

# A SZIVÁRGÁSI ÉS KÚTHIDRAULIKAI KÉRDÉSEK JELENLEGI HELYZETE

BOGÁRDI JÁNOS

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA LEVELEZŐ TAGJA

[Beérkezett 1967. július 19-én]

A Magyar Tudományos Akadémia által 1966-ban rendezett Szivárgási és Kúthidraulikai Ankét a benyújtott tanulmányok és megállapítások tükrében vizsgálta ezeknek a kutatásoknak jelenlegi helyzetét és jövőbeli fejlődésük irányzatát. Az ankét keretében különös figyelemmel és részletességgel vizsgálták a szivárgó vízmozgás dinamikáját, a kitermelhető felszín alatti vízkészletek meghatározásának elvi és gyakorlati kérdéseit, a víztermelő és vízszintsüllyesztő létesítmények hidraulikai kérdéseit, valamint a vízépitési műtárgyakkal kapcsolatos szivárgási kérdéseket.

## 1. Bevezetés

A gazdasági irányítás új rendszere alapvetően módosítani, ésszerűbbé, kevésbé formálissá kívánja tenni a kutatás irányítását is. A kutatóintézetek éves tervének jóváhagyása helyett az irányító hatóságok azoknak az *átfogó kutatási célkitűzéseknek rendszerét* dolgozzák ki, amelyek felsorolják, hogy az előre felmérhető gyakorlati feladatok megoldásához milyen tudományos kérdések tisztázása szükséges. Megadják ebben nemcsak a kutatómunka célját, hanem hasznosítási módját is. Ez lehetővé teszi, hogy a kutatóintézetek a gyakorlat célkitűzéseinek figyelembevételével állítsák össze saját éves terveiket, sőt azt is, hogy előre kidolgozzák — esetleg a részletes ütemezést is feltüntető hálódigramm formájában — *a célkitűzés érdekében elvégezendő munkák folyamattervét, a kutatási témák kapcsolódását* egészen a vizsgálatok eredményeinek a gyakorlatba történő bevezetéséig.

A kutatásnak ez a tervezési, szervezési rendszere jelentősen fokozza a tudományos munka és a gyakorlat kapcsolatát. Ellene mindössze az vethető fel, hogy az alapkutatásokból csak olyan kisebb részfeladatok jelentkeznek a kutatási tervben, amelyek közvetlenül kapcsolódnak valamelyik, már felvetett gyakorlati célkitűzéshez. Minthogy *az alapkutatások eredményes elvégzése sokszor hosszú időt igényel*, fennáll annak a veszélye, hogy amikor a gyakorlati igény felveti egy-egy alapkérdés tisztázásának szükségességét, az átfogó, alapos vizsgálatra már nem áll elégséges idő rendelkezésre, vagy az alapkutatások elhúzódása késlelteti a gyakorlati megoldását. Ezért a gyakorlat által felvetett *kutatási célkitűzések rendszerét feltétlenül ki kell egészíteni a nagyobb távlat áttekintése alapján meghatározott alapkutatási igények felmérésével.*

Rátérve a szivárgási és kúthidraulikai kérdések jelenlegi kérdéseire, mint a legfontosabb körülményt megemlítjük, hogy a vízigények rohamos növekedése szükségessé tette a vízkészletekkel való gazdálkodást. A vízkészletekkel való gazdálkodás a tározás fontosságát, nagyszámú föld-, kő- és beton-gát építését, folyószakaszok vízkészletének komplex hasznosítását, ezzel a duzzasztóművek sorának létesítését, a felszín alatti vízkészletek fokozottabb kihasználását stb. helyezte előtérbe.

Ezek a vízépítési művek azonban a szivárgási kérdések egész sorának megoldását tették hazánkban is szükségessé. Nem véletlen tehát, hogy a szivárgási kutatások az elmúlt évtizedek folyamán a hidraulikai és hidromechanikai vizsgálatok súlypontjába kerültek.

A kutatás kezdeti szakasza lezárult. Sőt több részfeladat is megoldást nyert már. *Hiányzik azonban ezeknek a részleteiben sokszor kiemelkedő, jelentős elméleti eredményeket nyújtó kutatási eredményeknek a szintézise, egységes felfogású, elméletileg igényes és a gyakorlati részt is kielégítő rendszerbe történő összefoglalása.*

Ezt a célt szolgálta a Magyar Tudományos Akadémia által 1966-ban „A szivárgás és kúthidraulika kérdései” címen rendezett ankét.

