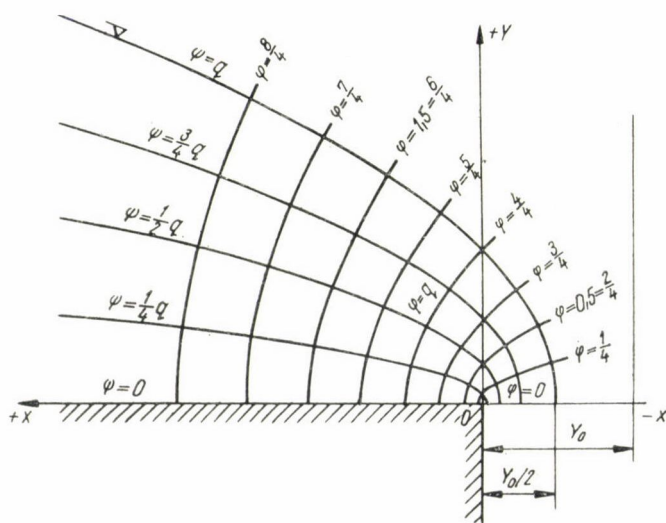


A GÁTTESTBEN KIALAKULÓ SZIVÁRGÁS JELLEMZŐINEK MEGHATÁROZÁSA

1. Az ismert gyakorlati összefüggések elemzése

A gáttesten átszivárgó vízhozam meghatározása, a kialakuló szivárgási vonal helyzetének, különösen pedig a levegőfelőli oldalon észlelhető kilépési pontjának meghatározása gyakran előforduló, fontos gyakorlati kérdés. Az irodalmat vizsgálva, ennek a jelentőségnek megfelelően, többféle, elméletileg megalapozott és a gyakorlati számítások igényeit is kielégítő megoldást találunk, különösen a vízzáró alapon épült áterezstő töltéstest vizsgálatára.

A német- és az angol nyelvű irodalomból az egyéb idevonatkozó tanulmányok [2, 5] soraiból elterjedtsége és általános használata révén kiemelkedik a Casagrande [3], a Koženy [10] és a Schoklitsch [16] által adott összefüggés. Ezeket az eljárásokat egyébként több magyar nyelvű közlés is ismerteti [7, 4, 13, 12].



1. ábra. A Casagrande vizsgálatának alapjául szolgáló elméleti áramlási rendszer vázlata

Casagrande vizsgálatának alapját azok az elméleti kutatási eredmények alkotják, amelyeket a végtelenből induló, a gát mentett oldali talppontjáig vízzáró alap felett kialakuló szivárgási tér jellemzésére vezettek le, és amelyek segítségével az említett áramlási teret határoló szabad talajvízfelszint határozták meg, ha az áramlás megcsapolása a vízzáró alap folytatásában kialakított

vízáteresztő fenéklemezen át történik (1. ábra). Ebből kiindulva a kérdés matematikai bonyolultsága miatt az áram és potenciálvonalak ortogonális hálózatának szokásos szerkesztésével vizsgálja az áramlást és arra az eredményre jut, hogy a levegőfelőli rézsűhöz érintőlegesen csatlakozó talajvízfelszín (szivárgási vonal) mindig mélyebben marad, mint az 1. ábrán vázolt elméleti áramlási helyzetet jellemző parabolikus szivárgási vonal. Az eltérés mértékét megadó

$$c_1 = \frac{\Delta A}{A + \Delta A}$$

hányados csökken (2. ábra), ha a rézsű α hajlásszöge növekszik. Jellemző értékei:

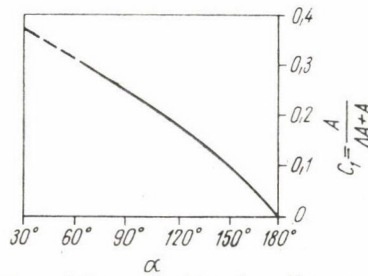
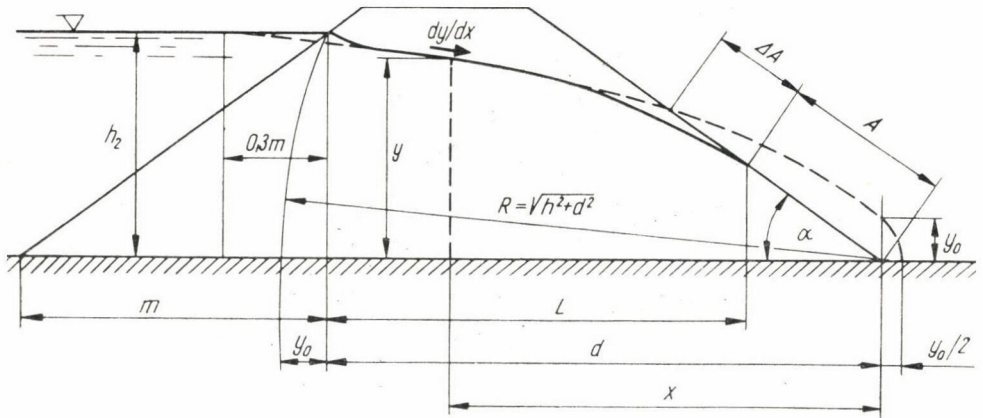
$\alpha = 60^\circ$	90°	180°	(1)
$c_1 = 0,32$	$0,26$	0	

Az ettől eltérő rézsűszögekhez tartozó c_1 jellemzők a 2. ábrához adott segédgörbéről határozhatók meg. A parabola szerkesztéséhez szükséges geometriai méreteket a következő összefüggésekből számíthatjuk:

$$x = \frac{y^2 - y_0^2}{2 y_0};$$

$$y_0 = \sqrt{h_2^2 + d^2} - d;$$

$$A + \Delta A = \frac{y_0}{1 - \cos \beta}.$$



2. ábra. A szivárgási vonal meghatározása Casagrande szerint

Ezt az eljárást fejlesztette tovább *Koženy* a közben elvégzett elméleti vizsgálatok eredményeit, a természetben és modelleken végzett megfigyeléseket is felhasználva. Végeredményül két egyenletet ad a gyakorlati számításokhoz, egyet a szivárgási vonal kilépési magasságának (h_1) egyet pedig a szivárgó vízhozamnak (q) a meghatározására:

$$\frac{h_1}{h_2} = c \cdot \frac{h_2}{L} + 0,02 ; \quad (3)$$

$$\frac{q}{kh_2} = 0,435 \frac{h_2 + h_1}{L} . \quad (4)$$

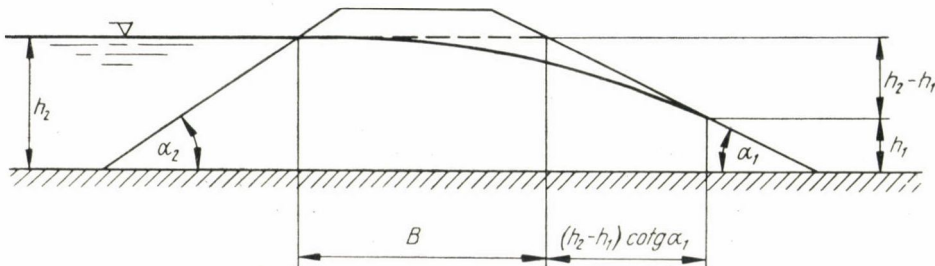
Az összefüggésekben szereplő c együttható a rézsű a hajlásszögétől függ. (Megjegyezzük, alapfeltétel az, hogy a két rézsű hajlása azonos.) Az összefüggést *Koženy* táblázatosan adja meg.

$\cotg a = n_0 =$	2,5	3,0	3,5	4,0
$c =$	1,025	1,275	1,485	1,720

és megjegyzi, hogy a gyakorlat számára elégséges a következő közelítéssel számítani értékét:

$$c = 0,46 n_0 - 0,115. \quad (5)$$

A *Schoklitsch* által javasolt összefüggések elvi alapja durvább közelítést tartalmaz, mint a *Casagrande*-féle. Lényege az, hogy elhanyagolja a vízfelől



3. ábra. Vázlat a *Schoklitsch* által javasolt vizsgálati módszerhez

oldalán a vízszél előtti földék hatását, valamint azt a háromszögű töltés-szelvényt, amely a levegőfelőli oldalon a szivárgási vonal kilépési pontja mögött helyezkedik el (3. ábra). Az így visszamaradó szakaszra felírja a *Dupuit*-féle összefüggést. Végeredményül a vízhozam számítására a következő egyenletet adja:

$$q = \frac{k}{2} \frac{h_2^2 - h_1^2}{B + n_1(h_2 - h_1)} . \quad (6)$$

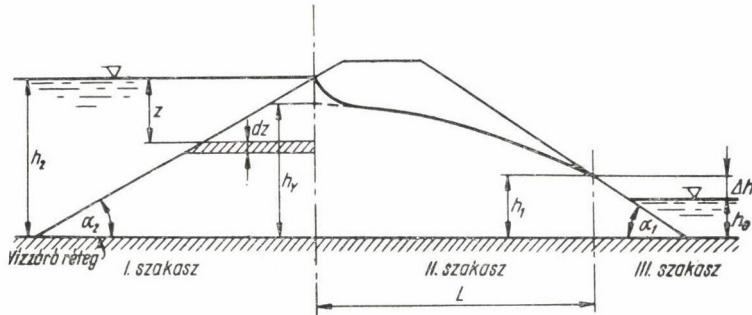
A szivárgási vonal kilépési pontjának magasságát abból a feltételből számítja, hogy keresi, a 6. egyenlet milyen h_1 értéket helyettesítve adja a legnagyobb vízhozamot. A szélsőérték keresést a

$$\frac{dQ}{dh_1} = 0 ; \quad \frac{d^2 Q}{dh_1^2} < 0 \quad (7)$$

feltételek felírásával oldja meg. Végeredményül a keresett magasság számítására a következő egyenletet kapja:

$$h_1 = h_2 + \frac{B}{n_1} - \sqrt{\left(h_2 + \frac{B}{n_1}\right)^2 - h_2^2}. \quad (8)$$

