

A SZIVÁRGÁS KINEMATIKÁJA AZ ÚJABB VIZSGÁLATOK TÜKRÉBEN

SZABÓ LÁSZLÓ

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA
BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM

UBELL KÁROLY

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA
VÍZGAZDÁLKODÁSI TUDOMÁNYOS KUTATÓINTÉZET

[Beérkezett 1967. július 19-én]

A szerzők az áramlási tér határolása mentén jelentkező és a vízmozgást is befolyásoló különleges feltételek közül a gyakorlati szempontból talán legfontosabb kérdést, a szabad ki-lépési felület hatását vizsgálják. Ámbar a szivárgási modell-kísérletekre vonatkozóan hiányoz-nak az olyan tanulmányok, melyek az egyes szivárgási kismintatípusok alkalmazásának elő-nyeiről és hátrányairól, alkalmazhatóságuk határaitól és a szolgáltatott eredmények pontos-ságáról, valamint az eljárások gazdaságosságáról átfogóan értékelő összehasonlítást adnának, mégis az egyes témacsoportokon belül az elméleti kérdések tisztázása és a laboratóriumi mérés-technika gyors fejlődése nyomán a permanens szivárgási folyamatok szabatos vizsgálatán túl-menően számos esetben ma már a nempermanens jelenségek eredményes modellezése is meg-valósítható.

1. A kinematikai vizsgálatok főbb kérdései

A laza üledékes kőzetek hézagaiban előálló szivárgás a jellemző nyomás-celoszlás és sebességeloszlás ismeretében határozható meg. Az egyes folyadék-részecskék a szemcsék között rendszertelen térbeli utat követnek, s ezért a valóságos sebesség meghatározására nem gondolhatunk. A valóságos vízmoz-gást a Darcy-törvény felhasználásával valamely fiktív szivárgási folyamattal helyettesítjük, amit egy *kicsiny felületre ható nyomás és egy szivárgási sebesség-nek* nevezett fiktív érték jellemez. A szivárgás kinematikájának leírásánál a mozgásnak vagy a mozgásjelenség megváltozásának az okát nem kutatva, a mozgást a sebességeloszlás alapján jellemezzük. Minthogy a vízmozgást a (valóságos) tényleges sebesség helyett a fiktív szivárgási sebességgel vesszük szemügyre, a mozgásjellemzők leírásakor csakis az Euler-féle tárgyalásmód jöhet számításba, és a *sebességi teret* mesterséges fogalommal, a szivárgási tényező és a piezometrikus nyomómagasság szorzataként kifejezett *sebességi potenciállal* jellemezzük.

A mozgástípusokat tekintve két nagy főcsoporttal, a permanens és a nempermanens szivárgásokkal foglalkozhatunk. *Permanens mozgások* és egy-szerűbb szivárgástípusok esetén a kinematikai alakzatok meghatározása álta-lában minden különösebb nehézség nélkül elvégezhető, és a potenciál áramlást leíró φ és ψ egymáshoz kapcsolt harmonikus függvények segítségével a sebes-ségkomponensek mind a $\varphi(x, y)$ potenciálfüggvényből, mind a $\psi(x, y)$ áram-függvényből előállíthatók. Ennek alapján az áramkép meghatározható és a kinematikai feladat megoldottnak tekinthető.

A természetben általában *nempermanens szivárgások* jelentkeznek. Ezek a mozgások az időben való változásuk szerint periodikus, aperiodikus és pszeudoperiodikus szivárgások lehetnek.

A nempermanens szivárgások teljes matematikai jellemzése ma még általában nem ismeretes. Ezért az idevágó számításokat az adottságoktól és a feltevésektől függően változó egyszerűsítésekkel végezhetjük el. Például a talajvízben kialakuló leszívási felülettel kapcsolatos számításoknál közelítő megoldásként a tényleges leszívási görbéket valamilyen ismert egyenletű görbékkel helyettesítik és így a Boussinesq-féle differenciálegyenletet adott határfeltételek felvételével oldják meg.

Mindkét mozgástípus esetében a természetben előforduló, nagyobb területekre kiterjedő szivárgások meghatározását az alábbi körülmények nehezítik meg:

1. Az áramlási tér *határfeltételei* igen változatosak, rendszerint nem is eléggé ismeretesek s így matematikai módszerekkel csak megközelítően jellemezhetők.

2. A szivárgási képletek levezetésekor, az alapvető differenciálegyenletek integrálása során alkalmazott *megközelítések* csak lényeges elhanyagolásokkal jellemzik a folyamatot.

3. A vízvezető rétegek rendszerint vegyes szerkezetűek, inhomogének, anizotropok, s nem ismerjük kellő pontossággal a „*k*” *szivárgási* tényezőt.

4. A természetben az összetett, *nempermanens* folyamatok az uralkodók, az alapegyenletek megoldásai viszont rendszerint csak permanens szivárgásra ismeretesek.

Általában a gyakorlati feladatok megoldását tekintve az alábbiak okoznak rendszerint nehézségeket:

A) a nempermanens szivárgásoknak a gyakorlat igényeit kielégítő megoldása;

B) a szivárgási tartomány határvonalain érvényes összefüggések, valamint a vízmozgást is befolyásoló határfeltételek;

C) a különböző típusú modellek alkalmazhatóságának a kérdése.

A *nempermanens mozgások* gyakorlati jellemzése során elsősorban azoknak a hatásoknak a tisztázása szükséges, amelyek az elméleti áramvonalak és a vízmozgás tényleges pályája közötti eltérésekből erednek. Ennek megfelelően ebben a kérdéscsoportban a két legfontosabb témakör:

a) nempermanens vízmozgások alapegyenleteinek gyakorlati alkalmazása;

b) a tehetetlenség áramkép módosító hatása.

A nempermanens vízmozgások alapegyenletei két nagy csoportba sorolhatók aszerint, hogy figyelembe vesszük-e a vízvezető réteg rugalmas összenyomódását és a víz rugalmas tágulását, avagy sem.

Európában a kutatók általában a *rugalmassági hatások elhanyagolásával*

felépített alapegyenletről, a Boussinesq-féle differenciálegyenletről indulnak ki, melynek az anizotrópiát is figyelembe vevő általános alakja:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{k_x}{n_0} \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{k_y}{n_0} \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial h}{\partial y} \right). \quad (1)$$

A megoldások általában az állandó mélységű (m) szivárgások esetére és az anizotrópiát elhanyagolva ismeretesek. Állandó mélységű (m) szivárgás esetében a kinetikai összefüggés

$$Q = mk \frac{\partial y}{\partial x}, \quad (2)$$

s ezt behelyettesítve a kontinuitási egyenletbe, a megoldandó egyenlet az alábbi, egyszerűsített formájú Boussinesq-féle differenciálegyenletet szolgáltatja.

$$n_0 = \frac{\partial y}{\partial t} = mk \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}. \quad (3)$$

Kovács megállapítása szerint ennek az alapegyenletnek a megoldása során nyert eredmények rendszerint csak a határfeltételek felvételében különböznek egymástól, de a differenciálegyenlet linearizálásához alkalmazott közelítések általában olyan bonyolult kifejezéseket eredményeznek, amelyeknek fizikai alapja már nemigen mérlegelhető.

A rugalmas hatásokat is figyelembe vevő módszerek az USA-ban alakultak ki, s általános, háromdimenziós esetre vonatkozóan az alapvető differenciálegyenlet az alábbi:

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = n\gamma_r \left(\beta + \frac{\alpha}{n} \right) \frac{\partial h}{\partial t}. \quad (4)$$

Itt β a víznek és α a vízvezető rétegváznak a rugalmas összenyomódási együtthatója.

Az anizotrópiát elhanyagolva, állandó vastagságú (m) vízvezető réteg esetében

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S}{k \cdot m} \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (5)$$

ahol

$$S = \gamma_v \cdot n \cdot m \left(\beta + \frac{\alpha}{n} \right) \quad (6)$$

az ún. *tárolási tényező*.

A rugalmas hatásokat is figyelembe vevő alapvető differenciálegyenleteknek kielégítő megoldásai ismeretesek a kúthidraulikában, a szivattyúzott kút felé előálló nempermanens szivárgás megoldásánál (pl. THEIS, JACOB képletei), valamint az árapály hatására előálló periodikus szivárgások meghatározásánál.

A szivárgás kinematikai vizsgálata során felvetődő főbb kérdések általános összefoglalása után tekintsük át, hogy a hazai és a környező államok szakirodalma alapján milyen irányban haladnak az újabb kutatások, valamint, hogy milyen módszerekkel és megközelítésekkel kívánják a feladatot megoldani.

2. Nempermanens szivárgások alapegyenleteinek a gyakorlati felhasználásra alkalmas megoldásai

A nempermanens szivárgások alapvető megoldása során — a folyamat egyöntetű fizikai értelmezésének és a teljes matematikai jellemzésnek a hiányában — többféle kutatási irányzat és különböző megközelítések alakultak ki [5, 12, 17, 18]. Az ismertetésre kerülő újabb vizsgálati eredmények is általában igen különböző megközelítéseken alapulnak. Ezek a teljességre való törekvés mellőzésével és a rugalmassági hatások elhanyagolásával a nempermanens szivárgás egyes részletkérdéseivel foglalkoznak.

A legtöbb vizsgálat az alapegyenletek egyszerűsített megoldásaival foglalkozik, s a matematikai tárgyalásmód mellett kissé háttérbe szorul a folyamat fizikai vizsgálata. Kivételt képez KOVÁCS [9], aki az egyik legfontosabb kérdést tárgyalja, mégpedig azt, hogy milyen módon juthatunk a nempermanens szivárgást leíró differenciálegyenletnek olyan linearizált — s így a gyakorlati feladatok megoldása során eredményesen felhasználható — alakjához, amelynek az alkalmazott elhanyagolások és megközelítések ellenére fizikai értelmezése is van.

