

dr. Völgyesi István

Árvédelmi töltések szivárgáshidraulikai modellezése

1. Bevezető gondolatok

A tanulmány a védvonalakon kialakuló szivárgási folyamatokat elemzi annak érdekében, hogy a meglévő árvédelmi rendszerek védőképességét jobban megismerjük, illetve a szükséges fejlesztéseket hatékonyabban tervezhessük meg. Másképpen szólva azt vizsgálja, **hogy adott koronaszint mellett hogyan növelhető védvonalak teherbíró-képessége.**

A védelem hatékonysága a terheléstől és a teherbírástól függ. **A terhelést** maga az árvíz jelenti. Komoly kutatási tevékenység zajlik a várható árvízi szintek magasságának, tartósságának megismerése érdekében, figyelembe véve minden olyan beavatkozási lehetőséget, amellyel ez a terhelés csökkenthető (Vásárhelyi terv továbbfejlesztése).

A teherbírást első közelítésben az árvédelmi töltések magassága határozza meg, de ezen kívül sok más tényezőnek is jelentősége van: a töltések szélessége, anyaga, rézsúínek hajlása, a töltés belső szerkezete és az altalaj tulajdonságai szintén szerepet kapnak a teherbírás alakulásában. Mindez akkor válik nyilvánvalóvá, amikor olyan töltés szakad át, amelyet a koronaszintjénél alacsonyabb árvíz terhelt. Ugyancsak a teherbírás nem megfelelő mértékét jelzi az is, ha a mentett oldalt nagymennyiségű víz borítja el annak ellenére, hogy az adott szakaszon semmiféle meghibásodás nem következett be.

A töltéstartományban vagy az altalajban árvíz alatt zajló szivárgási folyamatok tehát a védvonal tönkremeneteléhez is vezetnek; ekkor a vízmozgás – az árvíz magasságának és időtartamának függvényében – olyan intenzívvé válik, hogy az érintett rétegek valamelyik pontján hidraulikus talajtörés alakul ki.

Jelen tanulmányban a mindmáig mostohán kezelt területtel, a teherbírással foglalkozom, áttekintve azokat a **matematikai modellezési módszereket, melyek segítségével a védvonalak szerkezeti felépítésének hatását, jelentőségét megítélhetjük.**

Meg kell jegyezni, hogy az árvédelmi vonalhoz a töltéstesten kívül az altalaj egy része is hozzátartozik, sőt a különböző szigetelő vagy megcsapoló elemek is (vízzáró magok és burkolatok, drének, szivárgócsatornák, kútsorok ...). Ez a bonyolult rendszer megköveteli, hogy olyan módszereket alkalmazzunk, amelyek a védvonal minden lehetséges elemének hatását figyelembe tudja venni.

2. A vízmozgásokat befolyásoló tényezők

Három lényeges körülményt kell vizsgálni:

- Kialakul egy erőter, ami a mozgást megindítja, majd fenntartja. Ez az árvíz. Szivárgáshidraulikai szempontból az árvíz akkor kezdődik, amikor a folyó szintje meghaladja a mentett oldali töltéslábat. Árvíz idején a talajvízszint a mentett háttérben is megemelkedik, kisebb-nagyobb távolságig.

- A talaj ellenállást képvisel az árvíz erőterével szemben, ezáltal mérsékli a talajvíz mozgását; részben lassítja, részben pedig hozzájárul ahhoz, hogy a folyó hatása valóban csak egy véges távolságig jusson el.

- Közben – a védvonal környezetében – a vízmérleg egyensúlyban marad. A folyóból és a hullámtérből a talajba jutó és a háttér felé induló víz folyamatosan megcsapolódik, majd elfogy. Ahol elfogy, ott van az árvíz hidrogeológiai hatásterületének határa, ettől a vonaltól távolabb már talajvízszint-emelkedések sem észlelhetők. A megcsapolódás részben természetes úton megy végbe, mert a mentett oldal megemelkedett talajvízének felszínéről nagyobb lehetőség nyílik a párolgásra, részben pedig mesterségesen is elősegíthetjük a szivárgórendszerek vízének

eltávolításával vagy a fakadóvizek elvezetésével. A mesterséges megcsapolás csökkenti a hatásterület szélességét.

