

VÍZTERMELŐ ÉS VÍZSZINSÜLLYESZTŐ LÉTESÍTMÉNYEK HIDRAULIKAI KÉRDÉSEI

ÖLLŐS GÉZA

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA
BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM

[Beérkezett 1967. július 19-én]

A tanulmány a kúthidraulika fejlődésével, ezen belül az egyedülálló kutakkal, kútsorokkal, majd a kútsorportokkal foglalkozik. Felhívja a figyelmet a rétegek közötti kommunikáció figyelembevételének elméleti lehetőségeire. A kútpaláston kialakuló vízszín-elszakadás, majd a kútervezés újszerű irányait, a szivornya-rendszerek szivárgás hidraulikai problémáit tekinti át. Ezt követően a talajvízszinsülylesztési módok (nyílt víztartás, gravitációs és vákuumkutas vízszinsülylesztés) terén elért újabb kutatások eredményeit foglalja össze. Végül a nagyobb terek szűrőkutakkal való víztelenítési lehetőségeit, illetőleg az alkalmazható számítási eljárásokat foglalja össze.

1. Bevezetés

A kutakkal kapcsolatos szivárgás elméleti és gyakorlati jellemzése az utóbbi évtizedekben egyre inkább terebélyesedett. Érthető, hiszen a gyakorlati élet a kutak működtetésének, a szivárgás körülményeinek sokféle változatát szolgáltatta. Ahhoz, hogy a fejlődés mai szintjéről valamint a fejlődés jelenlegi sajátosságairól tájékozódhassunk, s ugyanakkor a jövőbeli fejlesztés irányai tekintetében állást foglalhassunk, foglalkoznunk kell a kúthidraulika fejlődésével, ezen belül az egyedülálló kutakkal, illetve a kútsorokkal és kútsorportokkal, majd pedig a talajvízszin-sülylesztés időszerű problémáival.

2. Az egyedülálló kutak vizsgálata

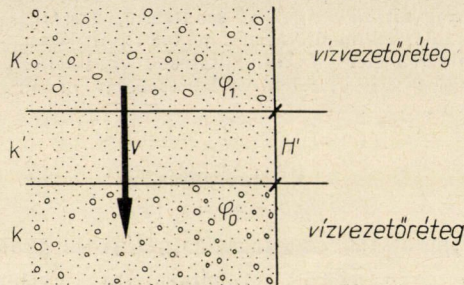
2.1. A fejlődés általános áttekintése

A permanens vízmozgás feltételezésén felépülő kezdeti elméletek (DUPUIT, THIEM, JAEGER stb.) alkalmazhatósági korlátai gyakorlatilag ismertté váltak. Alkalmazhatóságuk *közeltítő jellegét* felismerve, a fejlődés érthető módon a természetben általában jelentkező nempermanens szivárgási folyamatok jellemzése irányába fordult (THEIS, JACOB, WENZEL, CHOW, UBELL). Ezek az elméletek látszólagos komplikáltabb voltak miatt az elmúlt időben a különböző országokban a gyakorlati, tervezői életben még nem terjedtek el olyan mértékben, mint amelyet megérdemelt volna. A gyakorlat sok esetben szívesen alkalmazza az egyszerűbben kezelhető jellemzési módokat, nem szá-

molva az ily módon esetleg elkövetett pontatlanságok nagyságrendjével. Pedig nem szabad megfeledkezni arról, hogy a nempermanens vízmozgásra vonatkozó jellemzéshez gyakran kisebb időtartamú szivattyúzás szükséges, ami gazdaságossági szempontból nem megvetendő. Az utóbbi években a nempermanens mozgás jellemzésének továbbfejlesztése iránti igények fokozódnak. Jól mutatja ezt a szakirodalomban pl. SAAD—SHUKRY—BALIGH, ABU—ZIED—SCOTT, HANTUCH, WALTON, BOULTON, PRICKETT, SINGHAL és GUPTA tanulmánya.

2.2. A rétegek közötti kommunikáció figyelembevétele

Mint hogy a vízáadó réteg a szomszédos rétegekkel számos esetben hidraulikai szempontból kommunikál, ezért külön is fontos kiemelni a *leakage*



1. ábra. A ; „leakage factor” értelmezése

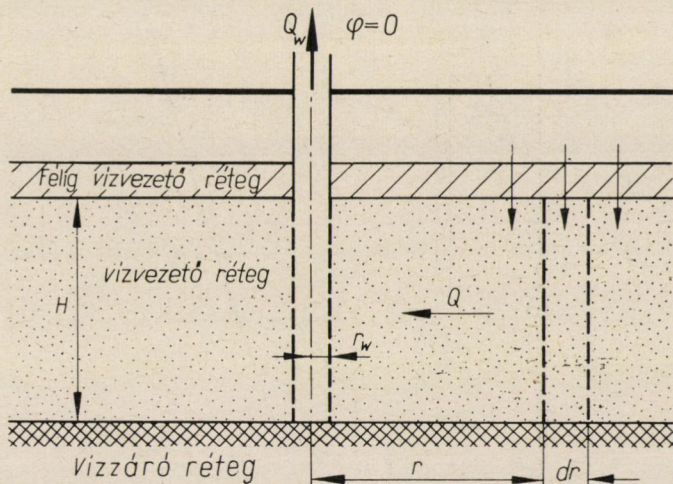
factor (λ) fogalmának bevezetésén felépülő, egyre inkább szaporodó kúthidraulikai elméleteket. Az 1. ábra jelöléseit szem előtt tartva, a λ értéke:

$$\lambda = \sqrt{kHC} = \sqrt{TC}, \quad (1)$$

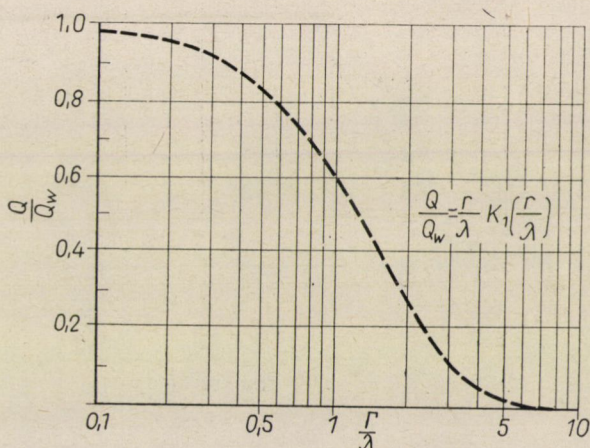
ahol $C = H^2/k'$, valamint k és H a rétegre jellemző állandó. Ily módon λ maga is a rétegre vonatkozó állandó: kutak esetében a kútba jutó víz *eredetére* utal. A 2. ábrán vázolt feltételek esetében Q_w a kútból szivattyúzott víz mennyisége, Q a szűrőzött rétegen át a kút irányába szivárgó víz mennyisége. Felülről a félig áteresztő rétegen keresztül, függőleges irányból is juthat víz a közvetlenül megcsapolt rétegre. A λ bevezetésével a szóban forgó problémára a

$$\frac{Q}{Q_w} = \frac{r}{\lambda} K_1 \left(\frac{r}{\lambda} \right) \quad (2)$$

összefüggés, melyet grafikusán a 3. ábra szemléltet. Ebből kitűnik, hogy a Q/Q_w arány a r/λ növekedésével rohamosan csökken $r = 4\lambda$ távolságban $Q/Q_w = 0,050$, vagyis a felső rétegből mindössze 5%-nyi vízmennyiség szivá-



2. ábra. A (2) egyenlethez tartozó hidraulikai feltételek

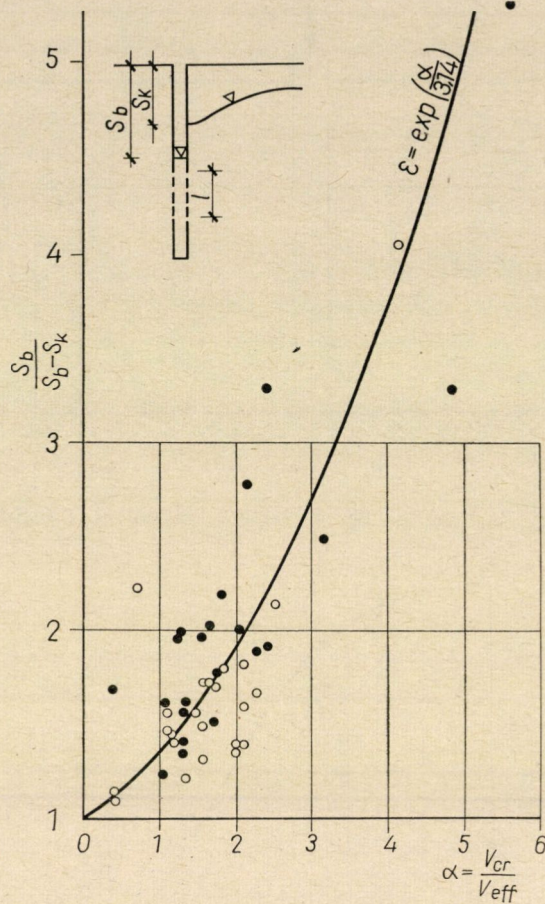


3. ábra. A (2) egyenlet grafikus ábrázolása

rog a csapolt rétegbe az $r' > r = 4\lambda$ tartományba. Ez az alapfeladat jól érzékelteti azt, hogy a komplikáltabb, alsó és felső rétegen át a megcsapolt réteggel egyidejűleg vagy külön-külön kialakuló kommunikáció is figyelembe vehető. Mint ezek az irodalmi idézetek is szemléltetik, a kúthidraulika élénk fejlődés útján halad előre.

2.3. A kútpaláston kialakuló vízszinelszakadás

Az egyedülálló kútra vonatkozólag azonban még néhány egészen alapvető kérdés tekintetében sem alakult ki megnyugtató megoldás. Ilyen kérdés pl. még ma is a kútpaláston kialakuló vízszinelszakadás. Legújabbán JUHÁSZ



4. ábra. A (3) egyenlet grafikus ábrázolása

tapasztalati adatok alapján a 4. ábra jelöléseivel az

$$\frac{s_b}{s_b - s_k} = \exp\left(\frac{\alpha}{3,14}\right) \quad (3)$$

összefüggést javasolja alkalmazni, ahol $\alpha = v_{cr}/v_{eff}$, tehát a kútpalásthoz tartozó kritikus és tényleges sebesség hányadosa. A $v_{cr} = \sqrt{k}/15$ összefüggés miatt, minthogy ennek alkalmazhatósági korlátai ma még nem tisztáztak, az egyenlet is még további fejlesztésre szorul. KOVÁCS elméleti, ÖLLŐS modellkísérletekből származtatott le összefüggést. Ezen említett számítási eljárások közös sajátossága, hogy az összetartozó vízszintek meghatározásához rendszerint kémlelő kutakra van szükség. VÁGÁS viszont olyan újszerű számítási eljárás gondolatát veti fel, amelynél kémlelőkútra nincs szükség. A kútpalást külső,

illetőleg belső oldalán (h_k ill. h_b) kialakuló vízszintek közötti $y_k = f(y_b)$ kapcsolatot $y_b = 0$ pontra vonatkozó sorbafejtett alakja:

$$y_k = c_1 y_b + c_2 y_b^2 + \dots + c_n y_b^n. \quad (4)$$

Összetartozó méréssel nyert y_b , y_k értékek birtokában az y_k , y_b és c jelű kifejezésekből mátrixok értelmezhetők:

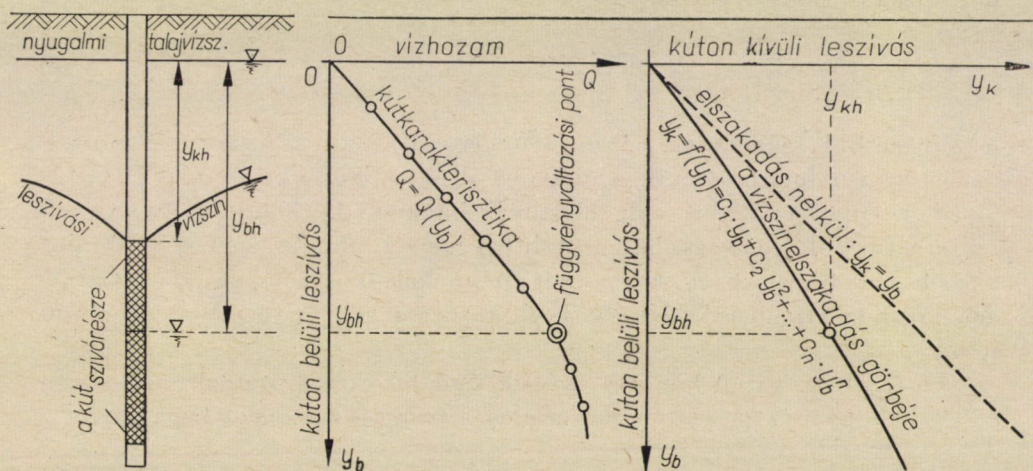
$$y_k = \begin{bmatrix} y_{k1} \\ y_{k2} \\ \dots \\ y_{kn} \end{bmatrix}; \quad y_b = \begin{bmatrix} y_{b1} & y_{b1}^2 & \dots & y_{b1}^n \\ y_{b2} & y_{b2}^2 & \dots & y_{b2}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{bn} & y_{bn}^2 & \dots & y_{bn}^n \end{bmatrix}; \quad c = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_n \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Felírható tehát a kapcsolat *mátrix alakja*:

$$y_k = y_b c. \quad (6)$$

Az ilyen jellegű megoldáshoz azonban még kémlelőkutakra lenne szükség. Ezért VÁGÁS a kút karakterisztika görbéjén olyan függvényváltozási pontot keres, amely annál az y_{bh} kúton belüli leszívásnál áll elő, amelynek megfelelő y_{kh} kúton kívüli leszívás a kút szívórészének felső síkjáig süllyesztí a leszívási görbe kútpaláston levő pontját (5. ábra). A nyugalmi vízszin változtatásával további függvényváltozási pontok kaphatók. Az összetartozó értékpárok alapján az (5)–(6) egyenlet megoldható, s így módon a vízszinelszakadás mértéke *közelítőleg* meghatározható.

