

FÖLDMŰVIZSGÁLATI MÓDSZEREK MEGBÍZHATÓSÁGÁNAK ELEMZÉSE

ÉZSIÁS LÁSZLÓ¹

1. BEVEZETÉS

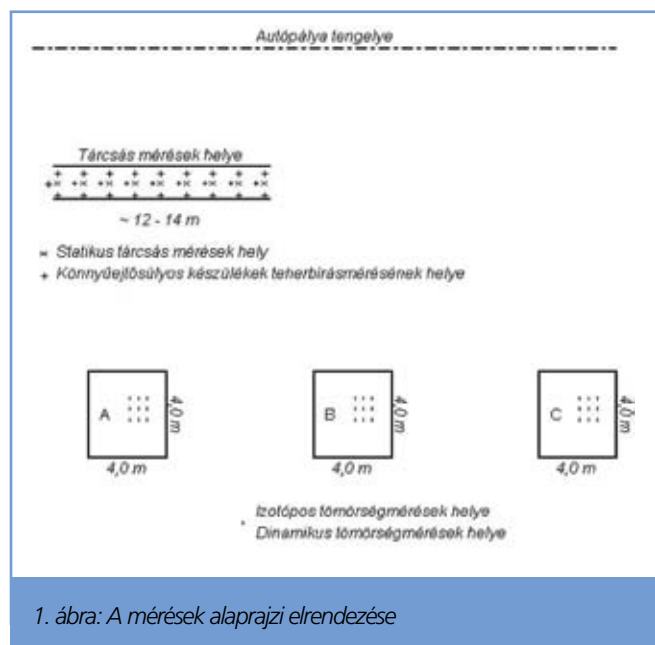
A földművek megfelelőségének igazolása két paraméter, nevezetesen a tömörségi fok és a teherbírási modulus meghatározásával történik. A paraméterek mérésére napjainkban több eljárás áll a szakma rendelkezésére. A különböző eljárások, a mérési módszerüket tekintve, kisebb-nagyobb mértékben eltérnek egymástól. Ez az anomália mind a mérések eszközeire, mind pedig a minősítő paraméterek meghatározásának elméletére igaz. A különböző, de azonos tulajdonságot minősítő eljárások közötti átjárhatóságot/átszámíthatóságot egyes szakmai körök meglehetősen fontosnak tartják. A különböző módszerek eredményeinek összevetésére – éppen ezért – több tanulmány született az elmúlt évek során, amelyek a levont következtetéseiket illetően nagymértékű különbözőséget mutattak. Sokan sokféle állásfoglalást tettek az átszámíthatóságot illetően, így az átszámíthatóságra jelenleg is több képlet áll a szakma rendelkezésére.

A különböző eljárások által mért eredmények terepi körülmények közötti felmérésére, valamint az alkalmazott eljárások megbízhatóságának az összevetésére az ÚTLAB Szövetség Műszaki Szabályozási Bizottságának közreműködésével 2008 tavaszán az épülő M6-os autópályán sor került egy összehasonlító vizsgálatsorozatra, melynek szervezését és lebonyolítását a Magyar Közút Kht. és a Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. vállalta magára. Jelen cikk a mérési körülményei mellett az értékelés módjáról és a kapott eredményekről is beszámol.

2. A VIZSGÁLATI PROGRAM BEMUTATÁSA

2.1. AZ ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATOKBA BEVONT ELJÁRÁSOK KÖRE, A VIZSGÁLATOK KÖRÜLMÉNYEI

A mérések helyszínén olyan építési területet választottunk, ahol három különböző építési fázisban lévő földműszakasz áll a résztvevő laboratóriumok rendelkezésére, annak érdekében, hogy az eredményeket minél szélesebb peremfeltételek mellett lehessen értelmezni. Egy szakaszon belül három kijelölt helyen izotópos tömörségmérésre és a B&C készüléket használók dinamikus tömörség- és teherbírásmérésére került sor. A kijelölt szakaszokon tengelyben történt a tárcsás teherbírásmérés akképpen, hogy egy laboratórium mérését követően a terhelő jármű 1-2 métert haladt előre, ahol a soron következő laboratórium végezhette el a teherbírásmérést. A szakaszokat szemre homogénnek tűnő területen jelöltük ki. A tárcsás teherbírásmérést követően, a tárcsa melletti területen könnyűejtősúlyos teherbírásmérésre is sor került. A mérések alaprajzi elrendezésének sematikus vázlatát az 1. ábra mutatja. A mérési helyszínek talajának azonosító vizsgálati jegyzőkönyveit a munkahelyi laboratórium bocsátotta a rendelkezésünkre. A jegyzőkönyvek alapján a három helyszín talajtípusa iszapos homok (I. helyszín) és kavicsos homok (II. és III. helyszín) talaj volt.



A vizsgálatsorozatban kilenc laboratórium vett részt. A résztvevő laborokat a szervezők választották ki. A választás fő szempontjai a nagy gyakorlat, illetve a nagy projektben való részvétel megléte volt, ugyanis a mérési eredmények megbízhatóságát szeretnénk volna minél pontosabban meghatározni, a mérési eredményeket a lehető legkevesebb mérési hibával terhelni, valamint a nagy projektekben tevékenykedő laborok eredményeit összevetni. Ezekon a feltételeken túlmenően a laboratóriumok NAT általi akkreditáltsága is feltétel volt. A résztvevő laboratóriumok nem rendelkeztek a méréssorozatba bevont valamennyi mérőberendezéssel. Az egyes mérési helyszíneken különböző eljárások által kapott eredmények számát az 1. táblázat mutatja.

2.2. AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERE

A vizsgálatsorozat elsődleges célja a szakmában tevékenykedő laboratóriumok mérési eredményeinek felhasználásával az egyes eljárások mérési megbízhatóságának – azonos körülmények közötti – számszerű meghatározása volt. Egy mérési módszer megbízhatóságának számszerűsítése meglehetősen nehéz feladat, hiszen az eredményekben több tényező (emberi, eszközbeli, inhomogenitási, módszerbeli stb.) együttes hatását kell figyelembe venni. Első körben a bonyolultabb számítást szeretnénk volna elkerülni, ezért az eredmények feldolgozását első közelítésben nem bonyolult statisztikai módszerekkel, hanem általunk észszerűnek tartott elemzéssel értékeltük ki. Az értékelési módszer, amelyet választottunk, a mérési megbízhatóságának számszerű megfogalmazását teszi lehetővé, azonban az eredményekben

¹ Építőmérnök, laboratóriumvezető, tudományos segédmunkatárs, Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.

