



Klimatikus viszonyok hatása a reziliens modulusra II.: Reziliens modulus meghatározása

Pap Miklós¹, Mahler András¹, Tóth Csaba²

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Út és Vasútépítési Tanszék

E-mail: pap.miklos@epito.bme.hu, mahler.andras@epito.bme.hu, toth.csaba@epito.bme.hu

KIVONAT

Az úttervezésben gyakran használt reziliens modulus értékét a földmű víztartalma és hőmérséklet eloszlása (fagyás-olvasdás ciklus) jelentősen befolyásolja. Jelen publikációban Zapata és társai által 2007-ben publikált módszerét mutatjuk be, amely a reziliens modulus meghatározását tartalmazza a klimatikus hatások figyelembe vételével.

Kulcsszavak: felépülési tényező, klimatikus korrekciós tényező, redukciós tényező, redukciós tényező, reziliens modulus, telítettség

Pap Miklós

Okl. építőmérnök, PhD hallgató BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék.

Mahler András

Okl. építőmérnök, PhD hallgató BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék.

Dr. Tóth Csaba

A Magyar Mérnöki Kamara, a Közlekedéstudományi Egyesület, a Magyar Útügyi Társaság Útpályaszerkezetek Szakbizottság tagja, jelenleg az BME Út és Vasútépítési Tanszék docense. Korábban a Csongrád Megyei Állami Közútkezelő Kht., illetve az Állami Közúti Műszaki és Információs Kht. osztályvezetőjeként a magyar útügyi adminisztrációban dolgozott. Később a Strabag Konzern mérnökeként részt vett az épülő hazai országos közúthálózat minőségellenőrzésében valamint a Konzern nemzetközi és hazai kutatásaiban. Közlekedési építőmérnöki szakértőként, tervezőként, illetve műszaki ellenőrként közreműködött számos hazai burkolat-megerősítési projektben. Kutatási területe: hajlékony útpályaszerkezetek igénybevétele, méretezése, teherbíró-képessége, megerősítése. Publikációinak száma: több mint 50..

1. BEVEZETÉS

A publikáció első részében bemutattuk a reziliens modulust befolyásoló tényezőket, illetve Zapata és társai (2007) ajánlását a tényezők mérésére, számítására. A második részben bemutatjuk a reziliens modulus számításának Zapata és társai (2007) által kidolgozott lépéseit a korábban ismertett klimatikus hatások figyelembe vételével.

2. KÖTŐANYAG NÉLKÜLI BURKOLATI RÉTEGEK REZILIENS MODULUSA

A korábbiakban említettük, hogy a kötőanyag nélküli burkolati réteg reziliens modulusának (MR) talajadatokból történő becslésére számos befolyásoló tényezőt figyelembe kell venni; ilyen a kialakult feszültségállapot, a víztartalom és száraz térfogatsűrűség összefüggése, a fagyás és olvadás ciklusok hatása.

A víztartalom és a hőmérséklet időbeli változásának hatása az összetett környezeti korrekciós tényező alkalmazásával (F_{env}) vehető figyelembe. Az eljárás minden klimatikus tényezővel foglalkozik és a víztartalmat, a szivást és a hőmérsékletet az idő függvényében adja meg a réteg tetszőleges pontjában, melyekből az F_{envR} a következőképpen fejezhető ki:

$$M_R = F_{env} \cdot M_{Ropt} \quad (1)$$

Az F_{env} gyakorlatilag egy korrekciós tényező, mely az optimális állapothoz tartozó reziliens modulust (M_{Ropt}) az aktuális talajállapotra jellemző modulussá (MR) transzformálja. Ez az összefüggés azt feltételezi, hogy az optimális reziliens modulus és a klimatikus tényező egymástól független változónak tekintheti. A korábbi tapasztalatok alapján ez nem feltétlenül igaz minden esetre, a számítás során jelentős pontatlanságot nem okoz, és így a korrekciós tényező, mint a klimatikus hatások függvénye számítható anélkül is, hogy pontosan tudnánk M_{Ropt} értékét.

A közelítő számításokat, melyek figyelembe veszik a víztartalom változását és a fagyás-olvadás ciklusok hatását a kötőanyag nélküli rétegek reziliens modulusára, a következő pontokban tárgyaljuk.

