

Az anyagtulajdonság szerepe a kőzetnyomás kialakulásában

Lámer Géza

DE MK Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék, lamer@lamer-es-lamer-kft.hu glamer@eng.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: A tanulmányban anyagtulajdonságnak a kőzetnyomás kialakulásában játszott szerepét vesszük górcső alá. Megmutatjuk, hogy az időtől független alakváltozási mechanizmusok nem alkalmasak a kőzetnyomás kialakulását megmagyarázni. Rámutatunk arra, hogy az időben változó (reológ) anyagtulajdonságok már képesek a kőzetnyomás fellépését magyarázni. Végezetül a mellett fogunk érvelni, hogy a kőzetnyomás létrejöttéhez az anyag szerkezetének lényegi megváltozása, rendszerint szakadások, törések létrejötte és az kőzeteknek a vágat körüli átrendeződése szükséges ahhoz, hogy a vágat körül a kőzetnyomás létrejöjjön.

Kulcsszavak: anyagtulajdonság, reológ viselkedés, kőzetnyomás

1 BEVEZETÉS

A vágat biztosításra a kőzet részéről kifejtett nyomás meghatározására több módszer ismert. Az egyik, a rugalmas és/vagy képlékeny féltér analitikus vizsgálata, a kőzetnyomás meghatározása különböző kőzetnyomás-elmélet szerint, végezetül, a helyszíni mérések alapján.

A vizsgálataink elméletileg vonatkoznak mind a talajokban, mint a kőzetekben kialakuló nyomásra. Rendszerint csak kőzetről, illetve kőzetnyomásról beszélünk. Ahol elengedhetetlenül szükséges, ott megemlítjük a talaj és a talajnyomás kifejezést is, esetleg a nyomatékosítás miatt mindkettőt.

Korábban megvizsgáltuk az alagútfalazat számítási eljárásait. Elkülönítettük a szabadon deformálódó, a környezetébe ágyazott és a környezetével együttműködő számítási eljárásokat. Utaltunk arra is, hogy az alagútfalazatra ható terhelés elsősorban a viszkózus feszültségátrendeződés esetén várható. (Lámer 1982, 1992, 1995, 1997)

Az utóbbi években részletesebben foglalkoztunk azzal a kérdéssel, hogy vajon a kőzetben az üregbe beépített biztosításra a kőzet részéről a kőzetnek milyen anyagtulajdonságai esetén alakulhat ki kőzetnyomás (Lámer 2006, 2007, 2008, 2010a, 2010b). Ezekben a vizsgálatokban már utaltunk arra, hogy rugalmas és képlékeny féltérbe a vágat kihajtása után beépített vágatbiztosításra, amennyiben a kőzet valóban csak és kizárólag rugalmasan és/vagy képlékenyen viselkedik, a kőzet felől nyomás nem léphet fel, mivel a vágat kihajtása után a kőzet alakváltozása pillanatnyi, még a vágatbiztosítás beépítése előtt az alakváltozások lezajlanak. Álláspontunk szerint a viszkózus, a töréseket és ezzel együtt a peremérték-feladat „átrendeződését” figyelembe vevő modell lehet képes a kőzetnyomások létrejöttét megmagyarázni.

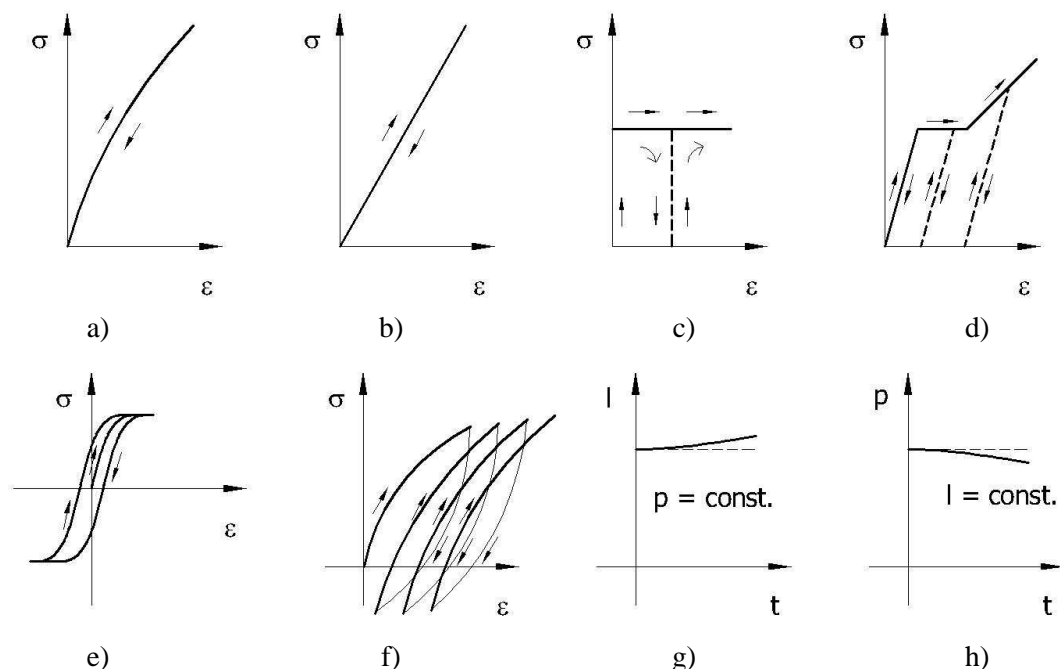
A tanulmányban áttekintjük a kőzetben lezajló átrendeződéseket, a törések és a szakadások kialakulásnak a szerepét a kőzetnyomások létrejöttében. Ezzel egyidejűleg áttekintjük az ismertebb kőzetnyomás-elméleteket is.