Ha a talaj ellenállása elegendően nagy lenne a vízmozgást indukáló erőterrel szemben, akkor nem volna árvízveszély (pl. betonból épített töltések, alattuk széles, mély résfalak, kibetonozva).

Nincsenek – és nem is nagyon lesznek – beton védvonalak. Csak a közelben rendelkezésre álló talajokat használhatjuk. Ezek ellenállását pedig a szivárgási tényezőjük határozza meg.

A szivárgási tényező mérése meglehetősen bizonytalan és költséges. Homokoknál, kavicsos rétegeknél próbaszivattyúzások jöhetnek szóba, agyagoknál pedig különböző víznyeletési kísérletek. A legjobban kivitelezett mérés is csak egy egészen kis térrészre ad eredményt, a gyakorlatban viszont a teljes szivárgási mezőre vonatkozóan van szükségünk az adatokra. (A szakkönyvekben ismertett laboratóriumi mérések pedig csak egy apró, többnyire rosszul sikerült mintára, a vizsgált zónára esetleg nem is jellemző pontra vonatkoznak, ezért teljesen használhatatlanok.)

A szivárgási tényezők mérése során – a bizonytalanságok ellenére – kiderült, hogy jelentős különbségek vannak a vízszintes és függőleges irányú vezetőképesség között, a talajok tehát anizotrópok. Ennek az az oka, hogy többnyire folyóvízből ülepedtek ki, ezért egy réteg – a folyó hordalékszállító képességének váltakozásai miatt – mindig sok különböző tulajdonságú, kisebb-nagyobb vastagságú mikrorétegből áll. A víz „szívesebben” mozog a jobban vezető mikrorétegben, és nehezen töri át az alatta (vagy felette) települő vízzáróbb csíkot, tehát a vízszintes szivárgási tényező nagyobb. Agyagtalajoknál viszont többnyire a függőleges szivárgási tényező a nagyobb, mert a repedések zöme függőleges irányultságú.

Agyagtalajok a felszín közelében (néhány méter mélységig?) nem csak repedezettek, hanem a repedezettség mellett (az un „zsugorodó” talajoknál) – ismételt átnedvesedés és kiszáradás, kifagyás illetve különböző kémiai folyamatok hatására – a finom

szemcsék koagulálnak, előbb csak laza pelyhekké állnak össze, majd fokozatosan egyre szilárdabb rögökké alakulnak. Az agyagtalaj így morzsalékos szerkezetűvé válik, vízvezetőképességét és szilárdságát megint csak nem az anyagi minősége, hanem a szerkezete fogja meghatározni. Ezek a talajok laza homokként viselkednek, eredeti tömörségük is lecsökken.

Fentiek miatt – éppen az árvédelmi műveknél – nagyon fontos volna, hogy az agyagtalajok ún. „szerkezeti” szivárgási tényezőjét ismerjük, továbbá tudni kellene azt is, hogy ez a repedezettség-járatosság milyen mélységig alakult ki.

Sajnálatos, de végülis ki kell mondani: árvédelmi vonalaink talajainak szivárgási paramétereit nem ismerjük.

Éppen a bizonytalanságok miatt napjainkban egyre inkább az ún. indirekt vagy inverz módszerek terjednek. Ilyenkor nem az ismert szivárgási tényezők alapján számoljuk a talajvízszintet, leszívásokat, nyomásokat, hozamokat, hanem ez utóbbiakat megmérve következtetünk a szivárgási tényezőkre. A magyarországi védvonalakon mindez csak elvi lehetőség, mert szinte sehol nem mérjük ezeket a paramétereiket sem. Még a töltéstartásban árvízkor kialakult talajvíz felszínvonalát sem ismerjük.

3. Szivárgó vízmozgások a gyakorlatban

A védvonal különböző zónáiban tehát különböző intenzitású szivárgási folyamatok indulnak be, és ezek intenzitása időben is változik.