A vízszinelszakadás jellemzése terén a fejlődés minden bizonnyal a kút körüli szemcsés közeg és a kút — mint szerkezet — hidraulikai szempontból



5. ábra. A vízszinelszakadás kémlelőkút nélküli meghatározása

egységes rendszerének minél teljesebb, egyidejű figyelembevételére törekszik. Fokozott szerepet kapnak ilyen szempontból a kis átmérőjű csőutak és a nagyobb szivárgási tényezőjű vízáadó rétegek. A kút körüli réteg átteresztőképességének mechanikai, kémiai, biológiai stb. okokra visszavezethető csökkenésének okaival átfogóbban, rendszerezettebben kell foglalkozni. A szita-szövetes szűrők vízszínelszakadással kapcsolatos nem éppen előnyös szerepét, valamint a szűrőcső anyagának célszerű megválasztását a kúthidraulika megnyugtató további fejlesztetősége érdekében behatóbban kell tanulmányozni.

2.4. A kút-tervezés és a kritikus szivárgási sebesség

A kutakból való szivattyúzás elméleti jellemzése során — különösen a tervezés szempontjából — az egyik legfontosabb megoldandó kérdés a *kritikus szivárgási sebesség*.

Teljesen általánosságban véve, a hidromechanika törvényei alapján a szivárgási sebességet a talaj k tényezője, a szivárgást előidéző és fenntartó h nyomáskülönbség és egy állandó (C) befolyásolja. Az utóbbi tényezőben a határfeltételek szerepelnek. Így például a nyomás alatti réteget megcsapoló r_0 sugarú félgömb felületén a szivárgási sebesség értéke:

$$v_{r_0} = \frac{k(k_R - h_0)}{C}, \quad (7)$$

ahol h_R és h_0 az R hatósugarához, ill. a megcsapolófelülethez tartozó potenciálértékkel arányos mennyiség.

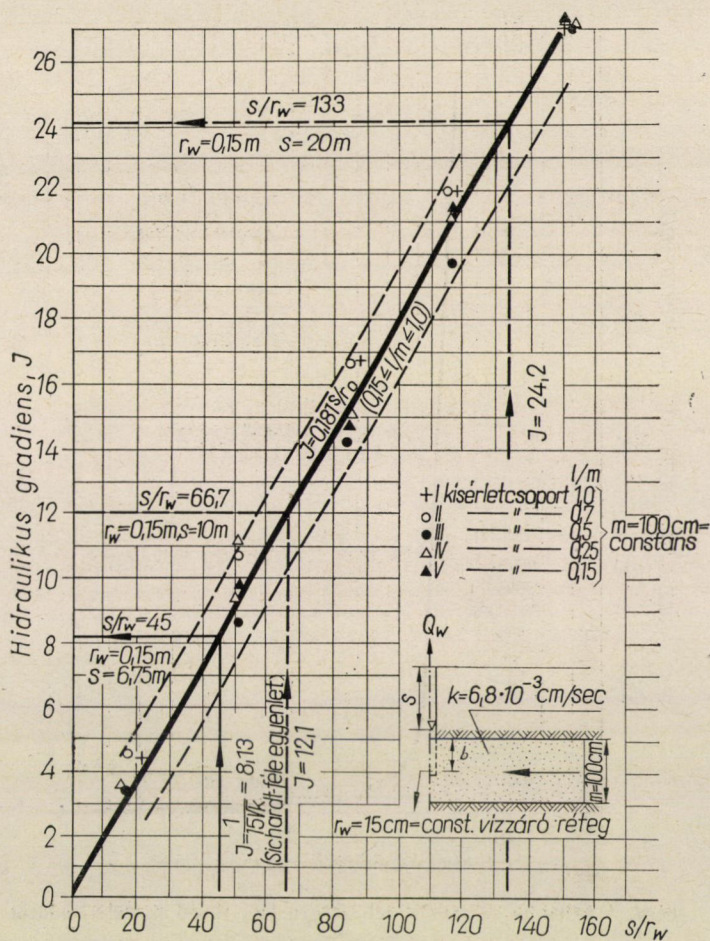
Ezt a sebességértéket kell szembeállítani a kritikus szivárgási sebesség értékével, melyet — noha közismert, hogy nem tekinthető számos esetben még gyakorlati szempontból sem mértékadónak — még ma is a Sichardt-féle

$$V_{cr} = \frac{\sqrt{k}}{15} \quad (8)$$

összefüggésből számítanak. Amint ÖLLŐS—DÁVIDNÉ—SZOLNOKY tanulmányából egyértelműen kitűnik, a SICHARDT által kritikusnak vélt $i_{cr} = 1/(15 \sqrt{k})$ hiperbola tulajdonképpen csak valamilyen konkrét s kútbeli leszívásra vonatkoztatható. Valójában azonban az említett szerzők adatai — a 6. és 7. ábrából kitűnik — azt bizonyítják, hogy a kút elhomokolódása szempontjából mértékadó kritikus szivárgási sebesség meghatározása nagyon összetett feladatot jelent.

A 6. ábrán vázolt konkrét vizsgálati adatok arra mutatnak rá, hogy az $i = f(s)$ függvénykapcsolat a potenciális szivárgási tartományban az

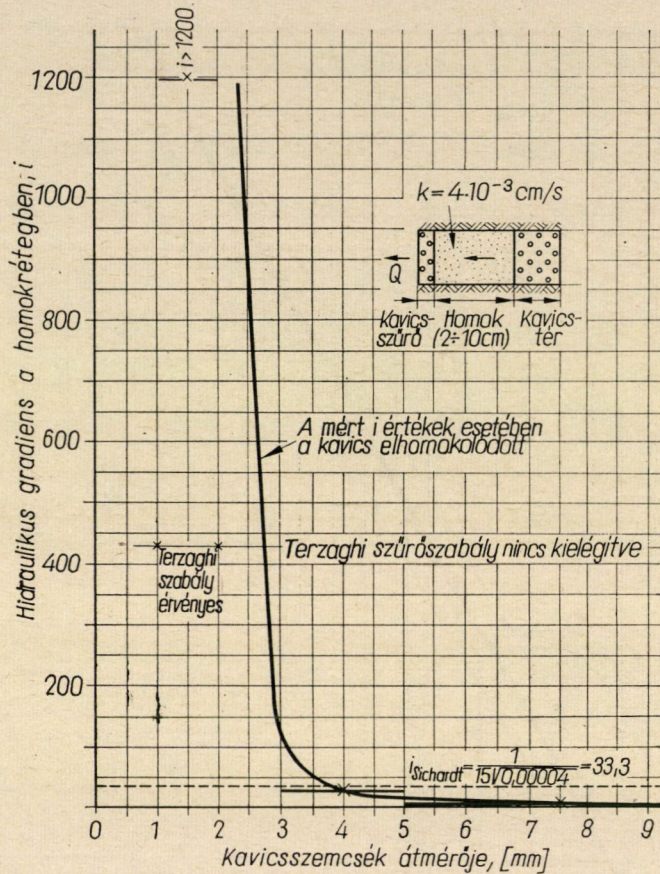
$$i = 0,18 \frac{s}{r_0} \quad (9)$$



6. ábra. A (9) egyenletnek megfelelő kísérleti adatok ábrázolása

összefüggés szerint alakul, ahol s a kútbeli leszívást jelenti. Az ábra jól érzékelteti, hogy a kút a vizsgált talaj esetében még a SICHARDT által vélt i_{cr} háromszorosánál sem homokolódott el, miután a szűrőváz kialakult.

Még kézzelfoghatóbb adatokat tartalmaz a 7. ábra. A közölt részlet-ábrán látható modellben a talajt különböző szemcseösszetételű kavicszűrőréteg támasztotta meg. Ezek szemcseösszetétele sorban az $5 \div 10$, $3 \div 5$, $2,2 \div 3$ és az $1 \div 2$ mm határok között volt. A kavicszűrő és a talaj között a Terzaghi-féle szűrőszabály mindössze csak az utolsó $1-2$ mm szemcseméret esetében van kielégítve. Az ábrán a vízszintes tengely a kavicszűrő szemcseméretét, a függőleges tengely a talajban kialakuló i hidraulikus esés értékét képviseli. Az ábra a Sichardt-féle, kritikusnak vélt esés $33,3$ értékét is tartalmazza. A görbéhez tartozó i értékek azokat a hidraulikus gradienseket foglalják ma-



7. ábra. A kritikus szivárgási sebességre vonatkozó kísérleti adatok

gukban, amelyek mellett a szóban forgó kavicszűrő elhomokolódott. Amint látható, ha a *szóbanforgó szemcseösszetételű* talaj esetében a Terzaghi-féle szűrőszabály kielégített, a talajt alkotó szemcsék halmazza stabilissá válik és az is marad, az *áramlási nyomás* gyakorlatilag nem befolyásolja még az $i \approx 1200$ nagyságrendnél sem.

A kritikus szivárgási sebességgel kapcsolatos kutatások szemléletének kialakítását jelentős mértékben elősegíti a KÉZDI által bevezetett *önszűrő talaj* fogalma. A jelenlegi vizsgálatok a 7. ábra gondolatköréből kiindulva, a talaj (és a kavicszűrő) *tényleges szemcseösszetételét reprezentáló* paraméterek alapján kívánja a kérdést tisztázni. A k tényező a kritikus szivárgási sebesség szempontjából nem tekinthető kielégítő paraméternek. A kritikus szivárgási sebesség kérdése a megcsapoló felületen jelentkező sebességeloszlás szempontjából a nyomás alatti réteget megcsapoló teljes kút esetében a legegyszerűbb. Nehezebb a helyzet a lebegő kút, továbbá a szabadfelszínű talajvízkút eseté-

ben, amikor is a szűrőfelületen a sebességérték változik. Ilyen utóbbi esetekre külön gondot kell fordítani, hiszen a kút elhomokolódása valójában a tényleges és nem pedig az átlagos szivárgási sebességgel van kapcsolatban.

2.5. A lebegő kút jellemzése

A kúthidraulika fejlődése során a *lebegő kutak* hidraulikája szinte állandóan napirenden van (MUSKAT, SZÉCHY, FORCHHEIMER, ARGUNOV, SCHMIEDER, KOZENY, CSARNÜJ, BREITENÖDER, TROMOFENKOV, ZAOUI).

KOVÁCS például a *komplex transzformáció* matematikai eszközeit alkalmazva a kút vízadóképességének számítására ad eljárást. A transzformációnak azt a módját alkalmazza, amelyben a szivárgási tér több lépéssel egységnyi széles, alul felül párhuzamos vízzáró síkkal határolt, két végén függőleges be- és kilépési felülettel lezárt rendszerré alakítható. Ha ennek a transzformált szivárgási térnek a hossza y_0 , magassága x_0 , a mozgást létrehozó potenciálkülönbség — ami az eredeti rendszerbeli potenciálkülönbséggel egyenlő — $k\Delta H$, a vízhozam a következő összefüggésből számítható:

$$Q = x_0 k \frac{\Delta H}{Y_0} . \quad (10)$$

A feladat megoldásához a több lépésben végrehajtott transzformáció alapján a matematikai modell X_0, Y_0 méretei és a vizsgált rendszer geometriai jellemzői közötti kapcsolatot kell meghatározni.

Az eljárás alkalmazása a lebegő szivárgóval megcsapolt nyomás alatti vízvezető rétegre a következő: a modell egyik méretét szabadon felvéve, legyen a vízszintes táplálási hossz az eredeti rendszer méretével azonos (8. ábra):

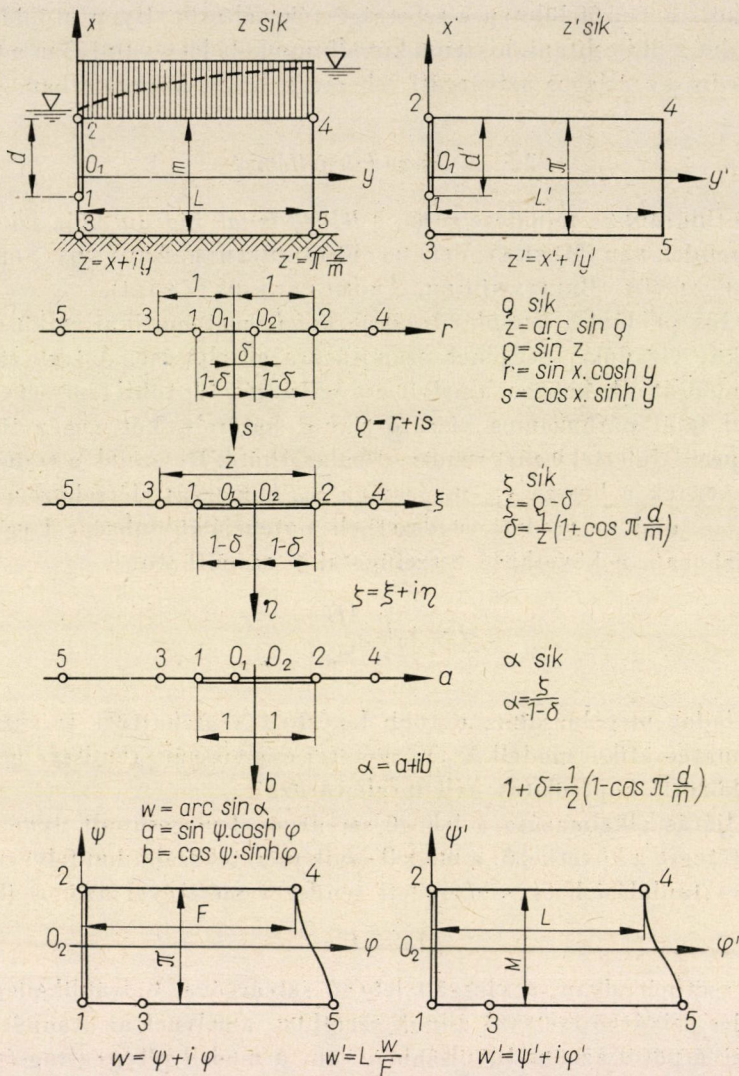
$$Y_0 = L . \quad (11)$$

Ebben az esetben olyan, a vizsgált lebegő szivárgóval hidraulikailag egyenértékű teljes szivárgó esetével állunk szemben, amelynek az utánpótlási szelvénye a szivárgótól azonos távolságban van, a modell rétegvastagsága pedig

$$X_0 = M = m \frac{L'}{\operatorname{Arcosh} \frac{\cosh L' - \delta}{1 - \delta}} , \quad (12)$$

$$\delta = \frac{1}{2} \left(1 + \cos \pi \frac{d}{m} \right); \quad L' = \pi \frac{L}{m} .$$

A feladat megoldásaként tehát a szivárgó *lebegő volta* a (12) összefüggéssel jellemzett *helyettesítő rétegvastagság* (X_0) felvételével vehető figyelembe. Ez utóbbit kell a (10) egyenletbe behelyettesíteni.



