

Miskolci Egyetem
Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar
Földrajz - Geoinformatika Intézet

University of Miskolc
Faculty of Earth and Environmental
Sciences and Engineering
Institute of Geography and
Geoinformatics



A Miskolc-Egyetemváros buszmegállóinak felmérése útdeformálódás
szempontjából

Survey of the bus stops at the University of Miskolc from the point of view of
road deformation

TDK dolgozat

Szerző: **Bese Marcell**
egyetemi hallgató
Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar
Miskolci Egyetem

Konzulens: **Szilvási Marcell**
tanársegéd
Földrajz-Geoinformatika Intézet

Miskolc, 2023

Eredetiségi nyilatkozat

"Alulírott Bese Marcell, a Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezettudományi Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jelzem – magam végeztem el, és az ismertetett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem."

Miskolc, 2023.11.20.



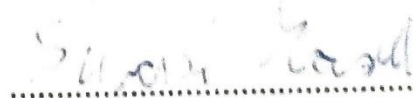
a hallgató aláírása

A konzulens nyilatkozata

Alulírott Szilvási Marcell, a Miskolci Egyetem Földrajz-Geoinformatika Intézetének tanársegéde a TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem.

Egyéb megjegyzések ajánlás: Bese Marcell első éves földtudományi mérnöki BSc. hallgató kiváló munkát végzett a terepi felmérések során. Egyéni ötleteinek, gyors helyzetfelismeréseinek köszönhetően a munkafolyamat meggyorsítása mellett a minőségi tartalom létrehozását is megerősítette. Az állandó tudományos kíváncsisága említésre méltó, az új egyéni ötletei a dolgozat tartalmi részét folyamatosan fejlesztették.

Miskolc, 2023.11.20.



a konzulens aláírása

Tartalomjegyzék

Kivonat	3
Abstract.....	4
1. Bevezetés	5
2. A Miskolc-Egyetemváros területén lévő buszhálózat bemutatása	6
3. Buszmegállókban használt útszerkezetek.....	7
4. Terepi felmérés a mérőállomással	8
5. Adatfeldolgozás	10
5.1. Az 1. buszmegálló felszínmodellje	11
5.2. A 2. buszmegálló felszínmodellje	12
5.3. A 3. buszmegálló felszínmodellje	13
5.4. A 4. buszmegálló felszínmodellje	14
5.5. Az 5. buszmegálló felszínmodellje	15
6. Georadar mérések	17
6.1. A georadar által rögzített eredmények feldolgozása	19
6.2. A georadar által rögzített eredmények kiértékelése	23
7. Konklúzió, javaslatok	27
Hivatkozások	29

Kivonat

Ezen TDK dolgozat keretében felmérésre került az MVK Zrt. Miskolc-Egyetemváros területén a menetrendszerinti buszjáratai által legtöbbször használt buszmegállóinak jelenlegi útminősége. A megálló környezetét az aszfalton kívül néhány helyen burkoló kő is fedte. A szerző konzulensével közösen egy Leica TS06 típusú mérőállomás és a hozzá tartozó prizma segítségével felmérte a fellelhető öt db buszmegálló felszíneit. Összesen 779 db bemért pont alapján alakultak ki a helyi domborzati jellegzetességek. Vizuális segítségként a későbbi modellalkotásokhoz terepi fényképek is rögzítésre kerültek főként a deformálódott térrészekről. Az adatok XYZ formátumban lettek exportálva a mérőműszerből, majd először Excel táblázatban történt a kezdő adatfeldolgozás. A felületek modellezéséhez a Golden Software cég Surfer szoftverét használta a szerző. Különböző interpolálási lehetőségek közül többet megvizsgálva a mért adatokon kettő bizonyult használhatónak a valóság legjobb leírására. Az egyik a krigelés, viszont néhány esetben hosszanti elemek kiemelésénél nem működött, ott a háromszögelés lineáris interpolációval volt használható csak. A különálló buszmegállók felületeiből kialakultak a szemmel látható, és a szoftverekben leolvasható szintkülönbségek a deformálódott zónákban. A legnagyobb elváltozással rendelkező megállóban georadarral is végzett méréseket a szerző hét szelvény mentén. Ezek közül kettő az úttal párhuzamosan lett kitűzve, öt darab pedig azokra merőlegesen egyenként elhelyezve. Ezen mérések kiértékelt ábráin, elváltozások az altalajban is érzékelhetők. A felmért állapotok minőségi függvényében javaslatokat is tesz a szerző az esetleges további beavatkozásokra a fenntartónak a saját meglátása szerint.

Abstract

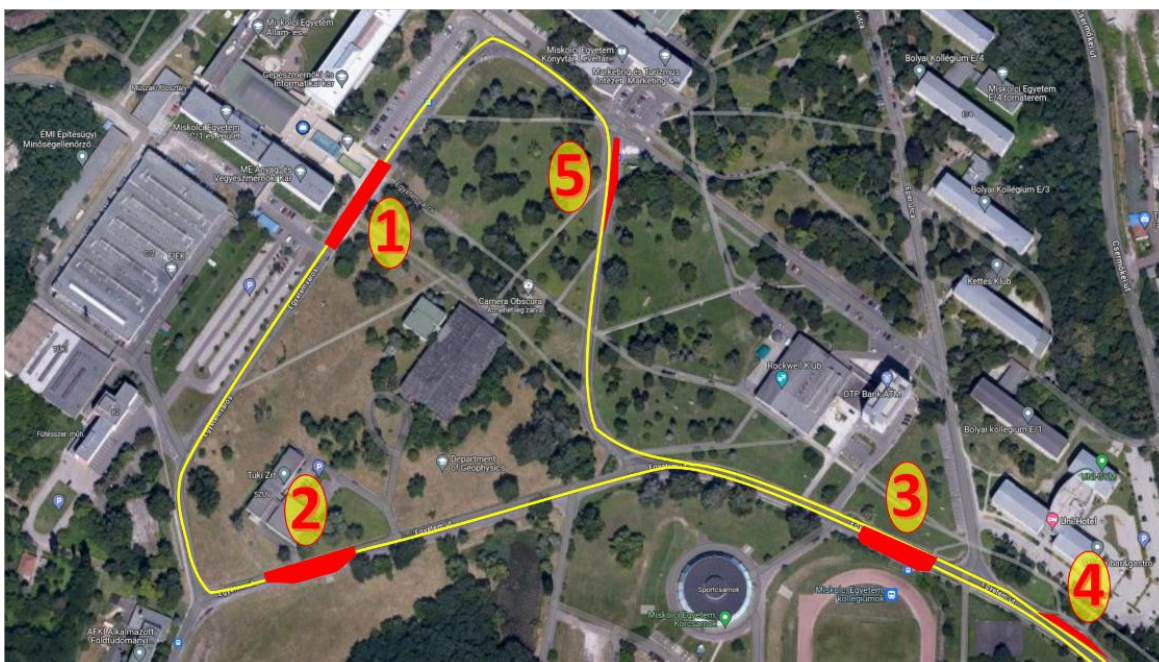
In the framework of this TDK thesis, the current road quality of the bus stops used by MVK Zrt.'s bus routes in the area of Miskolc-Egyetemváros was assessed. In addition to the asphalt, the surroundings of the stops were also covered with paving stone in some places. Together with his consultant, the author measured the surfaces of the five bus stops with the help of a Leica TS06 measuring station and the accompanying prism. The local topographic features were formed based on a total of 779 measured points. As a visual aid for the later model creations, field photographs were also recorded, mainly of the deformed parts of the space. The data was exported from the measuring instrument in XYZ format, and then the initial data processing was done in an Excel spreadsheet. The author used Surfer software from the Golden Software company to model the surfaces. After examining several different interpolation options on the measured data, two proved to be the best description of reality. One is kriging, but in some cases, it did not work when highlighting longitudinal elements, triangulation could only be used with linear interpolation. Level differences visible to the eye and readable in the software were formed in the deformed zones from the surfaces of the separate bus stops. At the stop with the largest change, the author also took measurements with georadar along seven sections. Two of these were marked parallel to the road, and six were placed at right angles to them. In the evaluated figures of these measurements, changes can also be detected in the subsoil. Depending on the quality of the assessed conditions, the author also makes suggestions for possible further interventions to the maintainer according to his own opinion.

1. Bevezetés

Azért esett a témaválasztásom erre a területre, mivel szembeötlő volt számomra már az első idelátogatásomkor is a helyenként rossz állapotú utak a buszmegállók környezetében. Esős időszakokban kifejezetten furcsa látványt nyújtanak az eredeti jól megtervezett vízelvezetést már nem betartó zónákban kialakult állóvizek, illetve vízfolyások. Kíváncsi voltam, hogy amit szemmel látok, az vajon centikben kifejezve mekkora torzulásokat jelenthet a valóságban. A felszíni deformációk szakszerű felmérésére konzulensem egy Leica TS 06 típusú mérőállomást javasolt, mellyel később a méréseket el is végeztük. A másik kérdés, hogy a felszíni deformációknak vajon van-e folytatása a felszín alatt. Ennek a kiderítésre valamilyen roncsolásmentes technika használata a legcélszerűbb, mert egy vizsgálat kedvéért nem ajánlatos kárt tenni az útszerkezetben [1] első körben legalábbis semmiképp. Ezért választottuk ki a georadar módszert, amely elektromágneses hullámok segítségével „lát” be a felszín alá. Szerencsére a Miskolci Egyetem Geofizikai Intézeti Tanszéke rendelkezik egy MALÅ típusú georadarral, amelyet számomra biztosítottak a méréseim elvégzéséhez. Ezen módszerek együttes használatával egy átfogó kiértékelés biztosítható az útvizsgálatok tekintetében. Egy esetleges felújításnál a cél [2], hogy a külső hatások ne eredményezhessék ugyanazokat a hibákat, ezzel hosszútávon költségcsökkentést és tartós burkolatot lehet elérni. Az útfelújítás mindig is egy költséges művelet volt, akármennyire kis javításról is legyen szó. Itt a Miskolc-Egyetemváros területén, mivel ez egy külön településjelző táblával ellátott városrész, speciális az ilyen munkáknak a költségelszámolása. A legjobb tudomásom szerint a Miskolci Egyetem költségvetésének kell kigazdálkodnia az erre szánt összeget. Emiatt, ha már szükséges esetben elkülönít az ilyen típusú felújítási munkákra egy nagyobb összeget, akkor szeretne hosszantartó megbízható útpályaszakaszt kapni az egyetem mindenkori vezetése. A gyakorlatban különböző típusú burkolatokat és alapozásokat [3] használnak a tengelyterhelés és a forgalom függvényében, ezeknek a kivitelezési költsége változó lehet.

2. A Miskolc-Egyetemváros területén lévő buszhálózat bemutatása

A Miskolci Egyetem területén 5 db buszmegálló található (1. ábra), amelyekkel a munkám során foglalkoztam. Egy kivételével mindegyik térkövezett burkolattal rendelkezik. Az egyetemi buszhálózat intenzív terhelésnek van kitéve, csúcsidőben 5 perces a követési távolság. Az 1-es számmal jelölt, a többihez képest nagyobb kiterjedésű megálló egyes buszok esetében végállomásként, várakozóhelyként is funkcionál. Az 1. ábrán látható sorrendben mértem fel a konzulensem segítségével azokat egy mérőállomással, az 5-öst külön georadarral is megvizsgáltam.