Jelentős a kérdéssel foglalkozó szovjet szakirodalom is. A *Koženy* által javasolt összefüggések alapját is tulajdonképpen szovjet kutatók (*A. S. Zejlin* és *A. P. Bleichmann*) kísérletei adják [5]. *Zamarin—Casagrande*hoz hasonlóan — az áramkép grafikus meghatározásával törekszik a kérdés megoldására [18]. A vizsgálatoknak ebből a csoportjából *Pavlovskij N. N.* munkáját emeljük ki [14]. Ezt nem csak gyakorlati elterjedtsége, a hazánkban is megjelent több irodalmi hivatkozás [6, 12, 17] indokolja, hanem az is, hogy benne a kérdés vizsgálatának újabb elvi alapját ismerjük meg.



4. ábra. A *Pavlovskij*-féle eljárás jelöléseinek értelmezése

A *Pavlovskij* által javasolt eljárás lényege az, hogy az áramlási mezőt három szakaszra bontja (4. ábra). A felső éket a gátrézsű és a vízfelszín metszéspontján át húzott függőleges határolja. Itt elhanyagolja az áramvonalak görbültségét, és egy vizsgált vízszintes síkban meghatározza a sík magasságtól függő hidraulikus esés értékét. Ezt szorozza a szivárgási tényezővel és az elemzi sáv dz magasságával. Ezeket a szorzatokat összegezve az éket határoló függőleges mentén, megkapja az első összefüggést az átszivárgó vízhozamra:

$$\frac{q}{k} = \frac{h_2 - h_y}{n_2} \ln \frac{h_2}{h_2 - h_y}. \quad (9)$$

A középső szakaszra az egyszerű *Dupuit*-féle összefüggés alapján számítja a keresett vízhozamot:

$$\frac{q}{k} = \frac{h_y^2 - h_1^2}{2L}. \quad (10)$$

Végül az alsó ék helyzetét, amelyet a gát felől a szivárgási görbe kilépési pontjában húzott függőleges határol, általános esetben vizsgálja, feltételezve, hogy alsó szakaszán állandó ellennyomást adó alvízzel kell számolnunk. A számítást a felső ékhez hasonló elvek alapján hajtja végre, és végeredményül azt kapja, hogy a vízhozam

$$q = q_1 + q_2 = \frac{k(h_1 - h_0)}{n_1} \left(1 + \ln \frac{h_1}{h_1 - h_0} \right), \quad (11)$$

ahol q_1 az alvízszint fölött q_2 pedig az alvízszint alatt átáramló vízhozam, illetőleg az alvízi vízmélységet zérusra véve

$$q = q_1 = \frac{kh_1}{n_1}. \quad (12)$$

Minthogy a kontinuitás alapján a három vízhozam egyenlő, a keresett ismeretlen változókat a három egyenletből álló egyenletrendszer megoldásával kaphatjuk meg.

Nem vízzáró, hanem a töltésteffel azonos áteresztőképességű rétegre épített gát szivárgási jellemzőinek meghatározására — feltételezve, hogy az áteresztőréteg végtelen mély — több elméleti eljárás ismert. Ilyen pl. a *Nyelyszon—Szkornjakov*-féle módszernek *Németh E.* által módosított változata [12]. Ezek a gyakorlatban azonban nem terjedtek el, egyrészt azért, mert az elméleti levezetés miatt az összefüggések bonyolultak, másrészt azért, mert a végtelen mély vízvezető réteg feltételezése sem felel meg a gyakorlati adottságoknak.

Meghatározott vastagságú (t) áteresztőréteg figyelembevételére talán a leginkább alkalmazható a *Pavlovskij*-féle összefüggésnek *Grisin* által, az említett határfeltételnek megfelelően módosított változata. A beszivárgási ék vizsgálatában az eltérés *Pavlovskij* eljáráshoz képest az, hogy itt az áramvonalcsereget B középpontú koncentrikus körsereggel helyettesítjük, amelynek legnagyobb köre $h_2 + t$ sugarú. A vízhozam ezen a szakaszon a

$$\frac{q}{k} = (h_2 - h_y) \frac{115^\circ}{90^\circ - \alpha_2} \quad (13)$$

összefüggésből számítható.

A második szakaszon, a 10. egyenlettel azonos alapon, az 5. ábra jelöléseit használva, a vízhozam képlete:

$$\frac{q}{k} = \frac{(h_y + t)^2 - (h_1 + t)^2}{2L}. \quad (14)$$

A harmadik és negyedik szakasz adataiból ezt a vízhozamot a gáttesten átszivárgó q' és a gát alatt a talajban áramló q'' vízhozam összegeként számíthatjuk. Az előbbit a 11. képletből:

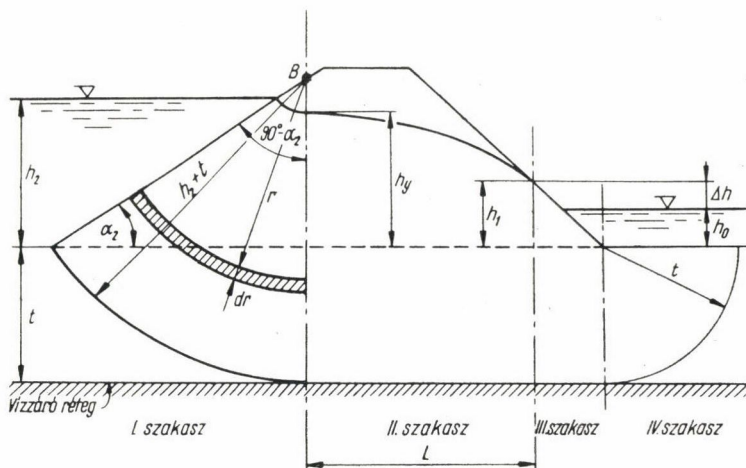
$$\frac{q'}{k} = \frac{(h_1 - h_0)}{n_1} \left(1 + \ln \frac{h_1}{h_1 - h_0} \right). \quad (15)$$

Az utóbbit az első szakasz jellemzésekor követett gondolatmenettel határozhatjuk meg, figyelembe véve, hogy a közepes áramvonalhossza $h_1 \cotg \alpha$ egyenesdarabból és $\frac{\pi t}{4}$ negyedkörívből tevődik össze, az egységnyi széles sáv szelvényterülete pedig t :

$$\frac{q''}{k} = \frac{(h_1 - h_0)t}{k_1 \cotg \alpha_1 + \frac{\pi t}{4}}. \quad (16)$$

A harmadik és negyedik szakaszon átszivárgó teljes vízhozam, ami tehát az egyenletrendszer harmadik tagját adja meg

$$\frac{q}{k} = \frac{1}{k} (q' + q''). \quad (17)$$



5. ábra. Az alulról határolt átteresztő rétegre épült gát áramlási terének vázlata *Grisin* jelölése szerint

Az elmondott számítási módok kritikájaként megállapíthatjuk, hogy a *Schoklitsch*-féle eljárás elhanyagolja a beszivárgási és a kilépési ék hatását, a levezetés alapja a *Dupuit*-féle feltevés, a kilépési oldalon pedig nem számol a szabad kilépési felület mentén jelentkező különleges határfeltétellel. Érdekes gondolata, hogy a kilépési pont magasságát az átfolyó vízhozam maximumát keresve határozza meg. A *Pavlovskij*-féle összefüggésnek — és az ebből *Grisin* által levezetett képletcsoporthoz — a további vizsgálatok útját helyesen mutató új eleme a szabad szivárgási felületen jelentkező határfeltétel figyelembe vétele. Bizonytalan mindkettőben a beszivárgási ék vizsgálata. Továbbra is alkalmazták a *Dupuit*-féle feltételt. A három egyenletből álló egyenletrendszer megoldása a gyakorlat számára nehézkes. Talán legegyszerűbb és ezért a gyakorlatban legjobban elterjedt a *Casagrande* és a *Koženy* által javasolt eljárás. Bár ezek elméleti alapja is biztosított, a gyakorlat számára szükséges korrekciók bevezetése elméletileg már nem indokolható (pl. a szivárgási vonal és a levegőfelőli rézsű érintőleges találkozása). Minthogy azonban a korrekciót mérési adatokból, empirikusan vezetik le, eljárásaik pontossága általában kielégítő. Legjobban ezekben is a szabad kilépési felület hatásának a figyelembevétele hiányolható.

