

A Benkelman-tartó továbbfejlesztése a behajlási teknő automatizált rögzítéséhez

Markó Gergely¹ – Primusz Péter¹ – Péterfalvi József¹

2012. november 14.

1: Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet

Kapcsolattartó szerző/Correspondence: Markó Gergely, 9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4. gergely.marko@gmail.com

Kivonat

Az erdőgazdaságok feltáróútjainak jelentős része (közel 1000 km) aszfalt burkolatú út. Ezen utak a feltáróhálózatok gerincét képező, magas szolgáltatási színvonalú létesítmények, melyek fenntartásáról folyamatosan gondoskodni kell. A rendszerváltást követően azonban az erdőgazdálkodók nem tudtak megfelelő erőforrásokat fordítani a feltáróhálózatok fenntartására, ezért azok állapota leromlott. A folyamatot gyorsította, hogy az erdészeti szállításban mértékadónak tekinthető tehergépjármű-állomány nagy tengelyterhelésű járművekre cserélődött le. Ezen okok következtében az erdészeti feltáróhálózatok tekintetében a hangsúly a feltáróhálózatok bővítéséről áthelyeződött a meglévő utak felújítására. Az Erdőfeltárási Tanszéken folyó kutatások – az erdőgazdaságok által megrendelt kutatás-fejlesztési megbízásokkal párhuzamosan – követik ezt a trendet. Jelen tanulmányban a szerzők ismertetik a Benkelman-tartóval történő behajlásmérés egy lehetséges továbbfejlesztését, amelynek alkalmazásával a teljes behajlási teknő megmérhető. Az eszközfejlesztésen túl szerzők bemutatják annak a mérésorozatnak az eredményeit is, amellyel a kifejlesztett mérőeszköz és a KUAB típusú nehéz ejtősúlyos teherbírásmérő eszköz által rögzített behajlási teknők alakját hasonlították össze.

Kulcsszavak: Benkelman-gerenda, behajlásmérés, teherbírás, nehéz ejtősúlyos teherbírásmérés

Abstract

Forest roads covered with asphalt pavement represent the basis of the forest opening up networks in Hungary. If properly maintained, asphalt pavements offer a high level of service. While traffic load of forest road networks have grown, expenses on their maintenance remained lower than required in the last three decades. As a result, these roads are in poor condition, generally. Renovation projects demand the knowledge of the roads' bearing capacity. Bearing capacity measurements of roads traditionally were carried out using the Benkelmann beam. The Benkelmann beam measurements provide the maximum vertical deflection of the pavement under 50 kN of wheel load. Nowadays the bearing capacity of public roads are measured with falling weight deflectometers. Falling weight deflectometer measurements provide the full deflection basin. It is convenient to use these high precision instruments on forest roads, but their application is inefficient and costly. Researchers of the Department of Forest Opening Up developed a new method to measure the full deflection basin with the Benkelmann beam. Besides the instrument improvement the authors developed a new method for the processing of the deflection basin data. This paper introduces the results of a comparison between the deflection basins measured with the Advanced Benkelmann Beam Apparatus and basins measured with the KUAB falling weight deflectometer.

Keywords: Benkelmann beam, Falling weight deflectometer, Deflection basin, Bearing capacity

Bevezetés

A hajlékony útburkolatok alakváltozásának mérésére az elmúlt évtizedekben több eljárást is kidolgoztak. Mindegyik eljárás eltérő módon szimulálja a forgalom és a pályaszerkezet kapcsolatát. Ennek megfelelően a mért eredmények is kisebb-nagyobb mértékben eltérnek egymástól. A következőkben röviden bemutatjuk az erdészeti gyakorlatban eddig alkalmazott módszereket, a mérőeszközök főbb jellemzőit pedig összefoglalva az 1. táblázatban közöljük.

A behajlásmérés klasszikus eszköze a Benkelman-gerenda. A mérés alatt a terhelt tehergépkocsi ikerabroncsai közé a maximális behajlás helyén egy, a burkolatra támaszkodó vízszintes tengely körül forgó kar kerül elhelyezésre és a burkolat függőleges elmozdulását a kar másik végén mért elmozdulásból lehetséges meghatározni. A mérés során a terhelő tehergépkocsi álló helyzetben van, így a terhelés statikus jellegű [Boromissza, 1959].

A behajlások automatikus méréséhez a Lacroix-mérőkocsi alkalmazható. A mérés elve megegyezik a kézi behajlásmérés elvével, a különbség a mérés gyakorlati kivitelezésében rejlik; itt ugyanis a behajlásmérőket egy automata mérőkocsira függesztik, ami lassú (3–5 km/h) előrehaladás közben 4 m-ként méri a burkolat lehajlását. A Lacroix-mérőkocsival végzett behajlásmérési technika az erdészeti gyakorlatban nem terjedt el. Az Erdőfeltárási Tanszéken végzett korábbi kutatások ugyanakkor kimutatták, hogy az erdészeti utak felújítási terveinek tekintetében az egyszerűbb eszközöket igénylő kézi behajlásmérés is azonos eredményeket szolgáltat [Kosztka et. al., 2008].

