

A TALAJVIZET TÁPLÁLÓ VÍZÉPÍTÉSI MŰTÁRGYAK ÁLTAL LÉTREHOZOTT SZIVÁRGÁS VIZSGÁLATA

KOVÁCS GYÖRGY

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett 1967. július 19-én]

A vízgazdálkodás szakágazatai kidolgozták a gyakorlati feladatok megoldásához a közeljövőben szükséges kutatások átfogó témáit, és meghatározták ezek részletes célkitűzéseit. Annak érdekében, hogy az elméleti eredmények megfelelő idővel álljanak rendelkezésünkre a gyakorlati feladatok megoldásához, szükséges az alapkutatások átfogó témáinak és célkitűzéseinek kidolgozása is. Jelen tanulmány ehhez a munkához óhajt segítséget nyújtani, amikor a talajvizet tápláló létesítmények által létrehozott szivárgás vizsgálatát átfogó témának tekintve, meghatározza azokat a témákat és altémákat, amelyek ennek keretében a tervezési munka érdekében megoldandók lennének.

A tanulmány a célkitűzések kijelölésén kívül ismerteti azokat a leglényegesebb elveket is, amelyek — a korábbi vizsgálatok figyelembevételével — a további kutatások alapjául kijelölhetők.

I. Bevezetés

A műtárggyal felduzzasztott vagy magasan vezetett víz hatására kialakuló szivárgás közös jellemzője, hogy a környezet talajvizénél magasabb szintű felszíni vizek táplálják a talajvizet és emelik annak szintjét. Legfőbb típusai az ilyen szivárgási rendszereknek a *duzzasztott folyószakaszok* és a *tározók* környezetében létrejövő vízmozgások, valamint a *magasvezetésű csatornákból* — elsősorban az öntözőcsatornákból — bekövetkező elszivárgások. Ennek megfelelően ehhez a kérdéscsoportba soroljuk azokat a kutatásokat, amelyek a *vízszintkülönbséget létrehozó műtárgyon* (gáton) *át vagy ez alatt kialakuló szivárgással* foglalkoznak, továbbá a duzzasztott terek mentén elhelyezkedő *mélyterületek szivárgás elleni védelmének hidraulikai kérdéseit* vizsgálják. Ide tartozik a *megcsapoló rendszerek* és a *szivárgást csökkentő létesítmények* (szádfalak, szivárgást gátló szőnyegek) hidraulikai méretezése, valamint a természetes és a mesterséges *kolmatáció* hatásának előrejelzése. Végül ebben a kérdéscsoportban említjük a *csatornaszivárgás* jellegével, számszerű értékének meghatározásával és a *szivárgásgátló burkolatok* hidraulikai elemzésével foglalkozó kutatásokat.

Ha a természetes talajvízszint és a műtárgy által létrehozott vízszint között a nyomáskülönbség állandó vagy közel állandó, a mozgás permanens. Kialakulhat azonban a változó — az üzem által létrehozott szabályos, esetleg előre ismert ciklus szerinti vagy a vízjárástól függően szabálytalan változás-

sal jellemezhető — víznyomás hatására nempermanens mozgás is ezeknek a létesítményeknek a környezetében. Mindkét szivárgási típus elemzésére szolgáló, alkalmazott hidraulikai kutatások tárgyalása ebbe a kérdéscsoportba tartozik.

A kérdéscsoport átfogó jellege és sokrétősége nem teszi lehetővé, hogy egy tanulmány keretében a felvetődő kérdések mindegyikére kitérve, részletes elemzést adjunk. Ezért a következőkben csak a jelenlegi ismereteink áttekintésére törekszünk, hogy az a további kutatáshoz alapul szolgáljon, és a kutatási tervek készítése során a célkitűzések meghatározásakor segítséget nyújtson.

2. A gáteken át, azok alapsíkja alatt és a környezetükben kialakuló szivárgás vizsgálata

A címben vázolt feladatból a *síkbeli szivárgás elvi vizsgálata* tekinthető alapkutatásnak. Végecélja közvetlenül felhasználható, a rutinvizsgálatok elvégzése érdekében egyszerű, egységes számítási rendszer kidolgozása, amelynek segítségével minden, a tervezés során szükséges jellemző kielégítő pontossággal számítható. A műtárgyat megkerülő térbeli áramlás vizsgálata nem általánosítható. Nehezen dolgozható ki jellemzésre olyan egységes áramlási modell, amely a különböző adottságok szerint alkalmazható lenne. Ezért ennek vizsgálatát minden felmerülő esetben egyedi feladatként javasoljuk megoldani, s mint ilyet, egyelőre nem foglaljuk bele az alapkutatások célkitűzései közé.

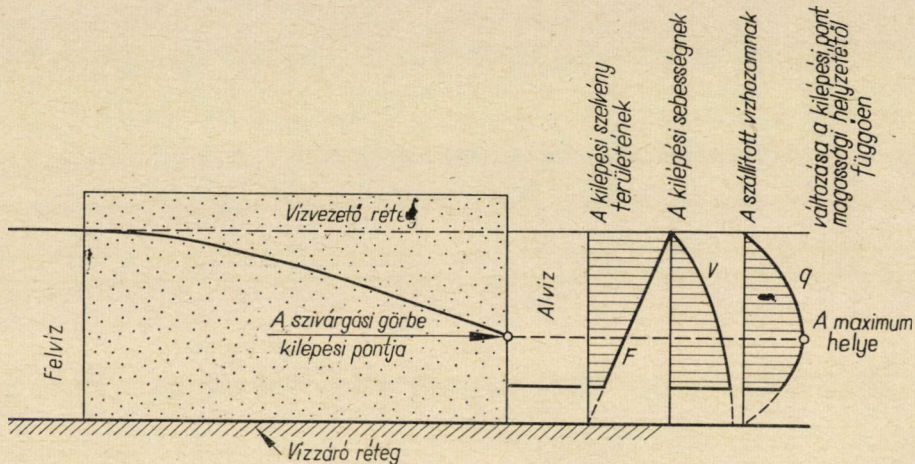
A duzzasztott víztérből az alvíz felé meginduló síkbeli szivárgás három alapesetét különböztethetjük meg aszerint, hogy a vízszintkülönbséget létrehozó *gátest vízzáró alapra épült, maga azonban vízáteresztő*, vagy fordítva, a *gátest vízzáró, és az alapsíkja alatti vízvezető rétegben* indul meg a szivárgás, vagy harmadik esetként, ha *mind a gátest, mind az alapréteg vízvezető*, és közös áramlási teret alkot.

