrými změnami směru (Obrázek 22). Vše je označeno reflexním geodetickým sprejem tak, aby po dobu testování nedošlo ke změnám tratě.



Obrázek 21:
Přímočarý ověřovaný úsek, mapa



Obrázek 22:
Křivočarý ověřovaný úsek, mapa



Obrázek 23:
Přímočarý ověřovaný úsek, zalesnění



Obrázek 24:
Křivočarý ověřovaný úsek, zalesnění

Ověření skutečné délky vytyčených úseků pomocí geodetických měření

Geodetické měření bylo prováděno profesionální firmou s ohledem na složitost obsluhy měřicího přístroje Trimble S3. Časová náročnost měření především křivočarého terénního testu rozhodla, že bude provedeno pouze jednou (Obrázek 25).



Obrázek 25: Zaměřování přímočarého testu Trimble S3

Použitá robotizovaná totální stanice Trimble® S3 je velmi přesné geodetické měřidlo s přesností menší než 20 mm. Měření přímočarého terénního testu trvalo 90 minut a měření křivočarého terénního testu necelé tři hodiny.

Přesnost měřidla udávaná výrobcem dle mezinárodní standardy je:

Měření délek

Přesnost (směrodatná odchylka)

Hranol

Standard 2 mm + 2 ppm

Standard dle ISO17123-4 1.5 mm + 2 ppm

Tracking 5 mm + 2 ppm

Direct Reflex (bezhranolové měření)

Standard measurement 3 mm + 2 ppm

Tracking 10 mm + 2 ppm

Ppm znamená pars per milion, neboli milimetr na kilometr (www.trimble.com).

Mechanické měření

Mechanické měření bylo provedeno kalibrovaným měřičským kolečkem, Nedo N115, s obvodem kolečka 0,5m. Přesnost měření uváděná výrobcem je 0,5% a odečítání je po 0,1 m. Měření bylo provedeno za chůze a opakovaně se stejným výsledkem (Tabulka 4).



Obrázek 26: Označení vytýčených úseků

Stanovení přesné vzdálenosti vytýčeného úseku.

Po přeměření vytýčených úseků oběma typy měření byl stanoven aritmetickým průměrem zlatý rozměr vzdálenosti, ze které se bude stanovovat odchylka proměření. Trať byla viditelně označena tak, aby nedošlo k chybě měření (Obrázek 26).

Typ měřeného úseku	Opticky zaměřená délka	Mechanicky zaměřená délka
Přímočarý vytýčený úsek	5000 m	5005 m
Křivočarý vytýčený úsek	5007 m	5000 m

Tabulka 4: Tabulka skutečných hodnot všech měřených úseků

Hodna pro přímočarý vytýčený úsek byla stanovena na 5002,5 m, tedy odchylka od obou měření 0,05% a pro křivočarý vytýčený úsek 5003,5 s odchylkou 0,07%.

4.2.3 Postup měření připojení

Na předem vytipovaném místě byly sporttestery spuštěny. Měřila se doba v sekundách, za jakou byl každý z přístrojů připojen k minimálně třem satelitům tak, jak uvádí příložený manuál. Do času připojování není započítáván start systému hodinek.

4.2.4 Postup ověřování přesnosti vzdálenosti

Během jednoho měřicího pokusu bylo prováděno pouze jedno měření stejného typu. Měřené úseky jsou od sebe vzdáleny téměř 10 km. Po každém testování byly přístroje vypnuty. Test byl zahajován puštěním všech ověřovaných sporttesterů, které byly ponechány na otevřeném prostranství tak, aby bylo umožněno dokonalé připojení ke kosmickému segmentu. Tato doba nikdy nepřesáhla 3 minuty.

Testy při tempu 3:00 min/km a křivočarý test při tempu 3:30 min/km byly prováděny s použitím jízdního kola pro nedostatečnou výkonnost probandů. Spuštění a vypnutí hodinek při všech testech prováděly pro přesnost vždy 2 osoby současně. Před spuštěním přístrojů se probandi vždy, na vzdálenosti cca 50 m, rozbíhali pro nastavení požadované rychlosti. Přístroje jsme se snažili vypnout současně v místě označeném jako konec.

5 VÝSLEDKY

5.1 Měření rychlosti připojení k satelitům

Pro měření rychlosti připojení byly vybrány dvě nezávislé lokality s rozdílným geodetickým prostředím. Ve všech místech byl zachován přímý přístup k satelitům v okruhu minimálně 50m. Vzdálenost mezi místy měření byla min 10 km.

Výsledky měření připojení

	Cheb 10. 10. 2014			Cheb 11. 10. 2014				
	10:00	14:00	18:00	10:00	14:00	18:00	\bar{a}	σ (SD)
G910	23	17	33	21	17	25	22,67	5,99
G620	11	8	17	9	7	7	9,83	3,82
PRC3	48	24	31	37	32	29	33,5	8,26
SUA2	12	4	10	9	4	6	7,5	3,33
ADD	90	55	59	54	65	63	64,33	13,29
	184	108	150	130	125	130		

Tabulka 5: Tabulka naměřených hodnot připojení v lokalitě Cheb (Svatý Kříž)

Z naměřených hodnot uvedených v tabulce jasně vyplývá, že k satelitům kosmického segmentu systému GPS NAVSTAR se nejrychleji připojuje sporttester Sunto Ambit 2 R za vynikající průměrný čas 7,5 sekundy. Podobně neuvěřitelné hodnoty těsně pod deset sekund (9,9 s) byly naměřeny u přístroje Garmin 620. Velmi slušné hodnoty však vidíme i u ostatních přístrojů. Garmin 910 s 22,7 sekundami a Polar RC3 s 33,5 sekundami. Uspokojivá hodnota 64,5 sekundy naměřená u přístroje

Adidas Smart Run je ještě umocněna směrodatnou odchylkou σ 13,29, kdy první měření s hodnotou 90 s výrazně ovlivnilo výsledný čas.

