

# KÖTÖTT TALAJOK TÉRFOGATVÁLTOZÁSÁNAK ELMÉLETI ÉS GYAKORLATI KÉRDÉSEIRŐL

Somosvári Zsolt

Nehézipari Műszaki Egyetem,  
Bányaművelési Tanszék

Közismert jelenség, hogy egyes kötött talajok víztartalomváltozás hatására térfogatukat jelentősen változtatják, átázásra duzzadnak, kiszáradásra zsugorodnak. A térfogatváltozásból eredő talajmozgások létesítményeket veszélyeztetnek, sokszor károsítanak is.

## 1. A térfogatváltozás fizikai magyarázata

A térfogatváltozás jelenleg általánosan elfogadott egyszerű fizikai magyarázata az alábbiak szerint foglalható össze. A vizsgált talajrög rugalmas kapilláris csőrendszerek halmazaként fogható fel. Ha a talajrög vízzel telített, akkor a talajrög belsejében - mivel nincs jelen levegő fáziskapilláris erők nem alakulhatnak ki. A talajrög felületén viszont jelen van a szilárd-levegő-víz fázishármas, ezért a felületen kapilláris erők lépnek fel. Ezek mint külső erők hidrosztatikus nyomófeszültségnek teszik ki a talajrögöt. Felületi párolgás, vizeltávozás hatására a rugalmas kapilláris csőrendszer összenyomódik, a talajrög térfogata csökken. Ha még több víz párolog el ez a folyamat előrehalad, a talajrög telített marad. Az összenyomódással azonban a talajrög belső ellenállása egyre növekszik, s egyszer csak egyensúlyi helyzet áll elő, a felületi kapilláris erők már nem képesek térfogatcsökkenést előidézni, a zsugorodás megszűnik. Ekkor van a talajrög a zsugorodási határon, a talajrög még éppen telített. További száradáskor a víz eltávozásával - mivel a hézagok tovább már nem kisebbednek - levegő jut a pórusokba, a talajrög telítetlenné válik. Telítetlen, de még nem száraz állapotban a talajrög belsejében és a felületén is mű -

ködnék kapilláris erők, amelyek mint belső erők kiegyenlítik egymást, térfogatváltozás ezért nem következik be.

Agyagok térfogatváltozásához hozzájárul az is, hogy egyes agyagászványok maguk is térfogatváltozóak. Montmorillonitot, illetve tartalmazó agyagok térfogatváltozása különösen nagy. Ezen ásványok lemezes szerkezetébe a vízmolekulák könnyen beépülnek, az ásvány ekkor duzzad, ill. ha a vízmolekulák eltávoznak az ásvány zsugorodik.

A fenti térfogatváltozási mechanizmusból következik, hogy a fajlagos térfogatváltozás

$$v = \frac{V}{V_0} = \frac{\gamma_0}{\gamma_v} (w - w_{zs}) \quad (1)$$

ahol:

- $\gamma_v$  - a víz fajsúlya,
- $\gamma_0$  - a talaj száraz térfogatsúlya,
- $w_{zs}$  - zsugorodási határ,
- $w$  - víztartalom.

## 2. A térfogatváltozás hatása a talajfizikai jellemzőkre

A térfogatváltozás talajfizikai jellemzőkre gyakorolt hatásával a mai gyakorlat nem számol. Pedig ez a hatás sokszor tetemes, nem elhanyagolható.

A víztartalom hatására bekövetkező térfogatváltozás - egyes agyagászványok térfogatváltozásától eltekintve - a talaj hézagtérfogatának rovására megy végbe, a víztartalom változásával a hézagtérfogató változik. Mint ismeretes a hézagtérfogató:

$$e = \frac{V - \frac{G_0}{\gamma_s}}{\frac{G_0}{\gamma_s}} = V \frac{\gamma_s}{\gamma_0} - 1 \quad (2)$$

ahol :  $V$  - teljes térfogat,  
 $G_o$  - száraz súly,  
 $\gamma_s$  - fajsúly.