## 2. A szivárgó vízmozgás dinamikai jellemzése

2.1 A szivárgó vízmozgás jellemzéséül szolgáló hidraulikai paraméterek kapcsolatát lamináris mozgásállapokra a Darcy-féle törvény fejezi ki. Empirikus voltából kifolyólag módosítására, alkalmazási feltételeinek meghatározására való törekvés szinte felállításának idejére nyúlik vissza. A Darcy-törvény alkalmazásának határait a kutatók egyértelmű állásfoglalása azonban még ma is hiányzik. Az bebizonyosodott, hogy az érvényességet követő átmeneti tartomány elég jelentékeny. Az alsó határ meghatározásához a jelenlegi szemlélet a szabad hézagterefogat fogalmát vezette be (KOVÁCS, JUHÁSZ). A viszkózus víz csak ebben a hézagterefogatban követi a newtoni folyadék mozgásának törvényeit.

A Darcy-törvény érvényességét megelőző, az ún. mikroszivárgás tartományába eső mozgástörvények meghatározását, elsősorban a fejletlen mérés-technika akadályozza. Ezeknek a mozgástörvényeknek a felállítását a gyakorlati élet (az agyagásványok jelenlétében kialakuló szivárgások) egyre inkább sürgeti.

A mozgások jellemzésére szolgáló modelltörvényeket, illetőleg közelítő hasonlósági kritériumokat az I. táblázat szemlélteti.

Amint az I. táblázat érzékelteti, a jellegszámokat a figyelembe vett főerők hányadosaként képzik. Ily módon a szivárgási tartományok határai közelítőleg elkülöníthetők.

I. táblázat

A figyelembe vett erők		Jellegszám	A jellegszám neve
Számláló	Nevező		
tehetetlenségi	súrlódási	$R_e = \frac{l v}{\nu}$	Reynolds
tehetetlenségi	gravitációs	$F_r = \frac{v^2}{lg}$	Froude
súrlódási	gravitációs	$MK = \frac{v \nu}{l^2 g}$	Mosonyi—Kovács
molekuláris	gravitációs	$KO_1 = \frac{v \Delta v}{l^2 g}$	Kovács <sub>1</sub>
molekuláris	súrlódási	$KO_2 = I_0 \frac{l_2 g}{v \nu} + \frac{\Delta v}{\nu}$	Kovács <sub>2</sub>
molekuláris és súrlódási	gravitációs	$KO_3 = I_0 \frac{v (v + \Delta v)}{l^2 g}$	Kovács <sub>3</sub>
tehetetlenségi és súrlódási	gravitációs	$KO_4 = \frac{1}{lg} \left( v^2 + \frac{v \nu}{l} \right)$	Kovács <sub>4</sub>

A táblázatbeli jellegszámok ismerete alapján a különböző jellegű tartományokban érvényes sebességeképleteket a II. táblázat tartalmazza.

II. táblázat

A tart. jellege	Mely jellegszám alapján	Sebesség	Esés
négyzetes tartomány	Froude	$v = \sqrt{F_r' lg \sqrt{I}}$	$I = l v^2 F_r g$
átmeneti tartomány	Kovács <sub>4</sub>	$v = \sqrt{\left( \frac{\nu}{2l} \right)^2 + KO_4 lg I} - \frac{\nu}{2e}$	$I = \frac{1}{KO_4 lg} v^2 + \frac{\nu}{KO_4 l^2 g} v$
lineáris tartomány	Mosonyi—Kovács	$v = MK' \frac{l^2 g}{\nu} I$	$I = \frac{\nu}{MK' l^2 g} v$
mikroszivárgási tartomány	Kovács <sub>3</sub>	$v = \frac{l^2 g}{\nu + \Delta v} KO_3' I - I_0$	$I = \frac{\nu + \Delta v}{l^2 g KO_3} v + \frac{I_0}{KO_3}$
nyugalmi állapot	—	—	—

Az I. táblázatban szereplő jellegszámok természetesen nem szabatos modelltörvények, hiszen csak bizonyos erőhatások elhanyagolhatósága esetén alkalmazhatók. Hasonlósági kritériumként is csak közelítőleg alkalmazhatók, mivel kísérleti úton való ellenőrzésük még nem történt meg.

2.2 Az előzőekben vázolt és a porózus közetekre vonatkozó jellemzésnél jóval nehezebb feladat a hasadékos közetbeli vízmozgások vizsgálata. Ezekben a folyamatokban a sebesség és a hidraulikus esés közötti arányossági tényezőt már nem helyes szivárgási tényezőnek nevezni, hiszen az csak a mozgástér átlagos átteresztőképességének jellemzésére szolgálhat. A tér kisebb részeiben ugyanis fizikai értelmé megszűnik.

