

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra lesnických technologií a staveb



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Možnosti využití globálních družicových polohových
systémů pro sledování těžebně-dopravních strojů**

Bakalářská práce

Jiří Semerád

Ing. Ondřej Nuhlíček

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jiří Semerád

Lesnictví
Lesnictví

Název práce

Možnosti využití globálních družicových polohových systémů pro sledování těžebně-dopravních strojů

Název anglicky

Possibilities of Global navigation satellite systems use for monitoring forestry machines

Cíle práce

Zjištění možností využití globálních družicových polohových systémů (dále GNSS) pro sledování pohybu těžebně-dopravních strojů a ověření na vybraném těžebně-dopravním stroji.

Metodika

- 1) Literární rešerše zahrnující popis GNSS, zpracování a post-processing signálů, přesnost v podmínkách lesnictví a využití pro analýzu pracovního procesu těžebně dopravních strojů.
- 2) Volba těžebně-dopravního stroje a výrobních podmínek pro experimentální měření. Počet měření v rozsahu alespoň 15 měření. Metodický popis postupu experimentálního měření v terénu, popis zpracování dat.
- 3) Určení přesnosti měření s ohledem na výrobní podmínky, zpracování analýzy pohybu stroje včetně základní matematicko-statistické analýzy.
- 4) Porovnání výsledků s dalšími autory, stanovení příčin a výše odchylek včetně zhodnocení pohybu stroje a porovnání s doporučenými technologickými postupy. Případný návrh změn a opatření pro operátora stroje.

Harmonogram

Květen – srpen 2020 – Příprava literární rešerše, příprava experimentu, plánování

Září – prosinec 2020 – Sběr dat a jejich zpracování

Leden 2021 – Předložení literární rešerše a zpracovaných dat k diskuzi

Březen 2021 – Předložení závěrečné práce ke konzultaci včetně zhodnoceých výsledků a diskuse

Doporučený rozsah práce

35-40 NS bez příloh

Klíčová slova

GNSS, výkonnost práce, konzumní elektronika

Doporučené zdroje informací

- DVOŘÁK, J. *Využití harvesterových technologií v hospodářských lesích = The use of harvester technology in production forests*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2012. ISBN 978-80-7458-028-4.
- ERENOGLU, R. Cuneyt, Reliability of GPS/GNSS-based positioning in a forestry environment. *Journal of Forestry Research* [online], 2017. ISSN 19930607.
- SUBIRANA, J, Juan ZORNOZA a M HERNÁNDEZ-PAJARES, *GNSS Data Processing, Vol. I: Fundamentals and Algorithms*. B.m.: ESA Communications, 2013 . ISBN 9789292218867.
- ŠEBESTA, J. *Globální navigační systémy*. Brno: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, 2003. ISBN 9788021445000.
- ZIMBELMAN, Eloise G. a Robert F. KEEFE, Real-time positioning in logging: Effects of forest stand characteristics, topography, and line-of-sight obstructions on GNSS-RF transponder accuracy and radio signal propagation. *PLOS ONE* [online]. 13(1), e0191017 2018. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0191017

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Ondřej Nuhlíček

Garantující pracoviště

Katedra lesnických technologií a staveb

Elektronicky schváleno dne 24. 5. 2020

doc. Ing. Miroslav Hájek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 7. 8. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 28. 02. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci Možnosti využití globálních družicových polohových systémů pro sledování těžebně-dopravních strojů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce Ing. Ondřeje Nuhlíčka a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 5.4.2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Ondřeji Nuhličkovi za jeho trpělivost, motivaci a zkušenosti při konzultacích během tvorby práce, dále bych touto cestou rád poděkoval všem, kteří mi byli oporou a kteří neváhali pronést pár vlídných slov, jež mi pomohly práci dokončit. Na závěr bych rád poděkoval i oddělení Národní inventarizace lesů z Brandýsa nad Labem, za vstřícnost při zapůjčení přístrojů.

Možnosti využití globálních družicových polohových systémů pro sledování těžebně-dopravních strojů

Abstrakt

Studie této bakalářské práce byla zaměřena na možné využití telefonního přístroje jakožto druhu spotřební elektroniky, při zaměřování těžebně-dopravního stroje a jeho průběžného monitoringu při práci a pohybu v porostech. Hlavním zjišťovaným parametrem byla přesnost zaměření během jeho zásahu v zapojeném lesním porostu s hospodářským využitím. Nasbíraná data byla porovnána s referenčním měřením pomocí přístroje Trimble Pathfinder Pro XH. Z výsledných rozdílů je patrné, že komerční mobilní telefon se svou výbavou v současnosti nemůže svou přesností v lesním prostředí předčit profesionální přístroje GPS.

Klíčová slova: GNSS, výkonost práce, konzumní elektronika, těžebně-dopravní stroj

Possibilities of Global navigation satellite systems use monitoring forestry machines

Abstract

The study of this bachelor thesis was focused on the possible use of a mobile phone as an example of consumer electronics, while measuring location of a forestry harvesting machine and its continuous monitoring during its work and movement in forest stands. Main parameter which was investigated, was the accuracy of measurements during work of machine. The collected data were compared with data collected using Trimble Pathfinder Pro XH device. Measured results shows, that a mobile phone with its components cannot match the accuracy of professional GPS machines in a forest environment.

Keywords: GNSS, efficiency of work performance, consumer electronics, forestry harvesting machine

Obsah

1 Úvod	9
2 Cíl práce	11
3 Literární rešerše	12
3.1 Polohové určení, navigace a GNSS	12
3.1.1 Polohové určení	12
3.1.2 Navigace	13
3.1.3 GNSS	14
3.1.3.1 Struktura a parametry GNSS.....	15
3.1.3.2 Signály družic.....	17
3.1.3.3 Dopplerův jev.....	17
3.1.3.4 Souřadnicové systémy.....	18
3.1.4 NAVSTAR GPS	21
3.1.4.1 Signály NAVSTAR GPS	22
3.1.5 GLONASS	22
3.1.6 Galileo a ostatní systémy	23
3.1.7 GNSS měření v lesnictví.....	24
3.2 Těžebně-dopravní stroje	24
3.2.1 Historie harvesteru.....	25
3.2.2 Popis a kategorizace harvesterů.....	26
3.3 Mobilní telefony	27
3.3.1 A-GPS.....	27
4 Metodika	28
4.1 Terénní sběr dat	29
4.2 Zpracování dat	29
5 Výsledky	31
6 Diskuze	34
7 Závěr	36
8 Literatura	37
9 Seznam použitých zkratk a symbolů	41
10 Seznam obrázků	42
11 Seznam tabulek	42

1 Úvod

Navigace jakožto potřeba stanovení polohy a určení cesty se projevuje u většiny živočichů. Nejlépe je možné ji sledovat u ptáků a různých druhů savců, avšak u člověka je v tento moment s využitím moderních technologií nejvíce rozvinutá. Provází lidstvo již od samotných počátků a nejvíce se začala rozvíjet s počátkem budování civilizace. Obecně se jedná o navigaci s cílem určit polohu či směr v prostoru, ať už na moři, na souši, případně ve vzduchu, a nalezením nejkratší vzdálenosti, či časově nejméně náročné varianty k dosažení zvoleného cíle (Šebesta, 2012).

Možnosti uplatnění navigace v lesnické praxi je například při určování porostních skupin, či k zaznamenání tras lesních cest, čehož je následně možné využívat při zpracování dat dálkového průzkumu země. Některé studie poukazují i na fakt, že by navigační systémy mohly vést k zaznamenání pohybu a následnému stanovení efektivity práce, či k přehlednému sledování vyvážení sortimentů a jiných lesnických produktů na odvozní místa (Zimbelman a Keefe 2017). V širším kontextu spojeném s lesnictvím bylo díky datům z družicových systémů například možné vytvoření globálních map určující množství biomasy v lesích s cílem sledování uloženého uhlíku v projektu ESA GlobBiomass. První taková mapa byla představena již v roce 2010 v Římě, Tyto mapy můžou být nápomocny lesníkům při odhadu hodnoty oblastí, a stejně tak i vědcům při výzkumech spojených s klimatem (esa.int).

V rámci počátků určování polohy byly lidmi nejčastěji využívány přímo zemské body, kterými se myslí význačné body v krajině, nejčastěji v okolí jejich sídel. Pro představu se jednalo o významné geomorfologické prvky, jako jsou hory či vodní toky, v případě menších vzdáleností sloužily i lidské stavby (Hojgr, 2007). Slovo navigace je odvozeno od latinského slova *navis*, které v překladu znamená loď, z čehož lze odvodit, že právě s lodní dopravou a využíváním plavidel souvisí největší rozvoj navigace. A právě při plavbách byly využívány nejrůznější přístroje k určení polohy. Za nejznámější z nich lze považovat sextant, s jehož pomocí bylo možné zaměřit stoupající objekty na denním i nočním nebi jejichž poloha se dala předem odhadnout díky znalostem pohybu nebeských těles. Tento postup navigace využíval postavení Slunce ve dne, Měsíce, polohy planet anebo hvězd na noční obloze. Takové měření zajišťovalo velice přesně určení místa, na kterém se měřič nacházel. Největší problém při tomto způsobu zaměřování představovala vysoká oblačnost (Šebesta, 2012).

K dalšímu velkému vývoji polohového určení docházelo během 20. století s počátkem využívání bezdrátové komunikace (Šebesta, 2012) a radiových vln na jejichž využití začaly vznikat první navigační systémy. První z nich byly určené k vojenským účelům, kdy se vysílače nacházely na zemi, a později s postupným vývojem během dobývání kosmu v druhé polovině 20.století se přesunuly do bližšího vesmíru (Hojgr, 2007), což zapříčinilo globalizaci v určování pozice kdekoliv na Zemi (Šebesta, 2012).

Úplně prvním projektem, který pomocí satelitů zaznamenával polohu, byl systém TRANSIT známý také jako NAVSAT nebo NNSS a jeho vznik se datuje do roku 1960. Tato soustava družic byla tvořena celkem šesti satelity a zajišťovala sledování jaderných ponorek nesoucích rakety s jadernými hlavicemi. Teprve v roce 1964 byl tento systém uvolněn Námořnictvem Spojených států amerických do civilní sféry (Rapant, 2002).

Další dva systémy GPS, které se hojně začaly využívat v rámci GNSS určování polohy, byly od roku 1993 americký NAVSTAR GPS a ruský GLONASS (Hojgr, 2007). První navigační satelit systému NAVSTAR GPS však byl na orbitu vypuštěn již v roce 1978. Dalšími nejčastěji používanými systémy jsou evropský projekt Galileo a čínský systém BeiDou (Zimbelman a Keefe 2017).

2 Cíl práce

Cílem této práce je zjistit, zda by bylo možné použít dnešní mobilní telefony a jejich připojení k GNSS systémům při měření pozice těžebně-dopravního stroje, v tomto případě harvestoru John Deere 1270D Eco III, při práci v zapojeném porostu. Sběr dat proběhl pomocí mobilního telefonu Xiaomi 11 Lite 5G NE a následně byla tato data porovnána se souběžně nasbíranými daty na přístroji využívanému k přesnému zaměřování polohy Trimble Pathfinder Pro XH.