Az (1) összefüggésből

$$\frac{V}{V_o} = \frac{[x] - w_{zs}}{\gamma_v} \gamma_o + 1 \quad (3)$$

ahol:  $V_o$  - száraz térfogat

Ennek felhasználásával

$$e = (w - w_{zs}) \frac{\gamma_s}{\gamma_v} + V_o \frac{\gamma_s}{\gamma_o} - 1$$

Mivel

$$V_o \frac{\gamma_s}{\gamma_o} - 1 = e_o$$

ezért a hézagtényező

$$e = e_o + (w - w_{zs}) \frac{\gamma_s}{\gamma_v}; \quad w \geq w_{zs} \quad (4)$$

ha  $w \leq w_{zs}$ , akkor  $e = e_o$ , ahol  $e_o$  - a száraz állapothoz ( $w = 0$ ) tartozó hézagtényező. Tekintettel arra, hogy a zsugorodási határ alatti víztartalomnál már térfogatváltozás nincs a száraz állapothoz tartozó hézagtényező megegyezik a zsugorodási határhoz tartozó hézagtényezővel, azaz  $e_o = e_{zs}$ .

Térfogatváltozó talajoknál tehát a hézagtényező a víztartalommal lineárisan változik. Megfordítva ez viszont azt jelenti, hogy a zsugorodási határ függ a talaj elő-

életétől is, attól, hogy előbb milyen terhelések érték a talajt, s ezek a terhelések mennyire módosították a talaj hézagtényezőjét. A hézagtényező befolyása a zsugorodási határra az alábbiak szerint mutatható ki. Mint ismeretes a telítettség (relatív nedvesség):

$$S = \frac{w \gamma_s}{e \gamma_v} \quad (5)$$

Ez az összefüggés azonban térfogatváltozó talajnál csak akkor helyes, ha  $e$  a  $w$  víztartalomhoz tartozó hézagtényező.

A (4) egyenlet felhasználásával a telítettség:

$$S = \frac{w \gamma_s}{e_o \gamma_v + (w - w_{zs}) \gamma_s} = 1; \quad w \geq w_{zs} \quad (6)$$

Ha  $w < w_{zs}$ , akkor

$$S = \frac{w \gamma_s}{e_o \gamma_v} \quad (7)$$

A zsugorodási határon  $w = w_{zs}$ ,  $S = 1$ , ezért

$$w_{zs} = e_o \frac{\gamma_v}{\gamma_s} \quad (8)$$

A zsugorodási határ tehát a száraz állapothoz tartozó hézagtényezővel lineárisan változik.

A (7) képlet még egy körülményre felhívja a figyelmet. Tekintettel arra, hogy a tipikusan térfogatváltozó talajok térfogatváltozó agyagásványokat tartalmaznak, ezért a fajsúly ( $\gamma_s$ ) nem állandó érték, hanem az a víztartalommal változik.

Ezért a zsugorodási határ is függvénye kell legyen a térfogatváltozási egyenes meghatározása során alkalmazott kiinduló víztartalomnak.

Közismert, hogy talajok térfogatsulya:

$$\gamma = \gamma_s \frac{1 + w}{1 + e} \quad (9)$$

Ez az összefüggés azonban térfogatváltozó talajnál csak akkor helyes, ha  $e$  a  $w$  viztartalomhoz tartozó hézagtenyező.

A (4) egyenlet felhasználásával a térfogatsuly:

$$\gamma = \gamma_s \frac{1 + w}{1 + e_o + (w - w_{zs}) \frac{\gamma_s}{\gamma_v}} ; w \geq w_{zs} \quad (10)$$

Ha  $w < w_{zs}$ , akkor

$$\gamma = \gamma_s \frac{1 + w_{zs}}{1 + e_o} \quad (11)$$

A száraz térfogatsuly ( $w = 0$ ):

$$\gamma_o = \frac{\gamma_e}{1 + e_o} \quad (12)$$

Tekintettel arra, hogy az (5) összefüggés szerint  $S = 1$  esetén

$$e = w \frac{\gamma_e}{\gamma_v} \quad (13)$$

a telített állapothoz tartozó térfogatsuly:

$$\gamma_t = \frac{1 + w}{\frac{1}{\gamma_s} + \frac{w}{\gamma_v}} \quad (14)$$

Azaz tehát térfogatváltozó talaj esetén a telített állapothoz tartozó térfogatsúly függvénye a vztartalomnak.

A hézagtenyező laboratóriumi meghatározása a mai gyakorlat szerint a természetes nedvességtartalomhoz tartozó térfogat mérésből ( $V$ ) és száraz súly meghatározásából ( $G_0$ ) áll. Térfogatváltozó talajnál az így meghatározott hézagtenyező a kiindulási vztartalom függvénye. A (4) összefüggés szerint minél nagyobb a vztartalom, annál nagyobb hézagtenyező értéket határoznak meg. Térfogatváltozó talajoknál minden igényt kielégítően úgy kellene a hézagtenyezőt meghatározni, hogy a fentiek mellett meghatározott hézagtenyező mellé azt a vztartalmat is meg kellene adni, amelyhez tartozik, továbbá a száraz térfogat ( $V_0$ ) mérésével a száraz állapothoz tartozó hézagtenyezőt ( $e_0$ ) is szükséges megadni.

