

5. FÖLDMŰVEK

A földművek két nagy csoportra oszthatók: *töltésekre és bevágásokra*. A töltések lehetnek *közlekedési földművek és vízépítési földművek (gátak)*. A gátak *árvízvédelmi gátakra és duzzasztó gátakra* oszthatók. Az árvízvédelmi gát a *töltésből* (a gát terepszint feletti része) és a vele „együttműködő” *altalajból* áll. Az együttműködő altalaj méretét a helyi szivárgási és állékonysági viszonyok szabják meg.

A vízépítési földművek speciális igénybevétele, hogy a *statikai állékonysági teherbíráson* kívül a *hidraulikai terhelésnek* is meg kell felelnie. Hidraulikai terhelés egyrészt a töltésen, másrészt az altalajon keresztül hat.

A topográfiai tényezők és történeti okok következtében Magyarország *árvízvédelmi művei rendszerének* gerincét döntően a folyók mentén épült *árvízvédelmi töltések* – mint elsőrendű árvízvédelmi művek – alkotják (12. fejezet). A *kiépített gátak* és az azok között helyenként megtalálható *magaspartok* összefüggő rendszert alkotnak. Az árvízvédelmi gát jelenti a töltést, és a vele együttműködő altalajt. A töltés magassága a vízdali koronaél és a mentett oldali töltésláb közötti különbség. Az árvízvédelmi gát lehet:

- földgát,
- árvízvédelmi fal (állandó és mobil),
- egyéb műtárgy (keresztezések, kapuk stb.).

Kialakításuk részletkérdéseit, a *gátak tartozékainak* ismertetését a 12.4.1. fejezet tartalmazza. Az árvízvédelmi töltések *fő részeit* a 12–8. ábra, *méreteit* a 12–9. ábra szemlélteti.

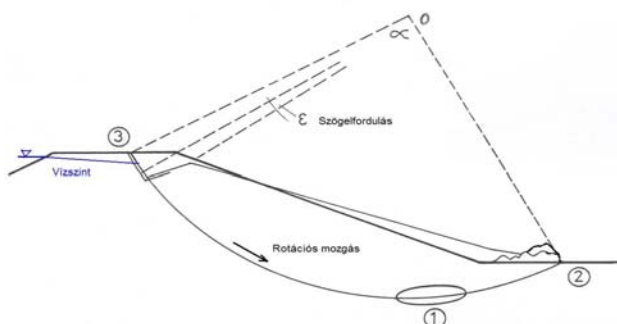
5.1. AZ ÁRVÍZVÉDELMI GÁTAK ÁLLÉKONYSÁGA

Árvízvédelmi gátak állékonyság vizsgálatánál statikai és hidraulikai számítást kell végezni. A *statikai számítás* a következő eseteket foglalja magába:

- vízdali vízterhelésre a mentett oldal suvadása,
- hirtelen apadó vízszintre a vízdal állékonyságának meghatározása.

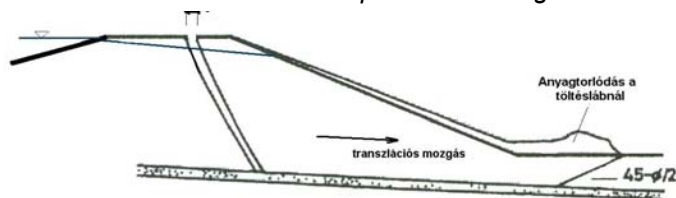
Az árvíz idején a *mentett oldali suvadás folyamata* többfajta lehet:

- *A mentett oldali részsű teljes elázása, átázása*, amely *sárfolyás* kiváltó oka lehet. Ennek következtében a laza kötött talaj kohézióját veszti, és a lecsúszott képlékeny anyag a töltés lábánál legyezőszerűen terül szét. Ilyen jelenség játszódott le a 2001. évi tiszai árvíz során 3,5 óra alatt 16 helyen a tarpai gátszakadásokat közvetlenül megelőző időszakban, és a gátszakadásoknál is.
- *Merev földtest elmozdulása körcsúszólappal* (ilyen jelenséget tapasztalhattak a védekezők a 2000. évi közép-tiszai árvíznél, a Tiszabura feletti részsúcsúzásnál). A merev földtest a rotációs mozgással az általában telített, plasztikus agyag-rétegben „elcsúszik”. Ilyenkor az elmozdult és a helyben maradó földtest között *repedés nem található* (5-1. ábra).



- 1 – A nyírószilárdság először a csúszólap legmélyebb pontján merül ki.
- 2 – Megjelenik a felgyűrődés a mentett oldali töltéslábnál.
- 3 – Húzási repedések keletkeznek a koronán.

5-1. ábra. Körcsúszólap rotációs mozgással



5-2. ábra. Síkcúszólap transzlációs mozgással

- *Merev földtest elmozdulása síkcúszólappal* (erre jellemző példát szolgáltatott a 2000. évi közép-tiszai árvíznél az *akolhái* részsúcsúzás). A merev földtest transzlációs mozgással valamilyen alacsony nyírószilárdságú réteg mentén elcsúszik. Az elmozdult és a helyben maradó földtest között *változó mélységű repedés alakul ki* (5-2. ábra).

A suvadásoknál a kezdeti időben lejátszódó folyamatok jól azonosíthatók. Merev testként elmozduló földtestek suvadása a *progresszív törés elmélete* alapján időben a következő módon indul be:

- Növekvő vízterhelés hatására a mentett oldalra növekvő elnyomó- és felhajtó erő hat. A *nyírószilárdság kimerülése* a csúszólap legmélyebb pontja környezetében mutatkozik először.
- A terhelés okozta elmozdulások miatt a reziduális nyírószilárdság alacsonyabb értéke nem jelent megfelelő ellenállást, így a telített talajban a csúszólap és környéke gyorsan plasztikus állapotba kerül. Az első – szemmel is nyomon követhető – jelenség a mentett oldali terepszinten kialakuló *anyagtorlódás*. A töltés lábánál a passzív földnyomás nem tud ellenállni az elnyomó erőnek, a töltésláb környezetében a terepszinten a *talaj hullámosan megemelkedik*. Valójában ennek észlelésekor már a csúszási folyamat megindult, ezért haladéktalanul intézkedni kell a további mozgások csökkentése érdekében (ugyanis az elmozdulást megakadályozni már nem lehet). Ez a jelenség még rendszerint nem észrevehető az árvízvédekezés-kor kulcsszerepet játszó segédöröknek, mert nincs megfelelő helyismeretük.
- A mozgás megindulásával párhuzamosan, de inkább egy kicsit időben késleltetve a koronán, padkán vagy rézsűn is megjelennek a csúszásra jellemző *repedések (5–1. ábra)*.

A suvadás további alakulásánál már jelentősebb szerepe van az *emberi beavatkozásnak*, a védekezők aktivitásának is. A talajok és a suvadás további alakulásával, az erőjátékban részvevő hatásokkal kapcsolatban csak néhány általánosan megfogalmazható viselkedésre lehet felhívni a figyelmet:

- A kezdeti elmozdulások után a suvadás szélén kialakul a *nyírási repedés*, az ott működő nyíróerő nullára csökken (repedésben nem adódik át erő), ami a suvadással szembeni erőket csökkenti. A nyírási repedés megjelenésével a háromdimenziós suvadásunk az állékonyságszámítás szempontjából kétdimenzióssá válik.
- A suvadás kezdete után hamarosan létrejönnek akkora elmozdulások, hogy az agyag talajoknál már kialakul a reziduális nyírószilárdság, ami kisebb, mint a nyírószilárdság csúcserőértéke.
- A csúszólap felülete nem egyenletes, és – mint ahogy az árvíz utáni nyílt feltárások is mutatták – az elmozduló és helyben maradó földtestek között rész alakulhat ki (5–1. kép). A csúszólap repedése az erőjátéknál két szempontból fontos. Egyrészt a repedésben a víznyomás általános kialakulását segíti, ha esetleg addig nem is volt meg, másrészt eláztatja a csúszólapon az agyag felszínét, lecsökkentve a nyírószilárdságot.
- A csúszólap felszínén az agyag szerkezete megváltozik, átstrukturálódik. A korábban meglévő másodlagos pórusok, járatok bezáródnak. A korábbinál vízzáróbb felület jön létre, ami növeli a csúszólapra ható víznyomást, mert visszaduzzasztja a szivárgó vizeket.



5–1. kép. Csúszólapon kialakuló repedés (Hármas-Körös jp., Istvánházi suvadás, KÖTIVIZIG)

Mind a négy felsorolt hatás csökkenti a biztonságot, a suvadás folytatódását eredményezi. Ezeket a hatásokat még nem lehet számszerűsíteni a biztonsági tényező értékénél, de egyértelmű, hogy nem a stabilitás irányába hatnak. A fenti hatások pozitív oldala a *hatás-ellenhatás törvény* alapján, hogy az elmozduló földtest által a helyben maradó földtestre kifejtett vonzóerő is kisebb lesz, tehát csökkenti a hátrarágódás valószínűségét. Ennek gyakorlati haszna a csúszólap megterhelésénél lehet. A csúszólap megterhelése azt jelenti, hogy fenntartják a mozgást, tehát olyan elmozdulásokat hoznak létre, melyeknél a reziduális nyírószilárdság érvényesül. Itt van tehát többek között olyan döntési pont, mely egy suvadás elleni védekezésnél fontos szempontot jelent.

5.2. AZ ÁRVÍZVÉDELMI GÁTAK ANYAGA

Magyarországon az árvízvédelmi gátak nagy része földmű, kisebb részben, mintegy 80 km hosszban valamilyen beton fal, vagy támfal. Az árvízvédelem új eleme a **mobillárásos árvízvédelmi fal** (5–2. kép), mely elsősorban városi alkalmazásban jöhet szóba. A mobil fal megfelelően terezett alépítménnyel rendelkezik, a felépítmény üreges kialakítása a könnyű szerelést teszi lehetővé. Alkalmazási magassága 3,0-3,5 méter. Nem tévesztendő össze a mobil árvízvédelmi gáttal (13.1.4. fejezet), ami a nyúlógátat helyettesíti, nincs alépítménye és magassági korlátja a 0,8 méteres vízszinttartás.



5–2. kép. Jól vizsgázott a 2013. évi árvíznél a már elkészült, át nem adott, Magyarország első mobil árvízvédelmi fala Szentendrén. Az 1,8 méter magas fal 333 méter hosszon védte a várost a mértékadó árvíznél magasabb vízzel szemben.