1. ábra

A Miskolci Egyetemen található vizsgált buszmegállók: 1 - Főépület; 2 - Olajkutató; 3 - Sportpálya; 4 - Uni-Hotel; 5 - Tanulmányi épületek

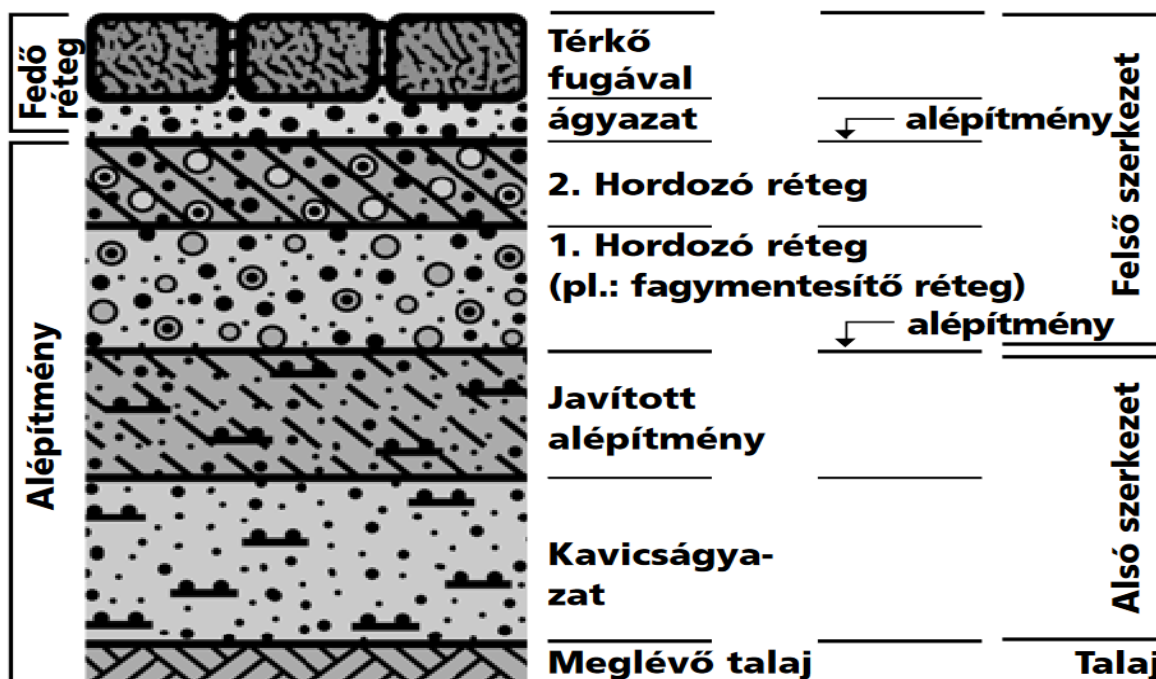
Az első ábrán sárgával jelölt útvonalon közlekednek/tek főként a különböző sorszámmal (2, 12, 22, 29, 31, 39, ME(a jelenleg nem közlekedő járatok *dőlttel* vannak megjelölve)) ellátott buszjáratok. Dőlt karakterekkel a korábbi és/vagy a jövőben esetlegesen visszavezetésre kerülő járatszámok láthatóak. A térkövezéssel ellátott négy db megálló felújítása körülbelül egy évtizede lehetett az elmondások alapján. A sárgával jelölt útszakasz egy részén csak egyirányú forgalom közlekedhet (kivétel kerékpárosok). A 3-as és 5-ös megálló közti szakasz felénél kezdődik, ahogy ipszilon alakban kettéválik az út észak felé, majd halad az 1-es megállóig és még a 2-es megálló előtt kettő útkereszteződésig tart az egyirányúság. Ezen az útszakaszon általában parkoló autók foglalják el a forgalom melletti útrészt.

3. Buszmegállókban használt útszerkezetek

A buszmegállókban különböző típusú borításokat [4], [5] alkalmaznak a gyakorlatban. Alapvetően lehet használni a normál aszfalt borítást is, így a kivitelezés egyszerűsödik a teljes útszerkezet kialakításánál. Azonban a forgalomban résztvevő normál személygépjárművek tengelyterhelése sokkal alacsonyabb, mint a buszmegállókban sűrűn megálló tömegközlekedési eszközök. Illetve egy álló gépjármű a kerekek helyén nagyobb torzító hatást kelt [6], mint az úton folyamatosan áthaladó járművek. Emiatt a buszmegállók területe különösen nagy deformációs hatásnak van kitéve, logikus, hogy nem elég a sima aszfalt borítás és egy normál útalap.

A 2. ábrán egy térkövezett fedőrétegű útalapozást lehet megtekinteni, amit kifejezetten buszmegállók esetében szoktak alkalmazni a nagyobb terhelés elvezetéséhez. Az alépítmény különböző rétegei különböző célokat szolgálnak. Elsősorban a stabilitás, a feszültségek elvezetésére szolgáló rugalmasság és a fagykár ellen védő tulajdonságaik a fontosak.

Különböző típusú térkövezések léteznek, nagy teherbírásúból már kevesebb. A Miskolci Egyetemen a szemügyre vételezésem alapján *behton* típusú csont alakra emlékeztető strapabíró egymásba kapaszkodó térkövek találhatók. Miskolc belvárosában néhány buszmegállóban pedig az előzőnél némivel masszívabb bazaltkockákat használtak. Érdekesképpen a hétköznapi használatban ezt néha macskakőnek nevezik, amelyet már az ókor óta használnak a keménysége és az időtállósága miatt. A német „Katzenköpfe steine” kifejezésből ered, ami szó szerinti fordításban „macskafejek kövek” -et jelent.



2. ábra

térkövekkel borított buszmegállók épített rétegei [7]

4. Terepi felmérés a mérőállomással

A buszmegállót egymás után mértem fel a konzulensemmel, mivel ez a munka sok esetben két ember aktív közreműködését igényli. A felmérésekhez egy Leica TS06 típusú mérőállomást használtam egy hozzá tartozó prizmával (3. ábra). Ez az eszköz tulajdonképpen egy számítógéppel és a hozzá tartozó szoftverekkel ellátott teodolit egy lézeres távmérővel kiegészítve. A műszer képes horizontális és vertikális értelmezésű szögek leolvasására a kiválasztott iránnyal kapcsolatban, és távolságmérést is képes elvégezni. Ezen adatokból képes vízszintes távolságot és magasságkülönbséget számolni a műszerhez képest. Ez a műszer képes szabad felületekről is mérni a lézer segítségével, bár ilyenkor a nagyobb szóródás csökkenti a maximális mérési távolságot.



3. ábra

Leica TS06 mérőállomás a mérések közben a 3-es számú buszmegállóban

A pontosabb mérések érdekében lehet használni egy a műszerhez tartozó prizmát is, amelyet egy prizmarúdra helyezve magasabb helyzetbe hozva messziről is látható, alacsonyabb terepakadályokon keresztül is. Ez a módszer nemcsak jobb lézerfény visszaverődéshez vezet, hanem a mérendő pontok pontosabb kijelölésében is segít. Pont ezen elgondolásból tulajdonképpen a prizmás ember az, aki a mérést végzi, mert ő dönti el, mely pontok kerüljenek a felmérésbe, a műszeres „csak” megirányozza a prizmát és elindítja a mérést. A mérést befolyásolja az időjárás is, esőben, vagy magas szállópor koncentráció

mellett jobban szóródik a lézernak a fénye, így gyenge visszaérkező jel mellett nem képes a műszer az adatoknak a pontos kiszámolására, ilyenkor le is tiltja az adott eredményt.

Első lépésben szemrevételezéssel megállapításra került a megfelelő műszer állás, ahonnan a teljes felméréndő terep belátható. Fontos szempont továbbá, hogy az állvány lábai stabilan külső tényezőktől (például le- és felszálló utasok) védve legyenek. Ezután a műszer beüzemelése történt kezdve a bekapcsolástól, az állótengely függőlegesítésén át a tájékozásig. A mérések során egy-egy helyi rendszerben történtek a pontok rögzítései, mivel csak az egymáshoz képesti helyzetük fontos számunkra, nem a globális navigációs rendszerben. Ezért a műszer helyzetét jelöltem ki a helyi koordináta-rendszer origójának és az Y tengely helyzetét pedig a buszmegálló hossz tengelyével párhuzamosan jelöltem ki a mérőállomásban a kezdőirány 0° -ra forgatással.

A mérőállomás beüzemelése után, a további adatfeldolgozás megkönnyebbítésének céljából a megálló hossz tengelyére merőlegesen egyenesek kerültek felvételre referencia pontok segítségével. Ezáltal a későbbiekben, a generált felület könnyebben illeszthető a globális meglévő térképre (google maps). A következő lépésben a felméréndő zónában a mérendő pontok döntő része került felmérésre szisztematikusan, mátrixszerűen. Ezzel biztosítva, hogy egy általános felületet lehessen létrehozni a felmért, amire a következő lépésben a kutatás céljából érdekes alakzatokat (például nyomvályú, nagy kiterjedésű kátyú) lehessen felvenni. A mért pontok kb. 95%-a prizma segítségével került meghatározásra, annak érdekében, hogy pontosan lehessen az alakzatokat körül határoló pontokat felvenni. Csak egyes, a teljes felületet meghatározó pontoknál volt a prizma mellőzve, amire van lehetőség, ugyanis a betonról, aszfaltról a lézernyaláb kellőképpen jó minőségben visszaverődik a műszer felé.

5. Adatfeldolgozás

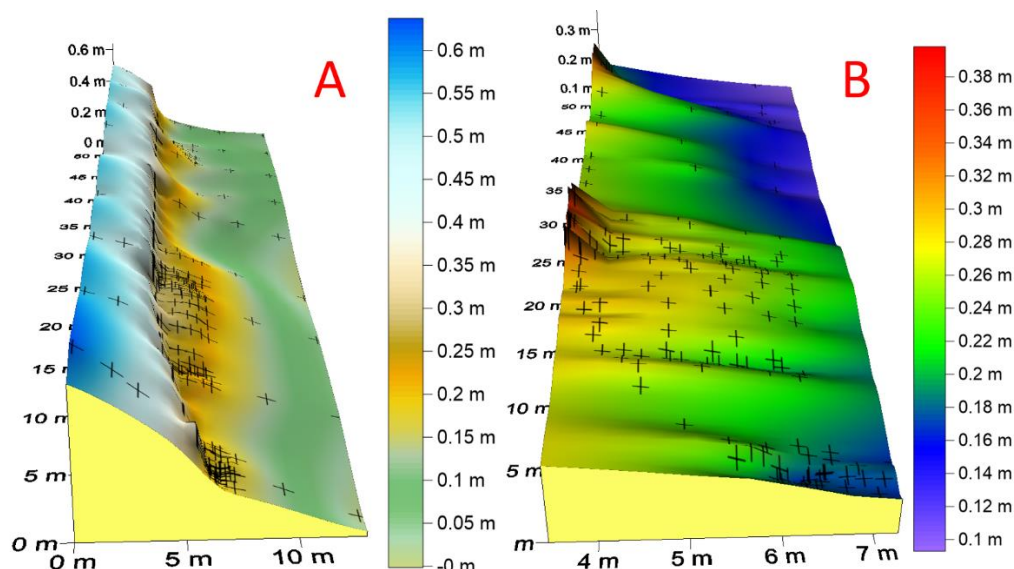
Az adatokat a mérőállomásból kiexportáljuk, majd Excelben előkészítjük azokat további feldolgozáshoz. Az esetleges hibás pontokat (például helytelen prizma tartóléc-magasság beállítás) kiszedjük, és a később általam használt Surfer szoftvernek kedvező sorrendbe rakjuk az adatokkal teli oszlopokat x,y,z koordináta formátumban, majd pedig az egyéb információkat (pontoknak a száma, megjegyzés, stb.) tartalmazó oszlopok. Mint az 4. ábrán látható, vannak olyan területek, amiket kiemelten vizsgálunk, ennek érdekében létrehozhatunk olyan pontcsoportokat, amely nem tartalmazza azokat a pontokat, amik kívül esnek a közletről vizsgált zónából (például a buszmegálló melletti járdaszakasz, vagy a mellette elhaladó úton felvett pontok). Erre azért lehet szükség, mert a felületmodell létrehozásánál alkalmazott interpolációs módszer a külső pontok figyelembevételével a zóna belső felületét is eltorzíthatja nem kívánatos (nem reális) irányba a külső pontok hatására. Ennek következtében egy felmért területről több pontcsoportot is kijelölhetünk és külön-külön ábrázolva kielemezhetjük őket. A különböző megközelítésű ábrák különböző célokat szolgálhatnak.