Tekintettel arra, hogy a térfogatváltozás befolyásolja a hézagtenyezőt a hézagtenyező - amely elsősorban a talaj előéletétől függ - befolyásolja a zsugorodási határ értékét, ezért a talaj maximális fajlagos térfogatváltozása ( $v_{\max}$ ) és lineáris zsugorodása ( $Zs_1$ ) is függvénye kell legyen a hézagtenyezőnek. Ezt a kapcsolatot kísérleti alapon a 2. tanulmány ki is mutatja.

A maximális fajlagos térfogatváltozás a térfogatváltozási egyenes alapján:

$$v_{\max} = R \left( w_T - w_{zs} \right) \quad (15)$$

ahol:  $w_T$  -telítési határ,  
 $R$  -zsugorodási viszonyszám,

$$R \approx \frac{\sigma_0}{\gamma_v}$$

A talaj térfogatváltozása annyira az 1. pontban vázolt mechanizmus szerint megy végbe, amennyire a térfogatváltozási egyenes iránytangenseként kapott  $R$  érték megközelíti  $\sigma_0 / \gamma_v$  értékét.

A (4) összefüggés felhasználásával a maximális fajlagos térfogatváltozás:

$$v_{\max} = R \left[ w_T - w + \frac{\gamma_v}{\gamma_s} (e - e_0) \right]; \quad w \geq w_{zs} \quad (16)$$

A maximális fajlagos térfogatváltozás tehát a hézagtenyezővel ( $e$ ) lineárisan növekszik. Ilyen tendenciát mutatnak a 2 -ben közölt mérési eredmények is.

Mivel a lineáris zsugorodás

$$Zs_{\ell} = 1 - \sqrt[3]{\frac{1}{v_{\max} + 1}} \quad (17)$$

ezért a hézagtenyező erre a jellemzőre is befolyással van.

### 3. Térfogatváltozó talajok felismerése

A helyszínen száraz időszakban arról ismerhetjük fel a térfogatváltozó talajt, hogy az mozaikszerűen repedezett. Ha az ásványos összetétel rendelkezésünkre áll és az montmorillonitot vagy illitet mutat ki, akkor számíthatunk arra, hogy térfogatváltozó tulajdonságú talajjal van dolgunk. Természetesen a térfogatváltozó tulajdonság a térfogatváltozási egyenessel jellemezhető a legadekvátábban. A lineáris zsugorodás ( $Zs$ ) alapján az alábbiak szerint osztályozhatók a talajok:

Ha	$Zs_{\ell} >$	12 %	nagymértékben térfogatváltozó a talaj,
	$Zs_{\ell} =$	5 - 12 %	közepes mértékben térfogatváltozó a talaj,
	$Zs_{\ell} <$	5 %	nem térfogatváltozó a talaj.

Előfordul azonban, hogy a rendelkezésre álló adatokból kell véleményt mondanunk, amelyek nem tartalmazzák a lineáris zsugorodás értékét. Tapasztalat, hogy a nagy plasztikus indexű ( $I_p$ ) közepes- és kövér agyagtalajok nagymértékben térfogatválto-

zók is. Ilyen módon a plasztikus index segítségével tájékozódhatunk a lineáris zsugorodást illetően is.

Következtethetünk az előzőek alapján a térfogatváltozás mértékére a meghatározott térfogatsúlyokból is. A (9) és (12) egyenlet felhasználásával

$$e - e_0 = \frac{\gamma_s}{\gamma} (1 + w) - \frac{\gamma_s}{\gamma_0} \quad (18)$$

Ha  $e - e_0 = 0$ , akkor nincs térfogatváltozás, ha  $e - e_0 > 0$ , akkor térfogatváltozó a talaj.

