

VII. Gépészeti Szakmakultúra Konferencia

VASÚTI JÁRMŰ ÚTVONAL MENETPROFIL RÖGZÍTÉSÉRE ALKALMAS KÉZI ESZKÖZ FEJLESZTÉSE

DEVELOPMENT OF A HANDHELD DEVICE CAPABLE FOR TRAIN ROUTE PROFILE RECORDING

Demus Tamás, tamas.demus@gmail.com

ÖSSZEFOGLALÁS

Milyen terhelések érik üzem közben a vasúti járművet és komponenseit? A kérdésre választ adni komplex feladat, kézenfekvő megoldás ezen terhelések méréssel történő meghatározása. Jelen fejlesztés célja egy erre alkalmas kézi eszköz megalkotása.

ABSTRACT

What loads are to be borne by the railway vehicles during operation? Answering this question is a complex task, obvious solution is to determine these loads by measurement. The aim of the current development is to create a handheld tool suitable for this purpose.

1. BEVEZETÉS

Vasúti járművek tervezése során központi kérdés az egyes komponenseket érő terhelések pontos ismerete. Ez nagy mértékben függ a teljes közlekedési rendszertől: a vasúti pálya és jármű felépítésétől és állapotától, a köztük lévő kapcsolattól, a környezeti hatásoktól és a vasútüzem közben kialakuló mozgásfolyamatoktól.

A tervezéshez és szimulációhoz szükséges bemeneti paraméterek, többek között a pálya lejt- és ívviszonyai, a pálya állapotára vonatkozó információk, illetve a pontos üzemeltetési körülmények és feltételek nehezen körülírhatók, a rendelkezésre álló adatok hozzáférhetősége gyakran erősen korlátozott. Ennek kiküszöbölésére olyan mérési eszközt és módszertant alakítottunk ki, amellyel ezen

változók a szükséges mértékben azonosíthatók és a megfelelő kiértékelést követően referenciaként alkalmazhatók a tervezési folyamat során.

A vasútüzem sokszínűsége miatt a terhelések tág határok között változhatnak, annak függése a közlekedési rendszertől nem teljes mértékben ismert, így számos mintavételre van szükség, amely statisztikai mintaként szolgál a terhelések leírásakor.

Példaként gondoljunk egy olyan mozdony üzemére, amelyet egyszerre használnak teher- és személyforgalom lebonyolítására vagy elővárosi és távolsági forgalomban. Belátható, hogy eltérő fékezési és gyorsítási folyamatokkal, ebből fakadóan eltérő erőhatásokkal kell számolnunk. Hasonlóan érvényesül a pálya eltérő kialakítása és állapota miatti terhelés hatása is.

Modellünkben az erőhatásokat elsődlegesen meghatározó terhelési tényezőkre szorítkozunk: a vonó- és fékerő, valamint a pálya kialakítására vonatkozó paraméterek meghatározásához szükséges adatokat rögzítjük. A pálya állapotának figyelembevételére későbbi dinamikai szimulációk során lesz lehetőség. A mérési adatokból meghatározható olyan járművezérlőfüggvény, amely segítségével tetszőleges jármű végigvezethető egy virtuális vasúti pályán (trajektórián), amelyet a pálya állapotát leíró sztochasztikus változók generálnak.

2. KÖVETELMÉNYRENDSZER

A statisztikai kiértékeléshez nagyon sok mérési adatra van szükség, amelyet jellemzően azonos

körülmények között igyekszünk rögzíteni. Azonos körülmények alatt jelen esetben az üzemi és környezeti paraméterek tetszőleges megvalósulását értjük. Ennek eredményeképpen számos mérést kell végrehajtani, így elsődleges követelmény a könnyű felhasználhatóság, hordozhatóság.

Szintén a statisztikai mintából következik, hogy mérési pontosság tekintetében bizonyos kompromisszumokat lehet kötni, a kiértékelés módszerétől és a rendelkezésre álló minták számától függően akár alacsonyabb pontossági osztály is elfogadható.

A funkciók kialakításában elsődleges szempont volt az egyszerűség megtartása, valamint a mérések során egy egyszerű visszajelzés biztosítása a mérést végző személy felé, amely a megfelelő működésről nyújt állapotinformációt. Alapvető funkcióknak tekinthető a mérési pozíció rögzítése, beleértve a magassági adatokat, lehetőség szerinti sebességinformációkkal kiegészítve, az adatok automatikus tárolása és a mérés automatikus indítása.