2 A FOLYTONOSNAK TEKINTETT ANYAGOK RÖVID JELLEMZÉSE

Az alakváltozásokat a relatív nyúlás–feszültség diagram alapján szokás elkülöníteni (lásd az 1. ábrát). Ez alapján a tehermentesülés után az eredeti alakot visszanyerő anyag alakváltozása rugalmas (1. a) és b) ábra), a maradó alakváltozást elszenvedő anyag alakváltozása képlékeny (1. c) és d) ábra). A különböző idealizációnak megfelelően beszélünk ideálisan, vagy tökéletesen rugalmas vagy képlékeny anyagról, rugalmas-képlékeny anyagról, a felkeményedés jelenségéről. A rugalmas, a képlékeny és a felkeményedő viselkedést jellemző szakaszokat egyenlőszelűen szokás közelíteni. Az 1. ábrán a nyílak a felterhelés és a leterhelés során nyert ágakat jelzik.

Az alakváltozások valójában nem ideálisak, ezért fellép(het) a hiszterézis jelensége mind a rugalmas, mind a képlékeny viselkedés esetében (lásd az 1. e) és f) ábrát). Ezen kívül vannak időben lejátszódó alakváltozások, átrendeződések. Ilyen a kúszás (az erő értéke állandó, az alakváltozás nő) és az ernyedés (az alakváltozás értékét rögzítve tartjuk, a belső erő értéke csökken), lásd az 1. g) és h) ábrát.

Az anyagot alkotó atomok (mechanikai szempontból való) oszthatatlanságából, valamint a gyakorlati összenyomhatatlanságából következik, de a fenti diagrammok alapján is világos, hogy az egyetlen olyan alakváltozás, amely az anyagot alkotó atomok és/vagy molekulák topológiai rendjének a megtartása mellett megy – mehet – végbe, az a tökéletesen rugalmas alakváltozás. A többi alakváltozás során a topológiai rend nem marad meg.



1. ábra. Az alakváltozások grafikonjai: a) tökéletesen rugalmas, b) lineárisan és tökéletesen rugalmas, c) merev és ideálisan képlékeny, d) lineárisan és tökéletesen rugalmas, ideálisan képlékeny ideálisan felkeményedő, e) rugalmas hiszterézis, f) képlékeny hiszterézis (a talajmechanikában megszokott σ - ϵ görbét „idealizáltuk”), g) lassú alakváltozás: kúszás, h) lassú alakváltozás: ernyedés

A rugalmas alakváltozást időben változatlanak, azaz az időtől függetlennek tekintjük. Pontosabban, a felterhelés alatt, a felterhelés sebességével összhangban, időtől függően alakul ki a rugalmas alakváltozás, de rögzített teher mellett az alakváltozás nagysága már nem változik. Hasonlóképpen, a leterhelés sebességével arányosan történik a rugalmas alakváltozások „megszűnése” is. A rögzített topológiai rend és az időben változatlan alakváltozás összhangban van.

Az időben lezajló alakváltozásokat úgy értelmezzük, hogy a testre rögzített értékű teher hat, vagy az alakváltozást valamely rögzített értéken tartjuk. Ez alapján kijelenthető, hogy az időben lezajló alakváltozás – az anyagot alkotó atomok már említett oszthatatlanságából, valamint a gyakorlati összenyomhatatlanságából következik, hogy – csak a topológiai rend megváltozásával, azaz az atomok átrendeződésével mehet végbe.

A képlékeny folyás – a neve is mutatja – időben lezajló folyamat. A képlékeny alakítás során, többek között, ezt ki is használjuk. Ugyanakkor a képlékeny alakítás során nem az egész test van képlékeny állapotban, hanem annak csak egy kicsiny része, ahol az alakító szerszámok létrehozzák a képlékeny folyáshoz szükséges feltételeket, majd éppen a folyás miatt az alakító szerszámból (henger, prés) kikerülő anyag rész egyúttal a képlékeny folyás feltételei közül is kikerül, viszont az alakító szerszám közé bekerülő anyagban egyúttal a képlékeny folyás feltételei is kialakulnak. Ezért a képlékeny alakítás során az alakítást elszenvedő test lépésről lépésre alakul át. Általában, a rugalmas-képlékeny viselkedésű testben a rá ható terhek hatására mind rugalmas, mind képlékeny zóna kialakul. Ugyanakkor a képlékeny folyás akkor és csak akkor alakulhat ki, ha a test egy teljes keresztmetszetében létrejön a képlékeny állapot (rendszerint homogén, vagy „sávszerű”, hogy a mozgás végbemehessen, lásd pl. Geleji, 1967, Kaliszky, 1975, Prager és Hodge, 1965, Szokolovszkij, 1953), különben a rugalmas állapotban lévő rész – és az időtől független alakváltozás – nem teszi lehetővé, hogy a képlékeny folyás végbemenjen. Gondoljunk például egy hajlított tartóra, amelynek a felső és alsó öve képlékeny állapotba kerül. A képlékeny folyás nem alakul ki, mert a gerinc, annak rugalmas alakváltozása miatt, a tartónak egy szilárd, merevnek tekinthető (gyakorlatilag nem deformálódó) „magját” alkotja.

A hiszterézis anyagszerkezet szempontjából úgy értelmezzük, hogy az alakváltozásnak van olyan része, amely a tehermentesülés során rugalmasan megszűnik, de van olyan is, amely maradandó – képlékeny, átrendeződéssel végbemenő – alakváltozásként szenved el a test.