Výsledkem práce je posouzení přesnosti mobilního přístroje a jestli je tato spotřební elektronika v současnosti vhodná k přesnému měření v lesích a následnému vyhodnocení práce, a zda by se na základě těchto dat dalo přemýšlet o širším využití v těžebně-dopravních strojích k jejich sledování a hodnocení výkonosti práce.

3 Literární rešerše

3.1 Polohové určení, navigace a GNSS

3.1.1 Polohové určení

Dle Rapanta (2002) je nutné si pro začátek uvědomit, že prostředky, které využíváme k určování polohy, jsou rozdílné od těch, které využíváme v rámci navigace. V této souvislosti píše, že v případě co nejpřesnějšího určení pozice bodů na zemském povrchu je nejlepší volbou geodetické měření. Pro navigaci je, nicméně takové měření nepoužitelné, neboť získání takových dat trvá poměrně dlouhou dobu a pro většinu pohybujících se objektů by bylo velice neefektivní pro každé zaměření zastavovat. Proto se pro navigaci osvědčily navigační systémy, které jsou schopné určit polohu dostatečně rychle, ve srovnání s pohybem těchto objektů.

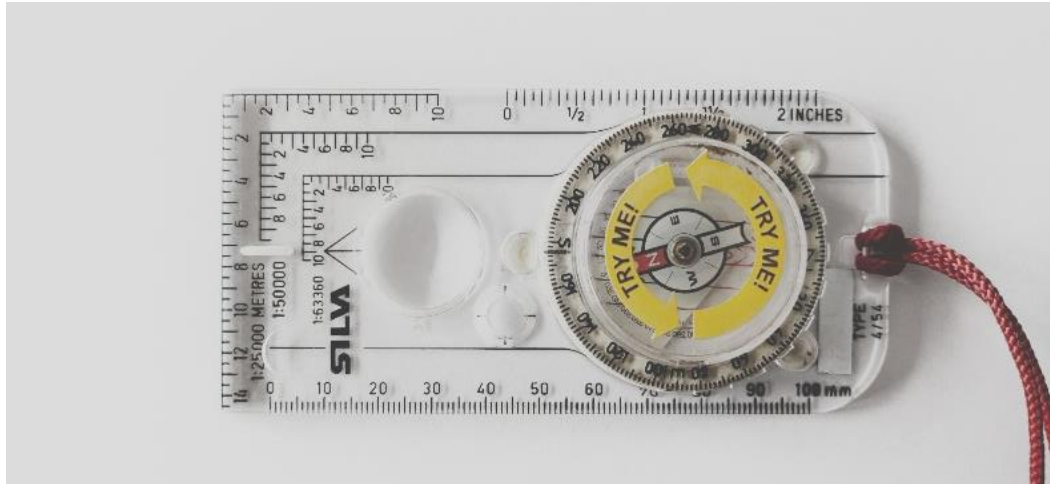
Dále Rapant (2002) zmiňuje, že určení polohy je možné docílit pomocí dvou metod – přímou a nepřímou – kdy výsledkem jsou souřadnice ve využívaném souřadnicovém systému. Přímé měření je vyjádřeno jako odměření nejčastěji vzdálenosti od pevných bodů na zemském povrchu, což je na velké vzdálenosti značně nepraktické. Při aplikaci nepřímého měření jsou nejčastější tři metody:

- úhломěrná
- dálkoměrná
- kombinace předchozích dvou

Pozici zjistíme v případě úhломěrné metody změřením azimutů ke dvěma, či více bodům, u nichž známe polohu na mapě. Následně proložením přímek z daných bodů, které budou svírat úhel, jež bude odpovídat naměřeným azimutům od severu. Vzniklý průsečík označuje konkrétní pozici, ze které bylo měření provedeno.

U dálkoměrné metody dochází k zaměření pozice nejčastěji využitím radiových signálů. Zde dochází ke komunikaci mezi vysílačem a přijímačem – přijímač zaznamená svoji vzdálenost od vysílače, ze kterého přijal signál – k určení pozice je potřeba alespoň dvou takových vysílačů. Tato komunikace by v případě projekce na mapu vytvářela kružnice okolo vysílačů. Hledaný bod se nachází na průsečíku těchto kružnic, bohužel v případě dvou vysílačů jsou takové průsečíky dva. Tehdy o pozici rozhodují další kritéria, nejčastěji čas, kdy signál z konkrétního vysílače má dosáhnout konkrétního bodu.

Třetí metoda kombinuje tyto dva principy, kdy se provede měření azimutu z bodu se známými koordináty a vzdálenost k neznámému bodu. Nebo v opačném případě z bodu o neznámých souřadnicích je určen azimut a vzdálenost k bodu se známou pozicí.



Obr. č. 1: Busola (Foto autor)

3.1.2 Navigace

Crassidis (2022) ve své práci definuje navigaci jakožto určení pozice pohybujícího se objektu po určité trase. Největší využití nacházela po staletí v námořní dopravě. Pro co nejspolehlivější cestování a navigování bylo nezbytně nutné znát zeměpisnou šířku a délku. Informaci o zeměpisné šířce bylo možné jednoduše určit pomocí hvězd. Problém s určením zeměpisné délky vyřešil John Harrison vynálezem chronometru v první polovině 18. století. Tento přístroj byl odpovědí na zakázku vypsanou britským parlamentem už v roce 1714. Do té doby běžné hodiny používané ke zjištění zeměpisné délky, mohly vykazovat nepřesnost i 10 minut denně, což by za určitých okolností znamenalo chybu až 175 námořních mil. Do té doby se pro navigaci používaly různé způsoby výpočtů rychlosti a vzdálenosti v závislosti na směru, v kombinaci s jinými údaji získanými pomocí nástrojů.

K dalšímu zpřesnění a sjednocení zeměpisných délek na mapách, došlo v důsledku dohody během konference ve Washingtonu D.C. uspořádané na žádost tehdejšího amerického prezidenta Ch. A. Arthura, v roce 1884, která stanovila nultý poledník, jenž procházel Greenwichem (Rapant, 2002).

Na úspěch Heinricha Hertze, který v laboratoři v 80. letech 19. století prokázal existenci elektromagnetických vln navázal na počátku 20. století Guglielmo Marconi,

který je považován za průkopníka bezdrátové komunikace (Rapant, 2002). Ve spojitosti s jeho poznatky se začaly budovat ve velké míře vysílače rádiových vln. Komunikace s těmito radiomajáky byla využita nejdříve k navigaci lodí, později našla uplatnění i v avionice u letecké navigace. Nejdůležitějším předpokladem úspěšného určení polohy pomocí rádiových vln bylo, aby se anténa přijímače signálu nacházela v dosahu vysílačů. Chyba v přesnosti se zvětšovala s rostoucí vzdáleností objektu od zdrojů rádiových vln. Marincic a Civric (2007) ale připomínají, že patenty v tomto odvětví, má zapsané ještě před G. Marconim srbský vynálezce Nicola Tesla, a to i přes fakt, že jeho vliv v radiokomunikačním oboru bývá často podceňován.

Dalším velice významným posunem v odvětví navigace byl vznik prvního radaru v roce 1935 (Rapant, 2002). Skolnik (1980) popisuje radar jako systém využívající elektromagnetických vln k lokaci objektů. Tento systém je podle něj velice důležitý, protože umožňuje sledovat i věci, které se v daný moment nachází mimo zorné pole. I když pomocí radaru není možné docílit tak detailního optického vjemu jako ho dokáže zprostředkovat lidské oko, tak konstrukce a funkce radaru umožňuje sledovat objekty za velice ztížených pozorovacích podmínek jako je například tma, mlha, sněžení apod. Další velice důležitou vlastností radarového systému, je možnost určit vzdálenost, velikost, rychlost a směr měřeného objektu. Největší rozmach této technologie nastal během druhé světové války. Během krátkého období našel radarový systém uplatnění v mnoha oborech. Při pozemním využití pomáhal odhalovat letadla, u lodí našel uplatnění jako navigační a bezpečnostní zařízení k určení polohy letadel, lodí nebo pobřežních částí. V letectví jeho funkce zajišťovala informace o objektech ve vzduchu, na vodě, i zemi. Využití našel i v rámci meteorologie, jelikož byl schopný zaznamenávat bouře. A v neposlední řadě našel radar uplatnění i při dobývání kosmu.

3.1.3 GNSS

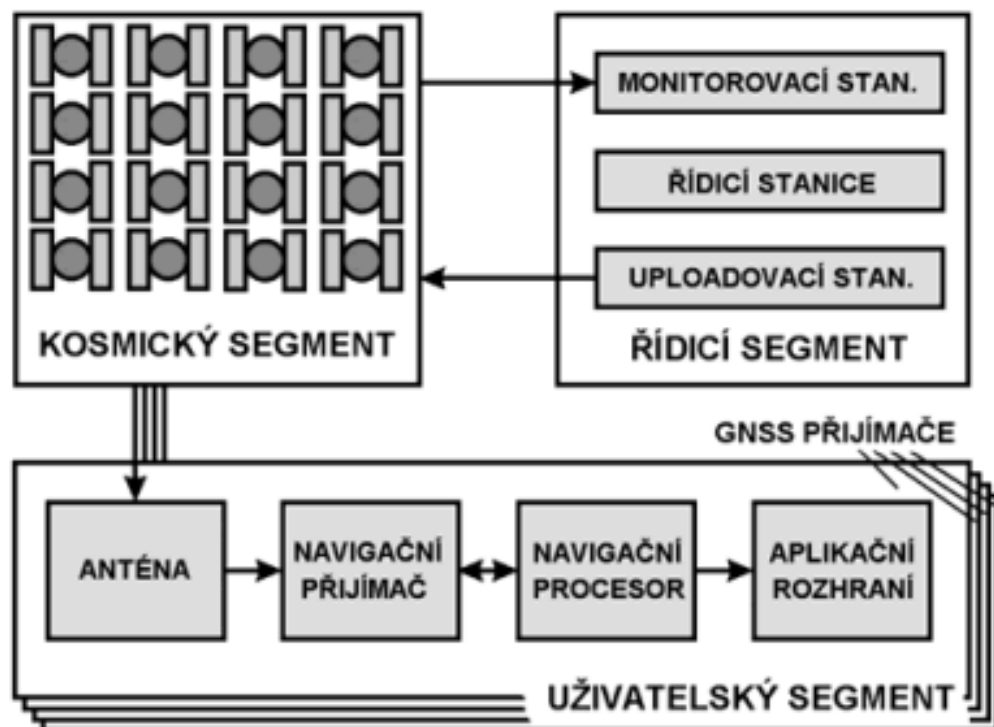
S nástupem „Kosmického věku“ v druhé polovině 20. století podle Hojgra (2007) byly radiové vysílače postupně umisťovány do blízkého vesmíru v podobě družic. Práce Šebesty (2012) zmiňuje tento pokrok, jako cestu k dosažení globálního pokrytí. Není překvapením, že určení polohy kdekoliv na Zemi těmito systémy bylo ve velkém zájmu různých armád. Právě armády se v rámci strategických zájmů, následně zasloužily o další rozvoj těchto technologií. Rapant (2002) uvádí, že prvním takovým systémem byl v první polovině 60. let 20. století systém s označením TRANSIT, tento systém vznikl v režii

ministerstva obrany Spojených států amerických a původně měl sloužit k navigaci letadlových lodí a jaderných ponorek. Netrvalo však dlouho a byl uvolněn i pro civilní sféru námořní dopravy, kde fungoval až do roku 1996. Tento systém pomocí určení Dopplerova posunu (viz. 3.1.3.3 Dopplerův jev) byl schopen zjistit polohu s přesností od 800 m až do 1 m. Alternativou v tehdejších východním bloku byl sovětský Cyklon. Tyto systémy bývají označovány jako Dopplerovské.