A jelenlegi közúti gyakorlat hajlékony útburkolatok terhelés hatására bekövetkező alakváltozását, vagyis a behajlási teknőt nehéz ejtősúlyos (Falling Weight Deflectometer – FWD) berendezésekkel méri. Az FWD készülékek a dinamikus terhelés hatására bekövetkező függőleges elmozdulást a burkolaton elhelyezett gyorsulásmérő szenzorok segítségével, több ponton egyszerre, nagy pontossággal mérik. A berendezés méri a levegő és a burkolat hőmérsékletét is. A dinamikus teherbírásmérés hazai alkalmazását megalapozó adaptációs vizsgálatok 1991-ben kezdődtek meg. Ezek alapján megállapítható, hogy a mérési eljárás gyors, szubjektivitástól mentes [Tóth, 2007]. A mérési technika – az utóbbi években szerzett tapasztalataink alapján – erdészeti körülmények között is előnyösen alkalmazható [Kosztka et. al., 2008].

Az FWD készülékekkel történő mérésekkel a központi behajlás mellett a burkolat alakváltozása több ponton is mérhető, ezáltal a lehajlási vonal (behajlási teknő) alakja is előállítható. A behajlási teknő alakjának ismeretében számíthatóvá válnak olyan paraméterek, amelyek a mechanikai elveken alapuló pályaszerkezet-méretezési eljárások bemenő adatai. Véleményünk szerint a jövőben azokat a mérési eljárásokat kell előnyben részesíteni, amelyek lehetővé teszik a teljes behajlási teknő rögzítését. A nehéz ejtősúlyos eszközök beszerzési ára és fenntartási költsége igen magas, ezért az erdészeti utakon végzett teherbírásméréseket FWD-készülékkel rendelkező külső vállalkozó bevonásával lehetséges csak megoldani. Célszerűnek tűnt tehát egy olyan eljárás kidolgozása, amely az erdészeti utakkal foglalkozó szakemberek számára is lehetővé teszi a behajlási teknő önálló mérését.

A továbbfejlesztett kézi behajlásmérő

Az elképzelést – a klasszikus Benkelman-tartó továbbfejlesztését oly módon, hogy az alkalmassá váljon a teljes behajlási teknő rögzítésére – többen is megvalósították. Ezek közül érdemes megemlíteni a Geobeam eszközt, amelyet a Tonkin & Taylor cég fejleszt. A mérés alatt a mérőgerenda érzékelője automatikusan rögzíti a függőleges elmozdulást úgy, hogy minden méréshez hozzárendeli a kerékterhelés pozícióját, így a behajlási teknő megfelelő feldolgozó szoftver segítségével rekonstruálható. A kerékterhelés pozícióját a tehergépkocsihoz kapcsolt mérőkerékkel mérik és rögzítik. A mérőkerék felbontása 10 mm, ami igen sűrű mintavételezést tesz lehetővé. Az FWD készülékekkel ellentétben a Geobeam egy pont függőleges elmozdulását rögzíti eltérő időpillanatokban [Anderson, 2008]. A mérőrendszert az 1. ábra mutatja be.

Az Erdőfeltárási Tanszéken kidolgozott eljárást a kézi behajlásmérés továbbfejlesztésével alakítottuk ki. A fejlesztés kiterjedt a mérési eljárás megtervezésére, a szükséges kiegészítő eszközök kiválasztására, a központi adatgyűjtő egység tervezésére és építésére, az adatgyűjtő hardveren futó firmware, valamint a PC-ken futó adatgyűjtő és elemző szoftverek kifejlesztésére.

A fejlesztés az eszközök tekintetében alapvetően három pilléren nyugszik:

1. A hagyományos Benkelman-tartók analóg mérőórát digitális adatkimenettel rendelkező mérőórákra

cseréltük.

2. A mérés során a tehergépkocsi előrehaladását ultrahangos távolságmérővel rögzítjük.
3. A digitális szenzorok jelét a saját fejlesztésű központi vezérlő egység gyűjti, majd továbbítja az adatgyűjtő szoftvert futtató netbook felé.

A mérés a következő lépésekből áll (2. ábra):

1. Ismert hátsó tengelysúlyú, terhelt tehergépkocsi felállása a mérés szelvényébe.
2. Behajlásmérők elhelyezése a hátsó (szóló) tengely ikerabroncsai közé úgy, hogy a mérőcsúcs a kerék felfekvési vonala előtt legyen.
3. Digitális elmozdulásmérő órák mérési pozícióba állítása.
4. Állványra szerelt ultrahangos távolságmérő mérési pozícióba állítása.
5. Az adatgyűjtő szoftvert futtató számítógép (érintőképernyős netbook) előkészítése a mérési adatok fogadására, a külső hardverekkel az adatkapcsolat ellenőrzése.
6. Az adatgyűjtő szoftveren az adatgyűjtés indítása.
7. A tehergépkocsi lassú előrehaladása közben az adatgyűjtő szoftver rögzíti a digitális mérőórák, valamint a távolságmérő szenzor mérési adatait.
8. A tehergépkocsi 5 m-es előrehaladását követően az adatgyűjtés automatikus leállítása.