Maga az árvíz is időben változó hatóó, ennek ellenére a szivárgásból származó töltésszakadások vizsgálatánál napjainkig csak az árvíz magasságát (a mértékadó árvízszintet) vesszük figyelembe a veszélyeztetettség vizsgálatánál, pedig szükség volna az árvíz tartósságának vagy az áradások és apadások sebességnek ismeretére is (mértékadó árhullám-alak kellene). Egy rövid árhullám időtartama alatt esetleg nem is tudnak kifejlődni veszélyes szivárgási folyamatok.

A vízmozgás helytől függő intenzitását a töltéstest és az altalaj rétegeinek felépítésén és minőségén kívül a szivárgást befolyásoló elemek elrendezése is meghatározza. A víz bejutását akadályozó elemek szerepe egyértelmű, a megcsapoló elemek (amelyek a mégis bejutott víz kivezetését teszik könnyebbé) viszont intenzívebbé teszik a mozgást, ennek ellenére hozzájárulnak a biztonság növeléséhez azáltal, hogy a mentett oldali nyomásokat csökkentik.

Bonyolult kölcsönhatások következtében végül kialakul egy szivárgás szempontjából aktív tér, és ennek különböző pontjain különböző mértékű gradiensek, kisebb-nagyobb sebességek. A vizet vezető közeg számára ezek a gradiensek terhelést jelentenek. Ha a terhelés nagyobb az illető közeg által elviselhető gradiensnél (teherbírás), akkor talajtörés következik be.

A teherbírás és a terhelés hányadosa a biztonsági tényező. A védvonalakat úgy tervezzük, hogy a biztonsági tényező 1-nél nagyobb legyen, tehát nem engedjük meg, hogy a terhelés elérje a teherbírás értékét.

Rendkívül fontos, hogy ki tudjuk választani azokat a mértékadó pontokat, területeket, ahol a terheléseket és a teherbírásokat vizsgálni érdemes. Nyilvánvaló, hogy a leggyengébb helyeket kell megkeresni, hiszen az egész rendszer biztonsága a leggyengébb elem biztonságától függ.

A tapasztalatok szerint a szivárgásból származó tönkremenetelnek négy jellemzője, négy kritikus helye van:

- *Altalajállékonyság a fedőréteg felszakadása szempontjából:*

A mentett oldali töltéslábnál a rosszul vezető fedőréteg alsó síkjára ható felhajtóerő megemelheti, összetörheti a fedőt.

- *Altalajállékonyság buzgárképződés szempontjából:*

Szintén a mentett oldali töltéslábnál okozhat veszélyt, ha a fedő alatt ún. átmeneti (megfolyósodásra hajlamos) réteg van. A fedő esetleges járatain keresztül ilyenkor a vízzel együtt ennek a rétegnek a szemcséi is a felszínre jutnak, a helyükön üreg keletkezik, majd a fedő beszakad az üregbe.

- *Altalajállékonyság a vízvezető rétegben:*

Itt is kialakulhat talajtörés, ha túl nagy szivárgási sebességek fejlődnek ki. Ez általában akkor következik be, ha a fedőréteg már felszakadt, védőképessége megszűnt.

- *Rézsűállékonyság a mentett oldalon:*

A mentett oldali rézsű a felületén kilépő víz áramlási nyomása (és szemcséket kisodró, felületet megbontó hatása) miatt mehet tönkre.

Meg kell említeni, hogy vannak olyan tönkremeneteli formák, amelyek nem kötődnek szivárgási jelenségekhez, de kapcsolatban vannak a töltéstartományban levő vízzel. Elsősorban a diszperzív anyagú töltések megfolyósodása tartozik ide, ami az árvíz végén, például hirtelen apadáskor is kialakulhat, amikor a „klasszikus” szivárgási jelenségek már mérséklődtek.