Dalším vývojovým stupněm byla myšlenka amerického systému NAVSTAR GPS v 70. letech, ze kterého se pro celé toto odvětví uchytil název GPS, a ruský systém GLONASS vznikající v 80. letech, jako odpověď na americký pokrok v tomto odvětví. Ani Evropa a další země však nezapomněly na vývojem vlastních systémů (Rapant, 2002).

3.1.3.1 Struktura a parametry GNSS

Jak zmiňuje Šebesta (2012), struktura těchto systémů sestává z několika částí. Tzv. kosmický segment je tvořen družicemi, které zajišťují co nejlepší pokrytí zemského povrchu. Další částí je řídicí segment tvořen pozemními stanicemi, který má na starosti určení přesné polohy satelitů a kontrolu jejich signálů. Zde probíhá výpočet a opravy případných chyb, před poskytnutím dat do uživatelského segmentu.



Obr. č. 2: Schéma systému GNSS (Šebesta, 2012)

Důležitými parametry těchto systémů jsou podle něj pokrytí, dostupnost daného systému a jeho spolehlivost služby.

Pokrytím se v tomto případě rozumí konkrétní procento časového intervalu, během kterého má uživatel dostupný minimální počet družic použitého systému. Aby nedocházelo k výpadkům služby zapříčiněným pohybem satelitů, jsou jejich trasy a rozmístění po orbitě důkladně plánovány. Pokrytí zemského bodu je ovlivněno elevací družic a zhoršením přesnosti způsobenou konstelací měřených družic tzv. DOP. Nejčastěji je v zařízeních nastaven parametr PDOP, který je výsledkem vztahu 1, horizontálního a vertikálního zhoršení. Pro tento parametr se běžně do přijímačů nastavuje hranice minimální elevace satelitů 5° pod kterou, již signál vykazuje příliš velkou chybu pro měření. Hodnota PDOP například u systému NAVSTAR GPS se běžně pohybuje v hodnotě ≤ 6 . Obecně se považuje uspořádání družic s hodnotou PDOP ≤ 4 jako výborné, v rozmezí hodnot 5-7 se jedná o přijatelné a v případě, že hodnota přesáhne číslo 7, jedná se již o špatné uspořádání (Rapant, 2002).

$$PDOP = \sqrt{HDOP^2 + VDOP^2} \quad (1)$$

Šebesta (2012) popisuje dostupnost služby systému jako procento času, během kterého je pozice přijímače pokryta satelity navigačního systému. Tato dostupnost se udává pro jeden bod za jeden den a za 30 dnů, a zároveň jako průměrná globální dostupnost pro stejné časové úseky.

Spolehlivost je v tomto případě procentem časového rozpětí, během kterého není překročena hranice spolehlivosti horizontálního zhoršení přesnosti. Ke zhoršení tohoto měření obvykle vede porucha většího rozsahu u satelitu.

Dalším parametrem je přesnost určení polohy, kdy se porovnají změřené údaje se skutečností. Chyba horizontální přesnosti a přesnosti výšky kdekoli na Zemi nepřesáhne 95 % časového intervalu 24 hodin. Stejná podmínka platí i u opakovatelné přesnosti, pouze s rozdílem, že měření proběhne po určité době. Relativní přesnost má také stejný parametr, ale dochází k měření bodu s pomocí dvou blízkých přijímačů ve stejný čas.

Integrita je posledním parametrem, který udává schopnost informovat o chybě či výpadku systému a za jakou dobu je systém schopný tuto informaci podat uživateli. Což je kriticky důležité například při přistání letadla. Rapant (2002) zmiňuje, že kontrolu integrity zajišťují mechanismy jak v satelitech, tak v řídicím segmentu.

3.1.3.2 Signály družic

Signály družic sestávají z kombinace nosné vlny, dálkoměrného kódu a navigační zprávy. Aby bylo možné určit pozici přijímače, je nezbytně nutné znát pozice družic, od kterých je přijímán signál. Poloha těchto satelitů je vypočítána z údajů, které odesílají v navigačních zprávách. Tyto zprávy sestávají z parametrů o oběžné dráze satelitu, času počátku vysílání zprávy, přesné efemeridy satelitu, almanach, koeficienty ionosférického modelu a stav družice. Jejich stavební jednotkou je rámec o určité délce bitů, tato délka je rozdílná pro jednotlivé navigační systémy.

Stav družice udává, zda v daném satelitu neprobíhá porucha. Případně zda je možné i přes tento nedostatek signál z této družice použít a v jakém rozsahu.

V almanachu se nachází údaje o poloze a stavu ostatních satelitů daného systému, což pomáhá přijímači toho signálu vyhledat další družice které jsou pro něj na jeho pozici dostupné v daný moment. To pomáhá snížit potřebný čas pro aktivaci přijímače a převzetí signálu.

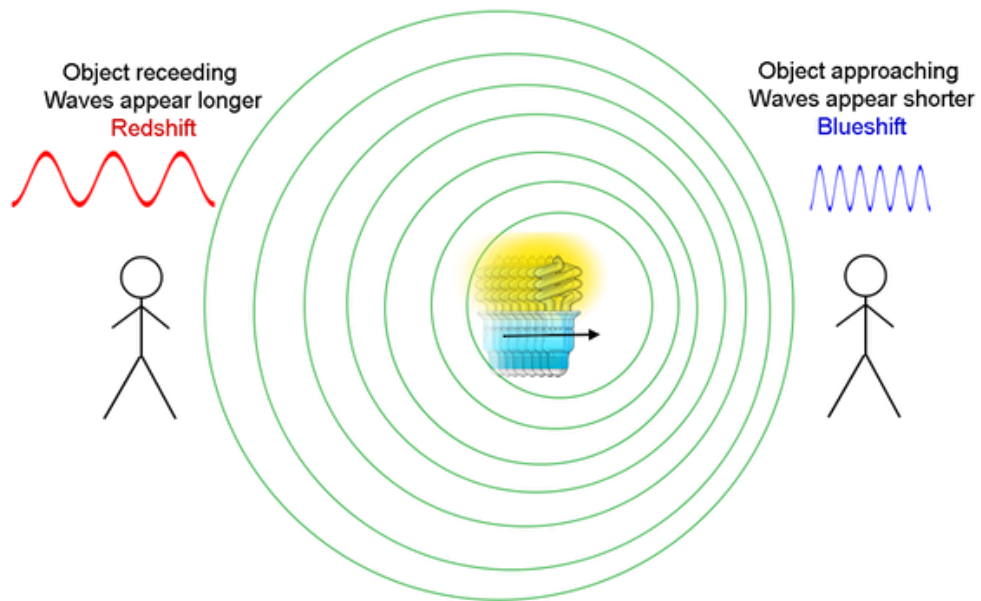
Koeficient ionosférického modelu pomáhá odhadnout ovlivnění signálu GPS vlivem ionosféry pro měření, které probíhá pouze na jedné frekvenci (Rapant, 2002).

Pro přenos signálů používají GNSS buď kmitočtový multiplex (FDMA) či kódový multiplex (CDMA). FDMA je označení pro situaci kdy každý satelit vysílá na nosné vlně o jiném kmitočtu. Jako CDMA je popsán moment kdy všechny satelity systému používají stejný kmitočet nosné vlny, ale mění se rozprostírací kód (Šebesta, 2012).

3.1.3.3 Dopplerův jev

Paik (2021) popisuje Dopplerův posun jako stav mezi zdrojem a vysílanými vlnami. V situaci, kdy se zdroj vln přibližuje k přijímači, se vzdálenost jednotlivých vln zkracuje, stejně jako se snižuje čas, než dorazí k cílovému objektu, čímž se jejich frekvence zvyšuje. V opačném případě, kdy se vysílač vln od objektu vzdaluje, dochází k prodloužení vzdálenosti těchto vln a také k uplynulému času než, se dostanou k přijímači, za takové okolnosti dochází ke snížení frekvence. Nejčastěji se jako popisovaný příklad uvádí siréna na projíždějícím automobilu. Dopplerův jev se však uplatňuje na veškeré druhy vlnění, nejen na zvukové. Optickým příkladem mohou být při astronomickém pozorování pohybující se hvězdy. Ty, jenž se přibližují, díky zvýšené

frekvenci světla budou mít modré odstíny, naopak ty vzdalující se budou vyzařovat světlo spíše červené.



Obr. č. 3: Optický Dopplerův efekt (image.gsfc.nasa.gov)

Pomocí vzorce je Dopplerův jev vyjádřen následovně:

- V případě přibližování zdroje k přijímači podle vztahu 2

$$f = f_0 \frac{v}{v - v_{s,r}} \quad (2)$$

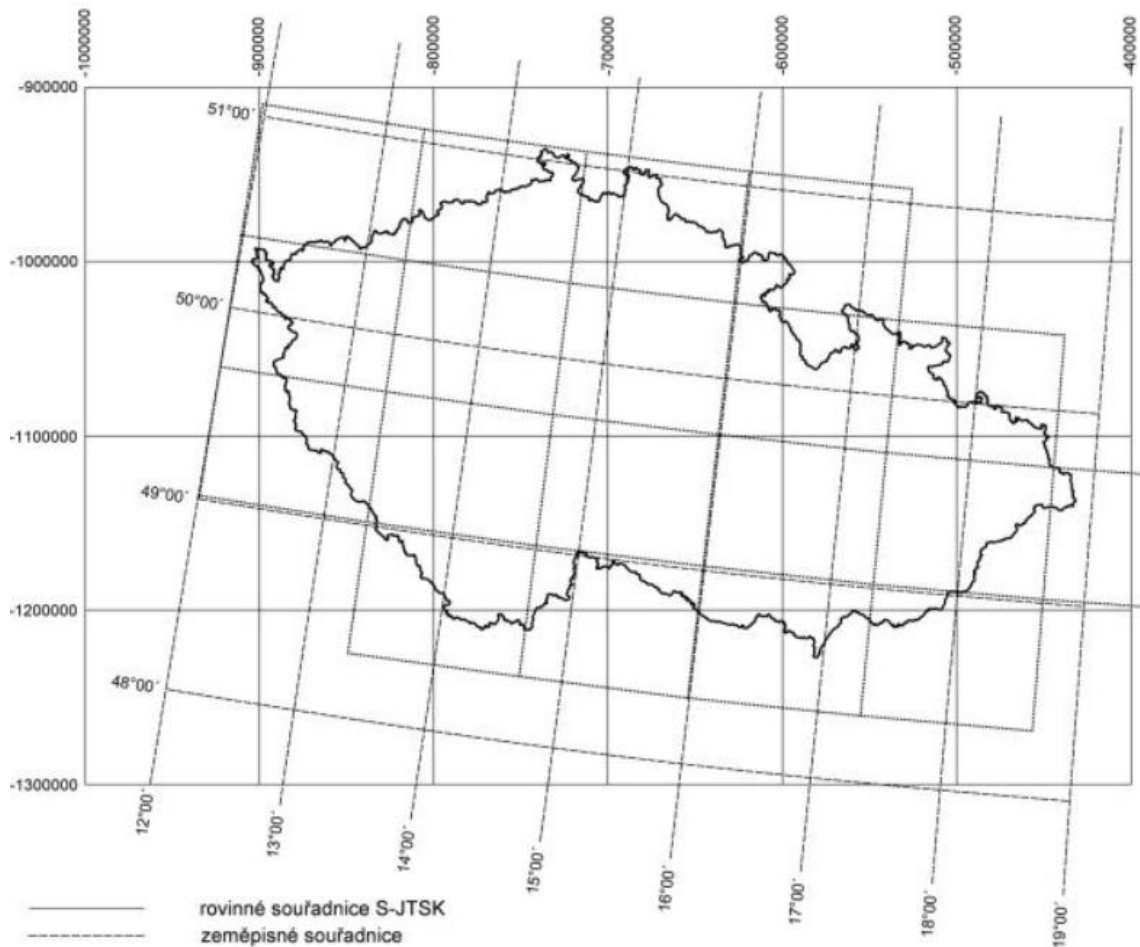
- V případě oddalování zdroje od přijímače podle vztahu 3