A mérési eszközhöz felhasznált alkatrészek és komponensek hozzáférhetőek és alacsony költségen elérhetőek legyenek, valamint alkalmazásuk ne igényeljen speciális szaktudást.

Jól látható, hogy a követelmények pontosítására a fejlesztés későbbi lépéseiben szükség lehet, amennyiben a mérési adatok kiértékelése ezt igényli, kiindulásként, mint első szempontrendszer alkalmazható.

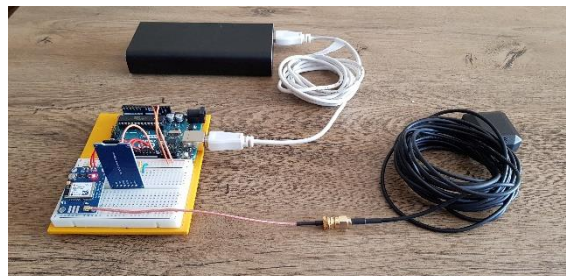
3. PROTOTÍPUSOK FELÉPÍTÉSE

A mérési eszköz kiválasztásánál a legelső próbamérések mobiltelefonnal, és az azokra készített, kereskedelmi forgalomban elérhető applikációkkal történt. A pontos működés ismeretének hiányában, valamint a korlátozott beállítási lehetőségek okán külön mérőeszköz fejlesztése mellett döntöttünk. A szükséges funkcionalitás, költségszint és rendelkezésre álló dokumentáció alapján az ARDUINO platformot választottuk, amelyhez két GNSS jelfeldolgozó egységet alkalmaztunk:

- U-Blox gyártmányú Neo M8N típusú GNSS jelvevő,
- MediaTek gyártmányú MTK 3339 típusú GNSS jelvevő.

Az egységeket SD kártya író-olvasóval és külső antennával egészítettük ki. Az MTK 3339 esetében ez a megoldás egy NYÁK-lapra integrálva is elérhető, az M8N esetében az áramköri kapcsolásokat külön kellett kialakítani. A tápellátásról egy 20000 mAh akkumulátor egység gondoskodott. Az egyes prototípusok

összeállítása az 1. és 2. ábrán látható. A felhasznált fő alkatrészek jegyzéke az 1. táblázatban láthatóak. A mérések során az eszközöket egy alumínium kofferben helyeztük el. Kiegészítésként a meneteket iPhone 11 Pro telefontal is rögzítettük a Trail Tracker 1.3.4 alkalmazással.



1. ábra. Prototípus A: U-Blox Neo M8N felépítése



2. ábra. Prototípus B: MediaTek MTK 3339 felépítése

1. táblázat. A prototípusokhoz felhasznált fő alkatrészek jegyzéke

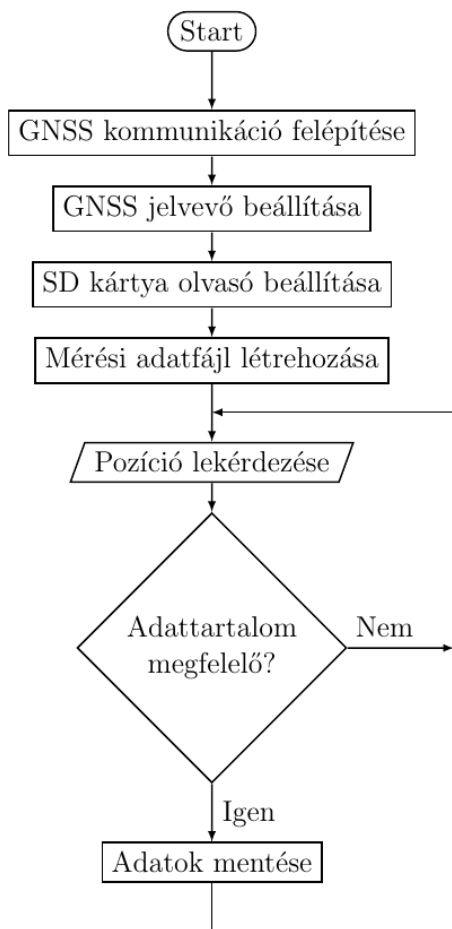
	Prototípus A	Prototípus B
Alaplap	ARDUINO UNO R3	
GNSS jelvevő	U-Blox Neo M8N	Adafruit Ultimate GPS
SD kártya író-olvasó	microSD kártya illesztő modul	Logger Shield (MediaTek MTK 3339)
Külső antenna	Adafruit 960 külső aktív GPS antenna	
Akkumulátor	Alza PowerBank 20.000 mAh	