A hasadékos kőzetekben végbemenő vízmozgásokat ma még nem ismerjük minden részletükben. A jelenlegi gyakorlat szerint rendszerint a porózus kőzetekben végbemenő mozgások számítási módszereit alkalmazzák, sajnos legtöbb esetben mechanikusan, anélkül, hogy az alkalmazott közelítések okozta eltéréseket megvizsgálták volna. Nyilvánvaló, hogy a porózus kőzeteknél szokásos összefüggéseket nagyobb terekben kialakuló vízmozgás vizsgálatokor kisebb hiba elkövetése mellett lehet alkalmazni. Kisebb területek esetében azonban ez a közelítés már megengedhetetlen. A repedezett kőzetekben fellépő vízmozgások kérdése, mivel rendkívül sokféle tényező hatásaként alakulnak ki, nyilvánvalóan csupán megfelelő fizikai szemlélet alapján oldható meg. Az ilyen vizsgálatoknak az alapja az egyedi repedésekben fellépő mozgásfolyamatok tanulmányozása kell hogy legyen.

A hasadékos kőzetekben való vízmozgást LOMIZE tanulmányozta különösen részletesen. Vizsgálatai során a nyomásesés (I) és a sebesség (v) közötti általános függvényt és annak megoldását kereste. Vizsgálatai során az egyedi és különböző geometriájú repedésekben változó nyomásesés hatására keletkező és egymástól eltérő jellegű mozgásokat vette figyelembe. Kísérleteit a

$$\lambda = \psi \left( R_e, \frac{e}{\delta}, \Phi \right) \quad (1)$$

összefüggés alapján dolgozta fel, vagyis kereste valamelyik  $e/\delta$  relatív érdeségű és  $\Phi$  érdeség típusú egyedi repedésben fellépő lamináris, átmeneti, vagy turbulens mozgástartományra érvényes  $\lambda$  nevezetlen ellenállás függvényt.

A repedezett kőzetekben való vízmozgás, mint LOMIZE kísérletei kimutatták, két határeset között jelentkezhetik: sima falú csőben, illetve a porózus kőzetekben fellépő vízmozgás formájában. A litoklázisokban végbemenő mozgások a lamináris, az átmeneti, sőt a turbulens tartományba is tartozhatnak. LOMIZE kísérleti eredményei alapján az esés és a sebesség között összefüggést határozott meg.

2.3 A szivárgó vízmozgás dinamikai jellemzésénél a *nyomáshullám* terjedésének a vizsgálata is elengedhetetlen. Ilyen nyomáshullámok keletkezhetnek a különböző megcsapoló elemek környezetében (pl. a kút hirtelen leállításakor), vagy vastag kavicsrétegben kanyargó folyóknál (pl. a Duna felső szakaszán) árvíz alkalmával a környező nyomás alatti talajvíz esetében.

VÁGÁS felhasználva PATTANTYUS Á. csővezetékekre és szabad felszínű vízmozgásokra levezetett vízlökélméletét, bizonyos általánosításokkal igyekszik a vízlökés jelenségét nyílt tükrű talajvízben megoldani. Ha  $v_n$  a vízlökés sebessége,  $y_m$  a vízréteg eredeti vastagsága,  $n_f$  a kísérletekkel meghatározandó és a vízszintváltozás által érintett rétegszakasz hézagterfoga,

végül  $g$  a nehézségi gyorsulás, a vízlökés sebességére

$$v_h = \sqrt{\frac{gY_m}{n_f}} \quad (2)$$

összefüggést vezet be, ahol a vízlökés által kiszorított víztömeg csak felfelé térhet ki.

VÁGÁS a hirtelen nyomáslökésnek kitett vízádórétgben a réteg és a víz összenyomódását veszi alapul. A víz és a homok összenyomódása egységnyi hosszon:

$$v_1 = \left( \frac{n}{E_r} + \frac{1-n}{E_h} \right) dp, \quad (3)$$

ahol  $E_r$  és  $E_h$  a víz, ill. homok összenyomódási modulusa,  $n$  a talaj hézagterfoglata.

Teljesen vízzel telt fedő és fekü esetére VÁGÁS az összenyomódás értékét illetően a következő alakra jut:

$$\delta = \left( \frac{n}{E_r} + \frac{2en}{E_r} \right) dp = \frac{dp}{E_c} (n + 2en), \quad (4)$$

ahol  $e$  az együtt dolgozó fedőrétegvastagság.

ALLIÉVI a nyomáshullám terjedését az impulzus-tétel alapján számítja, feltételezve, hogy a nyomásnövekedés miatt létrejövő rövidülés értéke ismert. Ha a választott koordináta-rendszert a nyomáshullám terjedési sebességével ( $c$ ) azonos mozgásúnak tételezzük fel, akkor a  $c$  számításához a kiindulási egyenlet felírható a következő alakban:

$$-\Delta pm = \rho m(c+v)[c-(c+v)], \quad (5)$$

ahol  $c$  a nyomáshullám sebessége az  $l$  hosszúságú vizsgált szakaszból való kilépéskor és  $(c+v)$  a sebesség a belépéskor. A különbséget az összenyomódás veszi fel.