1. táblázat: Az egyes mérési módszerek helyszínenkénti mérési eredményeinek száma

Mérés helye		Statikus tárcsás teherbírásmérés MSZ 2509-3:1989	Radiometriás tömörségmérés ÚT 2-3.103:1998	Könnyűejtősúlyos teherbírásmérés ÚT 2-2.119:1998	Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés ÚT 2-2.124:2005
I	A	9	9	8	4
	B		9		4
	C		9		4
II	A	9	9	8	4
	B		9		4
	C		9		4
III	A	9	9	8	4
	B		9		4
	C		9		4

a bizonytalansági faktorok arányát nem képes megadni, gyakorlatilag együttesen kezeli azokat. Ezzel a módszerrel tehát megállapítható, hogy például egyazon építési helyen egyazon szelvényben a kivitelezői és kontroll laboratórium eredményeinek milyen mértékű eltérésére lehet számítani. Az elemzést úgy végeztük el, hogy a statisztikai paraméterek (átlag, szórás, terjedelem, relatív szórás) meghatározását követően az adatokból eltávolítottuk az adatsor szélső értékeit (minimum, maximum), és így a korrigált paramétereket ismételtlen meghatároztuk. Az így kapott paraméterek segítségével a korrigált átlagtól mint várható értéktől való eltérések számíthatóvá váltak.

A számítást úgy végeztük, hogy a *várható érték* \pm *terjedelem/2* értékét határoztuk meg a következőképpen:

- a korrigált átlagértéket meghatároztuk,
- a korrigált terjedelmeket számoltuk (max – min),
- a mérések helyszínenként számított terjedelmeinek átlagát meghatároztuk,
- a mérés megbízhatóságát a *korrigált átlag (várható érték) \pm korrigált terjedelem/2* értékkel jellemeztük.

2. táblázat: Statikus tárcsás teherbírásmérés (MSZ 2509-3) eredményei

Megnevezés	I. mérési hely				II. mérési hely				III. mérési hely				Hibák száma
	E_1	E_2	T_t	t	E_1	E_2	T_t	t	E_1	E_2	T_t	t	
	MPa				perc				MPa				
1. laboratórium	43,2	58,4	1,35		11,6	22,1	1,91	< 3	57,5	82,7	1,44	< 2	4
2. laboratórium	50,3	78,5	1,56	2,5	36,6	57,1	1,56	1,5	47,9	79,1	1,65		2
3. laboratórium	36,0	60,2	1,67	7	31,1	46,9	1,51		39,9	81,8	2,05		0
4. laboratórium	60,1	78,2	1,30		19,5	36,6	1,88	6	55,1	79,4	1,44		1
5. laboratórium	48,9	71,0	1,45	14	24,3	41,8	1,72	10	42,9	71,2	1,66	12	0
6. laboratórium	41,4	61,8	1,49		22,5	35,3	1,57		26,5	60,0	2,26		2
7. laboratórium	33,9	55,4	1,63		31,3	52,8	1,69		41,8	75,5	1,81		1
8. laboratórium	45,5	52,1	1,15		30,7	63,8	2,08		38,8	79,7	2,05		2
9. laboratórium	46,7	71,7	1,54	< 3	35,4	58,9	1,66	< 3	46,7	61,1	1,31		0
Átlag, korrigált:	44,6	65,2	1,5		27,8	47,1	1,7		44,7	75,4	1,7		
Szórás, korrigált:	4,9	8,4	0,1		5,8	9,6	0,1		5,7	7,2	0,3		
Minimum, korrigált:	36,0	55,4	1,3		19,5	35,3	1,6		38,8	61,1	1,4		
Maximum, korrigált:	50,3	78,2	1,6		35,4	58,9	1,9		55,1	81,8	2,1		
Terjedelem, korrigált:	14,3	22,8	0,3		15,9	23,6	0,4		16,3	20,7	0,6		
Relatív szórás, korrigált, %:	11	13	8		21	20	8		13	10	15		
A vizsgált három mérési hely terjedelmeinek átlaga:	E_1	16 MPa											
	E_2	22 MPa											
	T_t	0,42											
Átlagos megbízhatóság a vizsgálati tartomány fel-tüntetésével:	E_1	Átlag (várható érték) \pm 8 MPa						20–55 MPa					
	E_2	Átlag (várható érték) \pm 11 MPa						35–80 MPa					
	T_t	Átlag (várható érték) \pm 0,21						1,30–2,10 perc					

3. AZ EGYES ELJÁRÁSOK MEGBÍZHATÓSÁGÁNAK MEGHATÁROZÁSA

3.1. STATIKUS TÁRCSÁS TEHERBÍRÁSMÉRÉS EREDMÉNYEINEK ELEMZÉSE

A statikus tárcsás teherbírás mérés a földművek minőség-ellenőrzésének egyik legfontosabb, legszélesebb körben alkalmazott eljárása. A szakemberek a legmegbízhatóbb eljárások között említik e vizsgálatot, amely a földmű teherbírásáról ad tájékoztatást. A mérés lényege, hogy egy 300 mm átmérőjű tárcsát ellensúly segítségével több lépcsőben, földművek esetén 0,3 MPa-ig, a konzolidáció megfelelő mértékű kiváráásával terhelünk. A vizsgálat során az erő és a süllyedés összefüggését mérjük, majd a mért eredmények alapján számítjuk a teherbírás modulus értékét. A vizsgálattal meghatározott egyéb paraméterek, mint például a tömörítési tényező (T_p) értéke, tájékoztatást adnak a tömörségi viszonyokról is. A vizsgálatot – elterjedt alkalmazása révén – mind a

kilenc résztvevő laboratórium az előzőekben részletezett feltételek mellett végrehajtotta. A vizsgálatok előtt tájékoztattuk a vizsgáló személyeket, hogy akkreditált laboratóriumi személyzet lévén, tartsák be a vonatkozó szabvány előírásait. Az értékelést a már részletezett módszer alapján végeztük el. A kapott eredményeket a 2. táblázat ismerteti. A táblázatban feltüntettük az E_1 , E_2 és T_t értékeit. Az értékelésnél figyelmen kívül hagyott, egy mérési helyre jellemző eredmények minimumát és maximumát sötétebb színrel jelöltük. A megmaradt hét eredmény statisztikai paramétereit alapján került meghatározásra a mérési helyekre jellemző megbízhatóság. Az eljárás megbízhatóságát a három helyszín mérési megbízhatóságának átlagértékével jellemeztük. Az így adódó mérési terjedelem meglehetősen nagy értéket eredményezett. Ha egy példával szeretnénk élni és számszerűsítjük az eredményt, akkor elmondható, hogy ha az egyik laboratórium 30 MPa-os E_2 -t mért, akkor előfordulhat, hogy egy másik laboratórium 50 MPa feletti E_2 modulust produkál. Ez az eltérés jelentős mértékű, amely több – a későbbiekben megfogalmazott – kérdést is felvet.