A mérőeszköz tehát a burkolat egy pontjának függőleges elmozdulását rögzíti oly módon, hogy az elmozdulásmérő órák minden „leolvasásához” hozzárendeli az elektronika a kerékterhelés távolságát is. Az így nyert adatsor megfelelő előfeldolgozását követően előállítható a behajlási teknő alakja.

A továbbfejlesztett kézi behajlásmérő (Advanced Benkelman Beam Apparatus, ABBA), mint mérőeszköz részletes bemutatásával a [Markó et. al., 2012] szakirodalmi forrás foglalkozik.

Összehasonlító méréssorozat a Makk-pusztai kísérleti úton

A továbbfejlesztett kézi behajlásmérő alkalmazásával – a nehéz ejtősúlyos (FWD) eszközökhöz hasonlóan – a teljes behajlási teknő rögzíthető. Kíváncsiak voltunk arra, hogy az eltérő módszerekkel rögzített behajlási teknőalakok milyen mértékben feleltethetők meg egymásnak. Amennyiben a különböző működési elvű eszközökkel hasonló teknőalakot rögzítünk, akkor a felújítások tervezésénél, különösképpen a méretezett erősítő réteg vastagságának meghatározásánál is egyenértékű eredményekre jutunk.

A Makk-pusztai kísérleti út 1974-ben épült meg. A kísérlet célja a gazdasági és egyéb kifizetődő utak méretezési kritériumainak megállapítása volt. A projekt egy Magyarország–NDK kooperáció keretében valósult meg, Magyarországról a KPM, a KÖTUKI, a BME Út- és Vasútépítési Tanszéke, és az Erdészeti és Faipari Egyetem Erdészeti Szállítástani Tanszéke vett részt a kutatásban. Az út a Komáromi Állami Gazdaság területén, Nagyigmánd község határában, Makk-puszta mellett épült. A választás azért esett erre a területre, mert itt megfelelő, nem fagyveszélyes (homok) talaj található. Az NDK 2 db ugyanilyen kísérleti utat létesített fagyveszélyes talajon. Az út 1665 m hosszú, eredetileg mindkét végén fordulóval kialakítva. Koronaszélessége 7,50 m, burkolatszélessége 6,00 m. Az úton 72 különböző pályaszerkezettel megépült szakaszt különítették el. Az utat műforgalom terhelte. Az egyes szakaszok leromlását rendszeres behajlásmérésekkel, keresztzelvény-szintezésekkel követték nyomon. Az út mellett meteorológiai mérőhelyet is kialakítottak. [Pankotai et. al., 1974]

A kísérleti út jelenleg is használatban van, mezőgazdasági forgalom veszi igénybe. Az út a méréssorozat végrehajtásához megfelelőnek tűnt, mivel így lehetőségünk nyílt a mérőeszközöket több különböző pályaszerkezeten is összevetni. Az út jelenlegi állapotát a 3. ábra mutatja be.

Az összehasonlító méréssorozatra 2011. március 30-án került sor, napos, csapadékmentes időjárási körülmények között. Az alkalmazott továbbfejlesztett kézi behajlásmérő az Erdőfeltárási Tanszék kísérleti példánya volt. A behajlásmérők mérőkarjának aránya – az általános kiviteltől eltérően – 2:1, a behajlásmérő

csúcsa és felfüggesztési pontja közötti távolság 2400 mm. Ez a megnövelt mérőkar-hossz biztosítja, hogy a behajlásmérő alátámasztásai a behajlási teknőn kívülre essenek. A nehéz ejtősúlyos dinamikus teherbírásméréseket a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út- és Vasútépítési Tanszékének KUAB típusú eszközével hajtottuk végre. Az alkalmazott mérőeszközök a 4. és 5. ábrákon láthatóak.

A kísérleti út 72 különböző pályaszerkezetű szakaszából 25-ön hajtottunk végre méréseket. A vizsgálatba bevont szakaszok főbb jellemzőit a 2. táblázat tartalmazza. A mérési helyeket a bal oldali forgalmi sáv jobb keréknyomjában jelöltük ki, egymástól 5 m távolságra. A szakaszok 45 m hosszúak, így egy-egy szakaszon 9 mérési pont helyezkedik el. A behajlásméréseket az ABBA és a KUAB eszköz egymást követve hajtották végre, gyakorlatilag azonos aszfalthőmérsékletnél, így a mérési adatok feldolgozásánál hőmérsékleti korrekciót nem hajtottunk végre. A kézi behajlásmérésekhez alkalmazott terhelt tehergépkocsi tengelysúlyát a helyszínen digitális talpmérleg segítségével megmértük, a mérések sávjában haladó keréksúly 67,50 kN volt. A mért függőleges elmozdulásokat az ÚT 2-1.202 Útügyi műszaki előírás szerint lineárisan korrigáltuk. A KUAB eszköz által rögzített digitális mérési jegyzőkönyv tartalmazza az ejtésekkor mért terhelést, a mért elmozdulásokat ennek megfelelően korrigáltuk.