$$f = f_0 \frac{v}{v + v_{s,r}} \quad (3)$$

3.1.3.4 Souřadnicové systémy

Souřadnicové systémy mají dle Voženílka (2001) sloužit k vyjádření polohy zájmového objektu na referenční ploše a jejím kartografickém obrazu. Referenční plochou se rozumí taková plocha, která se svou podobou a velikostí připodobnit k tvaru zemského tělesa. Země je popisována jako geoid, který je matematicky nedefinovatelný. Kvůli čemuž je nejčastěji nahrazován rotačním elipsoidem, čímž se eliminují případné chyby. V současné době je pro Českou republiku dle nařízení vlády č. 430/2006 Sb. závazných celkem 8 geodetických systémů, pro tuto práci jsou však relevantní pouze dva z nich.

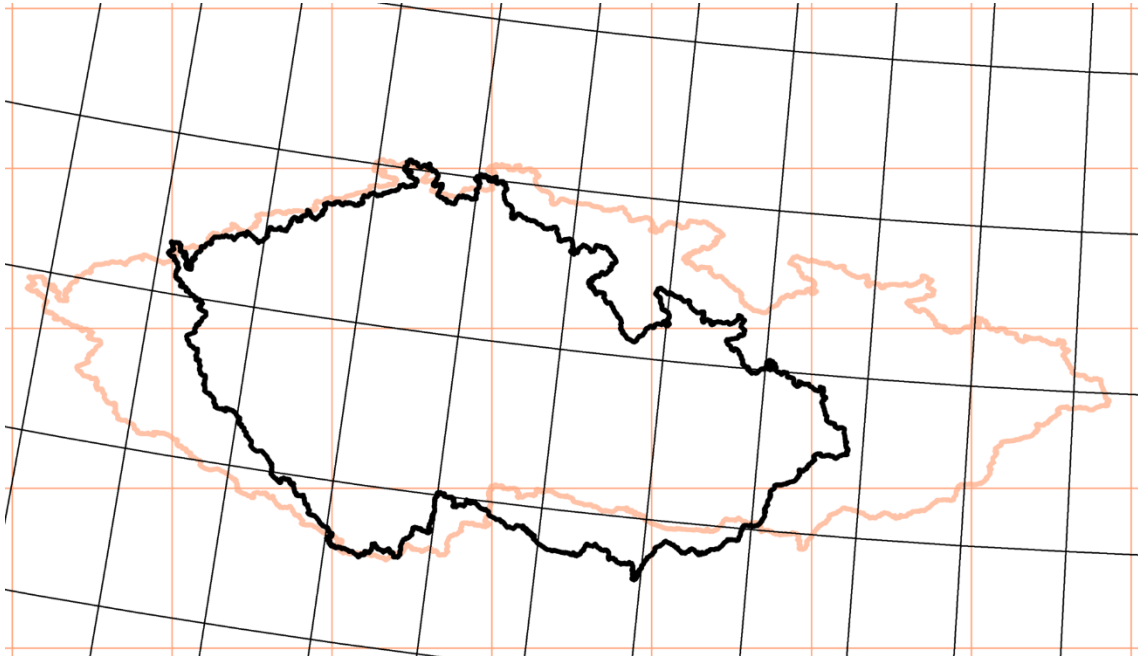
Prvním z nich je systém S-JTSK neboli souřadnicový Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální, vycházející ze sítě geodetických bodů (JTSK) v rámci území bývalého Československa z let 1920 až 1957. Tento systém využívá Besselův elipsoid a Křovákovo konformní kuželové zobrazení v obecné poloze. V případě potřeby vizualizace takové referenční plochy, Steiner a Černý (2004) popisují tento elipsoid jako rozvinutý plášť válce či kužele.



Obr. č. 4: Vyobrazení S-JTSK pro území ČR (Lenhart, 2000)

Díky orientaci tohoto kužele se jeho sečny nejvíce blížily tvaru tehdejšího Československa, což mělo za následek minimální zkreslení. Souřadnicová soustava byla stanovena v rámci celého území s osou X, která byla obrazem poledníku východně od Fera. Osa Y byla stanovena jako kolmice k ose X, tak že procházela vrcholem daného kužele. Kvůli tomu kilometrová síť, která udává souřadnice v metrech a bývá v některých mapách zakreslena, se bude s poledníkem shodovat pouze v ose X. Z čehož plyne, že čím více bychom šli od Československa na západ, tím více by docházelo k odklonu od

poledníku kvůli meridiánové konvergenci. Na území České republiky se tento odklon pohybuje v řádu 6-8°. Za největší nevýhodu tohoto souřadnicového systému lze považovat velice omezené využití v globálním měřítku, neboť nenavazuje na žádný jiný souřadnicový systém okolních zemí.



Obr. č. 5: Porovnání S-JTSK (černá) a WGS84 (oranžová) na území ČR (Jan Groh, 2015)

Druhým systémem je Světový geodetický systém 1984 (WGS84), který s vzrůstajícím trendem aplikování technologií globálních polohových systémů v různých odvětvích, získává díky své univerzálnosti na oblibě, a to i pro geodetické a kartografické účely v mnoha státech po celém světě. Jedná se o geocentrický systém se svým středem v těžišti Země, využívající ke svému zobrazení elipsoid s označením WGS84. Tento střed vychází z dat satelitů, které obíhají Zemi po přesně definovaných trajektoriích a jejichž pohyb je velice důkladně časově synchronizován (Lenhart, 2000). Dále je tento systém tvořen souborem 12 stanic na zemském povrchu náležících k navigačnímu systému NAVSTAR GPS, jejichž souřadnicová poloha je přesně známa. (Kostelecký, 1993). Převod zeměpisných souřadnic na rovinné zajišťuje UTM (Univerzální transverzální Mercatorův systém souřadnic). V tomto systému jsou obvykle využívány zeměpisné souřadnice (φ – zeměpisná šířka, λ – zeměpisná délka, H – elipsoidická výška), druhou možností jsou případně pravoúhlé souřadnice (X, Y, Z), počátek a orientace těchto os je určena pomocí již zmíněných pozemních stanic (Cimbálník a Veverka, 1992). Souřadnice H v případě zeměpisných souřadnic není nadmořskou výškou, ale podle Hojgra a

Stankoviče (2007) je tato výška popisována jako výška nad, případně pod, referenčním elipsoidem, ale přístroje GPS jí pro uživatele rovnou převádí na nadmořskou výšku dané pozice. Přesnost tohoto údaje závisí na použitém přístroji, u běžných přístrojů GPS dosahuje rozptylu 15-40 m, u přijímačů jejichž součástí je barometrický výškoměr může tato odchylka činit 1-2 m.

3.1.4 NAVSTAR GPS

Projekt NAVSTAR GPS započal v roce 1973 pod vedením Ministerstva Obrany Spojených států amerických (Erenoglu, 2017). Jedná se o společného nástupce projektů námořnictva a letectva USA. Vývoj tohoto systému byl rozdělen na čtyři etapy.

První etapa probíhala do roku 1979, s pomocí pozemních vysílačů na polygonu v Arizoně a stíhaček, které byly vybaveny GPS přijímači. V této fázi šlo především o zjištění přesnosti a spolehlivosti komunikace mezi vysílačem a přijímačem. Během těchto let byly postupně vypouštěny testovací družice s různými komponenty, jako byly atomové hodiny nebo oscilátory. V roce 1978 došlo k vynesení prvních čtyř navigačních satelitů Block I, které již byly schopné poskytovat s časovým omezením třírozměrnou navigaci. Postupně byl tento segment navýšen na 11 satelitů.

Druhá etapa probíhající v letech 1979-1985 byla zaměřena na budování řídicího střediska a také na vývoj budoucího nástupce pro Block I. Prototypy Block II byly opět testovány na polygonu v Arizoně.

V třetí fázi, která trvala až do 17. července 1995 proběhla výroba a zapojení satelitů Block II do systému. Tyto družice byly schopné poskytovat navigaci kdekoliv na Zemi, a to po celých 24 hodin denně (Rapant, 2002).

Čtvrtá fáze, která probíhá až do současnosti, se vyznačuje postupným nahrazováním starých satelitů novými, které sestávají z družic třetí generace s označením Block III. Další součástí této fáze je zpřesňování informací o poloze. V současnosti je dosaženo původního cílového počtu 24 aktivních satelitů, které zajišťují informace pro vojenský i civilní sektor, ale celkový počet provozuschopných družic v tomto segmentu k 26. červnu 2022 byl 31.

Výška, ve které se pohybují satelity je 20 200 km a každý z nich obletí Zemi dvakrát za den. Jejich pohyb je naplánován tak, aby uživatel kdekoliv na povrchu Země měl přístup k alespoň čtyřem satelitům (gps.gov).

3.1.4.1 Signály NAVSTAR GPS

Jednotlivé bloky a jejich satelity vysílají různé signály, které sestávají z nosných vln, dálkoměrného kódu a navigační zprávy. Signály pro civilní využití nesou označení L1C, L2C a L5. Tyto signály fungují na následujících frekvencích:

- L1C – 1575,42 MHz
- L2C – 1227,6 MHz
- L5 – 1176,45 MHz

Družice vysílající L1C signál od roku 2018 nahrazuje původní vysílače signálu L1 C/A, který využívá většina GPS přístrojů. L1C však stále podporuje vysílání svého předchůdce. Důsledkem struktury tohoto signálu má být zpřesnění mobilních přístrojů ve městech a jiných náročných prostředí.