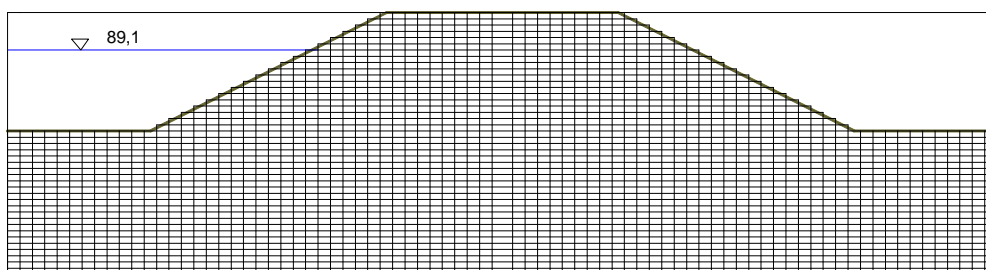
Szintén ide sorolhatók az olyan jelenségek, amelyek a csapadékból vagy hóolvadásból a töltésbe jutott víz hatására keletkeztek. Így rongálódott meg például a Szamos-jobbparti lokalizációs töltés 1999 tavaszán. Ez az országhatárral párhuzamosan haladó védvonal nem is tartott vizet ebben az időszakban.

Ismeretesek továbbá hirtelen vízszintemelkedéseket követő – légpárna közvetítésével kialakult – meghibásodások is.

Az előzőekben felsorolt négy kritikus hely elvileg vizsgálható volna a szivárgó vízmozgás differenciálegyenleteinek (Boussinesq egyenlet, Laplace egyenlet) célszerű megoldásával. A valóságban ez nem járható út; a kerületi feltételek, amelyek a töltések környezetében folyó szivárgást jellemzik, megoldhatatlan akadályt jelentenek a matematikai analízis számára.

Valamilyen megoldásra mégis szükség volt, ezért félanalitikus, sok elhanyagolást tartalmazó, nem teljesen exakt levezetésekkel létrehozták a szükséges összefüggéseket. Ilyen a Kovács-Hálek képletgyűjtemény (GNV Közös Egyezményes Terv. Egységes tervezési irányelvek, VI-11 kötet: A szivárgás elleni intézkedések számítási módja), vagy a Galli-féle rendszer (**Galli L.**: Az árvízvédelem földműveinek állékonysági vizsgálata. Az Országos Vízügyi Hivatal kiadványa, 1976.), amelyik néhány tapasztalati alapon nyugvó ökölszabályt is alkalmaz. Továbbfejlesztett változatával már a fakadóvízes sáv szélessége is meghatározható.

Napjainkban – a számítástechnika elterjedésével – terjedőben van a matematikai modellezés, ami nem más, mint a már említett differenciálegyenletek megoldásának un. numerikus módszere. A „numerikus” szó ebben az esetben az alkalmazott közelítő eljárás jelzője. Mindegyik módszernél az történik, hogy a vizsgált teret egy ritkább-sűrűbb rácshálóval helyettesítjük (**1. ábra**), és az eredeti egyenletek helyett más, de



1. ábra

azokból levezethető, viszont azoknál egyszerűbb egyenleteket oldunk meg. Az új egyenletek megoldása ugyanakkor csak a teret lefedő rácsháló csomópontjaira vagy celláira vonatkozik (diszkrét), és nem az egész vizsgált térre (nem folytonos). Tehát a numerikus matematikai modellek is csak egyfajta közelítést jelentik a valóságnak. Itt is elhanyagolásokra kényszerülünk, ám ezek olyanok, amelyek kevésbé zavarják a gyakorlati igények kielégítését, mert - ha pontatlanul is - a vizsgált jelenségre ható összes tényező egyidejű számításba vételét lehetővé teszik. A modellek pontatlansága egyébként – elvileg – a rácshálók méreteinek csökkentésével javítható.

A numerikus modell alapvetően a szivárgási tér nyomáseloszlását adja meg, majd ebből kiindulva minden további jellemzőt számítani lehet. Nyomáskülönbség és két cella távolsága alapján gradienseket, a szivárgási tényezőt is bevonva sebességeket, majd vízhozamokat származtathatunk a modell bármelyik térrészére vagy kijelölt síkjára vonatkozóan.