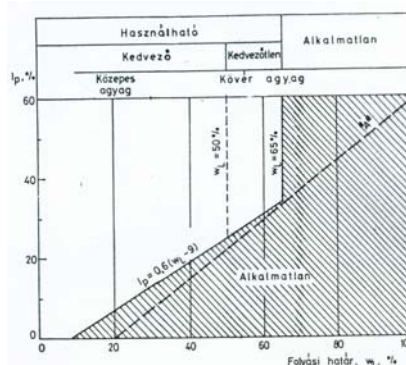
Az árvízvédelmi gátak töltései nagyrészt jó vízzáró kötött talajból épültek. Azt lehet mondani, hogy a gátak legalább 90%-nak anyaga agyag, a maradék 10%-a iszap és iszapos finomhomok. Ennél durvább szemcséjű talaj csak szerkezetes töltésben fordulhat elő.

A töltésépítésre alkalmatlan talajokat az MSZ 15290 „Vízépítési földművek tömörségi előírása” c. szabvány mutatja be részletesen, mely szerint töltésépítésre nem használhatók fel a következő talajok:

- a humuszos talajok,
- a szerves-tőzeges talajok,
- az olyan térfogatváltozó agyagok, melyek folyási határa $w_L > 80\%$,
- a lágy iszapok és agyagok, ahol a konzisztencia index $I_c < 0,5$,
- a málló kőzetek,
- a fagyott állapotú talaj,
- az olyan talajok, melyeknek a legnagyobb száraz térfogatsűrűsége (a módosított Proctor vizsgálattal meghatározva) (ρ_{dmax}) kisebb, mint 1650 kg/m^3 ,
- a különféle szemét és építési törmelék,
- a környezetre ártalmas, szennyezett talajok.

Csak szerkezetes töltésekben, előzetes geotechnikai vizsgálatok alapján meghatározott módon és elhelyezésben beépítve használhatók fel:

- a diszperzív talajok az MSZ 15296 szerinti minősítés alapján,
- a megfolyásra hajlamos szikes talajok,
- az olyan térfogatváltozó talajok, melyek folyási határa $60\% < w_L < 80\%$,
- a folyósodásra hajlamos szemcsés talajok, melyek egyenlőtlenségi mutatója (a szemeloszlási görbe alapján meghatározott 60 súlyszázalékhoz tartozó szemcseátmérő és a 10 súlyszázalékhoz tartozó szemcseátmérő hányadosa) $C_u < 5$,
- víz alól kotort vagy zagyolt talajok,
- nem szerves bányameddő és törmelék, melyben nincsenek a tömörített rétegvastagság felénél nagyobb átmérőjű darabok.



5–3. ábra. Korábbi szabályozás a gátépítéshez használható kötött talajokról

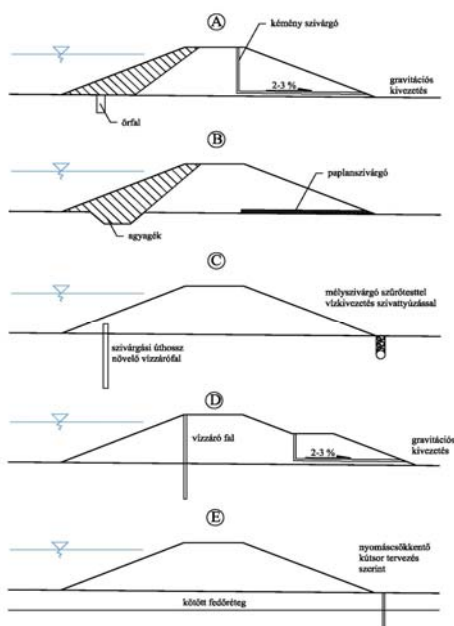
5.3. A VÍZÉPÍTÉSI FÖLDMŰVEK SZERKEZETE

Az ármentesítés legfontosabb eleme az árvízvédelmi gát, amelyek szerkezetük alapján a következő csoportokba sorolhatók:

Homogén gát: a teljes keresztmetszvény ugyanazzal az építési móddal és ugyanabból az anyagból egyszeri építéssel készült el.

Zónás gát: a teljes keresztmetszvény több ütemben és/vagy több építési módszerrel készült, alapvetően ugyanabból a talajból (lásd a 12–13. ábrát).

Szerkezetes gát: amikor a gátba különböző szerkezeti elemeket (szivárgó, agyagék stb.) építettek be (5-4. ábra).



5-4. ábra. Szerkezetes árvízvédelmi gát fő részei

- a vízzárást biztosító szerkezeti elemet a szivárgó víz ne kerülhesse meg,
- a vízzárást biztosító szerkezeti elem vastagsága nagyobb legyen, mint a 5.4.1. fejezetben leírt előregedett zóna (5-5. ábra) vastagsága.

5.4. AZ ÁRVÍZVÉDELMI GÁTAK LEGGYAKORIBB HIBÁI

Az árvízvédelmi gátak állékonysága szempontjából a legfontosabb tényezők a következők:

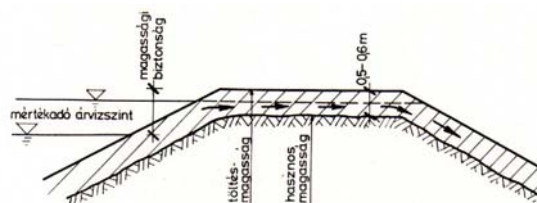
- vízzáró fedőréteg vastagsága az altalajban,
- az altalajjal jól összedolgozott, együttműködő földmű,
- kötött talajból megfelelően tömörítve épített árvízvédelmi töltés.

Ezen tényezők hiánya vezet az árvízi jelenségek kialakulásához, amelyek fontosabb okait a 5.4.1.–5.4.5. fejezetek foglalják össze.

5.4.1. Az árvízvédelmi töltések öregedése

Az árvízvédelmi gátak kötött talaja öregszik, átalakul. Az idők folyamán ugyanis a töltés felszínén megtelepült növényzet gyökerei, a különféle állati kártevők, a fagyhatás, az agyag térfogatváltozása, stb. miatt a töltés legfelső, mintegy 0,6–0,8 méter vastag rétege, különösen a felső 0,4–0,5 m-es rétege szivacsossá, járatossá válik, így a szivárgással szembeni ellenállása jelentősen csökken. Kevésbé áll fenn ez a helyzet széles és burkolt koronájú töltéseknél, ahol a koronán a növényzet és az állati kártevők nem tudnak megtelepedni. A töltés legfelső, járatos rétegére annál is inkább figyelemmel kell lenni, mert ha a 14.1.1. fejezetben részletezett bármelyik módszer szerinti töltésmagasításra kerül sor, annak sikere döntően attól függ, hogy a magasítás alatt ez a réteg hogyan viselkedik. Ha ugyanis ebben az előregedett rétegben nagymértékű szivárgás, vízáramlás indul meg, akkor ez egyrészt tovább fokozza a töltés átázását, másrészt a magasítás tönkremeneteléhez vezethet azáltal, hogy a járatos réteget a víz tovább erodálja.

A töltéskoronát megközelítő, vagy azt meghaladó, árvíz elleni védekezés szempontjából a magassági biztonságot erre a körülményre figyelemmel kell értékelni, és a töltés hasznos magasságának azt a magasságot kell tekinteni, amelyben a legfelső, vízáteresztő, járatos réteget nem veszszük figyelembe (5-5. ábra).



5-5. ábra. A gát külső köpenye az öregedési zóna

5.4.2. Tömörítetlen földmű

A földmű építése jelenleg alacsony élömunkával, nagyarányú gépesítéssel történik. Nem így volt ez a XIX. században és a XX. század első felében. A talicskás, kordés földmunka sajátosságai voltak: kis szállítási távolság, a talajok közötti válogatási lehetőség hiánya, magas víztartalom a beépítéskor, valamint az, hogy a talajrögök egyben maradtak, amit az esetleges helyenkénti tömörítés sem tudott szétverni.



5–3. kép. Talicskás földszállítás a XIX. sz. végén

A földművek tömörítésére vonatkozó szabályozások a XX. század 20-as éveire vezethetők vissza nemzetközi vonatkozásban. Bár már a XIX. században is több helyen előírták a hazai árvízvédelmi gátak építésénél a „furkóval” történő tömörítést, ez nem volt általános, és megdrágította az építést. A szabályozási környezet sem segített a tömörítésnek, mert nem a beépített jó minőségű föld tömege (térfogata) alapján, hanem a kitermelt föld térfogata alapján fizették a kubikos brigádokat (5–3. kép).

A XX. század közepe előtt épült árvízvédelmi gátaknál az anyagnyerőhelyen lévő föld minőségét és az altalajt nem vizsgálták.

A megfelelő altalajnál, vagy töltésépítési anyagnál fontosabb szempont volt a XIX. században az árvízvédelmi gát vonalazásánál a birtokhatárok helyzete. Így az árvízvédelmi gát sok kedvezőtlen altalaj adottságú területet keresztez, a későbbi töltésérsítések pedig már megtartották a korábbi nyomvonalat.

5.4.3. Töltésalapozási hiányosságok

A XIX. században nem volt előírás, hogy új gát alapozásakor (és ugyanígy egy töltés erősítésekor) a humuszos fedőréteget el kell távolítani. Emiatt az altalaj 20–30 cm vastag (el nem távolított) fedőrétege a vizet jobban vezeti. Ehhez jött az a hibás gyakorlat, ami még a XX. század második felében is tartotta magát, hogy humusztalanítás után – a ráépítés alapozása végett – a legfelső réteget *felszántották*, de a szántást nem követte tömörítés.

5.4.4. Nem megfelelő anyagok beépítése

Itt elsősorban a szikes, diszperz agyagokra és az erősen kötött, magas plaszticitású (zsíros tapintású) agyag talajok beépítésére kell gondolni. A szikes talajok árvízvédelmi gátba építését – az erózió veszélye miatt – már a XIX. században is tiltották, azonban ha a sziksó nem jelent meg a felszínen, a szikes talajt minősíteni nem tudták. Azt azonban megfigyelték, hogy a szikeseknek rosszabb a termőképessége, így ezeket a területeket csak rét-legelő gazdálkodásra használták.

5.4.5. Agyagok nem megfelelő víztartalommal történt beépítése

A szabályozások kezdetekor a töltés építése többnyire közmunkások igénybevételével történt. A töltésépítési munkák az aratás befejeztével kezdődtek. Az őszi esők gyakran áztatták el az anyagnyerő helyet és az épülő töltést is. A töltésépítési anyagot leggyakrabban a vízdali töltéslábból vették, ahol rendszerint a legnedvesebb a talaj a gát környékén. Ennek megfelelően sokszor a kívánatosnál magasabb víztartalommal épült az árvízvédelmi gát. Ez problémaként elsősorban a kövér agyagoknál jelentkezik, melyek magas víztartalomnál nehezen tömöríthetőek, víztartalmukat nehezen adják le és a víztartalom-csökkenés zsugorodással jár.