A vízzáró alapon vízáteresztő anyagból épült gátest szivárgásának jellemzésére sok régi empirikus és új elméleti képletet ismerünk. Bár az utóbbiak az empirikus összefüggések több elvi hibájára rámutattak, bonyolult felépítésük miatt azonban nem tudták kiszorítani a gyakorlatból azok alkalmazását. Így az elméleti vizsgálatok és a tervezési gyakorlat között ma szakadás mutatkozik.

Új elemként jelentkezik a vizsgálatokban a *szabad kilépési felület* hatásának vizsgálata (1. ábra). Ezt a kérdést nem a gáttervezési gyakorlat vetette fel elsősorban, hanem a kúttervezések során merült fel a kútpaláston észlelhető vízszálelszakadás fizikai magyarázatának szükségessége. Ezzel azonban teljesen azonos jelenség, hogy a vizet tartó földtest mentett oldali részsűjén a

legnagyobb hozamot vezet át a földtesten. Nyilvánvaló, hogy permanens helyzetként csak ez a leszívott vízfelszín állandósulhat.

Kutatási célkitűzésként tehát azt jelölhetjük ki, hogy ennek az elvnek az alapján felülvizsgálatra kerüljön minden korábbi — empirikus és elméleti — képlet. Az elmondott elvet számításon kívül hagyó eljárások, ha empirikusak, csak a mérési adataiknak, vagy — a mérési tartományon belül — az aozkkal számított értékeknek felhasználásával számszerű ellenőrzésre alkalmasak, míg

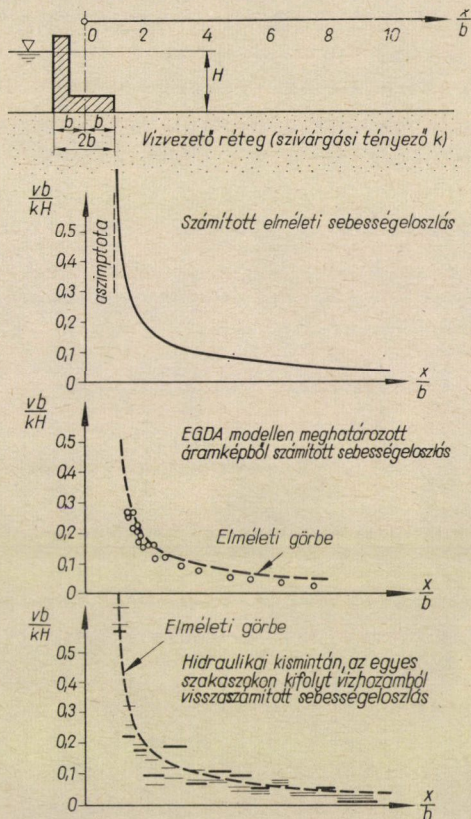


2. ábra. Vázlat a leszívási görbe kilépési pontjának meghatározásához adott energiakészlet esetében a maximális vízhozam szállításának figyelembevételével

az elméleti összefüggések levezetései az áramlási feltételek helyes figyelembevételében nyújthatnak segítséget. A vizsgálatok sorrendjére az javasolható, hogy előbb az áramlási elv szabatos követését a legegyszerűbb határolás (mindkét oldalon függőleges síkkal vagy ezt megközelítő potenciálfelülettel határolt földtest) esetére oldjuk meg, majd ezt általánosítsuk más határfeltétel (felvízi rézsű, az alvíz felől pedig rézsűs vagy megcsapoló elemmel — kőprizma, szivárgó szőnyeg — kombinált határolás) számításbavételére.

A vízzáró alaptest alatt kialakuló szivárgás jellemzőinek meghatározása terén a kutatás lényegesen előbbre haladt, mint az előzőben említett feladatkörben. Elsősorban PAVLOVSZKIJ munkássága alapján — a gyakorlatban legtöbbször alkalmazott egyszerű alapozási körvonalrajzok figyelembevétele esetében — szabatos eljárásokat ismerünk a nyomáseloszlás és a vízhozam számítására. Többben foglalkoztak a folyamatot leegyszerűsítő, megfelelő pontosságot adó, nagyszámú rutinvizsgálat elvégzéséhez egyszerűsége miatt alkalmas összefüggés meghatározásával is. Ezen a téren — inkább dokumentációs feladatként — az szükséges, hogy összegyűjtve, összehasonlítva és elemezve a különböző eljárásokat, rögzítsük és elterjesszük a lehető legegyszerűbb, egységes számítási rendszer alkalmazását.

Megoldandó feladatként maradt azonban — és ez visszahatóan a gáttes-
ten át történő szivárgás esetét is magába foglalja — a kilépési felület hidraulikai
stabilitásának meghatározása. Ez a feladat a réteg hidraulikai talajtöréssel
szemben fennálló biztonságának számítását, a szűrő és terhelő rétegek mére-



3. ábra. Vízvezető rétegre helyezett sík alaplemez alatti szivárgás sebességeloszlása a mentett oldalon

tezését foglalja magába. Alapfeladatként fölveti azonban a kilépő víz sebesség-
eloszlásával kapcsolatos hidraulikai vizsgálatok szükségességét is.

Az elmondottak szemléltetésére vizsgáljuk, mint az egyik legegyszerűbb
alapesetet, a vízvezető rétegre helyezett sík alaplemez mögött kialakuló
sebességeloszlást (3. ábra). Nyilvánvaló, hogy matematikai módszerekkel az
alaplemezhez csatlakozó pontban végtelen sebességet számíthatunk, mert
itt az alapozási körvonalrajzot követő áramvonalnak szinguláris pontja van,
az áramlás iránya 90° -kal változik. Kísérletileg természetesen ezt a pontot
mérni nem tudjuk, csak a környezetét, amelynek kiterjedése függ a kísérleti
módszertől és a mérőeszköztől. Elektromos és hidraulikai modellen vizsgálva

a kérdést azt tapasztaljuk, hogy ebben a környezetben bár jelentős, azonban véges sebességek adódnak, mégpedig az EGDA modellen nagyobb, a homok-modellen kisebb érték. Nyilvánvaló ez, ha meggondoljuk, hogy az elektromos áramnak lényegesen kisebb a tehetetlensége, mint a vízcseppkének a szinguláris pont környezetében bekövetkező hirtelen irányváltozással szemben. Az inercia mértéke és az általa befolyásolt sáv méretének az aránya függ természetesen az áramlási tér teljes méretétől is. Ezért a folyamat felderítése alapvetően szükséges a szivárgási kisminták értékeléséhez is.