3. táblázat: Radiometriás tömörségmérés statisztikai eredményei a vizsgált kilenc mérési helyszínen

Megnevezés	I/A mérési hely				I/B mérési hely				I/C mérési hely			
	$\rho_{n\text{átl}} \text{ g/cm}^3$	$W_{\text{átl}} \%$	$\rho_{d\text{átl}} \text{ g/cm}^3$	$T_{ry} \%$	$\rho_{n\text{átl}} \text{ g/cm}^3$	$W_{\text{átl}} \%$	$\rho_{d\text{átl}} \text{ g/cm}^3$	$T_{ry} \%$	$\rho_{n\text{átl}} \text{ g/cm}^3$	$W_{\text{átl}} \%$	$\rho_{d\text{átl}} \text{ g/cm}^3$	$T_{ry} \%$
Eltávolított adatok száma:	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2
Átlag, korrigált:	2,12	9,10	1,94	98,4	2,08	9,72	1,89	96,1	2,12	9,91	1,93	97,7%
Szórás, korrigált:	0,02	0,53	0,02	1,1	0,01	0,53	0,02	0,9	0,02	0,47	0,02	0,9%
Minimum, korrigált:	2,08	8,49	1,91	97,0	2,06	8,92	1,87	94,9	2,10	9,31	1,90	96,4%
Maximum, korrigált:	2,15	9,93	1,97	100,0	2,09	10,36	1,92	97,5	2,14	10,63	1,95	99,2%
Terjedelem, korrigált:	0,07	1,44	0,06	3,0	0,03	1,44	0,05	2,6	0,04	1,32	0,05	2,8%
Relatív szórás, korrigált, %	1,1	5,8	1,1	1,1	0,6	5,5	0,9	0,9	0,8	4,8	0,8	0,9%
Megnevezés	II/A mérési hely				II/B mérési hely				II/C mérési hely			
Eltávolított adatok száma:	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Átlag, korrigált:	1,93	10,39	1,75	93,0	2,12	9,16	1,94	103,1	1,96	8,31	1,82	96,7%
Szórás, korrigált:	0,02	0,82	0,03	1,8	0,02	0,54	0,01	0,7	0,03	1,21	0,04	2,2%
Minimum, korrigált:	1,90	9,34	1,70	90,6	2,10	8,53	1,92	102,0	1,92	6,84	1,77	94,1%
Maximum, korrigált:	1,96	11,87	1,79	95,2	2,17	9,84	1,96	104,4	2,01	10,07	1,89	100,3%
Terjedelem, korrigált:	0,06	2,53	0,09	4,5	0,07	1,30	0,05	2,4	0,08	3,23	0,12	6,2%
Relatív szórás, korrigált, %	1,1	7,9	2,0	1,9	1,0	5,9	0,7	0,7	1,5	14,6	2,3	2,3%
Megnevezés	III/A mérési hely				III/B mérési hely				III/C mérési hely			
Eltávolított adatok száma:	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Átlag, korrigált:	2,23	7,90	2,06	94,7	2,23	7,91	2,06	94,6	2,22	7,10	2,07	95,0%
Szórás, korrigált:	0,01	0,86	0,02	0,9	0,02	0,49	0,02	0,9	0,02	0,56	0,02	0,9%
Minimum, korrigált:	2,22	6,97	2,03	93,0	2,21	7,27	2,03	93,2	2,20	6,33	2,05	93,9%
Maximum, korrigált:	2,26	9,28	2,09	96,0	2,25	8,48	2,10	96,2	2,25	7,91	2,10	96,2%
Terjedelem, korrigált:	0,04	2,31	0,07	3,0	0,04	1,21	0,06	3,0	0,05	1,59	0,05	2,4%
Relatív szórás, korrigált, %	0,6	10,9	1,0	1,0	0,7	6,2	1,0	1,0	0,8	7,8	0,9	0,9%

4. táblázat: Radiometriás tömörségmérés statisztikai értékelése

A vizsgált kilenc mérési hely terjedelmeinek átlaga:		
ρ_n	0,05 g/cm ³	
ρ_d	0,07 g/cm ³	
w	1,8%	
T_{py}	3,3%	
A vizsgált kilenc mérési hely relatív szórásának átlaga:		
ρ_n	0,9%	
ρ_d	1,2%	
w	7,7%	
T_{py}	1,2%	
Átlagos megbízhatóság		Vizsgálati tartomány
ρ_n	± 0,025 g/cm ³	1,93–2,23 g/cm ³
ρ_d	± 0,035 g/cm ³	1,75–2,07 g/cm ³
w	± 0,9 %	7,2–10,4%
T_{py}	± 1,65 %	90–103%

3.2. RADIOMETRIÁS TÖMÖRSÉGMÉRÉS EREDMÉNYEINEK ELEMZÉSE

Abban az esetben, ha egy megfelelő szemmegoszlású talajt megfelelő technológiával megfelelő mértékben tömörítünk, az építést követő konszolidációs süllyedések várhatóan alacsonyak lesznek. A tömörség meghatározása úgy történik, hogy módosított Proctor-vizsgálattal megállapítjuk az adott talaj Proctor-berendezéssel elérhető maximális térfogatsűrűségének értékét, majd ugyanannak a talajnak az építés helyszínén elért térfogatsűrűségét is valamilyen berendezéssel megmérjük. A két sűrűségi eredmény hányadosa adja a bedolgozott talajréteg tömörségét, százalékban kifejezve azt. Hazánkban a legelterjedtebb mérési módszer a radiometriás tömörségmérés, amellyel a nedves térfogatsűrűséget, valamint a talaj víztartalmát határozzuk meg. A két mérési eredményből a tömörség meghatározásához szükséges száraz térfogatsűrűség (ρ_d) számíthatóvá válik.

Az eljárás a talaj térfogatsűrűségének gyors meghatározását teszi lehetővé. Előnye az eljárásnak, hogy az eredmény meghatározásában a kezelő személy alárendelt szerepet tölt be. A módszer a tömegmérésre való alkalmazása miatt terjedt el, a szakemberek között a mérést illetően azonban megoszló vélemények alakultak ki. Az alkalmazása szigorú egészségügyi és alkalmazási feltételekhez van kötve, az egészségkárosító sugárzás kibocsátása miatt az eljárásnak Európában bizonyosan nincs jövője.

A földművek minőségi követelményei az elmúlt évek során jelentős mértékben megemelkedtek, amelyek minősítése a mérési módszerek korlátai miatt meglehetősen bizonytalanok. A 95 és 97%-os előírások közötti különbség megállapításához rendkívül megbízható mérési módszerekre van szükség.