A felsorolt gyakorlati eljárásokon kívül több matematikailag szigorúan szabatos eljárást is ismerünk a vizsgált hidraulikai folyamat jellemzésére (*V. I. Aravin* és *Sz. N. Numerov* [1], *M. Muskat* [11], *P. Ja. Polubarinova-Kocsina* [15].) Ezek — azonban amint ezt *Németh E.* kifejti — bonyolult voltak miatt nem vezetnek a mérnöki gyakorlat számára hozzáférhető számítási eljárásokra.

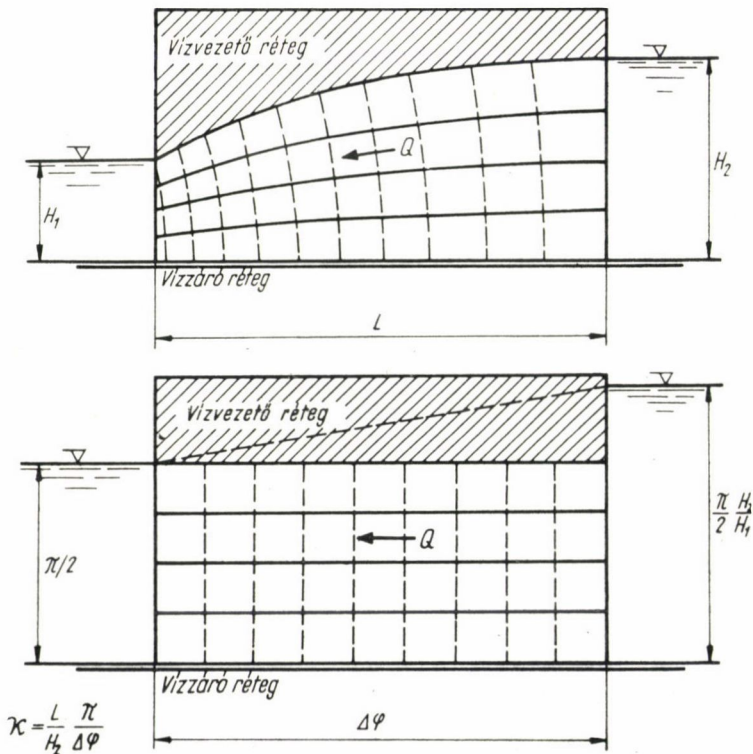
A többszörös és bonyolult konform leképzés során kapott összefüggések egyszerűsítése legtöbbször a szivárgási tartomány határait vagy a határfeltételeket módosítja olyan mértékben, hogy az így kapott eljárások a gyakorlati feladatok megoldásában éppen úgy csak közelítők, mint az ismertetett és szerkezetükben lényegesen egyszerűbb eljárások.

Tanulmányunk célja az, hogy a szabadfelszíni szivárgás áramlástan vizsgálatával és a szabad kilépési felület hatásával kapcsolatos legújabb kutatási eredményeket úgy vehessük figyelembe, hogy az összefüggések a tényleges fizikai folyamatot szabatosabban kövessék, és a gyakorlat számára is egyszerűen kezelhetők legyenek, tehát az eddig általában élesen elkülönülő két eljárási típus — az elméleti és a gyakorlati vizsgálat — előnyeit egyesíthessük.

2. Az ismertetésre kerülő eljárás elméleti alapjai

A gáttesten át kialakuló szivárgás jellemzésére szolgáló összefüggés alapjául a vízzáró alapon elhelyezett és mindkét oldalról függőleges síkkal határolt földtest szivárgási terével kapcsolatos hidraulikai vizsgálatok eredményeit használjuk fel.

Ezeknek a kutatásoknak az első részében arra törekedtünk, hogy az áramlás szabatos leírásával megadjuk a sokat vitatott Dupuit-féle feltétel



6. ábra. Vázlat a szabadfelszíni szivárgás jellemzésére szolgáló összefüggésben szereplő jelölések értelmezéséhez

alkalmazásának reális kritikáját és megengedhető határát [8]. A szabadfelszínnel határolt áramlási teret úgy transzformáltuk, hogy az új képsíkon a felszín görbe a vízzáró alappal párhuzamos egyenes legyen, mert ebben a rendszerben az egyenes potenciálvonalak már szabatosan jellemzik a szivárgást. Megtartottuk egyelőre még a kilépési szakaszon azt a korábban szokásos feltételt, hogy az alvízi szint nem szakad el a rétegben kialakuló felszín görbétől, tehát a kilépési vonal minden pontjában a mozgást létrehozó nyomáskülönbség a felvízi és az alvízi vízszintkülönbséggel jellemezhető.

Az elmondott feltételek alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy ha a gáttalp szélesség (L) és a felvízi vízoszlopmagasság (H_2) hányadosa kettőnél nagyobb — ez a feltétel egyébként egyezik a *Nyelyszon—Szkornyakov* által adott határral és a gyakorlati feladatokban általában kielégül — az egységnyi széles sávon átszivárgó vízhozamot a következő összefüggéssel számíthatjuk:

$$q = k \frac{1}{2} \frac{H_2^2}{L} \left(1 - \frac{H_1}{H_2} \right) \cdot \chi_k \quad (18)$$

A 18. egyenletben alkalmazott jelölések értelmezését a 6. ábra adja meg, a dimenzió nélküli vízhozamtényező pedig a leszívás mértékétől függ:

$$\chi_k = a + \beta \frac{H_1}{H_2};$$

ahol ha $1 \geq H_1/H_2 > 0,4$ akkor $a = 1,0$ $\beta = 1,0$

ha $0,4 \geq H_1/H_2 > 0,1$ akkor $a = 0,87$ $\beta = 1,3$ (19)

ha $0,1 \geq H_1/H_2 > 0$ akkor $a = 0$, $\beta = 10,0$,

tehát, ha a depresszió görbe kilépési pontjának magasságából számított relatív leszívás jellemzője nagyobb négytizednél, gyakorlatilag a Dupuit-féle feltétellel meghatározott egyenletet kapjuk vissza.

Vizsgálataink második részében a szabad kilépési felület hatását tártuk fel [9]. Az előzőekben ismertetett transzformációval előállított áramlási modell lehetőséget ad a párhuzamos síkáramlás esetében is kialakuló vízszál-elszakadás értékének meghatározására, továbbá arra is, hogy a depresszió görbe kilépési pontja és az alvíz szint közötti szabad kilépési felületen a korábbi képletekben általában nem vizsgált határfeltételeket is figyelembe vegyük.

A vizsgálatok összefoglalásaként megállapíthatjuk, hogy meghatározott H_0 alvíz szint esetében más-más vízhozam áramlik át a függőleges síkokkal határolt földtesten attól függően, hogy milyen H_1 magasságban alakul ki a depresszió görbe kilépési pontja. A legkisebb energiafelhasználásra törekedve nyilvánvalóan olyan szinten állandósul a permanens állapotot jellemző szivárgási vonal kilépési pontja, ahol a rendszer a legnagyobb hozamot képes szállítani. Ennek jellemzésére fel kell tehát írunk a vízhozamot a három jellemző magassági méretből (H_2 , H_1 , H_0) alkotott két dimenzió nélküli hányados (pl. H_0/H_2 , H_0/H_1) függvényében. Meghatározott alvíz szintet feltételezve az elsőt állandónak tekinthetjük, tehát a H_0/H_1 érték szerint vett differenciálhányados zérushelye a vízhozam maximumhelyét, ez pedig a legnagyobb vízhozamot szállító felszín görbe alvízi kilépési pontjának magasságát adja meg.

A számítás egyszerűsítése érdekében az idézett tanulmányban elmondott közelítő nyomáseloszlási feltételt elfogadva, figyelembe véve továbbá, hogy a rétegben a depressziósgörbe nem süllyed a felvízi vízszlopmagasság negy-tizede alá, tehát $\alpha = 1$ és $\beta = 1$, a vízszál elszakadás mértékét a

$$\left(\frac{H_0}{H_2}\right)^2 = 2 \frac{H_1}{H_2} - 1; \quad (20)$$

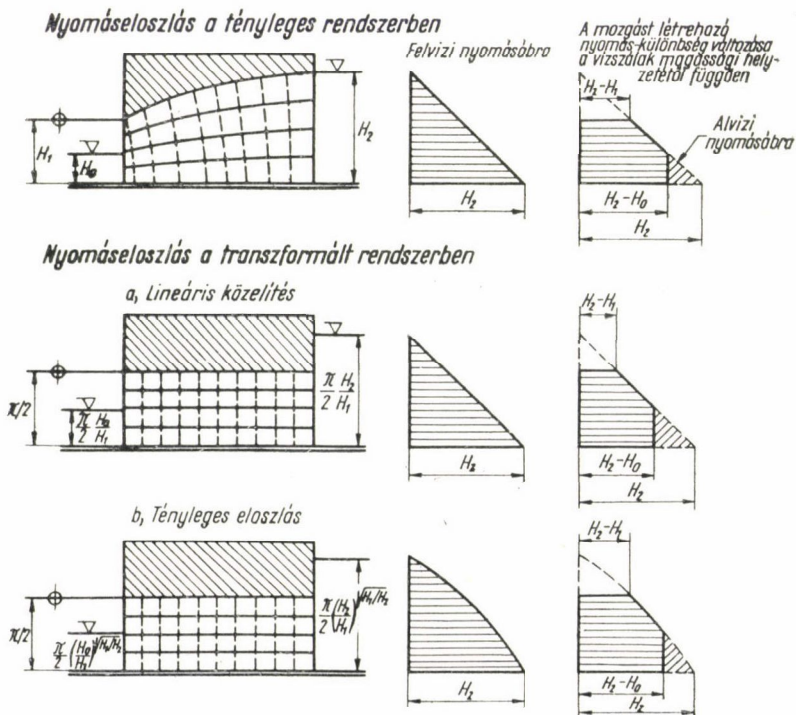
$$\frac{H_0}{H_2} = \frac{H_0}{H_1} \cdot \frac{H_1}{H_2};$$

egyenletrendszerből számíthatjuk, az egységnyi széles sávban áramló víz-hozamot pedig ennek meghatározása után a

$$q = \frac{1}{2} \frac{H_2^2}{L} \left(1 + \frac{H_1}{H_2}\right) k \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{H_1}{H_2} + \frac{H_0}{H_2} \cdot \frac{H_0}{H_1}\right)\right] \quad (21)$$