Amint az előzőekben már említettük, a duzzasztó műtárgyakra mérőleges síkban kialakuló szivárgás harmadik esete — amikor mind a gát, mind az alaprétég átteresztő — lényegében az előző két vizsgálat kombinációja. Csak a közös és oszthatatlan áramlási tér egységes számításbavételét kell hangsúlyoznunk. Így végeredményként az előzőek további általánosítása megadja a felmerülő feladatok megoldását. Áttérhetünk tehát a második nagy kérdés csoportnak, a duzzasztott tér környezetében kialakuló szivárgásoknak a vizsgálatára.

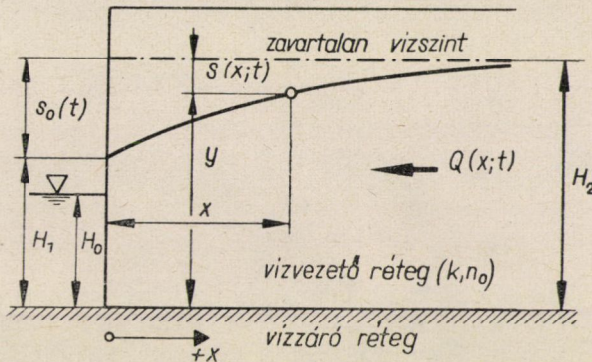
3. A tározók és duzzasztott folyószakaszok mentén kialakuló szivárgás vizsgálata

A kutatási feladatokat áttekintve ezen a témán belül négy kérdés vizsgálatát emelhetjük ki: a megcsapoló és szivárgáscsökkentő rendszerek méretezését, a felületi hatásokkal dinamikus egyensúlyba jutó beszivárgás jellemzőinek meghatározását, a nem permanens talajvízhullámok számítását, végül a várható kolmatáció előrejelzését.

A megcsapoló és szivárgást gátló rendszerek méretezése szorosan kapcsolódik az előző fejezetben vizsgált kérdésekhez, hiszen lényegében nem más, mint a gáton át, a gát alatt vagy a kettő által kialakított áramlási térben létrejövő szivárgás jellemzése a műszaki beavatkozással előállított különleges áramlási- (szivárgást gátló szőnyeg, résfal) vagy határ-feltétel (megcsapoló csatorna, galéria, kútsor) figyelembevételével. Sok kísérleti mérés, elméleti vizsgálat is áll már rendelkezésünkre, amelyeknek elemző összehasonlítása és egységes rendszerbe történő foglalása az elsődleges kutatási feladat. Ennek során néhány, korábban elhanyagolt, a tényleges helyzet figyelembevételéhez azonban lényeges szempontot kiemelten kell majd vizsgálnunk. Ilyen például az áramvonalak görbültségének és sűrűsödésének a hatása a megcsapoló létesítmény környezetében (a teljes és lebegő megcsapoló elemek eltérő hatásának jellemzése, a megengedhető közelítéseknek és ezek érvényességi tartományának kijelölése), az egyenértékű ellenállással jellemzett helyettesítő szivárgási terek alkalmazása (a szivárgást gátló szőnyeg hatékony szélességének számítása, a vízvezető réteget fedő kötöttebb rétegsor hatásának vizsgálata a víz felőli és a mentett oldalon egyaránt), vagy az áramlási téren belül létre-

jöhethő vízszálszakadások elemzése (szivárgást gátló résfal hatásának jellemzése).

Megfigyelt tény az, hogy ha a felszíni tározótérhez kisebb mértékben áteresztő rétegsor csatlakozik, hosszabb idő után — amikor tehát már a permanens állapot feltételezhető — sem emelkedik a rétegben a talajvíz felszíne a duzzasztási szintig, hanem mélyebben marad annál a megcsapoló rendszerrel nem védett szakaszokon is. Ilyenkor nyilván *dinamikus egyensúly* alakul ki a beszivárgás és a megváltozott felületi hatások — a talajvízfelszín emelkedésével



4. ábra. Szabad felszínű szivárgási tér vázlata

járó többletpárolgás — között. Annak ellenére, hogy az általunk ismert irodalomban éppen a magyar kutatók foglalkoztak legtöbbet ezzel a kérdéssel, az eddigi kutatások közel sem elégségesek a gyakorlati feladatok megoldásához. Eddig csak az újszerű hatásokat is figyelembe vevő áramlási rendszer elvi modelljének kialakítására születtek javaslatok. A különböző jelenségek közötti közvetett kapcsolatok alapján közelítő értéket és ezek alapján számítási módokat is határoztak ugyan meg, ezeknek közvetlen mérésekkel való ellenőrzése azonban nem történt meg. Olyan mérési eljárásokkal kell tehát megindítani a kutatásokat, amelyek lehetővé teszik a *talajvízháztartási jelleggörbe* számszerű leírását, valamint az azt befolyásoló tényezők meghatározását. Ennek birtokában felül kell vizsgálni az eddig javasolt számítási eljárásokat. Végül egységes módszert kell kidolgozni mindezek alapján a gyakorlati feladatok megoldására.

A téma harmadik kérdése a *nem permanens talajvízhullámok* jellemzése, amely egyaránt szükséges lehet duzzasztott és természetes folyószakaszok mentén húzódó talajvízsáv várható felszíngörbéinek előrejelzéséhez.

Minden nempermanens vízmozgás jellemzésének alapja a kontinuitási egyenlet, amely a vízhozamnak az áramlás irányában tapasztalható megváltozását teszi egyenlővé a tározott készletnek időben történő változásával. Ezt szabad felszínű szivárgások esetében — síkáramlásra és egységnyi széles

sávra korlátozva a vizsgálatokat — a következő formában írhatjuk fel (a jelölések értelmezését a 4. ábra mutatja):

$$n_0 \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial Q}{\partial x}.$$

Behelyettesítve ebbe a szivárgó vízmozgást jellemző Darcy-féle

$$Q = yk \frac{\partial y}{\partial x}$$

összefüggést, a szabad felszínű nempermanens szivárgás Boussinesque-féle differenciálegyenletét kapjuk meg:

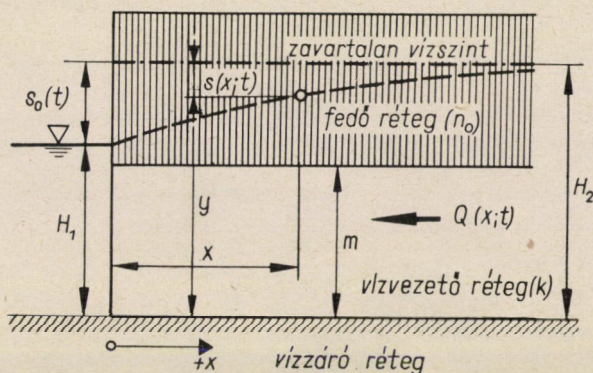
$$n_0 \frac{\partial y}{\partial x} = yk \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}.$$