Az ÚTLAB Szövetség Műszaki Szabályozási Bizottsága éppen ezért tartotta fontosnak, hogy a minősítési eljárások megbízhatóságát terepi (valós) körülmények között kísérje meghatározni. A vizsgálatokat kilenc laboratórium részvételével hajtottuk végre. A méréseket 3 × 3 helyszínen, homogén tömörségűnek feltételezett, körülbelül 4 × 4 m-es területen végezték el a laboratóriumok. Fontos megemlíteni azonban, hogy a mérés céljára kijelölt 4 × 4 m-es

5. táblázat: Könnyűejtősúlyos teherbírásmérés (ÚT 2-2.119) eredményei

Megnevezés	I. mérési hely	II. mérési hely	III. mérési hely
	E_{vdM}	E_{vdM}	E_{vdM}
MPa			
1. laboratórium	60,2	20,8	55,2
3. laboratórium	66,0	37,6	55,5
4. laboratórium	70,8	24,8	63,0
5. laboratórium	50,4	35,8	52,2
6. laboratórium	59,9	30,8	46,8
7. laboratórium	76,8	38,8	50,5
8. laboratórium	51,4	42,8	52,8
9. laboratórium	52,3	40,8	49,1
Átlag:	61,0	34,0	53,1
Szórás:	9,7	7,8	5,0
Minimum:	50,4	20,8	46,8
Maximum:	76,8	42,8	63,0
Terjedelem:	26,4	22,0	16,2
Relatív szórás, % (átlag/szórás)	15,9	23,0	9,3
Átlag, korrigált:	60,1	34,8	52,6
Szórás, korrigált:	7,6	5,9	2,5
Minimum, korrigált:	51,4	24,8	49,1
Maximum, korrigált:	70,8	40,8	55,5
Terjedelem, korrigált:	19,4	16,0	6,4
Relatív szórás, korrigált, %	12,6	17,1	4,8
A vizsgált három mérési hely terjedelmeinek átlaga, E_{vdM} , MPa		14	
Átlagos megbízhatóság		±7	
Vizsgálati tartomány, MPa		25–75	

területen a laboratóriumok viszonylagosan a terület közepére koncentráltan végezték a méréseket, így becslésem szerint a mérések nagy része egy 2 × 2 m-es területre koncentrálódott.

A kilenc mérési helyszínen kapott átlageredményeket a 3. és 4. táblázat ismerteti. A táblázatokban nem szerepeltettük a vizsgálat-sorozat során kapott eredményeket, hanem csupán a már említett szélsőértékek elhagyásával számított, mérési helyekre jellemző statisztikai adatokat ismertetjük. A táblázatok a nedves térfogatsűrűség (ρ_n), a víztartalom (w), a száraz térfogatsűrűség (ρ_d), valamint a munkahelyi laboratórium által rendelkezésünkre bocsátott, a talajra jellemző Proctor-vizsgálat eredményeiből (mérésekkel megegyező napon vett mintákból) számított tömörségi eredményeket (T_{py}), továbbá az előzőekben ismertetett módon meghatározott megbízhatóságokat tartalmazzák. Az eredményekből kitűnik, hogy a száraz térfogatsűrűségek tekintetében viszonylag széles tartományban történtek mérések. A víztartalom mérés esetében viszont a mintegy 3%-os terjedelem meglehetősen alacsony, így a mérés megbízhatósága ezen a szűk tartományon értelmezhető.

A víztartalom mérés megbízhatóságára szolgáló eredmények szűk terjedelme azért is sajnálatos, mert a mérési módszer megbízhatósága ellen éppen a víztartalom mérés korlátai szólnak, me-

6. táblázat: A B&C mérési eljárás statisztikai eredményei

Megnevezés	Mérési hely						
	Tárcsás mérés mellett	I/A		I/B		I/C	
	E_d MPa	E_d MPa	T_{rd} %	E_d MPa	T_{rd} %	E_d MPa	T_{rd} %
Átlag:	88,68	71,15	98,75	87,43	99,25	96,03	99,00
Szórás:	18,60	16,12	0,50	20,77	0,50	31,00	0,00
Minimum:	71,40	48,30	98,00	56,80	99,00	67,50	99,00
Maximum:	113,00	82,60	99,00	103,00	100,00	138,00	99,00
Terjedelem:	41,60	34,30	1,00	46,20	1,00	70,50	0,00
Relatív szórás, %:	21,0	22,7	0,5	23,8	0,5	32,3	0,0
Megnevezés	Mérési hely						
	Tárcsás mérés mellett	II/A		II/B		II/C	
	E_d MPa	E_d MPa	T_{rd} %	E_d MPa	T_{rd} %	E_d MPa	T_{rd} %
Átlag:	38,84	28,75	97,25	26,65	97,50	27,03	98,50
Szórás:	10,51	5,39	1,50	14,24	1,29	7,12	0,58
Minimum:	33,00	20,70	96,00	17,10	96,00	20,50	98,00
Maximum:	57,50	32,20	99,00	47,70	99,00	37,10	99,00
Terjedelem:	24,50	11,50	3,00	30,60	3,00	16,60	1,00
Relatív szórás, %:	27,1	18,8	1,5	53,4	1,3	26,4	0,6
Megnevezés	Mérési hely						
	Tárcsás mérés mellett	III/A		III/B		III/C	
	E_d MPa	E_d MPa	T_{rd} %	E_d MPa	T_{rd} %	E_d MPa	T_{rd} %
Átlag:	78,00	91,25	99,00	32,38	93,67	67,90	97,00
Szórás:	6,81	1,04	0,00	14,59	4,16	12,68	2,16
Minimum:	67,50	90,40	99,00	14,40	89,00	56,20	94,00
Maximum:	84,00	92,70	99,00	48,00	97,00	84,80	99,00
Terjedelem:	16,50	2,30	0,00	33,60	8,00	28,60	5,00
Relatív szórás, %:	8,7	1,1	0,0	45,1	4,4	18,7	2,2
A vizsgált mérési helyek terjedelmeinek átlaga:				E_{dM}	29,7		
				T_{rdM}	2,4		
A vizsgált mérési helyek relatív szórásának átlaga:				E_{dM}	24,9%		
				T_{rdM}	1,2		
Átlagos megbízhatóság:				E_{dM}	átlag ± 15 MPa		15–140
Vizsgálati tartomány, MPa:				T_{rdM}	átlag ± 1,2%		94–100

lyek különösen a 14–15% feletti víztartalmak esetén jelentenek problémát. A tömörségmérési eredményekből világosan kitűnik, hogy a tömörségmérési eredmények mintegy 3%-os terjedelme egyértelműen megkérdőjelezi a 95–97%-os tömörségi előírások tarthatóságát a vizsgált eszköz által szolgáltatott eredményeket illetően.