8. ábra. A lebegő szivárgóval megcsapolt nyomás alatti vízvezető rendszer leképezésének lépései

Teljesen hasonló módon járt el Kovács a nyomás alatti réteget megcsapoló lebegő kút esetében is, midőn a réteget teljesen harántoló helyettesítő kúttal dolgozott bizonyos érvényességi határokon belül.

Az újabb kismintavizsgálatok során ÖLLŐS – DÁVIDNÉ és SZOLNOKY részletesen foglalkoztak a nyomás alatti réteget megcsapoló vízellátási és vízszínsüllyesztési célból (pl. külszíni szénfejtésnél) létesített lebegő kutak hidraulikai kérdéseivel.

3. Kútsorok és kútcsoportok vizsgálata

A kutak egymásrahatásával kapcsolatos hidraulikai kutatások terebélyesednek. Érthető, hiszen a különböző vízellátási célból létesített szivattyúzást rendszerint több, egyidejűleg egymásra ható kútból eszközlik. Minthogy a szivárgási határfeltételek szabatos figyelembevételére az elméleti kutatások során gondolni sem lehet, *hiányzik az az elméleti alap*, amely működésük összehasonlításához igazolt számszerű adatokat szolgáltatna.

3.1. Talajvízkutak egymásrahatása

Az alapprobléma a kutak *egymásrahatásának* meghatározása. E tekintetben a szakirodalomban található megfogalmazási módoktól eltérő, újszerű szemléletet vezet be VÁCÁS, aki az egymásraható kutak esetében *vízhozam*-, ill. *leszívási határfokot* különböztet meg, megjegyezvén, hogy amilyen közelítésben elsőfokú egyenletű a kút karakterisztika, ugyanolyan közelítésben tekinthető a kétféle egymásrahatási határfok egyenlőnek.

A *leszívási határfok* értelmezése szerint

$$y_y = \frac{y_{11} + y_{22} + \dots + y_{nn}}{y_1 + y_2 + \dots + y_n} = \frac{\sum_{j=1}^n y_{jj}}{\sum_{j=1}^n y_j}, \quad (13)$$

ami azt mutatja meg, hogy egymás működését nem befolyásoló kutak esetében ugyanannak a vízhozamnak az elérésére az egymásrahatás által befolyásolt esethez képest hányadrésznyi leszívásösszeg lenne elegendő. A fenti képletben y_1, y_2, \dots, y_n az egymásrahatás során létrehozott leszívásokat, $y_{11}, y_{22}, \dots, y_{nn}$ pedig azokat a leszívásokat jelenti, amelyek a változatlan vízhozamoknak a szolgáltatásához a kutak önálló működése esetében elegendők lettek volna.

A különböző kutak által létesített leszívások egymásrahatás esetében összegezhethők. Így bármely i jelű kúton belül az együttes működés idején létesített y_i leszívás összetevődik egyrészt az önálló, változatlan vízhozamú leszívás létesítéséhez elegendő y_{ii} „saját” leszívásból, másrészt azoknak az y_{ij} „idegen” kutak által okozott leszívásoknak az összegéből, amelyeket a $j = 1, 2, \dots, i - 1, i + 1, \dots, n$ kutak i kútba metsződő leszívási vízszinvi vonalain hoznak létre. Ennek a gondolatmenetnek az alapján VÁCÁS az „idegen” leszívásokat „saját” leszívással fejezi ki. Az erre vonatkozó legáltalánosabb alakú egyenletet a következő formában írja fel:

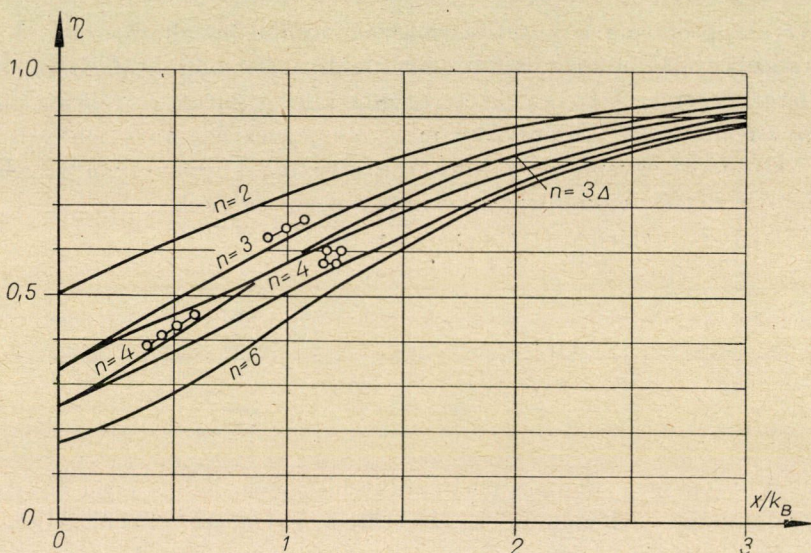
$$y_{ij} = y_{jj} A_{ij}, \quad (14)$$

ahol az A_{ij} mennyiség az egységnyi saját leszívás esetén érvényes idegen leszívást jelöli. Ennek értékében a leszívási vízszínvonal alakja és a kútmenti vízszínelszakadás mértéke egyaránt kifejezhető. Az A_{ij} érték az

$$A_{ij} = c_j e^{-x_{ij}/k_B} \quad (15)$$

egyenletből számítható, ahol c_j a vízszínelszakadás tényezője a j kútban, x_{ij} az i és j jelű kút egymástól való távolsága, $e = 2,718$, k_B a leszívási vízszínvonal görbületi alaphossza a Bólyai-geometria kifejezőmódja szerint. Értéke közelítőleg a

$$k_B [\text{m}] = 24 + 6 \log D_{10} [\text{mm}] \quad (16)$$



9. ábra. Kutak egymásra hatása esetében a hatásfok alakulása

összefüggésből számítható, ahol D_{10} a talaj 10 súly%-hoz tartozó szemcse-átmérője [mm]. Annak a LACZKÓ által korábban bevezetett feltevésnek megfelelően, hogy minden egyes együttműködő kútból azonos üzemi vízkivételre lehet számítani, az önálló működésre utaló „saját” leszívások minden kútra nézve egyenlők. Ennek a feltételnek az alapján VÁGÁS a leszívási hatásfok számításokhoz alkalmas alakját a következőkben adja meg:

$$y_y = \frac{1}{1 + \frac{1}{n} \sum A_{ij}} \quad (17)$$

Ez az egyenlet konkrét esetekre nézve külön megoldást igényel. A 9. ábra a k_B alapértékhez viszonyított x kúttávolságok függvényében az előzőekben

értelmezett hatások értékeit tünteti fel különböző kútelrendezések esetében. Az ábrából kitűnik, hogy a hatások a szabályos kútelrendezés esetén csökken leginkább, hiszen a kutak kölcsönös egymásrahatása ekkor érvényesül a legnagyobb mértékben.

3.2. A kútsor és a helyettesítő kútgaléria jellemzése

A kútsorokat hidraulikai szempontból leegyszerűsített formában függőlegesfalú galériaként igyekeznek számításba venni. Ez a közelítés az áramkép sajátosságai alapján válik lehetővé, hiszen az a kútsortól bizonyos távolságban nem a kutak számától és kiképzésétől, hanem inkább a kútsor helyszínrajzi elrendezésétől és teljes vízhozamától függ.

A helyettesítő galériával kapcsolatos kérdést KLAUS—TIEMER a következőképpen veti fel: vajon az adott méretű és kiképzésű kutak tudják-e a galéria alapján számított vízhozamot szállítani? A kútbeli vízszint ugyanis rendszerint korlátozott szintig szívható le.

A kútbeli, valamint a galériabeli vízszint kapcsolatára TIEMER a kútsor egy kútjának vízhozamát kifejező Muskat-féle

$$Q_B = \frac{\pi k (h_s^2 - h_B^2)}{2\pi \frac{s}{a} + \ln \frac{a}{2\pi r_B}} \quad (18)$$

összefüggésből indul ki. Ebben az ismert jelöléseken túlmenően $h = h_s$ érték, a az ehhez a h_s -hez tartozó két szomszédos kút közötti körívszakasz (10. ábra).

KLAUS—TIEMER a kútsor és az azt helyettesítő galériabeli vízszint (h_B , ill. h_G) közötti kapcsolat tekintetében a következő összefüggésre jut:

$$q = \frac{Q_B}{a} = \frac{k (h_s^2 - h_G^2)}{2s} \quad (19)$$

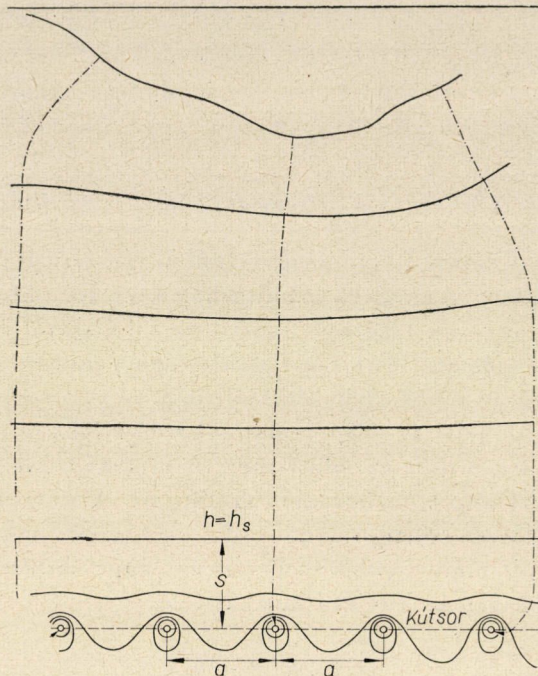
Ebből

$$h_s^2 = \frac{2s}{a} \frac{Q_B}{k} + h_G^2 \quad (20)$$

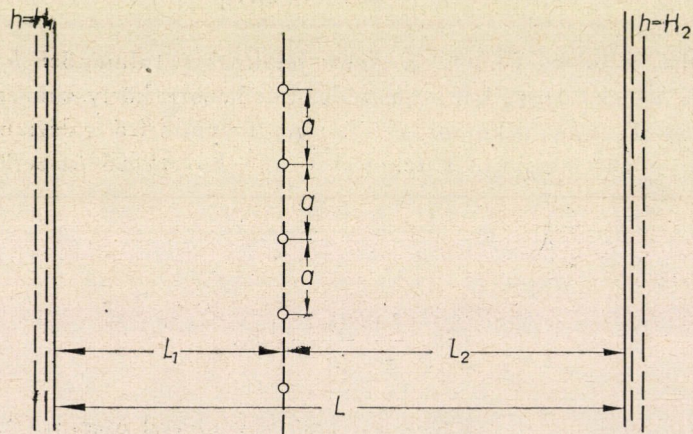
Ez utóbbi egyenletet a Q_B -t kifejező egyenlettel összevetve, kiadódik:

$$Q_B = \frac{2\pi \frac{s}{a} Q_B + \pi k (h_G^2 - h_B^2)}{2\pi \frac{s}{a} + \ln \frac{a}{2\pi r_B}}, \quad (21)$$

$$h_B^2 = h_G^2 - \frac{Q_B}{\pi k} \ln \frac{a}{2\pi r_B} \quad (22)$$



10. ábra. A (18) egyenletbeli a érték értelmezése



11. ábra. A (23) egyenletnek megfelelő szivárgási határfeltételek

Az ily módon felírt egyenlet egyoldali szivárgást tételez fel. A benne foglalt hidraulikai gondolat tehát jól érzékelteti, hogy azonos vízhozamhoz a galéria-beli vízszintet kisebb mértékig kell leszívni, mint a kutakban.