összefüggés adja meg. Az alkalmazott jelöléseket az áramlási térnek a 7. ábrán bemutatott vázolata tünteti fel. Ezen egyúttal feltüntettük a közelítő és a tényleges nyomáselosztást jellemző nyomásábrákat is.

Az ellenőrző számítások szerint a nyomáselosztás közelítő felvétele mindaddig megengedhető, amíg a $H_0/H_2 \geq 0,2$. Ha az alvízszint mélyebb, a tényleges nyomáselosztással kell számolnunk, ami az ismertetett egyenletek-



7. ábra. A vízszálak magassági helyzetétől függő nyomásváltozás alakulása a szabad kilépési felület hatására

nél bonyolultabb összefüggésekhez vezet. A gátak vizsgálatában leggyakoribb feladatnak, az alvíz által vissza nem duzzasztott szivárgásnak a jellemzése azonban ezzel a feltétellel is egyszerű, könnyen kezelhető kapcsolatot ad.

A depressziósgörbe kilépési pontjának magassága, amely — mivel az alvízi szint magassága zérus — egyúttal a vízszálelszakadás mértékét jelzi, a

$$\frac{H_1}{H_2} \sim 0,4 ; \quad (22)$$

a vízhozam pedig a

$$q = 0,615 k \frac{H_2^2}{L} \quad (23)$$

összefüggésből számítható.

Az elmondott kapcsolatok levezetésekor a *Schoklitsch* által helyesen felismert vízhozam-maximum létezését és a kilépési pont magasságát meghatározó szerepét, továbbá a szabad kilépési felületen jelentkező, *Pavlovskij* által is alkalmazott különleges határfeltételt is figyelembe vettük. A komplex transzformáció matematikai eszközeit használva az áramlási tér határolását csaknem szabatosan követni tudtuk. Így a további vizsgálatok elvi alapjait adó számítási rendszer jobban megközelíti a tényleges áramlási helyzetet, mint a korábban alkalmazott eljárások kiindulásául szolgáló áramképek, akár az 1. ábrán vázolt áramlástanai modell, akár a *Schoklitsch* által alkalmazott *Dupuit*-féle közelítés, akár az áramlási tér felbontása *Pavlovskij* feltételezése szerint. Részben ez a szabatosabb alap indokolja, hogy az előző fejezetben ismertetett eljárások helyett új összefüggéseket keresünk, részben az a törekvésünk, hogy a szivárgási számítások megoldására egységes, leképezéssel előállított matematikai modellrendszert alakítsunk ki. Ezért további lépésként azt kívánjuk megoldani, hogy transzformációs kapcsolatot teremtsünk a függőlegesen határolt gáttest és a gyakorlati feladatokban előforduló rézsűs töltéstest áramlási tere között. Ezt meghatározva, a függőleges gáttest jellemzésére szolgáló, és az előzőekben összefoglalt eredményeket a rézsűs töltéstestben kialakult szivárgás hidraulikai adatainak számítására is általánosíthatjuk.

3. A függőlegesen gáttest és a rézsűs töltéstest kapcsolatára szolgáló leképezőrendszer meghatározása

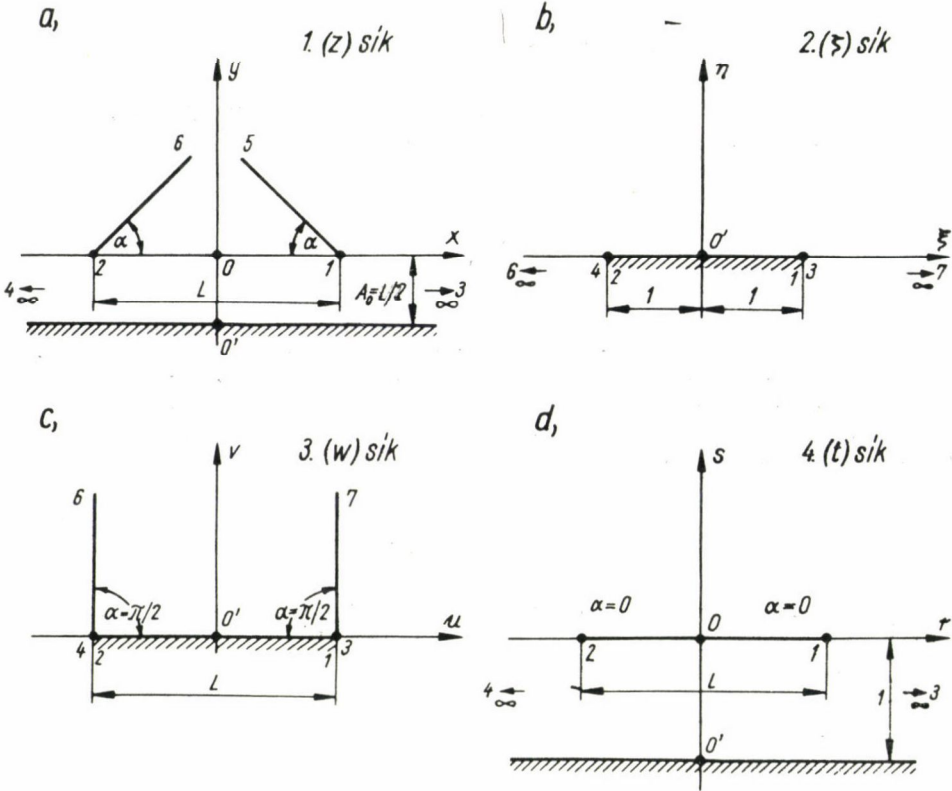
Amint az előző fejezetben kifejtettük, célunk az, hogy transzformációs kapcsolatot teremtsünk a függőlegesen határolású és a rézsűs gáttestben kialakuló szivárgási tér között. Keressünk tehát olyan leképező függvényt, amellyel mind a két töltésprofil körvonala rajzát — az alapvonalat és az oldalsó határolást — egy egyenessé alakíthatjuk. Közismert a poligonok leképezésére szolgáló *Schwartz*—*Christoffel*-féle transzformáció. Általános esetben a 8. ábra a) jelű rendszerét (1. sík) a b) jelű rendszeré (2. sík) a következő függvényekkel transzformálhatjuk át:

$$z = A \int \frac{d\zeta}{[(\zeta + 1)(\zeta - 1)]^\beta} + B, \quad (24)$$

ahol az ábra jelöléseit figyelembe véve $\beta = (\pi - \alpha)/\pi$. Kiemelve $(-1)^\beta$ értéket a szorzóállandóba, tekintettel továbbá arra, hogy a két rendszer origója

közös és előzőleg a töltés L talpszélességét π értékre nyújtani vagy zsugorítani kell, hogy a sarokpont a 2. síkon az egységpontba kerüljön, végeredményként a leképzőfüggvény

$$z \frac{\pi}{L} = \int \frac{d\zeta}{(1 - \zeta^2)^\beta} \quad (25)$$



8. ábra. Vázlat a transzformáció egyes lépéseinek szemléltetésére és az alkalmazott jelölések értelmezésére

Ennek különleges esetét kapjuk a $\beta = 1/2$ érték helyettesítésével, amely a 8. ábra c) jelű rendszerének (3. sík) a 2. síkra történő leképzésére, tehát a függőlegesen határolt földtest kontúrjának a transzformálására szolgál. A leképzőfüggvény ebben a különleges esetben

$$\omega \frac{\pi}{L} \int \frac{d\zeta}{(1 - \zeta^2)^{1/2}} = \arcsin \zeta \quad (26)$$

Még egy különleges eset helyettesítését említjük meg, bár ennek gyakorlati jelentősége nincs, segítségül szolgál azonban a 25. egyenlet integrálásnak ellenőrzésére, mint határeset. Ez a helyettesítés a $\beta = 1$ érték felvétele, ami a 8. ábra d) jelű rendszerének (4. sík) a 2. síkra történő transzformálására szolgál.