3.3. KÖNNYŰEJTŐSÚLYOS TEHERBÍRÁSMÉRÉS EREDMÉNYEINEK ELEMZÉSE

A könnyűejtősúlyos teherbírás-mérési módszer kialakulása a statikus tárcsás teherbírás mérés hátrányos tulajdonságainak köszönhető. Sok esetben előfordult ugyanis, hogy a szűk munkaterület, vagy a padkán való mérés miatt a statikus tárcsás vizsgálat kivitelezhetetlen volt a munkaterület terhelőjárművel történő megközelíthetlensége miatt. A teherbírás számszerű ismeretét azonban a szakma megkövetelte, így olyan mérési módszert kellett kifejleszteni, amellyel a teherbírás mérése a szűk, terhelőjárművel meg nem közelíthető helyen is elvégezhető. Ez az igény vezetett a könnyűejtősúlyos mérési módszerek kialakulásához és fejlődéséhez.

A mérés lényege, hogy egy 300 mm átmérőjű tárcsára meghatározott tömeget adott magasságból vezető rúd közbeiktatásával ejtgetnek. Az ejtősúly a peremfeltételek ismeretében számítható terhelést ad át a tárcsának. Az eszköz a tárcsa dinamikus terhelésének következtében létrejött süllyedést méri, amely süllyedésből a dinamikus teherbírás modulus számíthatóvá válik. Az eszköz által szolgáltatott eredmények statikus tárcsás méréssel való összevetését már többen megkísérelték, az összefüggések megbízhatósága vélhetően az eltérő modellhatásnak köszönhetően azonban nem minden talaj esetében volt biztató.

A hazai minősítési rendszerben a statikus tárcsás teherbírás mérés mellett mind szélesebb körben alkalmazzák, az eredményét azonban sokan fenntartással kezelik. Az eredményeket az 5. táblázat tartalmazza. Az átlag ± 7 MPa-os mérési megbízhatóság azonban jobb eredményt mutat a statikus tárcsás mérés eredményénél. A lehetséges okokat a későbbiekben tárgyaljuk.

3.4. B&C KÖNNYŰEJTŐSÚLYOS TÖMÖRSÉG-ÉS TEHERBÍRÁSMÉRÉS EREDMÉNYEINEK ELEMZÉSE

A mérési eljárás a dinamikus teherbírás mérés továbbgondolása révén egy teljesen új mérési módszerként jelent meg a minősítő vizsgálatok között. Az eljárás egy lépcsőben képes mind a dinamikus teherbírás modulus, mind pedig a dinamikus tömörségi fokot meghatározni. A teherbírás mérésnél alkalmazott terhelési tartományt a statikus tárcsás terhelés értékére, 0,3 MPa-ra emelték akképpen, hogy a tárcsaátmérőt a 300 mm-ről annak mintegy felére csökkentették.

A dinamikus tömörséget a műszer a süllyedési amplitúdókból számítja, a mérésre kifejlesztett elmélet alapján. Az elmélet a dinamikus tömörségi fokot azonosnak tekinti a sűrűségarányból számított tömörségi eredménnyel. Az eszköz által szolgáltatott statisztikai eredményeket a 6. táblázat ismerteti. Az eredmények feldolgozásánál nem végeztük el a többi vizsgálatnál alkalmazott korrekciót, miszerint a szélsőértékek eltávolításával számoltuk a statisztikai paramétereket, ugyanis az eszközzel való mérésre a kilencből négy laboratórium készült fel. A négy adatból kettő eltávolítása pedig értékelhetetlenné tette volna az eredményeket. Így a mérések megbízhatóságának összehasonlításakor mindenképpen a korrekció nélküli eredményeket célszerű figyelembe venni, mely által valamelyest rosszabb eredményre jutunk a megbízhatóságot illetően. Jelen eredményeket tehát a mérések alacsony száma miatt fenntartással kell kezelni.

4. A KÜLÖNBÖZŐ ELJÁRÁSOK EREDMÉNYEINEK ÖSSZEVETÉSE, ÁTSZÁMÍTHATÓSÁGA

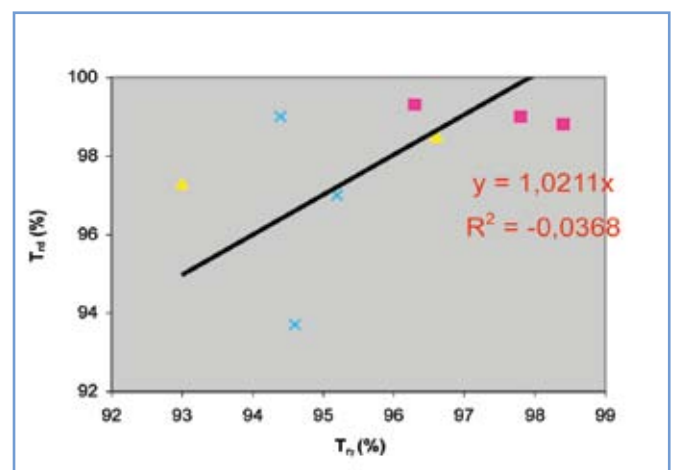
Az összehasonlító mérésorozat eredményei a mérések megbízhatóságának meghatározásán túl, az egyazon paraméter eltérő eszközökkel mért eredményeinek összehasonlítását is lehetővé teszi. A jelenlegi minősítési rendszerben az ismertetett eljárások egyidejűleg vannak jelen, így a földmű megfelelőségigazolására megállapított paramétereket eltérő mérési módszerekkel is meg tudjuk határozni. Egyes esetekben az eltérő eszköz eredményeire nincsenek külön minősítő határértékek meghatározva, így a minősítés szempontjából egyenértékűnek tekintik azok eredményeit.

Mivel a szakmának nagy az igénye (talán indokolatlanul) a különböző vizsgálati eredmények közötti átjárhatóságra, ezért több kísérletezéssel találkozhatunk az összehasonlíthatóságot illetően. Jelen vizsgálati sorozat a mérések megbízhatóságának felmérése mellett lehetőséget teremt arra is, hogy az eltérő mérési módszerek eredményei közötti kapcsolatot is megkíséreljük kimutatni. Megjegyzendő azonban, hogy egyértelmű, minden körülményre kiterjedő összefüggés a mérés körülményeinek behatároltsága miatt (hasonló talajtípusok, jól tömörített földműnka, közel azonos víztartalom stb.) vélhetően nem mutatható ki.