Az anyag fentebb ismertetett, ideális viselkedése anyag tönkremenetele előtti állapot(változás)ára vonatkozik. Ugyanakkor az anyagi viselkedéshez tartozik az anyag tönkremenetele, tehát az anyagban létrejövő törések, repedések, szakadások, átrendeződések kialakulása–lezajlása után hogyan viselkedik az anyag. Húzás esetén, ha elszakad a keresztmetszet, az anyag folytonosságának a megszakadása miatt teljes tönkremenetelről beszélhetünk. Ugyanakkor nyomás, esetleg két-, vagy háromtengelyű nyomás fennállása esetén repedések, törések, sőt az anyag átrendeződése esetén az anyag teherbírása ugyan csökkenhet, de nem feltétlen nem merül ki, ezért a lokális tönkremenetelt, lokális törést és szakadást követően az anyag egészére vonatkozóan még lehet beszélni anyagi tulajdonságról, ez utóbbi ebben az állapotban is értelmezhető, és meghatározható a relatív nyúlás–feszültség diagram. Arra, hogy az anyag az átrendeződése során külső terhet meg tudja tartani, jó példa lehet a szemcsék halma.

A fentieket figyelembe véve az anyagtörvények lehetséges főbb változatai az alábbiakban különíthetők el:

- rugalmas,
- képlékeny, azaz feltételhez kötött folyás,
- viszkózus, tehát feltétel nélkül végbemenő folyás,
- töréssel, repedezettséggel, azaz diszkontinuitással jellemezhető zóna vagy zónák létrejötte,
- kapcsolatok újraalakulása, azaz már nem folytonos részek átrendeződése, kapcsolatok (klasszikus értelemben a kohézió) újjáalakulása – felépülése.

A továbbiakban anyagi viselkedés alatt a következőket fogjuk érteni. Először is a mechanikára korlátozzuk a megfogalmazást, azaz tekintsük az idővel kibővített relatív nyúlás–feszültség teret, mint állapotteret. Másodszor tekintsük ennek az állapotternek (vagy legalábbis annak egy összefüggő tartományának) azt az „egyrétegű” (átfedések nélküli) „felosztását”, amely rögzíti, hogy az egyes tartományokon belül milyen jellegű folyamatok mennek végbe beleértve a rugalmas és képlékeny, a viszkózus alakváltozást, valamint a törések, repedések kialakulását, az átrendeződést és kapcsolatok újraalakulását, azaz a töredezett anyagra vonatkozó relatív nyúlás–feszültség összefüggést is. Harmadszorban tekintsük az egyrétegű lefedések összességét: ez adja meg az anyagtörvényt. (Ha nem egyrétegű, akkor az azt jelenti, hogy az állapotter változóit bővíteni kell, mert valamilyen, addig figyelmen kívül hagyott állapotváltozó függvényében lehet a két azonos tartományt lefedő „viselkedéstörvényt” elkülöníteni.) Ezzel kapcsolatban közzétett eredményeket lásd pl. Ván és Asszonyi (2007, 2008).

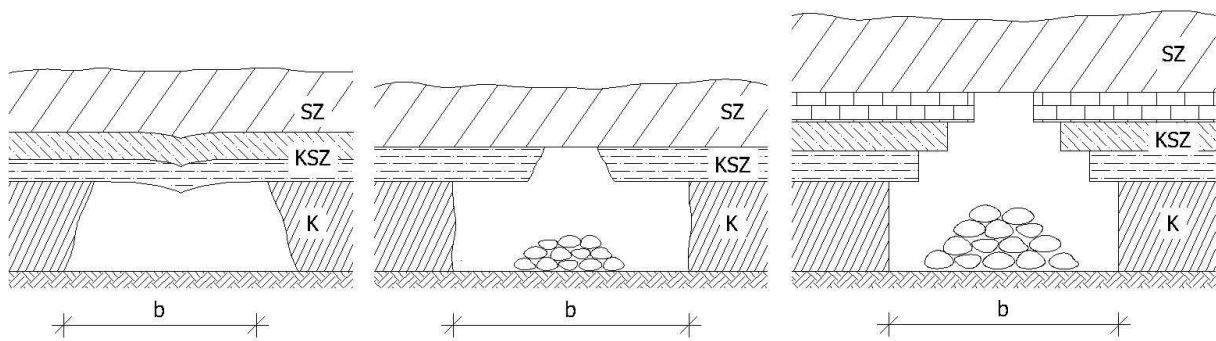
Megjegyzés. A fenti kvalitatív leírás elsősorban a mechanikai jelenségeket tartja szem előtt. Az anyag folytonosságának a megszűnése – törések létrejötte, de már a képlékeny és a viszkózus folyás is – az anyag belső szerkezetének átalakulás miatt nem csak mechanikai, hanem más, elsősorban termodinamikai jelenségeket is magába foglal. Ezért az anyagegyenletek kvantitatív felírása során a termodinamikai megközelítésmódot szükséges alkalmazni. Magának a közetnyomás kialakulásának a megmagyarázásához a belső energia disszipálódásától eltekinthetünk. Az anyagegyenleteknek a termodinamikai megközelítésével történő értelmezését, leírását lásd pl. Asszonyi et al., 2007.

3 A KÖZETNYOMÁS ELMÉLETEKRŐL

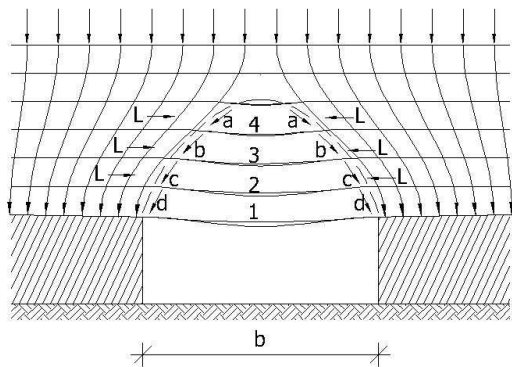
A közetben a főte- és oldalnyomásokat rendszerint az üreg környezetében egy tönkrement közetzóna kialakulásával magyarázzák. Különböző közetviszonyokat feltételezve a közetnek különböző tönkrement zónái értelmezhetők, ennek megfelelően különböző nyomásméletek láttak napvilágot. A főbb elméleteket Szilvágyi, 1952. és Horváth, 1953. mutatja be. Néhány egyedi esetet a 2. és 3. ábrákon mutatunk be. A közetben lezajló mozgásokat, azok vizsgálatát lásd Dzsida és Dzsida, 1952, Esztó, 1952, valamint a Közetmechanikai szaktudományi bizottság 1952. évi jelentését.