További módszer, ami megkönnyíti az adatfeldolgozást, hogy a pontokat egy síknegyedbe helyezzük és a legkisebb értéket eltoljuk zérus értékig. Először megkeressük az x, az y és a z koordináták esetében külön-külön a legkisebbet, amennyiben az negatív, az abszolútértékét hozzáadjuk az összes azonos koordináta-hoz, ha pozitív, akkor az értéket kivonjuk. Ennek következtében a koordináták értékei nem lesznek negatívak, és nem lesznek szükségtelenül nagyok.

A Surfer nevű programban Grid »Data menüpontban van lehetőségünk a megfelelő Excel fájlt megnyitni és kiválasztani az ideális interpolációs módszert. Ilyenkor a program egy előre beállított távolságú, egyenközűleg kialakított rácsháló metszéspontjainak az értékeit (jelen esetben magasságot) számolja ki. Kipróbáltam tizenkettő féle lehetőséget a programban, azonban némelyik kifejezetten nem természetes domborzatok modellezésére valók. Néhány egészen jó megközelítést adott a valósághoz képest, ám az apróságokra is figyelni kell, hogy a legjobb modellt lehessen megalkotni. A terepen elkészített fotók alapján össze is hasonlítottam az elkészült modelleket. Ennél a feladatnál a legmegfelelőbb eredményt krigeléssel és háromszögeléssel kaptam. A hosszanti szerkezeteknél a krigelés kifejezetten nem tudott jó eredményt produkálni, mert a felmért pontok között megpróbálta lankásan kisimítani a felszínt, ahelyett, hogy tartotta volna a hosszanti formát. Az ilyen helyzetekben a háromszögelést lineáris interpolációval választottam ki, amely egészen kiválóan alkotta meg a hosszanti szerkezeteket.

5.1. Az 1. buszmegálló felszínmodellje

A 3. ábrán az 1-es buszmegállóból rögzített pontok által kapott felszínmodell látható. A magasabban lévő terület (kék) a járda, a zöld lentebb elhelyezkedő az út, amíg a köztes rész maga a megálló. A járdához és az úthoz tartozó pontok kivétele után az interpolációs módszerekkel valóságosabb felszínt kapunk (4/B. ábra).



4. ábra

Az 1. buszmegálló környezetének felszínmodelljei. A: a teljes felmért terület (járda + buszmegálló + út) modellje; B: a buszmegálló felszínmodellje

Az elkészített felszínmodellen is jól kivehetőek a valóságban jelentkező problémák. A 5/C. ábrán megfigyelhető, hogy az a hely, ahol a buszoknak az első tengelye megáll, keresztirányban a terhelés hatására megsüllyedt a fedőréteg. A különböző felszínnel rendelkező (aszfalt-térkő) felületek [8] találkozásánál (5/A-B ábra), annak vonala több helyen megrogyott és a tönkremenetel elkezdődött.

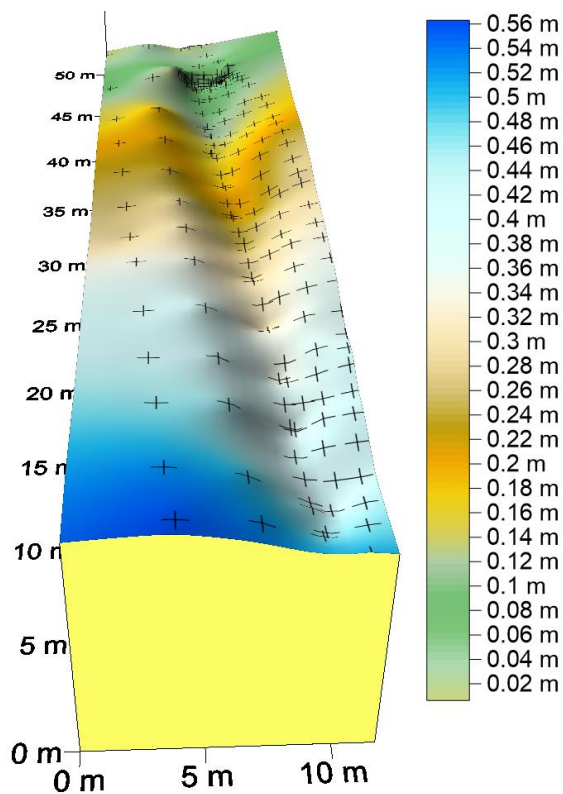


5. ábra

Az 1. buszmegállóban készített fotók a deformációkról

5.2. A 2. buszmegálló felszínmodellje

A második felmért területen a megálló térköves része és a forgalmi sáv aszfaltos felületeinek határán jól kivehető térszínkülönbség húzódik (6. ábra). A környezet domborzati adottságai miatt, a felszín lejtésében a kialakult vályú megvezeti a csapadékvizet, így az a megálló elejénél kialakult gödörben (7. ábra) gyűlik össze, ahol az alépítmény alámosásával és a téli időszakokban fagyással gyengíti tovább az útszerkezetet.



6. ábra

A 2. buszmegálló felszínmodellje krigeléssel a bemért pontok helyzetével

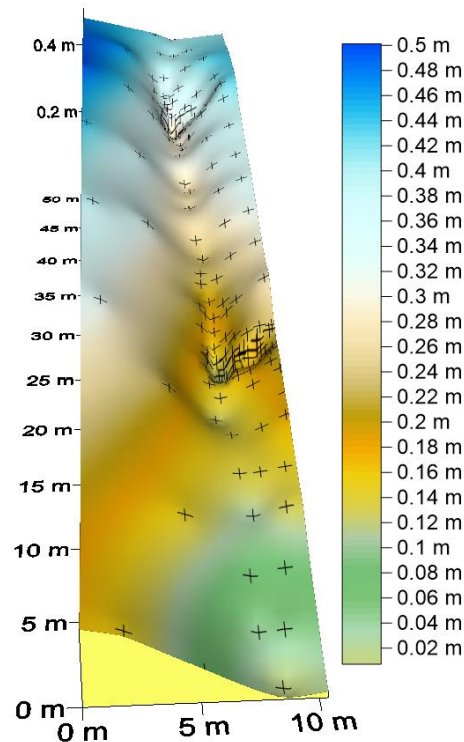


7. ábra

A második buszmegállóban készített fotó egy deformációról

5.3. A 3. buszmegálló felszínmodellje

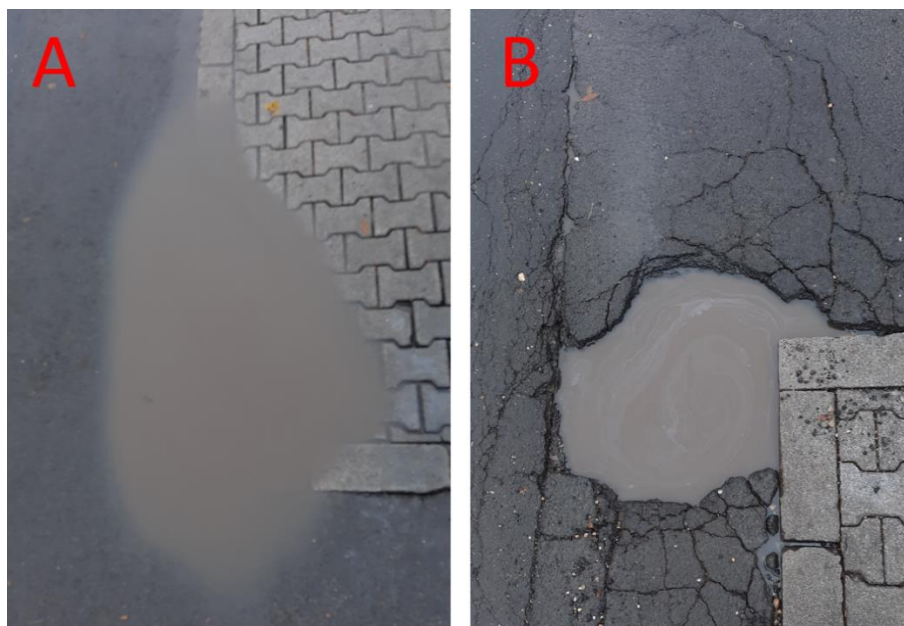
A következő megállónál is a különböző burkolatok határán keletkeznek a legjelentősebb deformációk, ahogy az a felszínmodellen is jól kivehető (8. ábra).



8. ábra

A 3. buszmegálló felszínmodellje krigezással a bemért pontok helyzetével

A 9. ábrán látszik, hogy jelentős süllyedések keletkeztek a térkövezés sarkainál. A kifelé vezető saroknál pedig már egy nagyobb kátyú is tátong, amely nagyon gyorsan elkezdhet növekedni gépjárműforgalom és a fagyás okozta erózió miatt.

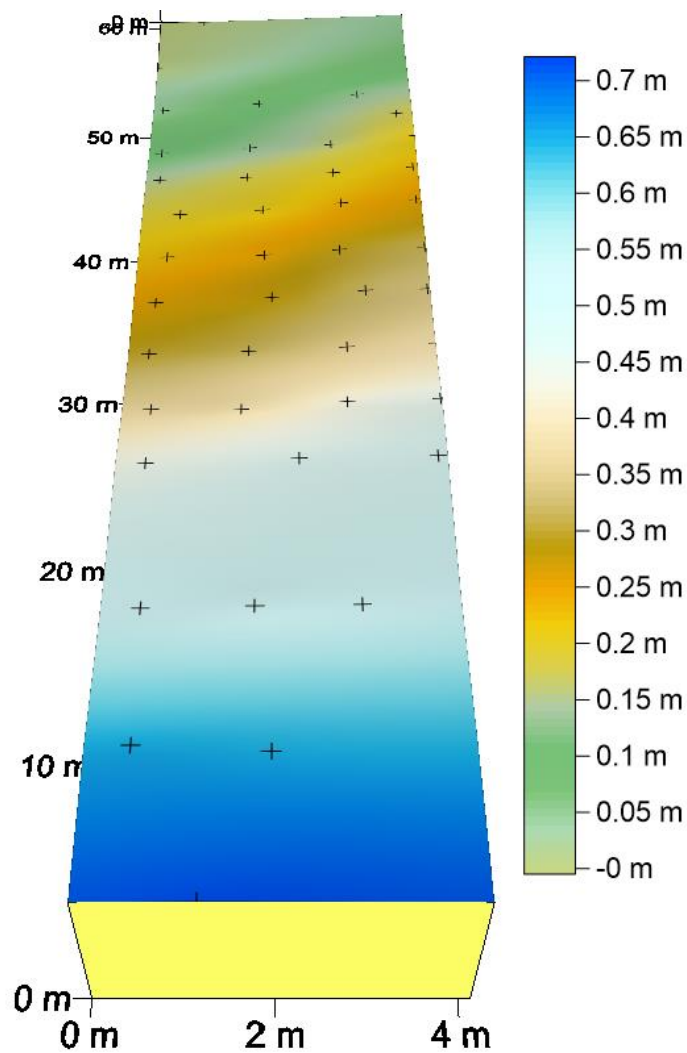


9. ábra

A harmadik buszmegállóban készített fotók a deformációkról

5.4. A 4. buszmegálló felszínmodellje

A negyedik megállónak a felmérése közben nem talákoztunk olyan fedőréteg hibával, amit érdemes lett volna a mintavételezett pontok besűrítésével felvenni (10. ábra). Megállapítható, hogy ez a terület kiváló állapotban van, és mintaként használható a többi megállóhoz képest.