L2C má sloužit pro především pro komerční využití, avšak na této frekvenci jsou vysílány i signály pro vojenské účely. Pomocí implementované ionosférické korekce, mohou přístroje schopné přijímat signály L1 C/A a L2C dosahovat stejné přesnosti jako armádní přijímače. Tento signál je díky zvětšenému provoznímu rozsahu, větší spolehlivosti a rychlejšímu vysílání vhodný i pro měření v lesích.

Třetím signálem určeným pro veřejnost je L5, který je odpovědí na poptávku v dopravě, primárně v letectví. V současné době je ve stavu před plným zprovozněním, proto je jeho užívání doporučeno po zvážení rizik uživatele (gps.gov).

3.1.5 GLONASS

Jedná se o obdobu systému NAVSTAR GPS, GLONASS je ve správě Ruských kosmických sil a plní jak vojenské, tak i civilní účely. První testy tohoto systému proběhly v roce 1982 a v roce 1992 byl prohlášen za provozuschopný s 12 satelity. Do roku 1995 byl uveden do plného provozu s celkovým počtem 24 družic. Po finančních problémech v 90. letech bylo v roce 2002 použitelných jen 7 satelitů a teprve v roce 2012 došlo k jeho restaurování a modernizaci do funkčního stavu (glonass-iac.ru). Výhodou tohoto systému je vysoká manévrovatelnost satelitů, kdy úpravu oběžné dráhy je možné provést jen v řádu dní. Tyto změny jsou vždy předem hlášeny na webu Koordinačního vědeckého informačního centra Kosmických sil Ruské federace (Rapant, 2002). Neobvyklou

součástí řídicího segmentu jsou laserové stanice se sídlem Komsomolsku a Šelkovu, které pomocí laseru a jeho odrazu od reflexní plochy satelitů stanovují přesnou vzdálenost satelitů. Přenos dat z družic využívá frekvenční dělení FDMA, z čehož plyne, že každý signál je na jiné frekvenci, což ústí ve využívání širšího pásma jednotlivých kanálů G1 a G2. Pro komunikaci a kompatibilitu s ostatními GNSS byl u kanálů G3 a G5 využit CDMA přístup. Frekvence těchto kanálů jsou následující:

- G1 – 1602,0-1615,5 MHz
- G2 – 1246,0-1256,5 MHz
- G3 – 1201 MHz
- G5 – 1176,45 MHz

Satelity vysílající tyto signály se pohybují ve výšce 19 130 km s dobou oběhu Země přibližně 11 hodin a 16 minut. Rozmístění 24 satelitů na třech oběžných drahách zajišťuje, že všude na Zemi přijímač může komunikovat alespoň se šesti satelity a maximálně s jedenácti (Šebesta, 2012).

3.1.6 Galileo a ostatní systémy

GNSS systém Galileo je projektem Evropské kosmické agentury (ESA) s počátkem v roce 1999. Primární účel, na rozdíl od systémů NAVSTAR GPS a GLONASS, byl pro civilní sféru. V roce 2003 byla spuštěna první fáze vývoje. A v roce 2005 byl vypuštěn první testovací satelit. Výhodou tohoto systému je kompatibilita s jinými systémy, což se může projevit na zvýšení dostupnosti služeb (Šebesta, 2012). Systém byl v omezeném rozsahu zprovozněn v roce 2016 a v současnosti je tvořen 28 satelity ve výšce 23 222 km (esa.int). Signály systému Galileo jsou E2-L1-E1 (1559-1592 MHz), signál E5 (1164-1215 MHz) se dělí na E5a (1178,45 MHz) a E5b (1207,14 MHz), kdy signál E5a je kompatibilní s NAVSTAR GPS L5 a E5b s GLONASS G3.

Dalšími systémy jsou čínský BeiDou známý také jako Compass, který nejspíše v blízké budoucnosti získá na větším významu v globálním měřítku. Japonsko provozuje svůj systém Quasi-Zenith Satellite System (QZSS), který má pokrývat za pomoci sedmi satelitů primárně své území (Sickle, 2016). Další systém, u kterého probíhá od roku 2006 vývoj, je Indický regionální navigační satelitní systém (IRNSS), který by měl disponovat signálem L5 (Šebesta, 2012).

3.1.7 GNSS měření v lesnictví

Při práci v lesnictví lze GNSS přístroje používat k rozličným úkonům, od mapování porostních skupin, přes zaměřování cest či jiných objektů, až po sledování pohybu strojů, a tedy i k monitoringu pohybu lesních produktů a z toho vycházející odhady efektivity práce.

V případě měření s pomocí GNSS v lesích je třeba vždy brát v úvahu, že přesnost měření je ovlivněna nejen počtem satelitů a silou jejich signálu, ale také hustotou zápoje porostu, případně jiných terénních překážek a orientací terénu. Svahy s orientací na sever budou mít u severně položených států horší výsledky měření než státy, které se nachází blíže k rovníku. Dalším jevem, který má vliv na přesnost měření je tzv. vícecestné šíření (Zimbelman a Keefe, 2017). Jedná se o signál, který je přijímán dvakrát, a to z důvodu jeho přímého příjmu a zároveň příjmu odrazu tohoto signálu. Odražený signál zkresluje vzdálenost přijímače a družice, protože takový signál urazí větší trasu. Tato chyba se může projevit řádově v jednotkách a v extrémních případech až stovkách metrů, kdy dochází k odrazu od velice vzdáleného objektu (Rapant, 2002).

3.2 Těžebně-dopravní stroje

Podle Ulricha (1989) můžeme těžebně-dopravní stroje dělit na jednooperační a víceoperační. Jak již název napovídá, jednooperační stroje vykonávají vždy pouze jednu činnost. Touto činností rozumíme kácení, krácení a odvětvování a také přibližování. Tyto stroje plnily pomocnou úlohu při práci lesního dělníka, který obstarával těžbu. Takovéto stroje byly z počátku osazené parním pohonem, s technickými pokroky v odvětví spalovacích motorů souvisel i další vývoj těchto strojů a jejich přechod od parních motorů k pohonům spalovacím, ve výjimečných případech bylo možné se setkat i s elektromotory. Tyto pokročilé technologie umožnily daleko vyšší produkční efektivitu. Bohužel s tímto vyšším tlakem na výrobní kapacity ovšem docházelo k úměrně vyššímu poškození prostředí výroby.

Stroje nesoucí označení víceoperační byly dalším krokem v mechanizaci lesní výroby. Tyto stroje provozují alespoň dvě operace, případně jich mohou vykonávat i více. Tato zařízení jsou odpovědí na potřeby lesníků pro ještě větší produktivitu v lesním hospodářství. Jedním druhem z těchto strojů jsou harvestory (Dvořák a kol., 2012). Z toho vyplývá velice vysoká produktivita práce v kombinaci se sníženými potřebami

organizace. Nepopiratelnou výhodou harvestorů, je jejich schopnost rychle přizpůsobit výrobu sortimentů podle poptávky konkrétních délek, možnost okamžitého přibližování dříví po těžbě (Celjak, 2000).

3.2.1 Historie harvestoru

První víceoperační stroje jsou zaznamenány již ve 40. letech 20. století ve skandinávských zemích, a to konkrétně na území Finska a Švédska. Větší výroba v koncernovém slova smyslu však začala vznikat až v 70. letech, konkrétně v roce 1972 založením firmy Rauma-Repola ve finském městě Joensuu. Tento strojírenský závod se hned v následujícím roce od svého vzniku začal věnovat produkci vyvážecích traktorů. Po uvedení prvního harvestoru v roce 1973 firmou Timberjack (Lasák a Němec, 1996), v 80. a 90. letech připojili i výrobu harvestorů. Od roku 1995 se tato firma zabývá pouze výrobou a zdokonalováním lesnických strojů (Deere.cz).

Vzhledem k postupnému zvyšování nároků BOZP, stále narůstajícímu finančnímu oceňování lidské práce a s postupnou ubývajícím kvalifikovanou obsluhou pro JŘMP se harvestorové technologie začaly více aplikovat i v předmýtních (výchovných) těžbách (Moskalik a kol., 2017). S těmito těžebními zásahy jsou spojeny především dřívější úkony rozčlenění porostů linkami. Podle publikace Horáka a Nováka z roku 2009 tento zásah neovlivní budoucí produkční ztrátu daného porostu, ani při vytváření sítě linek s šířkou do 5 m.

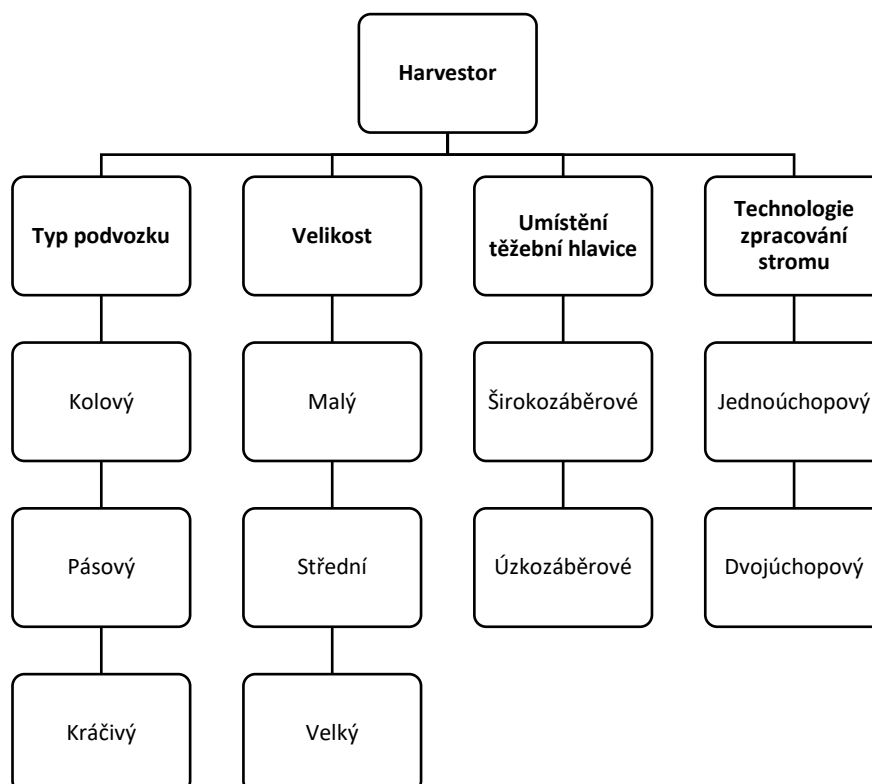
Podle Lopese a kol., (2018) vedlo používání strojů s celkovou šířkou větší než 2 m k významným mechanickým poškozením mladých porostů. Pro snížení těchto nežádoucích škod prošli těžební stroje významným technickým vývojem, díky čemuž dnes trh s víceoperačními stroji nabízí širokou škálu modelů s šířkou do 1,8 m. Bartoš a kol. (2009) dále ve své práci uvádí, že tyto stroje jsou vhodné už k provádění prvních výchovných zásahů v lesních porostech.