Az integrálnak ebben az esetben kettős megoldása van, attól függően, hogy ζ kisebb vagy nagyobb az egységnél. Célunk az, hogy a későbbiekben a töltés körvonalrajza illeszkedjék a vízszintes tengelyre, ennek képe pedig a 8/b ábrán az egységnél nagyobb abszolút értékű valós számokat ábrázoló tengelyszakasz, ezért az integrálást $|\zeta| > 1$ figyelembevételével hajthatjuk végre:

$$t \frac{\pi}{L} = \int \frac{d\zeta}{1 - \zeta^2} = \operatorname{arcth} \zeta = \frac{1}{2} \ln \frac{\zeta + 1}{\zeta - 1}. \quad (27)$$

Az egységnél kisebb valós számoknak ($|\zeta| < 1$) a 8/d ábrán megfelelő képét úgy határozhatjuk meg, ha figyelembe vesszük, hogy a 27. egyenlet a következő alakra hozható:

$$t \frac{\pi}{L} = \frac{1}{2} \left[\ln \frac{1 + \zeta}{1 - \zeta} \cdot (-1) \right] = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 + \zeta}{1 - \zeta} \cdot e^{-i\pi} \right) = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \zeta}{1 - \zeta} - i \frac{\pi}{2}. \quad (27/a)$$

Amint a példák is mutatják a β különleges értékeit helyettesítve, a 25. egyenletben jelölt integrált közvetlenül, zárt alakban is megoldhatjuk. Általános esetben azonban csak a sorbafejtés ad megoldást. Annak érdekében, hogy végeredményül a gyakorlatban könnyen kezelhető sort kapjunk, szorozzuk az integrál nevezőjét és számlálóját $(1 - \zeta)^{2m}$ értékkel, amelyben

$$m = 1 - \beta = \frac{\alpha}{\pi}. \quad (28)$$

Az új számlálót sorbafejtve az integrálást bontsuk fel a sor egyes tagjaira. A 25. egyenlet ekkor a következő alakra hozható:

$$z \frac{\pi}{L} = \int \frac{(1 - \zeta^2)^m}{1 - \zeta^2} d\zeta = a_0 \int \frac{d\zeta}{1 - \zeta^2} + a_1 \int \frac{\zeta^2}{1 - \zeta^2} d\zeta + a_2 \int \frac{\zeta^4}{1 - \zeta^2} d\zeta + \\ + a_3 \int \frac{\zeta^6}{1 - \zeta^2} d\zeta + \dots + a_n \int \frac{\zeta^{2n}}{1 - \zeta^2} d\zeta + \dots \quad (29)$$

A 29. egyenletben az egyes integrálandó tagok együtthatóit az az eredeti tört számlálójának sorba fejtésével határozhatjuk meg:

$$a_0 = 1 \quad a_3 = - \frac{m(m-1)(m-2)}{3!} \\ \dots \\ a_1 = -m \quad a_n = (-1)^n \frac{m(m-1) \dots (m-n+1)}{n!} \quad (30) \\ a_2 = + \frac{m(m-1)}{2!}$$

A 29. egyenlet jobboldalán levő tagok integrálásának eredményeit a következő táblázatban adhatjuk meg, feltételezve újra, hogy $|\zeta| > 1$:

$$\begin{aligned}
 a_0 \int \frac{d\zeta}{1-\zeta^2} &= a_0 \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\zeta+1}{\zeta-1} \right) \\
 a_1 \int \frac{\zeta^2}{1-\zeta^2} d\zeta &= a_1 \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{\zeta+1}{\zeta-1} \right) - \zeta \right] \\
 a_2 \int \frac{\zeta^4}{1-\zeta^2} d\zeta &= a_2 \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{\zeta+1}{\zeta-1} \right) - \zeta - \frac{1}{3} \zeta^3 \right] \\
 a_3 \int \frac{\zeta^6}{1-\zeta^2} d\zeta &= a_3 \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{\zeta+1}{\zeta-1} \right) - \zeta - \frac{1}{3} \zeta^3 - \frac{1}{5} \zeta^5 \right] \\
 a_n \int \frac{\zeta^{2n}}{1-\zeta^2} d\zeta &= a_n \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{\zeta+1}{\zeta-1} \right) - \zeta - \frac{1}{3} \zeta^3 - \frac{1}{5} \zeta^5 - \dots - \frac{1}{2n-1} \zeta^{2n-1} \right] \\
 &\dots
 \end{aligned} \tag{31}$$

A táblázatos megoldás oszlopait összeadva a következő formához jutunk

$$\begin{aligned}
 z \frac{\pi}{L} &= \frac{1}{2} \sum_0^\infty a_i \ln \left(\frac{\zeta+1}{\zeta-1} \right) - \sum_1^\infty a_i \zeta - \frac{1}{3} \sum_2^\infty a_i \zeta^3 - \dots - \frac{1}{2n-1} \sum_n^\infty a_i \zeta^{2n-1} - \dots = \\
 &= A_0 \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\zeta+1}{\zeta-1} \right) + A_1 \zeta + A_2 \frac{1}{3} \zeta^3 + \dots + A_n \frac{1}{2n-1} \zeta^{(2n-1)} + \dots, \tag{32}
 \end{aligned}$$

amelyben $A_0, A_1, A_2 \dots A_n \dots$ pozitív számok. Az együtthatók előjelváltása azért következett be, mert $\sum_1^\infty a_i, \sum_2^\infty a_i \dots \sum_n^\infty a_i$ a 30. egyenletként jelölt összefüggések szerint mindig negatív szám.

A további szabatos matematikai elemzés helyett a határfeltételek figyelembevételével keressünk olyan gyakorlatilag könnyen kezelhető összefüggést, amely a sort jól megközelíti. Nyilvánvaló, ha $\beta = 1, m = 0$, akkor $A_0 = 1, A_1 = A_2 = \dots A_n = 0$, és így a 32. egyenlet azonos lesz az ennek a határnak felvételével felírt és zárt alakban integrált 27. egyenlettel. Ugyanígy $\beta = 1/2$ helyettesítéssel $A_0 = 0$, a többi együtthatók pedig sorra

$$A_1 = 1; \quad A_2 = \frac{1}{2}; \quad A_3 = \frac{1.3}{2.4}; \quad A_4 = \frac{1.3.5}{2.4.6}; \quad \dots$$

vagyis a sor összege $\arcsin \zeta$. Tehát ekkor is visszkapjuk a megfelelő β érték helyettesítésével megoldott integrálnak a 26. egyenletben felírt értékét. Az elmondottak figyelembevételével tételezzük fel, hogy a 32. egyenletben levő sort a következő összefüggéssel helyettesíthetjük:

$$z \frac{\pi}{L} = A_0 \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\zeta+1}{\zeta-1} \right) + B_0 \arcsin \zeta - f(\zeta). \tag{33}$$

Amint az előzőekben már láttuk

ha $\beta = 1$; $m = 0$ akkor $A_0 = 1$; $B_0 = 0$; $f(\zeta) = 0$,

és ha $\beta = 1/2$; $m = 1/2$ akkor $A_0 = 0$; $B_0 = 1$; $f(\zeta) = 0$.

A két határérték között a jelzett értékek változása folytonos. Arra kell törekednünk, hogy az említett tartományban ezek meghatározására olyan gyakorlatilag könnyen kezelhető összefüggéseket találjunk, amelyekkel számítva az együtthatókat, a sort megfelelően megközelíthetjük.

Ennek érdekében először néhány kiválasztott részsűzőgre meghatároztuk az A_0 értéket, úgy hogy a 30. egyenletként jelölt összefüggésekből számítottuk az a tagokat, amelyeknek összege adja a keresett A_0 tényezőt. A számítást és az összegzést az első negyven tagra végeztük el. Ezekből az $a_0, a_1, a_2, \text{ stb.}$ tagokat elhagyva rendre megkapjuk az $A_1, A_2, A_3, \text{ stb.}$ együtthatókat. Ha ezeket összehasonlítjuk az arc sin sor együtthatóival (1. táblázat) azt találjuk, hogy az utóbbit B_0 tényezővel szorozva a sorok harmadik tagja egyenlővé tehető és az ezt követő tagok sem térnek el lényegesen egymástól. Az elemzésből tehát azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a 33. egyenletben jelölt $f(\zeta)$ kiegészítő tagot olyan kéttagú polinomnak választhatjuk, amely a ζ értéket első és harmadik hatványon tartalmazza, sőt — amint a harmadrendű tag együtthatóinak kis számértéke mutatja — a gyakorlati számításokban elegendő ezt a kiegészítést egytagú, ζ -ban elsőfokú kifejezésnek választani.