A földmunka a XX. század közepéig *keresztiszállítással* épült, a töltés mellől kiemelt talaj rontotta a szivárgási viszonyokat, sokszor átvágták a felszíni, felszín közeli vízzáró kötött talajt, és az anyagárok belemetszett a jobb vízvezető altalajba. Ezáltal nemcsak a szivárgási úthossz rövidült le, de az altalaj átlagos áteresztőképessége is megnőtt a felszínen lévő jobb vízzárású talajok elhordása miatt.

Az árvízszintek emelkedésével egyre nagyobb töltésekre volt szükség, így az östöltést magasítani és szélesíteni kellett. A többször erősített földművek (lásd a 12–13. ábrát) lazább részeket tartalmaztak, az erősítésnél azonban rendszerint nem távolították el a gát felső mintegy 20 centiméter vastag humuszos fedőréteget, így *szivárgási sávok* alakultak ki (az ún. *kontúrszivárgásról* lásd a 13.3.4. fejezetet).

A felsorolt okok jórészt történelmi örökségek, abból a korból, amikor a földmű építői még nem rendelkeztek a mai ismeretekkel. Árvízvédelmi gátjaink nagy része a XIX. században, kezdetleges építési technológiával, sokszor – a mai értelemben vett – leelemibb alapozási és tömörítési előírások nélkül épült.

Egy-egy öblözet megvédése a helyi érdekeltek áldozatkészségétől, teherbírás vállalásától függött. A nagy árvizek mindig előrelendítették az ármentesítés ügyét, a gátakat rendszerint egy-egy jelentősebb árvíz levonulását követően erősítették. Ezek a körülmények magyarázzák, hogy árvízvédelmi gátjaink méretei még napjainkban sem egységesek, minőségük, tömörségük egyáltalán nem kielégítő, hosszú szakaszokon mind magassági növelésre, mind keresztmetszeti erősítésre szorulnak.

A több mint 150 éve tartó szakadatlan töltésépítések és töltéserősítések rendszerint megtartották a töltések első helyszínrajzi vonalozását. A földmű tervezéséhez, illetve építéséhez altalaj vizsgálatok és talajmechanikai szakvélemények csak mintegy 50 éve készülnek, ezért csak az utóbbi néhány évtizedben derült ki, hogy a földmű eredeti vonalozása több kedvezőtlen adottságú területet keresztez. Ilyenek, ahol

- az altalajban szerves anyagok illetve tőzeges rétegek találhatóak,
- a kötött altalaj diszperzív tulajdonságot mutat,
- felszín közeli laza, közel egyszemcsés finom homok, iszapos homok, homok rétegek találhatóak,
- holtág kereszteződéseket azonosítottak.

5.5. AZ ÁRVÍZVÉDELMI GÁTAK LEGGYAKORIBB VESZÉLYFORRÁSAI

Az árvízi jelenségek kialakulásánál a leggyakoribb *veszélyforrások*:

- a vastag vízzáró fedőréteg hiánya az altalajban,
- az altalajjal nem megfelelően összedolgozott, együttműködő gát alapozása,
- a nem jó minőségű talaj,
- a nem megfelelően tömörítve épített töltésanyag,
- az árvízvédelmi töltés homogenitásának hiánya.

5.5.1. Szerves–tőzeges altalaj

Szerves–tőzeges talaj eddig csak a gát altalajában került azonosításra. Jelenléte az árvízvédelmi gátnál azért kedvezőtlen, mert

- nagymértékben összenyomható, ezért az eltérő terhelésekre különböző mértékben nyomódik össze; a földműben az egyenlőtlen süllyedések miatt repedések keletkeznek;
- a puha összenyomódó talajon nem lehet tömörített földművet építeni;
- nyírószilárdsága alacsony, könnyen talajtörés alakulhat ki;
- kialakulása miatt rendkívül inhomogén településű, ezért a talajvizsgálati eredmények csak kis mértékben tükrözik a talajfizikai jellemzőket;
- olyan nagymértékben lehet rétegzett, hogy már anizotrópnak sem nevezhető.

1993-ban több mint 80 adat alapján térkép készült az ismert szerves-tőzeges talajrétegek előfordulásáról a magyarországi árvédelmi töltések alatt. Ez a szám figyelmeztet arra, hogy nem egyedi problémával állunk szemben.

Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a szerves-tőzeges talaj viselkedése oly mértékben különbözik az ásványos talajok viselkedésétől, hogy az ásványos talajra meghatározott állékonyság számítás a szerves-tőzeges altalajú töltésekre nem érvényes, ezeknél mind a talajmechanikai vizsgálat módja, mind az értékelés, mind pedig az állékonysági számítás eltérő. Eddigi ismereteink szerint töltésbe szerves-tőzeges talajt nem építettek.

5.5.2. Folyós homok

A közel azonos méretű szemcsékből álló folyós homok szilárdságát kis hidraulikai erőhatásokra is elveszítheti, s ha vízzel telített és laza állapotú, akkor folyóssá válhat. Kellő hidrosztatikus nyomás, szivárgási nyomás hatására csaknem minden szemcsés talaj folyós állapotba hozható. Ennek feltételeit elsőnek a folyós homok teljesíti.

Terhelés, vagy dinamikus hatás következtében a homokban fellépő feszültségeket a pórusvíz veszi fel, a szemcsék váza elveszíti tartását, s folyadékként viselkedik. (Vízzel telt edénybe töltött folyós homok oszlop tetejére állított súly azonnal alásüllyed, ha mellette hirtelen botot szúrunk le, vagy dinamikus hatásnak tesszük ki (megrázzuk) az edényt.)

A folyós homok elsősorban buzgár képződésnél jelent veszélyt. Azok a homok szemcsék, melyek a felszínen vannak, vagy felszín el tudják érni, a vízáramlás hatására lebeghetnek az áramló folyadékban, a vízáramlással szembeni ellenállásuk megszűnik, talajtörés alakulhat ki.

5.5.3. Szikes talajok

Szikes anyagok beépítését a korábbi előírások is tilalmazták, így ilyenek a töltéstartestbe csak kivételesen kerülhettek (5–4. kép). A közismerten „szikes” névvel megjelölt nátrium talajok felderítése, feltárása és fekvésének lehető pontos megismerése kívánatos. Az ilyen anyagok a vizet lassan veszik fel, de nagy mennyiségben; vízzel telített állapotban tejfölszerűen folyóssá lesznek, és nyírószilárdságukat szinte teljesen elveszítik. Az árvízi oldalról ható víznyomás elől kitérnék, a felettük levő föld nyomására a rézsűkre kinyomulva kifolynak. További káros tulajdonsága az ilyen talajoknak, hogy a már egyszer felvett vizet rendkívül nehezen, hosszú idő alatt adják le, ezért a károsult töltésszakasz árvíz utáni helyreállítása is különös nehézséggel jár.



5–4. kép. Sziksó kiválású talaj a Tiszaug feletti 2006. évi suvadásban

5.5.4. Holtmedrek

Az árvízvédelmi jelenségek kialakulásának egyik gyakori veszélyforrása a *holtmeder keresztvezés*. A folyószabályozási és árvízvédelmi munkák előtt a magyarországi folyók kanyarogva, sok ágra szakadva, helyüket változtatva folytak. A gátrendszer sokhelyütt holtmedret, feltöltődött ősmedreket keresztvez (5–5. kép).

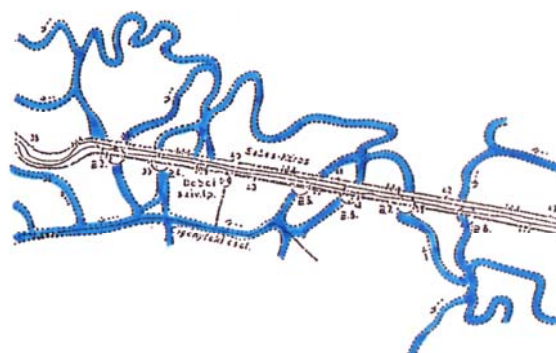
A 5–6. ábrán a Sebes-Körös 5 km hosszú helyszínrajza látható, ahol a folyó mesterséges mederben halad. Ezen a rövid szakaszon 9 ősmeder keresztveződés azonosítható, ahol a környezetüktől eltérő talajrétegződés alakult ki, rendszerint szemcsésebb (jobb vízvezető) talajok betelepülésével. Ettől morfológiailag eltérően alakult ki az 5–7. ábrán bemutatott Ellési-alsó holtmeder keresztvezés a Köröszugban. Az iszapos homok altalajba ágyazódott holtmeder fokozatosan agyag talajjal töltődött fel és alakult ki a mai talajrétegződés.

Különösen az október–novemberi hónapokban, tehát a szántóföldi vegetáció betakarítása után készült fényképeken igen jól nyomon követhetők a *feltöltődött ősmedrek*. E felderítést követően került sor az *infra távérzékeléssel* való finomításra (amely jobban felismerhetővé teszi a holtágat), majd a helyszíni azonosítási eljárásra, a keresztvezések szelvényszámának megállapítására, a keresztvezés szögének meghatározására, helyszíni tapasztalatok gyűjtésére. Számos helyen fúrásos feltárásokra is sor került; ami lehetővé tette az ősmeder feltöltő anyagának megállapítását is. Az ősmeder keresztvezések veszélyességének meghatározására kidolgozott módszer értékelés szempontjai a következők voltak:

- a meglévő gáton tapasztalt árvízi jelenségek,
- földmű távolsága a folyómedertől,
- altalaj áteresztőképességi együtthatója,
- töltés és ősmeder keresztvezési, morfológiai jellemzői stb.