Ez az egységesnél magasabb fokú egyenlet közvetlenül nem oldható meg, előbb különböző közelítések felvételével linearizálni kell azt. A kérdéssel foglalkozó kutatók egyaránt a felírt Boussinesque-féle egyenletheől — vagy kutak vizsgálata során annak tengelyszimmetrikus áramlásra érvényes formájából — indulnak ki, és a kapott eredmények csak a határfeltételek felvételében különböznek egymástól (állandó szintű leszívás vagy táplálás, állandó hozamú mozgás, meghatározott függvény szerint változó vízszintkülönbség stb.). Eltérést okozhat még a felületen történő beszivárgás és párolgás figyelembevétele vagy elhanyagolása és végül a linearizálás érdekében alkalmazott közelítő összefüggés felvétele is. Ez utóbbinak lényege a különböző eljárásokban általában megegyező. A vízszintes áramlás leírásakor a változó vízmélységet valamilyen módon meghatározott közepes mélységgel helyettesítik, és elhanyagolják a vízmélység időbeli változását. Minthogy ezt a közelítést a már felírt alapegyenletbe helyettesítik, végeredményül olyan bonyolult kifejezéshez jutnak, amelynek alkalmazásától a gyakorlatban idegenkednek, és amelyben a közelítések fizikai alapja sem mérlegelhető már.

Megkereshetjük azonban azt a természetben is előforduló szivárgási teret, amelyet a linearizálás érdekében alkalmazott és az előzőekben ismertetett közelítés szabatosan jellemez. Erre a rendszerre írva fel az alapegyenletet, közvetlenül megoldható összefüggést kapunk, és így egyszerűbb, jobban áttekinthető úton határozhatjuk meg a hidraulikai jellemzőket. A közelítések ebben az esetben fizikailag értelmezhetők, és könnyen kezelhető matematikai összefüggéseket adnak.

Az alapegyenlet levezetése érdekében hasonlítsuk össze a fedett és a szabad felszínű szivárgási tereket.

Az alulról is és felülről is vízzáróan határolt áramlási térben — ha a határolásokon az előálló gradiensek hatására vízmozgás és a kialakuló nyomások hatására elmozdulás nem jöhet létre — vízfelhalmozódás nem következik be, készletfogyasztás esetében pedig a mozgás részben vagy teljesen szabad felszínűvé válik. Ha ez az utóbbi jelenség az előálló vízszintek hatására nem alakulhat ki, és a mozgás mindvégig nyomás alatti marad, a ki- vagy belépési szelvényben létrehozott minden változás a nyomáshullám sebességével terjed. Így hosszú áramlási terekben is csak egészen rövid idő szükséges az egyik olda-



5. ábra. Felülről félig átteresztő réteggel takart szivárgási tér vázlata

lon létrehozott hatás végighaladásához. Gyakorlatilag tehát a tökéletesen fedett szivárgási térben kialakuló vízmozgást minden esetben permanens mozgásként jellemezhetjük.

Szabad felszínű víztérben a hatás továbbítása a vízfelszín megváltozásával jár együtt. Ezért az áramlás irányában haladva, a feszültségmentes hézagoknak a kiürülése, illetőleg feltöltődése a vízhozamot változtatja. A hullám terjedése minden esetben vízszállításhoz kötött, ezért sebessége is lényegesen kisebb (4. ábra). A mozgás jellemzője az, hogy a vízhozam, a szelvényterület és a helyi gradiens függvénye az időnek és a vizsgált szelvény helyének.

A két alapeset között átmenetet alkot az a vízszállító rendszer, amelyet felülről félig átteresztő réteg takar (5. ábra). Ha a fedőréteg szivárgási tényezője lényegesen kisebb, mint a vízvezető rétegé, szerepe a vízszintes vízszállítás meghatározásakor elhanyagolható. A lényegesen kisebb függőleges áramlási hossz megtételét igénylő tározódás vagy készletfogyasztás azonban — esetleg kismértékben késleltetve — a fedőrétegben is megtörténik. Ezért a vízszintes áramlás leírásakor a szelvényterület állandóságát feltételezhetjük, úgy mint nyomás alatti vízmozgás vizsgálatakor. A vízhozamnak és a gradiensek idő és hely szerinti változását azonban — a nempermanens áramlásra érvényes összefüggések szerint — figyelembe kell vennünk.

Az említett áramlási modell — a szivárgást jellemző keresztmetszeti terület változatlanságának feltételezése — azonos a linearizálás érdekében minden megoldáshoz alkalmazott egyszerűsítő feltétellel, ezért közelítésként elfogadható a szabad felszínű szivárgási rendszer jellemzésére is. Ebben az esetben azonban az állandó vízmélység fizikailag nem értelmezhető. Közelítő, illetőleg helyettesítő értékének számítására felhasználhatók azok az összefüggések, amelyeket a kutatók a linearizáláskor is szükséges közepes vízmélység meghatározására javasolnak.

Az elmondott feltételek szerint az állandó mélységű szivárgást leíró kinematikai összefüggés a következő:

$$Q = mk \frac{\partial y}{\partial x}.$$

Ezt helyettesítve a kontinuitási egyenletbe, a megoldandó alapegyenlet:

$$n_0 \frac{\partial y}{\partial t} = mk \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}.$$

Az ismertett alapegyenletet alkalmazva, különböző határfeltételek feltételezésével — a felszíni víztér vízállásának időbeli változását különböző matematikai függvénnyel közelítve meg — képletcsoportot dolgozhatunk ki a leglényegesebb jellemzőknek, a várható legmagasabb talajvízszintnek a partéltől való távolságától függően történő számítására. Ha ezeket összevetjük korábbi, más elvek alapján számítható azonos értékekkel, remélhetjük, hogy olyan általános összefüggést adhatunk a gyakorlat számára, amely az árhullám formájának, magasságának és időtartamának függvényeként meghatározhatóvá teszi a várható legmagasabb talajvízszint értéket.