4.1. TÖMÖRSÉGMÉRÉSI EREDMÉNYEK ÖSSZEVETÉSE

Az előzőekben ismertetett két tömörségmérési eljárást egyre gyakrabban alkalmazzuk egyazon munkákon, a minőséggel szemben támasztott követelményként pedig ugyanazt a határértéket fogadjuk el mind a két eljárás esetén. Az eredmények közti azonosság kimutatása az eltérő modellhatás, az eljárások különbözősége, és a tömörségi paraméter változékonysága miatt meglehetősen nehéz feladat, ugyanakkor ennek igazolása elengedhetetlen a minősítő eljárásban résztvevő felek konfliktusainak elkerülése érdekében.

Mivel a dinamikus tömörségmérést négy laboratórium végezte el, az értékelést úgy tartottuk megfelelőnek, ha a két eljárással meghatározott mérési helyekre jellemző átlagértékeket hasonlítjuk össze. A 2. ábrán a két eljárással meghatározott tömörségeket úgy ábrázoltuk, hogy egyik tengelyen az egyik, a másik tengelyen az ugyanazon ponton a másik eljárással meghatározott tömörséget tüntettük fel.



2. ábra: Tömörségi eredmények (T_d és T_n) összevetése

Az adatokra illesztett origóból indított trendvonal egyenlete közelít az 1-hez, amely az eredmények egyezőségének feltétele, azonban az eredmények eléggé szórnak. Az eltérően jelölt pontok a három eltérő mérési helyszínen kapott eredményeket jelölik. Az eltérő jelölés nem mutatja valamely mérési helyszínen eredményeinek hibáját, így az eredmények ismeretében egyik talajtípus esetén sem mondható ki az egyértelmű azonosság. Az összes eredményre illesztett egyenes azonban az átlagérték környezetében fut.

4.2. TEHERBÍRÁS-MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÖSSZEVETÉSE

4.2.1. A STATIKUS TÁRCSÁS ÉS A KÖNNYŰEJTŐSÚLYOS (NAGYTÁRCSÁS) TEHERBÍRÁSMÉRÉS ÖSSZEVETÉSE

A statikus tárcsás teherbírásmérés korlátai miatt, annak részleges kiváltására fejlesztették ki a nagytárcsás (300 mm) könnyűejtősúlyos teherbírásmérést. A mérés gyors, egyszerű környezetbarát eljárás. Mivel a két módszert egyazon tulajdonság mérésére alkalmazzák, a kezdetektől nagy a törekvés a két eljárás eredményei közti átjárhatóság biztosítására, egymásnak történő megfeleltetésére. Több elmélet is született az átszámíthatóságra vonatkozóan. Az eredmények össz-

szövetését a rendelkezésünkre álló adatokból mi is elvégeztük. Az összehasonlítás eredményét a 3. ábra ismerteti.

A kiugró eredmények mindegyike az I. számú helyszínen eredményei közül került ki. Az I. helyszínen beépített talajtípus a másik kettőtől jellegében is különbözik, iszapos-homok talaj volt. A kiugró adatok eltávolításával az 4. ábra szerinti eredményre jutottunk.

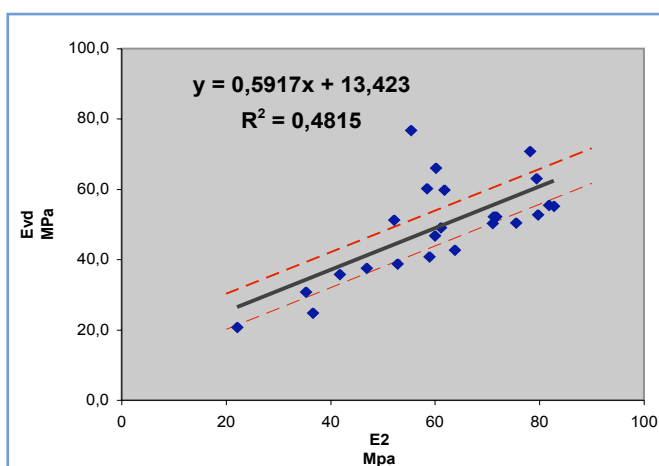
A kiugró adatokat piros színnel jelöltük. Az értékelésben meghagyott eredményekre jó megbízhatósággal illeszthetjük a trendvonalat. A szaggatott vonallal az ± 5 MPa-os határokat jelöltük ki, melyet a mérési eredmények megfelelő biztonsággal kielégítenek. Az összefüggés a két eljárás között tehát ekkora mintaszám mellett már kimutatható, azonban az összefüggés talajtípusonként eltérő eredményt adhat.

4.2.2. A STATIKUS TÁRCSÁS ÉS A KÖNNYŰEJTŐSÚLYOS (KISTÁRCSÁS B&C) TEHERBÍRÁSMÉRÉS ÖSSZEVETÉSE

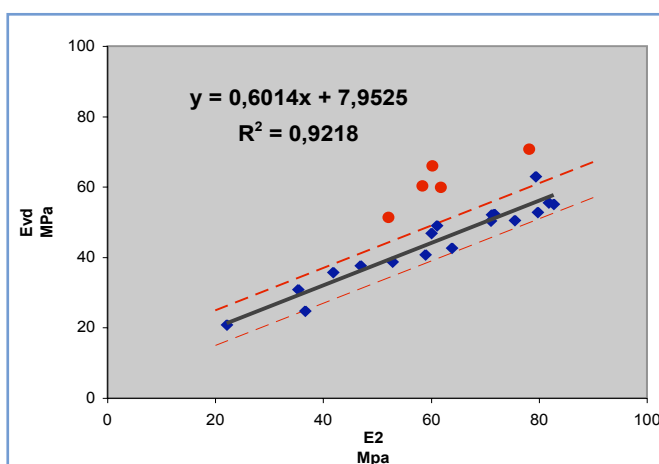
A kistárcsás teherbírásmérés, a méréshez alkalmazott terhelés nagyságát tekintve, megegyezik a statikus tárcsás terhelés nagyságával. Az eljárás fejlesztői, a kistárcsás könnyűejtősúlyos mérésnél, azért döntöttek a statikus tárcsás terheléssel megegyező terhelés biztosítása mellett, mert az azonos terheléstől a két eszköz által mért eredmények azonos nagyságrendjét várták.