$\Delta w = w - w_{zs}$  viztartalomváltozás hatására bekövetkező fajlagos térfogatváltozás

$$v = \frac{e - e_0}{e + 1} \quad (19)$$

A fajlagos térfogatváltozás maximuma:

$$v_{\max} = \frac{e - e_0}{e + 1} \frac{w_T - w_{zs}}{w - w_{zs}} \quad (20)$$

A lineáris zsugorodás:

$$z_{s\ell} = 1 - \sqrt[3]{\frac{1}{\frac{e - e_0}{e + 1} \frac{w_T - w_{zs}}{w - w_{zs}} + 1}} \quad (21)$$



A (9) és (12) egyenletek felhasználásával

$$v_{\max} = \left[ 1 - \frac{\gamma}{(1+w)\gamma_0} \right] \frac{w_T - w_{zS}}{w - w_{zS}} ; w > w_{zS} \quad (22)$$

Ezzel a lineáris zsugorodás:

$$z_{s2} = 1 - \sqrt[3]{\frac{1}{1 - \frac{\gamma}{(1+w)\gamma_0} \frac{w_T - w_{zS}}{w - w_{zS}} + 1}} ; w > w_{zS} \quad (23)$$

#### 4. A térfogatváltozó talaj károkozó hatásának mechanizmusa

"In situ" állapotban a felszíni és felszínközeli talaj természetes nedvességtartalma időben az évszakok változásával változik. Ezzel együtt - ha a felszíni vagy felszínközeli talaj térfogatváltozó tulajdonságu - térfogatváltozás megy végbe. A talajnak elsősorban függőleges irányban van lehetősége elmozdulni, ezért a térszínen periódikusan süllyedések és emelkedések jelentkeznek. A térfogatváltozás igénybe veszi a talajt, zsugorodáskor az oldalirányu húzóigénybevétel hatására repedések alakulnak a térszínen, amelyeken a csapadék lehatol, nagyobb mélységig ázik át a talaj és nagyobb mélységig szárad is ki. Azaz tehát az "élő" talajrétegvastagság - amelyet az atmoszférilák hatásai érnek - jóval nagyobb. Amíg nem térfogatváltozó talajnál - a hazai klíma mellett - az "élő" talajréteg vastagsága 0,8 - 1,0 m, addig térfogatváltozó talajnál 1,5 - 2,5 m a térfogatváltozás mértékétől függően.

Építmények alapjainak egyik alapvető paramétere az alapozási mélység. Ki kell elégtíteni azt a követelményt, hogy az alapsík (sikalapozásnál) az "élő" talajréteg alá kerüljön. Térfogatváltozó talajnál tehát az alapozási mélység min. 1,5 - 2,5 m kell legyen. Ha ezt az alapozási mélységet nem tartják be, akkor az alaptest periódikus mozgásoknak lesz kitéve. Ezek a minden évben periódikusan jelentkező mozgások,

előbb-utóbb károsítani kezdik az építményt. A térfogatváltozó talaj által okozott károsodás sajátja, hogy nem azonnal az építmény megépítése után jelentkezik, hanem sokszor csak később 10-15 év múlva, amikor az építmény állaga már romlani kezd.

Térfogatváltozó talaj "in situ" állapotban csak megfelelő körülmények között változtatja térfogatát, akkor ha víztartalma változik. Ha pl. a térfogatváltozó talaj állandóan a talajvízszint alatt van, akkor nincs víztartalom változás, tehát térfogatváltozás sincs. A talajvíznívó helyzete és ingadozása lényeges szerepet játszik a károkozó hatás mechanizmusában. Magasan fekvő talajvíznívó esetén a felszinközeli talajrétegek kapilláris emelkedés révén víz - utánpótlódást kapnak, ezért a nedvességtartalom változása kisebb. Térfogatváltozó alapozási talaj jelenlétének nagyon veszélyes a 8 m-nél mélyebben fekvő talajvízszint. Kevésbé veszélyes a 4-8 m között fekvő talajvízszint, veszélytelennek tekinthető a térfogatváltozás szempontjából a 4 m-nél kisebb mélységű talajvízszint. Térfogatváltozó talaj jelenlétének tehát lényeges a talajvízviszonyok tanulmányozása is.

Hazánkban több helyen jelentkeztek már tömeges épületkárok térfogatváltozó talajra alapozott épületeknél. A statisztika azt mutatja, hogy a károsodások gyakorisága lényegesen nagyobb domb- és hegyvidékeinken, mint alföldjeinken. Ez az arányeltolódás elsősorban a talajvízszint állásával magyarázható, dombvidékeinken mélyebben helyezkedik el a talajvízszint mint alföldjeinken.