2.1. KLIMATIKUS VISZONYOK HATÁRA A REZILIENS MODULUSRA

Witczak és társai (2000) alapos irodalomkutatás során jelentős mennyiségű modellt gyűjtöttek össze, melyek kapcsolatot teremtenek a reziliens modulus változása és a víztartalom között. A publikált módszereket (Li and Selig, 1994; Drumm et al., 1997; Rada and Witczak, 1981; Santha, 1980) alkalmazva kiválasztható a modell, mellyel analitikus becslést adhatunk a reziliens modulus és a víztartalom kapcsolatára. Ez a modell a következő:

$$\log \frac{M_R}{M_{opt}} = a + \frac{b-a}{1+e^{\ln(-\frac{b}{a})+k_m \cdot (S-S_{opt})}} \quad (2)$$

ahol:

M_R/M_{Ropt} - a reziliens modulusok aránya

a - $\log(M_R/M_{Ropt})$ minimuma

b - $\log(M_R/M_{Ropt})$ maximuma

k_m -regressziós paraméter

$S-S_{opt}$ - a telítettségi fok eltérése.

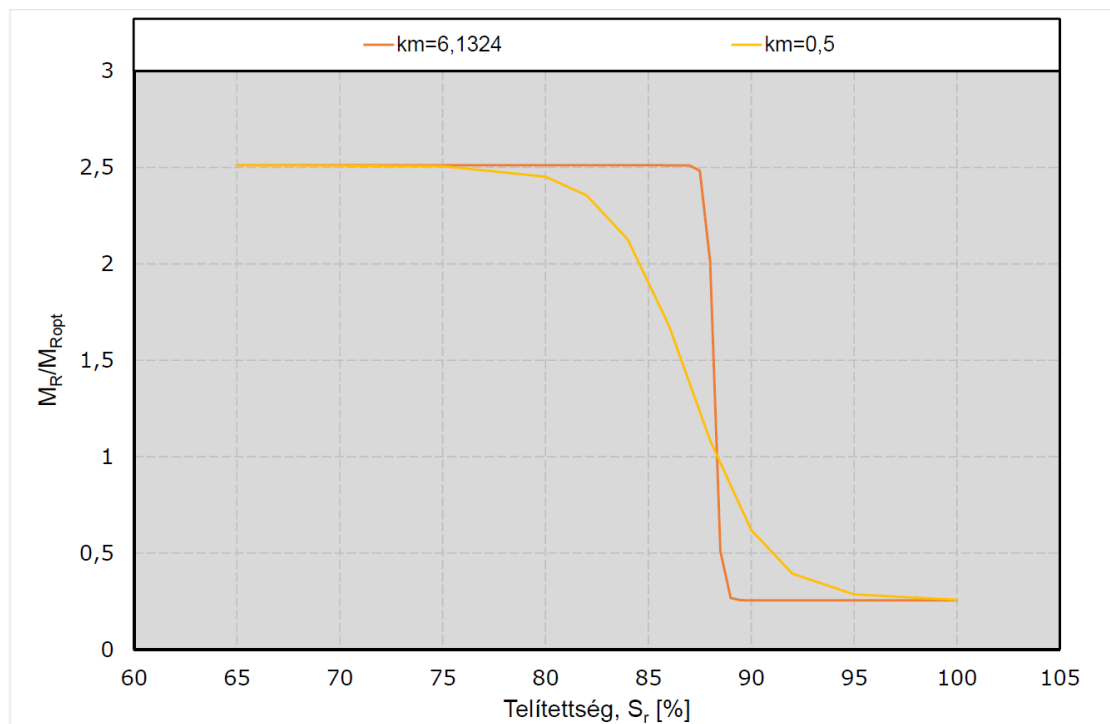
Szakirodalmi adatok alapján a modulusok maximális aránya 2,5 a finomszemcsés talajok és 2,0 a durvaszemcsés talajok esetén. Az a,b és k_m értékek finom- és durvaszemcsés talajok esetére az 1. táblázatban láthatók. (A talaj akkor minősül finomszemcsésnek, ha a 0,074 mm-nél kisebb szemcsék aránya nagyobb, mint 50 %).