1. táblázat

$A B_0$ arc sin ζ sorának összehasonlítása a vizsgált sorral

$$\text{arc sin } \zeta = 1 \zeta + \frac{1}{3} 0,5 \zeta^3 + \frac{1}{5} 0,375 \zeta^5 + \frac{1}{7} 0,312 \zeta^7 + \frac{1}{9} 0,273 \zeta^9 + \frac{1}{11} 0,246 \zeta^{11}$$

$$\text{a vizsgált sor } A_1 \zeta + \frac{1}{3} A_2 \zeta^3 + \frac{1}{5} A_3 \zeta^5 + \frac{1}{7} A_4 \zeta^7 + \frac{1}{9} A_5 \zeta^9 + \frac{1}{11} A_6 \zeta^{11}$$

m	B_0		ξ	$\frac{1}{3} \zeta^3$	$\frac{1}{5} \zeta^5$	$\frac{1}{7} \zeta^7$	$\frac{1}{9} \zeta^9$	$\frac{1}{11} \zeta^{11}$
			együtthatói					
1/3	0,988	B_0 arc sin	0,988	0,494	0,370	0,308	0,270	0,243
		a vizsgált sor	0,814	0,481	0,370	0,308	0,267	0,237
		a különbség	-0,174	-0,013	$\pm 0,000$	$\pm 0,000$	-0,003	-0,006
1/4	0,937	B_0 arc sin	0,937	0,468	0,351	0,293	0,256	0,230
		a vizsgált sor	0,696	0,446	0,352	0,297	0,259	0,229
		a különbség	-0,241	-0,022	+0,001	+0,004	+0,003	-0,001
1/6	0,802	B_0 arc sin	0,802	0,401	0,301	0,250	0,219	0,198
		a vizsgált sor	0,536	0,369	0,299	0,255	0,224	0,201
		a különbség	-0,266	-0,032	-0,002	+0,005	+0,005	+0,003
1/10	0,590	B_0 arc sin	0,590	0,295	0,221	0,184	0,161	0,145
		a vizsgált sor	0,366	0,266	0,221	0,192	0,171	0,154
		a különbség	-0,024	-0,029	$\pm 0,000$	+0,008	+0,010	+0,009
1/12	0,522	B_0 arc sin	0,522	0,261	0,196	0,163	0,143	0,029
		a vizsgált sor	0,317	0,234	0,195	0,170	0,152	0,138
		a különbség	-0,205	-0,027	-0,001	+0,007	+0,009	+0,009

Az együtthatók számszerű meghatározását azonban nem az *I. táblázatban* összefoglalt adatokból végeztük el, hanem olyan gyakorlati elemzéssel, amelynek során azt vizsgáltuk, hogy milyen együtthatók felvételével kapjuk vissza a *8/b ábrán* vázolt képből a ténylegesen keresett töltésformát. Ezt az elemzést számszerűen a következő fejezetben mutatjuk be. Már most rögzíthetjük azonban, hogy általános töltérszű esetében a következő transzformációs egyenletet használhatjuk:

$$z \frac{\pi}{L} = A_0 \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\zeta + 1}{\zeta - 1} \right) + B_0 \arcsin \zeta - C_0 \zeta. \quad (34)$$

A valóstengely $|\zeta| < 1$ szakaszának vizsgálatakor — amely a töltés alatti vízzáró réteg helyzetének meghatározására szolgál — ezt az egyenletet is a 27. egyenlethez hasonlóan át kell alakítanunk.

$$z \frac{\pi}{L} = A_0 \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 + \zeta}{1 - \zeta} \right) - i A_0 \frac{\pi}{2} + B_0 \arcsin \zeta - C_0 \zeta. \quad (34/a)$$

A két egyenletből meghatározhatjuk mind a töltés rézsűire, mind az alsó vízzáró határolásra illeszkedő pontoknak tengelyirányú rendezőit, ha a leképző függvényeket felbontjuk a valós és a képzetes tagok közötti összefüggésekre. Ezek szerint a rézsű-pontok meghatározására szolgáló egyenletrendszer a következő:

$$\begin{aligned} x \frac{\pi}{L} &= A_0 \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\zeta + 1}{\zeta - 1} \right) + B_0 \frac{\pi}{2} - C_0 \zeta; \\ y \frac{\pi}{L} &= B_0 \ln (\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1}). \end{aligned} \quad (35)$$

Ugyanígy megkaphatjuk a töltés alatti vízzáró rétegre illeszkedő pontok rendezőit is:

$$\begin{aligned} x_0 \frac{\pi}{L} &= A_0 \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 + \zeta}{1 - \zeta} \right) + B_0 \arcsin \zeta - C_0 \zeta; \\ y_0 \frac{\pi}{L} &= - A_0 \frac{\pi}{2}. \end{aligned} \quad (36)$$

4. A leképző rendszer pontosságának ellenőrzése és az együtthatók meghatározása

Már az előző fejezetben említettük, a 34. egyenlet együtthatóit úgy határozzuk meg, hogy különböző értékeket felvéve keressük, milyen tényezőkkel tudjuk a vizsgált töltésalakot a legpontosabban megközelíteni. Ez az elemzés, amelyet $m = 1/3; = 1/4; = 1/6; = 1/10$ és $= 1/12$ rézsű felvételével végeztünk el, egyúttal szemléletesen igazolja a leképző függvény, továbbá az együtthatók megbízhatóságát és pontosságát is.

Az A_0 érték meghatározásához a *I. táblázat* összeállításakor a 40. tagig számítottuk annak a sornak a tagjait, amelynek összegzése adja meg az elméleti

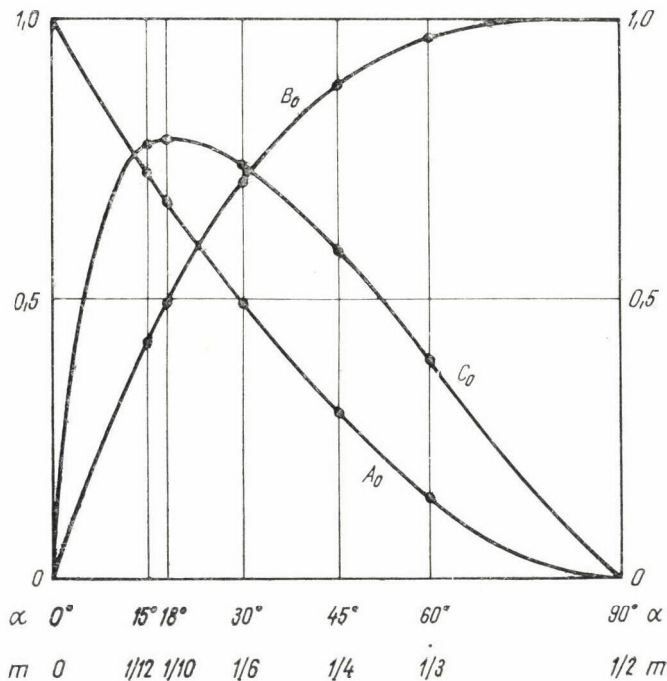
értéket. Részben a további tagoknak, részben az egyenlettel helyettesített sor harmad- és magasabb rendű tagjainak elhanyagolása miatt nem a táblázatban jelzett értékek adják meg az egyszerűsített összefüggés első tagjának szorzótényezőjét, hanem azt az

$$A_0 = \left(1 - \frac{m}{0,5}\right)^{1,75} \quad (37)$$

képletből számíthatjuk. Ugyanígy a második tag szorzótényezőjének meghatározására a következő összefüggést fogadjuk el

$$B_0 = 1 - \left(1 - \frac{m}{0,5}\right)^3; \quad (38)$$

míg a harmadik, C_0 együttható ilyen közelítő meghatározására nem törekedünk, mert erre a gyakorlati feladatokban szükségünk ritkábban — csak a teljes áramképek meghatározásakor — lehet. Ezért ennek az utóbbinak — a 37. illetve 38. egyenlettel meghatározott A_0 és B_0 értékekhez tartozó — nagyságát csak az együtthatók változását feltüntető 9. ábrán, és a 2. táblázatban adjuk meg. Amint látjuk, a 33. egyenlettel kapcsolatos határfeltételeket az együtthatók így történő felvétele kielégíti.



9. ábra. A 34. egyenlet együtthatóinak változása a rézsű hajlását jellemző m érték függvényében

Az összehasonlító vizsgálatokat feltüntető rajzokat a 10. ábrán mutatjuk be. Ezekről azonnal megítélhetjük a leképző függvény és a 2. táblázatban összefoglalt együtthatók megbízhatóságát, ha összevetjük a felvett rézsű vonalát az eljárással számított pontok helyzetével. Ábrázoltuk az egyes rézsűk alatt a ζ sík valós tengelye $|\zeta| < 1$ szakaszának képét is, amelyet a 36. egyenlet második összefüggésének segítségével határozhatunk meg. Ez az egyenes a töltést ábrázoló metszetben a vízzáró réteg felszínét adja meg. Láthatjuk

2. táblázat

A 34. egyenlet együtthatóinak a grafikus összehasonlítással meghatározott értékei a vizsgált rézsűszögek függvényében