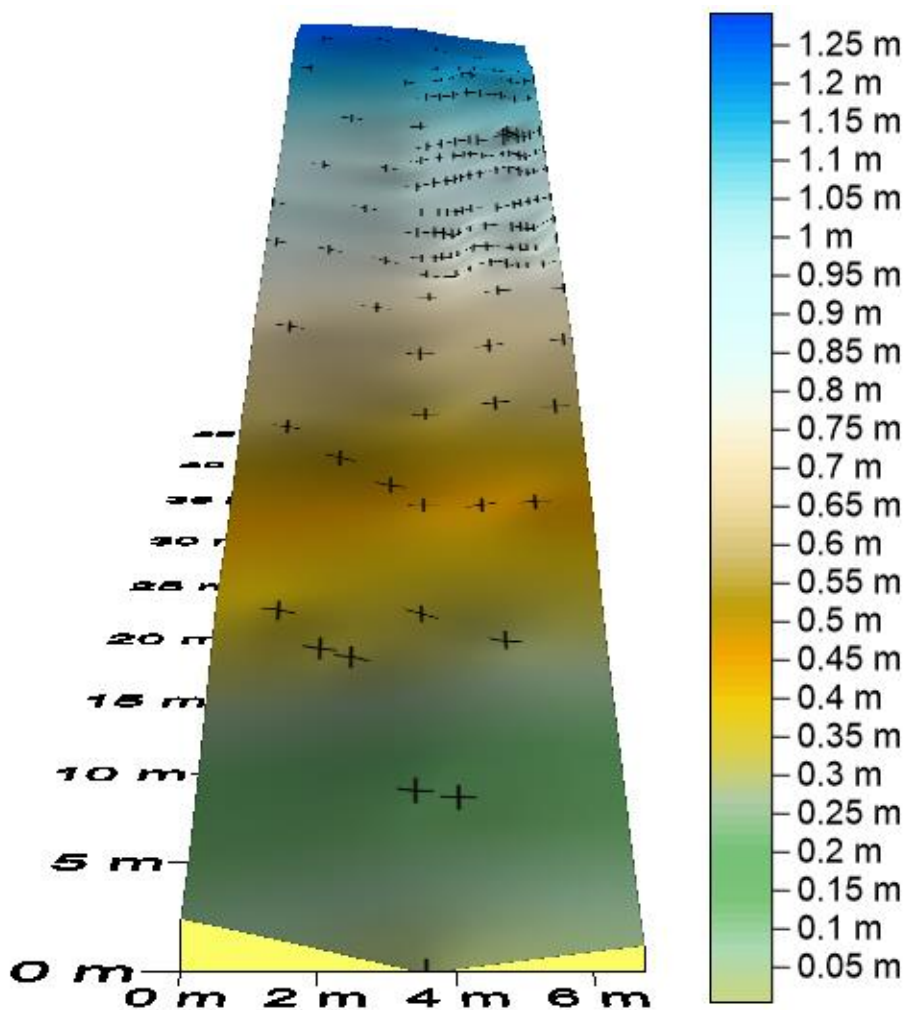


10. ábra

A 4. buszmegálló felszínmodellje krigeléssel a bemért pontok helyzetével

5.5. Az 5. buszmegálló felszínmodellje

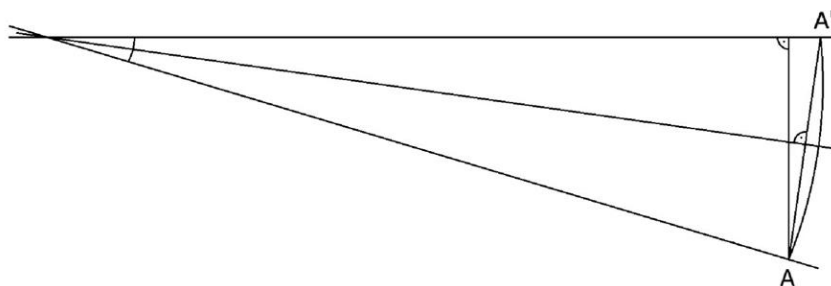
Az. 5. buszmegállóban felmértem az utat jellemző pontokkal és a deformált buszmegálló környezetét sűrített ponthálóval, melynek eredménye a 11. ábrán látható.



11. ábra

Az 5. buszmegálló felszínmodellje krigeléssel a bemért pontok helyzetével

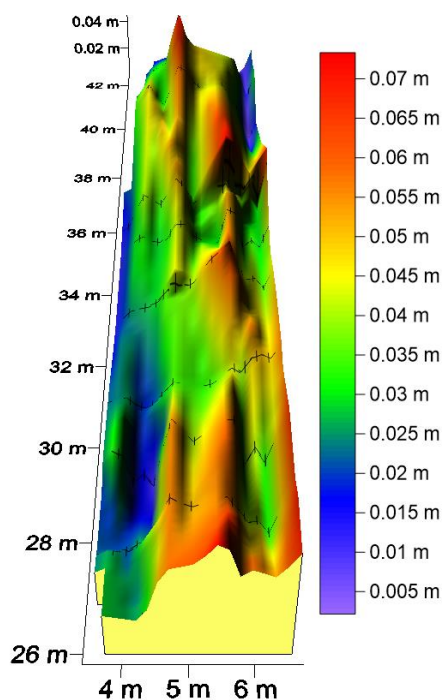
A himbánál található megállónak van egy konstans hosszirányú emelkedése (~1,2 m), a domborzati viszonyokból fakadóan. A kutatás szempontjából érdekes, a torzulásokból eredő magasságkülönbségek nem elég jelentősök ahhoz, hogy a természetes emelkedés mellett kitűnjenek. Ezért 2 db, a hosszirányú magasság növekedés tendenciájába jól beleilleszkedő pontok alapján meghatároztam a trendvonalát a síknak, melynek egyenletét rögzítettem. Ezután egy olyan egyenest vettem fel, mely vízszintes, illetve metszi az első trendvonalat. Egy adott pontban a két egyenes függőleges távolságával kell megnövelni (vagy csökkenteni) az első egyenes környezetében lévő pontok magasság koordinátáját (12. ábra). Ezt követően a második egyenesen kompenzáltam a hosszirányú torzulást. Az **A** pont **A'** elforgatott képének y, z koordinátáit pár egyszerű geometriai számítással megkaptam (13 ábra), amiket excel-ben a teljes pontfelhőre kiterjesztettem.



12. ábra

A domborzat megdöntése a trendvonal alapján a torzulás jobb láthatósága érdekében

A 13. ábrán jól kivehető az autóbuszok által okozott periodikus, térben állandó terhelés alatt nyomvályúsodás jelensége. A buszok hátsó (adott esetben középső) tengelyén kettő-kettő kerékpár helyezkedik el. Ennek köszönhetően, ahogy a modellen is kivehető, 6 gyűrűdési gerinc alakult ki. A valóságban már kis területeken (<1,5m²) próbáltak beavatkozni, ezért nem konstansok a megálló teljes hosszában a vályúk (14. ábra).



13. ábra

Az 5. buszmegállónak a deformált zónájának egy vízszintes síkba forgatott felületmodellje



14. ábra

A második buszmegállóban készített fotó egy deformációról

6. Georadar mérések

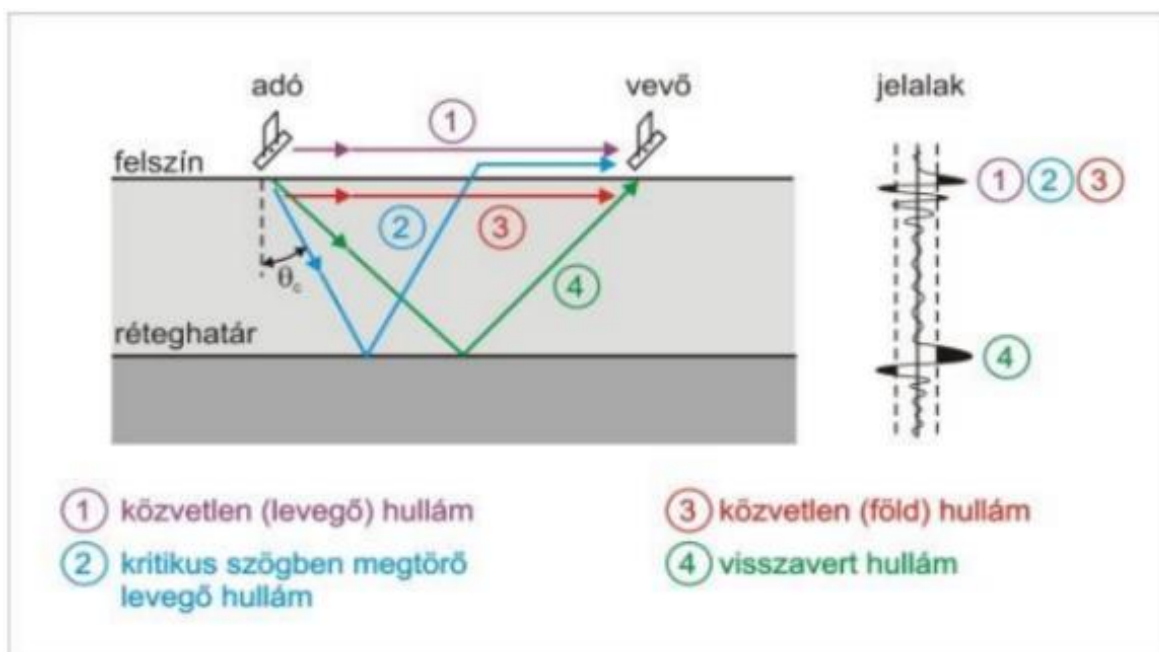
A részletesebb állapotfelmérés érdekében georadarral is felmértem az 5-ös számú (tanulmányi épületek) buszmegállót (15. ábra). A leglátványosabb felszíni elváltozások itt figyelhetők meg, ezért a többi megállót nem vizsgáltam meg ezzel a módszerrel jelen tanulmányban, amelyet később igény szerint még elvégezhetek. Jelen mérésnél 500 MHz frekvencián üzemelő földradart használtam. Így kellő mélységbe (1-2 méter) be tud hatolni az elektromágneses hullám úgy, hogy a visszaverődéseket a zajtól el lehessen különíteni és kellően apró változásokra is elegendő felbontása legyen az eredményeknek. Első lépésben a megálló középső, hossz tengelyében alakítottam ki egy szelvényt, majd ezzel párhuzamosan az út közép tengelyében is végrehajtottam egy referencia mérést. Ezt követően az eddigi szelvényekre merőlegesen 5 darab szelvényt vettem fel, amikkel az oldalirányú torzulásokat tudtam megvizsgálni.