Az alapegyenletek (3) megoldása érdekében az alábbi közelítéseket alkalmazza:

1. a kiindulási szelvényben létrehozott minden változás vízszintes irányban a végtelenségig terjed, és az első pillanattól az áramlás teljes hosszára kihat,

2. a hullámél terjedési sebessége megközelíti a nyomáshullám sebességét.

Nyomás alatti (fedett) szivárgási térben az állandó mélység (m) biztosított s így az alapegyenlet fizikailag értelmezett. Szabadfelszínű víztérben az egyenlet linearizálásához szükséges közepes vízmélységet az eddigiek során tapasztalati összefüggések (pl. Verigin-féle) segítségével vették figyelembe. Ezeknek a tapasztalati összefüggéseknek azonban nincsen fizikai értelmezésük.

KOVÁCS a két alapeset kombinációja segítségével mutatja be az alapvető differenciálegyenlet linearizálásának fizikai értelmezését. *Felülről félig*

áteresztő réteggel takart vízvezető rétegben előálló nempermanens szivárgás az előző két alapeset (fedett szivárgási tér és szabadfelszínű víztér) közötti átmenetet képvisel. A szelvényterület állandósága ugyanúgy feltételezhető, mint nyomás alatti szivárgás esetében, a gradiens és a vízhozam azonban a hely és az idő függvénye, mint szabadfelszínű nempermanens szivárgás esetében. Ezzel a kombinációval fizikai értelmezést kapott az állandó (közepes) vízmélység felvétele, ami a linearizáláshoz feltétlenül szükséges. Ezekkel az egyszerűsítő feltevésekkel az egyszerűsített alapegyenlet az alábbi alakra vezethető:

$$\int_{t_1}^{t_2} -mk \left[\frac{\partial s(x;t)}{\partial x} \right]_{x=0} dt = \int_0^{\infty} n_0 [s(x;t) - s(x;t_2)] dx. \quad (7)$$

Ennek az egyenletnek az alapján — ami a (3) alapegyenlet integrálásával tisztán matematikai úton is levezethető — megkereshetők azok az egyenletek, amelyek mind ezt a kapcsolatot, mind pedig a kiindulási szelvényben létrejövő változást jellemző összefüggéseket kielégítik.

Kovács a linearizált egyenlet alkalmazását többek közt az árhullámok hatására kialakuló talajvízhullámok hidraulikai jellemzésének ismertetése kapcsán mutatja be. A meghatározott összefüggéssel kiszámított értékek szorosan megközelítik a természetben megfigyelt, ill. laboratóriumban mért adatokat. Ugyanő az említett linearizált egyenletet használja fel egyetlen csatornából táplált, vagy megcsapolt talajvíztér esetében különböző feladatok megoldására.

A bemutatott módszer továbbfejlesztése is várható, melynek során a tengelyszimmetrikus áramlás eseteire, valamint a korlátozott hatástávolság figyelembevételével kerül sor a linearizált egyenletek megoldására.

BUREEV [2] olyan algoritmikus operátor kialakítását vizsgálta, mely általános módszert kínál a nempermanens szivárgási feladatok — lehetőleg minél kevesebb korlátozás és egyszerűsítés nélküli — megoldására. Kiindulva a Laplace-féle egyenlethől és figyelembe véve az anizotrópiát is (k_x, k_y, k_z), a feladat megoldása két lépcsőben végezhető el.

1. A folyadék áramlási sebesség-komponensének kiszámítása, amit az állandóan változó átnedvesedési terület (pl. csatornából történő nempermanens szivárgásnál) határán levő elemi térfogatra vonatkoztatunk. A Laplace-féle egyenlet megoldását az átnedvesedési területen belül keressük, s ezzel egyidejűleg pl. fokozatos megközelítéssel — a sebesség is megállapítható az átnedvesedési terület határain.

2. A kialakuló átnedvesedési terület méretének és a kialakulási időtartamának megállapítása. A megoldás eredményeként az átnedvesedési területek egymás utáni körvonalai és az elválasztó időközök határozhatók meg.

Végeredményként a megoldás ún. *kétréteges potenciál* alakjában kereshető, amelynek általános alakja az alábbi:

$$\varphi(M) = \int_L \frac{\cos(r,n)}{\eta_{MP}} v(P) dl_p = - \int_L \frac{\partial}{\partial n_p} \left(\ln \frac{1}{\eta_{MP}} \right) v(P) dl_p. \quad (8)$$

Itt

M — az átnedvesedési területen belüli tetszőleges pont,
 P — az átnedvesedési terület határán fekvő pont,
 n_p — a P pontban levő normális.

Az $v(P)$ függvény meghatározásakor a határfeltételek teljesülését kell biztosítani.

Összefoglalásként megállapítható, hogy az ajánlott módszer lehetővé teszi, hogy a konkrétan megoldandó feladattól független számítási folyamat algoritmusát megalkothassuk. Ez az algoritmus alapul szolgálhat a „BÉSZM—Zm” és „Nairi” számítógépek programozásakor. A nempermanens szivárgással kapcsolatos tényleges feladatok megoldása a javasolt eljárás megbízhatóságát bizonyítja.

V. NAGY [11] olyan számítási módszert ismertet, amelynek alapján az igen egyszerű felépítésű és kicsiny memóriakapacitással rendelkező elektronikus számítógépeket is alkalmasnak ítéli nemcsak egy-, de több dimenziójú szivárgási feladatok megoldására is. Ugyanő felhívja a figyelmet azokra a lehetőségekre is, amelyek a különböző analógiák felhasználása révén rendelkezésünkre állnak az egyes elméleti és gyakorlati feladatok megoldásában. Ennek megfelelően elméleti, matematikai analógiákat javasol a szivárgási feladatok megoldásához. Bár a szivárgás kinematikájának leírása nem áll kapcsolatban a valószínűségszámítással, a megoldáshoz a *Monte Carlo*-módszer mégis jól alkalmazható.

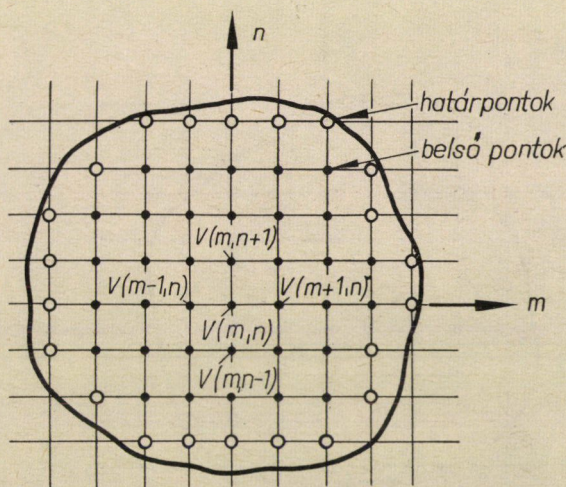
V. NAGY a Laplace-egyenlet megfogalmazását a valószínűségszámításnál szereplő *várható érték* és a *differenciálhányados* segítségével adja meg. Valamely egyszerűen összefüggő síkbeli tartományban azt a $V(P)$ függvényt keresi, amely az adott tartomány belsejében kielégíti a Laplace-egyenletet. A megoldást véges differenciák segítségével adja meg, mégpedig úgy, hogy a tartomány belsejében felvett koordinátarendszer kezdőpontjához tartozó függvényértéket *várható érték*ként, a többi ponthoz tartozó függvényértékeket pedig *valószínűségi változó*knak tekinti (1. ábra). Ezzel a feltételezéssel is levezethető, hogy a másodrendű differenciahányadosok

$$\frac{\Delta^2 V}{\Delta x^2} + \frac{\Delta^2 V}{\Delta y^2} = 0 \quad (9)$$

$\Delta x \rightarrow 0$ és $\Delta y \rightarrow 0$ esetében a közismert Laplace-féle egyenletet adják, azaz

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

V. NAGY a Fourier-féle egyenlet megfogalmazásához ugyancsak az előbbi valószínűségi számítási modellt használja. A feladat megoldása és a „véletlen bolyongás” típusú sztochasztikus folyamatok közötti kapcsolat révén levezeti, hogy valamely egyszerűen összefüggő síkbeli tartományban a (0, 0) csomó-



1. ábra. Egyszerűen összefüggő síkbeli G tartomány, amelynek belsejében a $V(P)$ függvény kielégíti a Laplace-egyenletet (V. NAGY nyomán [11])

pontból elinduló véletlen bolyongással egyenlő valószínűséggel juthatunk el a szomszédos pontok bármelyikébe (2. ábra). Az (m, n) pont függvényértéke három változótól (s, m, n) függ, s ha ezt a három változót síkbeli koordinátáknak, illetve az időnek fogjuk fel $(s \equiv t, m \equiv x, n \equiv y)$, az (m, n) pont függvényértékének várható értéke másodrendű differenciányadosok alakjában is felírható. Ebből, ha $\Delta s \rightarrow 0$, $\Delta m \rightarrow 0$ és $\Delta n \rightarrow 0$, a hővezetés Fourier-féle parabolikus típusú parciális differenciálegyenletéhez jut, azaz

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

Végül általános határfeltételek esetére is bemutatja a Monte Carlo-módszer alkalmazásának vázlatát.