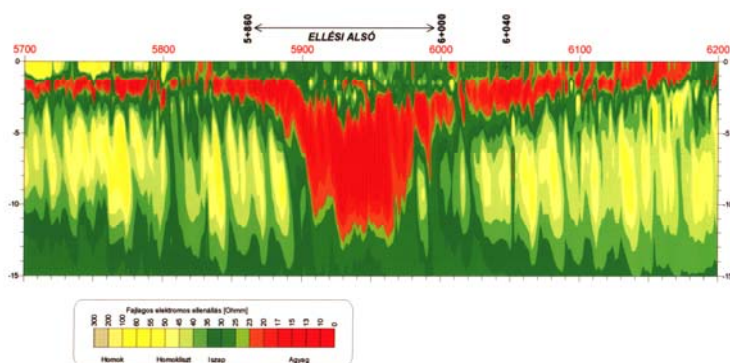


5–5. kép. Egymást követő, részben feltöltődött holtmedrek (Tisza jp., Szolnok felett, Szórópuszta)

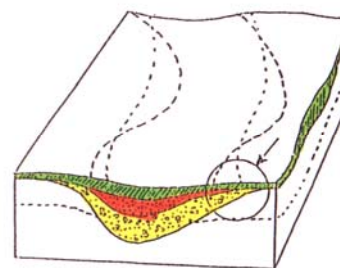


5–6. ábra. A Sebes-Körös 5 km hosszú szakaszán 9 ősmeder keresztveződés azonosítható

A domborzati viszonyok alapján országosan összesen 2994 db *ősmeder keresztvezés* került összeírásra (átlagosan kilométerenként 1,4 db van). Az ősmeder keresztvezéseket pontrendszer alkalmazásával I–IV. veszélyességi csoportba sorolták. A legveszélyesebb altalaj rétegződésre az I. csoportba tartozóknál lehet számítani. Összesen 446 db I., 978 db II., 1286 db III., 264 db IV. veszélyességi csoportba tartozó ősmeder keresztvezést határoztak meg.



5–7. ábra. Az Ellési-alsó holtmeder keresztvázlatja (Köröszug, KÖTIVIZIG)



5–8. ábra. A holtmeder homorú és domború oldalának eltérő talajrétegződése



5–6. kép. A Tisza holtmedrének mélyedése és a dombrádi buzgárelfogás helye jól azonosítható a légifelvételen (a holtmeder mélyedésében összegyűlt a víz) (Tisza bp., 1998. FETIVIZIG)

Kétségtelen tény, hogy a holtmedrek rendszerint valamilyen terepmélyedéssel kapcsolatosak (mint például az 5–6. ábrán látható), azonban a vizsgálatok azt bizonyították, hogy nem minden terepi mély vonulat jelent holtmedret. Ha a holtmeder nem állóvízként töltődik fel, a konkáv és konvex oldala eltérő szemcseösszetételt mutat. A homorú parton leülepedett vastagabb és durvább szemcséjű rétegek veszélyesebbek buzgár képződés szempontjából (5–8. ábra).

5.5.5. Töltésrepedések

A töltések repedése évek óta az árvédelmi földművek egyik sarkalatos hibája. A repedések keletkezése, helyének megismerése, a várható káros hatások csökkentése a védekezésre való felkészülés fontos eleme. Különösen fontos probléma a repedések megjelenése, vagy megléte árvíz alatt. A probléma nem új, a Péch József (1829-1902) által írott, 1892-ben megjelent, egyik legrégebbi hazai árvízvédekezési könyv már foglalkozik a töltésrepedésekkel.

A töltésrepedések kialakulásának leggyakoribb okai:

- Zsugorodási repedés, árvízen kívüli időben (5–7., 5–8., 5–9., 5–11. és 5–12. képek),
- Kezdődő suvadás húzási repedése (13–59., 13–60., 13–66. és 13–67. képek),
- Duzzadási repedés, árvíz alatt (5–14. és 13–63. képek).



5–7. kép. Zsugorodási repedés a Zagyva jp. töltésében (KÖTIVIZIG, 1991)



5–8. kép. Zsugorodási repedés a Tisza bp. töltésében (Óballa) (KÖTIVIZIG, 1990)

Kötött, kövér agyagok, különösen a Tisza völgyében, sok helyen találhatók a töltésbe építve. A kötött talajok átteresztő képessége kicsi, a vizet lassan veszik fel, de a vízfelvétel folytán megduzzadnak, majd a víz lassú leadása után hasábosan repedezetté válnak. A duzzadás hatására a kötött rétegen fekvő, későbbi beépítésű rétegekben is repedések, lazulások keletkeznek. Ezekből a repedésekből gyakran a töltéstengellyel párhuzamosan, több száz méteres összefüggő járatok is kialakulhatnak.



5–9. kép. Hosszirányú töltés-repedés a Kettős-Körös bp. töltésében a sarkadi híd alatt (KÖRVIZIG, 1989)



5–10. kép. Keresztirányú töltés-repedés a Duna jp. töltésében Karaszifoknál, a Sió torkolat felett (KÖDUVIZIG, 1991)

A repedések később – víz felvételekor – sem záródnak teljesen össze, dacára a töltéstest kötött anyagának duzzadó képességére, aminek eredményeként a földmű a másodlagos pórusokon keresztül részlegesen vízáteresztő lesz és a későbbi árvizek alkalmával a repedések koncentrált vízmozgás kialakulását okozhatják. A repedések nyomán megszűnt a töltésanyag folytonossága, ami pedig a suvadás kialakulását könnyítheti meg.

A repedésekben mozgó víz a vízoldali víznyomást a mentett oldalra nyomásvesztés nélkül adja át. Vagyis olyan, mintha csak egy csökkentett méretű töltés állna ellent a vízoldali víznyomásnak. Előfordult, hogy az ilyen hosszirányú repedések 40-50 l/sec-ra becsült vizet hosszirányban 80-100 m-re is elvezették, amíg a víz egy keresztirányú repedésre találva tört a felszínre. Ezért ajánlott a hosszirányú repedések elzárása is.

A töltésrepedés olyan jelenség, mely árvíz nélkül is kialakulhat. Az 1980-as évek második felének és a '90-es évek elejének hosszú száraz periódusa a töltéseknél új, addig kevésbé tapasztalt jelenségre, a *töltésrepedésre* hívta fel figyelmet. Úgy tűnik, hogy már a magyarországi éghajlat mellett is jelentkeznek a töltésekben repedések, amelyek a földmű állékonyságát veszélyeztetik. Tény, hogy a töltésrepedések nem a száraz periódus utolsó néhány évében keletkeztek, hanem hosszabb folyamat eredményeként.

A repedéseknél valószínűleg van kitüntetett irány az árvízvédelmi töltésben, hiszen a korábban feltárt repedések elsősorban tengely irányúak voltak, azonban hangsúlyozni kell, hogy a zsugorodás térfogatijellemző, tehát vannak és lesznek keresztirányú repedések is.



5–11. kép. Keresztirányú repedés a Zagyva bp. Töltésén, Jásztelek alatt (KÖTIVIZIG, 1991)



5–12. kép. Hosszirányú repedés egy Körös töltésben (KÖRVIZIG, 1993)

Egy Zagyva bal parti árvízvédelmi töltés keresztirányú repedése (5–11. kép) a viszonylag kis keresztmetszeti méretek ellenére a mérőszalagot 1 m mélységig elnyelő repedése percek alatt öt köbméter vizet emésztett. Egyes hasadékok mélysége a mi éghajlatunkon a 2 métert is meghaladhatja, szélessége 0,10–0,15 m is lehet. A hosszabb idő alatt kialakuló hasadékok fölött a talaj csaknem mindig teljesen átboltozódik, ekkor csak véletlen esetek, illetve szélsőséges időjárási helyzetek árulják el a létezésüket. A hasadékok némelyike a gátat keresztel és a nagyszámú, többségében rejtett járat miatt a gát alkalmatlanná válhat rendeltetésének betöltésére.

A kialakult töltésrepedések okai közül a legfontosabbak:

- a talajt a XIX. században és a XX. század első felében végzett földmunkáknál nem tömörítették kellő mértékben, így sok hézag maradt a töltéstestben,
- a töltéseket túlságosan magas víztartalmú talajokból építették, így a kiszáradáskor jelentősen zsugorodtak.

A gépi földmunka végzésével az első ok gyakorlatilag megszűnt, töltésépítésnél ilyen hiba napjainkban elvileg már nem fordul elő. A második ok műszaki szabályozással (MSz 15290 Vízépítési földművek tömörségi előírásai) megoldható, ha a beépítési víztartalom nem haladja meg egy a talajra előírt értéket. A kedvezőtlen anyag tulajdonságok, a rossz beépíthetőség, a víztartalom nehéz beállíthatósága miatt töltésépítési anyagként rendszerint a magas plaszticitású és magas folyási határral rendelkező agyagok beépítése nem ajánlatos. A tapasztalat bizonyítja, hogy kellő körültekintéssel (pl. víztar-

talom beállítás, keverés más talajjal stb.) még a kedvezőtlen talajok nagy részéből is építhető földgát. Ehhez azonban az kell, hogy a földanyagot szükség szerint válogassák, gondosan tömörítsék, a víztartalmat beállítsák, a talajt esetleg szárítsák, ami a víztartalomnak a határértéken belül tartását jelenti.

Töltésrepedések vizsgálatánál célravezető kezdeti módszer a repedés meszes vízzel történő feltöltése (5–13. kép). Ennek előnye kettős:

- A víz mennyisége megmutatja, mekkora repedés-szel, repedés-hálózattal van dolgunk.
- A mész kiülepszik a vízből és a mész segítségével a repedés-hálózat később is azonosítható.

Árvíz ideje alatt a töltésrepedések megkülönböztetése a védekezés szempontjából alapvető fontosságú. Árvízvédekezés alatt leggyakrabban előforduló repedések a következők:

- kezdődő suvadás (rézsúcsúszás vagy altalajtörés) *húzási repedése*, ami azonnali intézkedést, beavatkozást igényel,
- *duzzadási repedés*, mely nem igényel azonnali beavatkozást, ellenben folyamatos megfigyelést igen, mert a repedésben létrejövő víznyomás suvadás kialakulásához vezethet.

Ritkábban előforduló repedés árvíz ideje alatt az apadó ágon a vízdali rézsú csúszását megelőző *húzási repedés*. Kialakulása legnagyobb valószínűséggel hosszantartó magas vízállást követő „gyors” apadás hatására következik be. A hosszantartó magas vízállás eredményeként a töltés és altalaj telítődik. Ennek hatása kettős, egyrészt jelentős víznyomások alakulnak ki a gátban, aminek eredményeként gyors vízszintcsökkenés hatására a gátban a víznyomás a vízdali rézsúre hat, másrészt a helyenként a kötött talajú laza árvízvédelmi gát talajfizikai paraméterének, a kohézióknak a csökkenését eredményezi.

Duzzadási repedések kötött talajú gátaknál alakulnak ki. Leggyakrabban olyan töltéseknél tapasztalható, ahol erősen kötött agyagmag található a gát belsejében. A hosszan tartó árvíz hatására az agyagmag duzzadni kezd, a töltés külső részét mintegy szétfeszíti, a koronán és a rézsún (de leginkább a koronán) *hosszirányú repedések* jelennek meg (5–9. kép). Ez a repedés akár több kilométer hosszon tarthat. Kialakulásával sokszor a talajban amúgy is meglévő *száradási repedéseknek* a szerkezeti deformációi nyílnak meg. Veszélyt ez akkor jelent, ha a repedés vízzel telik meg, akár a folyó vízszintjének magasságáig is, és ez a vízterhelés már közvetlenül a mentett oldalra hat.