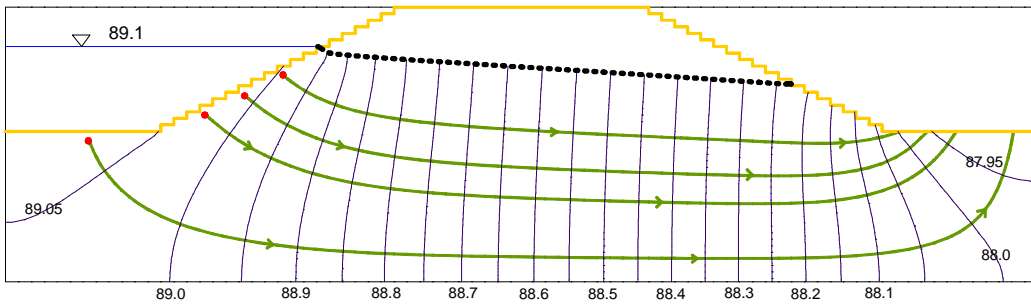
Mindegyik módszernél vannak problémák. A Galli rendszerben például a mentett oldali rézsű állékonyságának számítására ajánlott összefüggések alapján szinte soha nem lehet kimutatni a szabvány szerinti biztonsági tényezőket (ennek ellenére a töltések – általában – állnak). Numerikus modellel pedig a mentett oldali rézsűn a vízkilépés pontjai szinguláris pontok, emiatt ezeknél a rácsháló méreteitől is függ a számított gradiens, ami elfogadhatatlan.

A matematikai modellek az áramvonalak illetve a nyomáseloszlás számítása és grafikus kijelzése révén nagyon szemléletesen mutatják be a védvonal környezetében zajló vízmozgásokat. A **2. – 6. ábrákon** a már ismertetett rácshálón (**1. ábra**) számított állapotok tanulmányozhatók, többféle védvonal-elrendezés esetén.

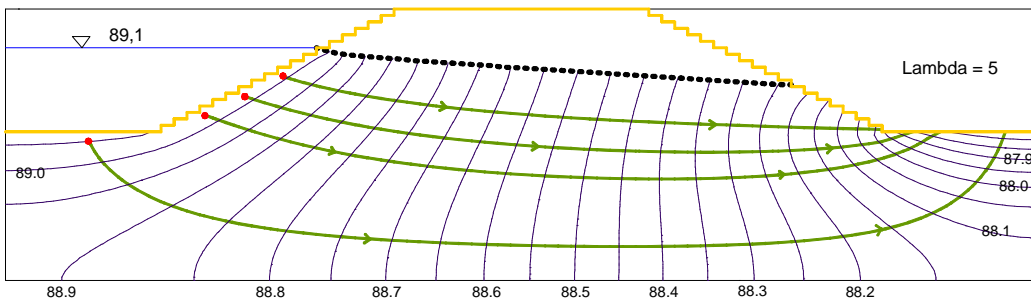
Mindegyik ábrán szerepelnek a nyomáseloszlást jelző potenciálvonalak, négy áramvonal (melyek mindig ugyanazon négy vízoldali pontból indulnak), illetve a szivárgási teret felülről határoló talajvízfelszín (nyomásvonal, felszínvonal), pontokkal jelölve.

A **2. ábrán** a töltéstest és az altalaj ugyanazon talajból áll, a vízszintes és függőleges szivárgási tényezők pedig azonosak. Ez az a tankönyvszerű alapeset, amelyik a gyakorlatban sohasem fordul elő, ilyenkor az áramvonalak és potenciálvonalak merőlegesen egymásra.