A kút hirtelen leállásakor fellépő nyomásnövekedés értéke:

$$\Delta p = v \sqrt{\frac{E_r}{n + 2ew\gamma_t}} = v \sqrt{\frac{\rho E_{fv}}{n + 2en_f}} \quad (6)$$

### 3. A kitermelhető felszín alatti vízkészletek meghatározásának elvi és gyakorlati kérdései

A gyakorlat szempontjából a felszín alatti vízkészletek tényleges értékének meghatározása egyre időszerűbbé válik. Ahhoz azonban, hogy ilyen irányú ismereteink tudományos szempontból is megalapozottak lehessenek, a tárolt vízkészlet (statikus és dinamikus) számításához a rétegyomással, a gáznyomással és a konszolidációval kell részletesen foglalkozni, vagyis a víztároló tér legfontosabb hidraulikai paramétereit, illetve azok egymással való kapcsolatát kell tisztázni.

Minden víz- és gáztartalmú réteget hidraulikailag, egészen a réteg természetes határáig, összefüggő rendszernek kell tekinteni. Dinamikai szempontból ugyanis csakis így vizsgálható a kérdés.

Ha csupán a kutak közvetlen környezetét vizsgáljuk, a víz és kőzet összenyomhatóságát egyaránt elhanyagolhatjuk. A korábbi vizsgálatok során éltek is ezzel a lehetőséggel. A kúthidraulikára vonatkozó elméletek fejlődése során azonban kitűnt, hogy a hatósugár lényegesen nagyobb a korábban feltevezettnél, és így a kutak korlátozott, illetőleg állandó hatástávolságára vonatkozó feltevéseket el kellett vetni. Ez a körülmény nyilván maga után vonja, hogy a víz és a kőzet összenyomhatósága nem hanyagolható el.

Amint a vízkitermelés megkezdődik, a környező rétegekben a nyomáseloszlás változik, és ezzel kapcsolatban a kút hatósugara az időben növekszik. A nyomások eloszlásának folyamata természetesen hosszú idő alatt játszódik le.

Mivel a rétegek átteresztőképességéhez viszonyítva a rétegek fedőjének és feküjének átteresztőképessége rendszerint kicsiny, a korábbi hidraulikai számítások során ezt elhanyagolták. Az újabb vizsgálatok szerint azonban kitűnt, hogy a telepnyomás jelentékeny lecsökkenése esetében ezen a két felületen keresztül is jelentős mennyiségű víz juthat a víztartó rétegbe. Afeledő és a fekü vízáteresztő képessége tehát nem hanyagolható el. Ez a körülmény azt mutatja, hogy pl. artézi víz és a talajvíz hidraulikailag kapcsolatban lehetnek egymással, vagyis az artézi vizek csapadékvízből is pótlódhatnak. Különben az artézi vizek oldaláramlás révén való pótlódásának a lehetősége sincsen kizárva.

Mai ismereteink alapján feltételezhetjük, hogy a felső talaj- és rétegvizekkel közvetlen, vagy közvetett kapcsolatban levő mennyiségi vizek mozgására és utánpótlására hatással lehet a légnyomás-változás, sőt a holdjárás is. Ez a körülmény különösen nagy kiterjedésű utánpótlódási területeken fordulhat elő. Várható, hogy ezek a hatások annál erősebbek, minél közvetlenebb a kapcsolat a felszín közeli és a mélyégi víztartó rétegek között és minél közelebb helyezkednek azok el a felszínhez.

Ha a szivárgási tényező, valamint a kutak fajlagos kitermelhető vízhozama próbaszivattyúzások alapján már ismert, a kitermelhető statikus

vízhozamot síkbeli megcsapolás esetében homogén, izotrop közegben a sűrűn elhelyezett kutakban történő permanens szivárgás során alkalmazott módszerrel célszerű meghatározni.

Amint a bevezetőben már említettük, a gyakorlatban többször előfordul a rugalmas működésű rendszertípusokra vonatkozó statikus (kitermelhető) készletszámítások esete.

Az adott feladat, annak bonyolultsága miatt, jelenleg célszerűen csak egyszerűsített eljárással oldható meg. Kiindulhatunk abból, hogy a víznyomás mélység szerinti változását (adott  $y$  depresszió esetében) a kút környezetében vizsgáljuk. Izotermikus eset és síkbeli megcsapolás feltételezésével a rugalmas kiterjedés tényezőjét (a mérésekből korábban már ismert nyomás- és hőmérsékleti adatok segítségével) kifejezhetjük, s ekkor a kitáguló víz térfogatnövekedése adott depresszió mellett számítható.