A következő ábrákon az alábbi jelölést alkalmaztuk:

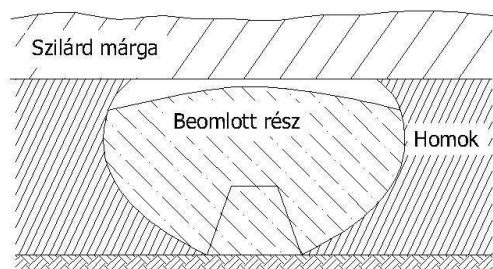
- SZ: szilárdabb közet,
- KSZ: kevésbé szilárd közet,
- K: az a közet, amelyben a vágatot kihajtották.



- a.) a kevésbé szilárd közet deformálódott
- b.) a kevésbé szilárd közetből koporsószerű rész kihullott
- c.) a szilárdabb közetig a rétekből egy-egy rész kihullott

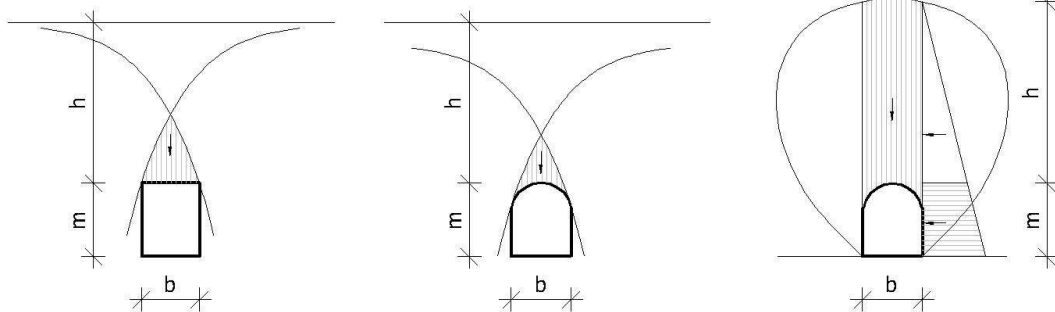


- e.) a főte fölötti rétegek mindegyike hajlítási alakváltozást szenved el

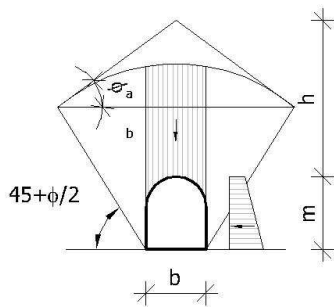


- f.) tönkremenetel homokban

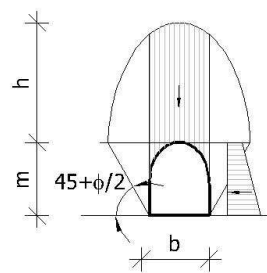
2. ábra. A közet deformációja és tönkremenetele vágat körül



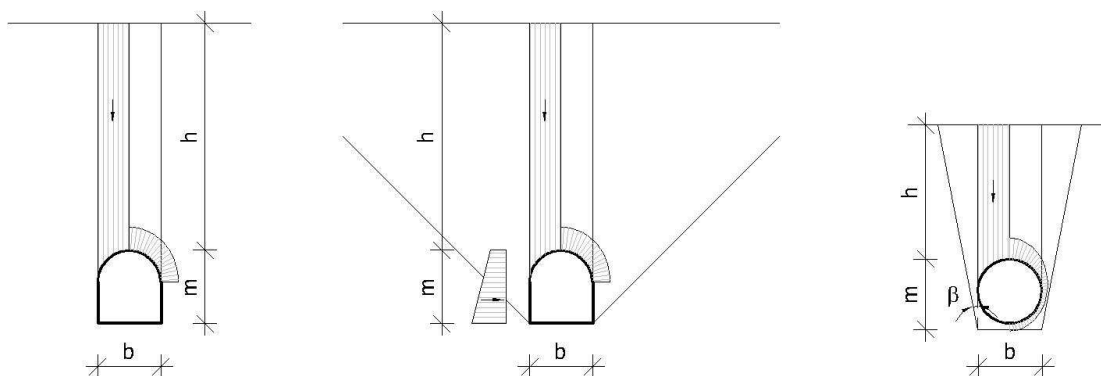
- a.) a felső sarokponton áthaladó görbe esete
 - b.) a boltozott főtéhez illeszkedő görbe esete
 - c.) az alsó sarokponton áthaladó görbe esete
- az elméleti részsű segítségével meghatározott nyomásmélelet



- e.) robbantással kihajtott alagút (Engesser szerint)



- f.) szemcsés talajban kihajtott alagút (Protodjakonov szerint)



- g.)** függőleges árok alján épült táró; silóhatás nélkül és azzal
h.) nyílt munkaárokban épült táró; silóhatás nélkül és azzal
i.) árok alján fektetett cső; silóhatás nélkül és azzal