Z průměrných naměřených hodnot v jednotlivých časových obdobích je patrné, že nejrychleji se přístroje k satelitům v měřeném místě (Cheb, Svatý kříž) připojují v odpoledních hodinách, kolem 14 hodiny.

	Fr. Lázně 10. 10. 2014			Fr. Lázně 11. 10. 2014			\bar{a}	σ
	11:00	15:00	19:00	11:00	15:00	19:00		
G910	25	23	25	29	21	25	24,67	2,66
G620	15	10	12	10	8	15	11,67	2,88
PRC3	40	30	31	33	50	35	36,5	7,50
SUA2	12	4	5	15	5	6	7,83	4,53
ADD	58	45	50	65	60	60	56,33	7,39
	150	112	123	152	144	141		

Tabulka 6: Tabulka naměřených hodnot připojení v lokalitě Františkovy Lázně (Amerika)

Na druhé ověřované lokalitě ve Františkových Lázních byly naměřeny podobné hodnoty jako v Chebu. Nejrychleji připojovaným sporttesterem byl Suunto Ambit 2 Rs 8,9 s následovaný přístroji Garmin 620 (11,7 s), Garmin 910 (24,7 s) a přístrojem Polar RC3 (36,5 s). Zde se průměrné hodnoty u přístroje Adidas Smart Run vešla pod minutu (56,4 s). Největší směrodatnou odchylku měření jsme zjistili u přístroje Polar RC3, kdy jediná hodnota (50 s) naměřená v 15:00 výrazně překročila průměr.

Toto měření výrazně ovlivnilo i průměrné naměřené hodnoty v jednotlivých časových obdobích. První den hodnoty kopírují měřící místo Cheb, kdy nejrychleji se přístroje přihlašovali odpoledne (15:00). Touto výraznou chybou se druhý den v průměru přihlašovali přístroje nepatrně rychleji kolem 19 hodiny.

5.2 Měření přesnosti vzdálenosti u ověřovaných sporttesterů

Měření přesnosti probíhalo na dvou předem připravených změřených a vytýčených úsecích simulujících možný trénink nebo závod. Přístroje se od sebe nikdy nevzdálili na více jak 1m. Pro každý test byly zvoleny 4 rychlosti tempa. Přibližně 3:00 minuty na kilometr, 3:30 min/km, 4:00 min/km a 5:00 min/ km.

Výsledky měření vzdálenosti přímočarého úseku

	Tempo 3:00			Tempo 3:30		
	Vzdálenost (m)	Čas (s)	\bar{a} (%)	Vzdálenost (m)	Čas (s)	\bar{a} (%)
G910	4983	15:07,11	-0,34	4991	17:34,98	-0,18
G620	4985	15:07,53	-0,3	4989	17:34,30	-0,22
PRC3	4984	15:07,37	-0,32	4990	17:35,45	-0,2
SUA2	4987	15:08,12	-0,26	4983	17:34,31	-0,34
ADD	4971	15:08,36	-0,58	4979	17:34,56	-0,42

Tabulka 7a: Tabulka naměřených hodnot při přímočarém testu

	Tempo 4:00			Tempo 5:00		
	Vzdálenost (m)	Čas (s)	\bar{a} (%)	Vzdálenost (m)	Čas (s)	\bar{a} (%)
G910	4999	20:01,35	-0,02	4997	24:58,65	-0,06
G620	4995	20:01,91	-0,1	4993	24:58,13	-0,14
PRC3	4989	20:02,32	-0,22	4987	24:58,54	-0,26
SUA2	4990	20:02,16	-0,2	4989	24:58,98	-0,22
ADD	4983	20:01,87	-0,34	4981	24:57,12	-0,38

Tabulka 7b: Tabulka naměřených hodnot při přímočarém testu

Získané hodnoty v přímočarém měřeném úseku vykazují velkou přesnost všech ověřovaných přístrojů. Žádné z měření nedopadlo přeměřením úseku, naopak všechny přístroje naměřily vzdálenost kratší, než byl stanoven zlatý standard.

Při tempu 3:00 minuty na kilometr, tedy 5,55 metrů za sekundu došlo ze strany měřitele k maximální chybě proměření 1,25 sekundy. Taková chyba znamená 6,95 metrů a teoreticky zhoršení odchylky přesnosti na -0,72. K takové chybě mohlo dojít jen při měření na jízdním kole, kdy bylo prakticky nemožné, vypnout hodinky současně. U běhu probandi nikdy úsek nepřeběhli o více jak 5 metrů a k proměření o 1 sekundu došlo díky chybám v manipulaci případně špatnou odezvou dotykového displeje.