TIEMER ezt a közelítő összefüggést példákkal, kísérleti adatokkal támasztja alá. Pl. a 11. ábrán vázolt esetben a kútsor két, egymással párhuzamo-

san haladó élő vízfolyás között húzódik. A jelöléseket figyelembe véve, a helyettesítő galéria egységnyi hosszára eső vízhozam

$$q = \frac{k(H_1^2 - h_0^2)}{2L_1} + \frac{k(H_2^2 - h_0^2)}{2L_2}, \quad (23)$$

amiből a kútsor egy kútjának hozama:

$$Q_B = aq = \frac{ak [L_2 H_1^2 + L_1 H_2^2 - Lh_0^2]}{2L_1 L_2}. \quad (24)$$

TIEMER előzőkben bemutatott h_B^2 -re vonatkozó összefüggése felírásakor követett gondolatmenetnek megfelelően a

$$2L_1 L_2 Q_B = ak \left[L_2 H_1^2 + L_1 H_2^2 - Lh_B^2 - Q_B \frac{L}{\pi k} \ln \frac{a}{2\pi r_B} \right] \quad (25)$$

összefüggés alapján jut el a kútsor egy kútjának az adott határfeltételek melletti vízhozamára:

$$Q_B = \frac{\pi k \left[\frac{L_2}{L} H_1^2 + \frac{L_1}{L} H_2^2 - h_B^2 \right]}{\ln \frac{a}{2\pi r_B} + \frac{2\pi L_1 L_2}{aL}}. \quad (26)$$

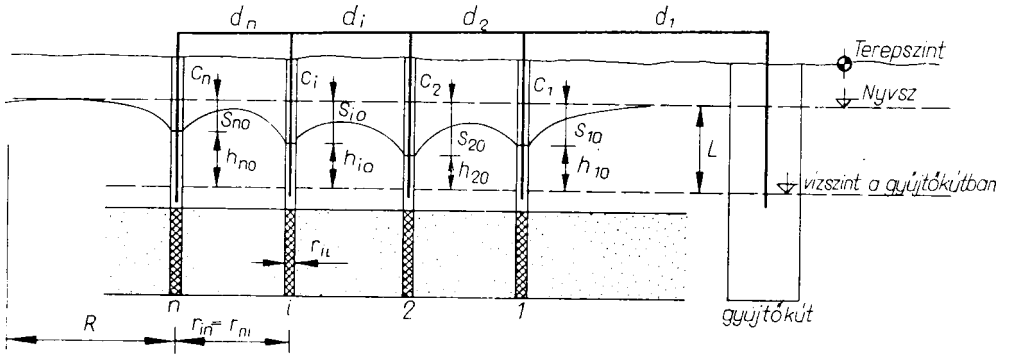
A következő kutatások során a kútgaléria problémáját a különböző előforduló esetekre egyaránt részletesen szükséges vizsgálni. Nemcsak a szabadfelszínű, de a nyomás alatti rétegekre, a kisebb és nagyobb terek (pl. külszíni szénfejtés) víztelenítésére nézve is egyre inkább sürgető konkrét hidraulikai jellemzéshez kell jutni.

3.3. Szivornyával működtetett kútsorok számítása

A kútsoportokkal kapcsolatos általános jellegű

$$\begin{aligned} s_{11} + s_{12} + \dots + s_{1j} + \dots + s_{1n} &= s_{10}, \\ s_{21} + s_{22} + \dots + s_{2j} + \dots + s_{2n} &= s_{20}, \\ \dots & \\ s_{i1} + s_{i2} + \dots + s_{ij} + \dots + s_{in} &= s_{i0}, \\ \dots & \\ s_{n1} + s_{n2} + \dots + s_{nj} + \dots + s_{nn} &= s_{n0}. \end{aligned} \quad (27)$$

egyenletrendszer gyakorlati alkalmazási köre meglehetősen korlátozott. Nagyobb számú kút esetében ugyanis a legritkább eset, amikor minden egyes kutat külön-külön vízemelő berendezéssel működtetnek. A (27) egyenletben s_{ij} a j kútból kivett vízhozam hatására létrejövő depresszió az i kútban, s_{i0} az egymásrahatás révén kialakuló depresszió az i -ik kútban. A kútcsoportok leggyakoribb esete a *kútsor*, amely esetben a kutakat gyűjtőkút közbeiktatásával *szivornyás rendszerként* működtetik. Ilyenkor az egyes kutakban az együttes működés révén kialakuló leszívási vízszintek, ill. az egyes kutak



12. ábra. A (28) egyenlethez tartozó hidraulikai paraméterek értelmezése

vízhozamai a kutakra vonatkozó (27) egyenletrendszeren felül a szivornya-rendszer hidraulikai feltételeitől is függenek. (Ezzel a kérdéssel a szakirodalomban például PAAVEL és KOCH foglalkozott.)

ALMÁSSY a szivornyás kútsorok tervezéséhez, valamint a már működők hidraulikai sajátosságainak ellenőrzéséhez gyorsműködésű elektronikus számológépekre programozott eljárást mutatott be.

A (27) egyenletrendszeren felül, amely csupán a kutakra vonatkozik, a *szivornya működésére vonatkozó egyenletrendszerre* is szükség van. Ehhez a csősúrlódási veszteség (helyi veszteségeket eljárása egyenlőre figyelmen kívül hagyja) a $h = \alpha q^2$ összefüggésből számítható. Itt h a nyomásesés, α ellenállási tényező — a csősúrlódási tényező és a csőhossz szorzata —, q a vízhozam. A 12. ábra jelöléseit szemmel tartva, a keresett egyenletrendszer:

$$\alpha_{c_1} q_1^2 + \sum_{j=1}^n \alpha_{d_j} \left(\sum_{i=1}^n q_i \right)^2 = L - s_{10},$$

(28)

.....

$$\alpha_{c_n} q_n^2 + \sum_{j=1}^n \alpha_{d_j} \left(\sum_{i=1}^n q_i \right)^2 = L - s_{n0}.$$

A szivornyaüzemű kútsor hidraulikai tervezéséhez tehát a (27) és (28) egyenletet *egyidejűleg* kell figyelembe venni, s a megoldást konkrét (nyomás alatti, vagy szabad felszínű réteg) esetre kell vonatkoztatni. Például a nyomás alatti rétegre (12. ábra) nézve a konkrét megoldáshoz még a jól ismert kút-képletet kell felírni, mégpedig a leszívást kifejező alakban:

$$s_{ij} = \frac{\ln R - \ln r_{ij}}{2 \pi k m} q_j = a_{ij} q_j. \quad (29)$$

A (27), (28) és (29) egyenlet alapján a *nyomás alatti réteget megcsapoló szivornyas kútsorra* vonatkozó egyenletrendszer:

$$\begin{aligned} F_1 &= \alpha_{c_1} q_1^2 + \sum_{j=1}^n \alpha_{d_j} \left(\sum_{i=1}^n q_i \right)^2 + \sum_{i=1}^n a_{1j} q_j - L = 0, \\ &\dots\dots\dots \\ F_n &= \alpha_{c_n} q_n^2 + \sum_{j=1}^n \alpha_{d_n} \left(\sum_{i=1}^n q_j \right)^2 + \sum_{j=1}^n a_{nj} q_j - L = 0. \end{aligned} \quad (30)$$

Ez az egyenletrendszer fokozatos közelítéssel (becsült $q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n$ vízhozamértékek felvétele alapján) oldható meg. ALMÁSSY a megoldáshoz matrixegyenlet-alakot használt.

A *szabad felszínű szivornyas kútsor* esetében a (27) és (28) egyenleten felül a (29)-hez hasonlóan a szabadfelszínű kútra érvényes

$$\begin{aligned} s_{ij} &= H - \sqrt{H^2 - q_j \mathcal{M}_{ij}} \\ \mathcal{M}_{ij} &= \frac{\ln R - \ln r_{ij}}{k \pi} \end{aligned} \quad (31)$$

összefüggésre is szükség van. A keresett egyenletrendszer:

$$\begin{aligned} F_1 &= \alpha_{c_1} q_1^2 + \sum_{j=1}^n \alpha_{d_j} \left(\sum_{i=1}^n q_i \right)^2 + \sum_{j=1}^n \sqrt{H^2 - q_j \mathcal{M}_{1j}} - nH - L = 0, \\ &\dots\dots\dots \\ F_n &= \alpha_{c_n} q_n^2 + \sum_{j=1}^n \alpha_{d_n} \left(\sum_{i=1}^n q_i \right)^2 + \sum_{j=1}^n \sqrt{H^2 - q_j \mathcal{M}_{nj}} - nH - L = 0. \end{aligned} \quad (32)$$

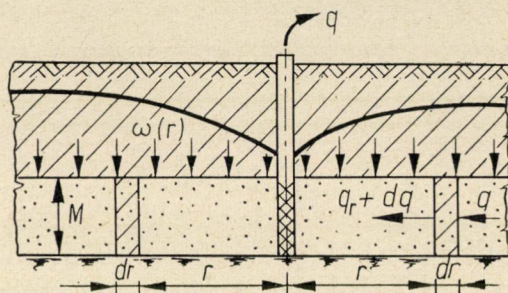
Az egyenletrendszer megoldásának elve a (20) egyenlettel kapcsolatban említettél azonos.

ALMÁSSY az ismerttetett számítási eljárások elektronikus számológépre alkalmas programját is elkészítette. Ebben már a helyi ellenállásokat és a gyűjtőkút helyének tetszőleges voltát is figyelembe vette. A kútsorokkal kap-

esolatos hidraulikai számítások rendszerint bonyolult, hosszadalmas volta miatt, a jövőbeli fejlődés szempontjából az *elektronikus számológépek fokozott szerepét* kívánatos e helyen is hangsúlyozni.

4. A Dupuit—Thiem-féle elmélet alkalmazhatósága a rétegek harántirányú kommunikációja esetében

A vízvezető rétegek hidraulikai kapcsolata létrejöhet oly módon, hogy a vízvezető rétegeket elválasztó rosszabb vízvezető rétegek a nagyobb nyomáskülönbség hatására a harántirányú kommunikációt lehetővé teszik. További



13. ábra. A (33) egyenletben alkalmazott jelölések értelmezése

ilyen lehetőség a tektonikai törési síkok mentén el nem tömített furatokon, aknákon stb. át jelentkezhetik. A szivárgás-hidraulikai feladatok között gyakran szerepel ez az eset is. SCHMIEDER erre az esetre nézve megvizsgálja, hogy a már ismert, a permanens szivárgási folyamatra vonatkozó Dupuit—Thiem-féle elmélet alkalmazható-e. A kommunikáció révén a megcsapolt rétegbe jutó vízmennyiség (ω) a 13. ábra jelöléseit szem előtt tartva a

$$dq = -2\pi r \cdot dr \cdot \omega(r) \quad (33)$$

összefüggésből számítható. A megcsapolt rétegben szivárgó vízmennyiséget a

$$q = 2\pi r M \frac{d\Phi}{dr} \quad (34)$$

összefüggés szolgáltatója. A vízmennyiségváltozás:

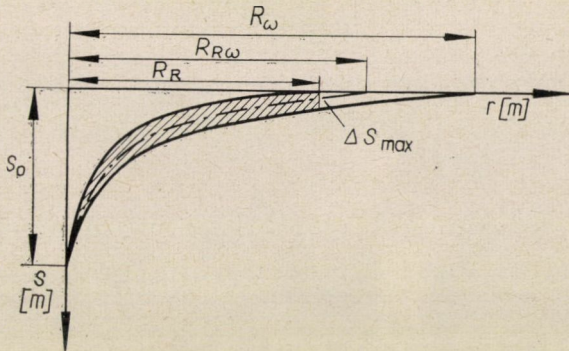
$$\frac{dq}{dr} = - \left(2\pi M \frac{d\Phi}{dr} + 2\pi r M \frac{d^2\Phi}{dr^2} \right) = -2\pi r \omega(r). \quad (35)$$

Ezen egyenlet rendezése után a szóbanforgó szivárgási folyamatra vonatkozó differenciálegyenlet:

$$r \frac{d^2 \Phi}{dr} + \frac{d\Phi}{dr} = \frac{r\omega(r)}{M} \quad (36)$$

Ebből a határfeltételek (tehát a víz a megsapolt rétegben $[q_R]$ és felülről $[q_{\omega\delta}]$ egyidejűleg utánpótlódik) figyelembevételével alapján a kútbeli leszívás:

$$s = - \frac{(R^2 - r^2) \pi \omega}{4 \pi k M} + \frac{(q_{\omega\delta} + q_R)}{2 \pi k M} \ln \frac{R}{r} \quad (37)$$



14. ábra. A kút hatástávolságának alakulása a vízutánpótlódási viszonyok függvényében

Ebben az összefüggésben ha $\omega = 0$, akkor a Dupuit–Thiem-féle összefüggéshez jutunk.

Ha csak függőleges vízutánpótlódás van, akkor az s leszívásra SCHMIEDER a következő egyenletre jut:

$$s = \frac{q_{\omega\delta}}{2 \pi k M} \left(\ln \frac{R}{r} - \frac{1}{2} \right) = \frac{q_{\omega\delta}}{2 \pi k M} \ln \frac{R}{1,65 r_0} \quad (38)$$

Vagyis azonos kút- és rétegjellemzők mellett, ha a víz csak harántirányból pótlódik, a kút hatástávolsága (R_ω) 1,65-ször nagyobb a csupán radiális irányú utánpótlódáshoz tartozó hatástávolságnál (R_R):

$$R_\omega = 1,65 R_R \quad (39)$$

Mindkét irányú vízutánpótlódás egyidejű létezése esetében a hatástávolság ($R_{R\omega}$) a

$$R_\omega > R_{R\omega} > R_R \quad (40)$$

tartományban keresendő. Ennek megfelelően a vízutánpótlódási viszonyoktól függően kell a leszívási felületet is figyelembe venni (14. ábra). A legnagyobb mértékű depresszió a harántirányú vízutánpótlódáshoz tartozik.