A mérési adatok feldolgozása

A behajlási teknő alakját az alábbi függvényel tudjuk közelíteni [Primusz–Tóth, 2009]:

$$D(x) = \frac{D_0}{c \cdot \left(\frac{x}{d}\right)^2 + 1} \quad (1)$$

ahol:

- $D(x)$ = A terhelés tengelyétől x távolságban mért behajlás [mm].
- x = A terhelés tengelyétől mért távolság [mm].
- D_0 = A terhelt tárcsa alatti maximális behajlás [mm] ($x = 0$).
- c = A behajlási teknő alaktényezője.
- d = A terhelt tárcsa átmérője [mm] (jellemzően 300 mm).

Az 1. függvény a mérési pontokra jól illeszthető, alakja pedig megfelel a mechanikai alapokon levezetett behajlási teknőalaknak. A függvény részleteiről a [Primusz–Tóth, 2009] irodalom tájékoztat. A behajlási teknő képletében szereplő D_0 és c független változókat egy saját fejlesztésű szoftverrel számítjuk; a központi behajlás (D_0) a terhelés tengelyében a mérésekből adódik, az alaktényező értékét pedig numerikusan, a legkisebb négyzetek módszerével határozzuk meg.

Az 1. függvényből zárt alakban számítható az $x = 0$ helyen értelmezett minimális görbületi sugár [Primusz–Tóth, 2009] :

$$R_0 = \frac{2 \cdot r^2}{c \cdot D_0} \quad (2)$$

ahol:

- R_0 = A terhelés tengelyétől x távolságban mért görbületi sugár [mm].
- D_0 = A terhelt tárcsa alatti maximális behajlás [mm].
- c = A behajlási teknő alaktényezője.
- r = A terhelt tárcsa sugara [mm] (jellemzően 150 mm).

A minimális görbületi sugár a központi behajlás mellett egy, a burkolat alakváltozását könnyen értelmezhető módon leíró érték. Belátható, hogy ha a burkolatot az ismétlődő terhelések kis sugarú ív mentén hajlítják meg, akkor az hamarabb tönkremegy (fáradás). A minimális görbületi sugár és az aszfalt rétegek vastagságának ismeretében többek között számíthatóvá válik az aszfalt réteg alsó szálának megnyúlása is.

Eredmények

A két mérőeszköz által rögzített mérési adatokra az 1. egyenletnek megfelelő függvényt illesztettünk, majd az azonos mérési helyeken számított központi behajlás és minimális görbületi sugár értékeket összehasonlítottuk.

A központi behajlásokat a 6. ábrán, a minimális görbületi sugarakat a 7. ábrán hasonlítjuk össze. A mérési pontokra illesztett regressziós egyenesek alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

- Az adatok közötti korreláció gyenge, a központi behajlás esetében $R^2 = 0,70$, a minimális görbületi sugár esetében $R^2 = 0,62$.
- A mérésekre illesztett regressziós egyenesek hajlása közelít az 1:1 értékhez. A trendvonal szerint az ABBA átlagosan 10%-al kisebb központi behajlásokat mér, mint a KUAB, a minimális görbületi sugár esetében pedig mintegy 5 %-al nagyobb értéket rögzít.

A behajlási teknőalakokat úgy is összevetettük, hogy a különböző pályaszerkezetű szakaszokat egy-egy homogén szakasznak tekintettük, majd a szakaszokra meghatároztunk egy-egy mértékadó behajlási teknő alakot. A mértékadónak tekintett behajlási teknő alakját úgy számítottuk, hogy az egyes szakaszokon megmért 9 behajlási teknő D_0 és c értékeit átlagoltuk. Az átlagos központi behajlás és alaktényező ismeretében, a 2. összefüggés szerint számítottuk az átlagos behajlási teknő minimális görbületi sugarát is.

A mértékadó teknők összehasonlítását a 8. és a 9. ábrák mutatják be. Az ABBA–KUAB adatpárookra illesztett regressziós egyenesekből az alábbi következtetések vonhatók le:

- Az adatok közötti korreláció elfogadható, a központi behajlás esetében $R^2 = 0,79$, a minimális görbületi sugár esetében $R^2 = 0,89$.
- A regressziós egyenesek hajlása az átlagos értékekre illesztve is közelít az 1:1 hajláshoz, vagyis a mérések trendje azt mutatja, hogy a két eszköz mérései megfeleltethetőek egymásnak. Ebben az esetben is megfigyelhető, hogy az ABBA által mért behajlási teknő valamivel jobb burkolat-állapotra utal, mint a KUAB mérések. A központi behajlás esetében 10 %, a minimális görbületi sugár esetében 25% eltérés tapasztalható.

Összefoglalás

Az Erdőfeltárási Tanszéken szerzett tapasztalataink alapján kijelenthető, hogy a kézi behajlásmérő (Advanced Benkelman Beam Apparatus, ABBA) alkalmas terepi körülmények között a behajlási teknők automatizált mérésére. Az eszköz – a mérés egyszerűsége és költséghatékonyasága miatt – alkalmas lehet alsóbbrendű közutak és önkormányzati utak teherbírásméréséhez is. A mérési eredményekre illesztett függvényből levezethetők mindazon paraméterek, amelyek a mechanikai alapú erősítés-méretezési eljárásokhoz szükségesek.