Výsledky měření vzdálenosti křivočarého úseku

	Tempo 3:00			Tempo 3:30		
	Vzdálenost (m)	Čas (s)	\bar{a} (%)	Vzdálenost (m)	Čas (s)	\bar{a} (%)
G910	4966	15:11,11	-0,68	4977	17:37,30	-0,46
G620	4926	15:11,38	-1,48	5943	17:37,35	-1,14
PRC3	4959	15:11,52	-0,82	4951	17:37,49	-0,98
SUA2	4958	15:11,86	-0,84	4963	17:37,42	-0,74
ADD	4793	15:11,75	-4,14	4910	17:37,52	-1,8

Tabulka 8a: Tabulka naměřených hodnot při křivočarém testu

	Tempo 4:00			Tempo 5:00		
	Vzdálenost (m)	Čas (s)	\bar{a} (%)	Vzdálenost (m)	Čas (s)	\bar{a} (%)
G910	4979	19:53,35	-0,42	4982	24:58,65	-0,36
G620	4947	19:53,56	-1,06	4979	24:58,79	-0,42
PRC3	4965	19:53,27	-0,7	4965	24:58,68	-0,7
SUA2	4961	19:53,61	-0,78	4967	24:58,78	-0,66
ADD	4893	19:54,33	-2,14	4827	24:58,45	-3,46

Tabulka 8b: Tabulka naměřených hodnot při křivočarém testu

U naměřených hodnot z křivočarého měřeného úseku bylo patrné zhoršení přesnosti u všech ověřovaných přístrojů. Nepatrné rozdíly mezi ověřovanými přístroji z přímočarého měřeného úseku se zvětšily a celkově nás naměřené hodnoty negativně překvapily. Znovu došlo ve všech případech k naměření nižších hodnot, než byl

stanovený zlatý standard. Předpokládáme, že tak bylo díky ostrým změnám směru při testu.

5.3 Souhrnné výsledky měření rychlosti připojení u ověřovaných přístrojů

	Fr. Lázně		Cheb			
	\bar{A}	σ (SD)	\bar{a}	σ (SD)	\bar{a}	σ (SD)
G910	24,67	2,66	22,67	5,99	23,67	4,54
G620	11,67	2,88	9,83	3,82	10,75	3,36
PRC3	36,5	7,50	33,5	8,26	35	7,69
SUA2	7,83	4,53	7,5	3,33	7,67	3,79
ADD	56,33	7,39	64,33	13,29	60,33	11,02

Tabulka 9: Souhrnná tabulka průměrných hodnot rychlosti připojení u ověřovaných přístrojů

Z Tabulky 9 jsou jasně patrné rozdíly mezi ověřovanými přístroji. Velmi rychle se k satelitům připojoval přístroj Suunto Ambit 2R, který s průměrnou rychlostí 7,67 sekundy příjemně překvapil. Směrodatná odchylka σ 3,79 ukazuje na malý rozptyl mezi jednotlivými měřeními. Velmi podobně dopadl i sporttester Garmin 620, který s hodnotami 10,75 s a σ 3,36 jen nepatrně zaostal. Uspokojivé hodnoty jsme naměřili u přístrojů Garmin910 TX 23,67 s, σ 4,54, respektive Polar RC3 35 s σ 7,69.

Téměř dvojnásobnou dobu k připojení potřeboval přístroj Adidas Smart Run. 60,33 sekundy a σ 11,02 však nejsou uživatelsky nepříznivé hodnoty.

Nejrychleji se k satelitům opakovaně připojoval přístroj Suunto Ambit R2, těsně následoval Garmin 620, Garmin 910 TX, Polar RC3. Nejhoršího výsledku v testech dosáhl sporttester Adidas Smart Run.

5.4 Souhrnné výsledky měření vzdálenosti ověřovaných přístrojů

	Procento odchylky u přímočarého měřeného úseku					
	3:00	3:30	4:00	5:00	\bar{a} (%)	\bar{a} (m)
G910	-0,34	-0,18	-0,02	-0,06	-0,15	7,5
G620	-0,3	-0,22	-0,1	-0,14	-0,19	9,5
PRC3	-0,32	-0,2	-0,22	-0,26	-0,25	12,5
SUA2	-0,26	-0,34	-0,2	-0,22	-0,255	12,75
ADD	-0,58	-0,42	-0,34	-0,38	-0,43	21,5
\bar{y}	-0,36	-0,272	-0,176	-0,212		

Tabulka 10: Souhrnná tabulka průměrných hodnot odchylky přesnosti měření u přímočarého měřeného úseku

Souhrnné výsledky uvedené v Tabulce 7 celkově ukazují velkou přesnost měření vzdálenosti všech ověřovaných sporttesterů. Vezmeme-li v potaz možné nepřesnosti v měření díky rozdílnému načasování spouštění a vypínání přístrojů na začátku a konci měření, přístroje Garmin 910 TX, Garmin 620, Polar RC3 a Suunto Ambit2 R vykazují velmi podobnou přesnost. Adidas Smart Run je s nepatrně horší přesností poslední. Nepatrnost představuje rozdíl, mezi průměrnou hodnotou nejpřesnějšího přístroje Garmin 910 TX (\bar{a} -0,15) a nejhůře hodnoceným Adidas Smart Run (\bar{a} -0,43). Rozdíl průměrů v přesnosti čtyř měření (\bar{a} -0,28) ve skutečnosti znamená 14 m.

Zajímavé je též zjištění, že se průměrná přesnost měření mění v závislosti na rychlosti pohybu. Při průměrném tempu kolem 3:00 min/km je přesnost nejhorší, naopak nejlepší průměrné hodnoty odchylky (\bar{y}) jsou naměřeny u rychlosti tempa 4:00 min/km. Znovu je ale nutné připomenout nepřesnost při zapínání a vypínání přístrojů (až 1,25 s) a velikosti odchylky, která je mezi rychlostí tempa 3:00 min/km a 4:00 min/km 0,184 %, tedy 9,2 metru.