A vízellátás céljait szolgáló tervezések egyik fontos számítási alapesete a gáznyomásos statikus készlet meghatározása oldott gázrendszer esetében. A feladat megoldása legegyszerűbben izotermikus állapot, az ideális gáztörvény felvételével történhetik, pl. oly módon, hogy először kísérleti adatok alapján meghatározzuk a levegővel közel azonos viselkedésű metángáz maximálisan elnyelhető mennyiségét a nyomás függvényében.

Magyarországi, laza, üledékes kőzetekből, kutakkal történő vízkivételek tapasztalatai kapcsán lehetőség nyílt a konszolidációs működési rendszer vizsgálatára is olyan esetekben, amikor homogén, izotrop közegről, viszonylag gyorsan konszolidálódó anyagról van szó.

Ha az egyes területek felszín alatti vízkészleteit meghatároztuk már, a további feladat a kitermelhető vízkészleteknek regionális alapon való megállapítása, amelyek már országos vonatkozásban is számottevőek, a kitermelhető víz mennyiségét tekintve. Az ilyen vízkitermelések esetében gondolni kell arra, hogy milyen hatással lesz majd a föld alatti vizek kitermelése a felszíni vízfolyások, víztározók, tavak (sőt a felszín közeli talajréteg) vízháztartására is. A különböző víztartó rétegekben alkalmazható számítási eljárások jósága lényegileg bizonyos paraméterek pontosságán múlik. További részletes vizsgálatokat kell tehát végezni a rétegnyomás, a talpnyomás, a rugalmassági és összenyomódási jellemzők stb. meghatározására. Az is nyilvánvaló, hogy ma már halaszthatatlan feladat a mélységi vizek észlelőkút-hálózatának létrehozása, és a folyamatos észlelések mielőbbi megindítása.

#### 4. A szivárgás kinematikájának leírása

Minthogy a valóságos vízmozgást a tényleges szivárgási sebesség helyett fiktív szivárgási sebességgel vesszük figyelembe, a kinematikai jellemzők leírásakor az Euler-féle tárgyalásmód jöhet számításba. A szivárgásteret ily módon az esetek zömében a sebességpotenciállal jellemezzük.

A szivárgó mozgás lehet permanens és nem permanens. Ha a szivárgó mozgás permanens, akkor minden különösebb nehézség nélkül potenciális mozgásként kezelhető, vagyis a harmonikus függvények alapján összekapcsolt  $\varphi$  és  $\psi$  potenciál- és áramfüggvények segítségével számíthatjuk a sebesség-komponenseket. A potenciál- és áramfüggvények ismeretében meghatározható az áramkép, és a feladat kinematikailag megoldottnak tekinthető.

A laza üledékes kőzetekben azonban általában a szivárgó mozgás nem permanens. A *nem permanens* mozgás az időben való változás mikéntje szerint lehet aperiodikus, periodikus és pszeudo-periodikus.

Csakúgy, mint a nem permanens vízmozgások általában, a nem permanens szivárgások elmélete sincs ma még teljes mértékben megoldva. Ezért a nem permanens szivárgásokat is csak bizonyos feltevések alapján nyerhető egyszerűsítésekkel tárgyalhatjuk. Ilyen pl., hogy a Boussinesq-féle differenciálegyenletet közelítő megoldásként valamilyen ismert egyenletű görbével leírható szivási felülettel helyettesítjük. Így előre feltételezett határfeltételek alapján nyerhetjük a megoldást.

Aszerint, hogy a réteg rugalmas összenyomódását, valamint a víz rugalmas tágulását figyelembe vesszük-e, vagy sem, a nem permanens vízmozgás alapegyenleteit két csoportba sorolhatjuk.

Az európai kutatók *a rugalmassági hatások elhanyagolásával* a Boussinesq-féle differenciálegyenletből indulnak ki, amelynek így az anizotropiát is figyelembe vevő általános alakja

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{k_x}{n_0} \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{k_y}{n_0} \frac{\partial}{\partial y} \left( h \frac{\partial h}{\partial y} \right). \quad (7)$$

Állandó mélységű ( $m$ ) szivárgásoknál, ha az anizotropiát elhanyagoljuk, a kinematikai összefüggés

$$Q = mk \frac{\partial y}{\partial x}. \quad (8)$$

Ha ezt behelyettesítjük a folytonossági egyenletbe, az alábbi egyszerűsített Boussinesq-féle differenciálegyenletet kapjuk:

$$n_0 = \frac{\partial y}{\partial t} = mk \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}. \quad (9)$$

Az USA-ban olyan módszerek alakultak ki, amelyek *a rugalmas hatásokat figyelembe veszik*.

A kúthidraulikában ma már ismeretesek az ilyen rugalmas hatásokat is figyelembe vevő differenciálegyenletek megoldásai. (Pl. THEIS, JACOB képletei.)