A Makk-pusztai kísérleti úton végrehajtott összehasonlító mérésorozat igazolta, hogy a továbbfejlesztett kézi behajlásmérővel és a KUAB típusú nehéz ejtősúlyos eszközzel rögzített behajlási teknők jellemzői hasonlóak. A mérési eredmények statisztikai elemzését követően arra a következtetésre jutottunk, hogy a vizsgált 25 különböző pályaszerkezet esetében az ABBA mérések a KUAB mérésekhez viszonyítva valamivel jobb burkolatállapotra utalnak. Az ABBA mérésekből számított központi behajlás átlagosan 10 %-al kisebbnek, a minimális görbületi sugár átlagosan 25 %-al nagyobbak adódott, mint a KUAB esetében.

Köszönetnyilvánítás

- A mérőeszköz fejlesztését a NymE-ERFARET Nonprofit Kft. támogatta.
- Köszönet illeti a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út- és Vasútépítési Tanszékét a nehéz ejtősúlyos mérések végrehajtásáért.

Hivatkozások

- [Anderson, 2008] Anderson, Steven: Pavement Deflection Measurements Using the Geobeam. Mechanistic Design and Evaluation of Pavements, 2008 Workshop, link: <http://www.pavementanalysis.com>
- [Boromissza, 1959] Boromissza Tibor: Útburkolatok behajlása. Mélyépítéstudományi Szemle, 1959/12. p.:564–571.

- [Kosztka, 1986] Kosztka Miklós: Erdészeti utak fenntartási rendszere. Kandidátusi értekezés. Sopron, 1986.
- [Kosztka et. al., 2008] Kosztka M., Markó G., Péterfalvi J., Primusz P., Tóth Cs.: Erdészeti utak teherbírásának mérése. Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság, XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. 2008. január 22., Gödöllő, 2008. 32/3. p.:75–79.
- [Markó et. al., 2012] Markó G., Primusz P., Péterfalvi J.: Erdészeti utak teherbírásának mérése a továbbfejlesztett kézi behajlásmérővel. Erdészettudományi Közlemények, 2. évf. 1. szám (2012) p.:107–121.
- [Primusz–Tóth, 2009] Primusz Péter, Tóth Csaba: A behajlási teknő geometriája. Közlekedéscépi szemle, 2009/12 (59) p.:18–24,28.
- [Tóth, 2007] Tóth Csaba: A teherbíróképesség meghatározásának ellentmondásai és lehetőségei. Közúti és Mélyépítési Szemle, 2007/8 (57) p.:13–20.
- [Pankotai et. al., 1974] Pankotai Gábor, Herpay Imre, Kosztka Miklós, Rumpf János: Az NDK – MNK kooperációban épült Makk-pusztai kísérleti út kiviteli tervdokumentációja. Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron, 1974.

Táblázatok

1. táblázat. A behajlásmérő eszközök összehasonlítása. [Kosztka et. al., 2008]

Jellemzők	Benkelman-tartó	Lacroix-mérőkocsi	FWD
Eszközigény	terhelt tehergépkocsi 2 db Benkelman-tartó	mérőkocsi	mérőkocsi
Személyzet	4 fő	2 fő	2 fő
Igénybevétel	statikus	kvázi statikus	dinamikus
Szimulált sebesség	0 km/h	4 km/h	60–80 km/h
Mintavételezés módja	diszkrét	folyamatos	diszkrét
Mintavételezés jellemző sűrűsége	25 m	4 m	25 m
Napi teljesítmény	15 km	20 km	15 km
Mért paraméter	központi behajlás	központi behajlás	behajlási teknő
Adatok rögzítése	manuális	automatikus	automatikus
Ismételhetőség	kielégítő	kiváló	kiváló
Eszköz költsége	olcsó	drága	drága

2. táblázat. A mérésekre kijelölt szakaszok jellemzői [Pankotai et. al., 1974].

Sorszám	Alap		Burkolat		Sorszám	Alap		Burkolat	
	Réteg	V (cm)	Réteg	V (cm)		Réteg	V (cm)	Réteg	V (cm)
9	FZK	15	AB-8	2,5	22	B100	16	AB-8	2,5
10	DZK	15	AB-8	2,5	23	M	15	AB-8	2,5
11	JU-35	6	AB-8	2,5	24	M	20	AB-8	2,5
12	JU-35	10	AB-8	2,5	25	Ckt	10	AB-8	2,5
13	JU-35	14	AB-8	2,5	26	Ckt	15	AB-8	2,5
14	U-12	5	AB-8	2,5	27	Ckt	20	AB-8	2,5
15	U-12	10	AB-8	2,5	28	Ckt	10	AB-8	2,5
16	U-12	15	AB-8	2,5	29	Ckt	15	AB-8	2,5
17	U-35	5	AB-8	2,5	30	Ckt	15	AB-8	2,5
18	U-35	10	AB-8	2,5	31	Ckt	10	AB-8	2,5
19	U-35	15	AB-8	2,5	34	Kstab	10	AB-8	2,5
20	B100	8	AB-8	2,5	35	Kstab	15	AB-8	2,5
21	B100	12	AB-8	2,5					