	Procento odchylky u křivočarého měřeného úseku					
	3:00	3:30	4:00	5:00	\bar{a} (%)	\bar{a} (m)
G910	-0,68	-0,46	-0,42	-0,36	-0,48	24
G620	-1,48	-1,14	-1,06	-0,42	-1,025	51,25
PRC3	-0,82	-0,98	-0,7	-0,7	-0,8	40
SUA2	-0,84	-0,74	-0,78	-0,66	-0,755	37,75
ADD	-4,14	-1,8	-2,14	-3,46	-2,885	144,25
\bar{y}	-1,592	-1,024	-1,02	-1,12		

Tabulka 11: Souhrnná tabulka průměrných hodnot odchylky přesnosti měření u křivočarého měřeného úseku

Již první pohled do Tabulky 8 vykazuje výrazné zhoršení přesnosti měření v křivočarém měřeném úseku. Vysoký standard si ponechal přístroj Garmin 910 TX s průměrnou odchylkou přesnosti měření vůči zlatému standardu \bar{a} -0,48 %, tedy 24 m na 4 měřeních. Přijatelné hodnoty vidíme i u přístrojů Suunto Ambit2R (\bar{a} ,0,76 %) a Polar RC3 (\bar{a} -0,80 %). Poměrně překvapivé zhoršení nalezneme u přístroje Garmin 620 kde průměrná hodnota překonala jedno procento (\bar{a} -1,025 %). 51 m na 5kilometrovém úseku nám již nepřipadala uspokojivá, natož výsledky přístroje Adidas Smart Run. Přesnost, možné lépe vystihující slovo je nepřesnost, měření (\bar{a} -2,885 %) tedy 144,25 m je neodpovídající přístroji za 10000,- Kč.

Poměrně zvláštní je potvrzení trendu z měření na přímočarém vytýčeném úseku, kdy nejpřesnější měření vychází při rychlosti tempa 4:00 min/km, následují vyrovnané průměrné odchylky při rychlosti tempa 3:30 min/km a 5:00 min/km. Nejméně přesné jsou hodnoty u tempa 3:00 min/km. Rozdíl v průměrných hodnotách činí 0,572% tedy 28,6 m.

6 DISKUZE

Potvrzení a vyvrácení hypotéz

Výsledky mé práce nepřinesly jen potvrzení a vyvrácení hypotéz, ale též několik otázek, spekulací a zamyšlení.

H1: Žádný z ověřovaných přístrojů nebude vykazovat při žádném z přímočarých testů odchylku měření větší než 1%.

Žádný z ověřovaných přístrojů nevykazoval při žádném z přímočarých testů odchylku větší než 1%. Z hodnot v Tabulce 5a a Tabulce 5b je zřejmé, že nejhorší naměřená hodnota odchylky měření je \bar{a} -0,53%. Hypotézu tedy můžeme přijmout.

H2: Všechny naměřené hodnoty ověřovaných přístrojů budou v toleranci uváděné výrobcem +/- 2 %.

U jednoho z ověřovaných přístrojů byla opakovaně zjištěna odchylka měření větší než +/- 2%. V Tabulce 6a a Tabulce 6b je možno zjistit překročení hodnot více jak dvojnásobně. Hypotézu tedy nemůžeme přijmout.

H3: Konstrukčně starší přístroje se starší technologií GPS čipu SiRF IV budou pomaleji připojené k navigačním satelitům.

Hypotéza o tom, že konstrukčně starší přístroje se starší technologií GPS čipu SiRF IV budou pomaleji připojitelné k navigačním satelitům, se nepotvrdila. Z Tabulky 3 je patrné, že technologie čipu SiRF IV může být rychlejší v připojení, než novější multi čipy.

Jak bylo v teoretické části zdůrazněno, navigační systémy byly vyvíjeny výhradně pro armádní účely. Díky absenci válečných konfliktů, nedostatku financí a síle civilního trhu se více jak 80% všech aktivit orientuje na civilní sektor. Je však otázkou jak dlouho bude americká vláda zdarma poskytovat služby navigačního systému GPS NAVSTAR, na kterém jsou přímo závislé i rozšiřující se systémy SBAS a především WAAS. Podobné to je i se skomírajícím ruským systémem GLONASS, který se snaží prezident Putin vzkřísit. Peníze však docházejí a konkurenceschopnost opadá. Většina odborníků se upírá k projektu Galileo. Ten však od samého začátku nabírá zpoždění díky finanční krizi a nikdo dnes nevěří datu komerčního zpuštění 2020. Podobný osud zpožďuje i plánovaný rozsáhlý obnovovací program GPS NAVSTAR (2014-2018) Otázkou tedy zůstává, bude-li nutné v budoucnu platit za navigační služby? Potažmo, bude-li nutné platit i za využití satelitů ve sportovních přístrojích?

V samotné přípravě této práce jsem si vytipoval několik přístrojů, bohužel ne všechny se mi podařilo k testování získat. Velmi mě mrzí nemožnost ověření například přístroje Tomtom Runner, které jsem v pilotním měření používal, ale na zapůjčení pro ostré měření jsem je nezískal podobně jako Timex IRONMAN® Run Trainer. V úvahu pro testování přicházel ještě velmi úspěšný produkt firmy Nike Sportwatch GPS. Tento výrobek však není sporttesterem, a proto nebyl hodnocen. Všechny výše zmiňované přístroje nahradil konstrukčně starší, ale dle výsledků vítězný Garmin 910 TX. Otázkou zůstává, jak by v ověřování dopadly přístroje Tomtom a Timex?

Při volbě terénu a prostředí pro vytýčené úseky jsem záměrně vybíral až extrémní prostředí, které možná neodpovídá tréninkovým situacím. Rovný 5 km dlouhý úsek bez rušivých elementů nebývá pro trénink obvyklé prostředí. Stejně jako běh po parku ve vysokém tempu s prudkými změnami směru. Tento extrém jsem zvolil především pro větší rozptyl výsledků, který jsem neočekával tak výrazný. Přicházel v úvahu ještě atletický ovál, tam jsem ale předpokládal zkreslení výsledků velké. Tento terén byl tedy pro test málo vhodný. Po zkušenostech z této práce bych doporučoval testování v městských podmínkách, které je často voleno jako prostředí objemové a zimní přípravy.