A prototípusok indítása a tápegység csatlakoztatásával történt, első lépésként egy inicializációs folyamat indult el, amely során beállításra került a GNSS jelvevő egység, SD kártya olvasó és automatikusan létrejött egy file, ami a mérési eredményeket tárolta. A GNSS jelvevő egységekkel a kommunikáció az A prototípus esetén [1] alapján közvetlen soros porton keresztül történt, míg B prototípus esetén [2] alapján a TinyGPS++ ARDUINO [3] könyvtár segítségével valósult meg. Mérés

szempontjából a két egység közötti lényegi eltérés a mintavételi frekvenciából és a rendelkezésre álló adathalmazból adódott. A mintavételezést 5 Hz ill. 10 Hz frekvenciával végeztük a vizsgálatokat az A ill. a B prototípus esetén, az iPhone esetében pedig 1 Hz állt rendelkezésre az applikáció megszorításai miatt. A rögzített adatokat részletesen a 4. fejezetben mutatjuk be.

A mérőegységek beállítása után egy végtelen ciklus indul el, amely minden lépésben lekérdezi a pozíció és egyéb adatokat a GNSS jellevő egységből, majd azokat konzisztencia ellenőrzés után hozzáfűzi a már megnyitott adatfájlhoz.

A vezérlő algoritmus a 3. ábrán látható.



3. ábra. A mérőegységek vezérlő algoritmus

4. ADATSZERKEZET

Az eltérő jellevő egységek és kommunikációs protokollok miatt a rögzített adatokban eltérés tapasztalható. Az egy mérési ponthoz tartozó adathalmazt szemlélteti a 2. táblázat.

5. PRÓBAMÉRÉSEK EREDMÉNYEI

Az eszközök első próbájaként a MÁV 80/80a vonalán, Budapest-Keleti – Füzesabony

viszonylaton végeztünk méréseket, tekintettel arra, hogy ezen a szakaszon városi, dombos és síkvidéki környezet egyaránt megtalálható, több ív helyezkedik el, amely lehetőséget ad a mérés pontosságának behatóbb jellemzésére.

2. táblázat. Egy mérési ponthoz tartozó adathalmaz prototípusonként

Adat neve	iPhone 11 Pro	Prototípus	
		A	B
Földrajzi hosszúság	X	X	X
Földrajzi szélesség	X	X	X
Magasság	X	X	X
Dátum	X	X	X
Időpont	X	X	X
Sebesség	X	X	X
Műholdak száma	X	X	X
Vízszintes pontosság <hígulás< td=""> <td>X</td> <td></td> <td>X</td> </hígulás<>	X		X
Magassági pontosság <hígulás< td=""> <td>X</td> <td></td> <td></td> </hígulás<>	X		
Térbeli helyzet pontosság <hígulása< td=""> <td></td> <td>X</td> <td></td> </hígulása<>		X	

A vonalszakaszon dupla FLIRT szerelvény közlekedik, a méréseket az utastérben végeztük. Összesen több, mint 30 menet rögzítésére került sor 2021 október és 2022 március között, azonban a kiértékelésben nem mindet tudtuk figyelembe venni, tekintettel a mérés közben fellépő hibákra, a mérési módszerben bekövetkezett apróbb változtatásokra.