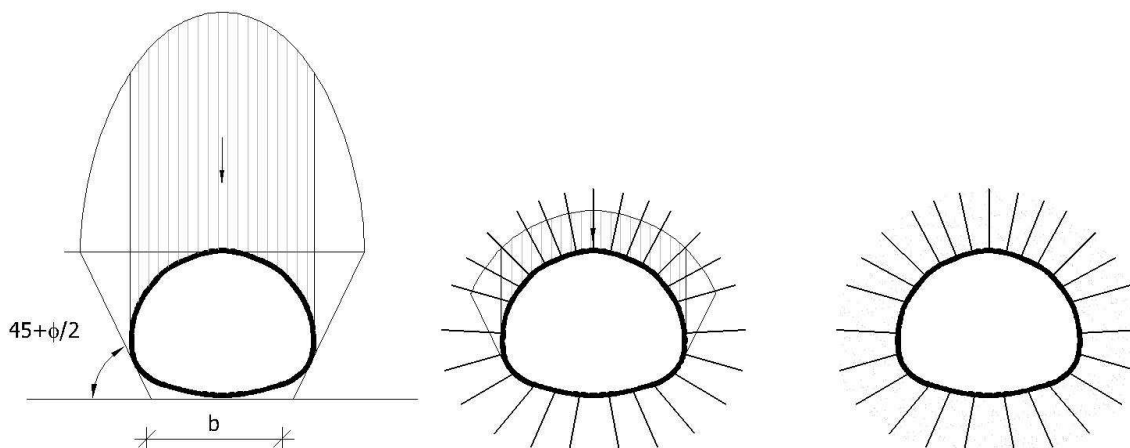
3. ábra. A nyomások értelmezése különböző talajokban és kőzetekben, különböző alagútépítési módszerek esetén

A modell – nyomáselmélet – egyik alap gondolata, hogy a törésfelület mentén végbemegy a teljes törés, és ezért az alagútfalazatra (a vágatbiztosításra) a felette lévő talaj, illetve kőzet tömege hat terhelő erőként. A másik alap gondolata ezzel ellentétben az, hogy érvényesül egy átboltozódás, egy silóhatás. A különböző kőzetnyomás-elméleteket különböző anyagi tulajdonsággal bíró talajokra, illetve kőzetekre határozták meg: a talaj, illetve a kőzet sajátos tönkremeneteli formái határozzák meg az alagútfalazatra (a vágatbiztosításra) ható talaj, illetve kőzet nyomását. (Lásd a 2. és 3. ábrát, ahol a kőzetek (illetve talajok) különböző jellege, különböző törésfeltétel alkalmazása, vagy különböző kihajtási módot a sraffozás, illetve a szöveg emeli ki.)

Tehát a „klasszikus” gondolkodás az, hogy az alagútfalazatot (vágatbiztosítást), a talaj-, illetve kőzet-tömegtől elszakadó, attól elváló talaj-, illetve kőzet rész nyomásának viselésére méretezzük. Ugyanakkor világos, hogy, ha a tönkremenetel időben zajlik le, és a beépített alagútfalazat (vágatbiztosítás) megakadályozza a környezetben a talaj, illetve a kőzet „teljes” tönkremenetelét (nem alakul ki a teljes tönkremeneteli zóna), akkor eleve kisebb kőzetnyomás lép fel, tehát elegendő kisebb kőzetnyomásra méretezni az alagútfalazatot (a vágatbiztosítást).

Itt jegyezzük meg, hogy az új osztrák alagútépítési módszer lényege éppen az, hogy bevonja az alagútfalazat mögötti kőzetzónát az üreg állékonyságának a biztosításába. Ennek során már nem elégséges a kőzet nyomását értelmezni, hanem a folyamatot időben kell leírni: a kőzetben lezajló folyamat és az építési technológia ismeretében lehet az üreg körüli kőzet és üreget biztosító falazat együttes mechanikai állapotát meghatározni. A kőzetnyomás elméletekre – formálisan – nincs is szükség.

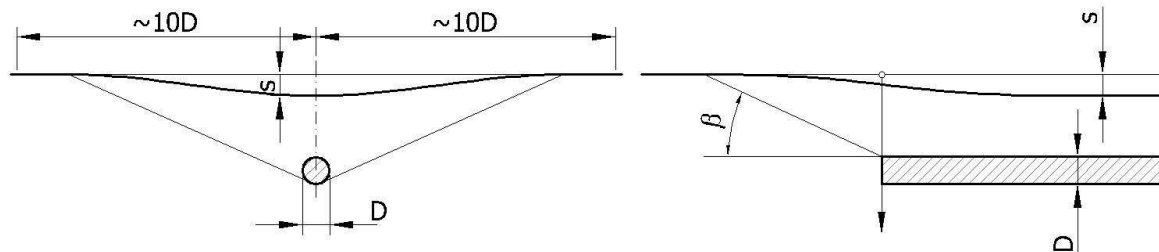
A 4. ábrán mutatjuk be, hogy a hagyományos ácsolattal végzett alagútkihajtás, és az új osztrák alagútépítési módszerrel végzett alagútkihajtás eredményeképpen más és más lesz a kőzetnyomás. Erre egy bekezdés ereéig még visszatérünk.



- a.)** hagyományos ácsolat alkalmazása
b.) új osztrák alagútépítés, a kőzetnyomás értelmezése a töréselméleten alapul
c.) új osztrák alagútépítés, a kőzetnyomás értelmezése az anyagi tulajdonság megváltozásán alapul

4. ábra. Az új osztrák alagútépítési módszer és a kőzetnyomás

Megjegyezzük azt is, hogy a kőzetnyomás elméleteknek a fellazulással való kapcsolatát a felszínsüllyedések plauzibilissé teszik. Tekintsük a felszínsüllyedés kapcsán az 5. ábrát; amit a (Ábrahám, 1982) pp. 333-348 alapján állítottuk össze. Megjegyezzük, hogy az alagútra és a felszínsüllyedésre vonatkozó léptékek nem azonosak. A süllyedés által érintett terület jelentős térfogattal bír. Például a budapesti metróépítkezésnél egy-egy süllyedési teknő keresztmetszeti területe elérte a fél-egy négyzetmétert (lásd a fenti irodalmi hivatkozást). (Ez az 5,5 m-es alagút esetében legkevesebb 30-40 cm-t meghaladó főtésüllyedéssel lett volna azonos.) Ennek okán a felszínsüllyedéssel érintett talajtömeg elsősorban nem az alagút deformációjával jön létre, hanem az alagút kihajtás előtti a talajzóna fellazulásával, valamint a talajban végbemenő feszültségátrendeződéssel.