Ha a valóságban a leszívási felület mérési adatok alapján ismert, azonban a harántirányú vízutánpótlódásról nem veszünk tudomást, s a szélső helyzet feltételezéséből kiindulva ($\omega = 0$), a Dupuit—Thiem-féle képlettel dolgozunk, akkor a hidraulikai paraméterek (pl. k tényező, Δs leszíváskülönbség) bizonyosfokú hibával terheltek. A k tényezőre vonatkozó hibára SCHMIEDER a

$$\Delta k = \frac{(r^2 - r_0^2) \pi \omega}{4 \pi M (s_0 - s)} \text{ [m/sec]} \quad (41)$$

értéket, a leszívási felület számításakor adódó hibára pedig a

$$\Delta s = \frac{(r^2 - r_0^2) \pi \omega}{4 \pi k M} \text{ [m]} \quad (42)$$

összefüggést adja meg. A hiba nagyságrendjére jól rávilágít a következő példa: ha $R = 750$ mm, $r_0 = 0,15$ m, akkor a maximális relatív %-os hiba k tényezőt illetően:

$$\frac{\Delta k}{k} = - \frac{0,21}{3,7} 100 = - 5,7 \%$$

A víztermelő kúthoz közeledve a hiba *csökken*. Hasonló nagyságrendű a hiba a $\Delta s/s$ számításakor is.

Ezek szerint, ha van is az egyes vízvezető rétegek között lokális kommunikáció, a számítások a gyakorlat számára viszonylag megbízható módon végezhetőek el.

A vázolt számítási eljárás permanens szivárgásra vonatkozik. Minthogy a valóságban tulajdonképpen legtöbbször *nempermanens* vízmozgásokkal állunk szemben, ezért a hibaszámításakor ennek a tényezőnek a hatását is célszerű lenne figyelembe venni, avagy a rétegek közötti kommunikáció feltételezése esetében a 2. fejezetben említett nempermanens mozgásra vonatkozó Hantush—Jacob-féle számítási eljárás alkalmazhatóságára is célszerű lenne gondolni.

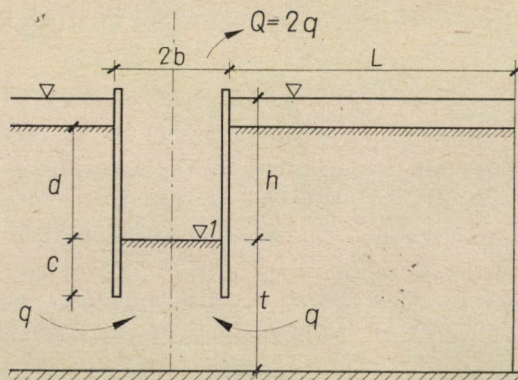
5. Talajvízszínsüllyesztés

A talajvízszínsüllyesztés hidraulikájához már az előző fejezetekben is számos vonatkozás található. A kútgalériával, a kritikus szivárgási sebességgel, valamint a kútsorokkal kapcsolatos megállapítások jelentékeny része a vízszínsüllyesztési folyamatokra is értelmezhető.

5.1. Nyíltvíztartásos talajvízszínsüllyesztés

A *nyíltvíztartásos talajvízszínsüllyesztés*nek a vízutánpótlódás mikéntje szempontjából két alapesete van: a) a víz *felülről pótlódik* (ilyen eset áll elő

például a mederbe mélyített szádfalas munkagödörben), b) a víz oldaltirányból pótlódik. Mindkét esetben a munkaárok feneké alatti térben, a kilépés környezetében kialakuló szivárgás jellemző paramétereinek a meghatározásán van a hangsúly. A veszélyt a buzgárok fellépte s az esetleges talajtörés jelenti. A nyíltvíztartásos talajvízszín-süllyesztés tervezéséhez szükséges paraméterek meghatározása különösen azért fontos, mert közismert, hogy költségek szempontjából ez a legkedvezőbb vízszínsüllyesztési eljárás.



15. ábra. A szádfalas munkaárokba való, felülről kialakuló vízutánpótlódás esete

A következőkben az a) esettel, vagyis a felülről kialakuló vízutánpótlódás esetével foglalkozunk MOLNÁR nyomán. A vízszínsüllyesztés rendszeréről, az egyes geometriai jelölésekről a 15. ábra tájékoztat.

Elméleti megoldás mind ez ideig csak arra az esetre nézve ismeretes, amikor $t = \infty$, vagyis a vízzáró réteg végtelen mélységben van, s ez HAAR és DEENTŐL származik. A konform leképezési eljárás révén a z és t sík között az összefüggést a

$$z = \frac{2b}{\pi} \left[\left(E' - K' - \frac{d}{b} E \right) u + \left(K' + \frac{d}{b} K \right) E(u) \right] \quad (43)$$

alakú függvénykapcsolattal fejezik ki, melynek megoldása u segítségével határozható meg.

A w és t közötti összefüggést a

$$w = \frac{M}{m} \int_0^t \frac{dt}{\sqrt{(1-t^2)(1-t^2/m^2)}} - \frac{iq}{2} = Mu - \frac{iq}{2} \quad (44)$$

alakú függvénykapcsolat fejezi ki. A megoldás eredményeként a munkaárok fenekén az átlagos kilépési gradiens, a szádfalak belső oldala melletti fenéken levő maximális kilépési gradiens, valamint a vízhozam számítható.

Az esetek zömében azonban $t \neq \infty$. Ilyenkor, amikor tehát a vízzáró réteg a fenékhez vagy a szádfalak alsó éléhez közelebb esik, a szivárgás jellemzői a $t = \infty$ esethez képest módosulnak, *kedvezőtlenebbül* alakulhatnak.

A Haar—Deen-féle elméletből a fenéken kialakuló I_{\max} és I gradiens egymással való kapcsolatára nézve bármilyen d/b arány (értelmezés a 15. ábrán) esetére érvényesek az alábbi összefüggések:

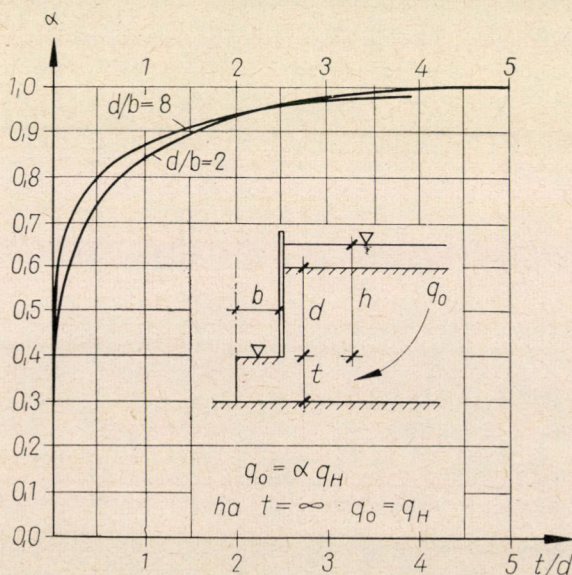
$$\frac{I_{\max}}{I_{\text{átl}}} \leq 2, \quad (45)$$

$$\frac{c}{b} \geq 0,2.$$

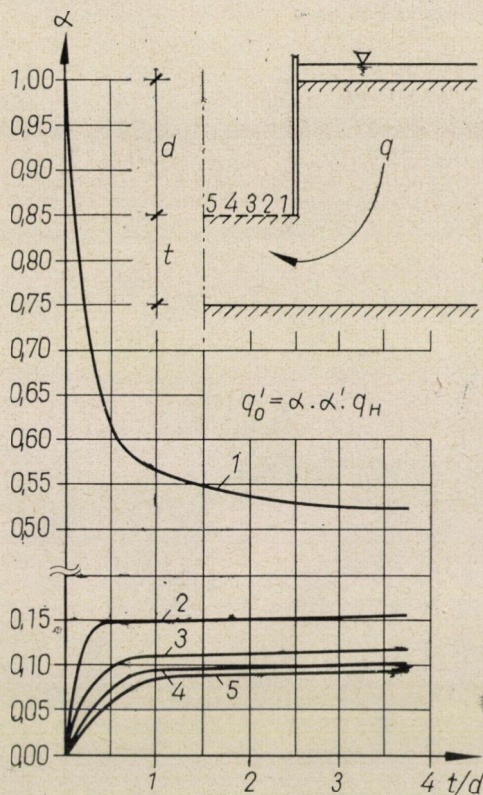
Ezek szerint ha a szádfal fenék alatti mélysége (c) a munkaárok fél szélességének 20%-nál nagyobb, a maximális kilépési gradiens nem nagyobb az átlagos gradiens kétszeresénél. Ebből a megállapításból tehát a szádfalak szivárgás szempontjából megnyilvánuló szerepének fontossága tűnik ki.

A gyakorlat szempontjából azonban a vízzáróréteg végtelen és véges helyzetéből származó egymásnak megfelelő hidraulikai jellemzőket célszerű elsősorban összehasonlítani. MOLNÁR ilyen irányú vizsgálatainak első része a munkaárok fenékszintjéig lenyúló szádfalakra vonatkozik ($c = 0$). A 16. ábra értelmezése szerint a t paramétert, valamint a d/b arányszámot változtatva kitűnik, hogy

$$\frac{t}{d} \geq 2,5$$



16. ábra. A munkaárokba szivárgó víz mennyisége véges mélységben levő vízzáró réteg jelenlétében



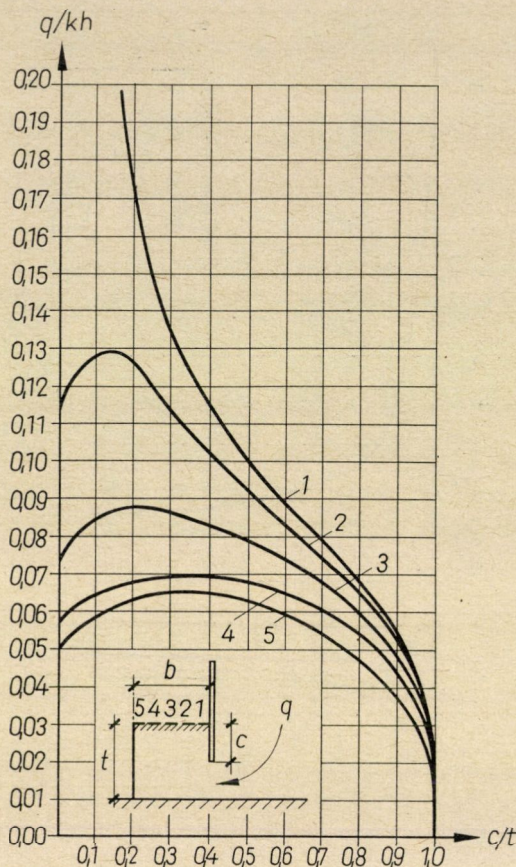
17. ábra. A munkaárok fenékszélessége mentén kialakuló vízhozameloszlás a kísérleti adatok tükrében

esetében a $t < \infty$ és a $t = \infty$ esethez tartozó, a munkaárokba jutó teljes vízhozam (q_0 , ill. q_H) egymással való kapcsolata a

$$q_0 \approx q_H \quad (46)$$

összefüggés szerint alakul. Ebben a tartományban a kétféle vízhozam egymástól mindössze csak 5% nagyságrendben tér el.

A fenék szélessége mentén a vízhozam eloszlásának konkrét meghatározásához a fenéig lemélyített szádfalak esetében MOLNÁR oly módon jutott el, hogy a fenék szélességét az elektromos modellen részekre osztotta (a fél fenékszélességet öt részre), s meghatározta az egyes felületrészek részesedési arányát a teljes beáramló vízmennyiségből. Ezeket az arányokat a t/d vízvezető rétegvastagság függvényében a 17. ábra szemlélteti. Az ábrából kitűnik, hogy nagyon kis vízvezető rétegvastagság esetén a teljes beáramló vízmennyiség legnagyobb része a szádfalhoz legközelebb eső felületrészen keresztül jut az árokba. Ez a vízmennyiség a t/d arány növelésekor rohamosan csökken, de



18. ábra. A szádfalak szerepe a munkaárok fenékszélessége menti beszivárgó vízmennyiség eloszlásában

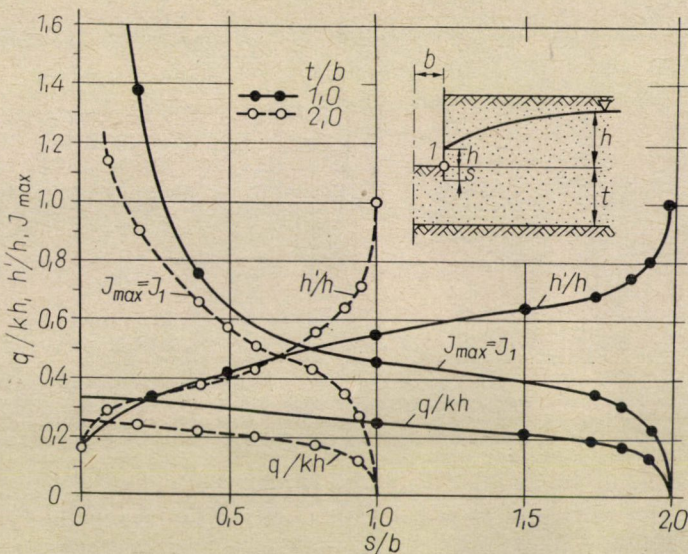
még nagy t/d értéktartományban is mintegy 50% vízmennyiség jut a szádfal melletti $1/5$ fenékszélességre.

Ha az előző esethez képest a szádfalak a munkaárok fenéksíkja alá nyúlnak, akkor $d/b = 2$, és $t/d = 0,5$ arányszámokra vonatkozólag az egyes fenéken levő felületrészek vízhozam-részesedési arányát a c/t függvényében a 18. ábra szemlélteti. A görbék alapján újra csak kitűnik a szádfalak szerepe a szádfalakhoz közelebbi árokfenékrészen átszivárgó vízmennyiség csökkentésében.

Az adatok értékelése a szádfal alsó éle közvetlen környezetében kialakuló szivárgási mező vízmozgás állapota szerinti vizsgálatára is kiterjed. Ebben a térrészben a tehetetlenségi erők szerepe fokozottabb, ami a buzgárképződés és a talajtörés elméleti vizsgálatokor is figyelembe veendő.