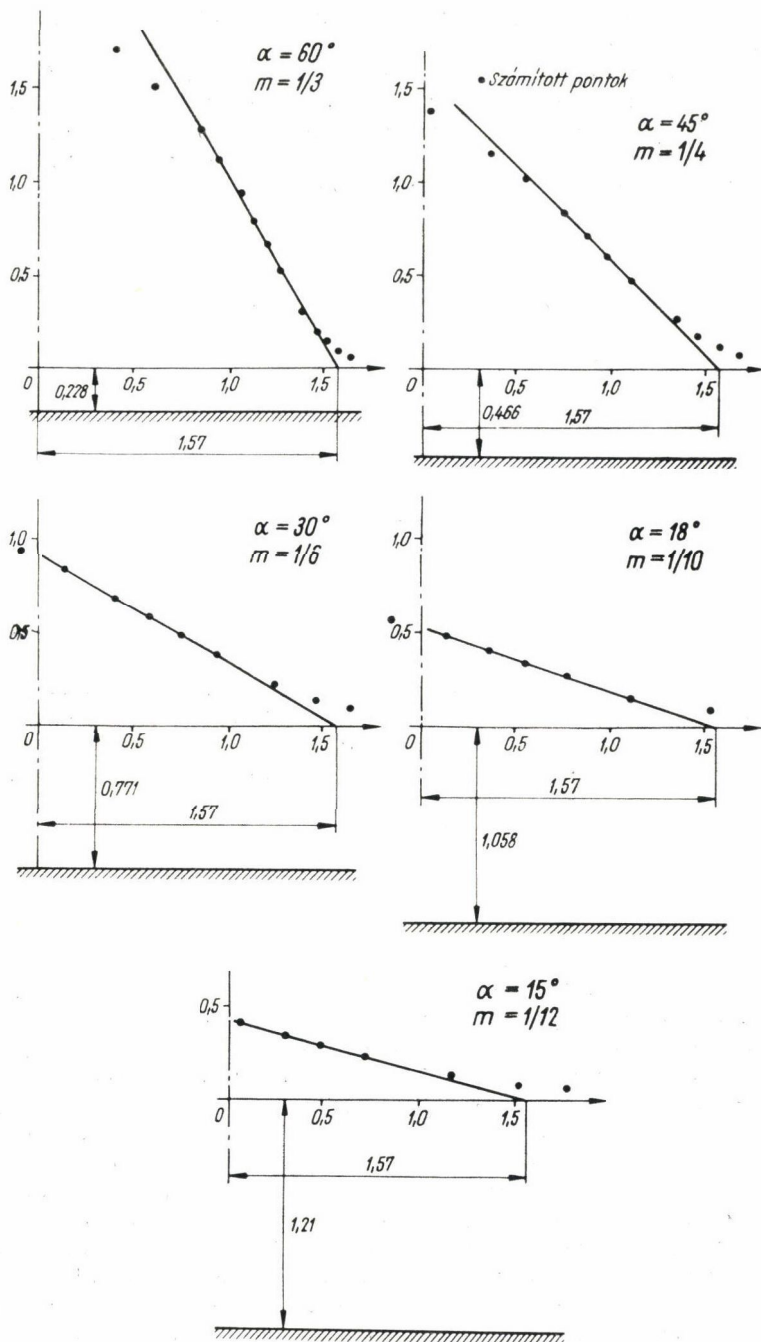
α	m	A_0	B_0	C_0
60°	1/3	0,146	0,963	0,390
45°	1/4	0,297	0,875	0,590
30°	1/6	0,492	0,703	0,735
18°	1/10	0,675	0,488	0,780
15°	1/12	0,722	0,420	0,775

tehát, hogy az eljárás így közvetlenül nem vízzáró rétegre, hanem meghatározott vastagságú, és a töltéssel azonos áteresztőképességű vízvezető rétegre épült gát szivárgási terét adja meg számunkra. Erre a fejtegetésre még a következő fejezetben, az eljárás gyakorlati alkalmazását elemezve, visszatérünk.

5. Gyakorlati eljárás a rézsűs töltéstest szivárgási jellemzőinek meghatározására

Az előzőekben meghatároztuk azt a két transformációs függvényt, amelyvel egyrészt a rézsűs töltéstest (34. egyenlet), másrészt a függőleges határolású gáttest (26. egyenlet) körvonalrajzát — alapvonalát és oldalsó határolását — közös alakra hozhatjuk, és a ζ sík vízszintes tengelyévé képezhetjük le. Ezzel közvetett kapcsolatot teremtettünk a két áramlási rendszer között. Így lehetővé válik, hogy a függőleges határolású gáttestben kialakuló szivárgásnak a 2. fejezetben összefoglalt eljárás szerint meghatározott hidraulikai jellemzőit a rézsűs töltéstest vizsgálatára is általánosítsuk.

A levezetések során alapvető feltevésünk volt, hogy a két rendszer jellemző vízszintes mérete, a talpszélesség egyenlő legyen. Ezért a továbbiakban csak a függőleges méretek kapcsolatát kell meghatározni, sőt, amint a függőleges határolású gáttest hidraulikai vizsgálatának összefoglalása során rámutattunk, a folyamat jellemzői a szivárgási tényező és a talpszélesség rögzítése esetében két méretnek, a felvízi vízszint H_2 és az alvízi vízszint H_0 magasságának ismeretében meghatározhatók. A függőleges méretek kapcsolatának meghatározása érdekében a 34. és 35. egyenletekhez hasonlóan állapítsuk meg a 26. egyenletnek is a rendezők szerinti felbontását. A képzetes rendezők

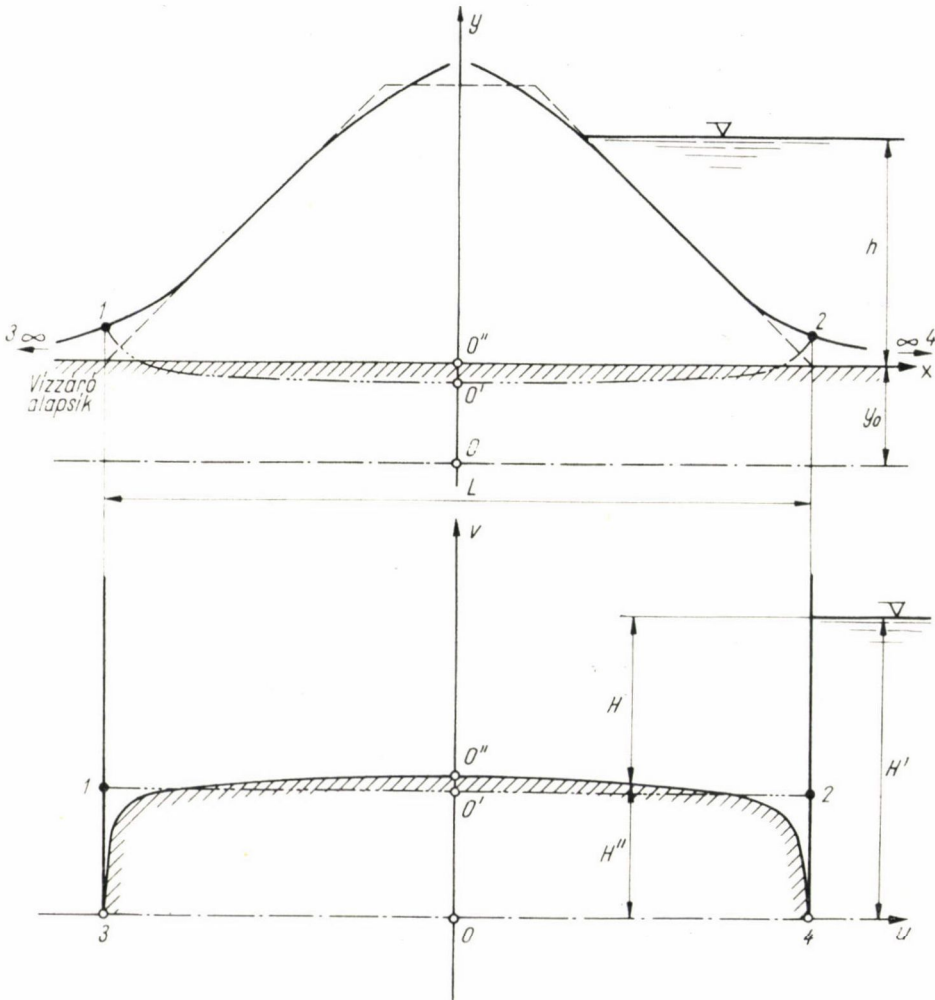


10. ábra. A felvett töltésprofilok összehasonlítása a leképzőrendszerrel számított pontok helyzetével

meghatározására szolgáló összefüggések összevetése, a 11. ábrán adott vázlat jelöléseit szem előtt tartva, a következő eredményt adja

$$\begin{aligned}
 v &= \ln(\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1}) \\
 y &= B_0 \ln(\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1}) \\
 \text{tehát } H' &= \frac{h}{B_0}.
 \end{aligned}
 \tag{39}$$

Az így meghatározott H' érték azonban nem a vízzáró alapon épült töltés szivárgási rendszerét helyettesítő függőleges határolású gáttest jellemző függőleges mérete. A 10. ábrával kapcsolatban adott elemzés során ugyanis



11. ábra. Vázlat a vízzáró alapon épült töltéssel hidraulikailag egyenértékű, függőlegesen határolt áramlási tér meghatározásához

rámutatunk már arra, hogy a ζ sík $|\zeta| < 1$ szakaszának a képe, amely a w síkon az abszcissa tengelyre illeszkedik, a z síkon az alatt fut

$$y_0 = A_0 \frac{L}{2} \quad (40)$$

értékkel. Így a rézsűs gát h függőleges méreteiből a 39. egyenlettel számított H' függőleges méretekkel jellemzett, függőleges határolású földtestben kialakuló szivárgási tér a 40. egyenlettel meghatározott vastagságú vízáteresztő rétegre épült töltéssel egyenértékű hidraulikailag, ha a töltés és az alapréteg szivárgási tényezője azonos.