Zpětný pohled na průběh testování je trochu zvláštní. Všechny testy byly opakovaně zkoušeny, aby se předešlo problémům. Při zjišťování rychlosti připojení probíhalo vše bez problémů. Problémy nastaly při testech s ověřováním skutečné délky vytýčených úseků. Při rychlosti tempa 3:00 min/km a 3:30 min/km, u kterých bylo nutné použít

jízdní kolo, jsem nejen musel využít druhou osobu, ale jistě by byla platná osoba třetí. Tempa byla na hranici, někdy až za hranicí naší výkonnosti a docházelo ke zmiňovaným proměření. Závěr tedy je, aby jeden proband ověřoval maximálně 2 přístroje. Doporučil bych také, aby na kole trať objeli všichni společně. Předávání přístrojů před cílem nebude s dalším rozšiřováním dotykových přístrojů prakticky možné.

Ověřované přístroje se dle mého názoru ukázaly jako dostatečný vzorek pro ověřování. Garmin 910 TX byl pro mne nejznámější přístroj. Sám již několik let používám starší model Garmin 310 a byl jsem zvědav, jak přístroj v konkurenci dopadne. Byť je tento přístroj určen pro triatlonisty, uspěl velmi dobře. Poněkud mohutnější konstrukce přístroje je do jisté míry způsobena možností připojit na tělo nástavce pro použití hodinek na jízdním kole podobně jako cyklistický tachometr. Výrobce mohutnější konstrukci připisuje i odolnost proti nárazu při plavecké části triatlonu, nebo při použití v bazénu. K přístroji není nic co dodávat, stal se vítězem ověřování. Na trhu se již objevil nástupce, model Garmin 920. Na tento model nahlížím s trochou nejistoty.

Nejistota pramení ze zkušeností z přístrojem Garmin 620. Vlajková loď celé sekce Garmin forerunner proti očekávání trochu propadla. Přístroj, po kterém bych na první pohled okamžitě sáhnul, především kvůli konstrukci a váze, se funkčně moc neosvědčil. Naměřené hodnoty sice jsou v toleranci udávané výrobcem, ale nepřesvědčily především v konkurenci starších přístrojů. Pošramocenou pověst si u mě přístroj napravil po zjištění, že výrobce pravidelně nabízí na svých stránkách upgrade softwaru pro použitou čipovou sadu. Aktuální verze 3.30 je po ověření přesnější než přístroj Garmin 910TX. Otázkou zůstává, jestli zákazník po zakoupení přístroje v hodnotě 10000,- Kč., přijímá za vlastní nutnost v průběhu užívání přístroj aktualizovat a upravovat? Další otázka je, zda-li společnost Garmin neudělala chybu, když opustila spolehlivé a lety prověřené čipy SiRF a vyměnila je za konkurenční MediaTek ? Ty jsou sice výrazně méně energeticky náročné, jejich spolehlivost je diskutabilní.

Polar RC3 byl mezi ověřovanými přístroji podobně jako Garmin 910 nejstarší, rozhodně se v konkurenci neztratil. Jako významný bonus vnímám i zdaleka nejnižší pořizovací cenu přístroje. Mezi ověřovanými přístroji ničím neoslnil, ale ani nezklamal. Polar Electro s GPS integrovanými přístroji poměrně dlouho otálel a přišel tak o první místo na poli sporttesterů. Polar RC3 vrátil společnost zpátky do hry a od novinky, Polar

V800 očekává získání ztracené slávy. To však bude v nabité konkurenci obrovsky těžké. Jako novinka se přístroj má začít prodávat za více jak 12500,- Kč

Ověřovaný přístroj Suunto Ambit2R je produktem cíleně směřovaným na konkrétní skupinu uživatelů. Běžci preferující krosový běh, orientační běžci, případně běžci s robustnější postavou vždy sáhnou po tomto přístroji. Poměrně spolehlivý přístroj, označený R, RUN, je odlehčenou verzí trekového, případně cestovatelského přístroje Suunto Ambit. Překvapil především rychlostí připojení k satelitům. Je ukázkou toho, že pouze přijímací čip není zárukou dobrého signálu. Výsledky natolik překvapily, že jsme po skončení testů opakovaně přístroj zapínali a opakovaně zkoušeli rychlost připojení. Nakonec ani hodnoty pod 2 sekundy nebyly výjimkou.

Adidas sport Run při našem konkrétním testování propadl. Tento produkt se pouze jeví jako marketingový tah giganta na sportovní vybavení. Přístroj disponuje nejmodernější technologií všeho druhu, která je ale určena jiné cílové skupině. Tento přístroj podle našeho mínění patří do rukou kondičním a hobby běžcům, kteří využijí funkce jako přehrávač hudby, případně nejsou spokojeni se snímačem tepové frekvence upevněným na hrudníku. Nepřesvědčil mě ani dotykový displej, který při doběhu dělal potíže s vypnutím. Opocené ruce, nebo mírný déšť by s největší pravděpodobností ovládání ještě zkomplikoval. Otázka je jediná. Změní softwarové úpravy něco na tomto přístroji? Především výdrž baterie a přesnost jsou nevyhovující.

K většině přístrojů lze připojit food pod, tedy další nástroj pro měření vzdáleností, který v kombinaci s GPS technologií zajišťuje zřejmě největší přesnost. Současný trend všech přístrojů je však takový, že se veškeré dostupné technologie koncentrují do jediného přístroje, aby uživatel nebyl doslova ověšen snímači.