Végül negyedik kutatandó kérdésként vethetjük fel a témán belül olyan számítási eljárás kidolgozását, amelynek célja a *kolmatáció hatására várható szivárgáscsökkenés jellemzése*. Az utóbbi években Magyarországon vizsgálat-sorozatot hajtott végre annak meghatározására, hogy a tervezett dunai tározótérből várható szivárgást milyen mértékben fogja csökkenteni a folyó hordalékának lerakódása, illetőleg a finom szemcséknek a vízvezető rétegbe történő bemosódása, hogyan jellemezhető előre ennek a folyamatnak időbeli alakulása, és gyorsítható-e ez a kolmatáció mesterséges eszközökkel.

A vizsgálat első lépése általános jellemzők meghatározása volt. Ehhez a vizsgálni kívánt vízvezető anyaggal töltött hengereket használtak, amelyeken az érkező hordalékos vizet átáramoltatták. Ezt olyan medencékben végrehajtott kísérletek követték, amelyekben a hordalékos víz a vizsgálat céljából beépített réteg fölött — a természeti adottságokhoz hasonlóan — végigáramlott, és csak a kiüledett hordalék mosódott be a szemcsék közé a rétegben állandó

értékben tartott gradiens hatására kialakuló szivárgás kísérő jelenségeként. Végül a kísérleti adatoknak a tervezői gyakorlat számára történő értékelése zárta le a kísérletek sorát.

Az olyan kísérleti berendezésekben kialakuló folyamatok, amelyekben a hordalékos víz teljes hozama átfolyik a vizsgált mintán, és a finom szemcséknek csak az a csekély hányada nem vesz részt a minta szivárgási tényezőjének csökkentésében, amely a rétegen átáramolva bennmarad az elfolyó vízben, nem hasonlíthatók a gyakorlatban előforduló esethez. Lényegében befolyásolja ugyanis az eredményeket a minta hossza is, hiszen növelve azt, csökkenteni tudjuk a le nem rakódó hordalék mennyiségét, és így látszólagosan növeljük az elért hatékonyságot. Rögzíthetjük tehát, hogy az így gyűjtött adatokat csak azonos körülmények között mért eredményekkel hasonlíthatjuk össze, azok általános és a gyakorlat számára szükséges értékelése nem lehetséges.

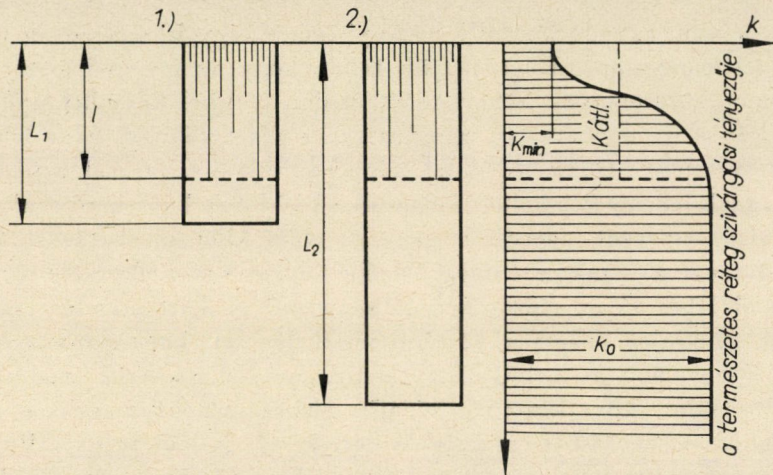
Az ismertetett előkísérleteknek nem is ez volt a célja, csak a vizsgálatba vont anyagok jellemzését kellett megadni a kísérletek következő szakaszához.

A kísérletsorozat második része — az előzőekben meghatározott jellemzőket felhasználva — már a tényleges fizikai folyamat modellezésére törekedett, helyesen alakítva ki az előzőekben néhány szóban leírt áramlási rendszert. Ennek a gyakorlat számára történő értékelésével kapcsolatosan fel kell hívni a figyelmet arra, hogy helytelen lenne, ha a kísérlet eredményeit a minta eltömődése következtében előálló vízhozamcsökkenésnek a kiinduló vízhozamhoz viszonyított százalékos értékével jellemeznék. Bár ez a megoldás világszerte alkalmazott, rá kell azonban mégis mutatni elvi hiányosságaira, azért, hogy a helyes szemlélet kialakításával a tudományos fejlődést segíthessük.

A kolmatáció hatására a vizsgált minta a vízvezető rétegből, mint vázból, és az abban elhelyezkedő finom hordalékszemcsékből felépült olyan összetett réteggé alakul, amelynek szivárgási tényezője a felszínen a legkisebb és a szivárgás irányába haladva fokozatosan növekszik. Elérhetünk olyan szelvényhez — ha a vizsgált minta hossza nagy —, ahová a finom szemcsék már nem jutottak el, és így ott a réteget az eredeti szivárgási tényező jellemzi. Ez a folyamat természetesen az időben fokozatosan halad előre. Elképzelhető azonban, különösen, ha a hordalékos víz nem folyik át teljes tömegében a vízvezető rétegen, hanem — mint az említett második kísérletsorozatban — afölött áramlik, és csak egy része jut be a szivárgási térbe, hogy érintőlegesen elér egy, a finom szemcsék behatolása szempontjából telített állapotot. A szivárgási tér hossza azonban — ha a szivárgást létrehozó gradiens azonos — nem befolyásolja sem a kolmatálódó réteg vastagságát, sem az eltömődés mértékét. Nyilvánvaló tehát, hogy a *kolmatálódás* — elektromos analógiát használva szemléltetésére — állandó értékű előtét ellenállásként értékelhető, amelynek hatékonysága nem független annak az áramlási rendszernek az ellenállásától, amellyel sorba kapcsoljuk ezt az ellenállási többletet.

A hidraulika nyelvére fordítva vissza a hasonlat elemzését, természetes, hogy a kolmatációval elérhető vízhozamcsökkenés összefügg az eredeti rendszer vízszállítóképességével is (6. ábra), ezért a vízhozamcsökkenésnek mint egyetlen jellemzőnek a használata — a teljes áramlási tér adottságainak figyelembevétele nélkül — nem szabatos.

Az említett kísérletsorozat gyakorlati értékelésében az áramlási térnek a vázolt teljes figyelembevétele megtörtént. Minthogy azonban egy meghatározott gyakorlati feladat megoldását szolgálta, eredményei nem általá-



6. ábra. Vázlat a kolmatációs folyamat során kialakuló többletellenállás szemléltetésére

nosítható formában jelentkeznek. Ezért szükséges alapkísérletként történő továbbfolytatása. Ennek során az alapréteg és a folyadékkal szállított finom szemcsék szemeloszlásának és a szivárgást fenntartó gradiensnek a függvényében vizsgálni kell, létezik-e olyan *kolmatált végállapot*, ami a behatoló finom szemcsék szempontjából permanensnek tekinthető, vagy azért, mert megszűnik azok beáramlása, vagy mert a bejutó szemcsék a talajvízáramlással továbbmozognak. Ha kialakul ilyen permanens helyzet, kérdés, megadhatók-e annak jellemzői, pl. a szivárgási tényező változása a felszíntől mért távolság függvényében. Végül a folyamat teljes leírása érdekében szükséges lenne a változások időben történő lefolyásának jellemzése a kolmatáció megindulásától a végállapot bekövetkezéséig.