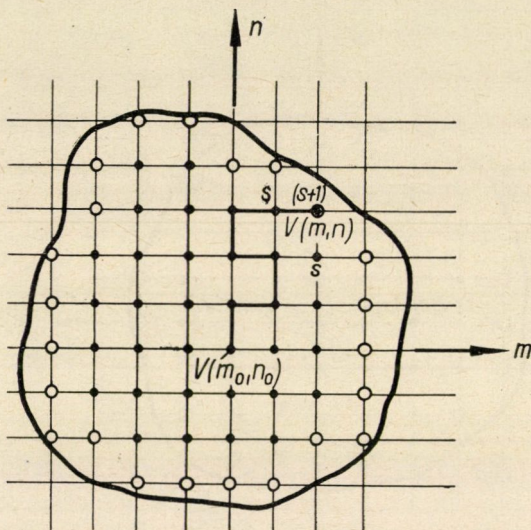
Füzy [4] permanens szivárgás esetében az áramkép meghatározására dolgozott ki elméleti, számítási eljárást, ami a relaxációs módszerhez hasonló.

Valamely görbevonaltú, ζ , ξ , koordinátarendszerben (3. ábra) a sebességvektor divergenciáját egy paraméteres integrál $[\psi(\zeta)]$ alakjában írja fel:

$$\psi(\zeta) = \int_0^{\zeta} v \, d\zeta, \quad (12)$$

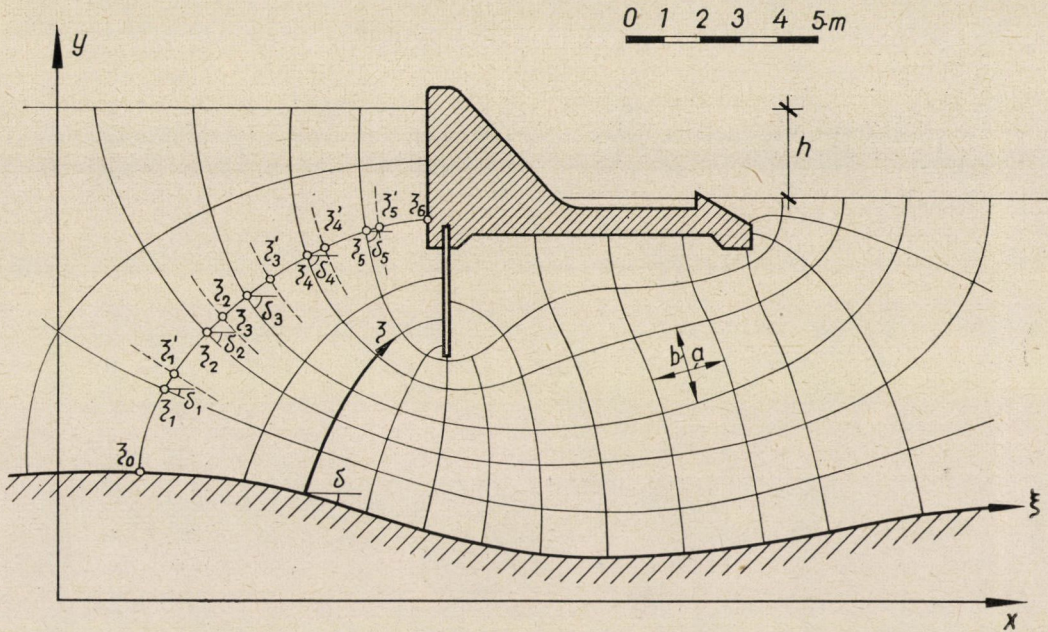
$$v = C e^{\int_0^{\zeta} H d\zeta}, \quad (13)$$

$$\frac{\psi(\zeta)}{c} = \int_0^{\zeta} e^{\int_0^{\zeta} H} \zeta \, d\zeta. \quad (14)$$

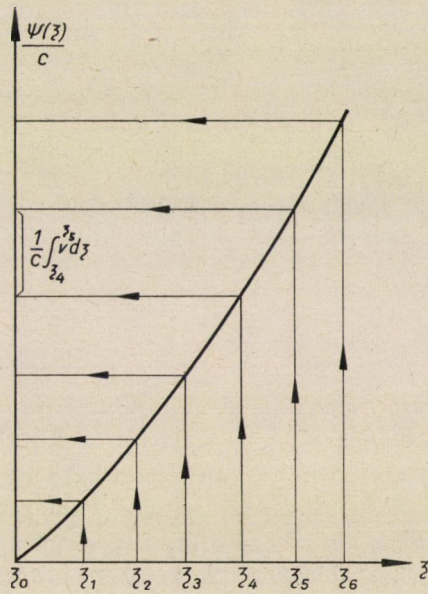


2. ábra. Valószínűség számítási modell a Fourier-egyenlet megfogalmazásához (V. NAGY nyomán [11])

A vizsgálat olyan görbevonaltú koordinátarendszerben folytatható le, amelynek görbevonaltú koordinátái az áramvonalakkal és az equipotenciális vonalakkal egyeznek meg (4. ábra). A vizsgálatot mindig egy-egy equipotenciális görbére végezve, a $\text{rot } \vec{v} = 0$ feltételből kiindulva, a v/c függvény valamely előre felvett, becsült áramkép alapján numerikusan kiszámítható. Ennek alapján a $\psi(\zeta)$ -nak jelölt paraméteres integrál és a $\bar{\psi}(\zeta)/c$ függvény is meghatározható. Ábrázolva a $\zeta \div \bar{\psi}(\zeta)/c$ összefüggést (4. ábra), az első megközelítés rendszerint nem ad egyforma metszéseket, mutatva, hogy az áramkép még nem helyes. Ezért az áramvonalakat és a merőlegesség feltételének betartásával az equipotenciális vonalakat korrigálni kell. Az eljárást többször megismételve a függvényábra ordinátáján az egyenlő szakaszok biztosításával (5. ábra) az equipotenciális görbének a $\zeta'_0, \zeta'_1, \zeta'_2$ stb. javított pontjait meghatározva, *iteráció* segítségével igen gyors konvergenciával és jó pontossággal a helyes áramkép



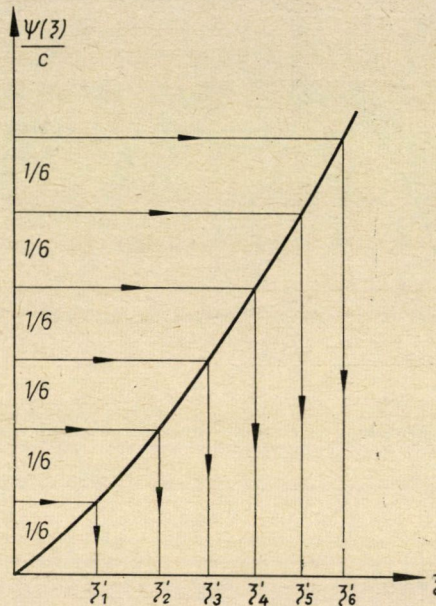
3. ábra. Becsléssel felvett áramkép az iterációs módszer alkalmazásához (Füzy nyomán [4])



4. ábra. Egy equipotenciál görbe mentén meghatározható $\Psi(\xi)$ függvény az első megközelítés alapján (Füzy nyomán [4])

megszerkeszthető. Külön kiemelendő, hogy a sorozatos megközelítés számítási része alkalmas programvezérlésű számítógéppel is elvégezhető.

A szivárgás meghatározására irányuló kutatásnak a matematikai eljárások tökéletesítése mellett egy másik ágát képezik azok a vizsgálatok, amelyek a szivárgási tényezőnek mind pontosabb és kimerítőbb megismerését célozzák.



5. ábra. Az áramkép módosítása a $\Psi(\xi)$ függvény segítségével (FÜZY nyomán [4])

ÉLIÁS és JUHÁSZ [3] a szivárgási tényező vízszintes és függőleges összetevőinek viszonyszámát meghatározó tényező

$$\frac{k_h}{k_v} = \lambda$$

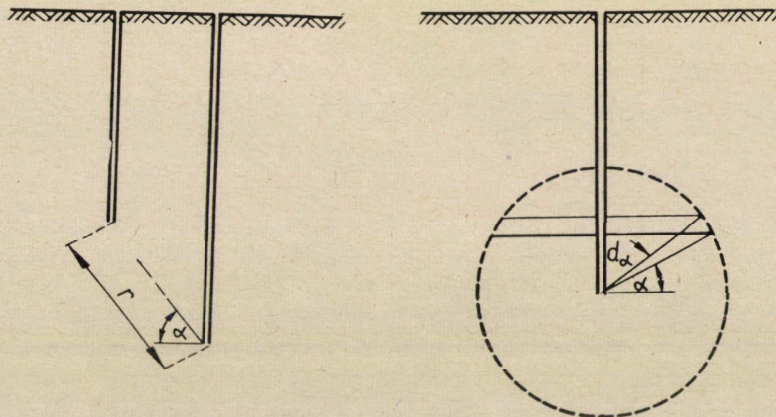
helyszíni megállapítására dolgoztak ki módszert. Kimutatták, hogy tetszőleges irányban és vízszintes irányban végzett festési kísérletből, illetve függőleges áramvonal festése esetében hogyan számítható az anizotrópia tényező. A jelzőanyag (festék) a vízvezető rétegbe való juttatása egy betápláló kút segítségével történik a különböző irányú szivárgást megfelelően telepített szivattyúzott kúttal lehet előidézni. A javasolt módszer szerint az alábbi összefüggések szolgálnak az anizotrópia tényező (λ) számítására. (A kúttelepítéstől függő geometriai adatokat a 6. és 7. ábra szemlélteti.)