Z hypotéz vyplývá, že navigační systém GPS NAVSTAR je i při skutečnosti, že je závislý na 30 satelitech obíhající kolem země ve vzdálenosti 20,5 km a rychlosti 4km/s za optimálních podmínek velmi přesným nástrojem pro měření i navigaci.

Přesnost se však snižuje ve zhoršených podmínkách a to nejen atmosféry, ale i krátkodobou ztrátou přímé viditelnosti a klimatickými podmínkami.

Poslední z hypotéz ukazuje, že boj o zákazníka, nové modely přístrojů každý rok, miniaturizace technologií a mnohé další, nemusí vždy znamenat kvalitu po daný produkt.

Praktický závěr této práce tedy zní. Nejen mnou ověřované přístroje, ale každý podobný měřič vzdálenosti je dobrým pomocníkem pro evidenci sportovního tréninku. V této

studii se neosvědčil sporttester Adidas Smart Run, to však neznamená, že by neměl svoji kvalitu, nebo že je nepoužitelný. Pouze upozorňuji, že nelze dogmaticky věřit podobným přístrojům za každých podmínek. Pro přesné měření délky krátkých úseků při sportovním tréninku bych doporučil levnější a přesnější nástroj v podobě geodetického měřidla, kolečka. Pro tempový trénink intenzity II v přijatelných podmínkách je podobný pomocník již nenahraditelný.

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo ověření přesnosti měření vzdáleností u sporttesterů vybavených integrovaným GPS modulem v rozdílném prostředí a podmínkách.

Pomocí měření bylo zjištěno, že ověřovaný přístroj Garmin 910 TX má na přímočarém vytýčeném úseku při rychlostech tempa od 3:00 do 5:00 min/km průměrnou odchylku -0,15 %, Garmin 620 má odchylku -0,19%, Polar RC3 -0,25 %, Přístroj Suunto Ambit 2R -0,26% a sporttester Adidas Smart Run -0,43 %.

Všechna naměřená data potvrdila hypotézu o velikosti odchylky, která nebude při žádném z přímočarých testů větší než 1% [H1].

Při ověřování přesnosti na křivočarém vytýčeném úseku, při rychlostech tempa od 3:00 do 5:00 min/km byla u přístroje Garmin 910 TX naměřena odchylka -0,48 %, Garmin 620 má odchylku -1,025%, Polar RC3 -0,8 %, Přístroj Suunto Ambit 2R -0,755% a sporttester Adidas Smart Run -2,885 % [H2].

Naměřené hodnoty vyvrátily hypotézu o velikosti odchylky na křivočarém měřeném úseku. Jeden z ověřovaných přístrojů vykázal odchylku měření větší, než v hypotéze předpokládané +/- 2% [H3].

Dalším cílem bylo zjistit průměrnou dobu připojování ke kosmickému segmentu u ověřovaných Sporttesterů.

Průměrná délka připojování u přístroje Garmin 910 TX s použitým GPS modulem SiRF IV, byla z celkem 12 měření v různých časových obdobích a na dvou místech vypočtena na 23,67 sekundy se směrodatnou odchylkou σ 4,54. Garmin 620 (MediaTek) má průměrnou délku připojení 10,75 s σ 3,36, Polar RC3 (SiRF IV) 35 s σ 7,69. Přístroj Suunto Ambit 2R (SiRF IV) 7,67 s σ 3,79 a sporttester Adidas Smart Run (Murata) 60,33 s σ 11,02.

Získaná data nepotvrdila hypotézu o tom, že konstrukčně starší přístroje se starší technologií GPS čipu SiRF IV budou pomaleji připojitelné k navigačním satelitům. Přístroj Suunto Ambit 2R (SiRF IV) byl nejrychleji se připojitelným přístrojem ze všech ověřovaných sporttesterů.

Posledním cílem bylo odhadnout, do jaké míry jsou ověřované přístroje platným nástrojem při sportovním tréninku.

Všechny ověřované přístroje jsou platným nástrojem především pro evidenci sportovního tréninku. O vhodnosti použití přístrojů pro krátký intervalový trénink nejsem přesvědčen.

Seznam literatury

1. RAPANT, P., *Družicové polohové systémy*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2002. 197 s. ISBN 80-248-0124-8
2. WORTH, H., WARREN, M., *Transit to tomorrow.*, 1. vydání, Laurel, Maryland, Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory , 2009, ISBN 9780615330242, 148 s.
3. KAPLAN, E. D., HEGARTY, A. Ch., *Understanding GPS, Principles and Applications.*, 2. vydání, Norwood, MA, Artech House, , 2006, ISBN-10: 1-58053-894-0, 138 s.
4. GUIER, W. H., WEIFFENBACH, G. C., *Genesis of Satellite Navigation*, 1997, Johns Hopkins APL Technical Digest 18(2), 178–181
5. TRIMBLE, GPS The First Global Navigation Satellite System, 2007 [online]. [cit. 2014-12-01].
Dostupný z <<http://www.saveourgps.org/pdf/GPS-The-First-Global-Satellite-Navigation-System-by-Trimble.pdf>>.
6. EISSFELLER, B., AMERES, G., KROPP, V., SANROMA, D., Performance of GPS, GLONASS and Galileo, 2007 [online]. 1. 12. 2014. [cit. 2014-12-01].
Dostupný z <<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo07/220Eissfeller.pdf>>.
7. WITTE, T. H., WILSON, A. M., Accuracy of WAAS-enabled GPS for the determination of position and speed over ground. *Journal of Biomechanics* 38 (2005) 1717–1722
8. CASARTELLI, N., MÜLLER, R., MAFFIULETTI, N. A., Validity and reliability of the myotest accelerometric system for the assessment of vertical jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, (2010), 24 (11), 3186-3193.
9. POWERS, S. T., PARKINSON, B., *The Origins of GPS.*, 2010, [online]. [cit. 2014-12-01].
Dostupný z <http://www.u-blox.com/images/stories/the_origins_of_gps.pdf>.