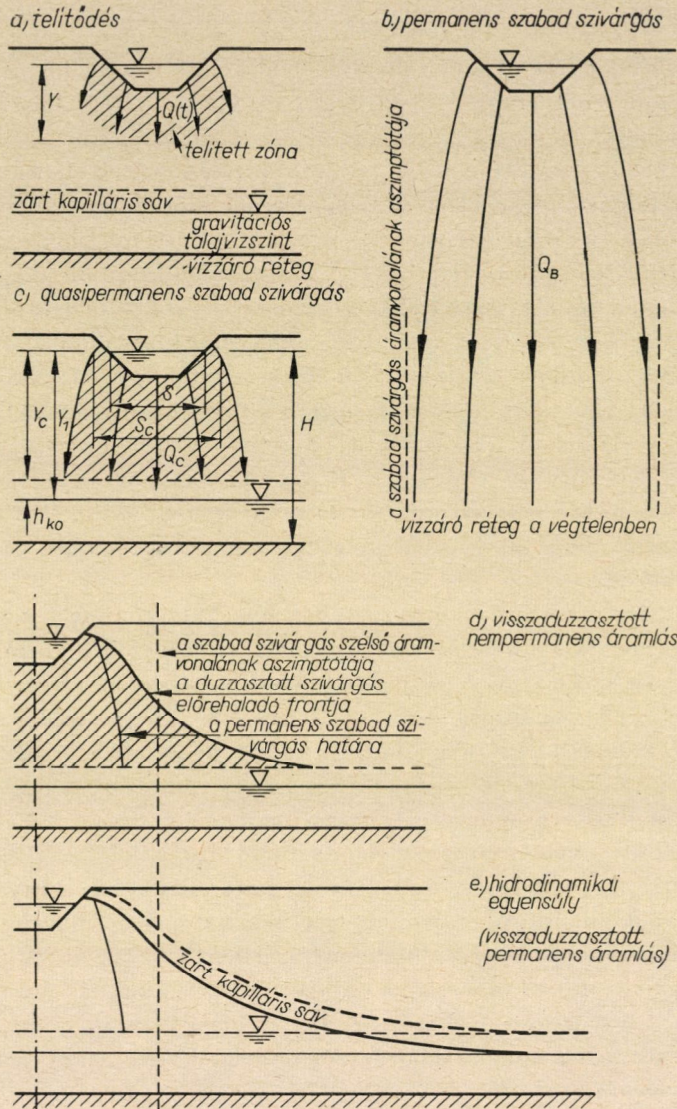
4. Magasvezetésű csatornák szivárgási vesztesége

A talajvizet tápláló műszaki létesítmények szivárgási vizsgálatával kapcsolatos kérdés a magasvezetésű — legtöbbször az öntözés céljait szolgáló — csatornák vízvesztésének meghatározása. Előljáróban annak a folyamatnak

összefoglalása szükséges, amelynek során az áramlási tér szerepe — annak kialakulása, kiterjedése és kapcsolódása a talajvíztérhez — fokozatosan megváltozik, és amelynek alapján a szivárgás egymástól eltérő kinematikai szakaszai kijelölhetők.

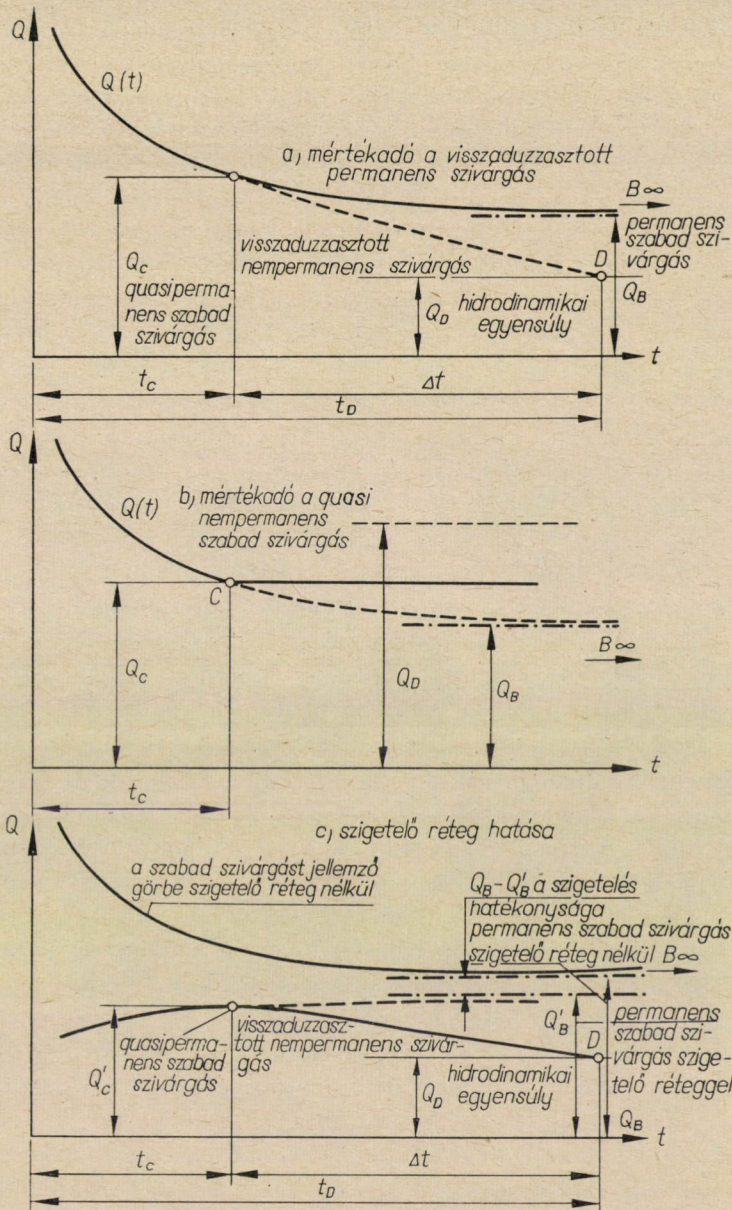
A csatornák feltöltésekor a vízvezető rétegben elhelyezkedő talajvíz még nem befolyásolja az elszivárgást. Az idő előrehaladásával azonban a csatorna körül levő rétegek telítődnek, majd a telített zóna fokozatosan előrehaladva érintkezésbe jut a talajvízzel. A csatornából kiáramló víz — amely az első szakaszban csak a réteg feltöltésére szolgál — ekkor már táplálja a talajvizet is. *Egységes áramlási tér* alakul ki, amelynek vízszállítását befolyásolja, hogy a talajvíz az adott rendszerből mennyi vizet képes vízszintes irányban elvezetni. Ha ez kevesebb, mint a csatornából egységnyi gradiens feltételezésével kiszivárgó vízhozam, a talajvíz a szivárgást visszaduzzasztja. Ezek szerint tehát az elszivárgást jellege szerint két nagy csoportba oszthatjuk, megkülönböztetve *szabad* és *visszaduzzasztott szivárgást*. Mindkét típus tovább osztandó aszerint, hogy kialakult-e már a *permanens vízmozgás*, vagy az *áramlás időben változó*.