5–13. kép. Száradási repedés meszes vízzel történő feltöltése (Zagyva jr., 1991)



5–14. kép. Duzzadási repedés Vezseny északi részét védő alacsony gát koronáján (KÖTIVIZIG, 2006).

A 2000. évi tavaszi árvíznél a Közép-Tiszán – annak ellenére, hogy a Tisza vízszintje majdnem mindenhol a korona közelében volt – egyes helyeken a gátban meglévő *száradási repedések* tovább nyíltak. A *duzzadási repedések* csaknem minden esetben a töltéskoronán jelentkeznek. Különösen hosszú repedések alakultak ki Szolnok felett, a Tisza jobb partján, Doba környékén.

Hogyan lehet a *kezdődő rézsúcsúszás* (vagy *altalajtörés*) *húzási repedését* és a *duzzadási repedést* megkülönböztetni?

- A duzzadási repedés iránya rendszerint alkalmazkodik a felszíni repedésekhez, a töltés középső részén, esetleg a keréknyomban halad.
- A suvadási repedés rendszerint egyenesebb és a repedés végén befordul a rézsú irányába (karéjos).
- A duzzadási repedésnél nincs magasságkülönbség a repedés két oldala között.

- Duzzadási repedésnél a mentett oldali terepszinten nem jelentkezik a talaj felgyűrődése.
- Ha a feltárás a töltéstest belsejében száraz, illetve földnedves rétegek vannak, akkor valószínűleg duzzadási repedés jelenik meg a felszínen.
- Ha a töltésben puha, laza rétegek vannak, a felszíni repedés suvadás előjele lehet.
- Amennyiben a töltés térfogatváltozásra hajlamos talajból áll, nagy a valószínűsége a duzzadási repedésnek.
- Suvadás húzási repedésével van dolgunk, ha a töltés lábánál a mentett oldali altalaj 30-40 cm-nél nagyobb mélységben puha; erről szűrőbottal győződhetünk meg. (A „szűrőbot” – kézben tartott, a könnyebb lenyomhatóság miatt a végénél meghajlított kb. méteres betonacél.)

Az *összerepedezett talaj* több árvízi jelenség forrása lehet. Nincsenek megbízható adataink, hogy az elmúlt 200 év kétezret meghaladó gátszakadásából hánynál volt szerepe a töltésrepedésnek, az azonban biztos, hogy repedezett töltésen a víz hamarabb jut keresztül, hamarabb áztatja el a mentett oldalt és ezáltal az árvízi jelenségek is hamarabb jelentkeznek. Ez a viselkedés egyértelműen azonosítható a *mentett oldali suvadások* vizsgálatánál is.

5.5.6. Diszperzív talajok

A Berettyón 1980-ban – teljesen váratlanul – gátszakadás következett be olyan szelvényben, ahol a veszélyt semmilyen „árvízi jelenség” korábban nem jelezte, ahol a gát kereszt-szelvény méretei önmagukban biztonságot ígértek. A szakadás oka a hazánkban akkor legelőször kimutatott *diszperzív talaj* volt. Diszperzív az a kötött talaj, melyben a *belső felületi erők* kicsik. Az ilyen talaj szemcséi könnyen szétválhatnak egymástól, leszakadhatnak egymásról. Így a talaj felszínét a víz könnyen erodálja. A diszperzív talajt tehát legkönnyebben az áruja el, hogy szabad felszínét a csapadékvíz könnyen erodálja, benne mély hasadékokat, járatokat hozva létre, amit még gyepesítéssel sem lehet megakadályozni.



5–15. kép. Diszperzív talajrögök a Kettős-Körös 1980. évi gátszakadásánál, a gát alapjában

Jól egyezett a gyakorlati tapasztalatokkal az időközben Magyarországon is rendszeresített „tűszúrás” vizsgálat, mely magát a kritikus jelenséget, egy szűk nyílásban átfolyó víz erodáló hatását érzékeli (lásd az 5.4. fejezetet). A gáton keresztül valamilyen járaton vagy repedésen meginduló vízszivárgás a járatot erodálhatja olyan gyorsan, hogy a gát megmentésére már nincs idő. Több tucat külföldi földgát szakadt már el így és 1980 óta erre már hazai példa is van, miután a Kettős-Körös jobb parti, hosszúfoki gátszakadásánál ez is szerepet játszott (5–15. kép).

Az utóbbi több mint harminc évben a töltésépítésre felhasznált talajok *diszperzítés vizsgálata* kötelező volt. A diszperzív talajok a Tisza középső és alsó folyása mellett, a Zagyva, Maros, Hortobágy-Berettyó és a Körösök gátjaiban, illetve azok mellett fordulnak elő.

5.5.7. Árvízvédelmi gátak keresztező létesítményei

A magyarországi árvízvédelmi gátakban jelentős számú és típusú keresztező létesítmény található (lásd a 12.4.5. fejezetet). A 2364 keresztező műtárgy több mint negyede zsilip és mintegy hatoda nyomócső (12–13. táblázat). Ezeknek a szerkezeteknek eltérő az állapota, a kora, nem ritkák közöttük az évszázados létesítmények sem. Gondosan megtervezett és megépített műtárgyak esetében is rendszeresen előfordul, hogy idő multával a szerkezeti elemekben károsodások lépnek fel, különösen akkor, ha a karbantartásra az üzemeltető nem helyez kellő súlyt. Az árvízvédelmi gátakban lévő műtárgyak állapotának, műszaki jellemzőinek folyamatos, naprakész ismerete alapvető fontosságú.

5.6. ÁRVÍZVÉDELMI GÁTAK TERVEZÉSE ÉS ÉPÍTÉSE

5.6.1. Az árvízvédelmi gátak tervezésének fontosabb szempontjai

Az árvízvédelmi gátak műszaki tervezésénél elsősorban a *kereszt-szelvény tervezését kell elvégezni*. Új gát tervezésekor elsődlegesen *homogén töltés* tervezését kell előírni. Tervezéskor (ide értve a meglévő gátak erősítését is) a következő tényezőket, alapadatokat és információkat kell figyelembe venni:

- Altalaj viszonyok, ide értve az altalajban lévő kötött és szemcsés talajok jelenlétéből származó hatásokat és a diszperz talajokat is.
- Holtgát keresztezésekkel kapcsolatos ismeretek.

- A meglévő töltés építésével kapcsolatos információk.
- A gátnál tapasztalt árvízi jelenségek és az azok kivédésére alkalmazott eljárások.
- Árvízen kívüli jelenségek (mint pl. a töltések száradási repedései).
- A töltés kapcsolata a folyóval és a lakott területtel.

Az árvízvédelmi gátat úgy kell megtervezni, hogy eleget tegyen a következőknek:

- Feleljen meg az árvízvédelmi gátakra vonatkozó előírásoknak.
- A gát legyen vízzáró.
- A gát legyen állékony a terhelésekkel szemben.
- A gát legyen fenntartható.
- A gáton történő árvízvédekezés legyen lehetséges.
- A burkolt út ágyazata csak a magassági biztonsággal növelt mértékadó árvízszint felett lehet!
- Ha az altalaj erősebb összenyomódása várható, akkor a számítás szerinti (még hátralevő) süllyedés értékével meg kell növelni a koronaszint magasságát.

Ha *gáterősítésre* kerül sor, akkor

- a gát nyomvonal-vezetése ne térjen el lényegesen a meglévő nyomvonaltól;
- az erősítés lehetőleg csak egy oldalon legyen.

A *keresztmetszvény tervezésénél*:

- vízdoldalon jó vízzáró anyagból készülő töltésrész kerüljön tervezésre;
- mentett oldalon biztosítani kell a vizek szabad kivezetését.

Az *építés technológiai tervezésénél* az egyes munkafolyamatok időrendi és terület-kialakítási szempontjait kell meghatározni.

A töltés tervezésének sikere és az építés megfelelő előkészítése nagyrészt a tervezést megalapozó *geotechnikai előmunkálatoktól* függ. A geotechnikai tervezésnél figyelembe kell venni a következőket:

- A töltés és az altalaj általános geotechnikai profiljának megismerésére jól alkalmazhatók a felszín közeli geoelektromos módszerek.
- A geoelektromos hossz-szelvény segítségével a gát (töltés + altalaj) azonos viselkedésű szakaszokra bontható.
- Az azonos viselkedésű szakaszokon a mértékadó keresztmetszvényre kell az állékonyság méretezését elvégezni.

Fontos megjegyezni, hogy árvízvédelmi gáton csak a gáttal kapcsolatos ismereteket elsajátított személy végezhet feltáró fúrást. Az ide vonatkozó szabályok közül a legfontosabb, hogy a feltárást követően a mentett oldali fúrólukakat helyi anyag és sovány beton keverékével teljes hosszában el kell *tömedékelni*. Ennek elmaradása esetén veszélyes árvízi jelenségek alakulhatnak ki a gát mentett oldalán. A fúróluk eltömedékelését a gátörnek kell ellenőriznie.



5–16. kép. Geotechnikai feltáró fúrás a gát koronáján

Az árvízvédelmi gát tervezésének nélkülözhetetlen része az *anyagnyerőhely* kijelölése. Az anyagnyerőhely lehetőleg a hullámtérben legyen, és kialakítása feleljen meg a folyószabályozás és az árvízlevonulás követelményeinek. Az anyagnyerőhelyet – a töltés lábától legalább 60 m távolságban – a hullámtér olyan helyén kell kijelölni, ahol a megfelelő minőségű és kellő mennyiségű földanyag a talajvízszint felett rendelkezésre áll és szárazon kitermelhető. Ha az anyagnyerő helyet mégis a mentett oldalon kell létesíteni, akkor annak távolsága a mentett oldali töltés lábától nem lehet kevesebb, mint 110 m.

Károsodott árvízvédelmi gátak helyreállításánál fontos sajátos szempont, hogy a károsodott, lesuvadt, fellazult földtömeget el kell távolítani, és a helyére megfelelően válogatott talajt kell beépíteni.