Az eredmények összevetését nehezíti, hogy az összehasonlíthatósághoz az előzőeknél kevesebb adat áll rendelkezésre, mivel a B&C berendezéssel négy laboratórium mért a vizsgálatok helyszínén, így a kiértékelt eredmények csak tájékoztató jelleggel vehetők figyelembe. (5. ábra)

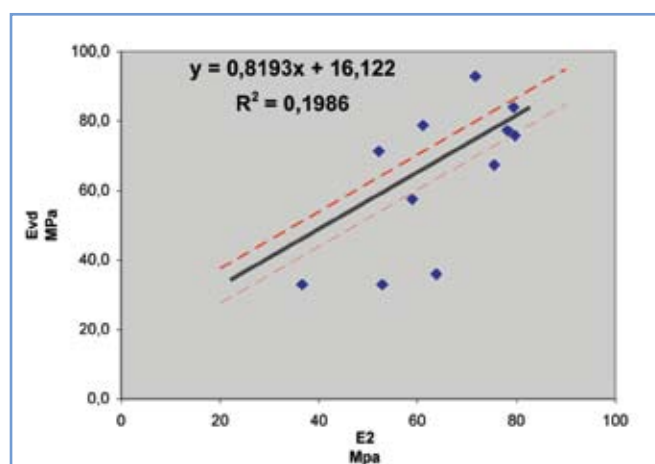
Abban az esetben, ha az adatok közül eltávolítjuk a szemre kiugró eredménypárokat (outliereket), továbbá az egyezés feltételezésével a trendvonalat az origóból indítjuk, a 6. ábra szerinti eredményre jutunk. Az így meghatározott összefüggés az átlagtól ± 5 MPa-os eltérés ábrázolásával megfelelő mértékű egyezőséget mutat a két eljárás eredményeinek összefüggését illetően. Az adatok száma azonban meglehetősen alacsony, a mérések alacsony számához képest sok a kiugró adat, így az eredmények fenntartással kezelendők.



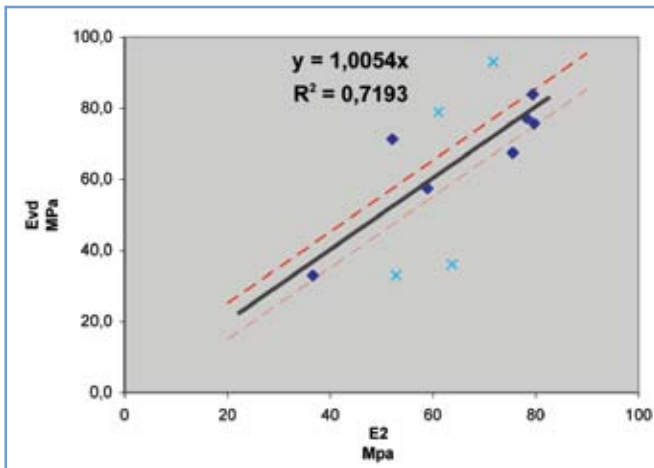
3. ábra: Statikus (E_2) és dinamikus (E_{vd}) teherbírási modulusok összehasonlítása (minden mért adattal)



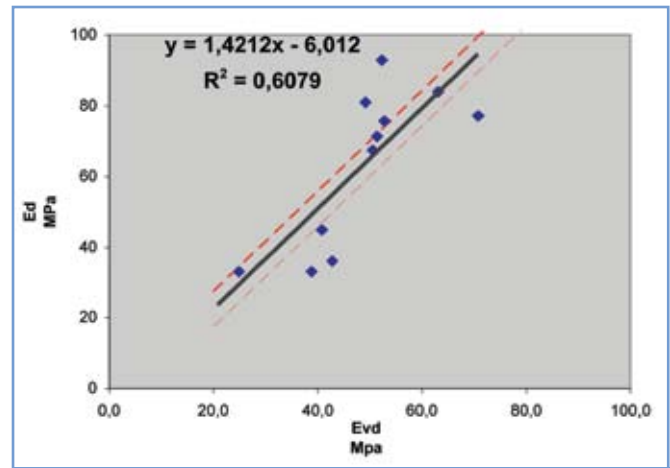
4. ábra: Statikus (E_2) és dinamikus (E_{vd}) modulusok összehasonlítása a kiugró értékek eltávolításával



5. ábra: Statikus (E_2) és dinamikus (E_{vd}) modulusok összehasonlítása



6. ábra: Statikus (E_2) és dinamikus (E_{vd}) modulusok összehasonlítása a kiugró adatok eltávolításával



7. ábra: Dinamikus modulusok összehasonlítása (összes mért adat)

4.2.3. A KÖNNYŰEJTŐSÚLYOS NAGYTÁRCSÁS ÉS A KÖNNYŰEJTŐSÚLYOS KISTÁRCSÁS (B&C) TEHERBÍRÁSMÉRÉS ÖSSZEVETÉSE

A hasonló mérési elv és kialakítás miatt mindenképpen szükségesnek tartjuk a könnyűejtősúlyos teherbírásmerések eredményeinek összevetését is. A megegyező modellhatás következtében biztató eredményekre lehet számítani, azonban a B&C mérésnél már említett alacsony mérésszám jelen esetben is félrevezető lehet. Az összes mért eredmény összevetését a 7. ábra mutatja.

Az előzőekben alkalmazott módszer, miszerint a kiugró adatokat eltávolítottuk, jelen esetben nem igazán alkalmazható, ugyanis a kiugró adatok eloszlásában nem fedeztünk fel semmilyen tendenciát. A 7. ábra alapján tehát azt a megállapítást tesszük, hogy az eljárások eredménye közti kapcsolat egyértelmű, pontos meghatározásához azonban több adatra van szükség.

5. TAPASZTALATOK, MEGÁLLAPÍTÁSOK

A vizsgálatok helyszínénél választott területen a háromból két helyen közel azonos talajtípuson zajlottak a mérések, így összességében elmondható, hogy az eredményeket a két talajtípusra vonatkozóan célszerű értékelni, a következtetéseket ezen a két talajtípuson lehet értelmezni. A vizsgálati területek mindkét viszonylag jól tömörített földmunkával bírt, így a gyengébb tömörségi és teherbírási körülmények melletti összefüggés megállapítására a jelen eredmények nem képesek. Az összehasonlítani kívánt vizsgálati eljárások között szereplő B&C mérés eredményeinek száma meglehetősen alacsony, így az eredmények megbízható kiértékelését nem teszik lehetővé. A korrekt összehasonlításhoz és állásfoglaláshoz elengedhetetlen, hogy az összehasonlításban résztvevő valamennyi eljárás azonos számú eredménnyel vegyen részt.