15. ábra

A szerző a georadarral a felmérés közben

A berendezés lehetővé teszi, hogy optikailag átlátszatlan anyagokon (pl. fal, kő, talaj) átlássunk és a felszín alatti különböző rétegek elhelyezkedéséről kapjunk információt. A mérőműszer 2 főrészből tevődik össze egy adóból és egy vevőből. Különböző adók segítségével 100 MHz-től 2 GHz-ig terjedő tartományban vagyunk képesek méréseket végezni. Minél nagyobb frekvenciát alkalmazunk annál pontosabb és nagyobb felbontású képet alkot a berendezés, viszont a behatolási mélység is jelentősen csökken a gyors energiaelnyelődés miatt. A megfelelő hullámtani ismeretek segítségével lehet feltérképezni az általajt. A kibocsátott hullám 4 jellegzetes terjedési iránnyal rendelkezik (16. ábra). A vevőhöz elsőként csupán a levegőben terjedő rész jut el. Továbbá a hullám közvetlenül a föld felszíne mentén is terjedhet a vevőig, ami közvetlenül az adóból lép ki, vagy egy közeg határáról visszavert hullám a felszínt a kritikusnál nagyobb szögben éri el ezáltal az út további részét a felszín mentén teszi meg. A negyedik lehetőség szerint a közeget határról visszavert hullám közvetlenül jut el a vevőhöz.



16. ábra

A georadar jelének visszaverődési elve felszín alatti réteghatárról [9]

Ezek a lehetőségeken kívül gyakorlatilag bárhol, akár felszíni tereptárgyakról visszaverődhetnek a hullámok, továbbá idegen forrásból származó azonos frekvenciájú jelek is manipulálhatják a végeredményt. Ennek a kiküszöbölése érdekében úgynevezett „pajzs” védi a műszert a nem kívánatos irányokból érkező hullámok ellen [10], bár ez nem minden georadar tartozéka. A különböző közegek eltérő vezetőképesség és/vagy dielektromos állandója (1. táblázat) miatt, a terjedési sebesség és az egységnyi út alatt veszített energia mennyiség is eltérő.

1. táblázat
Különböző anyagok georadarhoz köthető anyagi jellemzői [9]

Anyag	EM hullámsebesség v [m/ns]	Elektromos vezetőképesség σ [mS/m]	Dielektromos állandó ϵ [F/m]	Csillapítás [db/m]
Levegő	0,3	$5 \cdot 10^{-12}$	1	0
Édesvíz	0,033	0,02 – 2	81	0,1
Száraz homok	0,13 - 0,15	0,14	3 – 5	0,01 – 0,03
Nedves homok	0,05	6	20 – 30	0,3 – 3
Agyag	0,06	100	5 – 40	1 – 300
Mészkö	0,12	0,5 – 2	4 – 8	0,4 – 2
Gránit	0,12	0,01 – 1	7	0,8
Beton	0,13	2	7	1,3
Aszfalt	0,15	0,01	3 - 4	0,01

Két réteg találkozásánál van esély a kibocsájtott hullámnak a visszaverődésére, ez a reflexiós együtthatótól (R) függ. Maga a reflexió a rétegek elektromágneses impedancia kontrasztjától függ, az pedig a dielektromos állandótól (1. egyenlet) [11].

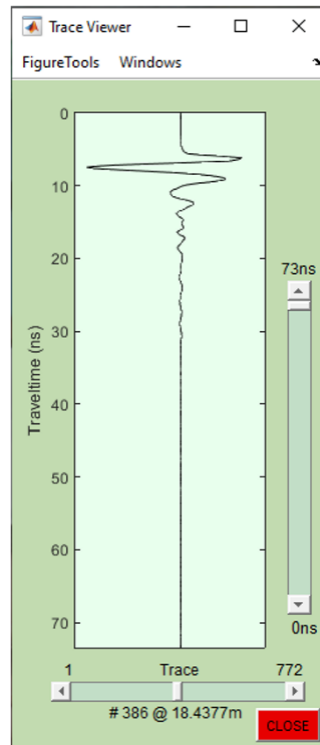
$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \approx \frac{\sqrt{\epsilon_{r2}} - \sqrt{\epsilon_{r1}}}{\sqrt{\epsilon_{r2}} + \sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad (1)$$

Jellemzően a magas víztartalommal rendelkező anyagoknak nagy a dielektromos állandója, az agyagos közeteknek pedig a jelelnyelődési képessége. Emiatt nem igazán lehetséges az aszfalt alatt lévő agyagos rétegek mélyebb felmérése a georadar segítségével. A beérkező teljes jelerősség egy része (R arányában) verődik vissza az adott réteghatárról, a többi része pedig továbbhalad a következő rétegbe.

6.1. A georadar által rögzített eredmények feldolgozása

A felmért nyolc darab szelvényt az Andreas Tsanis által fejlesztett ingyenesen használható MatGPR alkalmazásban [12] dolgoztam fel, amely egy matematikai programozást lehetővé tevő Matlab környezetben futtatható programkód.

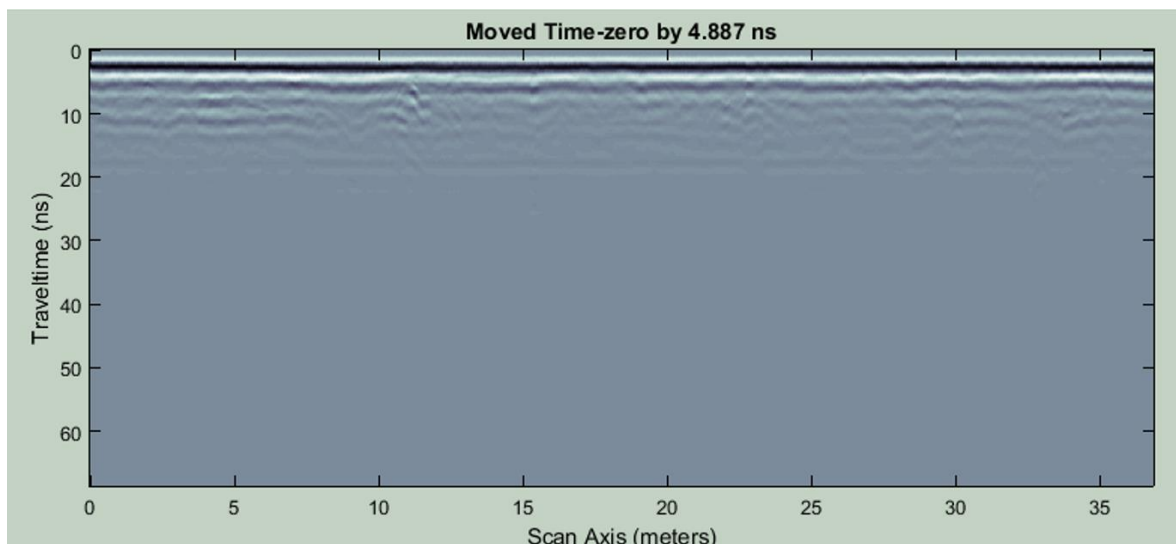
A vevő, a hullám kibocsátásától kezdődően méri, hogy mikor és milyen amplitúdójú hullámok érkeznek vissza (17. ábra). A jelnek az elejét el is távolíthatjuk, ha az pusztán az adó és a felszín közti levegőrétegen keresztül haladt át. Ez a 18. ábrán a felső függőleges vonalkának az eltávolításával oldható meg, egyszerűen oda kell klikkelni arra az időpontra, ahol a vágást el szeretnénk végeztetni az algoritmussal.



17. ábra

A georadar vevője által rögzített jel amplitúdója egy mért helyen

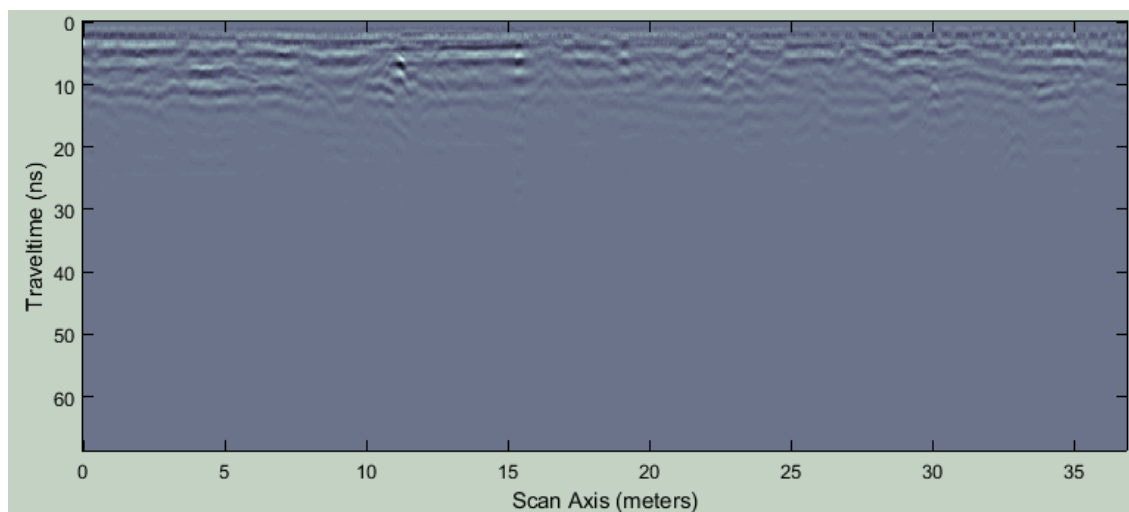
A georadar mozgás közben az egyik kerékre szerelt távmérőnek köszönhetően képes arra, hogy ezeket a diagrammokat a megtett táv arányos megtartása mellett egy képen ábrázolja (18.ábra). Ennek eredményeként olyan képet kaphatunk, ahol a szín intenzitása a beérkező jel erősségét jelzi, a függőleges tengelyen annak visszaérkezési ideje látható, a vízszintesen pedig, a valóságban a műszerrel megtett táv van feltüntetve.



18. ábra

A légrés eltávolítása után egy georadarral felmért szelvény képe (mintaszelvény)

A program képes felismerni a diagram egészen, konstans módon megjelenő háttérzajt, melyet el lehet távolítani (19. ábra). Ebbe beletartoznak a felszínről visszaverődő nagy amplitúdójú hullámok is.