5.6.2. Árvízvédelmi gátak kivitelezése

Árvízvédelmi töltések építése, erősítése a leggyakrabban *szárazon végzett földmunkával* készül. Az

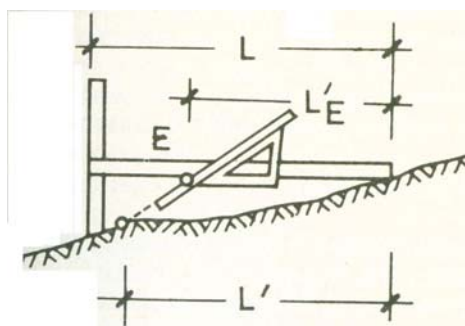
alkalmazott földmunkagépeket és szállítóeszközöket a 9.5. fejezet tartalmazza. A töltéserősítés vagy építés munkafázisai a következők:

- kitűzés,
- előkészítő munkák,
- alapozás,
- földkitermelés és fölrakás
- szállítás,
- beépítés (ürítés, elterítés, tömörítés, alakítás),
- humusz borítás, gyepesítés.

Kitűzés

Gépi földmunkával épülő töltés esetében a töltés tengelyvonalát és a rézsúlábakat kell kitűzni jól látható magasságú és színű (pl. meszelt) karókkal. A lábpontok karóit és ezzel a tengelypontot is a lábtól kifelé 5 m-re levert keményfa cövek őrpontokkal célszerű biztosítani.

A keresztshelvényeket általában 20 m-enként kell kitűzni, ívben a távolság esetleg felezhető. A kitűzést többször kell elvégezni: humuszoláskor a letermelendő sáv szélét kell kitűzni, azután a rézsúláb, majd néhány réteg terítése után újra meg újra a rézsú adott magasságú pontjait. A rézsúláb kitűzésekor a beszintezett tengelypontból célszerű kiindulni, lépcsős méréssel haladva a rézsúláb felé, lépcsőnként ellenőrizve, hogy a lábpont az adott lánchosszba, vagy egy következőbe esik-e. Megfelelő távolságba érve a lécen kitűzhető a rézsú egy E pontja, melyet a „rézsúháromszöggel” le lehet vetíteni a talajra (5–9. ábra).



5–9. ábra. Töltés láb és rézsúhajtás kitűzése

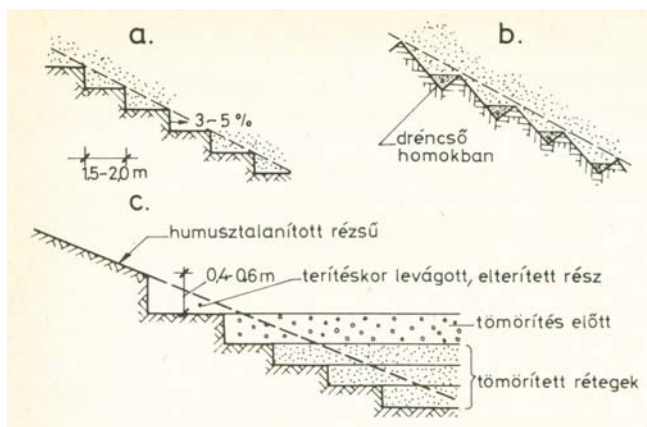
Előkészítő munkák

Az előkészítő munkák célja a nagytömegű töltésépítéshez megfelelő feltételek biztosítása. Szerves eredetű anyagok (gyökerek, gyp, humusz) nem kerülhetnek a töltés belsejébe, és nem maradhatnak a gát talpában sem (lásd az 5.2. fejezetet), ezért a megerősítendő gátnak az új gátrészhez csatlakozó felületéről, az új gát, gátrész alatti terepről el kell távolítani a szerves anyagot tartalmazó talajt.

A szemmel láthatóan repedezett, kötött talajt ezekről a helyekről ugyancsak el kell távolítani, vagy repedésmentessé kell tömöríteni. Az eltávolítandó réteg vastagságát, valamint a repedezettséget megszüntető technológia hatékonyságát néhány kutatóárokban szemrevételezéssel, illetve az onnan vett talajminták vizsgálatával kell megállapítani. Az eltávolítandó réteg vastagságával nem szabad takarékoskodni. A régebben épült, rosszul tömörített töltéseket utólagos tömörítéssel megjavítani nem lehet!

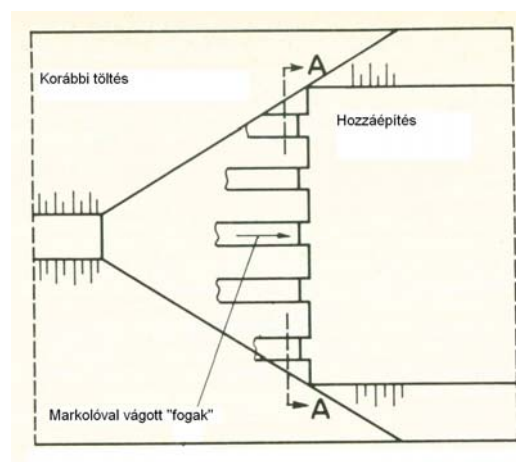
Alapozással kell előkészíteni mindazon felületeket, ahová új feltöltés kerül: a humusztalanított régi töltést, töltéstalpat, vagy a korábban félbehagyott, hosszabb szünet után folytatott földmunka felületét. Közel vízszintes felületeken az *alpozás érdesítéssel* történik, a 34 700/80. OVH rendelkezés figyelembevételével. Alkalmos eszköz erre a *tárcsás borona*, de érdesíteni lehet legfeljebb 15 cm mélységű *szántással* is. A fellazított felületet meg kell tömöríteni. Ezt az első tömörítés mérési jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell!

A rézsúkat a humusz eltávolítása után *lépcsőzni*, illetve *fogazni* kell. A ritkábban előforduló kézi munka esetén a föld beépítése előtt a lejtős felületen alakítják ki földletermeléssel a szükséges lépcsőket, és erre hordják be az új földanyagot. (Kézi munka ma legfeljebb kis földpótlásoknál, pl. elhabolások javításakor fordul elő.)



5–10. ábra. Árvízvédelmi gát építésénél
a) lépcsőzés, b) fogazás, c) lépcsőzés gépi munkával

A földmunkát általában szakaszonként építik; a szakaszok végét általában 1:5 körüli hajlású homloklévelettel célszerű lezárni. Ehhez a felülethez a következő szakaszt esetleg csak hetek múlva építik hozzá, ez alatt felülete kiszáradhat, felrepedezhet. A következő töltésszakasz hozzáépítését mindig különös gonddal kell végezni, mert a gátat keresztelő hibás illesztési felület veszélyes szivárgást indíthat. Ennek bevált módja a következő. A felületet az ép, nedves talajig letakarítják (a letolt földanyag elkeverve beépíthető az új töltésszakaszba). A terítés előtt, az új réteg fölött 1-2 m magasságból indulva, sekély sávokat kell vágni a tologatólap szélességével, kb. 15-20 cm mélyen, a töltés hosszirányában mozgó tologógéppel (5–11. ábra). A tömörítőgéppel mindig tömörítse az új réteg legszélét is, kicsit feljárva a régi homlokléveletre is. A tisztítást, és a leírt árkolást az új töltésszakasz építésével párhuzamosan, egyszerre mindig csak néhány réteg magasságáig célszerű elvégezni.



5–11. ábra. Földmunka hosszanti toldása

A földanyag beépítését úgy kell irányítani, hogy a munkasíkról az esővíz – töcsák nélkül – mindenkor szabadon lefolyhassék. Amennyiben túl száraz anyag érkezik a kitermelő helyről, gondoskodni kell az elterített földanyag *nedvesítő locsolásával*. A túlságosan kiszáradt munkasíkot is meg kell locsolni még a következő réteg terítése előtt. Hosszabb munkaszünet esetén a munkaterületet simítóhengerrel kell betömöríteni a csapadékvíz beszivárgásának csökkentésére. A munka folytatása előtt a munkaterületet az alapozásról leírt módszerekkel fel kell érdesíteni, az esetleges felázott talajt kiszárítani, vagy eltávolítani, majd tömöríteni.

Fagyott földanyagot a gátba beépíteni nem szabad! Fagyott munkasík esetén a földmunkát nem szabad tovább folytatni! A fagyott föld beépítésének feltétlen megelőzésére a 34 700/80. OVH sz. utasítás megtiltotta a kötött anyagból november 15 – március 1. között a töltésszakasz építést. Ez alól az előírás alól felmentés a VKKI-tól kérhető.

A behordott földanyagot a munkaterületen is tisztítani (gyökérteleníteni stb.) kell és a vízdal felé enyhén dőlő rétegben kell elteríteni. 1000 m³-nél nagyobb földmunkánál a megfelelően tömöríthető rétegvastagságot *próbatömörítéssel* kell meghatározni.

A munkasíkon végzendő munkákat – behordás, ürítés, terítés, szükség esetén darabolás és tömörítés – úgy kell szervezni, hogy azok egymás zavarása nélkül, várakozás elkerülésével folyamatosan legyenek elvégezhetőek.

A földmunkagépek gépláncban dolgoznak. A géplánc által végzett munka fő fázisai: a földkitermelés, a szállítás és a beépítés. A géplánc egyes gépeinek a kiválasztása az elvégzendő feladat jellemzőitől függ, úgy, hogy a gépek együttműködésének összhangja biztosítva legyen.

Földkitermelés és fölrakás

A földkitermelő munkagép megválasztása attól függ, hogy a kitermelendő talaj vagy szemcsés, tömör, vagy laza településű, továbbá, hogy szárazon, vagy a víz alól lehet kitermelni. A víz alól kitermelésnél csak

kivételes esetben és csak szemcsés anyag esetén lehet a kotort anyagot közvetlenül a szállítóeszközre rakni. A kotort anyag általában depóniába kerül és onnan többszöri megfogással rakják szállítóeszközbe.

A termelőgépek és a szállítórendszer kapacitásának összhangban kell lennie. *Termelőgépként* az adott feltételektől függően az alábbi géptípusok ajánlhatók:

- ha az anyagot teljesen szárazon kell termelni: önjáró, vagy vontatott földnyeső (szkréper), hegybontó, vonóköteles kotró, vederláncos szárazkotró, markoló;
- ha az anyagot víz alól kell termelni, de a partról kiinduló egymás utáni sávokban: vonóköteles kotró, vederláncos szárazkotró, markoló;
- ha az anyagot nagyterjedésű vízfelület fenekéről kell kitermelni: vederláncos úszókotró, szívó-nyomó úszókotró.

Szállítás

A szállítás leggyakoribb eszköze a *földnyeső* és a *billenőszekrényes teherkocsi*. A szállítógépek megválasztását befolyásolja a szállítási távolság és a szállító út. A különböző szállítógépeket a következő szállítási távolságig célszerű alkalmazni:

- földnyeső lánctalpas vontatóval: ~300 m-ig,
- földnyeső gumibroncs vontatóval: 200-1500 m-ig,
- billenőszekrényes tehergépkocsi: ~1000 m-től.