A tapasztalat azt mutatja, hogy a földszintes épületek károsodásának gyakorisága a legnagyobb. Tapasztalat az is, hogy a legnagyobb mértékben a részben alapincézett épületek károsodnak, mert az alapincézett rész mozdulatlan, az alapincézetlen rész az elégtelen alapozási mélység miatt mozog, az elmozduláskülönbség így tetemesebb, mintha az egész alaptest mozogna. A járulékos igénybevételek nem az elmozdulások abszolút értékeivel, hanem az elmozdulások különbségeivel arányosak. Alapincézetlen épületek károsodásai szintén

gyakori, teljes mértékben alápincézett és ezért megfelelő alapozási mélységű épületek nem károsodnak. A többszintes épületek egyrészt azért nem károsodnak térfogatváltozó talajon, mert egyrészt ezek mélyebb alapokkal rendelkeznek, másrészt az épület nagy súlya nem engedi a térfogatváltozásból eredő mozgások kialakulását.

Térfogatváltozó talajon való alapozáskor megfelelően mély (2,0 - 2,5 m) alapozással védekezhetünk az épületkárok ellen. Ha valamilyen okból nem lehetséges, vagy nem gazdaságos a 2,0 - 2,5 m mély alapozás, akkor a fagyhatárt figyelembe vevő 0,8 - 1,0 m alapozási mélység mellett olyan alaptestet kell készíteni, amely a térfogatváltozásból származó járulékos igénybevételeket képes elviselni, vagy képes kitérni a járulékos igénybevételek elől.

Térfogatváltozó talajon való építésnél olyan környezeti követelményeknek is eleget kell tenni, amelyek mind azt célozzák, hogy a természetes nedvességtartalom változása - térben és időben - a talajban minél kisebb legyen. A telep- és vízrendezés, közművesítés, parkosítás körütekintő gondosságot kíván.

##### 5. Épületkárosodások jellegzetességei

Ismeretes, hogy a földalatti bányaművelés során szükségszerűen nyitott és felhagyott üregek fölött a fedükőzetek elmozdulnak egészen a külszinig. Ezek a mozgások sokszor veszélyeztetnek és károsítanak létesítményeket, okoznak ún. bányakárokat. Tágabb értelemben bányakár a vízháztartás megzavarásából közvetve keletkezett kár és a külszini fejtések robbantásaiból eredő kár is. Földalatti- és külszini bányaműveletek környezetében mindig fel lehet tételezni a bányászattal okozati összefüggésben álló károsodásokat, természetesen ez nem azt jelenti, hogy valóban minden esetben bányakárról van szó, sokszor éppen térfogatváltozó agyagtalaj az épületkárosodások oka.

Térfogatváltozó talajon károsodott épületek képe jellegzetes. A falakon észlelhető repedések jellegzetes nyirási, a süllyedés irányában emelkedő repedések. Lényeges jellegzetesség az is, hogy általában nem az egész épület károsodik, hanem annak csak egy része, ahol pl. nincsen esőcsatorna, vagy domboldalról a víz az alaphoz folyik, vagy 1-2 m-re fa él az épület mellett.

Bányászati aláfejtések által okozott épületkárok más jellegűek. Bányászati kőzetmozgásoknál a görbülethez határozott vízszintes alakváltozás is tartozik, ezért mindkettő igénybevételre jellemző repedésrendszer alakul ki az egész épületen. Térfogatváltozó talajon a görbületből adódó repedések dominálnak. Más jellegűek a mozgás időfolyamatai is. Aláfejtésből eredő talajmozgások időben előrehaladóak, nem periódikusak, mint a térfogatváltozó talajoknál.

A tapasztalat azt mutatja, hogy bányavidékeinken gyakori a térfogatváltozó alapozási talajok, ezért gyakran előfordul, hogy meg kell állapítani épületkároknál, vajon azok a térfogatváltozó alapozási talaj, vagy a bányaműveletek következményei-e. Tanulmányunkkal ehhez kívánunk segítséget nyújtani.

## Irodalom

- [1] Kézdi Á.: Talajmechanika I.  
Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.
- [2] Szabó I.: Összefüggések telített agyagok lineáris zsugorodása és hízagtényezője között.  
Földtani Kutatás 1976. XIX. évf. 1. sz.
- [3] Somosvári Zs.: Alapozási kötött talajok tulajdonságai különös tekintettel az álbányakárokra.  
Magyarhoni Földtani Társulat rendezvényén elhangzott előadás, Miskolc, 1972.
- [4] Somosvári Zs.: Bányakárok és álbányakárok megítélése, szakvéleményezési tapasztalatok.  
Országos Bányakár-konferencia, Balatonfüred, 1972.
- [5] Somosvári Zs.: Bányakárok és álbányakárok megítéléséről.  
BKL Bányászat, 1974. 1. sz.