Ezekből az utóbbi kísérleti adatokból is arra lehet következtetni, hogy a tehetetlenségi erő áramképtorzító hatásának tisztázására irányuló részletes kutatásokat mielőbb célszerű megindítani.

A nyíltvíztartással kapcsolatos hidraulikai kutatások *időszerű fejlesztési irányát* nagyon jól szemlélteti a MOLNÁRTól származó összefoglaló jellegű 19. ábra. Szerinte a hidraulikai paraméterek összességének egymással való kapcsolatát kell konkrétan tisztázni a szóbanforgó szivárgási határfeltételek maradéktalan figyelembevételével. Amint az ábrából is kitűnik, pl. egyáltalán nem közömbös, hogy mekkora a munkaárok szélessége. Pedig ezt a paramétert a meglévő számítási képletek nem kezelték megfelelő súllyal.



19. ábra. A munkaárok víztelenítésével kapcsolatos szivárgási paraméterek kapcsolata

Ismert tény, hogy a nyíltvíztartásos talajvízszínsüllyesztés tervezésekor az egyik legnagyobb gondot a talajtörés problémája jelenti. A talaj a munkaárok feneké környezetében a talajtörés veszélyének szabatos meghatározása szempontjából tulajdonképpen sohasem tárható fel. A meglévő elméleti vagy empirikus jellegű összefüggések pedig olyan tényezőket hanyagolnak el, amelyek szerepe nem lebecsülendő. Erre mutat rá MOLNÁR a 20. ábrával kapcsolatban, midőn a *talajtörés kritériumával* foglalkozik.

A *függőleges irányú, párhuzamos áramvonalú szivárgásra* vonatkozó talajtörési kritérium TERZACHITól származik:

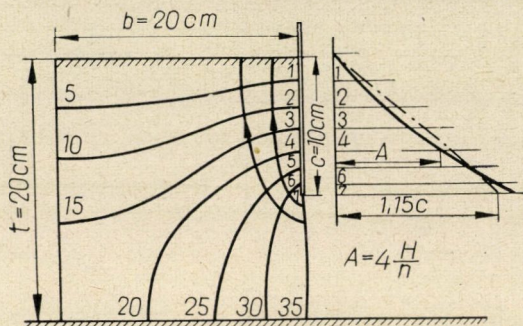
$$\frac{\Delta h}{\Delta l} \leq (1 - n)(\gamma_s - 1) = i_{cr}. \quad (47)$$

Itt n a talaj hézagterfogata, γ_s a talaj fajsúlya, Δl a talajhasáb magassága, Δh a talajhasáb alsó és felső részére ható nyomáskülönbség, i_{cr} a kritikus esés.

A szivárgások zöménél azonban a fenti egyenlethez tartozó hidraulikai feltételek, vagyis a függőleges irányú, párhuzamos áramvonalú mozgás nem áll fenn. A szivárgási áramvonalak rendszerint *görbe vonalak*.

Az egyensúlyi feltétel meghatározásának elve tetszőleges potenciálvonalakkal határolt felületekre nézve:

$$\frac{\sum \Delta h}{\sum \Delta l} \leq i_{cr}. \quad (48)$$



20. ábra. A talajtörés kritériumának vizsgálata a szádfal oldala mentén

Ezen gondolatból kifolyólag a 20. ábrán vázolt szádfal bal oldalán levő talajhasáb egyensúlyának vizsgálatához elegendő a szádfalcsúcson mért potenciálértéket (a) meghatározni, hiszen a szádfal alsó élére nézve az előbbi egyenlethez a következő alak származtatható le:

$$ah \leq i_{cr} c. \quad (49)$$

Itt c a szádfal mélysége a munkaárok feke alatt, h a szivárgást létrehozó nyomáskülönbség. Ily módon a talajtörés kritériuma:

$$h \leq i_{cr} \frac{c}{a}. \quad (50)$$

A vizsgálatok arra utalnak — amint MOLNÁR bizonyította —, hogy *a talajtörés ennél nagyobb h értékeknél áll elő*. Ennek oka minden bizonnyal az, hogy a talaj belső súrlódása nincs figyelembe véve, továbbá az a körülmény, hogy a víz nem teljesen függőleges irányban való szivárgása folytán nem működik a teljes felhajtóerő.

A *buzgárképződés* kialakulására nézve MOLNÁR hidraulikai modell-adatokat szemléltet (I. táblázat). A 2—6. oszlop az árok választott felületrészein

I. táblázat

Modell száma	h [cm]	q [cm ³ /sec/cm · 10 ⁻³]						V _{max} [cm/sec 10 ⁻³]	I _{max}	I _a	I _B
		1	2	3	4	5	q				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	15,6	38,65	9,23	5,66	3,61	4,50	61,68	9,65	1,39	0,45	0,39
	20,0	52,73	11,01	6,97	4,51	5,45	80,67	13,20	1,91	0,63	0,50
	24,4	71,28	12,97	7,78	5,19	6,06	103,23	17,90	2,60	0,75	0,61
	30,0	94,18	15,09	9,27	6,33	7,55	132,42	23,60	3,43	0,96	0,75
	38,5	137,74	18,24	11,01	8,18	9,12	184,29	33,80	4,90	1,34	0,96
c = 10 cm						c/t = 0,5					
2	24,7	12,88	8,64	10,66	5,51	8,20	45,89	3,23	0,47	0,33	0,40
	40,0	16,71	9,27	9,71	6,08	7,01	48,78	4,18	0,61	0,35	0,67
	49,2	21,55	10,00	9,13	6,46	6,71	53,85	5,42	0,79	0,39	0,82
3	25,8	10,17	7,16	11,94	5,72	12,00	46,99	2,54	0,37	0,34	0,43
	40,0	13,23	9,01	8,75	6,08	10,17	47,24	3,33	0,48	0,34	0,67

átszivárgó vízmennyiséget képviseli. A 7. oszlop az árokba jutó teljes vízmennyiséget érzékelteti. A 8. oszlop a szádfal melletti 1 jelű felületrészhez tartozó, maximális szivárgási sebesség értékeit tartalmazza; a 9. oszlop ennek a v_{\max} -nak az alapján számított

$$I_{\max} = \frac{v_{\max}}{k}$$

értékeket képviseli. A 10. oszlop az I_a az átlagos, a 11. oszlop a legkisebb áramlási hossz alapján számított Bligh-féle

$$I_B = \frac{h}{d + 2c}$$

gradiens-értékeket tünteti fel.

Az 1. sz. kísérletcsoport alapján a következő fontos megállapítás tehető: az $I_{\max} = 2,60$ értéknél indult csak meg a buzgárképződés, amihez $h = 24,4$ cm tartozott. Ez arra mutat, hogy a munkaárok szádfal melletti felületrészén a Terzaghi-féle kritikus esésnél jóval nagyobb esés — annak többszöröse — is felléphet anélkül, hogy talajtörés állna elő. Ugyanakkor a legkisebb áramlási hossz, vagy a teljes fenékfelülethez tartozó átlagos sebességből meghatározott I_B , ill. I_a hidraulikus gradiensek az egységénél kisebb, vagy akörüli értékre adódtak.

A tervezéskor tehát homogén talaj esetében az eddigi gyakorlatban alkalmazott gradienseknél nagyobb gradiensek felvétele látszik indokoltnak. Hangsúlyozni kell azonban azt, hogy a talaj inhomogén állapotából kifolyólag jelentkező hatások nagyságrendjére nézve is gondolni kell, vagyis ilyen irányú vizsgálatokra is szükség van.

5.2. Nagyobb terek víztelenítése szűrőkutakkal

A kisebb műtárgyak és a vonalas létesítmények építésekor számos esetben szükséges talajvízszínsüllyesztés műszaki és gazdaságossági kérdéseit illetően mind a nyíltvíztartás, mind a szűrő- és vákuumkutas süllyesztés esetében ma már legalább is gyakorlati szempontból kiterjedt tapasztalatokkal rendelkezünk.

A nagyobb terek víztelenítése azonban jónéhány olyan hidraulikai problémát is felvet, amelyek megoldása még további jelentős kutatási munkát igényel. Az utóbbi időben Magyarországon a gyöngyösvisontai külszíni szénfejtési munkálatokkal kapcsolatban nagyobb terek víztelenítésére vonatkozó elméleti és gyakorlati kérdéseket is tovább lehetett fejleszteni. SCHMIEDER egyértelműen mutat rá arra, hogy a nagyobb terek víztelenítése során a legfontosabb probléma a *műszaki és gazdaságossági szempontból* egyaránt helyes víztelenítési mód és rendszer megválasztása. Ezt a víztárolók térbeli helyzete, a kőzetek vízáteresztőképessége, a vágathajtás lehetősége és az utánpótlódó víz mennyisége, valamint a gazdaságosság határozza meg. A megoldások közül a bányászatban az részesítendő előnyben, amelyben a műszaki követelmények kielégítésén felül a termelés a *legkisebb fajlagos költséggel* valósítható meg.

A víztelenítés folyamata a potenciális, nempermanens szivárgás törvényei alapján kezelhető.

A víztelenítés hidraulikai folyamata a következő négyféle mód egyikével valósítható meg (21. ábra).

A *nyíltvíztartás* hidraulikai szempontból a legegyszerűbb védekezési mód [a] ábra]. Alkalmazásakor lényegében a talpból és rézsükből szivárgó vizet kell csak emelni, ami néhány célszerűen elhelyezett zsomppal, szivattyúval és a talpon elhelyezett csatornarendszerrel megoldható.

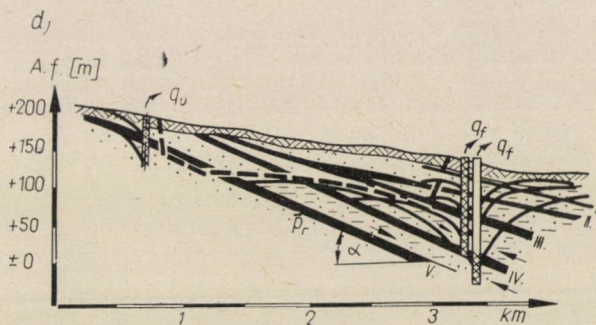
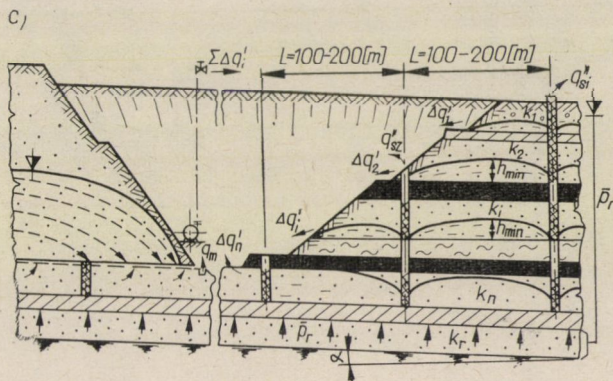
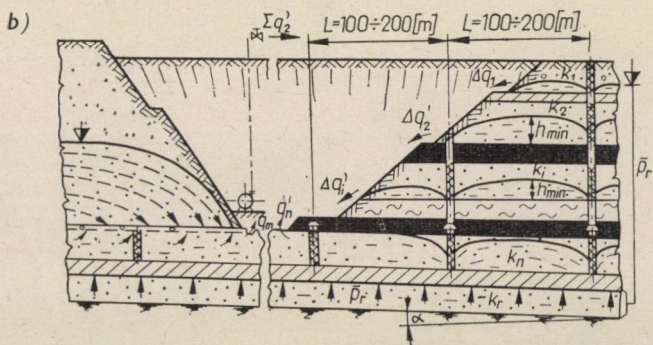
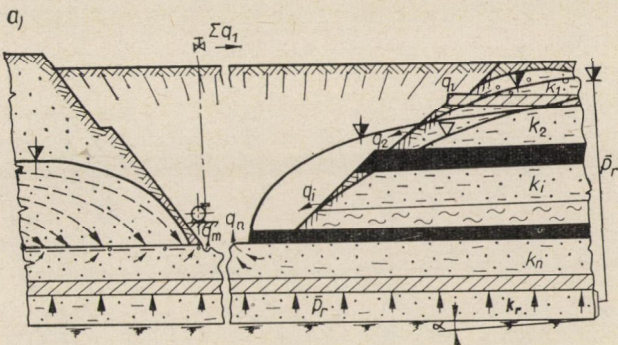
A *kombinált védekezési mód* [b] ábra], mint az ábrából is kitűnik, a felszínről és földalatti térségből telepített csapoló elemekkel oldja meg a fedőrétegek víztelenítését és a fedő feszültségmentesítését. Szintes település esetében a kombinált védekezési móddal egyenértékű védettséget a szűrőkutas megoldás biztosít.

A *szűrőkutas megoldás* [c] ábra] legnagyobb hátránya, hogy a kutak termelékenysége időben rohamosan csökken, ezért a vízemelés határfoka lényegesen romlik, ami a módszer gazdaságosságát és alkalmazhatóságát hátrányosan befolyásolja. Ferde víztárolók lecsapolására a réteghiűrés alkalmazható.