Tetszőleges irányban végzett festési kísérlet esetében

$$\frac{1 + (\lambda - 1) \sin^2 \alpha}{B} = \frac{3 Qt}{4 r^3 \pi} \quad (15)$$

Ha vízszintes irányban festünk, $\alpha = 0$, $\sin^2 \alpha = 0$, tehát

$$\frac{1}{B} = \frac{3 Qt}{4 r^3 \pi} \quad (16)$$



6–7. ábra. Az anizotrópia-tényező meghatározásánál alkalmazott geometriai adatok értelmezése (ELIÁS és JUHÁSZ nyomán [3])

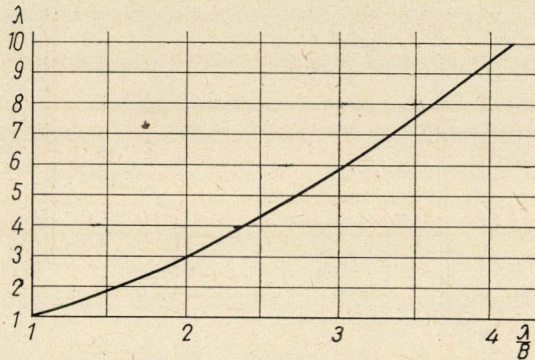
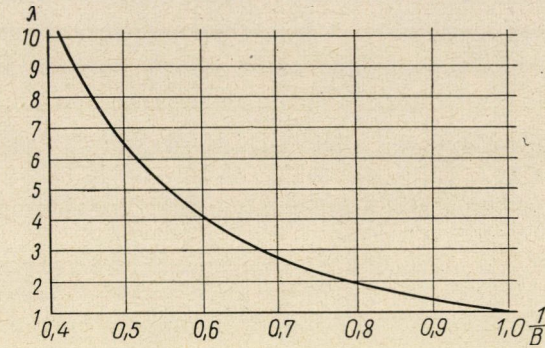
Függőleges áramvonal festése esetében

$$\alpha = \frac{\pi}{2}, \quad \sin^2 \alpha = 1, \quad \text{tehát} \quad \frac{\lambda}{B} = \frac{3 Qt}{4 r^3 \pi} \quad (17)$$

Ezekben az összefüggésekben Q a szivattyúzott vízhozam, r távolság (a vizsgált pont távolsága az origótól, lásd 6. ábra), t a festék szemcse vándorlási ideje, és

$$B = \frac{\sqrt{\lambda - 1}}{\arctan \sqrt{\lambda - 1}} \quad (18)$$

A számítások megkönnyítése érdekében $1/B$ valamint λ/B értékeit λ függvényében a 8. és a 9. ábra tartalmazza.



8—9. ábra. Az anizotrópia tényező számításához alkalmazható függvények (ÉLIÁS és JUHÁSZ nyomán [3])

3. A kerületi feltételek kérdései

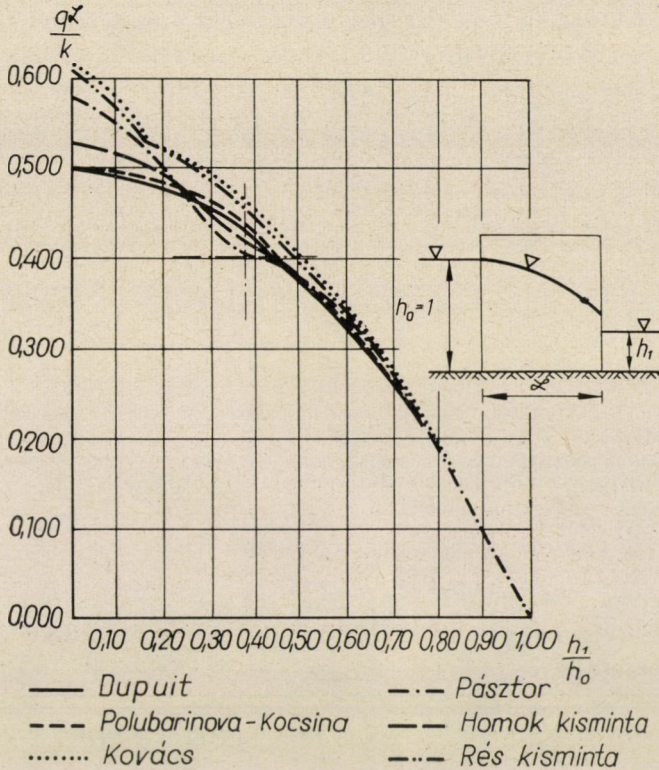
Az áramlási tér határolása mentén jelentkező és a vízmozgást is befolyásoló különleges feltételek közül csupán a *szabad kilépési felület* hatásának vizsgálatát ragadjuk ki. Ez a kérdéscsoport a szivárgás kinematikájának egyik már régóta vitatott, de elméletileg teljesen mindmáig sem tisztázott fejezete.

A szabad kilépési felület hatását két alapesetre vonatkozóan vizsgálhatjuk:

a) tengelyszimmetrikus áramlás során (a vízszál-elszakadás jelensége a kúthidraulikában)

b) és párhuzamos síkáramlás során (földgátakban, galériáknál és szivárgóknál kialakuló permanens szivárgás).

A kutakban fellépő vízelszakadás kérdését ÖLLŐS elemezte. Eredményei [13, 14], melyek segítségével a kút vízszintje és a leszívási felület kimetsződési gyűrűje közötti úgynevezett *szabad kilépési felületen* át a kútba áramló vízhozam meghatározható, ma már általában ismertek. Ezért a tengelyszimmetrikus alapeset részletezését mellőzhetjük.



10. ábra. Az átszivárgó vízhozam különböző eredmények szerint (PÁSZTOR nyomán [15])

A párhuzamos síkáramláskor mutatkozó vízszáلهlezakadás legáltalánosabb példája a földgátaknál jelentkezik. A töltésen átáramló víz — mely akkor is ha a mentett oldalon az alvíz magassága zérus — a szivárgási felület kibúvási vonala alatt az ún. *szabad kilépési, kiszivárgási felületen* át jut a mentett oldalra. Ezzel a kérdéssel a közelmúltban KOVÁCS [8] és PÁSZTOR [15, 16] foglalkoztak. Az előző kutatók megállapításai szerint a kérdés megoldását szolgáltató eddigi eljárások elméleti és kísérleti adatok alapján egyaránt kifogásolhatók.

A szabad kilépési felület kérdésével DUPUIT, majd számos kutató foglalkozott. A legszabatosabbnak tűnő megoldást MUSKÁT és POLUBARINOVA—KOCINA szolgáltatta. PÁSZTOR kimutatta, hogy MUSKÁT és POLUBARINOVA—KOCINA elméletének egyik kerületi feltétele hibás és emiatt nem tükrözi helyesen a végeredmény a jelenséget. Ez a kerületi feltétel az a helytelen megállapítás, hogy a szivárgási görbe végérintője és a kiszivárgási felület egy síkba esik. PÁSZTOR szerint a permanens állapot beálltakor a földgátban kialakuló szivárgási görbe (a szivárgás szabad felszínének a gát szelvényébe eső metszete) olyan helyzetet vesz fel, amely mellett az átszivárgó víz mennyisége maximális.

Ezen kerületi feltétel alapján PÁSZTOR a tényleges potenciál-eloszlást az alvíz felőli oldalon annak átlagértékével, a ténylegesen kialakuló szabadfelszint vízszint másodfokú görbével helyettesítette, továbbá a vízszint-elszakadást okozó hatások közül csak a teljes szivárgási tér ellenállását vette figyelembe.

PÁSZTOR [16] szerint a függőleges falakkal határolt és a vízáteresztés szempontjából a talajhasáb szélessége (L) mentén lineárisan változó talajteszten (10. ábra) átszivárgó víz mennyiségének a meghatározására a következő képlet szolgál:

$$q = \frac{k_0}{L} \frac{1 - \beta\gamma}{\frac{P}{\gamma} + T} h_0^2, \quad (19)$$

ahol k_0 — a talajhasáb felvíz felőli oldalára meghatározott vízáteresztő képességi együttható,

k_1 — a talajhasáb alvíz felőli oldalára meghatározott vízáteresztő képességi együttható,

h_0 — a felvízi vízoszlop magassága (10. ábra),

h_1 — az alvízi vízoszlop magassága,

P — a (23) képlettel meghatározható paraméter és

T — a (24) képlettel meghatározható paraméter.

A képletben szereplő β és γ paraméterek a leszívás mértékétől és az áteresztőképességi együttható változásától függenek. Értékük a következő összefüggésekkel számítható

$$\beta = \frac{2P - \varepsilon T - \frac{4P}{\varepsilon} + \sqrt{\varepsilon^2 T^2 - 4\varepsilon PT + 4P(P + 2T)}}{P \left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right)} \quad (20)$$

$$\gamma = \frac{-2\beta P + \sqrt{4\beta^2 P^2 + 4\beta PT}}{2\beta T}. \quad (21)$$

Az ε mennyiség értéke a leszívástól függ:

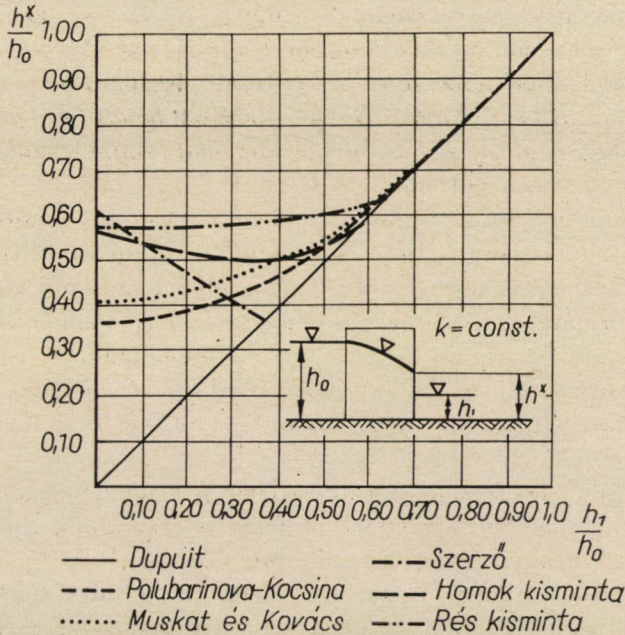
$$\varepsilon = h_1/h_0, \quad (22)$$

míg a P , T és a $\kappa = k_1/k_0$ paraméterek az áteresztőképességi együttható változásának függvényei. Lineáris változás esetében a következő összefüggésekből számíthatók:

$$P = \frac{1}{2(\kappa - 1)} + \frac{\ln \kappa}{(\kappa - 1)^3} - \frac{1}{(\kappa - 1)^2}, \quad (23)$$

$$T = \frac{2 \ln \kappa - 1}{2(\kappa - 1)} - \frac{\ln \kappa}{(\kappa - 1)^3} + \frac{1}{(\kappa - 1)^2}. \quad (24)$$

Homogén talajhasáb esetében a képletek lényegesen egyszerűbb alakra hozhatók.