A vízzáró alapon épült töltés hidraulikai jellemzőinek meghatározása érdekében további közelítést kell tennünk. Ennek lényege az, hogy a vízzáró alap képét a w síkon egy, az u tengellyel párhuzamos egyenessel helyettesítjük. Ezt a vonalat úgy javasoljuk kiválasztani, hogy a z síkon képe a 34. transzformációs egyenlettel meghatározott töltésprofil a tényleges töltésláb függőlegesében messe (II. ábra). A w síkon a vízzáró alap így meghatározott magasságát

3. táblázat

A vízzáró alapsík hatásának figyelembe vételére szolgáló korrekciós tagnak a 41. egyenlettel és a leképzési függvényvel meghatározott értékének összehasonlítása

α	m	ch μ (a leképzési függvényvel meghatározott érték)	cos $2\pi m$	0,01 (1 + cos $2\pi m$)	ch μ
			(a 41. egyenlettel számított jellemzők)		
60°	1/3	1,0039	-0,500	0,005	1,0050
45°	1/4	1,0099	$\pm 0,000$	0,01	1,0100
30°	1/6	1,0154	+0,500	0,015	1,0150
18°	1/10	1,0180	+0,809	0,0181	1,0181
15°	1/12	1,0185	+0,866	0,0187	1,0187

és a számításához használt segédmenyiségeket, a rézsű hajlásától függően a 3. táblázatban foglaltuk össze, a gyakorlati feladatokban pedig számítására a következő összefüggést javasoljuk:

$$H'' = \frac{L}{\pi} \operatorname{arch} [1 + 0,01 (1 + \cos 2\pi m)] = \frac{L}{\pi} \mu. \quad (41)$$

Az elmondottak figyelembevételével a vízzáró alapon épült gáttal hidraulikailag egyenértékű, függőleges sikkal határolt szivárgási tér jellemző függőleges méreteit az eredeti rendszer függőleges méreteitől és a rézsűhajlástól függően a 39. és a 41. egyenlet összevetéséből határozhatjuk meg

$$H = H' - H'' = \frac{h}{B_0} - \frac{L}{\pi} \mu. \quad (42)$$

Ha ebbe az egyenletbe a vizsgált gáttest felvízi és alvízi magasságának (h_2 és h_0) értékét helyettesítjük, meghatározzuk a helyettesítő rendszer H_2 és H_0 méreteit. Ezek segítségével számíthatjuk a depressziós görbe kilépési magasságát a függőleges határolású rendszerben (H_1), majd a vízhozamot a 20. ill. a 21. egyenlettel. A H_1 értékből — a 42. egyenlettel visszatérve a rézsús gát vizsgálatához — megkapjuk a depressziós görbe kilépési pontjának tényleges h_1 magasságát. Ha az alvízi magasság zérus és a gát vízzárórétgre épült a 22. és 23. egyenletet összevetve a 42. egyenlettel, a kilépési pont magasságának és az átszivárgó vízhozamnak a számítására szolgáló közvetlen összefüggéseket is felírhatjuk:

$$\frac{h_1}{L} = 0,4 \frac{h_2}{L} + 0,6 \frac{B_0}{\pi} \mu \quad (43)$$

$$q = 0,615 \frac{k}{L} \left(\frac{h_2}{B_0} - \frac{L}{\pi} \mu \right)^2. \quad (44)$$

A vízvezető rétegre épült gáttest szivárgási jellemzőinek számítása során egy — a rézsúhajlásból függően meghatározott — vízvezető rétegvastagság figyelembe vétele szabatosan megtörténhet. Már említettük ugyanis, hogy a leképző függvény tulajdonképpen az $y_0 = A_0 \frac{L}{2}$ vastag vízvezető réteggel együtt kialakuló szivárgási tér jellemzésére szolgál, tehát a függőleges méretek kapcsolata ebben az esetben a 39. egyenlettel redukálás nélkül megadható. Közbenső helyzetben — ha a rétegvastagságot t -vel jelöljük — lineáris interpolálással javasoljuk meghatározni a redukciós tagot

$$H = H' - H''',$$

$$H''' = H'' \left(1 - \frac{t}{A_0 \frac{L}{2}} \right). \quad (45)$$

Az ismertetett lineáris összefüggés esetleg az alsó határon túl extrapolálással is felhasználható — természetesen az előjel figyelembevételével — azonban ebben a tartományban számolnunk kell már annak bizonytalanságával.

6. Összefoglaló

A tanulmány összefoglalja a gáttestben kialakuló permanens szivárgás jellemzésére szolgáló legelterjedtebb gyakorlati összefüggéseket. Ismerteti elvi alapjaikat, majd ezek kritikáját is megadja. Rámutat arra, olyan eljárás nem áll rendelkezésünkre, amely a kilépési pont helyzetét a vízszállítási maximummal hozza kapcsolatba és egyidejűleg figyelembe veszi a szabad kilépési felületen jelentkező határfeltételt is. Ismerünk olyan matematikailag szabatos eljárásokat, amelyek az áramlás minden sajátosságának figyelembe vételére töreksenek, ezek azonban bonyolultságuk miatt gyakorlati számításokra nem alkalmasak.

A függőleges határolású földtest szivárgási terének legutóbb végrehajtott áramlástan vizsgálatára lehetőséget adott nemcsak ennek a speciális léte-

sítménynek egyszerű, gyakorlati jellemzésére, hanem megteremtette az alapot a gáttestben kialakuló szivárgás vízhozamának és a kilépési pont helyzetének számításához is. Az ehhez szükséges transzformációs rendszer elvi lépéseinek és a gyakorlati számítások számára megfelelő közelítéseknek az ismertetése után a dolgozatban megtaláljuk azokat a matematikai összefüggésekből levont egyszerű kapcsolatokat is, amelyek a tervezések során felmerülő feladatoknak a gyors és könnyen kezelhető számítására szolgálnak.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] *Aravin V. I.*—*Numerov Sz. N.*: Vízépítési létesítmények szivárgási számításai. *Leningrád, Moszkva, 1955.*
- [2] *Breitenörder, M.*: Ebene Grundwasserströmung mit freier Oberfläche. *Berlin, 1942.*
- [3] *Casagrande, A.*: Seepage through dams. *Harward University, Soil Mechanics Series* Nr. 5, 1937.
- [4] *Galli L.*: Földgátak tervezéseinek alapelvei. *VIZITERV Tervezési Segédletek* 3. *Budapest, 1960.*
- [5] *Hoschtalek J.*: Nene Methode zur Dimensionierung von Erddämmen. *Österreichisches Wasserwirtschaft, 1952/1.*
- [6] *Ihrig D.*—*V. Nagy I.*: Ármentesítés. *Budapest 1962.* (Mérnöktovábbképző Intézet kiadványa)
- [7] *Kézdi Á.*: Talajmechanika 2. kötet. *Budapest*
- [8] *Kovács Gy.*: A szabadfelszíni szivárgás szabatos áramlástan vizsgálat. *Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények.* 1963/3.
- [9] *Kovács Gy.*: A szabad kilépési felület hatása a függőleges sikkal határolt földtesten átszivárgó vízhozamra. *Hidrológiai Közöny,* 1965.
- [10] *Koženy, J.*: Hidraulik. *Wien, 1953.*
- [11] *Muskat, M.*: The Flow of Homogenous Fluids through Porous Media. *New York, 1937.*
- [12] *Németh E.*: Hidromechanika *Budapest, 1963.*
- [13] *Palotás L.*: Mérnöki kézikönyv. 4. kötet. *Budapest, 1961.*
- [14] *Pavlovszkij N. N.*: A földgátakon keresztül történő szivárgásról. *Moszkva, 1931.*
- [15] *Polubarinova—Kocsina, P. Ja.*: A talajvízmozgás elmélete. *Moszkva, 1952.*
- [16] *Schoklitsch*: Handbuch des Wasserbaues. *Wien, 1950.*
- [17] *Sipos B.*: Általános és mezőgazdasági vízgazdálkodás. 1. Árvízvédelem. *Budapest, 1963.* (Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum)
- [18] *Zamarin E. A.*: Talajvízmozgás vízépítési műtárgyak alatt. *Gyapottermelési, gyapotipari és öntözési Össz-szövetségi Tudományos Kutató Intézet munkái,* 1931. 2. 23.
- [19] *Davidenkoff, R.*: Durchsickerung der Deiche und Erddämme. *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, 1957.* 8.
- [20] *Davidenkoff, R.*: Deiche und Erddämme. *Düsseldorf, 1964.*
- [21] *Ihrig D.*: Az árvédelmi kutatások módszere és eredményei. *VITUKI Beszámoló* *Budapest, 1962.*
- [22] *Ihrig D.*: A különböző gátalakok és védelmi módok hatása a gátban végbemenő és a gát alatti szivárgás folyamatára *VITUKI, 1963.* (Kézirat).
- [23] *Ihrig D.*: Egyszerűsített eljárás, földgátak szivárgási vonalának meghatározására. *Vízügyi Közlemények,* 1964/4.
- [24] *Leliarsky, S.*: Irrigation and Hydraulic Design. *London, 1955.*