5. ábra. A felszínsüllyedés alagútkihajtás során

4 A VÁGATBIZTOSÍTÁS ÉS A KŐZETNYOMÁS KIALAKULÁSÁNAK KORLÁTOZÁSA

Abból indulunk ki, hogy sem a rugalmas, sem a (rugalmas-)képlékeny feltérben a vágatkihajtás után beépített vágatbiztosításba belső erő nem ébred (Lámer, 2008, 2010). Ezért a figyelmünket a viszkózus tulajdonságú anyagokra fordítjuk (Lámer, 2008, 2010b). Általában kijelenthető, hogy a viszkózus alakváltozás esetén meg szokás különböztetni a korlátos és korlát nélküli folyást. Korlátos viszkózus folyás esetén lehet úgy tekinteni, mintha a rugalmassági együttható időben változna; és a folyamat egy véges értékhez tart. Ekkor tulajdonképpen a rugalmasságtanban megszokott eredményt nyerjük. A korlát nélküli képlékeny folyás esetén a helyzet a képlékeny állapothoz lesz hasonló: az üreg környezetében a kőzetnek lesz olyan térfogata, amelyben a viszkózus alakváltozás hatására folyás jön létre, ugyanakkor ahhoz nincs meg a mechanizmus, hogy a folyás korlátlanul végbemenjen. Úgy fogalmazhatunk tehát, hogy a viszkózus modell esetében a kőzetben található feszültségek időbeli átrendeződése ad lehetőséget arra, hogy az üreg környezetében nyomás lépjen föl.

A vágatbiztosítás szerepét a vágat körüli folyamatok szempontjából vizsgáljuk.

A vágat kihajtása után a kőzetben megindulnak, illetve lezajlanak a különböző alakváltozások, ezzel együtt átrendeződnek a feszültségek. Ez azt jelenti, hogy ha a vágat szabadon áll (értsd: biztosítás nélkül), akkor a környezetében a rugalmas alakváltozások azonnal lezajlanak, továbbá, mivel a képlékeny folyás mechanizmusának a lezajlásához nem adottak a feltételek, ezért képlékeny folyások (alakváltozások) nem lépnek fel. Az időben végbemenő alakváltozások lehetősége adott, ezért a viszkózus alakváltozások megindulnak. Ennek megfelelően átrendeződnek a feszültségek. Előfordulhat az is, hogy az átrendeződés során repedések keletkeznek, illetve a vágat körül, elsősorban felette, a főtében, kisebb-nagyobb darabok kiszakadnak. A folyamatot jelentősen bonyolítja, hogy a vágat kihajtása során a vágat a kőzetben előre halad, tehát a vágatkihajtás újabb és újabb feszültségátrendeződést indukál (rendszerint kiterjeszti térben és a meglévőt gyorsítja), ugyanakkor a vágatbiztosítás beépítése a beindított feszültségátrendeződési folyamatokat befolyásolja, megváltoztatja (rendszerint lelassítja).

A vágatbiztosítás (legtöbbször) a környezetéhez képest merevebb szerkezet.

Az új osztrák alagútépítési módszerben – a vágatbiztosítás beépítése előtt kőzethorgonnyal a fellazuló zónát mintegy felkötik az ép zónához – a vágatbiztosításhoz lényegesen kisebb keresztmetszet, ezzel együtt lényegesen hajlékonyabb szerkezet (lőtt beton) is elegendő. Ezt a tapasztalat igazolta. Ugyanakkor rá kell mutatni arra, hogy az új osztrák alagútépítési módszer előnye nem abban rejlik, hogy a leszakadó zónát felkötik az ép zónához, hanem azáltal, hogy összefogja a fellazult zónát és ezáltal, egyrészt egy kinematikai kényszerrel vissz a rendszerbe, másrészt átrendezi a feszültségeket (a peremfeltételeket változtatja meg) mintegy lezárja a lassú alakváltozás útját. Ezáltal valójában kis sem alakulnak a törési zónák.

A fentiekből az alábbi következtetések vonhatók le.

1. A vágat kihajtása átrendezi a kőzettestben a feszültségeket, minden egyes újabb lépés újabb feszültségátrendeződést indukál.
2. A vágatbiztosítás beépítése lassítja, esetleg meg is állítja a környezetében a feszültségek átrendeződését, a törések kialakulását.

3. A vágatbiztosításra ható kőzetnyomás kialakulása – a törések létrejötte, az átrendeződések, a kapcsolatok újjáépülése, új törések kialakulása – időben játszódik le. A kőzetnyomás kialakulásának a kinematikai oldala a bányászati nyelven fellazulásnak nevezett jelenség.
4. A nyomásméletek, amelyek alapvetően törések kialakulásából indulnak ki, kvalitatívan helyesen tükrözik vissza a vágat környezetében lejátszódó jelenségeket. Ugyanakkor azonnal létrejövő törésképet tételeznek fel. Ennek megfelelően hiányzik a „dinamika”, a törések, és ezzel együtt a kőzetnyomás kialakulásának az időbeli leírása.
5. A kőzetnyomás meghatározásához tehát kell a törésfeltétel és szükséges az átrendeződés figyelembe vétele, továbbá ismerni kell ezen jelenségeknek az időbeli lefolyását is. A kőzetben végbemenő átrendeződésekbe a szorosabb értelemben vett átrendeződéseken kívül bele kell érteni a vágatbiztosítás beépítését, a vágatbiztosításnak a kőzet állapotát módosító szerepét is.