Důkazem jejich efektivity jsou nárůsty počtů těchto strojů v reálném provozu i z toho vyplývající zvýšené zastoupení sortimentní těžební metody v České republice. Dle Zprávy o stavu lesa a lesního hospodářství bylo k roku 2011 evidováno 380 strojů (z toho 357 kolových) a podíl sortimentní těžební metody byl zastoupen pouhými 38 %, zatímco ve Zprávě o stavu lesa a lesního hospodářství v roce 2021 jich bylo již 938 (z čehož bylo 901 kolových) se zastoupením sortimentní metody 51 % přičemž z tohoto údaje lze odvodit i nárůst provedených harvestorových těžeb v tomto celkovém podílu těžeb.

3.2.2 Popis a kategorizace harvestorů

Pod pojmem harvestor se dnes v rámci lesnického využití rozumí víceoperační stroj, jenž při těžbě dřeva provádí několik úkonů v rámci jednoho cyklu. Těmito úkony jsou běžně kácení, odvětvení, krácení, měření a na závěr ukládání vytěženého dříví v podobě sortimentů. Celý tento proces je kompletně mechanizovaný. Zároveň je prakticky plně automatizovaný. Konečným produktem harvestoru jsou hráně či hromady dříví vytvořené z vyrobených sortimentů. Obvykle je snahou operátora tyto produkty ukládat co nejbližší k vyvážecím linkám k usnadnění práce pro vyvážecí traktor či vyvážecí soupravu. Takové místo ve výrobním procesu bývá označováno pojmem harvestorový uzel (Neruda, 2013).

V rámci harvestorů je možné zvolit několik kritérií podle kterých je můžeme následně dělit, a to například podle použitého typu podvozku, dle velikosti samotného stroje a jeho technických parametrů, podle umístění těžební hlavice či dle dnes již ne příliš významného kritéria, a to způsobu zpracování stromu (Malík a Dvořák, 2007).



Obr. č. 6: Schéma rozdělení harvestoru (Autor)

3.3 Mobilní telefony

První přenos lidského hlasu byl uskutečněn R. Fessodem na Štědrý den 1906. Tato událost rozpoutala v rozmezí let 1910–1920 nekontrolovatelný vývoj radiového vysílání. Zpočátku dvacátých let v USA používaly radiové přijímače především policisté a vojenské složky, kteří se na další roky staly hlavními průkopníky ve vývoji bezdrátové komunikace. Od roku 1946 se v Saint Louis v USA společnosti Southwestern Bell a AT&T začaly věnovat radiotelefonům pro veřejnost. Tyto prostředky byly instalovány do automobilů a v pásmu 150 MHz používaly původně 6, později kvůli vzájemnému rušení 3 kanály. Díky úspěchům systému byl odstartován výzkum a vytvoření celulárních sítí v 60. letech. Tato síť, rozdělena do buněk vysílač – přijímač kontrolovaná hlavním střediskem opět využívala systém frekvencí. Do přelomu tisíciletí prošly analogové celulární sítě ještě dvěma generacemi vývoje (Rambousek, 2003). S postupným vývojem mobilních telefonů bylo jen otázkou času, než se objeví první telefon s přístupem ke GNSS. Prvním takovým telefonem byl Benefon Esc. Po uvedení levných GNSS čipů v roce 2010, a se stále lepšími telefony, byl zaznamenán obrovský nárůst prodeje přijímačů GNSS. Například v roce 2019 bylo prodáno 1,8 miliardy těchto přijímačů, z čehož přibližně 1,5 miliardy bylo součástí mobilních telefonů a jiných „smart“ zařízení. V současné době jsou chytré telefony a jejich možnosti určování polohy jsou stále testovány a zlepšovány (Magiera a kol., 2022).

3.3.1 A-GPS

Funkce A-GPS neboli Asistovaná GPS má oproti klasické funkci GPS výhodu připojení k mobilním a datovým sítím, což zrychluje určení polohy. Mobilní telefon pomocí těchto připojení stahuje podrobnosti o pozicích satelitů, což s nimi urychluje komunikaci, a to i při slabém signálu. Dále tyto stažené informace sdělují, jaký signál daný satelit vysílá, tedy jaký signál má přijímač očekávat. Zaměřování polohy s pomocí A-GPS tedy může oproti běžným GPS přijímačům trvat na místo jedné minuty pouze vteřiny (Van Diggelen, 2009).

4 Metodika

Pro sběr dat byla domluvena spolupráce s Lesní správou Telč (LS Telč), která se nachází v přírodní lesní oblasti 16 (Českomoravská vrchovina), a která je součástí státního podniku Lesy České republiky. Přímou komunikaci s operátorem harvestoru zajistil oslovený adjunkt. Měření bylo domluveno na pátek 17. února 2023. Během pracovní směny se umožňovaly podmínky BOZP sběr dat v časovém intervalu mezi 11:00 až 14:00 hodin, kdy se v porostech současně s harvestorem nepohybovala vyvážecí souprava. Těžené porosty se nacházely nedaleko obce Horní Dubenky. Pro samotné měření byla stěžejní pomůckou 2 m dlouhá kovová výtyčka rozlišená červenou a bílou barvou na úseky po 20 cm. Na jejím vrcholu se nachází závit, na který byl před zapíchnutím do země na místě měření naistalován přijímač GPS Trimble Pathfinder Pro XH. Tento přijímač je napojen na tablet Dell Latitude 7220 Rugged Extreme pomocí Bluetooth. Funkce přijímače GPS je tímto tabletem zaznamenána s použitím aplikace TerraSync.

Zvolený chytrý mobilní telefon byl model 11 Lite 5G NE značky Xiaomi. Data na něj byla sbírána pomocí aplikace GnssLogger, kompatibilní s operačním systémem Android a volně dostupným z Google Play. V tabulce 1 jsou uvedeny kompatibilní družicové systémy obou zařízení.

Tabulka č. 1: Srovnání technických specifikací GNSS přístroje GPS a mobilního telefonu

Produkt	GNSS
GPS Trimble Pathfinder Pro XH	12 – kanálů (L1/L2)
Xiaomi 11 Lite	GPS: L1+L5, Glonass: G1, Galileo: E1+E5a, BeiDou: B1l + B1c+ B2a, QZSS: L1

Data byla měřena ve dvou porostech, konkrétně v porostu 122 A 5 a porostu 123 E 7, kde probíhala nahodilá těžba smrku ztepilého. V obou případech se jednalo o zapojené porosty. Terénní dispozicí porostů byla rovina přecházející v mírný svah ve sklonu 0–12° orientovaný na západ. Edafická kategorie byla na obou stanovištích „K“ kyselá. V částech porostů, kde byla data sbírána a kde se stroj pohyboval se nenacházely žádné terénní překážky, kameny, ani vysoké pařezy či těžební zbytky z předchozí těžby.

4.1 Terénní sběr dat

Po domluvě s operátorem harvestoru a stanovení základních prvků BOZP byl stanoven následující postup. Stroj najel do porostu k místu, kde měl označené stromy k zásahu. Zde provedl kácení, odvětvění a krácení. Následně z vyrobených sortimentů na místě udělal hromady dříví připrané na vyklizování.

Po ukončení těžebních operací a před odjezdem stroje k dalšímu označenému stanovišti, byla zaměřena pozice, na které harvestor stál. Konkrétně došlo k zaměření místa, které odpovídalo pozici pantů dveří na levé straně kabiny operátora během celého pracovního úkonu. Měření probíhalo po odjezdu stroje zapíchnutím výtyčky s přijímačem GPS na určenou pozici. Přijímač byl pomocí Bluetooth propojen s tabletem, na kterém v aplikaci TerraSync probíhalo měření. V nastavení aplikace byly vybrány parametry satelitů, od kterých byl přijímán signál. Pro započítání záměr je zapotřebí mít připojení alespoň ke čtyřem satelitům v daném okamžiku. V případě přerušení spojení s některým z nich dojde k přerušení měření, které se znovu spustí za předpokladu opětovného připojení alespoň čtyř družic. Na každé pozici harvestoru bylo změřeno 100 záměr pomocí GPS, kdy1 záměra je rovna 1 s.

Souběžně se sběrem dat GPS přístrojem, proběhlo měření pomocí mobilního telefonu. Ke sběru dat byla použita aplikace GnsLogger doporučená vedoucím práce. Pro její funkci bylo nutné povolení přístupu k poloze zařízení. V aplikaci na záložce „Log“ byl nastaven časovač na jednu minutu, přičemž stejně jako u přístroje GPS proběhla 1 záměra během 1 s. Telefon byl držen 40 cm pod přijímačem GPS s bodem dotyku na výtyčku, čímž byla zajištěna přesnost polohy zařízení při měření na každé pozici. Po ukončení měření telefonem pro daný bod vytvořila tato aplikace dva soubory, jeden s koncovkou .txt a druhý s koncovkou .23o. Pro tyto soubory byly po každém měření odeslány na email a zároveň kvůli zálohování dat uloženy do paměti telefonu. Měření probíhalo celkem na 29 pozicích.

4.2 Zpracování dat

Po návratu z terénu byl proveden export dat GPS z tabletu do počítače v podobě souborů ve formátech s koncovkami .shp, .shx a .dbf.. Pro celkové zpracování byl zvolen program QGIS, se kterým jsou tyto formáty kompatibilní, a bylo tak možno pomocí nich získat konkrétní souřadnice v systému S-JTSK Krovak East North. V terénu byl aplikací

vytvořen jeden shapefile, který byl při zpracování dat nahrán do nové bodové vrstvy, pomocí FUNKCE byl získán soupis souřadnic v atributové tabulce, odkud byly vyexportovány do programu Microsoft Excel.

Data naměřená mobilním telefonem v textovém formátu byla stažena z emailu, kam byla z terénu průběžně odesílána. K jejich zpracování byl nainstalován program desktopový GnssAnalysis App. Funkcí Analyse and Plot byla po vložení dat v textovém souboru vypočítána souřadnice v systému WGS84 pro každou pozici měření. Tento postup bylo nutné opakovat pro každou pozici zvlášť. Pro následné zpracování a shodnost koordinátů byla tato data transformována programem QGIS do souřadnicového systému S-JTSK.

V programu Microsoft Excel byly souřadnice z atributových tabulek jednotlivých vrstev obou přístrojů vkopírovány chronologicky pod sebe podle pořadí jejich vytvoření. Prvním krokem výpočtu bylo odečtení hodnot souřadnic. Souřadnice X a Y byly odečítány s jejich ekvivalentem měřeným přijímačem s tabletem (GPS) a mobilním telefonem (Mob). Dalším krokem bylo umocnění těchto rozdílů a následně byly výsledné hodnoty pro obě souřadnice sečteny a odmocněny. Vzorec dle vztahu 4

$$x = \sqrt{(X_{GPS} - X_{Mob})^2 + (Y_{GPS} - Y_{Mob})^2} \quad (4)$$

Tímto výpočtem byla zjištěna vzdálenost naměřených bodů pomocí GPS a mobilním telefonem. Výsledná hodnota x je udána v metrech.