11. ábra. A kibúvási pont magassága különböző eredmények szerint (PÁSZTOR nyomán [15])

A szivárgási vonalat a következő egyenlettel közelíthetjük meg:

$$y = \frac{h_0}{1 + \left(\frac{1}{\gamma} - 1\right) \frac{x^2}{L^2}} \quad (25)$$

Kovács a Bólyai-geometria rendszerében párhuzamos egyenesekként értelmezett görbéket leszívási görbéknek tekintette, és az így nyert áramképet ortogonális-párhuzamos egyenességgé leképezve, meghatározta a szivárgási tér jellemzőit. Ebben a tanulmányában a vízszint elszakadás jelenségét elhanyagolta. Később módszerét tovább fejlesztette, mikoris a jelenség matematikai leírásakor PÁSZTOR eredményeit is figyelembe vette [8]. Az így kialakult módszer eredményeit résmodell-vizsgálatokkal ellenőrizték.

A vázolt módszerek és az ellenőrző kisminta-kísérletek eredményei a korábbi eljárások eredményeitől lényegesen eltérnek. Ennek szemléltetésére a 10. ábrán egy leegyszerűsített gáttesten átszivárgó vízhozamnak, a 11. ábrán pedig a szivárgási görbe kibúvási pontja magasságának az említett kutatók, valamint a kisminta vizsgálatok szerinti értékének változását mutatjuk be PÁSZTOR nyomán.

A vizsgált kérdéssel kapcsolatos elméleti és gyakorlati megállapításokat PÁSZTOR a következőkben foglalta össze:

1. A síkszivárgás *két szakaszra* bontható. Az *első* szakaszban — a kis leszívásoknál — a vízszint elszakadás kismértékű és csak a *kilépés helyén* előálló *intenzív* vízmozgás következménye. Az erőteljes elszakadási pontnál *nagyobb leszívások* esetén a *teljes szivárgási tér* ellenállásának *hatása* érvényesül. Ezen a szakaszon a leszívás növelésével a depressziós-görbe kibúvásának magassága csak igen kis mértékben változik.

2. *Körszimmetrikus* szivárgások esetében a jelenség gyakorlatilag folyamatos, a centrikus viszonyok miatt *csak a kilépés* környezetében előálló erőteljes vízmozgás hatása érvényesül a legnagyobb leszívások esetében is.

3. Síkszivárgáskor teljes leszívás esetében is a felső vízmélység $50 \div 60\%$ -a körül *metsződik ki* a szivárgási görbe az alvíz felőli oldalon.

4. A szivárgási tér ellenállása okozta *erőteljes elszakadás* — függőleges oldalfalakkal határolt talajhasábok esetén — a 40% -os leszívás környezetébe esik.

5. A $70 \div 80\%$ -os leszívás környezetében a vízhozamgörbének *szingularitása* van. Ennél nagyobb leszívások esetében a *vízhozam* a korábbi módszerekkel számított mennyiségnél $15 \div 20\%$ -kal *nagyobb*.

A vizsgálatokkal kapcsolatban felvetődik az a kérdés, hogy a szivárgási görbe azon helyzete, melynél az átszivárgó víz mennyiségének maximuma van, véges időben bekövetkezik-e?

PÁSZTOR hidraulikus kismintán végzett kísérletei szerint ez az állapot csak a már permanensnek tekinthető szivárgás beálltakor, $5 \div 6$ nap múltán jelentkezik. Tengelyszimmetrikus áramlás során a szivárgási tér kialakulására csak a kútpalást környezete — viszonylag kis terület — a döntő hatása. Ez esetben tehát rövidebb idő alatt várható a permanens állapot kialakulása.

Az ismertetett eljárások mind a témakörrel kapcsolatos elmélet tisztázásához, mind a gyakorlati feladatok szabatosabb megoldásához hathatós segítséget nyújtanak.

4. Szivárgási modellek alkalmazhatósága

A bevezetőben kitűzött feladatainknak megfelelően vizsgáljuk meg a szivárgási folyamatok modellezésének ill. modellezhetőségének kérdését is.

A szivárgási kismintakísérleteket a számítások ellenőrzésére, egyes szivárgási jelenségek tanulmányozására, különösen a matematikailag kellően ma még le nem írható nempermanens szivárgások jellemzőinek meghatározására alkalmazzuk.

A kisminták működési elvük szerint

- a) hidraulikai modellek és
- b) analógia modellek lehetnek.

A *hidraulikai kisminták* csoportjába tartoznak nemcsak a természetes szemcsés közeget alkalmazó modellek, hanem pl. a golyómodellek és a karszt-

járatokat helyettesítő, különböző csőlabirintussal dolgozó vízáramlásos modellek, sőt a folyadék helyett az áramlás szempontjából hasonló jellegű gázmodellek is.

Az *analógia-modelleken* már nem közvetlenül a szivárgó vízmozgást tanulmányozzuk, hanem a vizsgálandó áramlás törvényszerűségeivel egyező, de más természetű és könnyebben megfigyelhető fizikai folyamatot állítunk elő. Ide sorolhatók a közismert elektromos analógia-modellek a fém- vagy papírvezetőlemez, az elektrolit-modell, a lineáris és nemlineáris elemekből készült ellenálláshálózatok, az erősítőket tartalmazó áramkörök [1], továbbá a szivárgó vízmozgással azonos mozgást mutató hőáramlásnak, vagy az elektrosztatikus mezőnek az analógiáján alapuló modellek is. Az erősen vízközös folyadékkal működő *résmodellek* ugyancsak analógia-modellek.

A kérdésesoport hidraulikai vizsgálatára az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Vizgazdálkodási Tanszékének Laboratóriumában Öllös G. végzett alapvető kísérleteket. Ezek alapján meghatározható a kút üzemi vízszintje, valamint a kút körül kialakuló leszívási felület és a kútpalást metszészvonala között, tehát a szabad kilépési felületen át a kútba áramló vízhozam mennyisége és annak a mélységtől függő változása is [13, 14]. Mint már említettük, ezek a kísérletek egyben a vízelszakadás mértékének a meghatározásához is értékes adatokat szolgáltatottak.

A párhuzamos síkszivárgás ezen kérdéseivel, melyek pl. a földgátakon keresztül meginduló szivárgásnál jelentkeznek, már az előző fejezetben foglalkoztunk. Ezek nyomán ma már pontosabban meghatározható a földgátak mentett oldalán az átszivárgó víz kilépésének legnagyobb magassága és az átszivárgó vízhozam is.

Ezek a kísérletek, valamint az újabb vizsgálatok a víz kilépésének környezetében előálló vízmozgás jellegének a szabad kilépési felület kialakulási ellenállás hatóerőinek további kutatására, valamint az egymáshoz kapcsolódó kérdéscsoportok részletesebb elemzésére és tisztázására hívták fel a figyelmet.

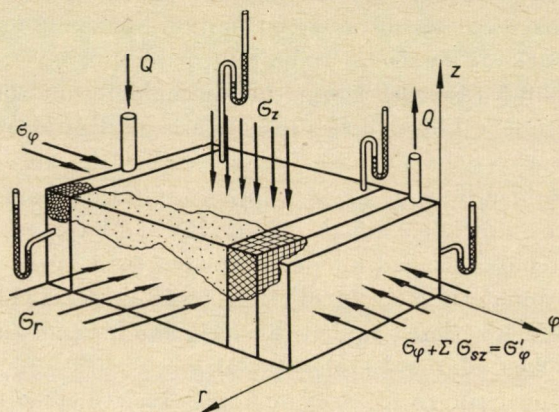
Az egyes kismintatípusok alkalmazási előnyeinek és hátrányainak elemzése nélkül megemlítjük, hogy a viszonylag költséges hidraulikai modellel általában minden a gyakorlatban jelentkező szivárgási kérdés, de pl. a vezetőlemezzel kizárólagosan, a résmodellel pedig viszont általában csak a síkbeli áramlások vizsgálhatók.

Az a lehetőség, hogy a síkbeli szivárgások vizsgálatát háromféle kismintatípussal is végezhetjük, a kutatók szemléletétől és adottságaitól függően helyenként más és más modellezési szokásokat, néhol szinte modellezési iskolákat alakított ki. Így pl. a Szovjetunióban, Indiában, Németországban és Franciaországban elsősorban az elektromos analógia-modelleket alkalmazzák és tökéletesítik, a résmodelleket csupán az európai országokat tekintve — Romániában, Csehszlovákiában és Lengyelországban — részesítik előnyben, míg

a hazai laboratóriumokban inkább a hidraulikai modellek vizsgálata általános. Ez a különbség azonban — megítélésünk szerint — egyre jobban csökken, mert a laboratóriumi mérés technika, a műszerezettség és az automatika fejlődésével mindhárom kismintatípus alkalmazása egyre inkább térthődít.

A továbbiakban néhány olyan újabb tanulmányt ismertetünk, mely a szivárgás modellezésével foglalkozik.