A folyamat a csatorna környezetében levő talajvíz feletti rétegek telítődésével indul meg. Ez a *nem permanens szabad szivárgás* (7a ábra). A talajvíz nélküli végtelen mély vízvezető réteg elméleti esetében az egyensúlyi helyzet — *szabad permanens szivárgás* — akkor alakulna ki, ha a telítődés a végtelenig előrehalad (7b ábra). Azt a gyakorlati esetre jellemző helyzetet, amikor a feltöltődött áramlási tér eléri a talajvíz szintjét — illetőleg a felette elhelyezkedő zárt kapilláris tatományt — *quasi permanens szabad szivárgásnak* nevezzük (7c ábra). Amennyiben az alsó víztartó réteg az ekkor érkező vizet úgy tudja elvezetni, hogy a mozgással szemben ható ellenállás elhanyagolható, ez a mozgásállapot állandósul. Ellenkező esetben a quasi permanens szabad szivárgás a mozgásnak csak egy időpillanatát jellemzi, és megindul a talajvíztér feltöltődése, hogy kialakulhasson a talajvíznek a vízszintes áramlást fékező ellenállással arányos esése. Ettől kezdve a mozgás már visszaduzzasztott, mégpedig első fázisában a talajvízszín emelkedésével járó feltöltődésnek megfelelően *nempermanens szivárgás* (7d ábra). A csatorna vízszintjéből kiinduló és az eredeti talajvízszínhez csatlakozó szivárgási vonal fokozatosan előrehalad. A csatornából elszivárgó vízmennyiség egy része a növekvő áramlási teret tölti fel, másik része pedig a megcsapolási helyeken át távozik. Ilyen megcsapolás lehet nemcsak egy közelben levő mélyebb szintű csatorna, ahova a víz oldalirányban áramolva a rétegből eltávozhatik, hanem a talajvízszín emelkedésével járó többletpárolgás is. Végül a folyamat utolsó tagjaként kialakul a visszaduzzasztott permanens szivárgás, amelyet a csatornából feltöltődött szivárgási zóna és az eredeti talajvíztér együttes áramlási terének hidrodinamikai egyensúlya jellemez (7e ábra). Ekkor a talajvízből a megcsapolási helyeken át távozó vízhozam egyenlő a csatornából elszivárgó értékkel.



7. ábra. A csatornából történő elszivárgás különböző fázisainak szemléltetése

Az időben egymást követő áramlási állapotok egyre kisebb szivárgási veszteséggel jellemezhetők. Annak eldöntése is, vajon egy vizsgált rendszerben quasi permanens szabad szivárgás vagy a visszaduzzasztott hidrodinamikai egyensúly lesz-e a mértékadóként kialakuló végállapot, éppen a két jellemző számszerű összehasonlítása alapján történhetik. A veszteség fokozatos csökkenésének megfelelően, ha a visszaduzzasztott állapotokhoz tartozó elszivárgás nagyobb, mint a szabad mozgást jellemző érték, a visszaduzzasztott



8. ábra. A különböző mozgásállapothoz tartozó elszivárgó vízhozam változása az időben, burkolatlan és burkolt csatorna esetében

állapot nem alakulhat ki, míg ha kisebb, a visszaduzzasztás hatására a quasi permanens szabad szivárgás bekövetkezte után a szivárgási veszteség tovább csökken, és tart a végső egyensúlyi helyzetet jellemző visszaduzzasztott permanens értékhez (8. ábra).

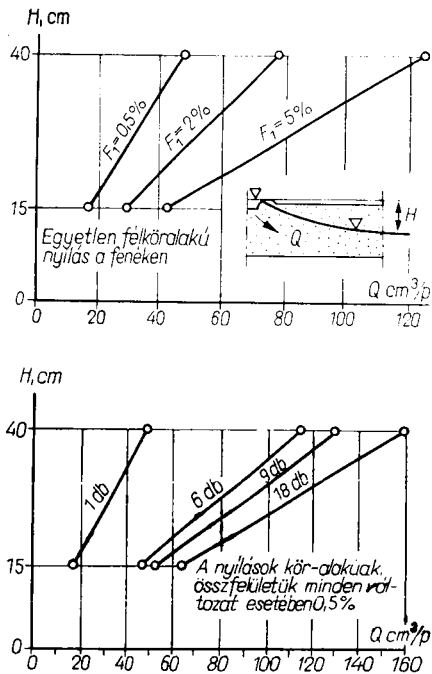
A gyakorlati feladatok megoldására javasolt képletek közül AVERJANOV eljárása volt az első, amely az ismertetett szemléletnek megfelelően a *csatorna feltöltésétől eltelt időt* is figyelembe veszi változóként a szivárgási veszteség számítása során. Eltérés mindössze annyi az elmondottaktól, hogy az elszivárgást mindkét mozgásszakaszban az idő azonos függvényeként adja meg, elhanyagolva a szabad és visszaduzzasztott szivárgás eltérő jellegét.