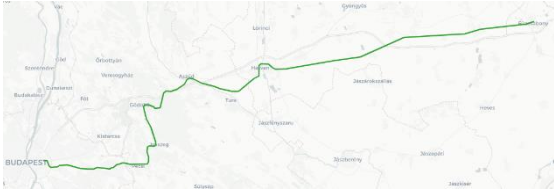
Az adatok utólagos feldolgozása külön erre a célra kidolgozott programban történt. Főbb lépései:

1. Adatok szűrése, inkonzisztens adatok azonosítása
2. Hiányzó adatok számítása
3. Adatok összefűzése
4. Pályaadatok és menetprofil paramétereinek becslése

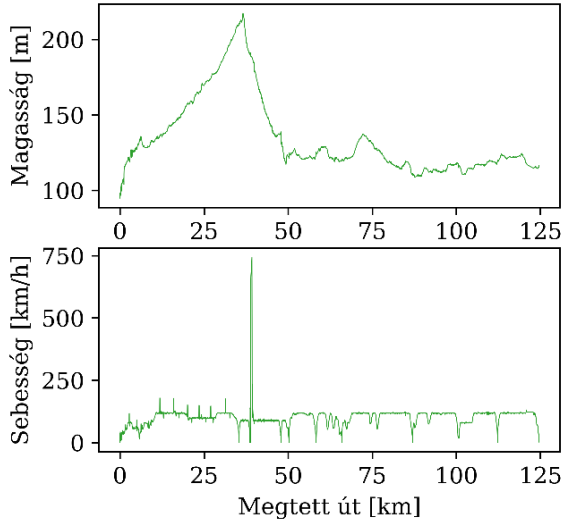
A részletes feldolgozás lépései és eredményei megtalálhatók [4] -ben.

5.1. Útvonal mérések

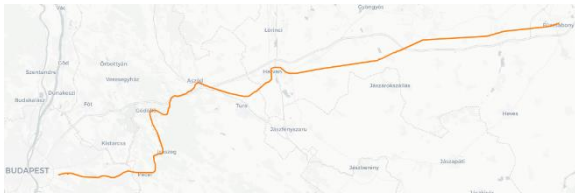
Példaképpen egy kiválasztott menetprofil pozíció, magasság és sebesség adatai láthatók a 4. – 9. ábrákon a három mérőeszköznek megfelelően. A diagramok a nyers mért adatokat mutatják.



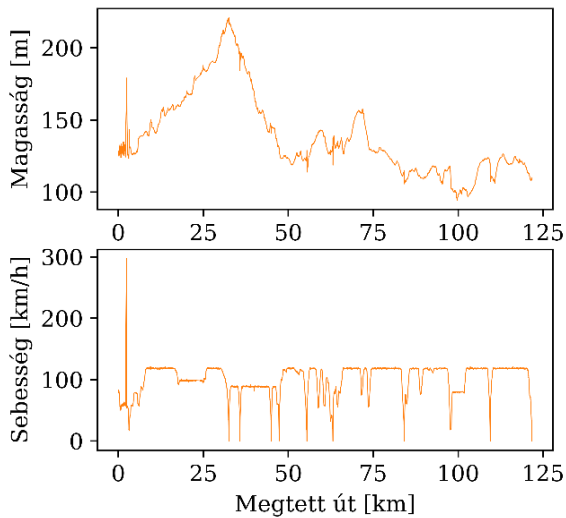
4. ábra. Rögzített vonatpozíció egy kiválasztott menet során iPhone 11 Pro felhasználásával



5. ábra. Rögzített magassági és sebesség értékek iPhone 11 Pro esetén

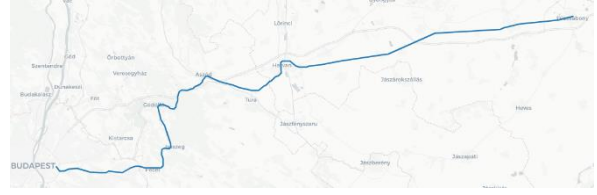


6. ábra. Rögzített vonatpozíció egy kiválasztott menet során Prototípus A felhasználásával