4.1 Kovács a nem permanens vízmozgást leíró differenciálegyenletet linearizálja, és így jut a gyakorlati számításokban is alkalmazható összefüggésre.

A megoldás érdekében két közelítést vezet be. Feltételezi, hogy a kiindulási szelvényben létrehozott minden változás vízszintes irányban a végtelenig terjed, és már az első pillanattól kezdve az áramlás teljes hosszúságára kihat. További feltételezése, hogy a hullámél terjedési sebessége közelítőleg azonos a nyomáshullám sebességével. Mivel nyomás alatti (fedett) szivárgási térben az állandó mélység ( $m$ ) biztosított, az alapegyenlet fizikailag értelmezhető.

Megemlítenőd, hogy a szabad felszínű víztérben a nem permanens vízmozgást leíró differenciálegyenletek linearizálásához szükséges közepes vízmélységet az eddigiek során tapasztalati összefüggések (pl. Verigin-féle) segítségével vették figyelembe. Nyilván az ilyen tapasztalati összefüggéseknek azonban nincsen fizikai értelmezésük.

Kovács a differenciálegyenlet linearizálásának fizikai értelmezését két alapeset kombinációjának segítségével mutatja be. A felülről félig áteresztő réteggel takart vízlevezető rétegben előálló nem permanens szivárgás a két alapeset (fedett szivárgási tér és szabad felszínű víztér) közötti átmenetet képviseli. A gradiens és a vízhozam a hely és az idő függvénye, mint szabad felszínű nem permanens szivárgásnál. A szelvényterület állandósága azonban ugyanúgy feltételezhető, mint nyomás alatti szivárgás esetében. Az állandó (közepes) vízmélység felvétele, ami a linearizáláshoz feltétlenül szükséges, ezzel a kombinációval fizikai értelmezést is kapott. Figyelembe véve ezeket az egyszerűsítő feltevéseket, az alapegyenlet alapján meghatározhatók azok az értékek, amelyek egyrészt az alapvető kapcsolatot, másrészt pedig a kiindulási szelvényben létrejövő változásokat jellemző kapcsolatokat kielégítik.

4.2 Megemlítenőd, hogy a Laplace-egyenlet értelmezését V. NAGY a valószínűségszámításban szereplő várható érték és a differenciahányados segítségével adja meg, a Monte-Carlo módszer felhasználásával.

Lényegileg tehát valamely egyszeresen összefüggő síkbeli tartományban azt a  $V(P)$  függvényt kell megkeresnünk, amely az adott tartomány belsejében kielégíti a Laplace-egyenletet. A megoldást a differenciaszámítás segítségével lehet előállítani. Az ilyen megoldás során a tartomány belsejében felvett koordinátarendszer kezdő pontjához tartozó függvényértéket várható értéként, a többi ponthoz tartozó függvényértékeket pedig valószínűségi változóknak tekinthetjük. Ilyen feltevésekkel a másodrendű differenciahányadosokat tartalmazó

$$\frac{\Delta^2 V}{\Delta x^2} + \frac{\Delta^2 V}{\Delta y^2} = 0 \quad (10)$$

összefüggés  $\Delta x \rightarrow 0$  és  $\Delta y \rightarrow 0$  esetében a közismert Laplace-egyenletre vezetnek, azaz

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 0. \quad (11)$$

Ugyanő az előbbi valószínűség-számítási eljárást alkalmazza a Fourier-egyenlet megoldására is. A feladat megoldása és a „véletlen bolyongás” típusú sztochasztikus folyamatok közötti kapcsolat révén levezethető, hogy valamely egyszeresen összefüggő síkbeli tartományban a  $(0,0)$  csomópontból elinduló véletlen bolyongással egyenlő valószínűséggel juthatunk el a szomszédos pontok bármelyikébe. Az  $(m, n)$  pont függvényértéke három változótól  $(s, m, n)$  függ, s ha ezt a három változót síkbeli koordinátáknak, illetve az időnek fogjuk fel  $(s = t, m = x, n = y)$ , az  $(m, n)$  pont függvényértékének várható értéke másodrendű differenciahányadosok alakjában is felírható.

### 5. Víztermelő és vízszintsüllyesztő létesítmények hidraulikai kérdései

A permanens mozgás feltételezésén felépülő kúthidraulikai eljárások alkalmazási korlátainak megvonása egyre erőteljesebbé válik.

5.1 A nem permanens mozgás figyelembevételének lehetőségét is ma már számos eljárás segíti elő. Újabban a rétegek közötti kommunikáció figyelembevételén felépülő elméletek is napvilágot láttak. Ezekre valóban szükség is van, hiszen a vízáadó réteg a szomszédos rétegekkel számos esetben hidraulikai szempontból összefüggésben áll. Ezért fontos a  $\lambda$  „leakage factor” fogalmának bevezetése. Értéke:

$$\lambda = \sqrt{khC} = \sqrt{Tc}, \quad (12)$$

ahol  $c = H'/k'$ , akárcsak  $k$  és  $H$ , a rétegre jellemző állandó. Ily módon  $\lambda$  maga is a rétegre vonatkozó állandó: kutak esetében a kútba jutó víz eredetére utal.