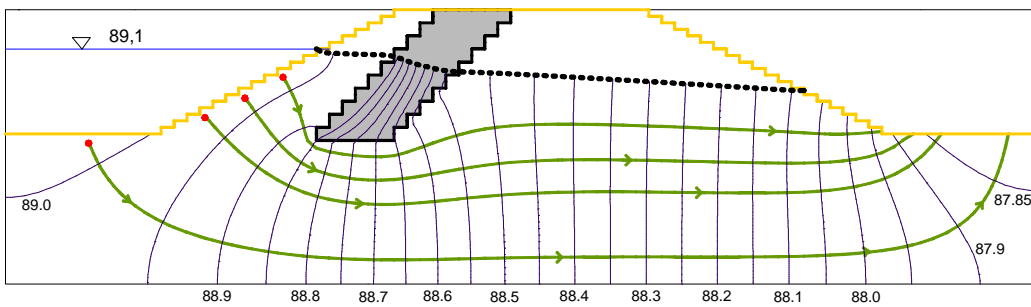
A **3. ábra** azt az állapotot mutatja, amikor a vízszintes szivárgási tényező ötször nagyobb. A mentett oldali töltésnél ebben az esetben a potenciálvonalak sűrűsödnek, ami nagy gradienseket, tehát a töltés nagyobb mérvű veszélyeztetettségét jelenti.



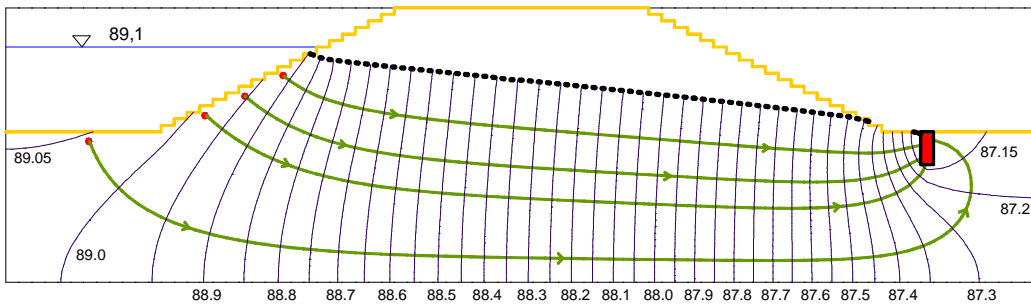
2. ábra Homogén és *izotróp* töltéstest és altalaj



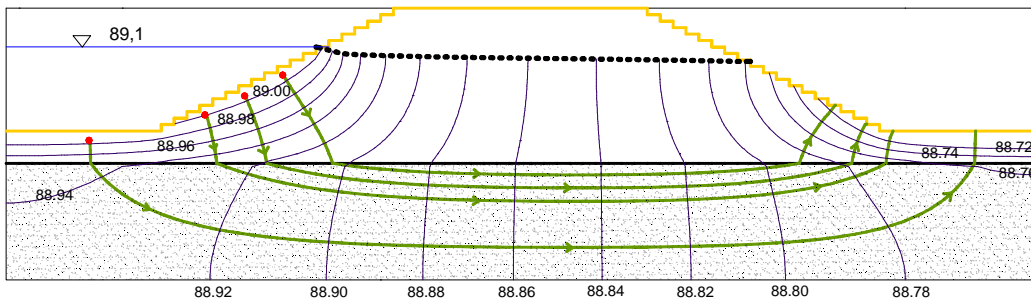
3. ábra Homogén, de *anizotróp* töltéstest és altalaj



4. ábra Víz záró mag a töltéstestben



5. ábra Drén a mentett oldali töltéslábnál



6. ábra Vízvezető altalaj

Ha a töltésbe vízzáró (a töltéstestnél tízszer kisebb szivárgási tényezőjű) magot építünk (4. ábra), akkor a mag belsejében lesz nagy a nyomásesés, tehát a magon keresztül történő áramlás jár nagy energiavesztéssel, amit a felszínvonal (ezen a szakaszon) megnövekedett esése is jelez. Ebben az esetben az áramvonalak megkerülik a magot, a víz zöme inkább a jobban vezető részeken keresztül fog mozogni.

A 5. ábrán egy drén működik a mentett oldali töltésláb mögött. Ez magához vonzza az áramlás nagyrészét, és jelentősen mélyebbre süllyeszti a felszínvonalat.

Végül a 6. ábrán az altalajban lévő vízvezető (tízszer jobb szivárgási tényezőjű) réteg hatását tanulmányozhatjuk. A réteg összegyűjti és a mentett oldal felé vezeti a vizet, így a töltéslábnál – ahol már vékonyabbak a fedőképződmények – jelentős felfelé irányuló áramlást vált ki. A helyzet veszélyét jól mutatja a magas felszínvonal is.