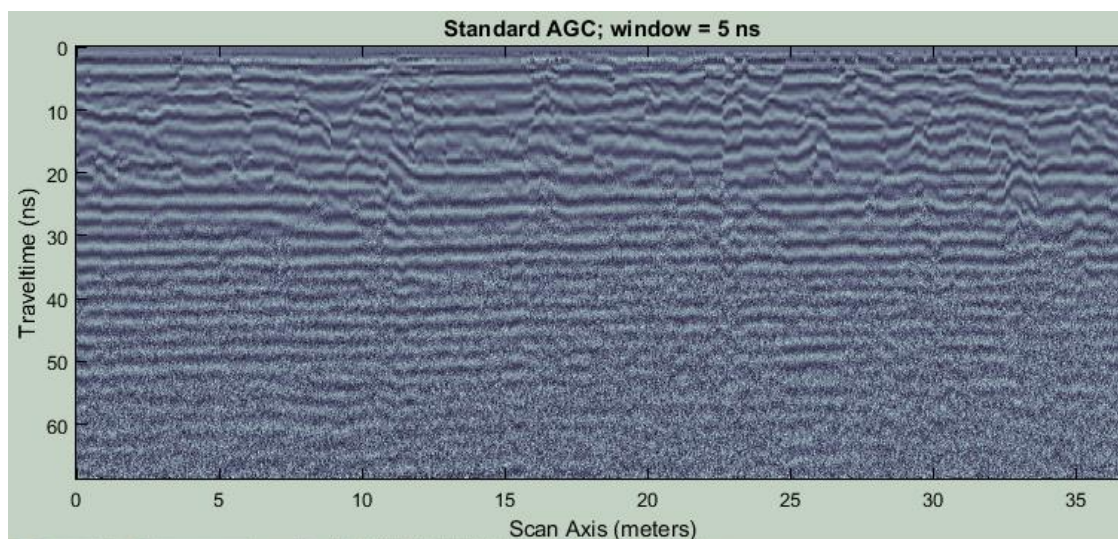


19. ábra

A háttérzaj eltávolítása után a mintaszelvény

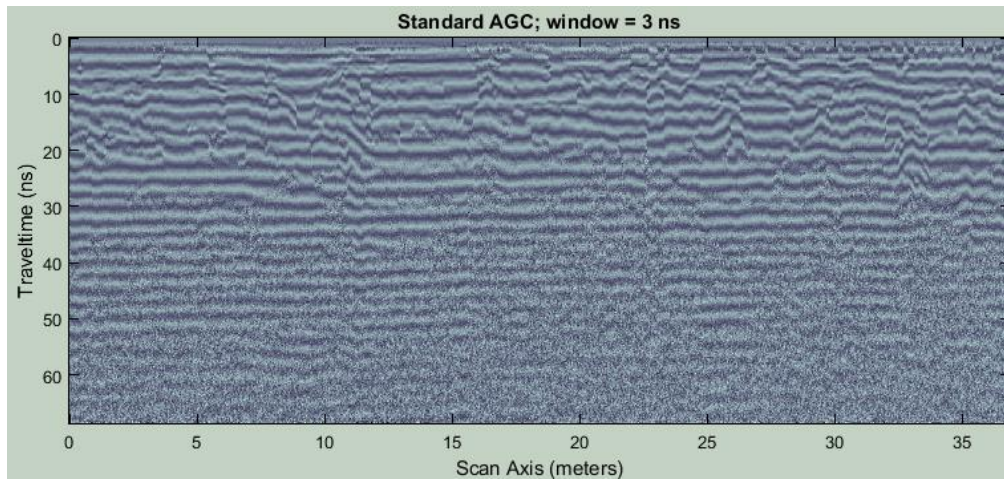
A programban lehetőség van arra, hogy egy AGC (Automatic Gain control=automatikus erősítésszabályozás) nevű funkcióval, különböző időintervallumok megadásával a különböző erejű tartományok egy szintre hozhatóak, ennek eredményeként konstans eredményt kaphatunk. Alább 5 nanoszekundumtól 2 nanoszekundumig (mintavételezési ablak = 5 ns, 3 ns és 2 ns) terjedő feldolgozási eredményeket láthatunk (20, 21 és 22. ábra).

Befejező lépésként, ha már egyértelműen beazonosítható az, hogy milyen időtartam után érkeznek be olyan jelek, melyeknél a háttérzaj már a hasznos hullám amplitúdójához képest nem elhanyagolható/kiszűrhető, ennek eredményeként használhatatlan az eredmény, akkor ez az időszáv mentén le lehet vágni a diagrammot.



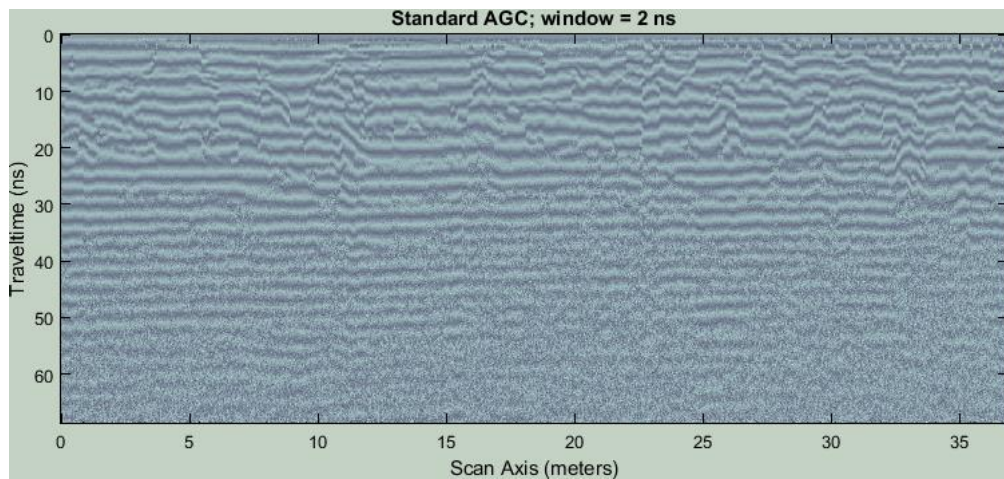
20. ábra

A mintaszelvény felerősítése az AGC segítségével 5 ns-os időablakkal



21. ábra

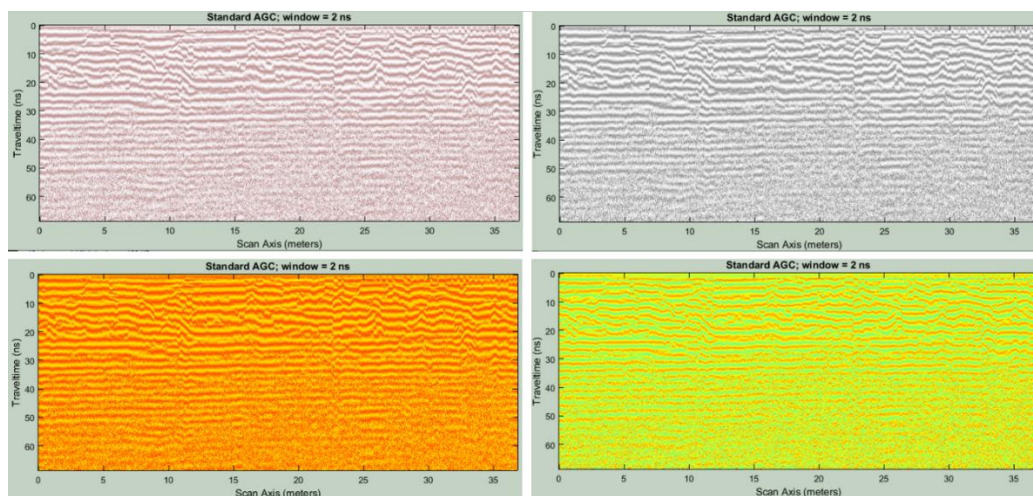
A mintaszelvény felerősítése az AGC segítségével 3 ns-os időablakkal



22. ábra

A mintaszelvény felerősítése az AGC segítségével 3 ns-os időablakkal

A jól láthatóság érdekében meg lehet változtatni a megjelenítésnél alkalmazott színskálát. Ezáltal néhány esetben, amikor más jellegű felmérések állnak rendelkezésre és más hullámjellemzők kiemelése fontos, ezek megváltoztatása lehetséges (23. ábra).

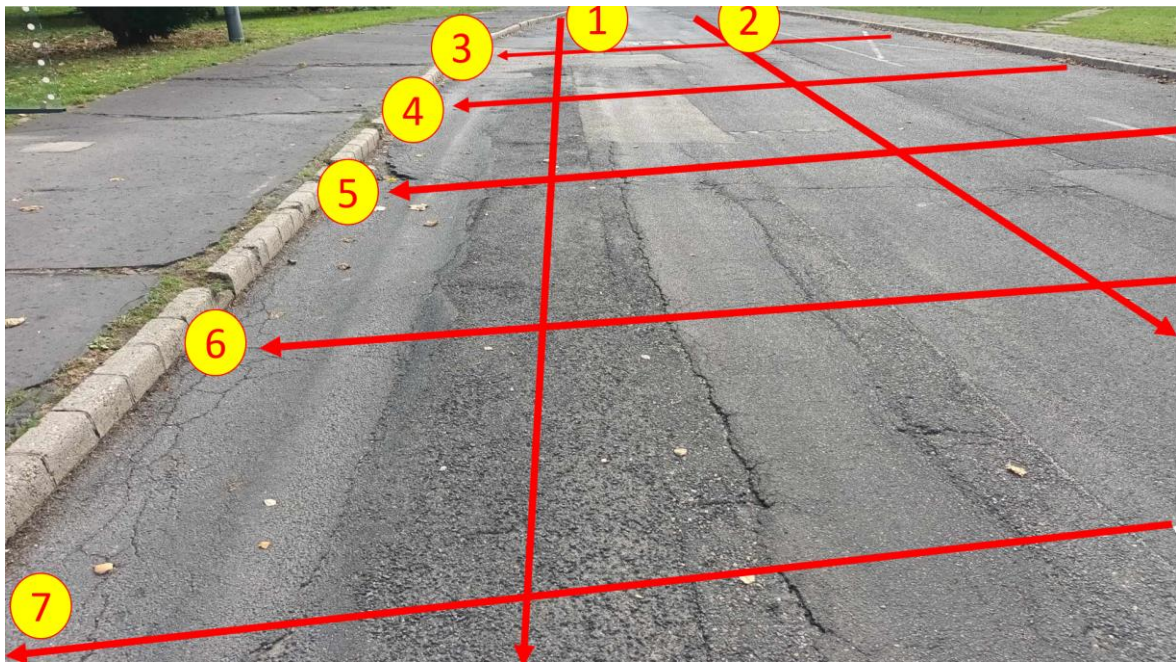


23. ábra

A mintaszelvény különböző tónusú színezésekkel

6.2. A georadar által rögzített eredmények kiértékelése

A hét darab általam rögzített szelvény elhelyezkedését a 24. ábrán mutatom be.



24. ábra

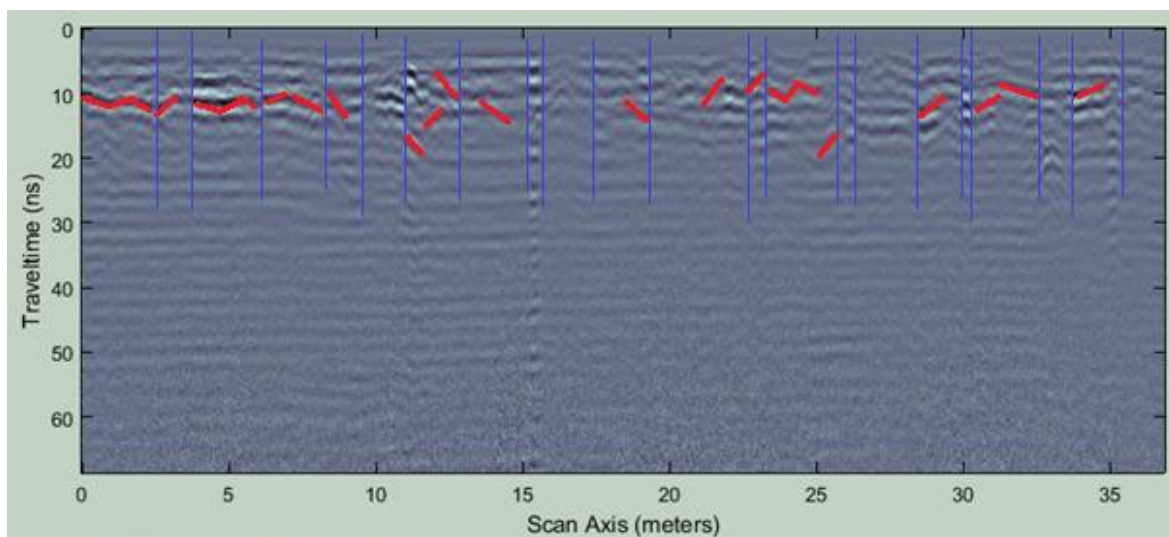
A georadar szelvények elhelyezkedése a terepen

A következő szelvények az „inverse Power Decay” elnevezésű jelkiegyenlítési módszerrel jöttek létre, mert az AGC-nél jobb kiemelési hatása volt ezeknél a szelvényeknek.