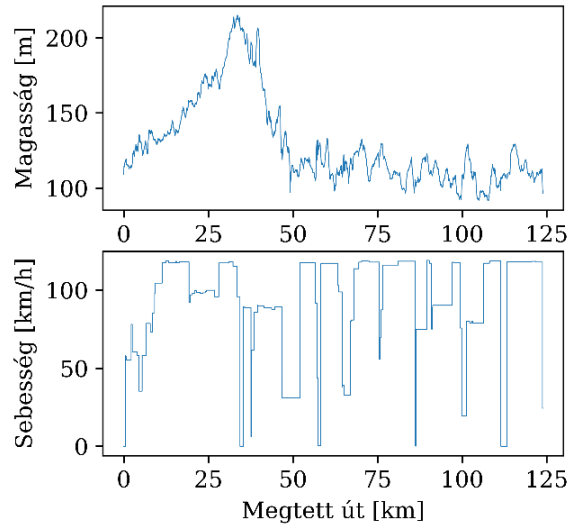


7. ábra. Rögzített magassági és sebesség értékek Prototípus A esetén

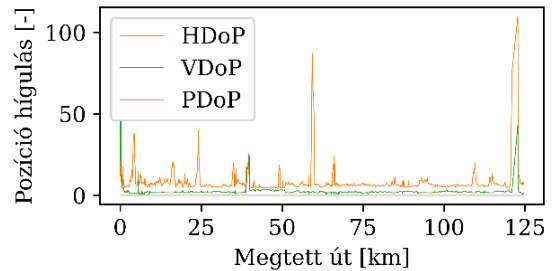
A menet során rögzített pozíciót jellemző pontossági adatsorok (műholdak száma, pontosság-hígulások értéke) a 10., 11. és 12. ábrán láthatók a különböző mérőeszközökre.



8. ábra. Rögzített vonatpozíció egy kiválasztott menet során Prototípus B felhasználásával



9. ábra. Rögzített magassági és sebesség értékek Prototípus B esetén

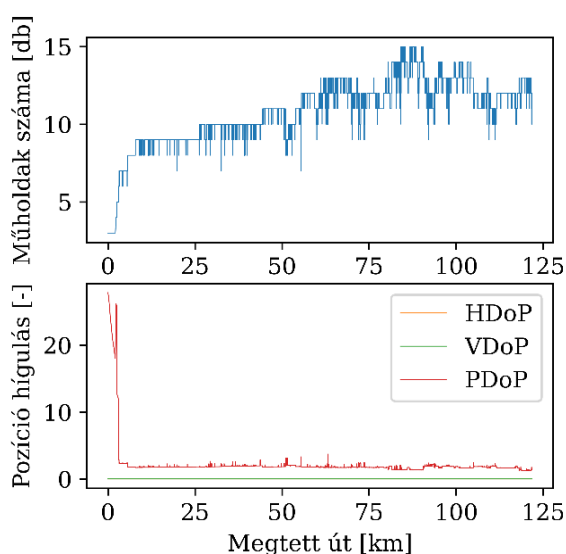


10. ábra. Pontosság-hígulások értékei iPhone 11 Pro esetén

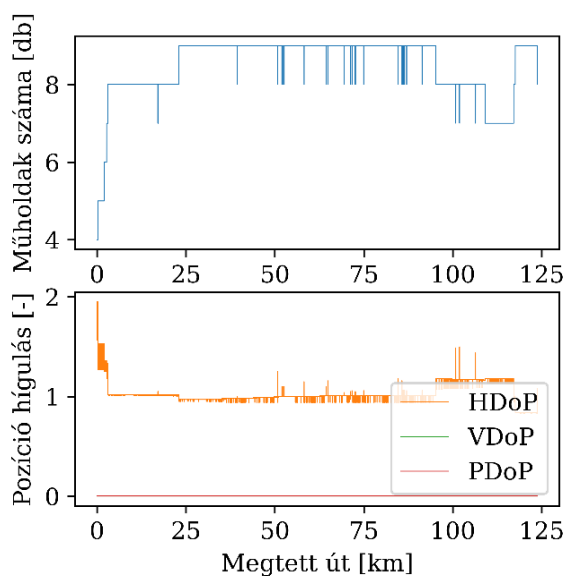
6. KIÉRTÉKELÉS

A vonat pozíciójának meghatározására mind a prototípusok, mind a mobiltelefon alkalmasnak bizonyult. Apróbb eltérések két esetben figyelhetők meg, egyrészt a dombok által határolt, íves pályaszakaszokon, például Pécel és Isaszeg között, másrészt a Prototípus A esetében tovább tartott a megfelelő GNSS műholdakat megtalálni, így értékelhető adat csak később állt rendelkezésre. Ezt egyébként megerősíti a 11.

ábra, ahol a műholdak számának felfutása is késleltetve történik a többi berendezéshez képest.