KESSERÜ [7] a kritikus szivárgási sebesség modellkísérleti vizsgálatának új szemlélete és módszereivel foglalkozik. A *Sichart*-képlet vizsgálatából indul

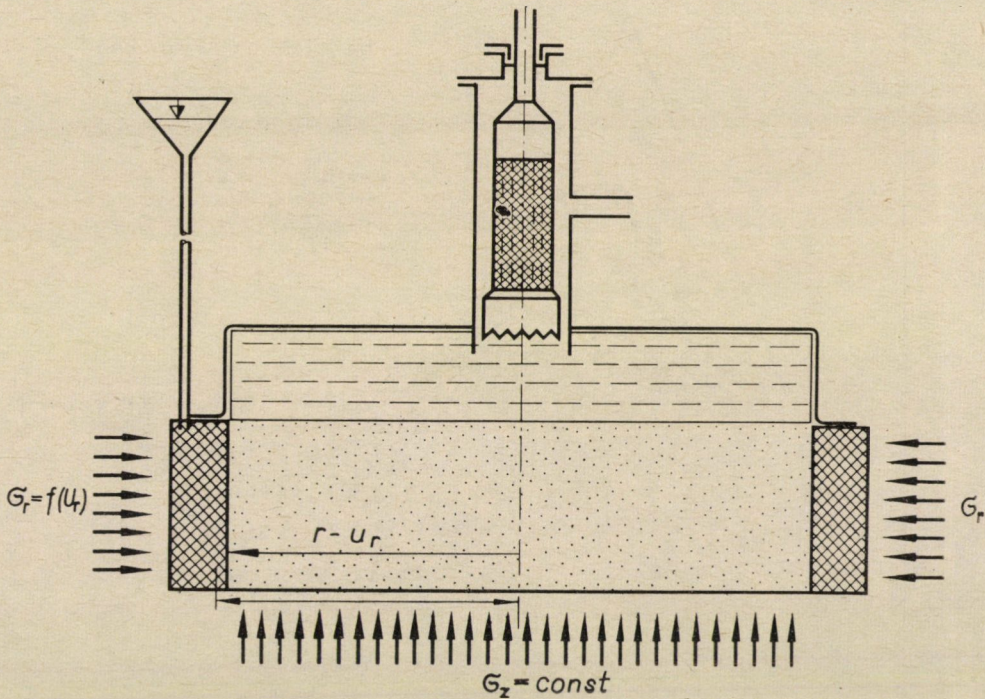


12. ábra. Cellakészülék a kritikus szűrési sebességet befolyásoló tényezők vizsgálatára (KESSERÜ nyomán [7])

ki. A kritikus sebesség elemzése során rámutat arra, hogy a talajtörést nem csak a szivárgási nyomás és az anyagi jellemzőktől függő megengedhető belső erők (törési feltétel), hanem a *közetnyomás* is befolyásolja. Ezért a vizsgálatokhoz az eddig alkalmazott hidraulikus kisminták és más analóg modellek általában nem alkalmasak. A szűrőkút közvetlen környezetében lejátszódó jelenségek vizsgálatára egy új hidraulikus modellt (12. ábra): egy cellakészüléket javasol. A kritikus szivárgási tényező meghatározására egy másik, nagyméretű, a működtetendő erők miatt több tonnás szerkezetet ajánl (13. ábra), melyet nemzetközi összefogással lehetne megépíteni.

KESSERÜ rámutat arra is, hogy a laboratóriumi vizsgálatok eredményei egybevetethők természetbeni megfigyelésekkel és természetes településben végezhető mérésekkel.

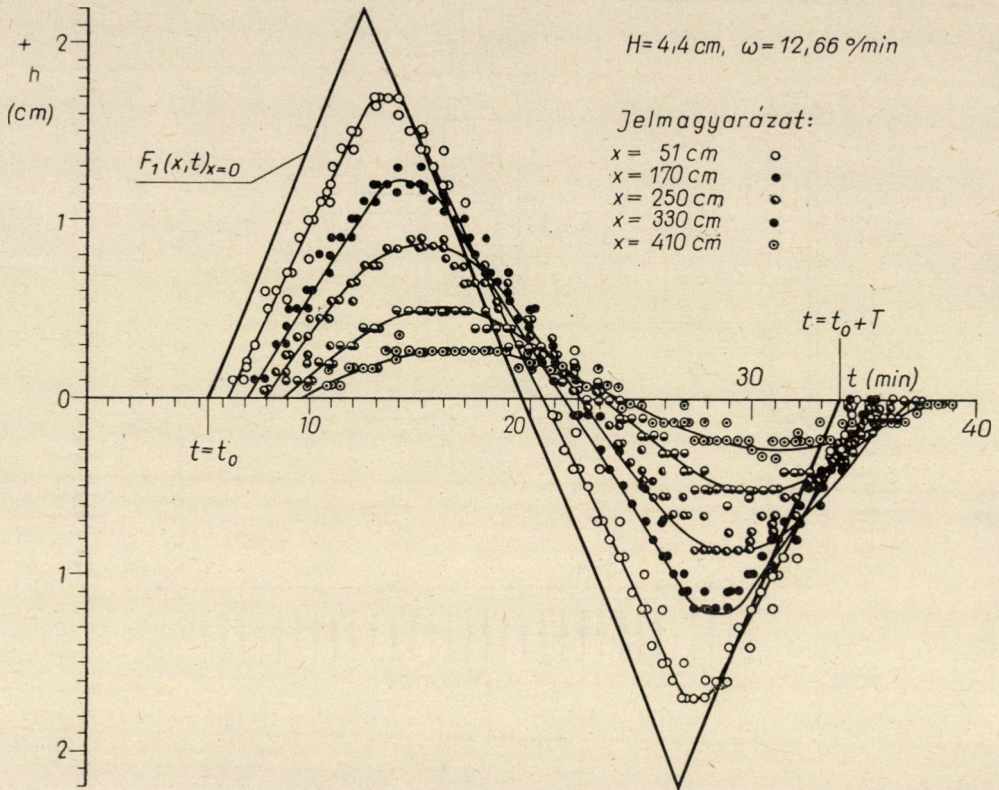
Szerzők véleménye szerint a szivárgás általános elméleti vizsgálatánál a közetnyomás figyelembevétele feltétlenül indokolt. A gyakorlatban viszont sok esetben pl. a talajvízkutaknál és a csekély mélységben húzódó és nyílt tükrű rétegvizeknél a közetnyomás hatása elhanyagolható. A laboratóriumi és a főkviteli, jelen esetben természetbeni adatok egybevetése általában mindig szükséges. A kritikus sebesség vizsgálatok azonban — különösen



13. ábra. Nagynyomású berendezés a kritikus szivárgási tényező meghatározására (KESSERÜ nyomán [7])

nagymélységű szintek esetén — a rétegjellemzők szabálytalan változásának követhetlensége miatt megbízható eredményeket ritkán kaphatunk. A KESSERÜ által javasolt modell részletes kidolgozása és módosítása lenne célszerű, mert a javasolt módon — méretei és költségei miatt — kivitelezhetősége szinte valószínűtlen.

VARRÓK E. [19] a periodikus vízállásváltozás porózus vízvezető közegben mutatkozó csillapodásával foglalkozik. Ez a laboratóriumi kísérletsorozat a nempermanens szivárgás egy esetére mutat be megoldást. Szerinte a felszíni víz vízszíntingadozása által keltett talajvízingadozás a folyók mellett éppúgy megfigyelhető, mint az árapály hatása a tengerparti porózus üledékeket kitöltő vízben. A talajvízingadozás amplitúdója a felszíni víztől távolodva csökken, a porózus közegnek csillapító hatása van. Az időeltolódás mértéke a távolsággal nő. VARRÓK a kísérleteit 4 m hosszú, 0,3 m széles és 0,4 m magas, vízzel teljesen telt, nyomás alatti talajhasábok vizsgálatával végezte. Ennek megfelelően, a kísérleti adatok alapján megállapított összefüggés nyomás alatti (fedett) vízvezetőrétegben lejátszódó jelenség leírására érvényes. Az egyik végaknában egy Fourier-sornak megfelelő alakkkal jellemezhető periodikus vízállásingadozást állított elő. A feladat annak az empirikus függvény-



14. ábra. A porózus vízvezető közegben fellépő periodikus vízállásváltozás csillapodásának adatai a vizsgálat egyik változatában (VARRÓK nyomán [19])

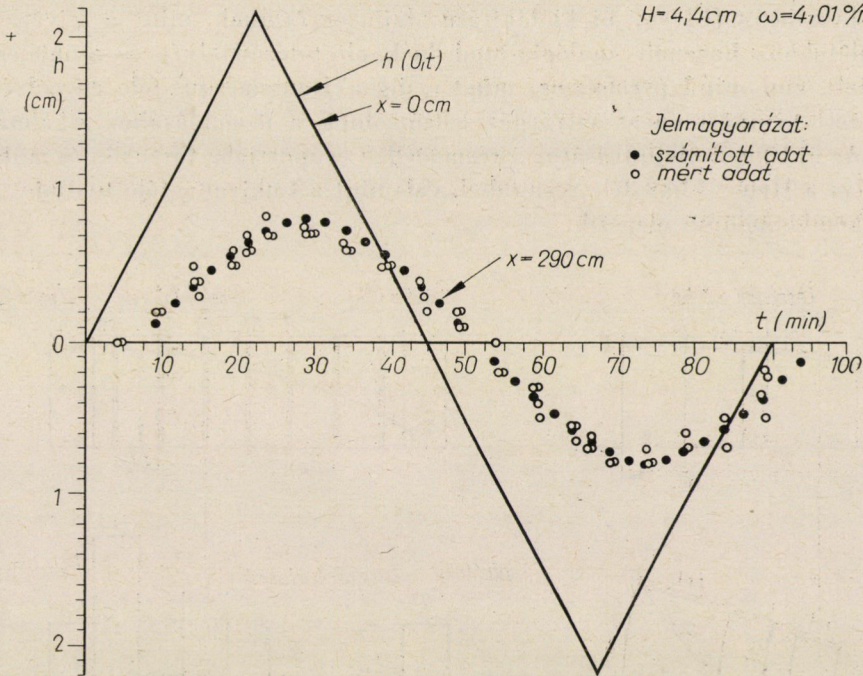
nek a meghatározása volt, ami ennek a periodikus vízállásingadozásnak a hatására előállított nempermanens szivárgást leírja.