Az anyagnyerőhely lehet a hullámtéren vagy a töltés mentett oldalán. Mivel a hullámtéren általában sokféle akadálya van a szállítóeszközök forgalmának, ha azt a szállítási távolság megengedi, földnyeső alkalmazása célszerű, mert súlypontja alacsonyan lévén, kevésbé érzékeny a szállítóút egyenetlenségeire és kisebb útkarbantartást kíván.



5–17. kép. Töltésépítés földtolóval és földnyesővel

Beépítés (ürítés, elterítés, tömörítés, alakítás)

Az anyag beépítése négy munkarészből áll: az anyag *ürítése*, *elterítése*, *tömörítése* és *alakítása*. A helyes beépítés alapja a jó *kitűzés*, szükséges továbbá a *térmeister* folyamatos jelenléte a munkaterületen.

Az *ürítést* a különböző szállítóeszközök különböző módon végzik. A földnyeső az ürítést és elterítést egy munkame-
netben végzi. A billenőszekrényes te-
hergépkocsi halomba ürít. Ennek kétfé-
le hátránya van: az egyik az, hogy az
elterítés még külön munka, a másik
pedig, hogy az anyaghalomok a jármű-
vek forgalmát akadályozzák. Ha viszont
az anyaghalomokat mindjárt az ürítés
után terítik el, akkor az aránylag kes-
keny munkatéren olyan nagy lesz a
gépzsúfoltság, hogy ez jelent akadályt.

Célszerű megoldás, hogy a mindenkor
felfogott munkarészt három szakaszra
osztjuk: az egyikben az ürítés, a másikon
az elterítés, a harmadikon pedig a tö-
mörítés folyik.



5–18. kép. Agyagék kitűzése a terepen,
fentebb a profil kanállal elkészített munkagödör

Mód van az elterítési munka megkönnyítésére olyan gépeknél is, amelyek halomba ürítenek, ha lehető-
vé tesszük, hogy menetközben ürítsenek. A kirakott anyagot el kell teríteni, a már tömörített réteg felett.

Az *elterítést* a tömörítő technológiának megfelelő rétegvastagságban a vízoldal felé csekély lejtéssel
kell végezni, és annak a betartását gyakran kell ellenőrizni. Az elterítés szokásos gépe a *tológép* (*dó-
zer*) vagy a *földgyalu* (*gréder*). A terítést mindegyik gép úgy végzi, hogy a töltés hossz tengelyével
párhuzamos menetek közben az előzőleg tömörített réteg felülete felett az előírt terítési rétegvastag-
ságnak megfelelő magasságban tartva, a többletet ebben a magasságban lenyesi és a lenyest
anyagot a halomok közötti térre tolja át. A terítő gép végzi a régi földmunkához való illesztés munkáját
is, a meglévő töltés lépcsőzését.

Tömörítéssel kell a földanyagot a megkívánt tömör állapotba hozni. A tömörséget a munkavégzés
alatt előírás szerint ellenőrizni kell. Legcélszerűbb tömörítő eszköz szemcsés anyagnál a szemcsés
vibrohenger, vagy *gumiabroncsos tömörítő*, kötött anyagnál pedig a *juhlábhenger* vagy *vibro
juhlábhenger*. A gumiabroncs tömörítő erősebben kötött talajon fényesen sima felületet – kérgességet
eredményezhet, alkalmazása nem javasolt. Ehhez a tömörített felülethez a következő réteg nem köt
hozzá jól, ott szivárgást, csurgást és suvadást elősegítő héj keletkezhet.



5–19. kép. Tömörítőgépek töltés építésépítésnél.

(a) A leggyakrabban alkalmazott juhlábhenger. (b) A kis területek tömörítésére alkalmas döngölő béka

A tömörítés a földmunka legkényesebb művelete. Pontos technológiáját a helyszínen kell az adott
talajra és gépre kikísérletezni. Ennek alapelvei a következők, példának véve egy juhlábhengert:

- A henger terhelését mindaddig növelni kell, amíg el nem kezdi maga előtt tolni a talajt,
vagy amíg a vontató egyáltalán el tudja vinni;
- A lábak számát (talpfelületét) növelni lehet, ha a láb az első járatoknál tövig a talajba nyo-

módik, csökkenteni, ha feléig se nyomódik a friss terítésbe;

- A réteg vastagságát csökkenteni kell, ha a felső harmad és a réteg alja közt nagy a tömörség különbsége (a megengedett eltérés kb. 5%).

Kötött talaj tömörítése során a tömörségi fok számértékén kívül ellenőrizni kell a „hézagmentes” tömörítést, melynél a behordott rögök összegyúrása után a talajban nem maradnak látható hézagok. Ezt az állapotot az ún. optimális víztartalomnál 1-2%-kal nedvesebb talajjal lehet a legkönnyebben elérni. A kötött talajok víztartalma a Tisza-völgyben sajnos ennél magasabb.

A tömörített szelvénynek még nincs szabályos, síkkal határolt alakja, ezért azt külön munkával, **alakítással** kell előállítani. Magyarországon a rézsű tömörítése helyett a *töltés* terjedt el. A töltésepítés vége felé a nagyobbra készített földművet az előírt értékű rézsűre visszavágják. A töltéskoronát minden esetben célszerű földgyalival kialakítani, mert a bogárhátat tologéppel nem lehet megfelelően előállítani.

Humusz borítás, gyepesítés

A földmunkák felületét humuszréteggel célszerű borítani és azt az erre vonatkozó külön előírásoknak megfelelő fűfajtákkal gyepesíteni kell (lásd a 25.3. fejezetet). A humuszréteg készítéséhez felhasználható a munka megkezdésekor eltávolított gyepes, laza földanyag, melyből a nagyobb gyökereket kézzel kiszedik.

Az anyagnyerőhely kezelése

Az anyagnyerő helyről a csapadékból származó felszíni vizet el kell vezetni. Nem szabad megengedni, hogy az anyaggödör felszínén tócsák keletkezzenek. Meg kell akadályozni, hogy a szomszédos területekről felszíni lefolyó víz jusson az anyagnyerő helyre.

Az anyagnyerő helyről megfelelő rétegvastagságban el kell távolítani a humuszos – szerves – fedőréteget és a gyökérmaradványokat. A fedőréteget nem egyszerre, hanem a munka előhaladásának megfelelően fokozatosan szabad csak eltávolítani, azért, hogy a kitermelésre kerülő földanyag kiszáradása elkerülhető legyen. Ha túl száraz a földanyag az anyagnyerő helyen, akkor nedvesítéssel kell a víztartalmát az optimális érték közelébe hozni. *Szerves anyagokat, gyökereket tartalmazó földet az anyagnyerő helyről a gátba behordani tilos!*

A földanyag szállításához szükség szerint ideiglenes földutat kell létesíteni. Gondoskodni kell az ideiglenes földút víztelenítéséről is, mert sáros úton a teljesítmény erősen lecsökken.

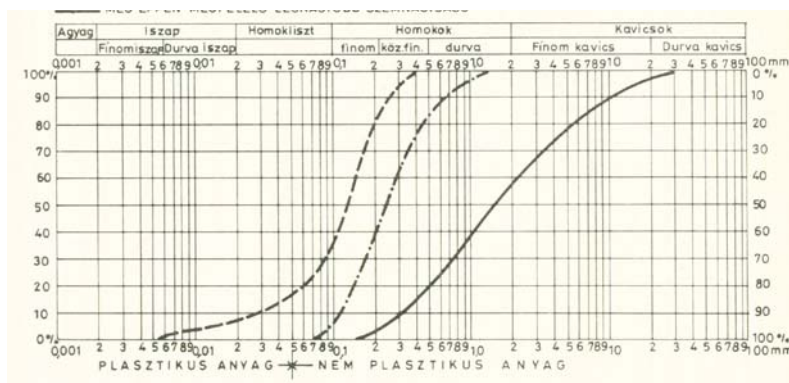
A földkitermelés befejeztével az anyaggödör és a környezetének tereprendezését el kell végezni. A deponált fedőréteget a gödörbe kell betolni és ott elteríteni. Az utat – amennyiben arra tovább nincs szükség – meg kell szüntetni és az eredeti állapotot kell helyreállítani, vagy az előírásnak megfelelően *rekultiválni*. Kívánatos lehet az anyagnyerőhely erdősítése.

Gáterősítés hidromechanizációval

Árvízvédelmi gátak mentett oldali erősítésére a folyó medréből kotort homokos-kavicsos anyag hidromechanizációval történő beépítése sok előnyt kínáló megoldás. A hidromechanizációs töltéserősítés előnye, hogy

- nagytömegű munka esetében általában olcsóbb a száraz földmunkánál;
- elkerülhető a mező- és erdőgazdasági területek anyagnyerő helyként való igénybevétele;
- az időjárás viszontagságaiból adódó nehézségek, amelyek a munka végzésére leginkább alkalmas időszakban, március és november között a száraz földmunkát megnehezítik, a hidromechanizációt alig befolyásolják.

A hidromechanizációval végzett töltéserősítés legfontosabb feladata a munkához alkalmas földanyag kiválasztása. Mentett oldalon végzett hidromechanizációs töltéserősítéshez legjobban megfelel a közepes és részben durva szemnagyságú homok ($d = 0,25-1,0$ mm) amelyben a kapilláris emelkedés $0,10-0,30$ cm. Még megfelel a $d = 2,0-50,0$ mm szemnagyságú folyami kavics, illetve a maximálisan 8-10% iszaptartalmú homoktalaj is.



5–12. ábra. Hidromechanizáció ideális anyaga (középen) és határ görbéi (a két oldalon)

Az 5–12. ábra szemeloszlási görbéi közül a középső a legjobb, a bal oldali a még alkalmas legkisebb, a jobb oldali pedig a még alkalmas legnagyobb közepes szemnagyságú talajt jellemzi.

Ha a beépítéshez közel található ugyan jó anyag, de azt be nem építhető iszapos, agyagos fedőréteg takarja, meg kell vizsgálni, hogy gazdaságos-e ezt az anyagot szívó-nyomó kotróval kitermelni és a hullámtéri agyaggödrök, mélyedések feltöltésére felhasználni, majd az így feltárt jó anyaggal a töltés-erősítést elvégezni. Jelenlegi tapasztalataink szerint körülbelül $20 \text{ m}^3/\text{fm}$ körül van az alsó határ, amelyen alul a hidromechanizáció nem gazdaságos részben azért, mert a mindenképpen száraz földmunkával építendő zagygátak jelentékeny hányadát képezik az egész földmunkának, részben pedig azért, mert a gyakori átállítás a csőszerelési költségeket erősen megnöveli.