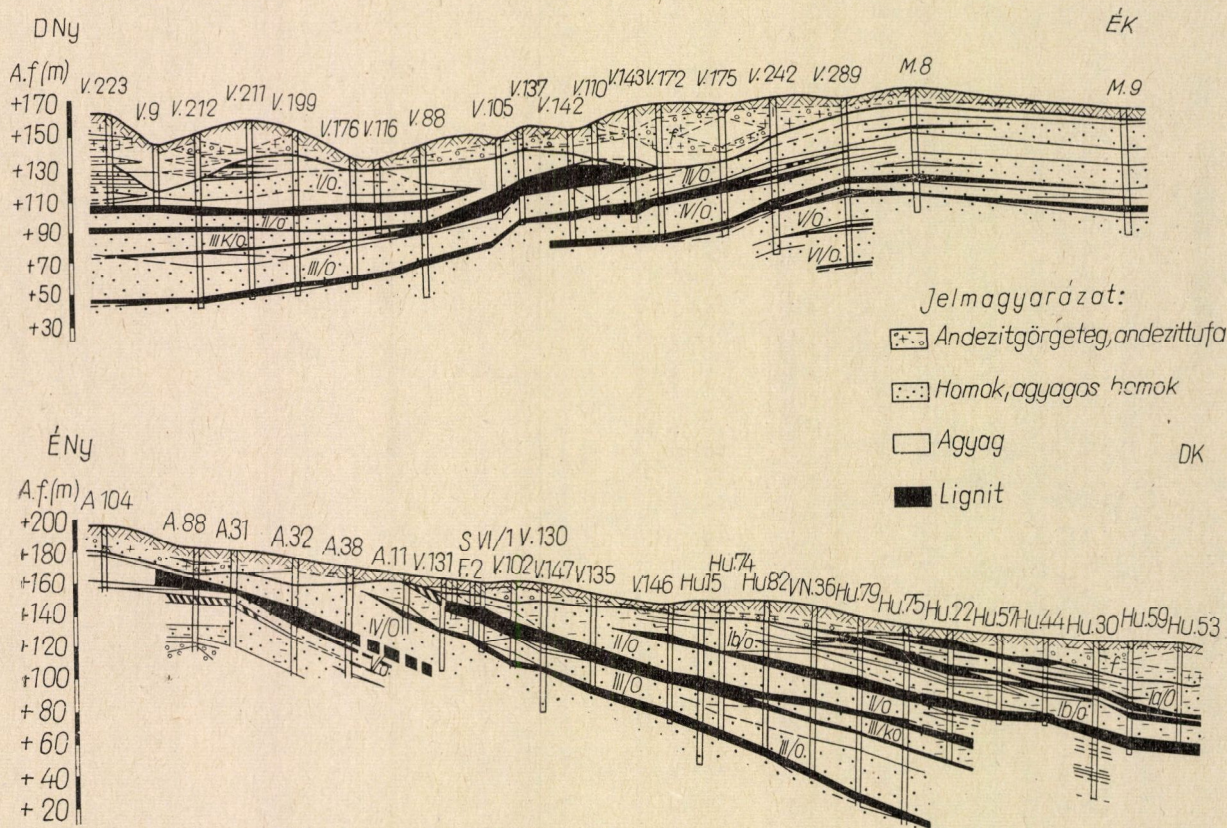
A *réteghiűréses védekezési mód* [d] ábra] a védett terület határán elhelyezett egyetlen kútgalériával oldja meg a víztárolók víztelenítését és feszültségmentesítését.

A gyöngyösvisontai külszíni szénfejtés esetében a víztelenítendő tér felépítéséről a 22. ábra (földtani metszet) tájékoztat.

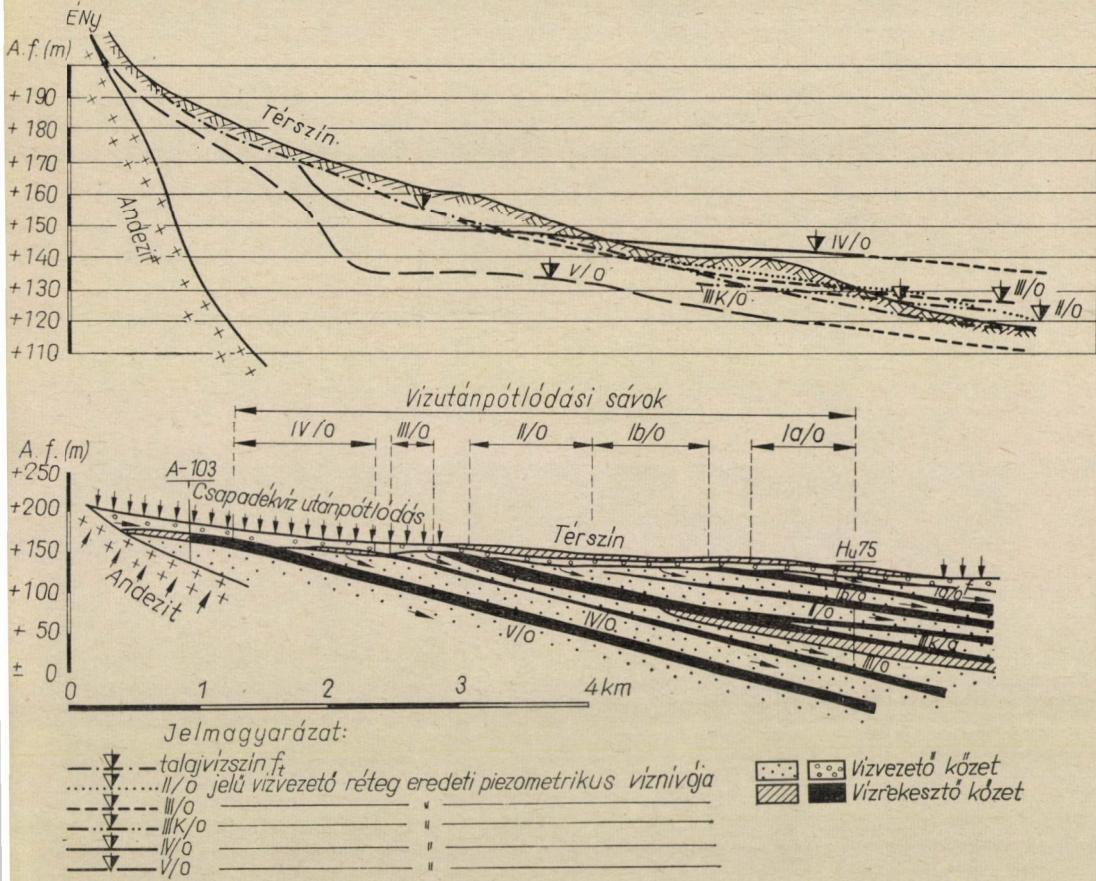
A vízutánpótlódási és az egyes rétegekbeli piezometrikus nyomásokat



21. ábra. A munkaterek víztelenítésének alapesetei



22. ábra. A víztelenítendő tér földtani felépítése

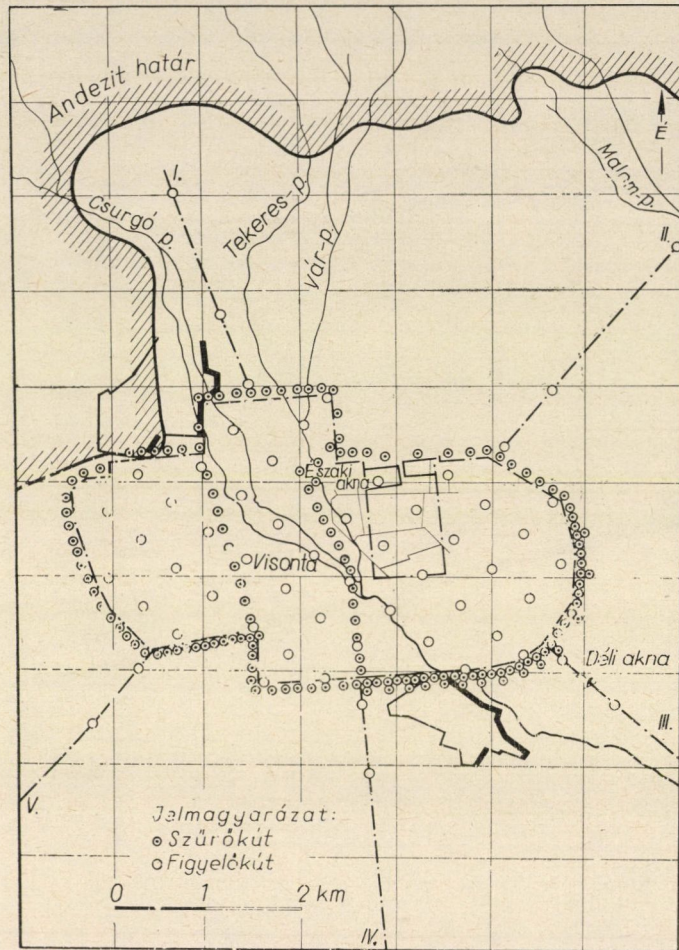


23. ábra. A vizutánpótlódási- és az egyes rétegekbeli piezometrikus nyomás-viszonyok alakulása

a 23a) ábra szemlélteti. A felsőpannóniai rétegek $2 \div 3^\circ$ -os dőléssel lejtnek az Alföld irányában, a felszín felé kiemelkednek.

Az adott hidrogeológiai viszonyok mellett a kombinált és a réteghiürítéssel védekezési mód került szóba. Az előző esetben a legelső, bányászat alatt álló rétegben csapásirányban egymástól $110 \div 120$ m távolságban vízmentesítő vágatokat, azok tengelyében $25 \div 50$ m-ként ejtőszűrőket, bevert szűrőket, talpszűrőket, a rendszer határán pedig szűrőkutak telepítését irányozták elő. Ez a mód azonban viszonylag magas fajlagos termelési költséget eredményez.

Amint SCHMIEDER bizonyította, beható vizsgálatok után kitűnt, hogy a csapolt vízmennyiségnek kb. 50%-a tárolt vízkészlet, ami a kiemelkedés határán jelentkező vízkészletváltozából ered. A korlátozott vizutánpótlódás az adott rétegdőlés mellett a *d*), vagyis a külfejtés határán elhelyezett egyetlen kútgalériával való réteghiürítési mód javaslatbáhozatalához vezetett (24. ábra).



24. ábra. A kútgalériás réteghiürítési mód gyakorlati megvalósítása

Időszerű és jelentős hidraulikai problémát jelent még ma is a kútszerű víztermelők (pl. bányák) vízhozamának és depressziós sugarának meghatározása. LÉCZFALVY ilyen vonatkozású *matematikai modelleket* vizsgált.

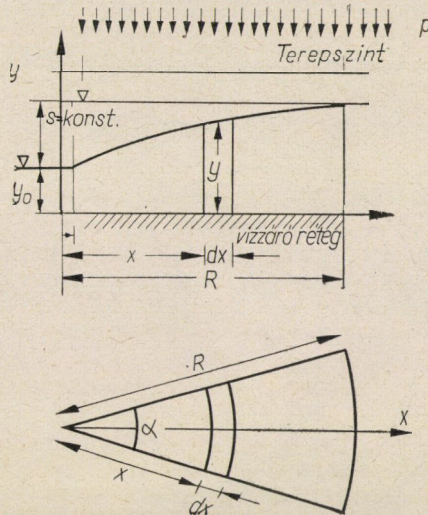
A felülről beszivárgó p csapadékmennyiség a termelt vízmennyiséggel egyenlő — tehát a *permanens szivárgás esetére* — a 25. ábra jelöléseit figyelembe véve a leszívási görbére az

$$y = \sqrt{-\frac{P}{2k} x^2 + \frac{P}{k} R^2 \ln x + y_0^2 + \frac{P}{2k} r^2 - \frac{P}{k} R^2 \ln r} \quad (51)$$

közelítő összefüggésre jutott.

A határfeltételek behelyettesítése és a $pr^2/(2k)$ elhanyagolásával a *hatóságár*:

$$R = \sqrt{\frac{k(H^2 - y_0^2)}{p(\ln R/r - 1/2)}} \quad (52)$$



25. ábra. Az (51) egyenlethez tartozó hidraulikai paraméterek értelmezése

A 24. ábrán vázolt hidraulikai viszonyokat a *nempermanens mozgásra* vonatkoztatva a *hatóságár*:

$$R = \sqrt{\frac{k(H^2 - y_0^2)}{p \ln R/r} - \left[\frac{k(H^2 - y_0^2)}{p \ln R/r} - r^2 \right] \exp \left\{ -2pt / [2/3\mu(H - y_0)] \right\}} \quad (53)$$

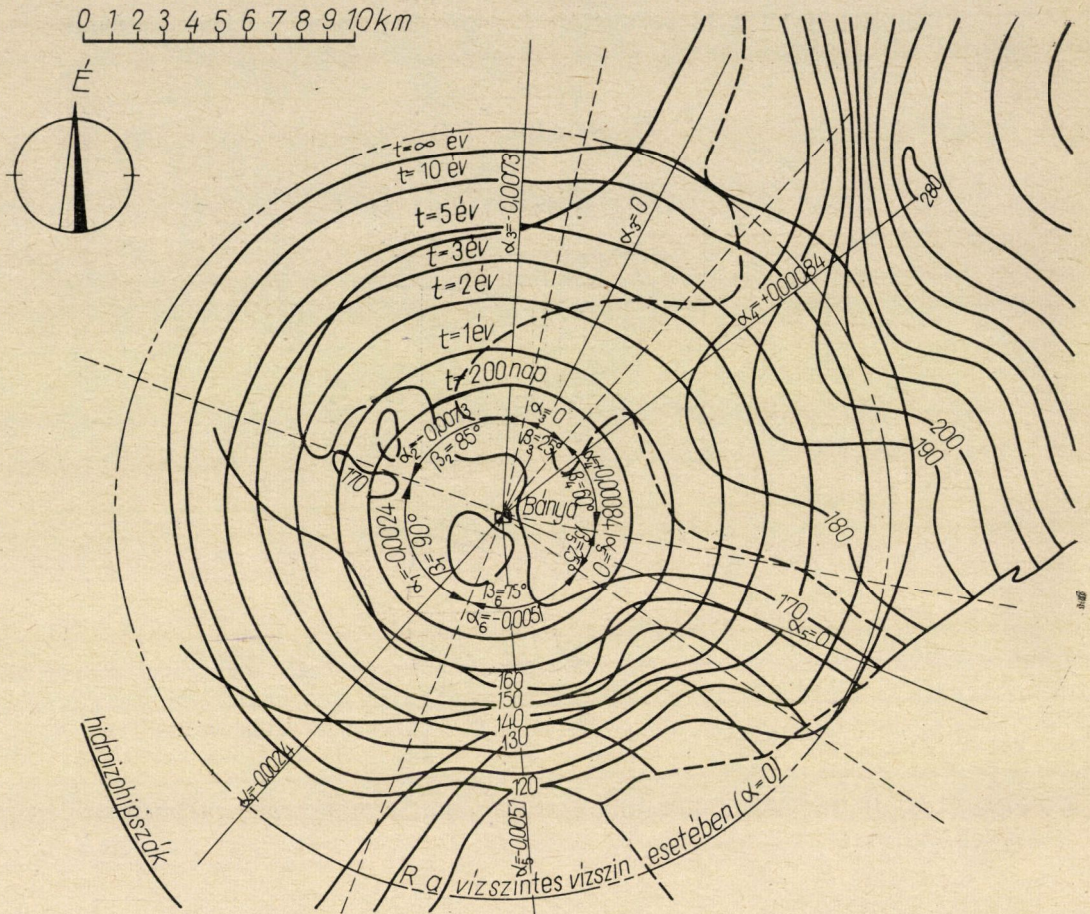
Ha $t = \infty$, akkor R közelítőleg:

$$R = \sqrt{\frac{k(H^2 - y_0^2)}{p \ln R/r}} \quad (54)$$

Ezekben az egyenletekben az R a jobb oldalon is szerepel, ezért fokozatos közelítéssel oldhatók meg.