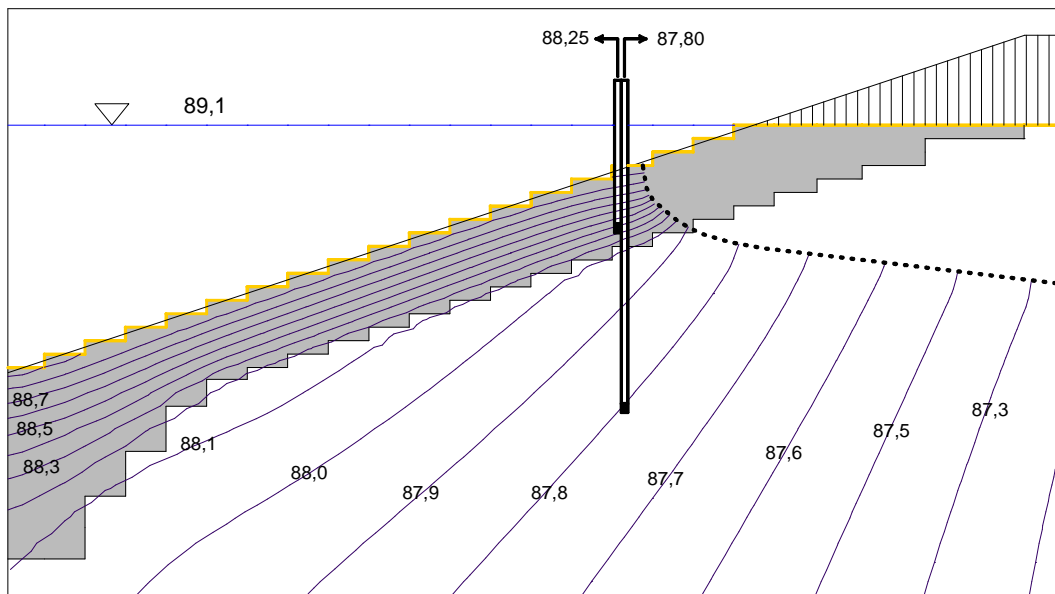
4. Észlelőállomásokat a töltéstestbe!

Említettük már, hogy a szivárgáshidraulikai vizsgálatoknál mennyire hiányosan ismerjük a védvonalak környezetében kialakult talajvíz-nyomásviszonyokat, sőt, nem ismeretes a talajvíz-felszínvonal helye sem, miközben egy korrekt számításhoz mindezekre, de a numerikus modellel történő vizsgálatokhoz még további, korábban nem alkalmazott rétegparaméterekre (pl.: belépési és kilépési hidraulikai ellenállások) lenne szükség ahhoz, hogy a módszer nagyobb lehetőségeit ténylegesen kihasználhassuk.