10. ZHAO, S., CUI X., GUAN, F., LU, M., *A Kalman Filter-Based Short Baseline RTK Algorithm for Single-Frequency Combination of GPS and BDS*. Sensors 2014, 14, ISSN: 1424-8220
11. EUROPEAN SPACE AGENCY. 2012. *What is Galileo?* [online]. 19. 5. 2012. [cit. 2012-05-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>>.
12. WALLNER, S., AVILA-RODRIGUEZ, J-A., HEIN, G. W., RUSHANAN, J. J., *Galileo E1 OS and GPS L1C Pseudo Random Noise Code*. Institute of Geodesy and Navigation, University FAF Munich, Germany.
13. ČÁBELKA, M., *Úvod do GPS* [online]. CITT Praha Akademie kosmických technologií, Praha, 73 s. (2008), [cit. 2014-12-01]. Dostupné z URL: <<http://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/kestazeni/vyuka/gps/skriptum-uvod-do-gps>>.
14. STEINER, I., ČERNÝ, J., *GPS od A do Z*. 4 vydání, Praha, eNav, 2006. 264 s. ISBN 80-239-7516-1
15. ŠVÁBENSKÝ, O., FIXEL, J., WEIGEL, J., *Základy GPS a jeho praktické aplikace*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1995. 123 stran. ISBN 80-214-0620-8
16. VAN DIGGELEN, F. S., *A-GPS: assisted GPS, GNSS, and SBAS*, 2009, Boston: Artech House, 380 p. ISBN: 9781596933750
17. BAR-SEVER, Y., MUELLERSCHOEN, R., *The NASA's Global Differential GPS System – Present and Future*, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology Pasadena, CA 91109 [online]. [cit. 2014-12-1]. Dostupný z<<http://www.esto.nasa.gov/conferences/estc2003/papers/A5P8%28Bar-Sever%29.pdf>>
18. BABICA, M. Vypracování metodiky stavby vzorových jízd v tréninku cyklistické části triatlonu pomocí měřiče výkonu: diplomová práce. Praha:

Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu, 2008. 88 l., 16 l. příl.
Vedoucí diplomové práce Josef Horčic.

19. *ESA.EGNOS*, [online]. [cit. 2014-12-01].
Dostupné z WWW: < <http://www.egnos-pro.esa.int/index.html> >.
20. PACE, S., FROST, G. P., LACHOW, I., FRELINGER, D. R., FOSSUM, D., WASSEM, D., PINTO, M. M., *The Global Positioning System, Assessing National Policies*, 1995, RAND, [online]. [cit. 2014-12-01]. Dostupné z WWW: <http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monograph_reports/2007/MR614.pdf>.
21. *NAVIGATION CENTRE*, [online]. [cit. 2014-12-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/gpsuser/gpsuser.pdf>>.
22. TICHÝ, T., *Zpracování kódových měření globálních navigačních systémů*. [online]. [cit. 2014-12-01].
Dostupné z URL: < <https://mat.fsv.cvut.cz/komisevstev/18sk/files/tichy.pdf>>.
23. SEDLÁK, V., *Kozmická geodézia, Globálny polohový systém*. TU Košice 2. Vyd. Košice 2003.
24. STURDEVANT, W. R., *NASA.GOV*, [online]. [cit. 2014-12-01].
Dostupné z URL: < <http://history.nasa.gov/sp4801-chapter17.pdf>>.
25. SEDLÁK, V., LOŠONCZI, P., PODLEZSKÁ, I., *Družicové navigačné systémy*. 1.vyd. Košice, VŠBM Košice, 2009, 75s., ISBN: 978-80-89282-31-9
26. Official U. S. Government information about the GPS and related topics –System GPS – Space segment. [online]. [cit. 2014-12-01].
Dostupné z WWW:<<http://www.gps.gov/systems/gps/space/>>.

27. ODERWALD, R. G., BOUCHER, B. A., *GPS after selective availability: How accurate is accurate enough?*, Journal of Forestry; 2003; 101, 4; ProQuest Central pg. 24.
28. SORVOJA, H., *Noninvasive blood pressure pulse detection and blood pressure Determinativ*, 2006, 1. Vydání. Oulu University Press, OULU, 2006, ISBN 951-42-8272-8
29. PERIČ, T., DOVALIL, J., *Sportovní trénink*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. 160s. SBN 978-80-247-2118-7
30. DOVALIL, J., a kol ., *Trénink a výkon ve sportu.*, 1. vydání, Praha: Olympia, 2002, 331 s. ISBN 80-7033-760-5.
31. CHOUTKA, M., *Teorie a didaktika sportu*. Praha : St. ped. nakl., 1976. 184 s. ISBN 1041-9557
32. MORAVEC, R., et al., *Teória a didaktika športu*. Bratislava: Fakulta tělesnej výchovy a športu Univerzity Komenského v Bratislave; Slovenská vedecká spoločnosť pre telesnú výchovu a šporu, 2004, 212s.
33. LEHNERT, M., NOVOSAD, J., NEULS, F., *Základy sportovního tréninku I*. 1. vyd. Olomouc: Hanex, 2001. 89 s. ISBN 80-85783-33-9
34. CHOUTKA, M., DOVALIL, J., *Sportovní trénink*. 2. rozš. vyd. Praha: Olympia, 1991. ISBN 80-7033-099-6. (s. 56)
35. DOVALIL, J., a kolektiv. *Výkon a trénink ve sportu*. 3. vyd. Praha: Olympia, 2009. 336 s. ISBN 978-80-7376-130-1
36. KYNČL, R., *Hodiny a hodinky*, Praha, Adventum, 2008. 201 s. ISBN 978-80-8685-870-8
37. FORMÁNEK, J., HORČIC, J. *Triatlon*. Praha: Olympia, 2003. ISBN 80-7033-567-X.