A tömörségmérési módszerek megbízhatóságának a felmérés-kor megállapítottuk, hogy terepi körülmények között a laboratóriumok – mindkét módszer esetében – hozzávetőlegesen 3%-os terjedelemmel voltak képesek a tömörségi fok meghatározására. Megjegyzendő azonban, hogy a B&C méréssel kapott eredmények száma mintegy fele az izotópos méréssel kapott eredmények számának, így a B&C mérésnél nem tudtuk a cikkben többször említett korrekciót elvégezni az adatokon. A tömörségi fok mérésének mintegy 3%-os terjedelme felveti például a 95 és 97%-os tömörségi fokok megbízható meghatározásának kérdé-

sét is, ugyanakkor felhívja a figyelmet az egyedi eredmények jelenlegitől eltérő szemlélet szerinti figyelembevételének kérdésére is – (egyetlen nem megfelelő eredmény sem lehet) és egy szakaszon/rétegen történő statisztikai értékelés alkalmazására hívja fel a figyelmet.

A teherbírásmerésre alkalmazott statikus és dinamikus eljárások modellhatása, a terhelés mértéke és hatásmélysége is eltérő, amely következtében eredményeik összehasonlítása meglehetősen nehéz feladat. A felsorolt tényezők ugyanakkor az eljárások megbízhatóságát is nagymértékben befolyásolják. Elegendő – a teljesség igénye nélkül – a statikus mérésnél kimutatható gyengébb alsóbb rétegek eredményre gyakorolt hatására gondolni.

A statikus teherbírásmerés megbízhatóságának felmérésénél sajnálatos módon tapasztaltuk, hogy az jelentősen elmarad a tájékoztató jelleggel alkalmazott dinamikus mérés eredményéhez képest. A nagymértékű bizonytalanság mellett nem mehetünk el úgy, hogy annak okát nem kíséreljük meg feltárni. A cikk első felében ismerttettem, hogy a vizsgálatorozatban résztvevő laboratóriumok milyen szempontok szerint kerültek kiválasztásra. Úgy véltük, hogy a kiválasztott – főként az autópálya-építéseken tevékenykedő – laboratóriumokkal a mérések megbízhatóságát a lehető legkevesebb mérési, módszerbeli hibával fogjuk terhelni. Annak érdekében, hogy az esetleges mérési hibákat kiszűrjük, a statikus tárcsás mérések alkalmával igyekeztünk a laboratóriumok mérésének széles körű megfigyelésére. Azoknál a méréseknél, amelyeknél jelen voltam, megmértem a statikus tárcsás mérésekre fordított időt. Ezeket az időtartamokat a 2. táblázat tartalmazza. Meglepetéssel tapasztaltam, hogy egyes laboratóriumok 1-1,5 perc alatt képesek voltak az E_2 modulus meghatározására. Ennyi idő alatt a mérés végrehajtása a konszolidációs idők megfelelő mértékű kivárással nem lehetséges. Az eredmények értékelése során megvizsgáltuk, hogy a mérési idő rövidegének hatása megjelenik-e az eredményekben. Ennek az eredményekben nem volt szignifikáns hatása, azonban a mérési eredmények nagy terjedelmét bizonyosan befolyásolta. Az eredmények tehát megmutatták, hogy a legszigorúbb előírásokkal bíró projektekben tevékenykedő egyes laboratóriumok bizonyos minősítő vizsgálatokat illetően milyen szakmai színvonalat képviselnek, amelynek hatása a statikus tárcsás mérés eredményeinek terjedelmeiben is megjelenik.

A statikus tárcsás mérés megbízhatóságának eredménye egyértelműen felhívja a figyelmet arra, hogy a munkahelyi és a kontroll laboratórium eredményei között a jelenlegi projektekben

ilyen mértékű eltérés is előfordulhat, amelyek súlyos vitákat indukálhatnak. Az összehasonlító mérésorozat eredményei által megvizsgáltuk, hogy egyazon tulajdonságok eltérő eszközökkel történő meghatározása milyen összefüggést eredményez. A két tárgyalt tömörségmérési eljárás eredményének összevetését a 2. ábra ismerteti. Az összehasonlításhoz meglehetősen kevés adat állt rendelkezésünkre, ezért nem következtethetünk a két tényező azonosságára, habár az adatokra illesztett trendvonal meredeksége közelíti az azonosság feltételeként elvártét, az eredmények azonban eléggé szórnak.

Az eltérő teherbírás – mérési módszerek eredményeinek összevethetőségénél már utaltam az eltérő modellhatás, terhelési tartomány és hatásmélység eredményekre gyakorolt eltérő mértékére. Ennek ellenére megkíséreltük a vizsgálatsorozatba bevont eljárások eredményeinek összevetését. Összességében elmondható, hogy a statikus és dinamikus modulusok összefüggése kimutatható, azonban az összefüggés talajtípusonként jelentős mértékben eltérhet. Úgy véljük tehát, hogy általánosan alkalmazható képletek meglehetősen gyenge hatásfok mellett alkalmazhatók. Az átszámíthatóság nagyobb projektek esetén bizonyosan szükségtelen, hiszen az ÚT 2-1.222:2007 Utak és autópályák létesítésének általános geotechnikai szabályai című műszaki előírás is azt mondja, hogy adott projektek esetén az adott talajtípus alkalmasságának megítélését próbatömörítésekkel kell eldönteni, majd annak eredményei alapján megadhatók az egyes eljárásokkal mérendő eredmények határértékei. Követve az előírás gondolatmenetét, egyik eljárás eredményének másik eljárás eredményéből történő számítása szükségtelennek látszik. Kisebb projektek esetén természetesen előfordulhat az átszámítás igénye, azonban az eredményt fenntartással kell kezelni.

A vizsgálatok kiértékelését követően összességében megállapíthatjuk, hogy használható eredményre jutottunk a mérések megbízhatóságának meghatározását illetően, azonban az eredmények értékelését a mérési helyek jól tömörített állapota, a beépítési víztartalmak szűk terjedelme (7–10%), a mérési helyek talajának hasonlósága miatt szűk peremfeltételek mellett értékelhetjük. Javaslatunk szerint, a jelenleg épülő autópálya-szakaszok próbatömörítéseinek megfelelően előkészített szervezésével és lebonyolításával sok érdekes és értékes tapasztalatra tehetnének szert az átszámíthatóságot, a mérések korlátait, valamint a szakma felkészültségét illetően. Ezek a tapasztalatok fejlesztő hatást gyakorolhatnának a projektekben előírt követelményekre, hogy olyan elvárásokat támasszanak az építésben résztvevő felekkel szemben, amelyek betartása szakmai korrektség mellett biztosítható.

SUMMARY

ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF SUBGRADE TEST METHODS

In spring 2008, Hungarian Highways Non-profit Company and Institute for Transport Sciences Non-profit Ltd – cooperating with the Specification Committee of UTLAB Association – organized a harmonization test series for evaluating the reliability of subgrade test methods. The present article outlines the organization features as well as the methodology and the results of the analysis. The analysis of the test results makes it possible to formulate some ideas on subgrade tests.