A szelvényeken a függőleges tengely a jelek beérkezési idejét mutatja. Az 1. táblázatban látható, hogy körülbelül 0,05-0,15 m/ns sebességgel terjedhet a vizsgált zónában a mérőjel. A felsőbb kompaktabb részekon gyorsabban, lentebb lassabban. Léteznek előre modellező szoftverek, ahol a modellparaméterek megadásával meg lehet vizsgálni és iterációs számításokkal beállítani a feltételezhető rétegek elhelyezkedését, vastagságát, tulajdonságait, de ezen tanulmány során erre nem került sor. Az ábrákon látszik, hogy nagyjából 25 ns-ig érzékelhető a háttérzajtól elkülöníthető beérkezési jel. Amennyiben 0,1 m/ns-os átlagsebességgel számolok, akkor az 2,5 méter mélységet jelent, ami persze egy erős, de jól közelítő becslés.

Az alábbi szelvények a 5-ös számú buszmegálló kereszt tengelyében készültek, egymástól egyenlő távolságra. A legfelső (aszfalt) réteg alatt jól kivehető 2-3 további egységként elkülönülő réteg. Jelen mérés körülbelül 1,5-2 méteres mélységben képes képet alkotni az út szerkezetéről. Egy megfelelően előkészített szelvényen kivehetőek, hogy a felszínen jelentkező egyenetlenséget az alsóbb rétegekben is jelentkeznek.

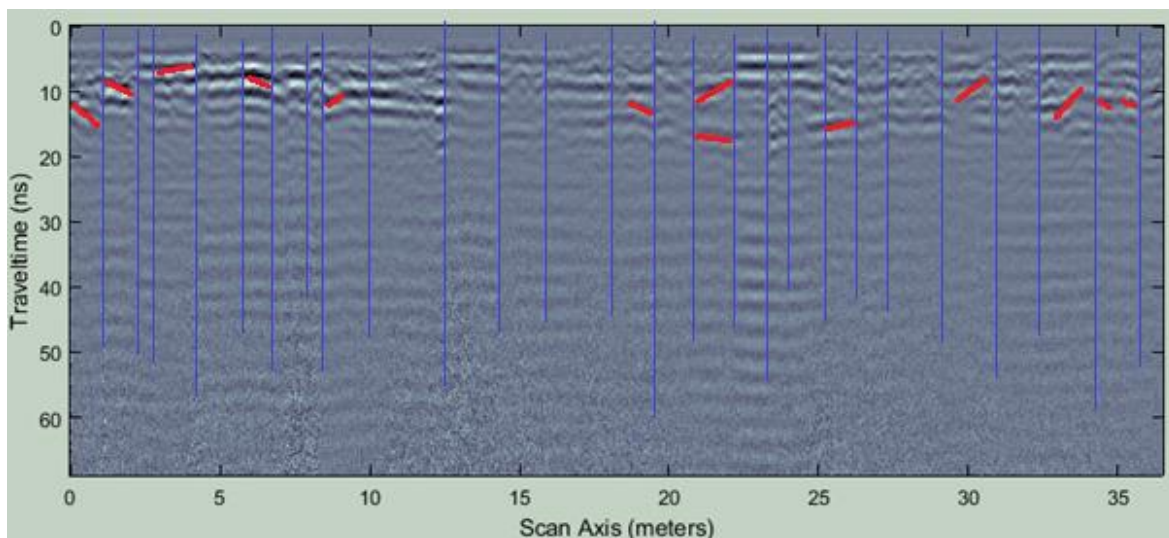
A 25. ábrán látható, hogy a 37 méter hosszú szelvény mentén inhomogén a rétegek elhelyezkedése, sok törés és ferdeség található a felvételek alapján, melyeket kék és piros vonalakkal jelöltem meg.



25. ábra

A buszmegálló hossz tengelyén mért és kiértékelt 1. georadar szelvény

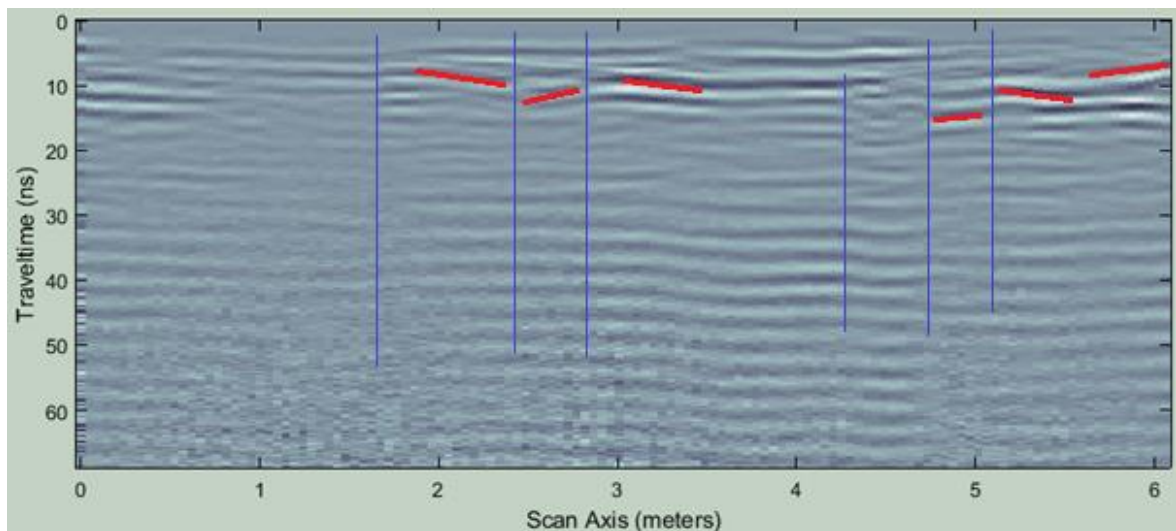
A 26. ábrán, ami már nem a buszmegálló alatt futott, hanem az úton hasonló struktúrák is felfedezhetőek, mint a 25. ábrán, de látszik, hogy kevésbé deformálódott, mint a buszmegálló környezetében.



26. ábra

A megálló melletti forgalmisáv hossz tengelyén mért és kiértékelt 2. georadar szelvény

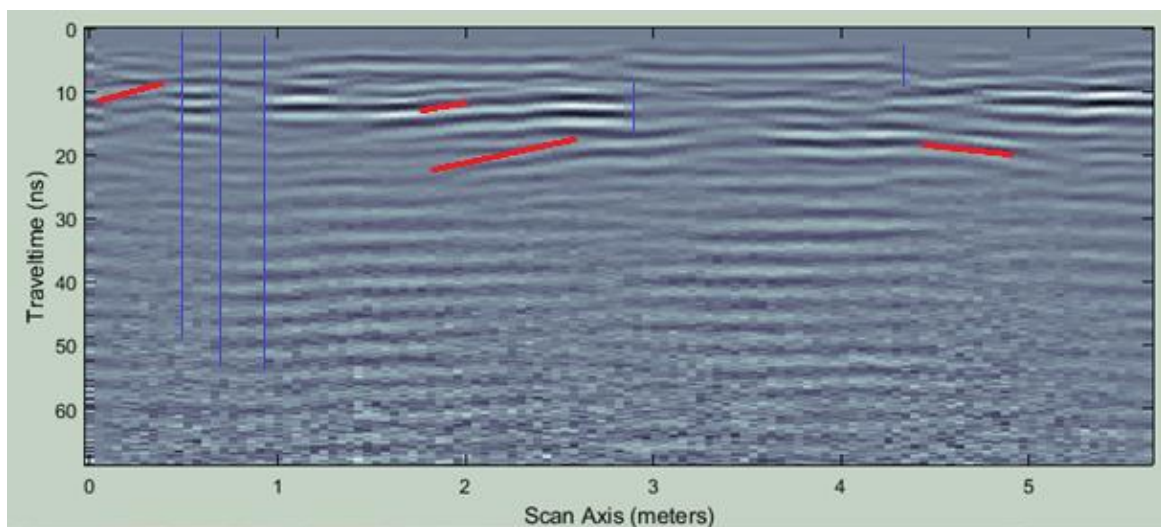
A 27.-31. ábrákon megfigyelhető, hogy a szelvények első métereinél kevésbé jellemző a rétegek változékonysága, míg a vége felé, ahogy elér a buszmegállóig hirtelen meggyarapodnak a rendellenességek.



27. ábra

A megálló hossz tengelyére merőleges 3. georadar szelvény

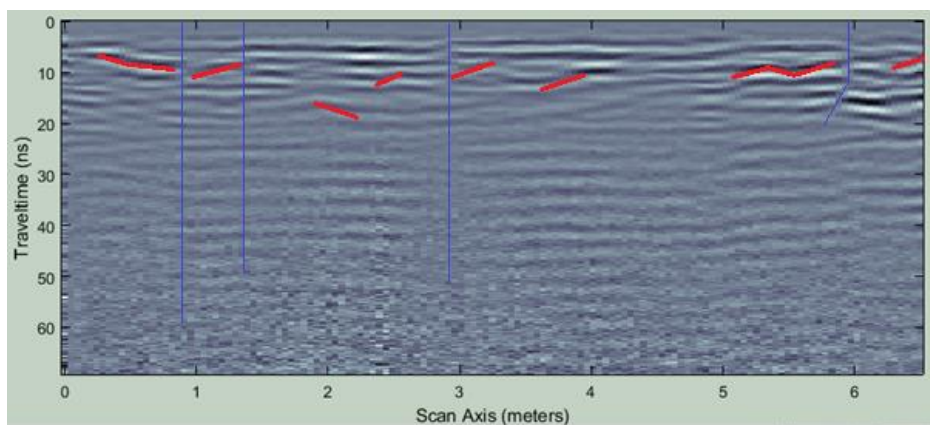
A 28. ábrán, ahol már a buszmegállónak a fő deformációs zónájához közelít a felvétel enyhe törés figyelhető meg az út felé a szelvény közepén.



28. ábra

A megálló hossz tengelyére merőleges 4. georadar szelvény

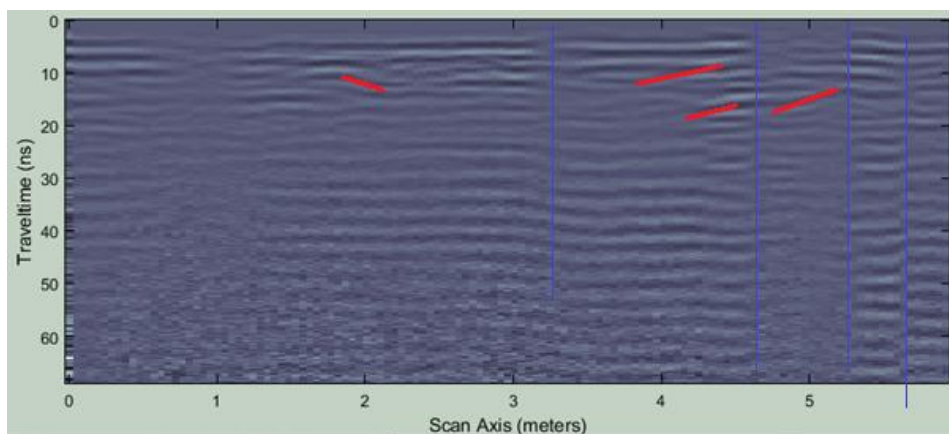
A 29. ábrán megfigyelhető, hogy a szelvény végénél (5-6,5 m) egészen töredezett a rétegek elhelyezkedése csakúgy, mint a felszínen. A 3. méternél is egy vetődés látható, pont ahol az úttal találkozik a buszmegálló, valószínűleg az alépítmény különbözik a két zóna között.