A periodikus vízállásingadozás Fourier-sora:

$$F_1(x,t)_{x=0} = \frac{H}{2} \frac{8}{\pi^2} \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{\sin [(2k+1)\omega t]}{(2k+1)^2} \quad (26)$$

A csillapodás-vizsgálat egyik változatát a 14. ábrán mutatjuk be. A mérési eredmények alapján, az adott vízállásingadozás csillapodására meghatározott empirikus összefüggés

$$\ln \left[\frac{h_0}{h_x} \right] = \chi f(\omega) x^{1,37} \left[1 + 0,53 \left(\frac{2h_0}{H} \right)^2 \right], \quad (27)$$



15. ábra. A periódikus vízállásváltozás csillapodásának mért és számított adatai (VARRÓK nyomán [19])

majd az eljárást ismételve minden vízállásingadozás típusra (árhullám-típusra) a tapasztalati egyenlet végső alakja

$$\ln \left[\frac{h_0}{h_x} \right] = 2,1 \cdot 10^{-4} \omega^{0,185} x^{1,37} \left[1 - 0,53 \left(\frac{2h_0}{H} \right) \right] = C \quad (28)$$

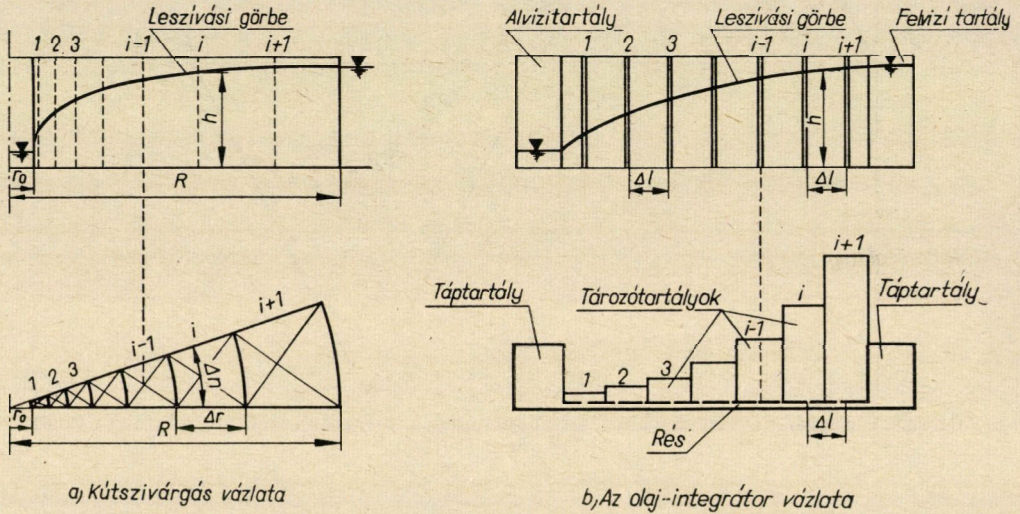
formában adódott, ahol

- H — a vízállásingadozás amplitúdója,
- ω — $2\pi/T$ szögfrekvencia,
- T — egy teljes periódus időtartama,
- h_0 — a vízállás $(t - \tau)$ időpontbeli helyzete egy középhelyzethez viszonyítva az $x = 0$ helyen, azaz az aknában,
- h_x — a helyi nyomásmagasság t időpontban és x helyen.

A mért és a számított adatok gyakorlatilag jó egyezést $\omega = 4,01$ o/min, $H = 4,4$ cm, $T = 89,78$ min és $x = 290$ cm esetében a 15. ábra szemlélteti.

A különböző talajfajtáknál és szivárgási viszonyok között kapott mérési eredmények értékelése az ismertett eljárás alapján már befejezett. Ezen számítási módszer alkalmazása természetbeni megfigyelési adatokra is előkészülten van.

JACENKOW [6] egy új kialakítású olajintegrátornak, mint a szivárgási vizsgálatokhoz használt analógia-modellnek elrendezési elvét és működését ismerteti, ami mind permanens, mind pedig a Boussinesque-féle egyenlettel jellemzett nempermanens szivárgás jellemzőinek a megoldásához alkalmazható. Az új típusú olajintegrátor a résmodellek csoportjába tartozik, és működési elve a Hele—Shaw-féle résmodell, valamint a Lukjanow-féle hydrointegrátor kombinációján alapszik.



16. ábra. Az olajintegrátorral történő modellezés vázlat (JACENKÓW nyomán [6])

Az olajintegrátorral végzett kísérletekben a vizsgált teret olyan méretű rekeszekre osztjuk, amelyeknél a rekeszekben fellépő nívókülönbség nem túl nagy, továbbá minden szelvényre a teljes ellenállás a 16/a ábra szerint

$$\Omega_i = \frac{1}{k} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta r \cdot h}, \quad (29)$$

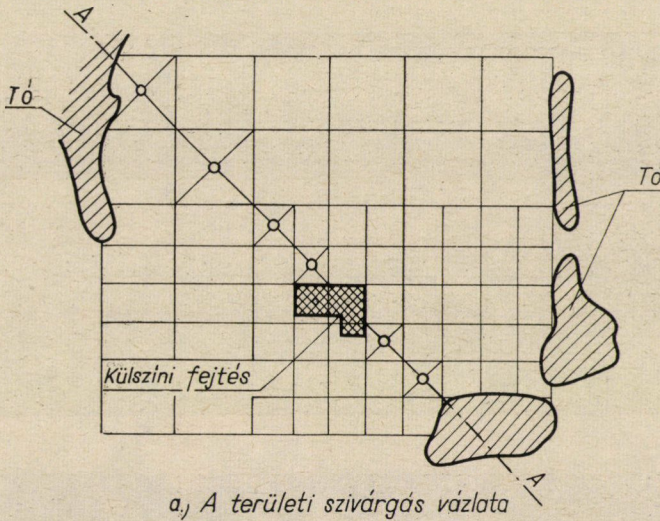
és a kapacitás

$$P_i = \mu \Delta n \cdot \Delta r \quad (30)$$

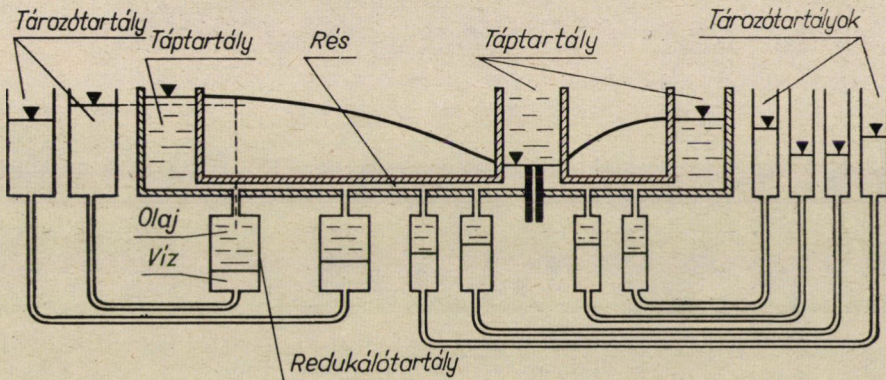
számítható.

Az olajintegrátor tározótér-fogat-sorozatokból áll (16/b ábra), melyekben a rések az áteresztőképességet a következő képlet szerint modellezik:

$$\frac{1}{k} = \frac{3 \nu}{g a^2} \frac{\Delta l}{h} \quad (31)$$



a) A területi szivárgás vázlata



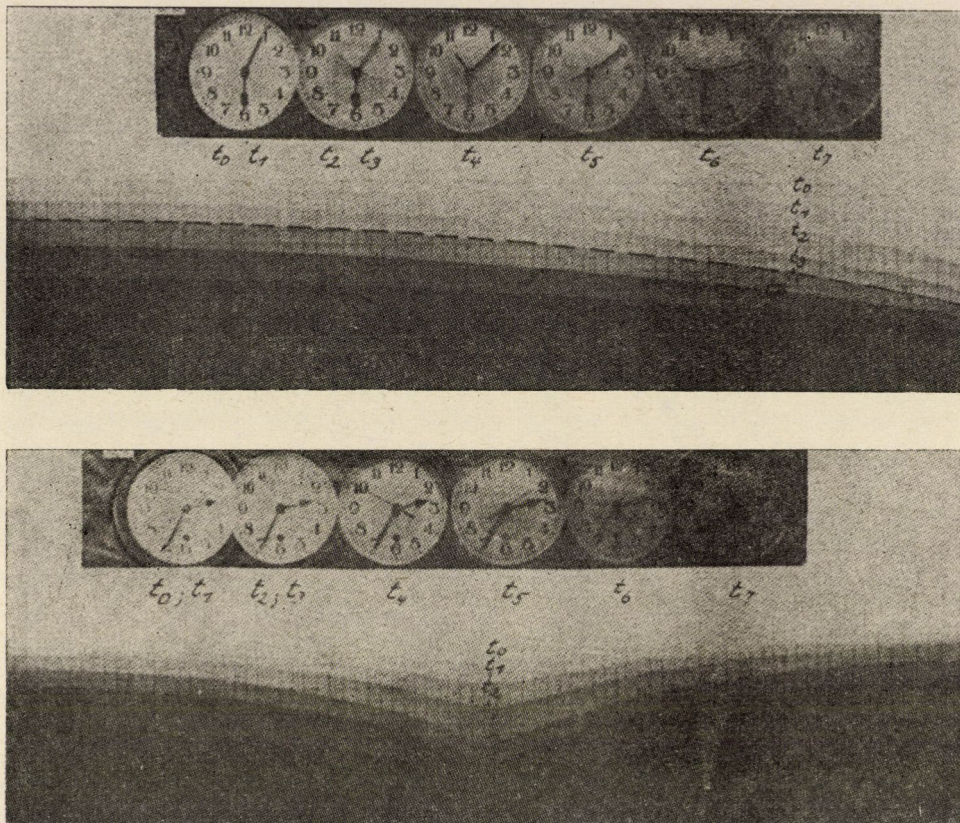
b) A-A' metszet az olaj-víz integrátorról