S pomocí stejného vzorce s drobnou úpravou (vztah 5.) bylo možné vypočítat i vzdálenost bodů GPS v pořadí, jak proběhlo jejich zaměření. Stejně tak bylo možné spočítat vzdálenost bodů naměřených telefonem dle vztahu 6. Výsledky tohoto výpočtu jsou opět udány v metrech

$$x = \sqrt{(X_{GPS\ i} - X_{GPS\ i+1})^2 + (Y_{GPS\ i} - Y_{GPS\ i+1})^2} \quad (5)$$

$$x = \sqrt{(X_{Mob\ i} - X_{Mob\ i+1})^2 + (Y_{Mob\ i} - Y_{Mob\ i+1})^2} \quad (6)$$

5 Výsledky

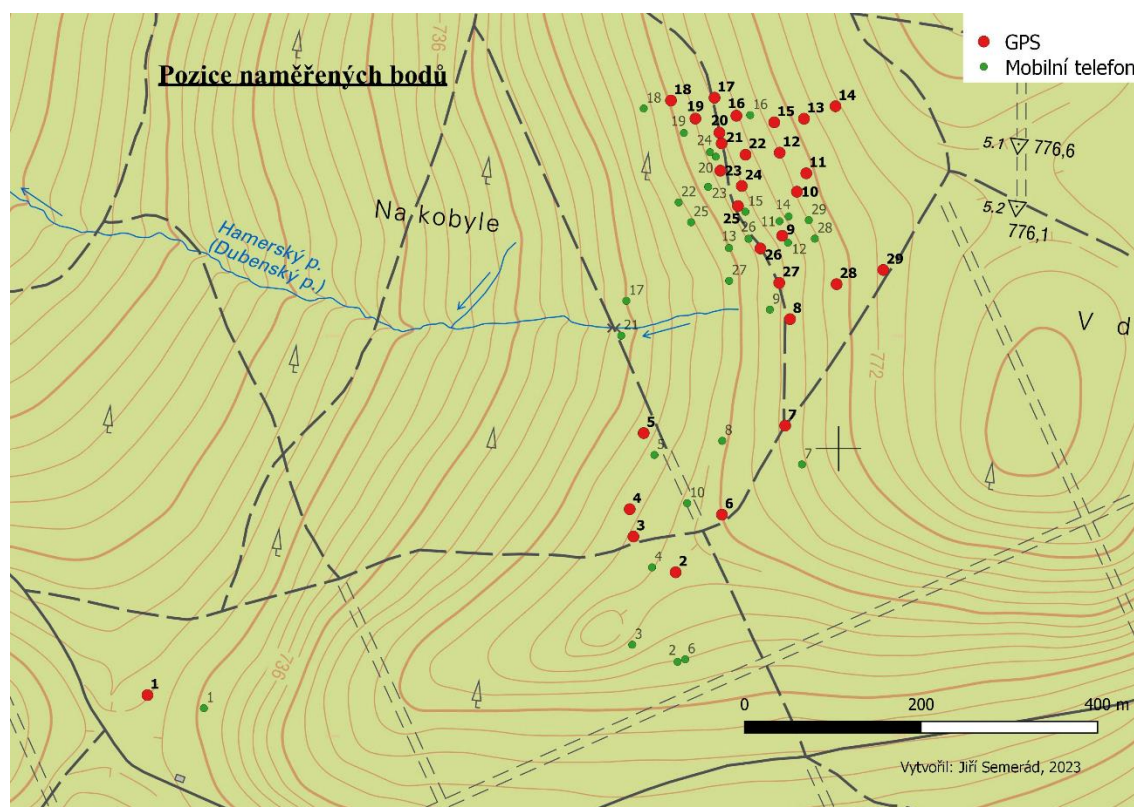
Měřením bylo získáno celkem 58 souřadnic, polovina pomocí mobilního telefonu s bodem dotyku na výtyčce a druhá polovina s užitím GPS přijímače upevněném na vrcholu výtyčky. V tabulce č. 2. jsou zaznamenány všechny naměřené souřadnice a zpracované vzdálenosti jednotlivých bodů. Uváděny jsou v souřadnicovém systému S-JTSK Krovak East North. Jejich vzdálenost je uváděna v metrech.

Tabulka č. 2: Zpracovávané souřadnice

Pořadí	Souřadnice X	Souřadnice Y	Souřadnice X	Souřadnice Y	Vzdálenost [m]
1.	-689782,423	-1144279,735	-689718,5	-1144294,6	65,63
2.	-689184,158	-1144140,438	-689182,0	-1144242,0	101,59
3.	-689231,951	-1144099,902	-689233,3	-1144222,6	122,71
4.	-689236,135	-1144068,899	-689210,9	-1144134,9	70,66
5.	-689220,363	-1143982,597	-689208,2	-1144007,4	27,62
6.	-689131,744	-1144075,074	-689173,3	-1144239,1	169,21
7.	-689060,052	-1143974,154	-689041,1	-1144018,1	47,86
8.	-689054,598	-1143853,354	-689131,4	-1143991,4	157,97
9.	-689063,457	-1143758,806	-689077,4	-1143842,6	84,95
10.	-689046,778	-1143708,900	-689171,1	-1144062,1	374,44
11.	-689036,175	-1143688,016	-689066,5	-1143742,4	62,27
12.	-689066,302	-1143664,631	-689056,9	-1143766,7	102,50
13.	-689038,752	-1143626,139	-689123,7	-1143772,7	169,40
14.	-689003,112	-1143611,980	-689056,2	-1143737,0	135,82
15.	-689072,466	-1143630,202	-689105,1	-1143731,6	106,52
16.	-689115,345	-1143622,742	-689099,7	-1143622,0	15,66
17.	-689140,116	-1143602,309	-689240,0	-1143832,6	251,02
18.	-689189,436	-1143605,503	-689220,3	-1143614,6	32,18
19.	-689161,740	-1143625,994	-689174,8	-1143642,3	20,89
20.	-689134,525	-1143642,002	-689138,6	-1143669,2	27,50
21.	-689132,066	-1143654,173	-689245,8	-1143872,1	245,82
22.	-689104,940	-1143666,956	-689180,8	-1143721,0	93,14
23.	-689133,536	-1143685,043	-689147,3	-1143703,4	22,94
24.	-689109,224	-1143702,434	-689145,2	-1143664,1	52,57
25.	-689113,510	-1143725,182	-689166,7	-1143743,5	56,26
26.	-689088,122	-1143773,248	-689101,6	-1143762,2	17,43
27.	-689066,801	-1143812,263	-689123,5	-1143809,9	56,75
28.	-689001,845	-1143813,735	-689026,5	-1143762,1	57,22
29.	-688948,994	-1143797,626	-689033,3	-1143741,2	101,45

Nejkratší vzdálenost bodů naměřených pomocí GPS a mobilního telefonu na jedné pozici činila 15,66 m, a to konkrétně v případě 16. zaměřeného bodu. Nejdelší vzdálenost byla zaznamenána u pozice č. 10, kdy vzdálenost mezi dvěma způsoby získaných souřadnic přesáhla 370 m. Průměrný rozdíl vzdáleností u všech měření bylo 98,27 m. Mediánová hodnota těchto rozdílů činí 65,63 m.

Grafické znázornění rozložení zaměřených bodů pomocí přístroje GPS a mobilního telefonu bylo vytvořeno v programu QGIS. Podkladová mapa byla přidána z volně dostupného zdroje geoportálu ČÚZK.



Obr. č. 7: Mapa pozic naměřených bodů (Autor)

V tabulce č. 3 jsou hodnoty vzdáleností mezi jednotlivými body v rámci daného způsobu měření.

Tabulka č. 3: Zpracované vzdálenosti

Body	Vzdálenost bodů GPS [m]	Vzdálenost bodů telefonu [m]
1.	614,27	539,07
2.	62,67	54,85
3.	31,28	90,52
4.	87,73	127,53
5.	128,08	234,31
6.	123,79	257,52
7.	120,92	94,16
8.	94,96	158,30
9.	52,62	238,66
10.	23,42	336,38
11.	38,14	26,13
12.	47,34	67,07
13.	38,35	76,36
14.	71,71	49,20
15.	43,52	109,73
16.	32,11	253,05
17.	49,42	218,89
18.	34,45	53,27
19.	31,57	45,10
20.	12,42	229,48
21.	29,99	164,49
22.	33,84	37,84
23.	29,89	39,36
24.	23,15	82,26
25.	54,36	67,73
26.	44,46	52,49
27.	64,97	108,14
28.	55,25	21,98
Celkem [m]	2074,69	3833,85

Celková vzdálenost, kterou by harvestor mezi body nacestoval vzdušnou čarou odpovídá 2 074 m. Tato vzdálenost odpovídá přibližnému nájezdu během měření s minimálním rozdílem. Z důvodu nepřesnosti měření telefonu je však vzdálenost vzdušnou čarou mezi body naměřenými pomocí mobilního telefonu téměř dvojnásobná.

6 Diskuze

Chytré telefony jsou dnes již součástí každodenního života téměř všech obyvatel na světě, a není výjimkou, že zaměstnavatel poskytuje zaměstnancům tyto přístroje jako součást služebního vybavení. Aplikace, kterou byla data sbírána je volně ke stažení a bezplatná. Naproti tomu GPS přístroj Trimble přichází s cenou vyšších desítek tisíc korun, a to pouze za přijímač, ke kterému je nutno přičíst pořizovací cenu tabletu či jiného zprostředkujícího média v řádu tisíců Kč.

Další podstatnou nevýhodou zařízení Trimble Pathfinder Pro XH je umístění na výtyčku, což přidává další předmět větších rozměrů do výbavy měřiče. Z hlediska ergonomie práce je nereálné, aby při každé změně stání stroje operátor vystupoval a zaměřoval svou pozici. Pro pevné ukotvení přijímače GPS na těžební stroj by bylo nutné vytvořit úchyt v přesně stanovené výšce, která je implementovaná v programu TerraSync, což při práci stroje s ohledem na vyrovnávání podvozku vůči terénu není vždy možné dodržet. Mobilní telefon by mohl být naproti tomu umístěn kdekoli v kabině víceoperačního stroje.

S otázkou umístění a sběru dat na oba přístroje přichází i otázka kompaktnosti. Mobilní telefon, na který byla data sbírána, má i přes úhlopříčku 6,55“ kompaktní rozměry, zatímco tablet Dell, kterým byl přijímač Trimble ovládán 11,6“, tento nedostatek by bylo možné vyřešit použitím jiného tabletu, který by byl kompatibilní pro používání aplikace TerraSync. Dalším důležitým parametrem je výdrž baterie, kdy některé mobilní telefony mohou vyžadovat připojení k externímu zdroji baterie (powerbance) i více než polovinu pracovní doby při používání polohové služby, tyto komponenty ovšem nebývají těžší, než 500 g, což v součtu s váhou telefonu nepřesáhne 1 kg. Celková váha přijímače, náhradní baterie, tabletu a výtyčky se pohybuje v řádech jednotek kilogramů.

I v otázce zpracování dat pro výsledné zhodnocení práce je mobilní telefon nevhodný. Přístroj Trimble sbírá všechna data podle volby buď do jednoho shapefileu v jednom souboru, což v následném zpracování usnadňuje práci, či je možné každý bod ukládat samostatně do svého souboru se svým souborem shapefile, zatímco data poslaná z telefonní aplikace je nutné do programu zadávat jednotlivě.