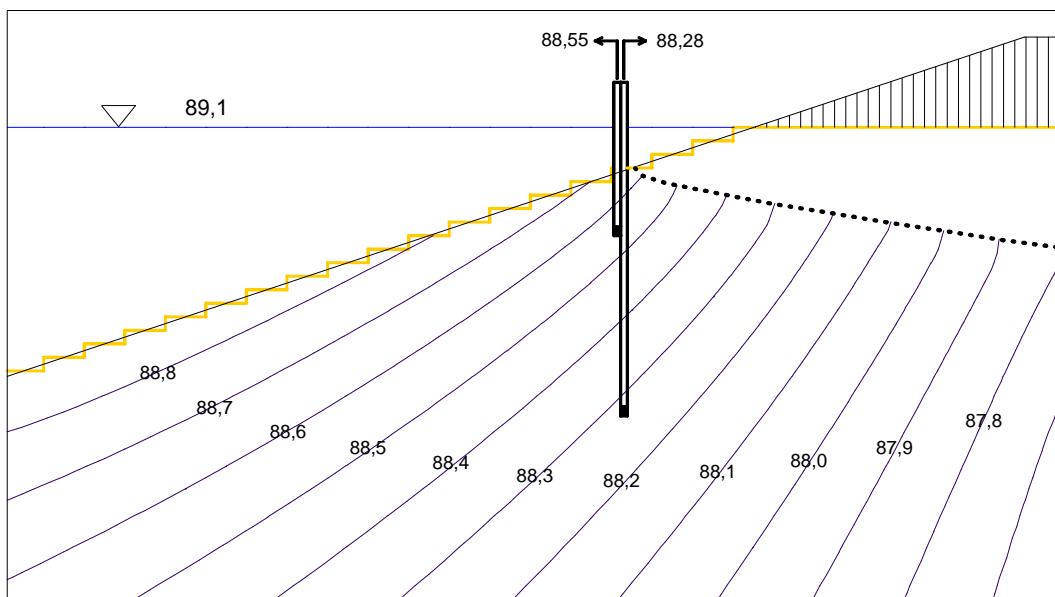
A már említett inverz módszerek alkalmazásához leginkább a talajvíz-nyomásszintek ismeret volna fontos, az is a vizek be- és kilépési zónáinak közelében.

A vízkilépés környezetében (a mentett oldali terepen és újabban – szórványosan - a szivárgók közelében is) van néhány kút, de egyáltalán nincs a töltés vízoldalán.

Olyan kútpárookra volna szükség, amelyek a vízdali töltérszélén, a mértékadó árvízszint alatt 0.5 m mélységű terepszintről indulnak (ez általában a töltéskoronánál 1.5 m-rel mélyebb szintet jelent, lásd: **7. ábra**).



7. ábra



8. ábra

A sekélyebb kút mindössze 0.7 m, a mélyebb 2.7 m mélységű. A szűrő hossza mindkét kútnál 20 cm, és a szűrő a cső alján helyezkedik el, tehát iszapzsák nincs. Erre azért van szükség, hogy a kút ki tudjon ürülni, és így azt is érzékeltetni lehessen, hogy a nyomásszint (a felszínvonal) a kút talpánál mélyebben van, nem éri el a szűrő fenekét.

A két kút egymástól – hosszirányban számítva – néhány dm távolságra épülhet meg. Mindkettőt fel kell csövezni a terep felett 1 m magasságig.

A **7. ábrán** bejelöltük, hogy milyen vízszintek alakulnának ki a két kútban egy olyan esetben, mikor a töltés vízföldalát vízrekesztő burkolat borítja. A **8. ábra** pedig a burkolat nélküli potenciáleloszlást és a kutakban mérhető vízszinteket mutatja.

A rövid szűrőknek köszönhetően meglehetősen nagy, (a vízbelépéssel szemben fellépő hidraulikai ellenállásokat is tükröző) vízszintkülönbségeket mérhetnénk, a szivárgáshidraulikai modelleket pedig ezek alapján kalibrálhatnánk. A mai modellező szoftverek PEST moduljai automatikusan számítják a nyomáseloszláshoz legjobban illeszkedő szivárgáshidraulikai paramétereket.

Korábban voltak kísérletek a töltéstartományban kialakuló talajvízállapotok mérésére [Martfű, Aranyosi kanyar, a kiskörei tározótöltések, Bába-Pörboly, Rajka], de a kutak szűrői mindenütt 2-3 méteresek, ezért az eredmények értékelhetetlenek. Gondoljuk meg, mit mutatna a **8. ábrához** hasonló környezetben egy 2 m hosszú - tehát a sekély kút talpától a mély kút talpáig kiképzett - szűrő!

* * *

A észlelőkutaktól az árvédekezők szinte iszonyodnak, pedig egy jól kivitelezett kút, egy acélcső inkább erősítené, „megvasalná” a töltéstartományt. Nem is volt még meghibásodás olyan szelvényben, ahol észlelőkút van.

* * *

Jelen tanulmány első változata a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Vízügyi Hivatala: **Árvízvédekezés a gyakorlatban**, Budapest, 2004. című kiadványban jelent meg.