5.2 A kútpaláston kialakuló vízszínelszakadás elméleti meghatározásához VÁGÁS eljárása jelent újszerű szemléletet. Ennél kémlélőkútra nincs szükség. A kútpalást külső, illetőleg belső oldalán ( $h_k$ , ill.  $h_b$ ) kialakuló vízszintek közötti  $y_k = f(y_b)$  kapcsolat  $y_b = 0$  pontra vonatkozó sorbafejtett alakja:

$$y_k = c_1 y_b + c_2 y_b^2 + \dots + c_n y_b^n. \quad (13)$$

Ha az  $y_b$  és  $y_k$  összetartozó értékeket mérések alapján meghatározzuk, az  $y_h, y_b$  és  $c$  jelű kifejezésekből matrixok értelmezhetők:

$$y_k = \begin{bmatrix} y_{k1} \\ y_{k2} \\ \dots \\ y_{kn} \end{bmatrix}; y_b = \begin{bmatrix} y_{b1} & y_{b1}^2 & \dots & y_{b1}^n \\ y_{b2} & y_{b2}^2 & \dots & y_{b2}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{bn} & y_{bn}^2 & \dots & y_{bn}^n \end{bmatrix}; c = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_n \end{bmatrix}. \quad (14)$$





lözhetetlenek. *A szabad kilépési felület magasságának a szivárgási határfeltételekkel való összefüggése* olyan megoldandó feladat ma már, amelyre az erőinket az átfogó kutatások révén koncentrálni kellene. A kutatási szemléletet itt a szóhanforgó határfeltételek esetében a szivárgási rendszer terében egyáltalán kialakulható maximális *szivárgási sebességértékek* meghatározására kell irányítani.

*A gát alatti szivárgás vízhozamának és nyomáseloszlásának* meghatározására már több - a gyakorlat számára általában elfogadható pontosságú - eljárás ismert. Ezért ezzel kapcsolatban elsősorban a meglévő adatok *egységes szemlélet* szerint történő rendezése és összefoglalása szükséges. Új vizsgálatokat igényel *a mentett oldali kilépési sebességek* meghatározása, továbbá ezek ismeretében a réteg stabilitását biztosító *szűrők méretezése*. A szivárgás jellemzése azonos az előzőekben tárgyaltakkal. Többletfeladatként jelentkeznek azonban olyan kérdések, amelyek elsősorban a duzzasztott folyószakasz vízjárásával és a nagyobb területek védelmét biztosító megcsapoló létesítményekkel kapcsolatosak. Ilyenek a következők:

- a megcsapoló rendszerek és a szivárgást gátló létesítmények hidraulikai méretezése;
- a tározók környezetében kialakuló talajvízszint-változás előrejelzése megcsapoló rendszerrel nem védett szakaszon;
- a változó vízszintű tározók és folyószakaszok mentén az árhullámok, továbbá a tározó üzemének hatására meginduló talajvízhullámok jellemzése;
- a kolmatáció kialakulása és hatása a szivárgó vízmozgásra.

A tározók és a duzzasztott folyószakaszok mentén levő, a duzzasztott vízszintnél mélyebben fekvő területeket védeni kell a felszíni elöntéstől és meg kell akadályozni itt a szivárgó vizek által okozott káros talajvízszint-emelkedést.

A duzzasztott folyószakaszokon a hordaléklerakódás a szivárgást csökkenti. Természetes állapotban a vízmozgás iránya a talajban változik: árvizek idején a felszíni víz táplálója, kisvízkor megcsapolója a talajvíznek. Ha a duzzasztás hatására ezzel ellentétben a szivárgás iránya mindenkor változatlanul a víztérből a réteg felé mutat, a hordalék finom szemcséi a rétegbe is behatolnak. Így a szivárgást csökkentő hatás állandósul, a szivárgó vízhozam fokozatosan csökken. Bár sok kutató foglalkozott a *kolmatáció* vizsgálatával és sok tapasztalati adat ismert már, mégsem rendelkezünk a gyakorlatban könnyen kezelhető olyan számítási eljárással, amellyel a szivárgó vízhozam várható változását megfelelő pontossággal előre jelezhetnénk és jellemezhetnénk folyamatos időbeli alakulását. Ilyenek meghatározását és a kolmatáció mesterséges gyorsításával foglalkozó vizsgálatokat ugyancsak kutatási célkitűzéseink közé kell sorolnunk.