Sledování těžebního stroje mobilním telefonem by umožnilo přenos dat v reálném čase při použití odpovídající aplikace uzpůsobené k tomuto úkonu. Zaměstnavatel by tak měl kontrolu nad odvedenou prací, zároveň by tento způsob mohl do budoucna nahradit

kontroly při práci z hlediska BOZP. Přístroj Trimble data v reálném čase posílat nedokáže. Naměřená data je tak potřeba po skončení těžebních prací stáhnout a vyhodnotit v dalším programu na počítači, čímž se vrací nutnost dalšího účastníka pracovního procesu, či pořízení přenosného počítače a datové SIM karty operátorovi přímo do stroje pro stažení a zaslání dat po směně přímo z místa výkonu práce, což opět zvedá pořizovací cenu již tak ekonomicky náročné položky.

Přes všechna pozitiva v tomto výčtu ovšem mobilní telefon nedokáže sbírat data objektivně. Přijímač Trimble Pathfinder Pro XH pro svá měření využívá například Národní inventarizace lesů (NIL), kdy je potřeba co největší přesnost pro zaměření pozice inventarizačních ploch, na kterých probíhá měření opakovaně v jednotlivých cyklech. Nepřesnost takového měření by mohla zkreslovat hodnoty výstupů Ústavu hospodářské úpravy lesů. Kvůli této skutečnosti lze považovat naměřená data tímto přístrojem za směrodatná i pro tuto práci. Jak vychází z výsledků, odchylka měřeného bodu se oproti zařízení Trimble pohybovala v řádech vyšších desítek metrů. Tato odchylka by způsobovala problémy především při těžbách na hranicích porostních skupin obdobného stáří a podobné či stejné dřevinné skladby. Vzhledem k nastavení měření, by se dalo uvažovat, zda by mobilní telefon nedosahoval větší přesnosti s jiným nastavením aplikace. Například delší sběr dat by mohl mít pozitivní efekt na výsledek, ale příliš dlouhé měření by mohlo zase negativně ovlivňovat výkonnost operátora harvestoru.

7 Závěr

Z dat zpracovaných v této bakalářské práci můžeme soudit, že mobilní telefony svou přesností nesplňují cíle práce. Původním předpokladem práce byly odchylky měření do 5 m, při této odchylce by bylo při práci v mýtních a předmýtních porostech stále možné relevantně sledovat pohyb těžebního stroje. Data, která byla nasbívána mobilním telefonem byla oproti stejným souřadnicím získaných pomocí GPS vzdáleny v průměru 98 m. Pro práci v lesních porostech je taková odchylka neúnosná vzhledem k velikosti malých porostních skupin.

Technický vývoj těchto aparátů nezahrnuje nutnost přesnosti GPS souřadnic natolik, aby jimi byla sledována efektivita práce lesních těžebně dopravních strojů, případně lidí pracujících v lesních porostech. Ačkoli jsou mobilní telefony schopny zaměřit svou polohu relativně přesně na otevřených prostranstvích či ve městech, zápoj porostů v kombinaci s terénními překážkami a snížené pokrytí lesů signálem jim neumožňuje dosahovat alespoň podobných výsledků.

8 Literatura

BARTOŠ, L., 2009: Kolik místa zbývá v našich lesích pro harvestory? *Lesnická práce*, 88 (5): 22-23.

CELJAK, I., 2000: Stroje pro zemní a lesní práce II. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

CIMBÁLNÍK, M., VEVERKA, B., 1992: Transformace mezi souřadnicovými systémy v mapových dílech ČSFR. *ČVUT v Praze, Geodetický a kartografický obzor ročník 38/80, číslo 10*, s. 204-208.

CRASSIDIS, J., 2022: What Is Navigation?. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*. 45. 1-3. 10.2514/1.G006817.

DVOŘÁK, J., 2012: Využití harvesterových technologií v hospodářských lesích: The use of harvester technology in production forests. Kostelec nad Černými lesy: *Lesnická práce. Folia forestalia Bohemica*. ISBN 978-80-7458-028-4.

ERENOGLU, R. C., 2017: Reliability of GPS/GNSS-based positioning in a forestry environment. *Journal of Forestry Research*. ISSN 19930607.

HOJGR, R., STANKOVIČ, J., 2007: *GPS: praktická uživatelská příručka*. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-1734-7.

HORÁK, J., NOVÁK, J., 2009: Effect of stand segmentation on growth and development of Norway spruce stands. *Journal of Forest Science*, 55 (7): 323-329.

LASÁK, O., NĚMEC, K., 1996: Víceoperační těžebně-dopravní stroje (TDS) v ČR, *Lesnická práce*, vol. 74, no. 11, str. 402–403.

LOPES, E. S., OLIVEIRA, F. M., DROOG, A., 2018: Damage to residual trees following commercial thinning by harvester and forwarder in a *Pinus taeda* stand in Southern Brazil. *Sci. For.*, 46 (118): 167-175.

MAGIERA, W., VĀRNA, I., MITROFANOV, I., SILABRIEDS, G., KRAWCZYK, A., SKORUPA, B., APOLLO, M., MACIUK, K., 2022: Accuracy of Code GNSS Receivers under Various Conditions. Remote Sensing. 14. 10.3390/rs14112615.

MALÍK, V., DVOŘÁK, J., 2007: Harvesterové technologie a vliv na lesní porosty: Harvester technologies and impact on forest stands. Praha [i.e. Kostelec nad Černými lesy]: Lesnická práce. Folia forestalia Bohemica. ISBN 978-80-86386-92-8.

MARINCIC, A., CIVRIC, Z., 2007: Nikola Tesla's contributions to radion developments.

MOSKALIK, T., BORZ, S., DVOŘÁK, J., FERENČÍK, M., GLUSHKOV, S., MUISTE, P., LAZDIŇŠ, A., STYRANIVSKY, O., 2017: Timber Harvesting Methods in Eastern European Countries: a Review. Croatian Journal of Forest Engineering. 38. 231-241.

NERUDA, J., 2013: Harvesterové technologie lesní těžby. Brno: Mendelova univerzita. ISBN 978-807375-842-4.

PAIK, A., 2021: Doppler effect and its application. 10.13140/RG.2.2.13553.61282.

RAPANT, P., 2002: Družicové polohové systémy. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita. ISBN 80-248-0124-8.

SICKLE, J. V., 2016: GPS for Land Surveyors, Fourth Edition. Londýn: CRC Press. ISBN 9781466583108

SKOLNIK, M. I., 1980: Introduction to radar systems. 2nd ed. New York: McGraw-Hill. ISBN 0-07-057909-1.

STEINER, I., ČERNÝ, J., 2004: GPS od A do Z. 3., aktualiz. vyd. Praha: eNAV. ISBN 80-239-3314-0.

ŠEBESTA, J., 2012: Globální navigační systémy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. ISBN 9788021445000.

ULRICH, R., 1989: Stroje a technologie pro těžební výrobu, MZLU Brno, 100 s.

VAN DIGGELEN, F. S. T., 2009: A-GPS: assisted GPS, GNSS, and SBAS. Boston: Artech House, The GNSS technology and applications series (Artech House). ISBN 978-1-59693-374-3.

VOŽENÍLEK, V., 2001: Aplikovaná kartografie. I, : tematické mapy. 2. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2001. 187 s. ISBN 80-244-0270-X.

ZIMBELMAN, E. G., KEEFE, R. F., 2018: Real-time positioning in logging: Effects of forest stand characteristics, topography, and line-of-sight obstructions on GNSS-RF transponder accuracy and radio signal propagation. PLOS ONE. 13(1), e0191017. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi: 10.1371/journal.pone.0191017

Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky: Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic: stav k 2011. Praha: Ministerstvo zemědělství v nakladatelství Lesnická práce, [1995?] -. ISBN 978-80-7434-063-5.

Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky: Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic: stav k 2021. Praha: Ministerstvo zemědělství v nakladatelství Lesnická práce, [1995?] -. ISBN 978-80-7434-669-9

ONLINE CITACE:

About GLONASS. Прикладной потребительский центр ГЛОНАСС [online]. Copyright © [cit. 02.03.2023]. Dostupné z: https://glonass-iac.ru/en/about_glonass/

ČESKO. Nařízení vlády č. 430/2006 Sb., o stanovení geodetických referenčních systémů a státních mapových děl závazných na území státu a zásadách jejich používání. In: Zákony pro lidi.cz [online]. © AION CS 2010-2023 [cit. 20. 3. 2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-430>

ESA – Mapování světových lesů. European Space Agency [online]. [cit. 04.03.2023]
Dostupné
z: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Czech_Republic/Mapovani_svetovych_lesu

ESA - What is Galileo?. European Space Agency [online]. [cit. 25.03.2023] Dostupné
z: https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/What_is_Galileo

Imagine the Universe!. Imagine the Universe! [online]. Dostupné
z: https://imagine.gsfc.nasa.gov/features/yba/M31_velocity/spectrum/doppler_more.html

LENHART, Z., Tvorba map pro OB: Kartografie. [online]. 2000. vyd. [cit. 08.03.2023].
Dostupné z: <http://tvorbamap.shocart.cz>.

RAMBOUSEK, A., Historie mobilní komunikace [online]. 2003 [cit. 12.03.2023].
Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2003/xrambous_index.htm

Továrna na lesnické stroje | John Deere. 301 Moved Permanently [online]. Copyright ©
[cit. 06.03.2023]. Dostupné z: <https://www.deere.cz/cs/lesnicke-stroje/tovarna-na-lesnicke-stroje/>

U. S. Space Force, 2022: Space segment. GPS.gov: Space Segment [cit. 10.03.2023]
Dostupné z: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

BOZP – Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

CDMA – Code Division Multiple Access

ČÚZK – Český úřad zeměměřičský a katastrální

FDMA – Frequency Division Multiple Access

g – gram

GLONASS – Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema

GNSS – Globální Navigační Satelitní Systém

GPS – Globální Polohový Systém

ha – hektar

Hz – hertz

IRNSS – Indický regionální navigační satelitní systém

JŘMP – Jednomužná řetězová motorová pila

LS – Lesní správa

LVS – Lesní vegetační stupeň

m – metr

NAVSAT a NNSS – Navy navigation Satellite Systém

NAVSTAR GPS – Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System

NIL – Národní inventarizace lesů

PDOP – Position Dilution Of Precision

QZSS – Quasi-Zenith Satellite System

s – sekunda

S-JTSK – Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

UTM – Univerzální transverzální Mercatorův systém souřadnic

ÚHÚL – Ústav hospodářské úpravy lesů

WGS84 – World Geodetic System 1984

10 Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Busola (Foto autor)

Obrázek č. 2: Schéma systému GNSS (Šebesta, 2012))

Obrázek č. 3: Optický Dopplerův efekt (imagine.gsfc.nasa.gov)

Obrázek č. 4: Vyobrazení S-JTSK pro území ČR (Lenhart, 2000)

Obrázek č. 5: Porovnání S-JTSK a WGS84 na území ČR (Lenhart, 2000)

Obrázek č. 6: Schéma rozdělení harvestoru (Autor)

Obrázek č. 7: Mapa pozic naměřených bodů (Autor)

11 Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Srovnání technických specifikací GNSS přístroje GPS a mobilního telefonu

Tabulka č. 2: Zpracovávané souřadnice

Tabulka č. 3: Zpracované vzdálenosti