29. ábra

A megálló hossz tengelyére merőleges 5. georadar szelvény

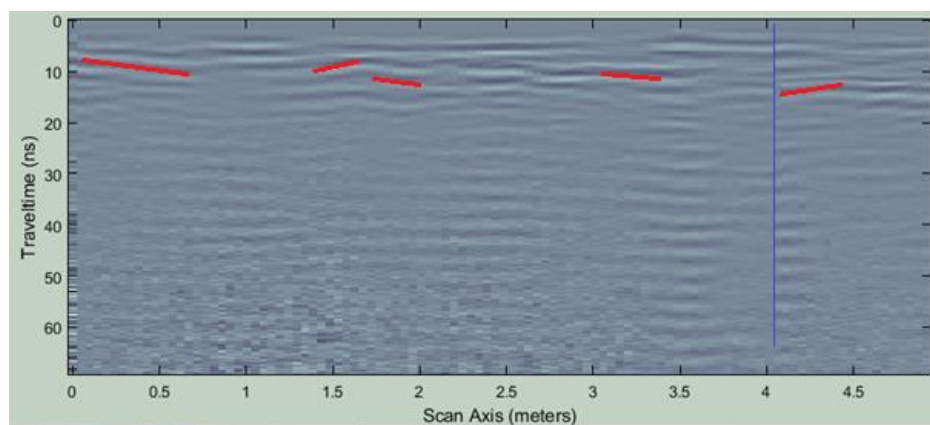
A 30. ábrán megfigyelhető 4,7 métertől 5,2 méterig egy szakasz, ahol fokozatos törés látható, ahogyan a buszmegállótól az út irányába leszakadnak a rétegek. De ugyanúgy a 3,2 méternél is megfigyelhető, hogy az út és a buszmegálló csatlakozásánál is jelen van egy törési vagy alépítménybéli különbség határzóna.



30. ábra

A megálló hossz tengelyére merőleges 6. georadar szelvény

A 31. ábra már a buszmegállóban a felszíni deformációs zóna elhelyezkedése után készült, így érzékelhető, hogy kevésbé deformált az alépítmény is.



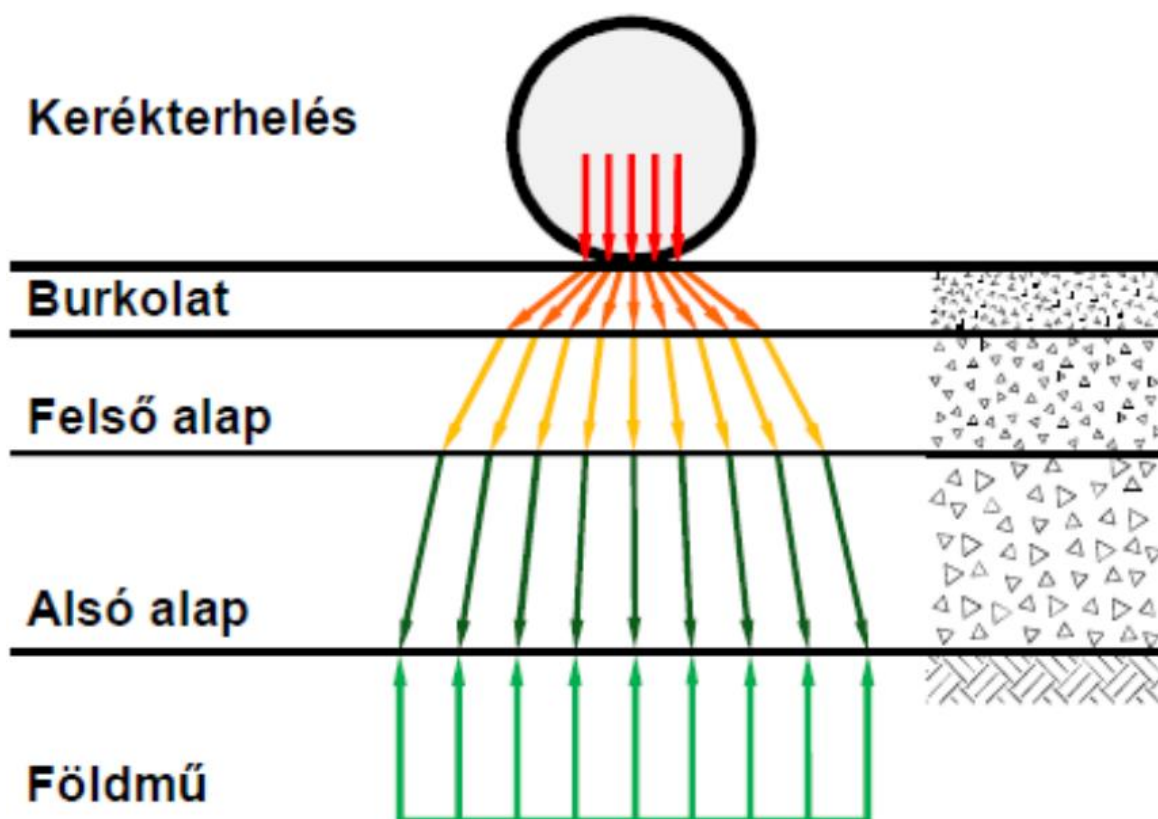
31. ábra

A megálló hossz tengelyére merőleges 7. georadar szelvény

7. Konklúzió, javaslatok

A mérőállomással és a georadarral elvégzett mérések után megállapítható, hogy jellemzően két típusú elváltozás van jelen.

A buszok kerekeinek közvetlen terhelésének következtében, azok vonalaiban kialakulnak úgynevezett nyomvályúk. A megállóban való tartózkodás esetén statikus, ismétlődő nyomás esetén merőleges völgy alakulhat ki (5. ábra), vagy a dinamikus terhelés alatt veszi fel annak alakját az út (7. ábra). Ennek oka lehet, hogy a terhelés hatására olyan feszültségek keletkeznek, melyek a felső rétegekben jelentős oldal irányú komponenssel rendelkeznek (32. ábra). Bár a rugalmas típusú burkolatok képesek felvenni a terhelést, ha gyenge az alépitmény kialakításán, maradandó elváltozás következhet be. A deformálódott alap egyre gyengébb, és felgyorsul az állagromlás folyamata. Egy ponton túl nem képes a burkolat a gyűrődés mértékét felvenni és repedések alakulnak ki. A feldarabolódott felső réteg nem képes a pontszerű terhelést eloszlatni, hogy az alap kisebb szilárdságú rétegei nagyobb keresztmetszeten vezessék el a feszültségeket, ez további állagromláshoz vezet. Továbbá, ha nyílt felszín alakul ki, akkor a környezet eróziós hatásai is erősebben fogják érinteni az útszerkezetet.



32. ábra

A kerékterhelés hatására az alsóbb rétegek felé létrejövő feszültségeloszlások [13]

A másik általam megfigyelt jellegzetes elváltozás a különböző felülethatárokhoz köthető. A felmért buszmegállók közül 4 rendelkezik térköves burkolattal, ahol a forgalmi sáv határán lévő illesztés süllyedt meg, de a maradék 1-nél is megfigyelhető a jelenség, ahol utólagos beavatkozás történt. A georadaros szelvényeken jól látható, hogy a süllyedések és a beavatkozások közvetlenül egymás mellett helyezkednek el. A szelvényeken kivehető, hogy hirtelen és drasztikus változás van ezeken a helyeken a rétegekben. Az előző esetben láthattuk, hogy oldal irányú erők is megjelennek a szerkezetben, egy ideális kialakítású pályaszerkezet széleinél ezek elvezetésének érdekében, minden réteg szélesebb, mint a felette lévő. Egy keresztshelvényen kivehető a prizma szerkezete (31., 32. ábrák), ahol az oldal irányba is terjedő erők nem nyomják szét a pályát. Az általam vizsgált helyeken valószínűleg a beavatkozásokkal gyengítették az alapozást [14]. Ilyen esetekben, ha még a megfelelő technológiákat is alkalmazzák az újra alapozásnál, de nincsenek tekintettel a környező alsó rétegek helyzetére, akkor az eredmény képes függőleges teherhordásra, de a csatlakozó felületeknél az ébredő oldal irányú erőket nem képesek megfelelő módon elvezetni az alapok. Ennek következtében, azok oldal irányban benyomódnak. A keletkező anyaghány miatt a felsőbb rétegek berogynak, és kialakul a süllyedés. Ennek elkerülése érdekében érdemes lenne egyidőben kialakítani az út teljes szélességében és hosszában az új alapot, és csak ezután kialakítani a különböző burkolatokat.

Hivatkozások

- [1] Balog Péter – A közösségi közlekedési sávok pályaszerkezeteinek tervezési problémái (2017). BME, Út és Vasútépítési Tanszék, TDK dolgozat
- [2] Gyabronka Péter – Villamos- és autóbuszmegállók (2015). BKK Városfejlesztési tervezési útmutató
- [3] Farkas J. és Józsa V. – Alapozás (2014) BME Geotechnikai Tanszék BSc képzés tananyag
- [4] Gulyás András – Utak tervezése, építése és fenntartása (2018). Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar oktatási segédlet
- [5] Székács N. és tsai. – A legkorszerűbb anyagok és technológiák a repülőtéri munkáknál (2018). Beton szakmai lap augusztusi szám
- [6] Tervezési útmutató – Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének alternatív módszere (2016). Útügyi lapok. <https://utugyilapok.hu/wp-content/uploads/2015/11/Tervez%C3%A9si-%C3%BAtmutat%C3%B3.pdf>
- [7] Sopro Hungária Kft. – Térburkolás magán- és közterületeken (2017) https://www.sopro.com/fileadmin/customer/productdata/hu_HU/documents/Sopro_kezikonyv_13_terburkolas_magan_es_kozteruleteken.pdf letöltés dátuma: 2023.11.05.
- [8] Csorba Gábor – Beton térkövek megfelelése 1. (2020).
- [9] Nagy P. és Taller G.: Épített Szerkezetek Kutatása Radarral (2013). <https://docplayer.hu/9830555-Epitett-szerkezetek-kutatasa-radarral-inspection-of-constructed-structures-by-gpr-nagy-peter-1-taller-gabor-2.html> letöltés dátuma: 2023.10.25.
- [10] Emanuele Forte – Ground Penetrating Radar GPR – methods (2021).
- [11] Pethő Gábor – Ásványok elektromos vezetőképessége (2007). Miskolci Egyetem, Geofizika Tanszék oktatási anyag
- [12] Andreas Tzanis - MatGPR georadar feldolgozó alkalmazás (2016) <http://users.uoa.gr/~atzanis/matgpr/matgpr.html> <https://iparipadlo.blogspot.com/2020/02/beton-terkovek-megfelelosege-1.html>
- [13] Kovács Nóra – Aszfaltkeverékek optimális bitumentartalmának meghatározása a pályaszerkezetben betöltött funkciója alapján (2016). BME, Építőmérnöki Kar, TDK dolgozat
- [14] Schulz Margit – Az útfenntartáshoz és burkolatjavításhoz szükséges szilárdságtani alapismeretek (2010). Felelős kiadó: Nagy László főigazgató, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet