

# Behajlásmérési idősorok elemzése

Szerző(k) **Karoliny Márton**

## Kivonat

A behajlásmérések egyik jelentős problémája a mértékadó időszak meghatározása, amely nyilvánvalóan összefügg a földmű nedvességtartalmával, ami viszont a meteorológiai és talajmechanikai viszonyok függvénye. Megállapítható, hogy a korábban kidolgozott korrekciós módszerek elsősorban a hosszútávú meteorológiai változékonyság miatt megkérdőjelezhetők. A szerző három etalonszakaszos behajlásmérési idősor felhasználásával számítási eljárást mutat be a mértékadó behajlás meghatározására.

## 1. Bevezetés

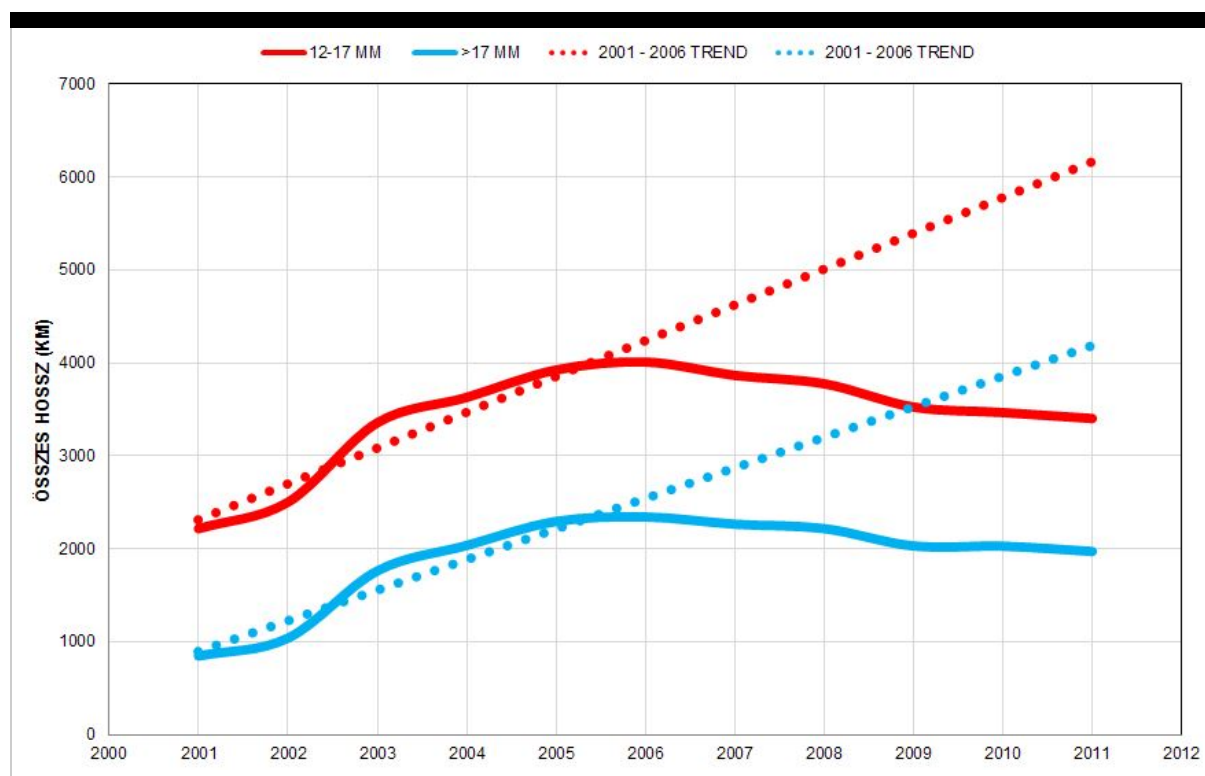
Ismeretes, hogy hazánkban a behajlásmérést európai összehasonlításban is nagyon korán bevezették [Boromisza, 1959] és azóta is – nem csak a felújítási projekteknel, hanem az állapotértékelésben is – használják.

Ebben a cikkben a hosszú időszak alatt felhalmozódott behajlásmérési adatok felhasználásának lehetőségét mutatom be a megerősítési, útgazdálkodási célú feladatok esetében.

## 2. Idősorok elemzése

Idősornak az olyan statisztikai megfigyeléseket nevezzük, amelynek elemeit egymást követő időpontokban (időszakokban) regisztrálták, és ez az időbeliség az adatok fontos tulajdonsága.

Az országos közúthálózaton rendszeresen végzett állapotfelmérési célú mérések adataiból nagyon érdekes eredményeket lehet kapni, ha idősorba állítjuk az egyes állapotadatokat.



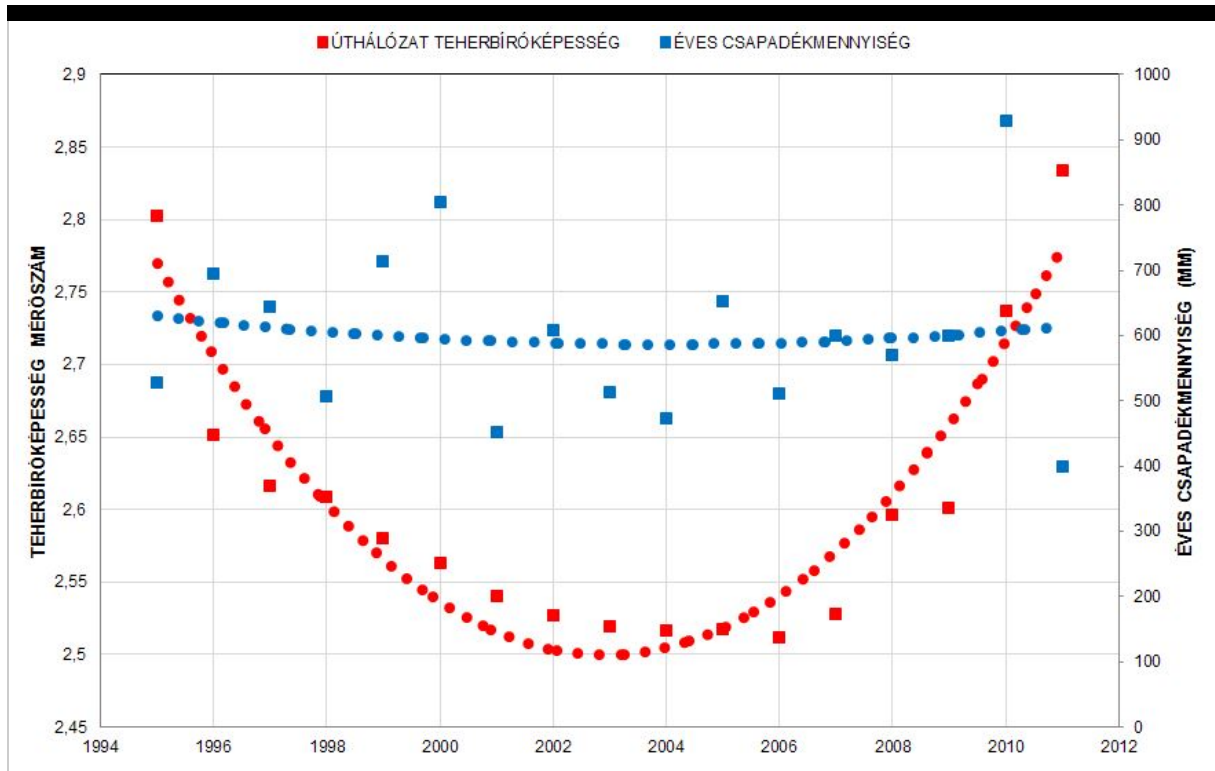
1. ábra

Példaként először vizsgáljuk meg a keréknyomos utak hosszának alakulását, ami nagyon meglepő eredményt mutat, hiszen a különböző szakmai fórumokon a keréknyomosodás nagyon gyakran, elháríthatatlan technológiai okként, vagy a globális felmelegedésből következő veszélyként van említve.

Az idősor rácsafol ezekre a vélekedésekre, ugyanis egyértelműen fenntartási hiányosságként lehet a korábbi kedvezőtlen trendet értelmezni.

A javulás ugyanis az EU előcsatlakozási, illetve felzárkóztató programjai által nyújtott többletforrások következménye.

Az idősorok alkalmasak egyes befolyásoló tényezők tényleges hatásának legalább kvalitatív értékelésére is.



2. ábra

Országos közúthálózat teherbíróképességének alakulása

Második példaként a teljes országos közúthálózat teherbíró-képességének idősorát mutatjuk be, egy diagramon az éves csapadékmennyiségekkel.

Jól megfigyelhető, hogy a teherbíró-képesség mérőszámának javulása, majd romlása láthatóan követi az éves csapadékmennyiség alakulását.

Ez egyben arra is felhívja a figyelmet, hogy az aktuális értékek vizsgálatánál – amelyek elvileg a fenntartási források feletti döntéseket is megalapozzák – figyelembe kell venni a befolyásoló tényezők változásait is.

### 3. Rendszeres behajlásmérések az országos közúthálózaton

Boromisza [Boromisza, 1993] egy nagyon jó áttekintést ad a hazai behajlásmérési gyakorlatról.

Külön ki kell emelni az ejtősúlyos berendezések használatának bevezetését, mert ezek alkalmazásával – a kézenfekvő egyéb előnyökön kívül – lehetőség adódott a mérési eredmények elektronikus rögzítésére és ebből adatbázisok kialakítására is. [Tóth, 2006]

Nem közismert, hogy az ejtősúlyos berendezések rendkívül sok mérést végeznek, minden mérési ponton (behajlások a terhelés tengelyében és attól különböző 6 – 8 helyen, burkolathőmérséklet, levegőhőmérséklet, pontos ejtési erő) és ezen adatok segítségével az egyszerű központi behajláson túl még sok fontos jellemző is megállapítható.

Az állapotfelmérési rendszer továbbfejlesztésére irányuló újabb tevékenységek dokumentumai rögzítik [MAÚT, 2009], hogy a lehetőség szerint minden országos közút legalább öt évenként mérésre kerüljön, azaz az eddigi mérésekkel együtt viszonylag rövid időn belül meglehetősen hosszú idősorok fognak rendelkezésre állni. Külön ki kell emelni, hogy létezik számos, ún. etalonszakasz [KTI, 2012], ahol már – a lényegesen nagyobb frekvencia miatt – ténylegesen elemezhető idősorok is rendelkezésre állnak. A pályaszerkezet méretezés új szabályozásának tervezete [MK-MAÚT, 2013] a megerősítés előtti behajlásmérésen túl előírja a megerősítés utáni mérést is. Azaz már most, de a jövőben biztosan rendelkezésre fognak állni az utak döntő részén megfelelő hosszúságú idősorok és ezáltal hasznos elemzések végezhetőek.

#### 4. A „mértékadó” időpont a behajlásmérésnél

A behajlásmérések elterjedése és az első rendszeres (hazai) mérések után [Boromisza, 1959] hamarosan világossá vált az a tény, hogy az ugyanazon helyen mért behajlásértékek különböző, viszonylag egymáshoz közeli időpontokban eltérnek egymástól.

Kézenfekvő és helyes volt az a feltételezés, hogy ez a földmű merevségével van összefüggésben, ezt viszont nagymértékben meghatározza az aktuális nedvességtartalma illetve a földmű anyaga.

Az aktuális nedvességtartalom pedig meglehetősen nyilvánvaló, hogy a meteorológiai események függvénye.

Ennek megfelelően viszonylag hamar kialakultak olyan korrekciós eljárások, amelyek főleg a meteorológiai ciklusok függvényében adták meg a szükséges módosító tényezőket.

Ilyen található az érvényes megerősítési utasításban [ÚT 2-1.202:2005], illet közöl Ullidzt [Ullidzt, 1998] illetve a vasúti alépítmények esetében is ilyen használnak [Horváth-Türk, 2008].

Ezek a módszerek alapvetően hasznosak voltak és egyszerűségük miatt az építőmérnökök szívesen használták.

Mindenképpen megjegyzendő, hogy a „gondolkodó” építőmérnökök világosan látták ezen eljárások problematikus voltát is. [Nagy, 2008], [Boromisza, 2009]

##### 4.1. A használt hazai korrekciós eljárás érvényessége

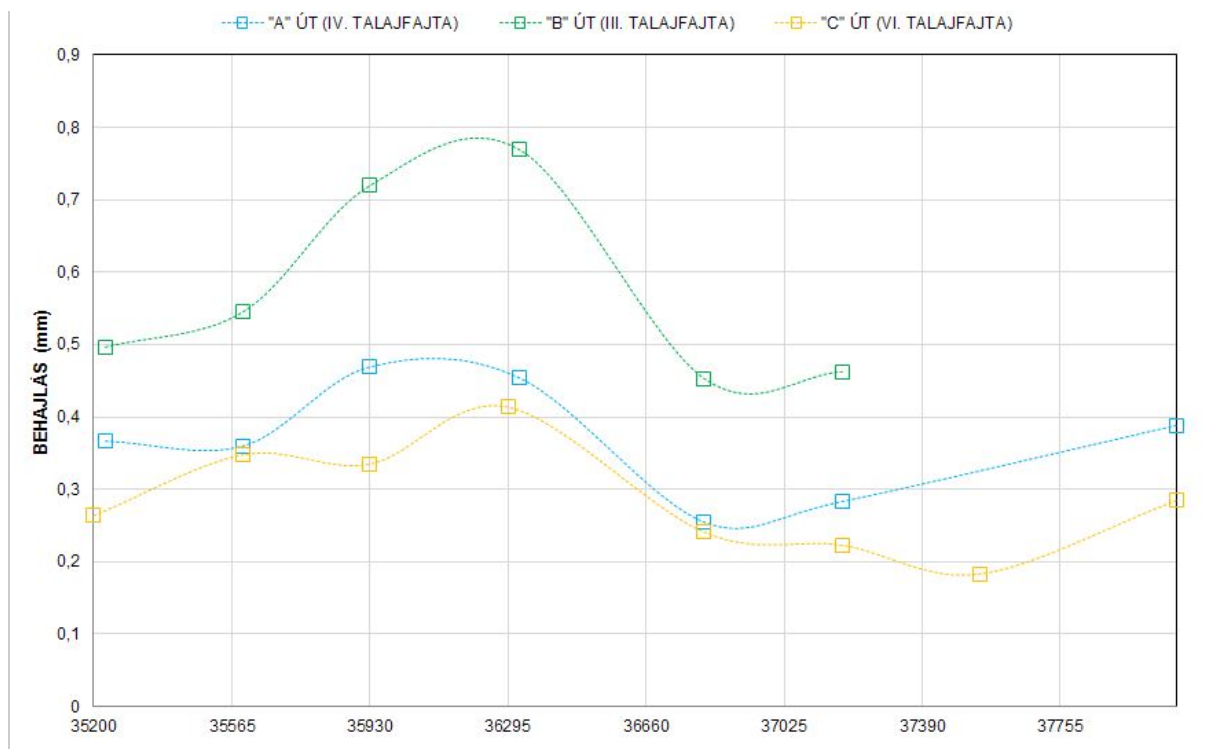
Az ilyen eljárások problematikusságát illusztráljuk behajlási idősorok segítségével.

Az országos közúthálózaton állapotfelmérési céllal kijelöltek több, úgynevezett etalonszakaszt, amelyen a többi úthoz képest lényegesen nagyobb frekvenciával lettek végrehajtva behajlásmérések.

Ezek közül kiválasztottunk három szakaszt, és a következő diagramon bemutatjuk az átlagos behajlás értékek változását.

Megjegyzendő, hogy a kiválasztásnak az is szempontja volt, hogy az útszakaszok kellően közel legyenek meteorológiai mérőállomásokhoz.





**3. ábra**  
Behajlásértékek idősora

Jól felismerhető, hogy az azonos időszakokban elég jelentős eltérések tapasztalhatók, ebből az is következik, hogy az azonos időpontok hasonló „évszakszorzóval” növelve a különbséget fenntartja, sőt növeli is. Megjegyzendő, hogy az egyes pontok diagramon történő összekötése kizárólag az ábrázolás miatt történt, a két időpont között nincs semmi adat.

#### 4.2. Nemzetközi kitekintés

A probléma megoldására a már idézett korrekciós eljárásokon túl több, nagyívű eljárás is született.

Ki kell emelni van Gurp [van Gurp, 1995] munkáját, amely egy többtényezős eljárást ad a különböző időpontokban mérhető behajlások átszámíthatóságára, klimatikus, geotechnikai és lokális helyi adottságok figyelembevételével.

Eljárásának átvétele ugyanakkor nem lehetséges, mert azokat a hollandiai viszonyokhoz igazította, de a munka úttörő jellege mindenképpen példaértékű.

Megemlítendő Talvik és Aavik dolgozata [Talvik-Aavik], amely egy viszonylag hosszú idősoros rendszeres behajlásmérésen alapul, viszonylag friss adatokkal és abból a szempontból újszerű, hogy a töltésmagasságot is figyelembe veszi.

### 5. Az egyenértékű behajlás meghatározásának lehetősége idősor elemzéssel

Az eddigiekből látható volt, hogy a hazai gyakorlatban használt eljárás legalább is problematikus, ezért a kellő pontosság érdekében új módszereket kell keresni.

Ezen új módszerek esetében ugyanakkor vizsgálni kell azt a folyamatot, ami a földmű merevségének változását okozza.

#### 5.1. Változások a csapadékmennyiség eloszlásában

A behajlások korrekciós értékeinek meghatározása óta jelentős változások történtek a csapadékmennyiségek eloszlásában.

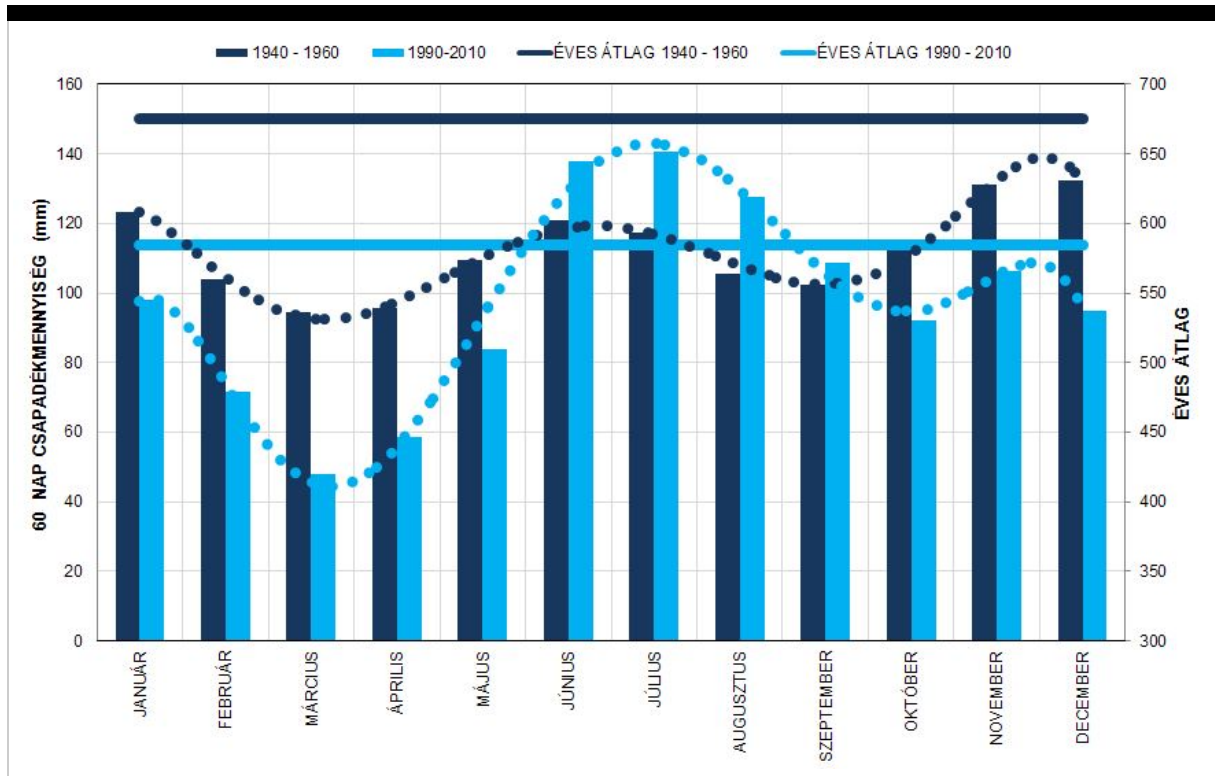
A következő diagramon ábrázoltuk minden hónap elején a megelőző 60 nap csapadékösszegét 1940 – 60, illetve 1990 – 2010 között, továbbá az éves csapadékmennyiség ez időszakokra vonatkozó átlagértékét is.

Jól látható, hogy az átlag kisebb mértékű csökkenése mellett a hó elejét megelőző időszak csapadékösszege

nagymértékben változott a régebbi időszakhoz képest.

A legnagyobb csapadékösszegek eltolódtak a nyári (!) hónapokra és a „télvégi” időszakban jelentkeznek a minimumok.

Figyelembe kell venni azt is, hogy itt átlagértékek szerepelnek, miközben közvetlen tapasztalatunk szerint is akár évenként is jelentősek lehetnek a különbségek.



**4. ábra**  
Csapadékmennyiségek idősora

## 5.2. Talajnedvesség változásai

A talajnedvesség változásait – a talaj vízháztartását – leggyakrabban az ún. „csöbör” modellel szokták jellemezni. [Breuer, 2012]

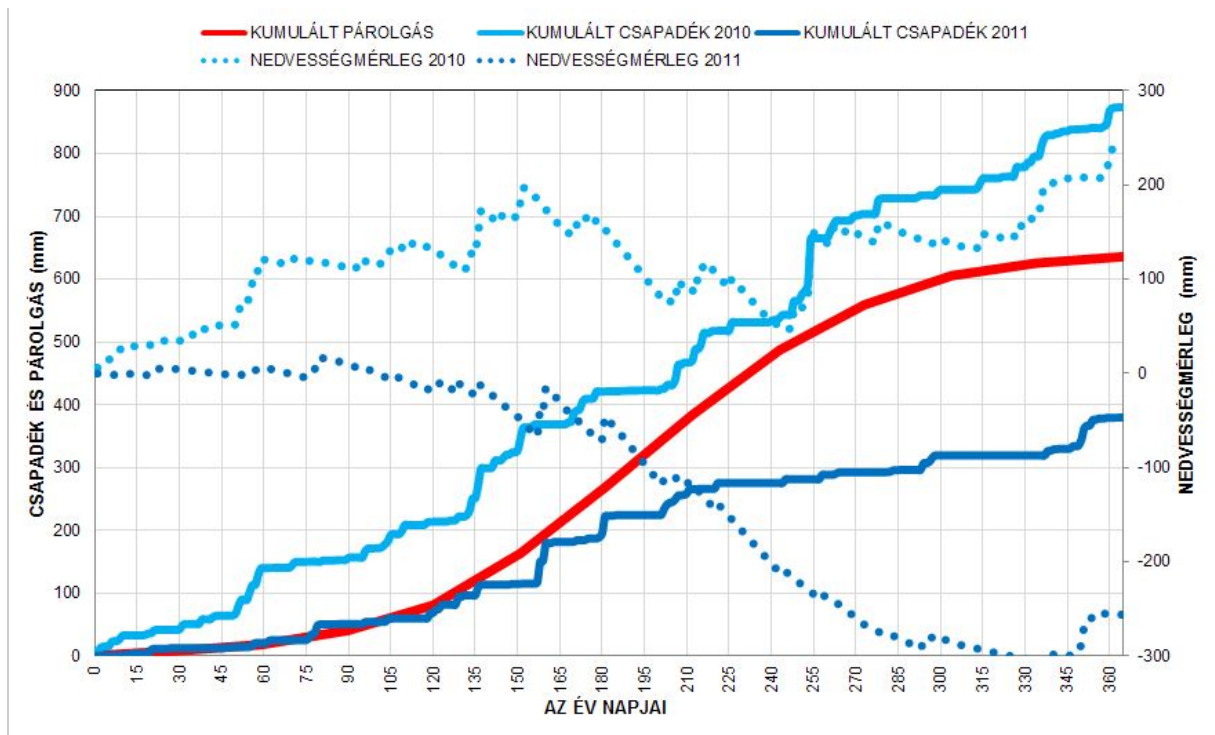
A modell lényege egy elképzelt talajhasáb, amelybe a csapadék egy része (a domborzati és a telítettségi állapotok függvényében) beszívárog, majd a párolgás és a párologtatás révén fokozatosan kiürül, esetlegesen a talajvízből tud még utánpótlást szerezni.

A párolgás és a párologtatás mértékének meghatározására több modell is rendelkezésre áll [van Gorp, 1995], ezek közül népszerű és elfogadott a Thornthwaite által meghatározott, [Gombosné, 2009] aki egy hőmérséklet és potenciális napfénytartalom függő lehetséges evapotranspirációt becslő egyenletet dolgozott ki.

Ennek egy évre vonatkozó, a hazai viszonyok között átlagosnak tekinthető értékeit kiszámítottuk és a 5. diagramon ábrázoltuk.

Ugyanezen diagramon két év kumulált csapadékösszegét is feltüntettem és számoltam a csapadék és az evapotranspiráció különbségét, mint az aktuális nedvességmérleget.

Jól látható, hogy a nedvességmérlegek között nagyon nagy különbség van, a nagyon csapadékos évben folyamatosan pozitív, az aszályos évben pedig jellemzően negatív.



**5. ábra**  
Talajnedvesség mérlegének alakulása

Nyilvánvaló, hogy a nedvességmérleg és a földmű merevsége között kapcsolat van és az is könnyen belátható, hogy azonos földrajzi pontok esetében (a „csöbör” helye nem változik, tehát a lefolyás értéke állandó, anyaga is azonos) a nedvességmérlegre elsősorban az észlelés időpontját megelőző időszak csapadékvizonyai gyakorolnak hatást.

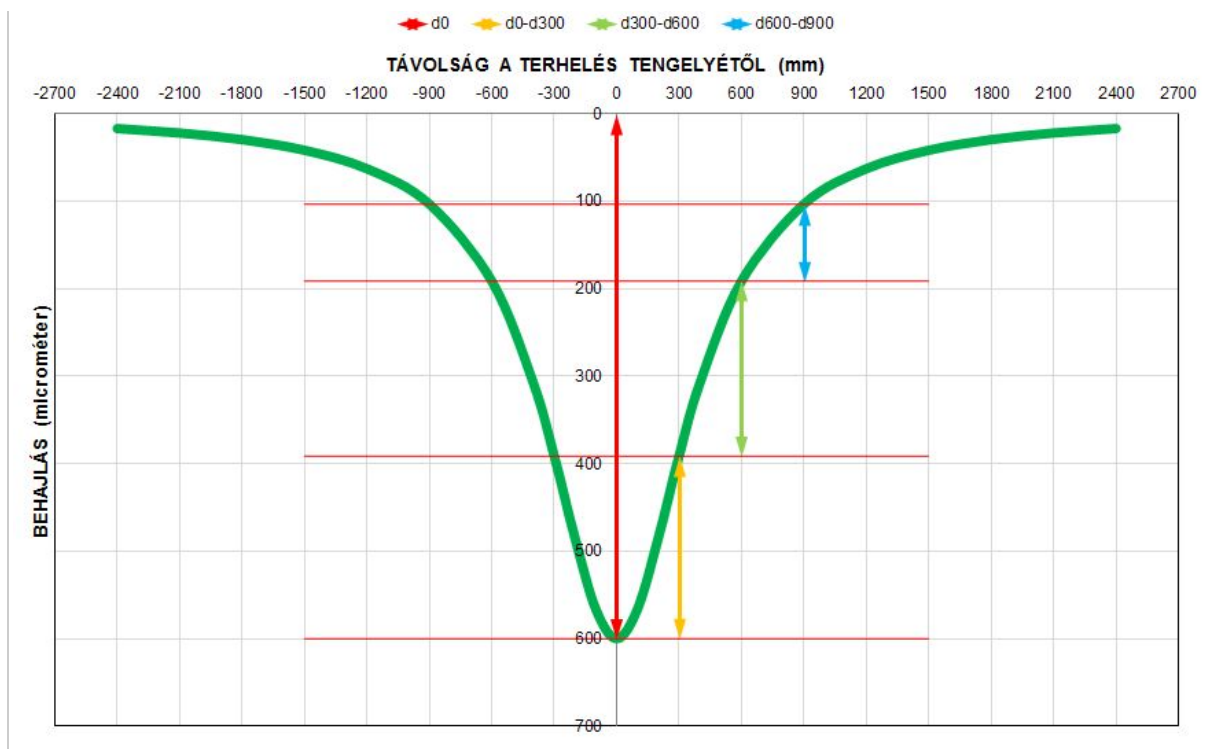
### 5.3. Kapcsolatok a behajlási teknő paramétereik között

A behajlásmérések korai szakaszában is felmerült, hogy célszerű lenne megmérni a behajlást a kialakuló behajlási teknő több pontján is.

Rendszerszerűen a Lacroix berendezés volt hazánkban az első, amely a központi behajláson túl, a terheléstől 300, 600 és 900 mm távolságban is megmérte a behajlást.

Az ejtősúlyos berendezések elterjedésével a több ponton történő mérés általánossá vált és kialakult egy terminológia, amely a behajlási teknő „kitüntetett” pontjain mért behajlásokat, illetve azok különbségeit teknőparamétereknek nevezte el.

A következő diagramon néhány ilyen teknőparaméter értelmezése látható.



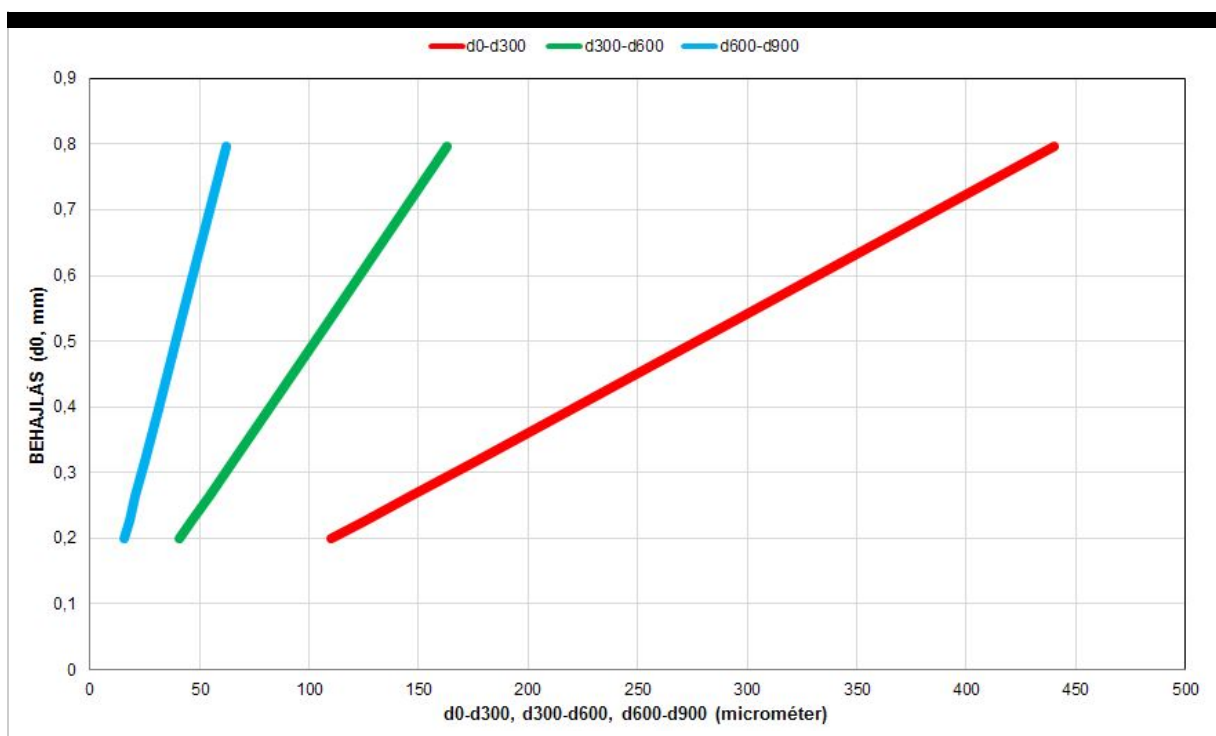
**6. ábra**  
Behajlási teknő paramétere

A kiválasztások nem voltak teljesen önkényesek, mert – a behajlás különbségként felfogott teknőparaméterek nagysága jellemző a paramétert mélységben határoló távolságokkal jellemzett réteg szilárdságtani (merevségi) tulajdonságaira.

Így a  $d_0 - d_{300}$  teknőparaméter alapvetően a kötött pályaszerkezeti rétegek, a  $d_{300} - d_{600}$  és a  $d_{600} - d_{900}$  teknőparaméterek a szemcsés rétegek és/vagy a földmű merevségére jellemzőek (minél kisebb az értékük, annál merevebbek).

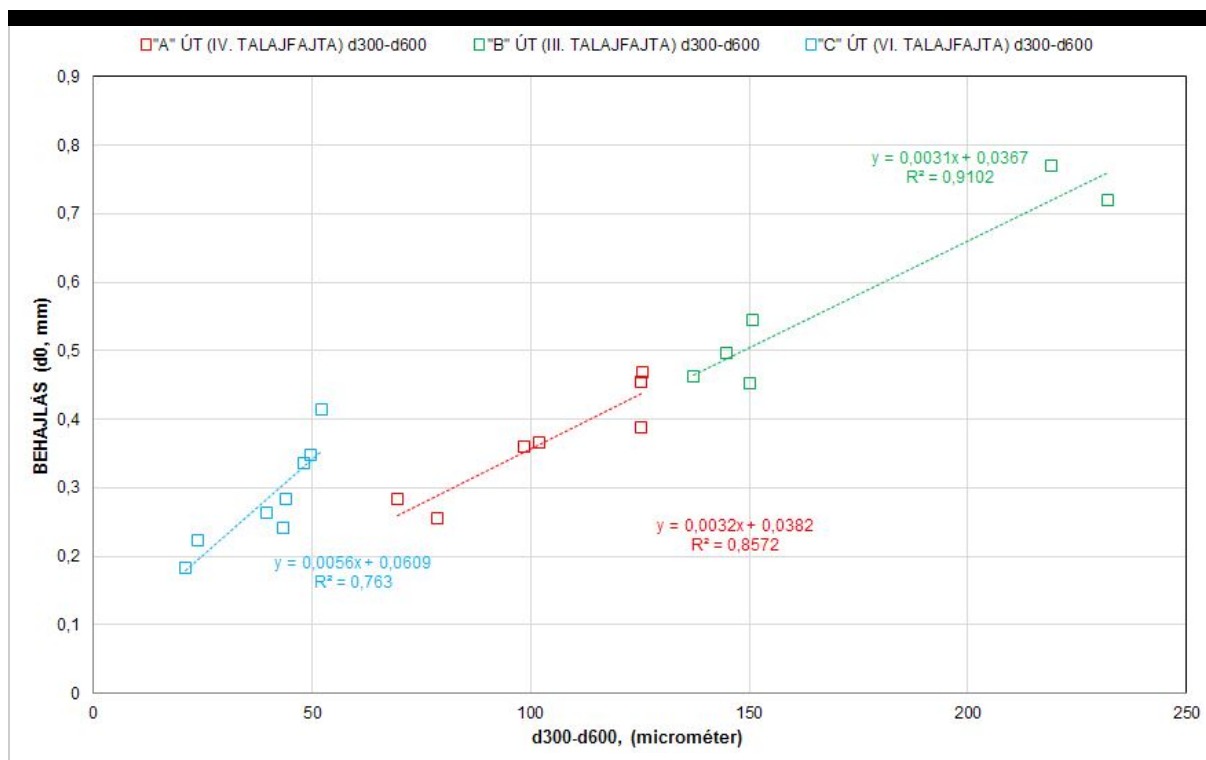
Nyilvánvaló, hogy a tényleges rétegvastagságok eltérhetnek ettől a felosztástól, de a gyakorlatban azért ezek is jól felhasználhatók.

Vizsgáljuk meg, hogy a Boussinesque szerinti végtelen féltérben [van Cauwelaert, 2003] hogyan függenek össze a teknőparaméterek.



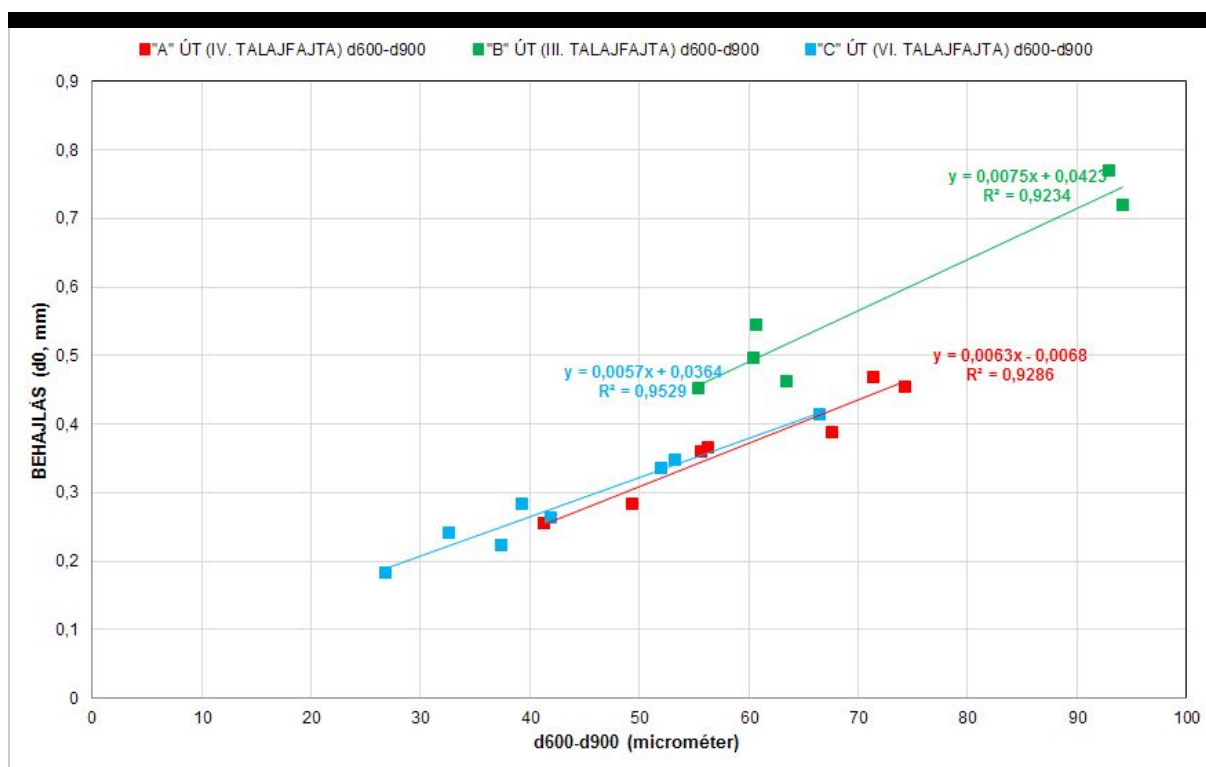
Tanulmányozva a diagramot, azonnal feltűnik, hogy a kapcsolat lineáris és függvénytérű, ebben nincs semmi meglepetés, a Boussinesque egyenletekből ez következik.

Vizsgáljuk meg ezután, hogy a három etalonzszakaszon hogyan alakultak ezek a kapcsolatok (a  $d_0$ - $d_{300}$  érték kapcsolatát nem vizsgáltuk, mert az főleg a kohézióval rendelkező rétegek hatását mutatja).



8. ábra

A központi behajlás függése a  $d_{300}$  -  $d_{600}$  teknőparamétertől



Tanulmányozva a diagramokat a következő megállapítások tehetők:

- egyrészt a valós (rétegezten felépült) pályaszerkezetek esetében az elméleti tendencia meglehetősen hatásosan érvényesül
- másrészt a két független változó utanként eltérő szorosságú kapcsolatban van a központi behajlással, ez valószínűleg a kohézióval rendelkező rétegek merevségével függ össze.

#### 5.4. A teknőparaméter függése a mérést megelőző időszak csapadékmennyiségétől

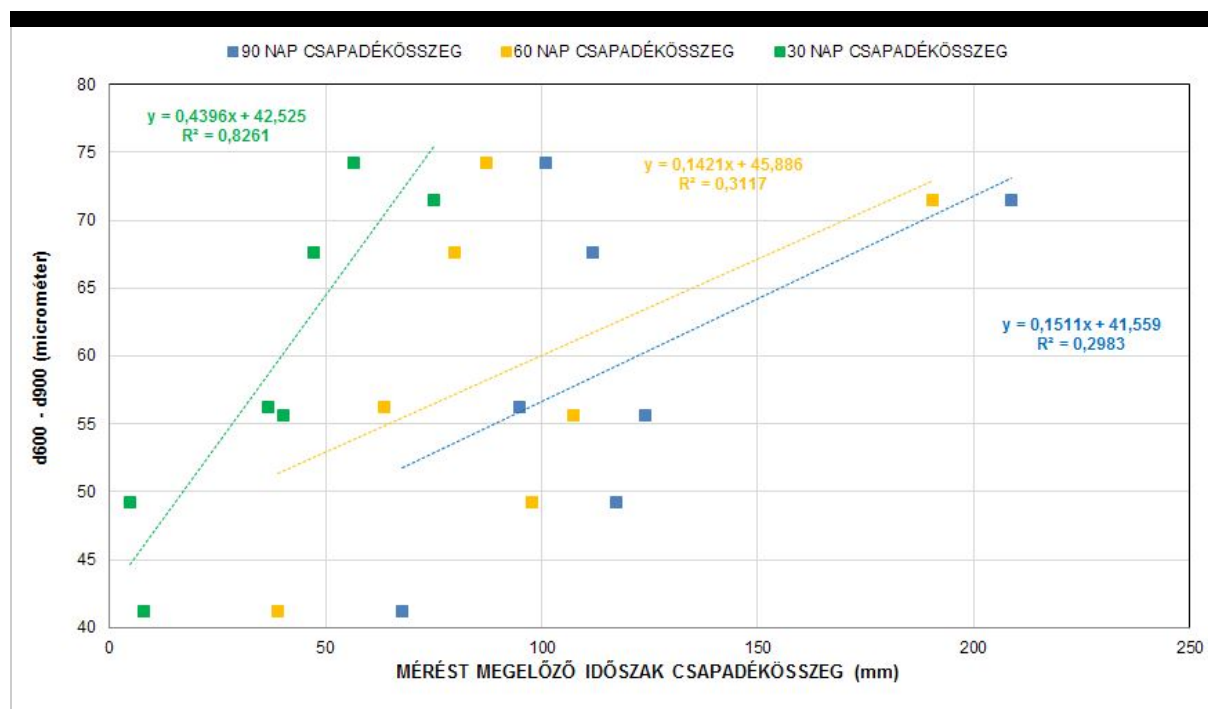
Az eddigiekből láthattuk, hogy a pályaszerkezet merevsége – a központi behajlással jellemezve – függ, utanként eltérő mértékben, de viszonylag magas determinációs együtthatóval – a behajlási teknőnek a pályaszerkezet alatti, a földmű állapotát jellemző teknőparamétertől.

A földmű merevségi állapota pedig egy adott helyen, kézenfekvő módon függ a mérést megelőző időszak csapadékvizonyaitól.

Vizsgáljuk meg ezek után, hogy az előző pontban legjobb kapcsolatot mutató  $d_{600}$  -  $d_{900}$  teknőparaméter milyen mértékben függ a mérést megelőző időszak csapadékmennyiségétől.

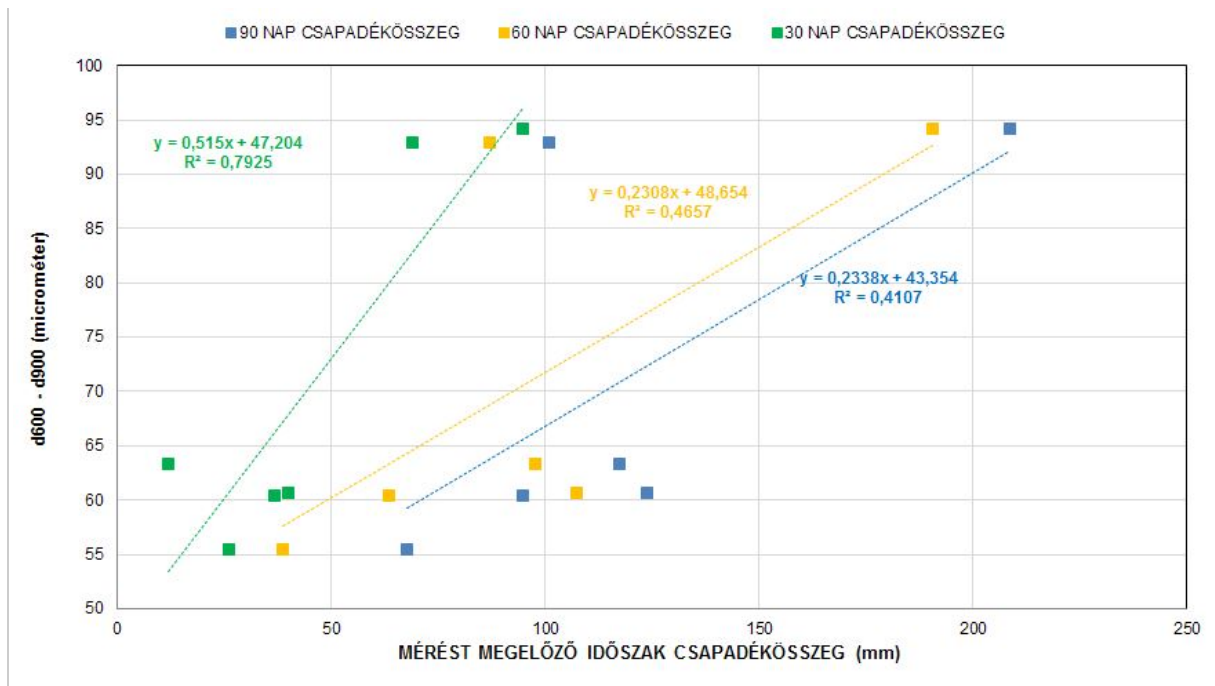
A csapadékmennyiségre vonatkozó adatokat a NOAA honlapján lehet elérni, egy nemzetközi szerződés eredményeként az OMSZ adatai ide kerülnek feltöltésre.

A csapadékmennyiségeket – a napi adatok összegzésével – a mérést megelőző 30, 60 illetve 90 nap időtartamra számítottuk ki.



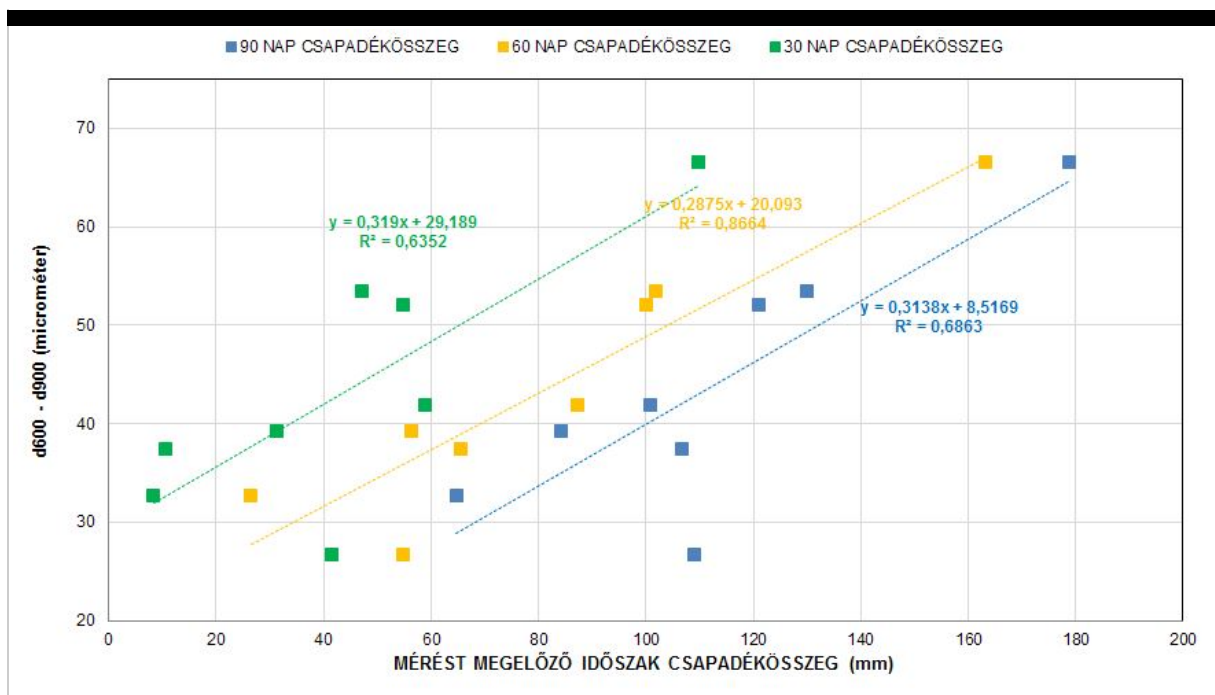
10. ábra

Teknőparaméter nagyságának függése a mérést megelőző időszak csapadékösszegeitől "A" út



**11. ábra**

*Teknőparaméter nagyságának függése a mérést megelőző időszak csapadékosszegeitől "B" út*



**12. ábra**

*Teknőparaméter nagyságának függése a mérést megelőző időszak csapadékosszegeitől "C" út*

Megvizsgálva a diagramokat, jól felismerhető, hogy a nagyobb csapadékmennyiséghez (függetlenül az aggregálási időszak hosszától) nagyobb teknőparaméter értékek, azaz kisebb földmű merevségek tartoznak. Természetesen nem tudjuk, hogy a csapadékmennyiségből mennyi, ami a tényleges földmű nedvességtartalmat befolyásolja, de a „csőbőr” modellből feltételezhető, hogy azonos helyen a tényleges csapadék közel azonos részaránya vesz ebben a folyamatban részt.

A nagyobb csapadékösszeg – nagyobb teknőparaméter tendencia mindenesetre fizikailag teljesen helytálló.

A nedvességtartalom további változása nagymértékben a párolgás – párologtatás következménye, ez pedig kicsit leegyszerűsítve az idő függvénye, következésképpen, ha nincs újabb csapadék, a nedvességtartalom csökken.

A csökkenés sebességét pedig jelentősen befolyásolja a földmű anyaga, félesége, nyilván egy szemcsés talaj

esetében a folyamat gyorsabb, mint az egyre kötöttebb talajfajták esetében.

A diagramok ezt elég határozottan mutatják, az „A” és „B” útszakasz hivatalos talajfajtája szemcsés, illetve kismértékben kötött, míg a „C” út talajfajtája közepesen kötött.

Jól megfigyelhető, hogy ezzel összhangban az „A” és „B” útszakasznál a 30 napos csapadékösszeg esetében van a legjobb egyezés, míg a „C” szakaszon ugyan a 60 napnál, de a másik két időtartam esetében is elég erős a kapcsolat.

Mindenképpen megjegyzendő, hogy mindhárom útszakasz lényegében terepszinten halad (mint az országos közúthálózat döntő része), magas töltések esetében valószínűleg egyéb tényezők hatása is befolyásolhatja a viselkedést.

Mindenesetre könnyen belátható, hogy kellően hosszú idősorok rendelkezésre állása esetén a mértékadó behajlásérték viszonylag egyszerűen számítható.

Itt mindenképpen megjegyzendő, hogy Dr. Boromisza Tibor szíves közléséből tudható, hogy sok évtizeddel ezelőtt Dr. Tóth Ernő vizsgálta az agrometeorológiai okokból gyűjtött talajnedvesség adatok és a behajlásértékek kapcsolatát, tehát az alapvető felismerés sokkal korábbi, mindenesetre a fejlett mérési módszerek és az informatikailag könnyen kezelhető adatbázisok ezt a kapcsolatot a mai nemzedéknek könnyebben meghatározóvá tehetik.

## 6. Összefoglalás

A dolgozatban röviden bemutattuk, hogy a behajlási adatok mértékadó értékre történő átszámítását az eddig használt eszközök csak jelentős hibával terhelten teszik lehetővé.

A már rendelkezésre álló és a jövőben szaporodó behajlásmérési adatok idősor elemzésével viszonylag egyszerűen és valószínűleg kellő pontossággal lehet a korrekciót végrehajtani.

## 7. Irodalomjegyzék

Dr. Boromisza Tibor: Útburkolatok behajlása, Mélyépítéstudományi Szemle 1959. december

Dr. Boromisza Tibor: Útpályaszerkezetek dinamikai teherbírásméréseinek bevezetése, Közlekedésépítés- és Mélyépítéstudományi Szemle, 1993. szeptember

Dr. Boromisza Tibor: „Gondolatok a gondolatokhoz (hozzászólás Nagy Sándor cikkéhez)” Közúti és Mélyépítési Szemle, 2009. április

Breuer Hajnalka: A talaj hidrofizikai tulajdonságainak hatása a konvektív csapadéokra és a vízmérleg egyes összetevőire: meteorológiai és klimatológiai vizsgálatok Magyarországon, PHD disszertáció, 2012

Gombosné Nagy Ildikó: A hajdúsági löszhát vízkészletgazdálkodási fejlesztésének térinformatikai értékelése, PHD értekezés, 2009

Dr. Horváth Ferenc, Türk István: A vasúti alépítmény állapota és méretezése, Sínek világa , 2008/3–4

Közlekedéstudományi Intézet: Útgazdálkodási célú etalonszakasz megfigyelés, Kézirat, 2012

Magyar Közút Zrt – Magyar Útügyi Társaság: Fenntartható utak. Kézirat, 2013

Magyar Útügyi Társaság: A teherbírás osztályzatok hátralévő élettartam alapján történő kiszámítása a dinamikus behajlásmérési adatokból. Kézirat. 6512.42/2008 nyilvántartási szám. MAÚT munkabizottság Budapest, 2009. december.

Nagy Sándor, „Gondolatok az Útpályaszerkezetek teherbírása: hazai és külföldi eredmények és problémák című cikkhez”, Közúti és Mélyépítési Szemle, 2008. december

O. Talvik, A. Aavik: Determination of limit values for fwd deflection basin parameters (SCI, BDI, BCI) for pavement condition assessment

Tóth József: Az országos közúthálózaton végzett (KUAB) dinamikus teherbírásmérések eredményeinek kiértékelése (1993 – 2005) Magyar Közút Állami Közútkezelő, Fejlesztő, Műszaki Információs Közhasznú Társaság, Budapest, Kézirat, 2006.10.01.

P. Ullidtz: Modelling Flexible Pavement Response and Performance, 1998

ÚT 2-1.202:2005 [e-UT 06.03.13] Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése

F. van Cauwelaert Pavement design and evaluation, The required mathematics and its applications Federation of the Belgian Cement Industry, 2003

C. van Gorp: Characterization of seasonal influences on asphalt pavements with the use of falling weigh deflectometers, PHD disszertáció, Delft 1995

### Adatok

Megjelent itt

3. szám

2014. tavasz



### Szerző

#### **Karoliny Márton**

Okleveles építőmérnök, szakmérnök, mérnök-közgazdász. A MAUT Útpályaszerkezetek szakbizottság elnöke, jelenleg aktív, szakmai tanácsadással foglalkozó nyugdíjas.

### Témakörök

Útépités

### Kulcsszavak

behajlás • csapadék • korrekciós eljárás

### Befogadva

2014. július 4.

### Hozzászólás

\* Név

\* Email

Honlap

Hozzászólás

Hozzászólás elküldése

[Bejegyzések](#)

[Galéria](#)

[Impresszum](#)

[Interjúk](#)

[Könyvajánló](#)

[Témakörök](#)

---

© **Copyright Útügyi Lapok** 2013 • *Minden jog fenntartva.*