A nagyszámú korábban közölt empirikus képlet az összefüggés meghatározásához felhasznált tapasztalati adatokat jellemző adottságokat tükrözi. Érdekes azonban, hogy ezek az empirikus képletek — minden látszólagos különbség ellenére — közös formára hozhatók. Ennek a közös alaknak jellemzője, hogy a szivárgási veszteség egy, a szelvény alakját és méreteit összefoglaló tényezőnek és a szivárgási tényezőnek a szorzataként számítható. Ez a tény egyértelműen mutatja, hogy az említett összefüggések alapelve azonosan — akár tudatosan történt ez, akár nem — az egységnyi gradiens feltételezése. Ugyanakkor az elméleti vizsgálatokból közismert, hogy az egységnyi gradiens a végtelen mély rétegben kialakuló szabad permanens szivárgás jellemzője. Megállapítható tehát, hogy a tapasztalati képletek legtöbbje a permanens — illetőleg a quasi permanens — szabad szivárgás vagy ahhoz közeli mozgásállapot megfigyelt adataira épül fel. Természetes is ez, hiszen ez az állapot, a talajvíz elérése, jellegzetes pontja a vázolt folyamatnak, amint GIRSKAN is említi a szivárgási tényező helyszíni meghatározására szolgáló kísérleteket ismertetve; a szivárgási folyamatot két szakaszra bonthatjuk, amelyeket a talajvíz elérésének időpontja választ el.

A tapasztalati képletekkel kapcsolatosan — azonkívül, hogy lerögzítjük, ezek az időben változó mozgásnak csak egy pillanatnyi, sokszor nem is mértékadó helyzetét rögzítik — további elemzést igényel a mederszelvény alakjának és méreteinek hatását kifejezésre juttató tényező is. Ennek értékét a kutatók legtöbbször a víztükör-szélesség, vagy a nedvesített terület függvényeként adják meg. Gyakran előfordul azonban, hogy a *csatornában szállított vízhozamot* választják jellemző mennyiségként. Ez a megoldás nagyon célszerű azért, mert a részletes tervezés előtt — az öntözőtelep vízigényét ismerve, annak százalékában — előre becsülhető a várható szivárgási veszteség. Hidraulikai szempontból viszont kifogásolni kell a megoldást, hiszen az elszivárgás — legalábbis a szabad szivárgás állapotában, amelynek permanens helyzetét jellemzik ezek a tapasztalati képletek — minden esetben a kereszt-szelvény méreteitől függő érték. Ez pedig nem egyértelmű függvénye a vízhozamnak. Azonos vízhozamot szállító szelvények méretei lényegesen eltérhetnek egymástól, ha a csatornák esése különböző. Az ilyen összefüggéseknek az alkalmazását tehát nemcsak a mozgás típusa, hanem a csatorna esése szerint is érvényességi határok közé kell szorítani.

Ugyancsak a mozgás szabad vagy visszaduzzasztott volta, illetőleg a visszaduzzasztás mértéke határozza meg azoknak a *csatornaburkolatoknak haté-*

konyságát, amelyek a szivárgást nem teljesen szüntetik meg, csak csökkentik azt. Jól igazolják ezt azok a magyarországi kísérletek, amelyek a különböző mértékben meghibásodott (a kísérlet során mesterségesen lyukasztott) fólia-burkolat hatékonyságát vizsgálják, meghatározva a burkolt és burkolatlan csatornából elszivárgó vízhozam hányadosát. Az említett vizsgálatból átvett 9. ábra — amely ennek a %-os értékben kifejezett hatékonyságnak és a csatornavíz-



9. ábra. Szivárgási veszteség nem teljesen vízzáró (lyukasztott) fóliával burkolt csatornából

szint és a külső térben a kísérlet során tartott leszívott vízszint különbségének összefüggését mutatja — jelzi, hogy ha a leszívás kicsiny, tehát a visszaduzzasztás nagy, alig lyukasztott fólia esetében is megközelíti a burkolt csatorna vízvesztésege a burkolat nélkül elszivárgó vízhozamot, a burkolat tehát alig hatékony.

Ez a tény figyelmeztetett arra, hogy olyankor, midőn a burkolat nem szünteti meg, csak csökkenti a szivárgást, minden esetben hidraulikai vizsgálat szükséges a szigetelés hatásfokának — a burkolt és burkolatlan csatorna vízvesztéséből képzett hányadosnak — a számításához. A jelenség ugyanis nemcsak a meghibásodott fóliát jellemzi, hanem azokat a szivárgást gátló burkolatokat is, amelyek nem tökéletesen vízzáróak, hanem csak csökkentik a csatornából kilépő víz mennyiségét (bentonit vagy agyagréteg, kémiai kezelés stb.). A csatorna közvetlen környezetében alkalmazott többletellenállás

azonban — a visszaduzzasztott áramlási tér teljes ellenállásához viszonyítva — esetleg nem számottevő. A veszteség szempontjából továbbra is a visszaduzzasztott permanens állapot marad mértékadó, ennek értéke pedig esetleg alig változik a burkolat hatására (8c ábra). Szélső esetben — közeledve a teljes visszaduzzasztáshoz — a burkolt és burkolatlan csatorna vízvesztése azonos, bár egészen kis érték, míg a szabad szivárgást ugyanaz a burkolat jelentősen csökkentheti.

A kutatások további célkitűzéseiként tehát ebben a témában azt jelölhetjük meg, hogy határozzák meg az elmondott folyamat egyes szakaszainak számszerű elhatárolásához szükséges jellemzőket, adják meg a szivárgási veszteség számítására alkalmas, az egyes szakaszokra érvényes képletcsoportokat, úgy, hogy azok a szivárgást gátló burkolatok hatékonyságának számítására is alkalmasak legyenek.

IRODALOM

- DJANKOW, Z.: Untersuchungen mittels Sandmodellen über die Sickerscheinungen bei den Donauschutzdeichen. *A szivárgás és a kúthidraulika-ankét*, Budapest, 1966, IV.
- KOTSCHER, K.: Wirkung der Uferdränage eines offenen Grabens mit einem Dränageschlitz bei Drucksickerströmung. *Ugyanott*, IV.
- ZUBAREVA, T. V.: Iszpolzovanyije filtracionnüh vod zemljanüh plotin dlja szelszkohozjajsztvennovo vodosznabzsenija. *Ugyanott*, IV.
- BOGÁRDI, J.: Reduction of Seepage by Soil-Stabilization; Economic Width of Blanket Linings. *Ugyanott*, IV.
- LIPTÁK, F.: A kolmatáció laboratóriumi vizsgálata. *Ugyanott*, IV.
- STAROSOLSZKY, Ö.: Investigation on the Sealing-Effect of Colmatation. *Ugyanott*, IV.
- LIPTÁK F.—ÖLLÖS G.: Burkolt és szigetelt öntözőcsatornák szivárgása. *Ugyanott*, IV.
- GIRSKAN, Sz. A.: Vodopronicaemoszty grunta, vazsnyejisij element filtracionnüh raszsetov. *Ugyanott*, IV.