1. táblázat: Az a,b és k_m paraméterek értéke durva- és finomszemcsés talajok esetén

Paraméter	Durvaszemcsés talaj	Finomszemcsés talaj	Megjegyzések
a	-0,3123	-0,5934	Regressziós paraméter
b	0,3	0,4	2,0-2,5 modulus aránynak megfelelően

k_m	6,8157	6,1324	Regressziós paraméter
-------	--------	--------	-----------------------

A telítettség hatását figyelembe vevő 2. képlet tág határokat biztosít e hatás figyelembe vételére. A 1. táblázatban meghatározott paraméterekkel kapcsolatban azonban meg kell jegyezni, hogy a javasolt k_m paraméter az M_R értékét valószínűtlenül telítettség-érzékennyé teszi: néhány tized százalék változás a telítettségben kb. egy nagyságrend változást okoz a reziliens modulusban. A korábbi tapasztalatok, valamint a telítetlen talajokra jellemző alapösszefüggések ismeretében az nagyon valószínűtlennek tűnik, különös tekintettel arra, hogy az optimális telítettség meghatározásában is van néhány százalék bizonytalanság. Az 1. ábrán bemutatjuk, hogy egy kötött talajnál a telítettség miként befolyásolja a számított M_R/M_{Ropt} arányt különböző k_m paraméterek esetén. A $k_m=0,5$ értékkel meghatározott (piros) görbe érzésünk szerint valóságosabb lehet.



1. ábra: A k_m paraméter hatása ($S_{r,opt}=88,3\%$)

A fagyás-olvadás ciklus tanulmányozására jelentős számú szakirodalmi adat áll rendelkezésre (Witczak et al., 2000). A feldolgozott kutatás célkitűzése, hogy konkrét értékeket adjanak a megfagyott talaj reziliens modulusára (M_{Rfz}), illetve az M_{Rmin} és M_{Runfz} arányára, ahol az M_{Rmin} az olvadás utáni érték, továbbá M_{Runfz} a természetes, eredeti állapotú talaj M_R értéke. A két érték arányát redukciós tényezőnek (RF) nevezik. A gyakorlatban használt összefüggések egy része az RF értéket az M_{Runfz} -ból, egy másik része pedig a M_{Ropt} -ból származtatja, ebből kifolyólag a konzervatív becslést használva a kettő közül a kisebb érték használandó:

$$RF = \frac{M_{Rmin}}{\min(M_{Runfz}, M_{Ropt})} \quad (3)$$

A szakirodalomban található átlag értékek a következők: $M_{Runfz}=20658\text{MPa}$ durvaszemcsés talajoknál, $M_{Rfz}=13079\text{MPa}$ a finomszemcsés iszap és iszapos homok talajoknál és $M_{Rfz}=6895\text{MPa}$ agyagok esetén. Felolvadt talajra a M_R leépülésének foka jól korrelál a talaj fagyveszélyességével, illetve fagyállóságával kedvező feltételek mellett. A fagyveszélyesség becsülhető a P_{200} érték és a PI

segítségével. A 2. és 3. táblázatokban az ajánlott RF értékek láthatók durva- és finomszemcsés talaj esetén a P_{200} és PI függvényében.

A talaj fagyás utáni felépülése időben növekvő modulust ad, melyet a felépülési aránnyal (RR) tudunk jellemezni. Az értéke 0 és 1 között változik:

- $RR=0$, azonnal olvadás után, mikor a többlet víz a szívást nullára csökkenti, $M_{Rrecov}=M_{Rmin}$
- $RR=1$, amikor a szívás megegyezik az adott talajvízszintnek megfelelő értékkel, $M_{Rrecov}=M_{Runfrz}$

$$RR = \frac{\Delta t}{T_E} \quad (4)$$

ahol:

RR - felépülési tényező

Δt - az olvadás kezdés pontja óta eltelt idő (óra)

T_R - felépülési idő (óra) (azaz idő, melyre a talajnak szüksége van, hogy olvadás után az eredeti állapotba kerüljön vissza)

A felépülési idő talajtípus függvénye, $T_R=90$ nap homokok és kavicsok esetén ($WPI<0,1$), 120nap iszapok és agyagok esetén ($0,1<WPI<10$) és 150 nap agyagok esetén ($WPI>10$).