38. BOLEK, E., ILAVSKÝ, J., SOUMAR, L. *Běh na lyžích*. Praha: Grada, 2008. 171s. ISBN: 8024713717
39. *GARMIN* [online]. [cit. 2014-12-01]. Dostupné z WWW: <http://static.garmincdn.com/pumac/Forerunner_910XT_OM_EN.pdf>.
40. *SUUNTO* [online]. [cit. 2014-12-01]. Dostupné z WWW: <http://ns.suunto.com/Manuals/Ambit2_R/Userguides/Suunto_Ambit2_R_UserGuide_EN.pdf>.
41. *GARMIN* [online]. [cit. 2014-12-01]. Dostupné z WWW: <http://static.garmincdn.com/pumac/Forerunner_620_OM_EN.pdf>.
42. *ADIDAS* [online]. [cit. 2014-12-01]. Dostupné z WWW: <http://assets1-micoach.adidas.com/Multimedia/com/PDF/miCoach_SMART_RUN_User_Manual.pdf>.
43. *POLAR* [online]. [cit. 2014-12-01]. Dostupné z WWW: <http://www.polar.com/e_manuals/RC3_GPS/Polar_RC3_GPS_user_manual_English/manual.pdf>.
44. *TRIMBLE* [online]. [cit. 2014-12-01]. Dostupné z WWW: <http://www.infoera.lt/uploads/catalogerfiles/374/02254392C_TrimbleS3_DS_0613_LR.pdf>.

Seznam tabulek

Tabulka 1: <i>Zdroje a velikost chyb (Sedlák, 2003)</i>	26
Tabulka 2: <i>Charakteristika základních tréninkových pásem intenzity v triatlonu (Formánek, Horčic, 2003)</i>	40
Tabulka 3: <i>Přehled informací o ověřovaných sporttesterech</i>	47
Tabulka 4: <i>Tabulka skutečných hodnot všech měřených úseků</i>	51
Tabulka 5: <i>Tabulka naměřených hodnot připojení v lokalitě Cheb (Svatý Kříž) ..</i>	53
Tabulka 6: <i>Tabulka naměřených hodnot připojení v lokalitě Františkovy Lázně (Amerika)</i>	54
Tabulka 7a: <i>Tabulka naměřených hodnot při přímočarém testu</i>	55
Tabulka 7b: <i>Tabulka naměřených hodnot při přímočarém testu</i>	55
Tabulka 8a: <i>Tabulka naměřených hodnot při křivočarém testu</i>	57
Tabulka 8b: <i>Tabulka naměřených hodnot při křivočarém testu</i>	57
Tabulka 9: <i>Souhrnná tabulka průměrných hodnot rychlosti připojení u ověřovaných přístrojů</i>	58
Tabulka 10: <i>Souhrnná tabulka průměrných hodnot odchylky přesnosti měření u přímočarého měřeného úseku</i>	59
Tabulka 11: <i>Souhrnná tabulka průměrných hodnot odchylky přesnosti měření u křivočarého měřeného úseku</i>	60

Seznam obrázků

Obrázek 1: <i>Kosmický segment globálního navigačního systému GPS NAVSTAR</i>	13
Obrázek 2: <i>Rozmístění jednotlivých navigačních systémů SBAS</i>	15
Obrázek 3: <i>Mapa pozemních monitorovacích stanic systému EGNOS</i>	16
Obrázek 4: <i>Princip funkce systému DGPS</i>	16
Obrázek 5: <i>Princip navigačních systémů</i>	17
Obrázek 6: <i>Reálné pozice navigačních satelitů systému GPS NAVSTAR</i>	23
Obrázek 7: <i>Efekt multipath, odraz signálu</i>	27
Obrázek 8: <i>Šíření signálu atmosférou</i>	27
Obrázek 9: <i>MAGELLAN NAV 1000 z roku 1989</i>	29
Obrázek 10: <i>Přístroje Garmin, Megellan, Meridia z roku 2001</i>	30
Obrázek 11: <i>Garmin Foreruners 101 z roku 2003..</i>	31
Obrázek 12: <i>Polar Sport Tester PE2000</i>	32
Obrázek 13: <i>Garmin 310 XT a Timex Ironman Global Trainer rok 2010</i>	34
Obrázek 14: <i>Suunto T6 s externím GPS modulem POD</i>	35
Obrázek 15: <i>Virtuální prostředí Garmin Connect</i>	41
Obrázek 16: <i>Sporttester Garmin 910 TX (G910)</i>	44
Obrázek 17: <i>Sporttester Garmin 620 (G620)</i>	45
Obrázek 18: <i>Sporttester Polar RC3 (PRC3)</i>	45
Obrázek 19: <i>Sporttester Suunto Ambit 2R (SUA2)</i>	46
Obrázek 20: <i>Sporttester Adidas Smart Run (ADD)</i>	46
Obrázek 21: <i>Přímočarý ověřovaný úsek, mapa</i>	49
Obrázek 22: <i>Křivočarý ověřovaný úsek, mapa</i>	49
Obrázek 23: <i>Přímočarý ověřovaný úsek, zalesnění</i>	49
Obrázek 24: <i>Křivočarý ověřovaný úsek, zalesnění</i>	49
Obrázek 25: <i>Zaměřování přímočarého testu Trimble S3</i>	50
Obrázek 26: <i>Označení vytýčených úseků</i>	51