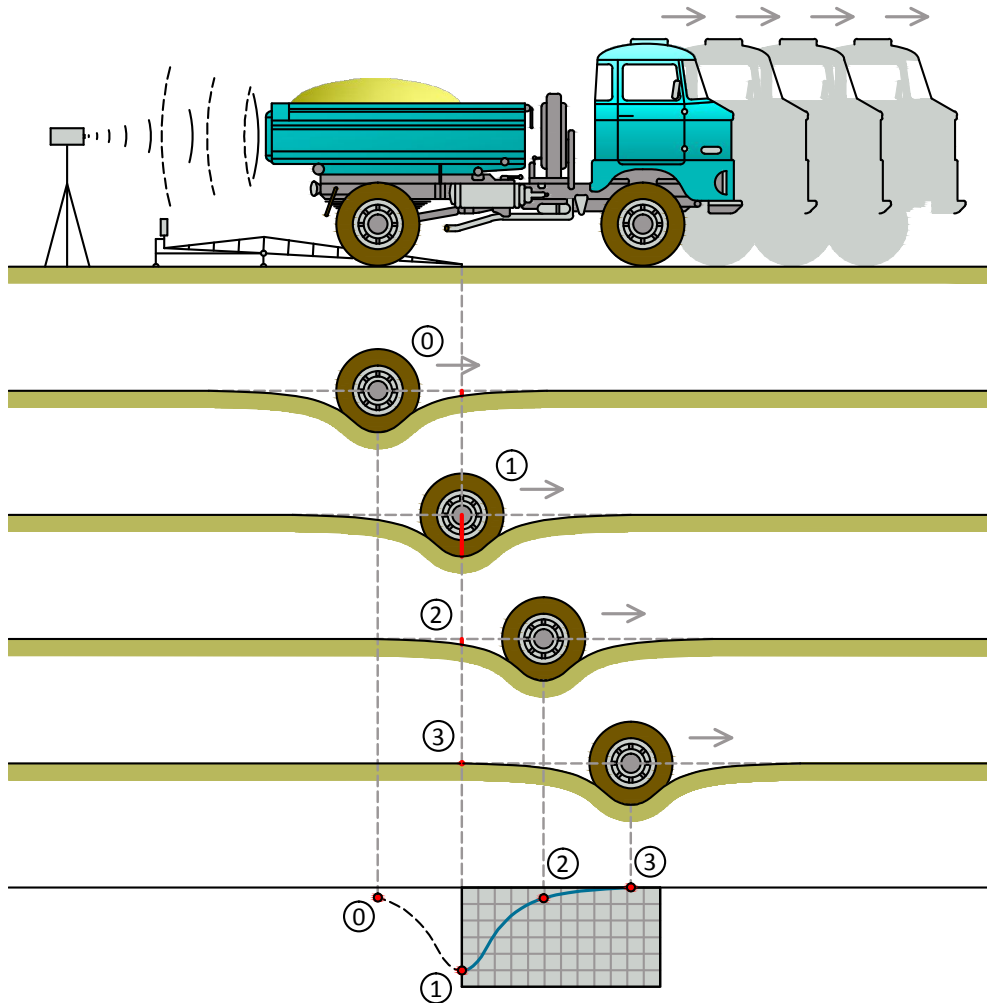
Rövidítések:

- FZK : Folyamatos szemeloszlású zúzottkő
- DZK : Durva zúzottkő
- JU-35 : Javított meleg bitumenes útalap
- U-12 : Meleg bitumenes útalap
- U-35 : Meleg bitumenes útalap
- B100 : Soványbeton
- M : Mechanikai stabilizáció
- Ckt : Cementstabilizáció
- Kstab : Kohósalak stabilizáció
- AB : Aszfaltbeton

Ábrák



1. ábra. A Geobeam mérés közben [Anderson, 2008].



2. ábra. A továbbfejlesztett kézi behajlásmérés elve.