2. táblázat: RF ajánlott értékei finomszemcsés talajok esetén ($P_{200}>50\%$)

Durvaszemcsék eloszlása	P_{200} (%)	$PI<12\%$	$PI=12 - 35\%$	$PI>35\%$
Többnyire kavics ($P_4<50\%$)	<6 6 – 12 12<	0,85 0,65 0,60	– 0,70 0,65	– 0,75 0,70
Többnyire homok ($P_4>50\%$)	<6 6 – 12 12<	0,75 0,60 0,50	– 0,65 0,55	– 0,70 0,60

3. táblázat: RF ajánlott értékei finomszemcsés talajok esetén ($P_{200}>50\%$)

P_{200} (%)	$PI<12\%$	$PI=12 - 35\%$	$PI>35\%$
50-85	0,45	0,55	0,60
>85	0,40	0,50	0,55

2.2. KLIMATIKUS KORREKCIÓS TÉNYEZŐ SZÁMÍTÁSA

Ahhoz, hogy a két vagy több rétegű rendszer kombinált modulusa meghatározható legyen, mely a mélységgel és idővel is változik, szükséges a klimatikus korrekciós tényező számítása. Ahogy korábban láthattuk a reziliens modulus tetszőleges időben és tetszőleges pontban meghatározható a F_{env} és M_{Ropt} felhasználásával.

A klimatikus korrekciós tényező általában a különböző feltételek mellett előforduló tényezők figyelembe vételével adható meg:

- Fagyás: fagyott talaj – F_F
- Felépülés: olvadt talaj – $F-R$
- Nem fagyott, természetes, teljesen felépült talaj – F_U

Ezek figyelembe vételével határozható meg az egyes pontokra jellemző reziliens modulus, majd a teljes rétegrendre vonatkoztatott reziliens modulus és F_{env} .

2.3. KORREKCIÓS TÉNYEZŐ CSOMÓPONTI SZINTEN

A burkolat szerkezetét egy sor olyan pont jellemzi, amelyekben a nedvesség, szívás és hőmérséklet tetszőleges időpillanatban számítható. Az F_F értéke mindegyik pontban, amelyekben a fagypont alatti hőmérséklet lép fel számítható a következő módszerrel:

- M_{Ropt} egy közvetlen bemeneti paraméter vagy becsülhető más mérnöki tulajdonságokból, így például CBR, R-értékből, a szerkezeti réteg együtthatójából (a_i), behatolási indexből, vagy az szemeloszlási paraméterekből. (Az M_{Ropt} becslése nem képezi részét a tanulmánynak.)

- A fagyott réteg reziliens modulusa, M_{Rfrz} : ha $WPI=0$, akkor $M_{Rfrz}=17238\text{MPa}$; ha $WPI>0$, akkor $M_{Rfrz}=6895\text{MPa}$.

A fagyási korrekciós tényező számítható (Witczak et al., 2000):

$$F_F = \frac{M_{Rfrz}}{M_{Ropt,st}} \quad (5)$$

A korrekciós tényező minden pontban számítható olvadó talajra az olvadást követően amíg RR

- RR számítása a 4. egyenlet alapján
- S_{opt} számítása (az I. cikk 19. egyenlete alapján)
- S_{equil} számítása a víztartási görbéből (Fredlund és Xing, 1994)

$$S_{equil} = \left(1 - \frac{\ln\left(1 + \frac{h}{h_r}\right)}{\ln\left(1 + \frac{10^6}{h_r}\right)}\right) \cdot \left(\frac{1}{\left[\ln\left[e + \left(\frac{h}{a_f}\right)^{b_f}\right]\right]^{c_f}}\right) \quad (6)$$

ahol:

$h - \gamma_{GWT} \cdot \gamma_{water}$

v_{GWT} - talajvíz mélysége

a_f, b_f, c_f, h_r - korábban definiált paraméterek

R_{equil} számítása (Witczak et al., 2000):

$$\log R_{equil} = \log \frac{M_{Requil}}{M_{Opt}} = a + \frac{b-a}{1 + e^{\ln\left(-\frac{b}{a}\right) + k_m(S - S_{opt})}} \quad (7)$$

ahol:

a, b, k_m - az 1. táblázatban definiált konstansok

R_F - számítása táblázatok alapján (2. és 3. táblázat)

F_R - számítása

$$H_a (S_{equil} - S_{opt})^0 : F_R = R_{equil} (R_F + R_R - R_R \cdot R_F)$$

Az F_U felépült, kiolvadt talaj korrekciós tényezője a következő egyenlettel számítható (Witczak et al., 2000):

$$\log F_U = \log \frac{M_R}{M_{Opt}} = a + \frac{b-a}{1 + e^{\ln\left(-\frac{b}{a}\right) + k_m(S - S_{opt})}} \quad (8)$$

ahol:

a, b, k_m - konstansok az 1. táblázatból

S - a becsült telítettségi fok az adott pontban.