Végül a talajvizet tápláló víziműtárgyak harmadik csoportjába a *magas vezetőségű csatornákat* sorolhatjuk. Az ezekből származó elszivárgással kapcsolatosan a következő kutatási feladatokat veti fel a gyakorlat:

— a szivárgás jellegének megváltozása a csatorna környezetében kialakuló szivárgási tér és a talajvíztér kapcsolatától függően;

— a talajvíztértől független szabad szivárgás, valamint a két szivárgási tér egymásra hatásaként kialakuló visszaduzzasztott szivárgás jellemzőinek meghatározása;

— a szivárgást csökkentő csatornaburkolatok hatása a hidraulikai jellemzők alakulására.

Az első feladat annak rögzítése, kísérleti igazolása és folyamatos elemzése, hogy a csatorna feltöltésének pillanatától a szivárgó vízhozam *kinematikai jellege* miként változik és melyek ennek a változásnak jellemző fázisai.

A csatornákból történő elszivárgás számítására már sok elméleti és tapasztalati képlet született. Nyilvánvalóan eltérők voltak azonban a meghatározásukhoz felhasznált megfigyeléseket befolyásoló rétegtani és klimatológiai adottságok. Ugyanígy eltérő a leírt mozgás az előzőekben vázolt és a szivárgás kinematikai jellegét megszabó, változó folyamaton belül. Ezért az eddigi eredményeknek olyan szintetizáló feldolgozása szükséges, amely lehetővé teszi a *különböző mozgástípusok leírására legalkalmasabb összefüggések* kiválasztását és az egyes eljárások érvényességi tartományának kijelölését.

A csatornákból való elszivárgás vizsgálatok a hidraulikai (hidromechanikai) jellemzőknek a hidrológiai tényezőkkel való kapcsolatát is meg kell vizsgálni. Tisztázni kell a csatornák anyagának (a szivárgási közegnek) a szivárgó folyadékkal való kapcsolatát is. A mai kutatások szintjén: határozottan fel kell vetni azt a kérdést, — figyelembe véve a kolmatációt, a hidrológiai tényezőket és a talaj rendszerint agyagásványos voltát —, hogy milyen esetekben lehetséges a „*k*” tényezőről beszélni, illetőleg annak változása miként rögzíthető. Szembe kell néznünk ma már azzal a kérdéssel is, hogy az ilyen kötött jellegű talajok esetében a szokásos szivárgási jellemzők (*Q, v, j, k, n*) valóban alkalmazható paraméterek-e? Nyilvánvaló, hogy itt a további haladáshoz az eddiginél magasabb szintű elméleti kutatómunkára, a mérés technika fejlettebb voltára van szükség. Ilyen vonatkozásban tehát a szivárgáshidraulika fejlesztését illetően gyökeresen új szemléletet kell bevezetni a jövőben.

Végül a *csatornaburkolatok* — ha nem szüntetik meg teljesen a szivárgást, csak megengedhető mértékűre csökkentik azt — gazdaságilag csak akkor hasonlíthatók össze, ha jellemezni tudjuk *hidraulikai hatékonyságukat*. Ezért a csatornából bekövetkező elszivárgás hidraulikai jellemzőinek meghatározására javasolt összefüggéseket ki kell terjeszteni a több rétegű szivárgási tér jellemzésére is. Ennek célja elsősorban a burkolatok hatékonyságának meghatározása. Itt célszerű megemlíteni a szádfalak vízzáró, vagy hiányosságok révén vízáteresztő voltából származó hidraulikai hatásokat. Az agyagszádfalak, cementinjektálással létrehozott — vízzárónak tekintett — függönyök tényleges hidraulikai viselkedése szintén felülvizsgálatra szorul, hiszen viszonylag egészen kismértékű, pár százalékos nyílásfelület is elegendő ahhoz, hogy a kívánt

hatás jelentős csökkenése következzenek be. A szivárgás vizsgálata terén a további fejlődéshez a dinamikai és kinematikai jellemzők egyaránt további kutatásokra szorulnak.

A mozgásállapotok tartományainak konkrét kijelölése, a  $k$  tényező agyagásványos talajokra való alkalmazási lehetőségének tisztázása, az  $I$  hidraulikus esés és a talajvízstatika problémájának konkrét megoldása stb. egyre inkább előtérbe kerül.

A modelltörvények bonyolultabb volta miatt fontos azok fejlesztése és mérésekkel való ellenőrzése is. Ezek nélkül a kismintakísérleti adatok csak minőségi úton értékelhetők.

A jövőben fokozott szerepet kell tulajdonítani a természetbeni vizsgálatoknak. Ennek előnyét — a talaj és a víz egymásra hatásából származó modellbeli zavaró hatások kiküszöbölését — a tényleges jelenségek fenntartásánál kívánatos fokozottabb mértékben kihasználni.