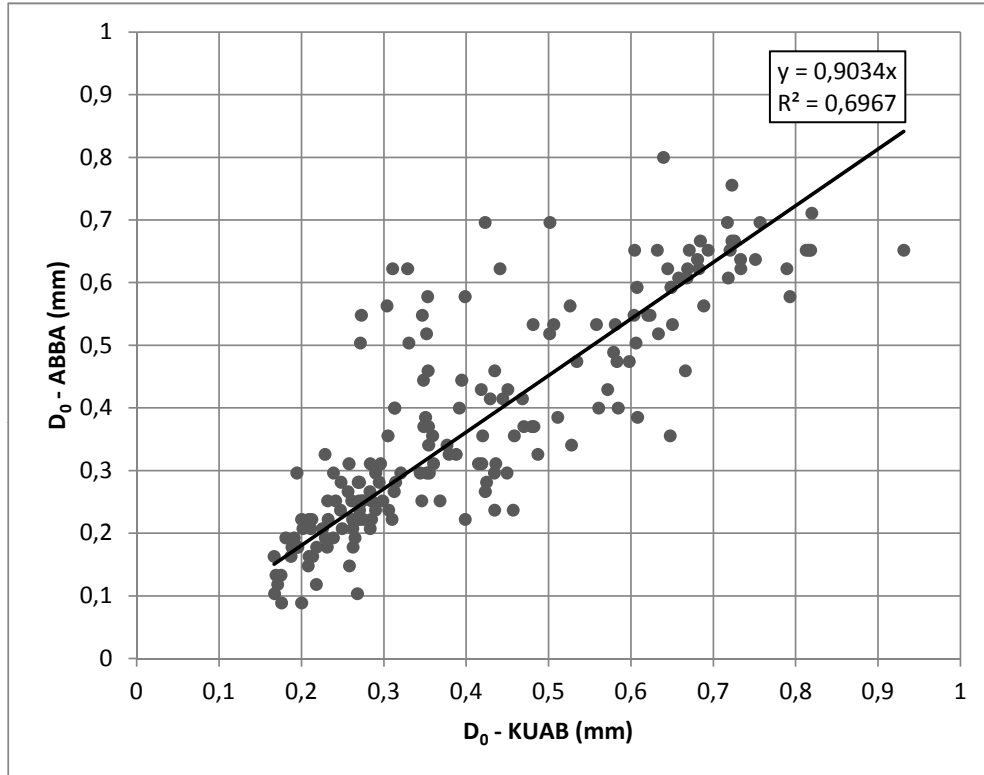
3. ábra. A Makk-pusztai kísérleti út.



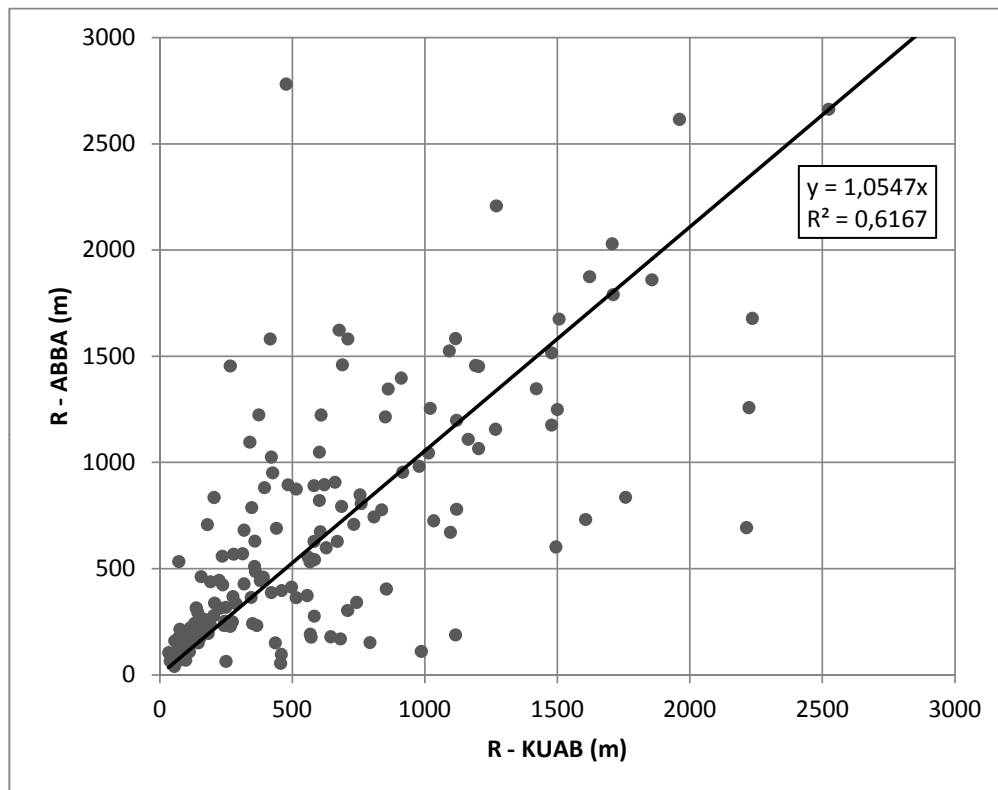
4. ábra. Az ABBA mérőeszköz a kísérleti úton.