3. A SZERKEZETI RÉTEG ÖSSZETETT KORREKCIÓS TÉNYEZŐI

Egy adott rétegrendet megfagyott, kiolvadt és természetes állapotú rétegek együttese is alkothatja. Ennél fogva szükséges egy kombinált korrekciós tényező, mely minden alréteg hatását figyelembe veszi. Az összetett korrekciós tényező számítása akkor is hasznos, ha a rétegek azonos állapotban vannak (megfagyott vagy kiolvadt); ez azért is szükséges, mert a korrekciós tényező a réteg pontjáról pontjára változik, így a teljes réteget egy ekvivalens tényezővel kell jellemezni.

Az ekvivalens modulus meghatározása a „sorba kapcsolt lineáris rugók” analógiája szerint végezhető el. A hasonlatot alkalmazva a pont-idő mátrix oszlopainak elemei a sorba elhelyezett rugók rugalmassági modulusai (egy rugó pontonként). Ha az alkalmazott feszültség σ , akkor az elmozdulás a rugóban az adott pontban és időnövekményben számítható.

Ahhoz, hogy megkapjuk az átlagos elmozdulásokat a teljes vizsgálati időtartam alatt a következő egyenlet szükséges:

$$\sigma_{average} = \sigma \frac{1}{t_{total}} \sum_{t=1}^{t_{total}} \left[\sum_{node=1}^n \left(\frac{h_{node}}{M_{Rnode,t}} \right) \right] \quad (9)$$

ahol:

- t - az idő (a mátrix oszlopának megfelelően)
- h_{node} - a vizsgált ponthoz rendelt rugó hossza
- M_{Rnode} - a csomópont reziliens modulusa
- t_{total} - az időnövekmények maximális száma (EICM egy órát használ).

Ezután a kombinált modulus meghatározható: meg kell találni azt a M_{Rcomp} értéket, mely ugyanazt a $\delta_{average}$ elmozdulást adja az alkalmazott σ feszültségre. A $\delta_{average}$ egyenlővé téve az összetett modellből kapott értékkel, és egyszerűsítve szigmával a következő egyenletet kapjuk:

$$\frac{h_{total}}{M_{Rcomp}} = \frac{1}{t_{total}} \sum_{t=1}^{t_{total}} \left[\sum_{node=1}^n \left(\frac{h_{node}}{M_{Rnode,t}} \right) \right] \quad (10)$$

ahol:

- h_{total} - a vizsgált réteg teljes magassága.

Mivel a reziliens modulus tetszőleges pontban és időpillanatban kifejezhető a korrekciós tényező és az optimális reziliens modulus szorzataként, ezért a kombinált korrekciós tényező az alrétegre meghatározható a következő összefüggéssel:

$$\frac{h_{total}}{F_{env} \cdot M_{Rcomp}} = \frac{1}{t_{total}} \sum_{t=1}^{t_{total}} \left[\sum_{node=1}^n \left(\frac{h_{node}}{M_{Rnode,t} \cdot M_{Ropt}} \right) \right] \quad (11)$$

$$F_{env} = \frac{h_{total} \cdot t_{total}}{\sum_{t=1}^{t_{total}} \left[\sum_{node=1}^n \left(\frac{h_{node}}{F_{node,t}} \right) \right]} \quad (12)$$

ahol:

- F_{env} - a vizsgált alrétegek összetett korrekciós tényezője
- $F_{node,t}$ - korrekciós tényező tetszőleges pontban, tetszőleges időpillanatban (mely lehet FF,FR,FU a talaj állapotától függően.)

Azaz számított ekvivalens modulusok egy tetszőleges időtartamra átlagolhatóak és ezek az átlagok vehetők figyelembe a tervezés során. A módszer a teljes tervezési élettartamra alkalmazható (pl. 20 évre és hónapokra vagy két hetekre osztva) .