Jelentős probléma, hogy a hidromechanizációból kifolyó zagy szétosztályozódik. A szétosztályozódott anyag újbóli összekeverése lehetetlen, így a földműben a talaj gombócokban eltérő lesz. További gondot okoz, hogy a hidromechanizációs anyag földtolóval kerül a beépítés helyére, rendszerint tömörítés nélkül. A Tisza mellett nincsenek olyan talajok, melyeknél a hidromechanizáció felhasználható volna töltés-erősítésre.

5.6.3. Árvízvédelmi gátak építésének minőségellenőrzése

Az árvízvédelmi töltések építéséhez, vagy megerősítéséhez meg kell határozni, hogy az anyagnyerőhelyeken található anyagok közül melyeket lehet a töltésbe, illetőleg annak egyes részeibe beépíteni, és hogy a beépítés hogyan történjék meg.

Ugyancsak a földmunka kezdeti időszakában kell elvégezni az alapul szolgáló talpfelületeknek, illetve rézsűfelületeknek a tömörségellenőrzését is, amelyekhez az új töltésrész csatlakozik. Az ellenőrzés 0,30-0,40 m mélységig terjedjen és ha az ellenőrzés azt mutatja, hogy a csatlakozó felület lazább az új töltésrészre előírt tömörségnél, akkor azt újra tömöríteni kell (vagy eltávolítani).

Vizsgálatokkal (helyszíni és laboratóriumi) kell igazolni, hogy a töltésbe beépített talaj anyaga, tömörsége és víztartalma megfelel a tervben, illetve a szabványban előírtaknak. A töltés tömörsége akkor kielégítő, ha elegendő számú és gyakoriságú mintavétel és mérés bizonyítja, hogy mind a száraz térfogatsűrűsége, mind a víztartalomra előírt feltételek teljesülnek. A tömörség és víztartalom ellenőrzésén kívül kiegészítő vizsgálatokat is kell végezni (MSZ 15290).

A tömörített talaj térfogatsűrűségének és víztartalmának a meghatározására bármely elfogadott mintavételi módszer alkalmazható, így

- a közvetlen zavartalan mintavétel, legalább 10 cm átmérőjű és 10 cm magas hengeres mintavevővel;
- a homokkitöltéses vagy a vízkitöltéses (gumimembrános) térfogatmérő;
- az izotópos módszer.

A mérési módszer és a mérőeszköz olyan legyen, amely a vizsgált tömörített réteg teljes vastagságára kiterjedően képes a tömörséget és víztartalmat meghatározni.

A vizsgálatokat mintacsoportokban kell végezni, az épülő töltés minden egyes tömörített rétegén véletlenszerűen kijelölt helyekről vett mintákon. A mintacsoportot összefüggő és azonos módon tömörített földmű szakaszcsoportjából azonos időben vett minták alkotják. Egy mintacsoport legalább három – különböző helyről vett – mintából álljon.

A véletlen jellegű mintavételeken kívül külön mintacsoportot kell venni a nehezen tömöríthető töltésrészekből (pl. mütárgyak háttöltése), mintát kell továbbá venni az olyan helyekről, ahol tömörítetlenségre utaló jelek mutatkoznak (rugózás, besüppedés stb.)

A víztartalom ellenőrzése

A tömöríthetőség szempontjából – főleg kötött talajoknál – igen fontos az anyagnyerőhelyeken található talajok víztartalma, mert ez döntő mértékben befolyásolja a beépítés technológiáját és a gazdaságosan elérhető tömörséget. Ezért a víztartalmat kezdettől fogva és az egész földmunka tartama alatt is figyelemmel kell kísérni a konzisztencia határokkal együtt, melyekkel az szorosan együtt értékelendő. A talaj kitermelését és szállítását úgy kell irányítani, hogy lehetőség szerint mindig a tömörítés szempontjából legkedvezőbb relatív víztartalmú talaj legyen beépítve. A túl száraz talajok víztartalmát a tömörítéskor öntözéssel szükséges növelni.

A túl nedves kötött talajt az előírt értékre nem lehet betömöríteni, azt felszántva, esetleg laza depóniában előbb ki kell szárítani.

A töltésre vagy a szerkezetes töltés különböző részeire az építési tervek általában megadják az *előírt beépítési víztartalom* ($w_{\text{ép}}$) értékét. Ez nem szükségképpen azonos a laboratóriumi *legkedvezőbb tömörítési víztartalom* (w_{opt}) értékével, hanem geotechnikai megfontolások alapján annál kisebb vagy nagyobb is lehet. Külön tervezői előírás hiányában az előírt beépítési víztartalom: $w_{\text{ép}} = w_{\text{opt}}$.

A gravitációsan szabadon dréneződő szemcsés talajok (homokok, kavicsok) tisztán, más kötött talajjal nem keverten bármely természetes víztartalommal beépíthetők. Kötött talajoknál, de különösen az erősen kötött ($I_p > 20\%$) talajoknál azonban, az anyagnyerő helyen lévő természetes víztartalmuk meghatározza a talajjal kapcsolatos további kezelést.

A töltésbe beépített térfogatváltozó talajok későbbi viselkedése nagy mértékben függ a beépítési víztartalmuktól. A kedvezőtlen hatások (zsugorodási repedések) tűrhető mértékűre csökkenthetők, ha a beépítési víztartalmuk megközelíti a zsugorodási határhoz tartozó értéket (w_{zs}). Hazai tapasztalatok szerint ez a határérték $w_{zs} \approx 14 - 18\%$. Az előírt beépítési víztartalmat ezen érték figyelembe vételével kell megállapítani.

A beépítési víztartalom akkor megfelelő, ha a töltésben, illetve a szerkezetes töltés minden elemében

- az átlagos víztartalom ($w_{\text{átl}}$) a következő határokon belül van: $(w_{\text{ép}} - 3\%) < w_{\text{átl}} < w_{\text{max}}$, ahol w_{max} a megengedhető legnagyobb beépítési víztartalom;
- a mérési eredményeknek csak 1/12-e nagyobb, mint w_{max} ;
- a megengedett értéknél nagyobb víztartalom ingadozások ($w_{\text{átl}} > w_{\text{max}}$) csak véletlenszerű eloszlásban, nem összefüggő területen fordulnak elő.

A beépítendő termett talaj természetes víztartalma gyakran a megengedettnél nagyobb mértékben eltér az előírt építési víztartalomtól. Ilyenkor a talajt szárítani, nedvesíteni, keverni vagy valamely más módon kezelni kell, úgy hogy a végső víztartalma egyenletes legyen és feleljen meg a szabvány előírásainak.

Kövér agyagok ($w_L > 60\%$) „soványítás” után (iszapos homok, finomhomok hozzáadásával és egyenletes átkeverésével) beépíthetők vízzáró testbe, vízzáró szőnyegbe, előzetes talajmechanikai vizsgálat alapján. Elnedvesedett, átázott vagy már eleve túl nedvesen beépített talajrétegre újabb réteget felhordani csak akkor szabad, ha a nedves réteg kellően kiszikkadt és az ellenőrző mérés szerint a víztartalma megengedhető értékűre csökkent és tömörsége is kielégítő.

A tömörség meghatározása

A radioizotópos tömörségmérő műszerek a gyakorlatban előforduló minden talajféleségnél használhatók. A felszín közeli szondák segítségével a talaj, illetőleg földmű felső, 25-35 cm vastag rétegének térfogatsúlya mérhető. Mélységi szondák segítségével a mérések 10-12 m-ig, vagy még annál is nagyobb mélységig is kiterjeszthetők. Ez utóbbiak tehát az *utólagos tömörségellenőrzéshez* is használhatók.

Az ellenőrzés lehetőleg minden rétegre terjedjen ki. A mennyiségi kvótán felül, külön kell ellenőrizni a műtárgyak melletti földvisszatöltés tömörségét és a kapcsolódó részek tömörségét.

A mérési helyek a vizsgált szakasz teljes területén, közelítőleg egyenletesen legyenek elosztva, de ezen belül azok véletlenszerűen legyenek kijelölve. A mérési helyeknek a vízszintes és magassági helyzetét meg kell határozni.

A radioizotópos módszernél – felszín közeli szondák használata esetén – az izotóp leszúrás mélységénél nem nagyobb rétegvastagságnál egyetlen mérés is átlagértéket ad, de a leolvasást legalább két, egymással ellentétes irányban kell végezni.

Minden mérésről és számításról jegyzőkönyvet kell vezetni. Ezeket a munka befejeztével az építési iratokhoz kell csatolni. A mérési eredményekről szakaszonként, vagy rétegenként összesítő kimutatást kell készíteni (mérés kelte, helye, ρ_n , w , ρ_d , és ezekből T_{rp}), melyeken az ellenőrzést végző személy záradékként rögzítse, hogy a felsorolt adatok alapján a vizsgált szakasz megfelelő-e vagy sem.

A mérések gyakorisága

Tömörségmérést kell végezni a mintacsoporttal a beépített talaj

- minden 250 m³-éből, ha a tartott vízoszlop 8 m-nél nagyobb, ha az előírt tömörségi fok 90%-nál nagyobb, vagy ha különös tervezési megfontolások vagy építési körülmények azt indokolják;
- minden 500 m³-éből egyéb esetekben;
- minden olyan napon, amikor tömörített töltésepítést végeztek, még ha ennek a tömege kisebb is az előbbieken megjelölt vonatkoztatási értéknél.

A mérések száma és helye egyenletesen oszolja meg egy-egy mérésbe vont munkaszakaszon. Az ellenőrző méréseket az illetékes hatóság, a tervező vagy a beruházó az MSZ 15290 szabványban rögzítettél nagyobb gyakorisággal is előírhatja.

A töltés tömörsége akkor megfelelő, ha valamennyi szerkezeti elemében és minden mintacsoporton belül

- a tömörségi fok átlagértéke egyenlő vagy nagyobb, mint az előírt érték;
- a mérési eredmények legfeljebb 1/6-a esik a -5%-os negatív tőrési tartományba; a tőrési határ alatti értékek nem fogadhatók el;

- az előírtnál kisebb értékek a vizsgált szakaszon belül csak véletlenszerű eloszlásban, nem összefüggően fordulnak elő.

Új réteget egy korábban tömörített rétegre felhordani csak akkor szabad, ha a már beépített réteg tömörségellenőrzése kielégítő eredményű volt.

Ha egy réteg tömörsége nem kielégítő, akkor a réteget – a tömörítetlen részek eloszlásától függően részben vagy egészben – fel kell bontani és – ha szükséges, friss földanyag felhasználásával – újra kell azt tömöríteni.