A fenti következtetések önmagukban nem elegendők a kőzetben kialakuló nyomás meghatározásához. Ezek elvek, amelyeket alkalmazni kell, de a kőzetnyomás értékét néhány további tény jelentősen befolyásolja, és a kőzetnyomás értékének a meghatározásához néhány további ismeretre van szükség. Ezeket röviden az alábbiakban foglalhatjuk össze: a meglévő állapot, annak előtörténete, a vágatkihajtás és beépítés sebessége, a kőzetek anyagtörvénye (illetve „viselkedéstörvényei”).

Ugyanakkor arra is fel kell hívni a figyelmet, hogy kőzettestet homogénnek tekinteni nem lehet. A szakirodalomban ismertetett tönkremeneteli formák és kőzetnyomás-elméletek éppen a különböző településű, különböző rétegezetségű, különböző tönkremeneteli formákkal rendelkező kőzetekre vonatkoznak. Ezért a továbbiakban hallgatólagosan feltesszük, hogy amikor kőzetről beszélünk (beszélünk), akkor tulajdonképpen nem egy homogén kőzetről, hanem különböző időben egymásra települt kőzetretegek összességéről beszélünk (beszélünk). Ez a megjegyzés vonatkozik a kőzetnyomás meghatározására, a kőzetben uralkodó feszültségállapotról, a kőzet ideális tulajdonságaira és a tönkremenetel legkülönbözőbb formáira, illetve arra, hogy a tönkremenetel vonatkozhat egy-egy rétegre, míg más rétegek megtartják szilárdságukat.

A kőzetnyomás értékét jelentősen befolyásolja a kőzetbe uralkodó „kezdeti” feszültségállapot. Ez utóbbi alapvetően a kőzet kialakulásától függ. Magyarán attól, hogy a létrejötte során milyen feszültségek ébredtek és halmozódtak föl benne. Bizonyos egyszerűbb, logikailag jól kezelhető esetben tehetünk becsléseket arra nézve, hogy milyen lehet a kezdeti feszültségi állapot. Ilyen a mélységgel arányos nyomás az üledékes kőzetekben, a nyomások növekedése, illetve csökkenése a geológiai szinklinálisok fölött, illetve antiklinálisok alatt. Ugyanakkor a kőzetek gyűrődése, illetve általában a korábbi lejátszódott geológiai folyamatok hatása az adott kőzettestre nem ismert, ezért a kezdeti állapotban a feszültségeloszlás kevésbé ismert. Ezért nehezen becsülhető a kőzetnyomás értéke, csak in situ mérésekkel lehet meghatározni. Az így kapott eredmény viszont már *végezredmény*, az időben – évmilliók alatt lejátszódó folyamat – mai végeredményét mutatja. A kőzetnyomások méréséről lásd pl. Dzsida és Dzsida, 1952, illetve Asszonyi et al., (2011).

A kőzetnyomás értékét – a kezdeti feszültségeloszláson kívül – befolyásolja még a kőzetben lezajló folyamatok gyorsasága. A folyamat sebességét viszont befolyásolja vágatbeépítés mikéntje és gyorsasága: minél gyorsabban hajtjuk ki a vágatot és építjük meg benne a biztosítást, annál kevesebb idő marad a repedések és a törések kialakulására, a fellazulási zóna létrejöttére, és ezzel együtt a kőzetnyomás kialakulásra.

Jelenleg a klasszikus értelemben vett, azaz az idealizált viselkedést jellemző anyagi állandókkal rendelkezünk, tudjuk, hogy a terhelés sebességétől függ a határfeszültség értéke, de nincsenek kísérleti adataink arra nézve, hogy milyen sebességgel alakulnak ki a repedések és rendeződik át a vágat felett – mellett a kőzettest. Amíg ezeket a sebességeket nem tudjuk meghatározni, vagy legalábbis becsülni, addig a kérdésekre adekvát választ, prognosztizálható választ nem lehet adni. Megjegyezzük, hogy bányászati és alagútépítési tapasztalatokból tudjuk, hogy az átrendeződés néhány órától a néhány napig, hétig tart, tudjuk, hogy a főtebiztosítás azonnali beépítése az átrendeződési folyamatot lelassítja, több esetben meg is szünteti. Végezetül nem elégséges a törés feltételét, a törés kialakulását és feldarabolódást leírni, hanem meg kell adni azokat az összefüggéseket, amelyek az átrepesztett, összetört kőzettest mechanikai viselkedését írják le az ép kőzet és a vágatbiztosítás között. Erre példát standard kőzetmodell feltételezésével Asszonyi és Richter, 1979. könyve ad. A reológ tulajdonságok figyelembevételével az üreg körüli kőzettestben lezajló folyamatokat Asszonyi et al., (2009) Ván és Szarka, (2006) vizsgálta.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző ezúton fejezi ki köszönetét Asszonyi Csabának, Szoboszlai Bélának és Ván Péternek a tanulmány elkészítése során adott szakmai tanácsaikért.