4. ÖSSZEGZÉS

Ismert tény, hogy az útpályaszerkezet deformációit az altalaj kompresszibilitása jelentősen befolyásolja, ez pedig összefüggésben van a talaj víztartalmával. A légköri és klimatikus hatások miatt a talaj felső ~2-2,5 m vastagságú rétegében a víztartalom folyamatosan változik, azaz az altalaj alakváltozási jellemzői nem tekinthetők állandónak, így az úttervezésben használt reziliens modulus értéke sem. A Zapata és társai (2007) által javasolt számítási módszer célkitűzése, hogy a reziliens modulus számítására olyan eljárást adjon, amely ezeket a klimatikus hatásokat is figyelembe veszi. Ennek eredményeként valamilyen klimatikus körülmények feltételezésével meghatározható, hogy az útpálya élettartama során várhatóan hogyan változik a reziliens modulus értéke. Az eljárás az alábbi pontokban foglalható össze:

1. Klimatikus hatások következtében kialakuló hőmérsékleti és víztartalmi viszonyok meghatározása. Ez a számítás összetettsége miatt számítógépes szoftverek segítségével végezhető el; ilyen például a Zapata és társai (2007) által is bemutatott EICM program, de több épületfizikai vagy geotechnikai program is képes ezek a kapcsolt hő- és nedvességtranszport folyamatok számítására. Egy ilyen számítás számos meteorológiai bemenő adatot igényel, ezeket – az egyéb bemenő adatokkal együtt – a 8. táblázatban foglaljuk össze. A számítás eredménye egy mélység függvényében meghatározott, időben változó víztartalom (szívás) és hőmérséklet profil. Utóbbi elsősorban azért szükséges, hogy az átfagyott talaj vastagsága meghatározható legyen.

2. Az 1. számítási lépés eredményei alapján határozható meg az egyes rétegekre jellemző reziliens modulus, majd ezek alapján számítható az egész rétegrend kombinált reziliens modulusa. Az eljárás során egy réteg tetszőleges számú alrétegre bontható a pontosság növelése érdekében. A számítási lépés első fázisa annak megállapítása, hogy a talaj milyen állapotban van, mivel eltérő számítási módszer alkalmazandó természetes állapotú talajokra, fagyott talajokra, illetve olvadás utáni állapotban lévő talajokra az alábbiak szerint:

a. Természetes állapotú talajok esetén a talaj telítettségének függvényében szükséges csökkenteni (optimálisnál nagyobb telítettség esetén) vagy növelni (optimálisnál kisebb telítettség esetén) a kiindulási (optimális telítettséghez tartozó) reziliens modulus értéket.

b. Fagyott állapotú talaj esetén a szakirodalmi adatok alapján ilyen talajok esetén kb. két nagyságrenddel nagyobb (konstans) reziliens modulus vehető figyelembe.

c. Olvadás utáni állapotban lévő talaj esetén időben változó reziliens modulus vehető figyelembe. Az értéke közvetlenül az olvadást követően a legkisebb, majd az olvadást követően eltelt idő függvényében a telítettség figyelembe vételével számítható. Az olvadást követően talajtípustól függően, 90-150 napig „érezhető” még az olvadás hatása, ezt követően a talaj természetes állapotúnak tekinthető.

3. Az egyes (al)rétegek reziliens modulusának ismeretében bármely kiválasztott időpillanathoz számítható egy kombinált reziliens modulus.

4. A bemutatott módszer óránként javasolja a reziliens modulus meghatározását, majd a vizsgálandó időszakra (pl. két hét, egy hónap) egy átlagértéket határoz meg.

4. táblázat: Szükséges bemenő paraméterek

Vizsgálati szintek		1.	2.	3.
Talajadatok	Talajazonosítás	X	X	X
	Tömöríthetőség	X	X	
	Telített áteresztőképesség	X		
	Víztartási görbe	X		
	Száraz termikus vezetőképesség	X		
	Száraz hőkapacitás	X		
Meteorológiai adatok	Levegő hőmérséklete	X	X	X
	Felszín hőmérséklete	X	X	X
	Légnyomás	X	X	X
	Szélsébség	X	X	X
	Napsütés (%-ban)	X	X	X

	Átlagos felhőtakarás	X	X	X
	Felhőzet magassága	X		

A javasolt számítási módszer egy sok lépésből álló eljárás a reziliens modulus meghatározására, amely akár minimális rendelkezésre álló talajadat esetén is elvégezhető. Az eljárás lehetőséget ad pontos bemenő talajparaméterek megadására (1. szint) – ekkor a gyakorlatban ritkábban használt paramétereket is laboratóriumban kell meghatározni (pl. víztartási görbe, száraz termikus vezetőképesség stb.), de nem zárja ki annak lehetőségét sem, hogy a leggyakoribb paraméterek alapján lehessen a számítást elvégezni. Ez utóbbi esettel kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy a szükséges bemenő anyagjellemzők ez esetben többszöri korreláció eredményeként alakulnak ki, ez a megbízhatóságot nagyban csökkenti.