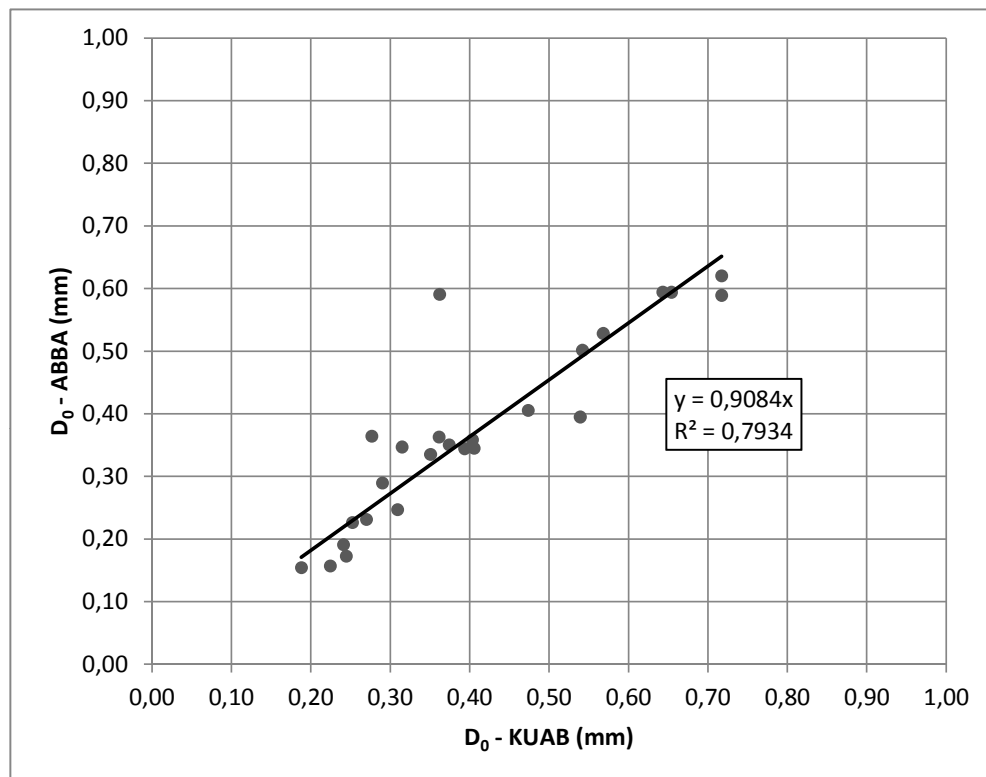
5. ábra. KUAB a kísérleti úton.



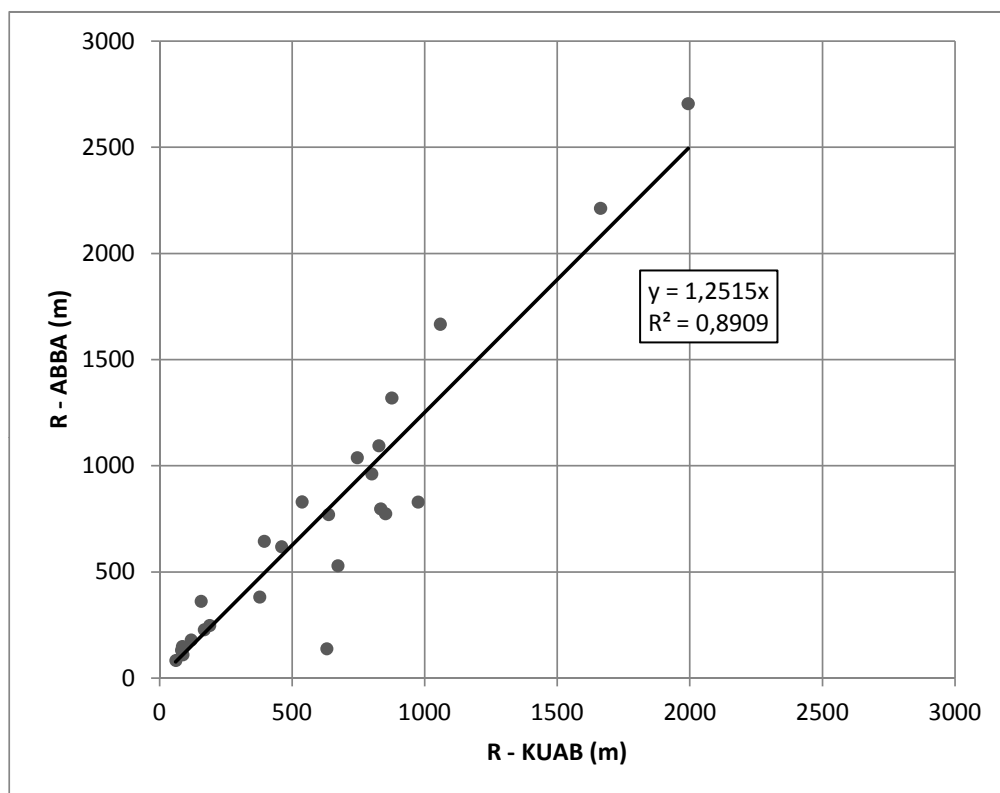
6. ábra. A központi behajlás (D_0) összehasonlítása az összes mérés figyelembevételével.



7. ábra. A minimális görbületi sugár (R_0) összehasonlítása az összes mérés figyelembevételével.



8. ábra. A központi behajlás (D_0) összehasonlítása szakaszonként, a jellemző behajlási teknők figyelembevételével.



9. ábra. A minimális görbületi sugár (R_0) összehasonlítása szakaszonként, a jellemző behajlási teknők figyelembevételével.