IRODALOM

- Asszonyi Cs.; Richter. P. 1979. *The Continuum Theory of Rock Mechanics*. Trans. Techn. Publications. Clausthal-Zellerfeld p.332.
- Asszonyi Cs.; Szarka Z.; Béda Gy., 2009. Körszelvényű földalatti folyosók körül kialakuló mechanikai mezők. Asszonyi Cs. (szerk.): *Kontinuummechanikai feladatok megoldásáról*. Műegyetemi Kiadó, Bp. 114-171. [Mérnökgeológia-Közetmechanika Kiskönyvtára 9. kötet]
- Asszonyi Cs.; Szarka Z.; Kovács L., 2011. A primér feszültségállapot in situ meghatározásáról. Műegyetemi Kiadó, Bp. 91-124 [Mérnökgeológia-Közetmechanika Kiskönyvtára 12. kötet]
- Asszonyi Cs.; Ván P.; Szarka Z., 2007. Izotrop kontinuumok rugalmas és képlékeny állapota. Műegyetemi Kiadó, Bp. [Mérnökgeológia-Közetmechanika Kiskönyvtára 5. kötet]
- Ábrahám K. (szerk.) 1982: *Metró Kézikönyv*. Tervezés, építés, üzemeltetés. Műszaki kk., Budapest.
- Dzsida L.; Dzsida O., 1952: A bányászati közetmechanika kutatási módszereiről és eszközeiről. In: *Válogatott fejezetek*. 512-631
- Esztó P., 1952. A bányászat-okozta közetmozgások és külszíni hatások. In: *Válogatott fejezetek*. 445-461
- Fülöp T.; Béda Gy., 2009. Hidrosztatikus környezetben nyitott hengerszimmetrikus alagút körüli reológiai időfüggés. Asszonyi Cs. (szerk.): *Kontinuummechanikai feladatok megoldásáról*. Műegyetemi Kiadó, Bp. 99-114. [Mérnökgeológia-Közetmechanika Kiskönyvtára 9. kötet]
- Geleji S. 1967: A fémek képlékeny alakításának elmélete. Akadémiai, Bp.
- Horváth J. 1953: Közetnyomás elméletek vázlatos ismertetése. *Bányászati lapok*, 2: 57-87
- Kaliszky S., 1975. Képlékenységtan. Elmélet és mérnöki alkalmazások. Akadémiai Könyvkiadó, Bp.
- Közetmechanikai szakbizottság, 1952. Földalatti térképépzéssel kapcsolatos közetnyomás jelenségek. (A Közetmechanikai szakbizottság 1952. évi közleménye.) In: *Válogatott fejezetek*. 399-444
- Lámer G., 1984. A számítástechnika és a földalatti létesítmények statikai modelljei. 2. „Számítástechnika az építőiparban” konferencia. Konferenciakiadvány, MTESZ, Budapest, 1984. pp. 155-166
- Lámer G., 1994. Aktív és passzív kapcsolat az alagútfalazat és a környezete között. *Közlekedésépítés- és mélyépítéstudományi Szemle XLIV* (5): 172-177
- Lámer G., 1995. Földalatti létesítmények, alagútak méretezési modell típusai (A nyomásemélet és az ágyazat, mint a környezet numerikus modellje). *Közlekedésépítés- és mélyépítéstudományi Szemle XLV* (5): 185-190
- Lámer G., 1997. A kézi és gépi számítás logikája a földalatti szerkezetek statikai modellezésében. *Közlekedésépítés- és mélyépítéstudományi Szemle XLVII* (6): 266-272
- Lámer G. 2006.: *Az anyag folytonos és diszkrét modellezésének kinematikai kérdései*. In: Török Á., Vásárhelyi B (szerk): *Mérnökgeológia-Közetmechanika 2007*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 145-156.
- Lámer G., 2007. *Az anyag folytonos és diszkrét modellezésének dinamikai kérdései*. In: Török Á., Vásárhelyi B (szerk): *Mérnökgeológia-Közetmechanika 2007*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 301-314
- Lámer G., 2008. *Száraz, vizes, kötött szemcsék és a folytonos közeg, avagy a szemcsétől kontinuumig* In: Török Á., Vásárhelyi B (szerk): *Mérnökgeológia-Közetmechanika 2008*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 271-286.
- Lámer G., 2010a. *Az anyagi viselkedés folytonos és diszkrét modellezésének kérdései*. In: Török Á., Vásárhelyi B (szerk): *Mérnökgeológia-Közetmechanika 2010*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 123-146
- Lámer G., 2010b. Szemcsék halmaza és a talaj oldalnyomása, *Geotechnika 2010*. (Ráckeve, 2008. október hó 26-27.): Közháló
- Prager, W.; Hodge, P.G., 1965. Tökéletesen képlékeny testek. Műszaki Könyvkiadó, Bp.
- Széchy K. 1961., *Alagútépítéstan*. Tankönyvkiadó, Budapest,
- Szilvággyi I., 1952. Közetnyomáselméletek. In: *Válogatott fejezetek a földalatti vasútépítés – bányászati mélyépítés – köréből*. 1952., I. kötet. Közlekedési kiadó, Budapest. pp. 462-511
- Szokolovszkij, V.V., 1953. A képlékenységtan elmélete. Akadémiai Kiadó, Bp.
- Ván P.; Asszonyi Cs. 2006. Izotrop kontinuumok anyagtörvénye II. Az általános törvényszerűségek. In: *Izotrop kontinuumok anyagtörvénye*. Mérnökgeológia-Közetmechanikai Kiskönyvtára 3. kötet. 25-87. Szerk. Asszonyi Cs., Műegyetemi Kiadó, Budapest
- Ván P.; Asszonyi Cs., 2008. Izotrop kontinuumok anyagtörvénye és speciális esetei. In: Asszonyi Cs (szerk): *Izotrop kontinuumok anyagtulajdonságai*. Mérnökgeológia-Közetmechanikai Kiskönyvtára 6. kötet. 13-50., Műegyetemi Kiadó, Budapest
- Ván, P.; Szarka, Z. 2006: Rock rheology – time dependence of dilatation and stress around a tunnel, *EUROROCK 2006*, Liège, Proc. ISRM, 357–363.