Mindkét esetben szükséges a meteorológiai adatok részletes ismerete óránkénti rendszerességgel. Ez meglehetősen nagy és speciális adatigény, a későbbiekben célszerű lehet érzékenységi vizsgálatok elvégzése annak megállapítása érdekében, hogy mely adatok ismerete szükséges feltétlenül és melyeket lehet esetleg becslés alapján megadni. A helyszínen, a vizsgált rétegrendben kialakuló hőmérséklet- és víztartalomviszonyok meghatározása nem csak a bemenő adatigény miatt komplikált, hanem azért is, mert a számítás gyakorlatilag csak szoftver segítségével lehet végezni. Erre a cikkben javasolton túlmenően más (pl. geotechnikai) program is alkalmas lehet. Ennek további előnye, hogy a transzport folyamatok mellett az állapotfüggő mechanikai jellemzők figyelembe vételére is alkalmas, így akár a további számítási lépéseket is kiválthatja. Ezen túlmenően egy ilyen kapcsolt hőmozgás–vízmozgás és mechanikai modell a kombinált reziliens modulust is pontosabban adja meg, mint a javasolt „sorba kapcsolt rugók” analógia alapján végzett számítás.

Az említett nehézségek ellenére is kijelenthető, hogy az eljárás jól használható a klimatikus viszonyok reziliens modulusra gyakorolt hatásának figyelembe vételére. Hatékonyan és gyakorlatiasan kezeli az alapvető klimatikus és mechanikai folyamatokat, ráadásul a kidolgozott eljárás tekinthető egyfajta „keretrendszernek” is, melynek elemei cserélhetőek, módosíthatóak, azaz az eljárás jól igazítható a helyi tapasztalatokhoz.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

Drumm E. C., Reeves J. S., Madgett, M. R., Trolinger, W. D. (1997): Subgrade Resilient Modulus Correction for Saturation Effects, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 123, No. 7, p. 663-670.

Fredlund D. G., Rahardjo H., Fredlund M. D. (2012): Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice. New Jersey: John Wiley & Sons. 944 p. ISBN: 978-1-118-13359-0
Li D., Selig E. T. (1994): Resilient Modulus for Fine Grained Subgrade Soils, ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 120, No. 6, p. 939-957.

Rada G., Witczak M. W. (1981): Comprehensive Evaluation of Laboratory Resilient Moduli Results for Granular Material, Transportation Research Record 810, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 23-33.

Santha, B.L. (1980): Resilient Modulus of Subgrade Soils: Comparison of Two Constitutive Equations, Transportation Research Record 1462, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1980, p. 79-90.

Szendefy J., Back M. (2017) A talajok reziliens modulusának meghatározása, mérési eredmények bemutatása, Geotechnika2017 Konferencia-Velence pp.69-76

Szendefy J., Back M., Dankó B. (2017) A kötőanyaggal stabilizált talajok reziliens modulus értékének mérése és jelentősége a pályaszerkezetek méretezése során, INNOTÉKA Mélyépítés III.évf. 2017/2., pp.4-8

Witczak M. W., Andrei D., Houston W. N. (2000): Resilient Modulus as Function of Soil Moisture-Summary of Predictive Models, Development of the 2002 Guide for the Development of New and

Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP 1-37 A, Inter Team Technical Report (Seasonal I), Tempe, AZ.

Witczak M.W., Houston W.N., Andrei D. (2000): Selection of Resilient Moduli for Frozen/Thawed Unbound Materials, Development of the 2002 Guide for the Development of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP 1-37 A, Inter Team Technical Report (Seasonal 3), Tempe, AZ.

Zapata C. E., Andrei D., Witczak M. W., Houston W. N. (2007) Incorporation of Environmental Effects in Pavement Design. Road Materials and Pavement Design Vol.8:4 pp. 667-693.