11. ábra. Műholdak száma és pontosságihígulások értékei Prototípus A esetén



12. ábra. Műholdak száma és pontosságihígulások értékei Prototípus B esetén

A kapott magassági adatokban azonban már nagyobb eltérések mutatkoznak. A prototípusok lényegesen zajosabb jelet rögzítettek, mint a mobiltelefon. A két prototípus jele jellegre egyező, emiatt összevetettük az iPhone által rögzített magassági adatokat szabadon hozzáférhető GPS adatbázisokban található adatokkal, amely nagyfokú egyezést mutatott. Így felmerül a lehetőség, hogy az alkalmazott applikáció mérés közben internetes kapcsolaton keresztül bizonyos korrekciókat

hajthat végre központi adatbázisok segítségével. Ettől eltekintve a prototípusok jelei további kiértékelésre felhasználhatóak, a jelek feldolgozása esetén a zavarok leválasztására ügyelni kell.

A magassági adatsorban megjelentek kiszóró pontok, amelyek egyértelműen nem konzisztensek a valós pályavezetéssel. A mérési hibát, mint okot erősíti az ezen pontok környezetében megfigyelhető magas pontosságihígulás (DoP) érték, amely a helyzetmeghatározás pontatlanságára utal.

A sebességgörbén mindhárom esetben jól kivehetők a megállások, valamint a menetprofil jellemző szakaszai, a gyorsítás, sebességtartás, kifuttatás és fékezés. A Prototípus B esetében adódott eltérés, látszólagosan a görbe alakja inkább egy lépcsős függvényre hasonlít, a jármű sebességváltozásait kevésbé tudta követni. Hasonló jelenség figyelhető meg a 12. ábrán, ahol a műholdak száma is lényegesen lassabban változik, mint a Prototípus A esetében. Annak ellenére, hogy a mintavételi frekvencia 10 Hz volt, a pozíciófrissítés lassabban történt, a mérési adatokat megvizsgálva ugyanazon pozícióadatsor többször került egymás után rögzítésre. Ez vélhetően beállítási hiba eredménye, azonban a kommunikációs protokoll leírásában erre utaló beállítást nem találtunk. Megjegyzendő, hogy a mérőeszköz inicializálása sem bizonyult stabilnak, több esetben csak többszöri újraindítás után sikerült a kommunikációt felépíteni a GNSS jelvevővel. Ez lényeges adatvesztéshez vezetett több mérés során.

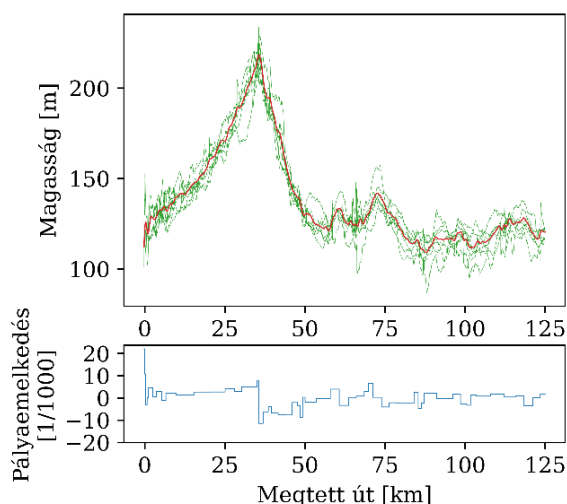
A műholdak számát és pontosságihígulásokat megvizsgálva megállapítható, hogy a Gödöllői-dombságból kihaladva a műholdak láthatósága lényegesen javult. Stabil műhold jelek esetében a pontosságihígulások mindkét prototípus esetében pontos helymeghatározásra utaltak, az iPhone esetében látható több csúcs ezen görbén, amely nagyobb pontatlanságot jelent. A műholdak számának ismerete nélkül további jellemzés ebben az esetben nem lehetséges.

A kiértékelést árnyaltabbá teszi, ha megvizsgáljuk, hogy jelen mérési adatokból milyen becsléseket adhatunk a pályaadatokra vagy a menetdiagramra. Ennek szemléltetésére a kiválasztott viszonylaton Prototípus A-val végzett mérésből számított lejtviszonyokat becsültük. Összesen hét mérési sort kiértékelve a kapott eredményeket a 13. ábra szemlélteti.