17. ábra. Réteges folyadékkal (olajjal és vízzel) működő integrátor-modell vázlata (JACENKÓW nyomán [6])

Itt

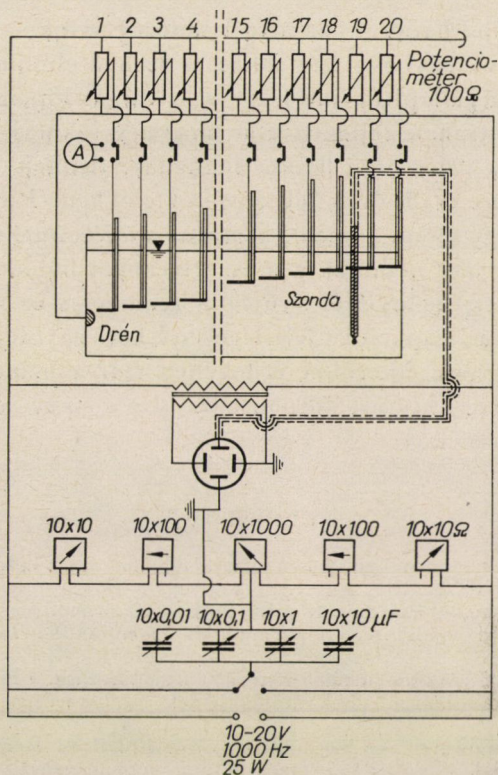
- v — a kinematikai nyúlóság együtthatója,
- g — a nehézségi gyorsulás,
- k — a szivárgási együttható,
- a — a résszélesség,
- l — a résszakasz hossza és
- h — a folyadék magassága.

Az olajintegrátort tengelyszimmetrikus áramlásoknál (kútkísérleteknél), valamint szabálytalanul kialakuló leszívási felületek (külszíni bányaművelés) esetében jelentkező szivárgások vizsgálatához — rétegzett talajokban is eredményesen alkalmazták. Bizonyos adottságok modellezésekor a résmodellt rétegzett folyadékkal (olajjal és vízzel) működtetve (17. ábra) is kedvező kísérleti eredményeket kaptak.



18. ábra. A többszöri megvilágítással történő fényképezés módszerének egy részkísérlet során való alkalmazása (LUCKNER nyomán [10])

LUCKNER L. [10] nempermanens függőleges síkszivárgási problémák analógia-modell kísérletek segítségével történő megoldásával foglalkozik. Egy függőleges sík résmodell alapelveit, a kísérleti eljárást, valamint a sík elektromos modellek köréből a papír-modellek és az elektrolit-modellek alapelveit ismerteti. Bemutatja a résmodell-kísérletezés egyik általa is eredményesen alkalmazott eljárását, a többszörös megvilágítással történő fényképezés módszerét (18. ábra). Egyben rámutat a résmodell alkalmazásának főbb hátrányaira is. Ezek közül itt csak a precíziós alkatrészek miatti jelentős költségekre és a kisméretű részélességeknél a helyi méretváltozásokból adódó hibákra utalunk. Az elfolyás és a nyomáseloszlás mérése is nehezen biztosítható. Az elektromos analógia vezetőlemez és elektrolit modell legfőbb hibája a közvetlen szemlélet hiánya. Vázlatosan ismerteti az általa szerkesztett és a nempermanens áramlásoknál is jól bevált elektrolit modellt (19. ábra) és az alkalmazott többlépcsős közelítő modellezési eljárást.



19. ábra. LUCKNER L. elektrolit modelljének vázlata [10]

Az előzők alapján megállapíthatjuk, hogy az elméleti kérdések tisztázása és a laboratóriumi mérés technika gyors fejlődése nyomán számos esetben ma már a nempermanens szivárgási folyamatok eredményes modellezése is megvalósítható.

Szakirodalmunk hiányossága — mint arra már ÖLLŐS is rámutatott —, hogy nincsenek olyan tanulmányok, melyek az egyes szivárgási kismintatípusok alkalmazásának előnyeiről és hátrányairól, alkalmazhatóságuk határaitól és a szolgáltatott eredmények pontosságáról, valamint az eljárások gazdaságosságáról átfogóan értékelő összehasonlítást adnának. Ennek érdekében valamennyi szóba jöhető kísérleti módszerrel ugyanazon szivárgási feladatot kellene vizsgálni. Egy ilyen összehasonlító munka eredményei birtokában egy adott szivárgási feladathoz az igényeknek és az adottságoknak az ismeretében a legmegfelelőbb kísérleti módszer könnyen kiválasztható lenne.

A modellkísérleti eredmények megbízhatóságáról a kapott mérési eredményeknek az egyező feltételek között az 1 : 1 méretben, azaz a fő kivitelben mutatkozó megfelelő adatokkal való összehasonlítása után nyilatkozhatunk. Az adatok megbízhatóságának a mértéke gyakran az eljárás alkalmazható-

ságának is fokmérője. Ezért — ha arra lehetőség nyílik — a modellel kapott és a főkviteli adatok egybevetését sohasem szabad elmulasztanunk.

Befejezésül megállapíthatjuk hogy a szivárgás kinematikai kérdéseinek vizsgálata gyors ütemben fejlődik. Bár ma még számos szivárgási jelenség matematikai leírása vagy modellezése leküzdhetetlennek tűnő nehézségekbe ütközik, de ezek köre évről-évre, fokozatosan csökken. Éppen ezért igen fontosnak tartanánk egy olyan *központi nemzetközi tájékoztató és esetleg koordináló szerv* létrehozását, mely nemcsak a műszertechnika fejlődéséről és a már befejezett kísérletek eredményeiről nyújtana rendszeres és részletes tájékoztatást, hanem a kutatási kapacitást feleslegesen lekötő egyidejű és azonos témájú kísérletek lehetőségének elkerülése érdekében már a beinduló vizsgálatokról is értesítené az egyes kutatási központokat. Ez a szerv esetleg az UNESCO keretében működhetnék.

IRODALOM

1. BEDEUS K.: Elektromos analógiás berendezések alkalmazása a hidraulikában. *Hidrológiai Közöny* (1965), 10. sz.
2. BUREEV L. N.: A különböző anizotróp talajokban végbemenő nem permanens szivárgás néhány számítási módszere. *A szivárgás és kúthidraulika kérdései-ankét*, Budapest 1966, II/1.
3. ÉLIÁS E.—JUHÁSZ J.: Az anizotrópia tényező meghatározása. *Ugyanott* IA/5.
4. FÜZY J.: Talajban szivárgó vizek áramképének meghatározása iterációs módszerrel. *Ugyanott*, II/1.
5. HARR, M. E.: Groundwater and Seepage. *Mc Graw-Hill Book Company, Inc.*
6. JACENKOW B.: Olajintegrátor alkalmazása nem permanens szivárgási vizsgálatokhoz. *A szivárgás és kúthidraulika kérdései-ankét*, Budapest 1966, II/3.
7. KESSERÜ Zs.: A kritikus szivárgási sebesség modell-kísérleti vizsgálatának új szemlélete és módszerei. *Ugyanott*, II/9.
8. KOVÁCS GY.: A szabad kilépési felület hatása a függőleges síkokkal határolt földtesten át-szivárgó vízhozamra. *Hidrológiai Közöny* (1965), 9. sz.
9. KOVÁCS GY.: A nem permanens szivárgást leíró differenciál-egyenlet linearizálásának fizikai értelmezése. *A szivárgás és kúthidraulika kérdései-ankét*, Budapest 1966, II/2.
10. LUCKNER L.: Nempermanens függőleges sík szivárgási problémák megoldása folyamatos analógiái modell kísérletek segítségével. *Ugyanott*, II/8.
11. V. NAGY I.: A szivárgás Laplace- és Fourier-féle differenciál-egyenleteinek megoldása Monte-Carlo módszerével. *Ugyanott*, II/6.
12. NÉMETH E.: Hidromechanika. *Tankönyvkiadó*, Budapest 1963
13. ÖLLÖS G.: Kútszűrők és hidraulikai vizsgálatuk. *Vízügyi Közlemények* (1960), 1. sz.
14. ÖLLÖS G.: A kútpalást melletti hidraulikai viszonyok részletes vizsgálata. *Hidrológiai Közöny* (1958), 1. sz.
15. PÁSZTOR D.: A szabadfelszínű síkszivárgás kérdéseinek laboratóriumi vizsgálata. *A szivárgás és kúthidraulika kérdései-ankét*, Budapest 1966, II/11.
16. PÁSZTOR D.: Vízöblítéses földgátak szivárgási kérdései. Doktori disszertáció. Kézirat 1963.
17. POLUBARINOVA-KOCHINA, P. Ya.: Theory of Ground Water Movement. Princeton University Press, 1962.
18. TODD, D. K.: Ground Water Hydrology. John Wiley and Sons, Inc., New York—London 1959.
19. VARRÓK E.: Periodikus vízállásváltozás csillapodása porózus vízvezetőközegben. *A szivárgás és kúthidraulika kérdései-ankét*, Budapest 1966, II/5.