LÉCFALVY az R számítására az esésben levő eredeti vízfelszín esetén is ad közelítő eljárást. A megcsapolás körüli teljes kört olyan, és annyi $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ központi szögű körcikkre osztja, amelyen belül a vízszín változása *azonosnak* tekinthető (26. és 27. ábra). Meghatározva ezen körcikkeken belül a vízszín esését, az (53) egyenletbeli H érték

$$H = H_0 + \alpha R \quad (55)$$



26. ábra. A megcsapolási hely körüli depressziós-viszonyok időbeli alakulása

függvényében kifejezhető. Ily módon R -re a következő kifejezést kapjuk:

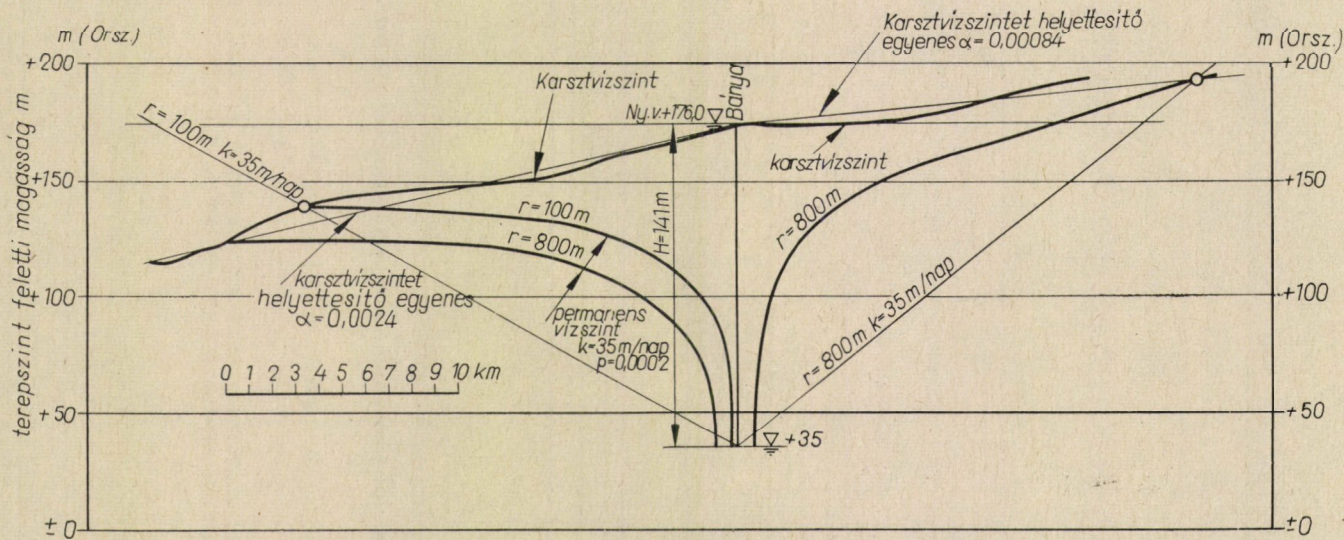
$$R = \sqrt{\frac{k(H_0 + \alpha R)^2}{p \ln R/r} - \left[\frac{k(H_0 + \alpha R)^2}{p \ln R/r} - r^2 \right] \exp \left\{ -2pt / [2/3 (H_0 + \alpha R)] \right\}} \quad (56)$$

Ennek a képletnek a megoldásához, tekintettel az iteráció bonyolultabb voltára, *elektronikus számológép* alkalmazása célszerű. Ily módon kapott megoldást szemléltet a 26. ábra.

Az egyes körcikkekre vonatkozó vízhozamok a

$$Q = \frac{\pi k (H_0 + \alpha R)^2}{\ln R/r} \quad (57)$$

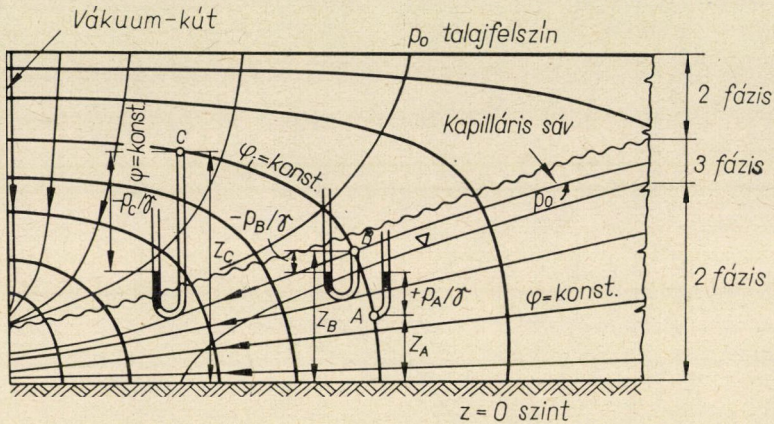
összefüggésből számíthatók.

27. ábra. A H érték meghatározásának elve

5.3. Vákuumkutas vízszínsüllyesztés

Az előzőekben említett nyíltvíztartásos és szűrőkutas talajvízszínsüllyesztés mellett a vákuumkutakkal kapcsolatos hidraulikai folyamatok felderítése is előrehaladt (SZÉCHY, ARUTJUNJAN, GÄRTNER, MATSCHAK, RÜCKERT, MARIUPOLSZKIJ, GRIGORJEV, MOLNÁR, ÖLLŐS).

E helyen az ÖLLŐS által végzett vizsgálatok közül a 28. ábrával kapcsolatos megállapításokat emeljük ki. Az ábra a vákuumkútsor körüli levegőbeszívás jelenlétében kialakuló szivárgási áramképet szemlélteti. A p_0 atmosz-



28. ábra. A vákuumkút körüli szivárgási áramkép értelmezése

férikus nyomású leszívási felület alatti térben kétfázisú, az e feletti sávban háromfázisú és legfelül a levegőáramlás tere, illetőleg az ezekhez tartozó áram- és potenciálvonalak szemlélhetők. Az áramkép ismerete megadja az elméleti alapot a további kutatások számára.

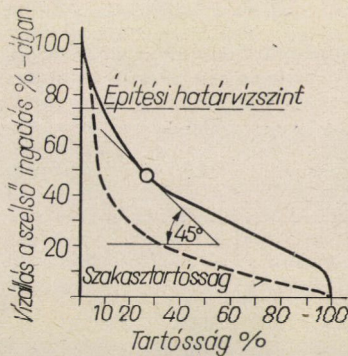
Ezen rövid áttekintésből is nagyon jól kitűnik a *hidraulika szerepe* a nagyobb terek víztelenítésénél is. Rengeteg olyan hidraulikai kérdés vetődik fel, amelyek elmélyült gyakorlati és elméleti kutatómunkát igényelnek. (Pl. a szűrőkutak vízhozamának csökkenése, a gyakran 25 ÷ 30 m-es kútbeli leszívások, melyek következtében a szokott 5 ÷ 6 m-es leszívásoknál tapasztalt szivárgási jelenségektől eltérő jelenségek is fellépnek, stb.)

5.4. A talajvízszín-ingadozás szerepe a vízszínsüllyesztési folyamatok tervezésénél

A talajvízszín-süllyesztési eljárás megválasztásához, valamint a vízszínsüllyesztés lebonyolításához a *mértékadó építési vízszint* ismeretére legtöbb esetben szükség van. Az eddigi merev, eredeti talajvízszint-szemléletet a valószínűségszámítás alapján álló, a gyakoriság és tartósság figyelembevételén

nyugvó, tehát elméletileg is megalapozott szemléletnek kell felváltani. Ily módon válik lehetővé a víztelenítés *hidraulikai-hidrológiai vonatkozású kérdéseinek összehangolása*.

A víztelenítések tervezésénél gyakori törekvés az, hogy a *maximális víz-állást* választják alapul. Ez azonban irreális, hiszen ez a maximum ritkán fordul elő. Kétségtelen azonban, hogy a víznyomásra való méretezéskor, a felhajtóerő számításakor és a víz ellen való szigetelés tervezéséhez olyan szélső valószínűségű maximális vízállást kell figyelembe venni, amely a hozzá tartozó kárral összhangban van.



29. ábra. Az építési határvízszint értelmezése

Ha figyelembe vesszük, hogy magyarországi viszonylatban az év első három hónapjában a talajvízszín-süllyesztési munkák általában szünetelnek, akkor kitűnik, hogy a víztelenítési vízállástartomány a nagyobb valószínűségi tartományban keresendő. És nem is a szokásos tartóssági görbét kell alapul venni, hanem azt kell megállapítani, hogy egy-egy vízállás milyen időtartammal fordul elő *egyhuzamban* (29. ábra): az integrálgörbe mellett a „szakasz-tartóssági” görbét célszerű feltüntetni, melyet a leghosszabb egyhuzamban való előfordulások integrálgörbéje ad meg. Ez utóbbi görbe mindig a szokásos értelmezés szerinti tartóssággörbe alatt helyezkedik el.

A tervezői gyakorlatban az *építési határvízszint* fogalmát alkalmazzák. Ez azt jelenti, hogy a mértékadó vízszintet az eddig észlelt legnagyobb ingadozás $3/4$ magasságában választják meg.

Ahhoz, hogy az ország területére nézve tájékoztatást kaphassunk a víztelenítési (valamint a talajvíz elleni védekezési) munkákhoz figyelembe veendő vízszintekről, OELBERG szerint első lépésben a $0,01\%$ -os, az 5% -os és az 50% -os valószínűségű talajvízfelszín rétegvonalas térképére van szükség.

Akkor, amikor tehát a hidraulikai folyamatokat vizsgáljuk, számos esetben a hidrológia szerepét is érvényre kell juttatni annak érdekében, hogy a feladatokat mind műszaki, mind gazdaságossági szempontból egyaránt kielégítő módon lehessen megoldani.

IRODALOM

1. VÁGÁS I.: A kútbeli vízszínelszakadás kémlelőkút nélküli tájékoztató meghatározása. *A szivárgás és a kúhidraulika kérdései — ankét*, Budapest 1966, III. A. 2.
2. ÖLLŐS G.—DÁVIDNÉ, DELI M.—SZOLNOKY Cs.: Kutak tervezésének néhány hidraulikai kérdése. *Ugyanott*, III. A. 6.
3. KOVÁCS Gy.: Lebegő kutak vízádóképessége. Hungarian Academy of Sciences. *Ugyanott*, III. A. 1.
4. VÁGÁS I.: Talajvízkutak egymásrahatása. Hungarian Academy of Sciences. *Ugyanott*, III. A. 3.
5. PÁLFY I.: Méretezési eljárás ideiglenes talajvízszintsüllyesztések tervezéséhez. *Ugyanott*, III. B. 1.
6. KLAUS, TIEMER, K.: Talajvízszínsüllyesztő kútsor vízhozama és a süllyesztő hatása. *Ugyanott*, III. B. 6.
7. ALMÁSSY B.: Szivornyával üzemeltetett kútsorok számítása. *Ugyanott*, III. B. 4.
8. SCHMIEDER A.: A Dupuit—Thiem-féle összefüggés alkalmazhatósága és megbízhatósága a víztároló rétegek harántirányú kommunikációja esetén. *Ugyanott*, III. B. 4.
9. MOLNÁR L.: Nyíltvíztartás. Vízmennyiségeloszlás munkaárok fenekén felülről történő vízutánpótlódás esetén. Hungarian Academy of Sciences. *Ugyanott*, III. B. 2.
10. MOLNÁR L.: Hidraulikus talajtörés néhány kérdése nyíltvíztartás esetén. *Ugyanott*, III. B. 3.
11. SCHMIEDER A.: Nagy terek védelme szűrőkutas vízszínsüllyesztéssel. *Ugyanott*, III. B. 5.
12. LÉCFALVY S.: Konstans depressziójú kútszerű víztermelő (pl. bányák) vízhozamidősorának és depressziós sugarának időbeli meghatározása különös tekintettel az elektronikus számológép alkalmazására. *Ugyanott* III. A. 7.
13. OELBERG G.: A talajvízszintadatok újszerű feldolgozása az ingadozások egyes törvényszerűségei alapján. *Ugyanott*, III. B. 7.