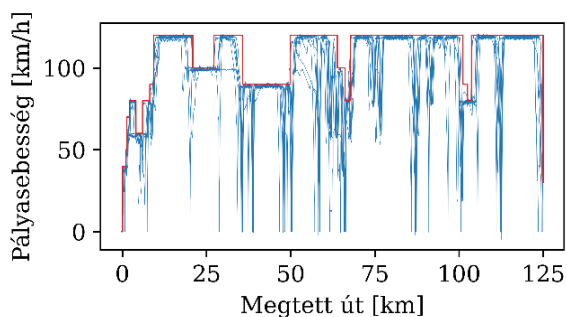
Az egyes menetek között erős korreláció fedezhető fel, a kapott átlagos magasságértékkel (az átlagérték szűrése után) a domborzati viszonyok jellemezhetőek. A lineáris

közelítésből számított pályaelmelkedés nagyságrendileg helyes értéket szolgáltat, a pályára jellemző mértékadó és maximális értékeket nem haladja meg.

Becsülhető a pálya maximális sebessége a rögzített sebesség görbék supremum burkológörbéje által, amely a 14. ábrán látható. Az azonosított lassújelek egybeesnek a forgalom során tapasztalt szakaszokkal, így első közelítésnek elfogadhatóak.



13. ábra. Pálya becsült lejtviszonyai Prototípus A mérési adatainak alapján



14. ábra. Maximális pályasebesség becslése Prototípus A mérési adatainak alapján

7. KONKLÚZIÓ

A kutatás első lépéseként egy vasúti menetprofil rögzítésére alkalmas mérőeszköz fejlesztése történt meg. Több prototípussal méréseket folytattunk egy kiválasztott vasútvonalon, ahol sikeresen rögzítettük a pályaadatok paramétereinek becsléséhez és a menetprofil meghatározásához szükséges adatokat, amelyeket az első kiértékelés során sikeresen meg is határoztunk.

A mérési eredményeket és tapasztalatokat figyelembe véve további mérések elvégzésére a Prototípus A-t javasoljuk, tekintettel megbízható

működésére, kezelhetőségére és a többi eszközhöz viszonyított pontosabb adataira.

Ugyanakkor nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a mérési adatok megbízhatóságát és pontosságát a kutatás jelen pontján számszerűleg még nem jellemeztük, ezért következő lépésként célszerűnek látszik egy validációs mérési sorozat elvégzése, amely során különböző körülmények között képet kaphatunk ezen jellemzőkről.

Amennyiben a mérési eszköz és kiértékelési módszertan alkalmazhatónak bizonyul, azaz a járműszimulációs felhasználáshoz kellően pontos adatok szolgáltatására képes, gondoskodni kell a megfelelő felépítésről, hardver és szoftver megbízhatóságának növeléséről, hogy a méréseket egyszerűbben, nagyobb számban is el tudjuk végezni. Ez az áramkör megfelelő megtervezését és dobozolását, valamint a felhasználói kezelőeszköz kidolgozását jelenti.

A mérőeszköz robusztus kivitelezésének köszönhetően nagyobb számban is előállíthatóvá válik, amellyel az adatgyűjtés folyamata felgyorsítható, illetve kiterjeszhető további vasútvonalakra, üzemeltetési körülményekre, amelyek teret adnak a kiértékelte adatok összehasonlítására.

8. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet és hálámat Dr. Zobory István Professor Úrnak a kiértékeléshez nyújtott szakmai irányításáért és támogatásáért, valamint M. Szűcs Máté kollégámnak és kutatótársamnak az első mérések végrehajtása során nyújtott segítségéért és kitartásáért.

9. IRODALOM

[1] U-blox: u-Blox M8 Receiver Description, <https://www.u-blox.com/en/product/neo-m8-series> (felkeresve 2021.11.01-én)

[2] MediaTek Labs: MT3339, <https://labs.mediatek.com/en/chipset/MT3339> (felkeresve 2021.11.01-én)

[3] Arduiana: TinyGPS++, <http://arduiana.org/linraries/tinygpsplus> (felkeresve 2021.11.14-én)

[4] Demus T.: Estimation of input data for dynamic simulations based on field measurement data, 12th International Conference on Railway Bogies and Running Gears, Budapest, 2022. szeptember 5-9.